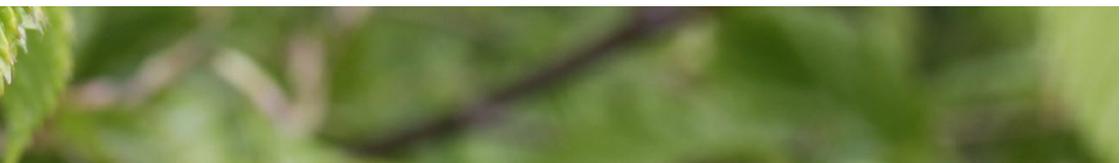




IMMS

JAHRESBERICHT

2016



Inhalt

Seite

- 3 Vorwort
- 5 Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau
- 7 Nachwuchsförderung am IMMS
- 10 Nachruf Eberhard Kallenbach
- 11 [20 Jahre IMMS](#)
- 16 Stimmen von Projektpartnern

- 21 [Forschungsthema **Energieeffiziente und energieautarke Cyber-physische Systeme \(CPS\)**](#)
- 23 Highlights im Bereich CPS
- 31 **Smarte Jacke** mit gestrickten Schaltflächen und energieeffizienter, waschbarer Elektronik als Alltagshelfer
- 39 **ENTOMATIC** – Automatisches Monitoring von Olivenfliegen für mehr Ernte und weniger Pestizide
- 43 **KOSERNA** – Kompakte und robuste Empfangseinheit für die Satellitennavigation
- 52 **HoTSens** – ASIC für hochgenaue Messungen bei 300°C für effizientere Industrieanwendungen
- 57 [Forschungsthema **Sensorsysteme für die Bioanalytik und Medizintechnik**](#)
- 59 **INSPECT** – Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik
- 65 [Forschungsthema **Hochpräzisionsantriebe**](#)
- 67 **AFiA** – Lasten nanometergenau schweben lassen mit Luftdruck und Milliampere
- 73 [Forschungsthema **MEMS \(Mikroelektromechanische Systeme\)**](#)
- 74 Highlights 2016 auf dem Gebiet MEMS

- 76 [Zahlen, Strukturen und Belege](#)
- 77 Das IMMS in Zahlen
- 79 Organisation
- 81 Lehrangebot, Veranstaltungen
- 82 Publikationen
- 87 Förderung (ausführliche Förderangaben über alle im Text mit * gekennzeichneten Projekte)
- 89 Abkürzungen
- 90 Impressum, Datenschutz (Hinweise zur anonymisierten Analyse verlinkter Inhalte)

- 2 
- > [Smarte Jacke](#)
- > [ENTOMATIC](#)
- > [KOSERNA](#)
- > [HoTSens](#)
- > [INSPECT](#)
- > [AFiA](#)

- > [Inhalt](#)
- * [Förderung](#)

▲ [In dieser Spalte können Sie in der PDF navigieren.](#)

◀ [Das Inhaltsverzeichnis ist ebenso verlinkt.](#)

[In dieser Spalte können Sie zusätzliche Infos abrufen.](#) ▼

[Mehr Jahresberichte auf \[www.imms.de\]\(http://www.imms.de\).](#)

[Jahresbericht](#)

© IMMS 2016

Titelfoto: Am IMMS entwickelte Mikroelektronik (Mitte), die für Voruntersuchungen zur Krebsdiagnostik verwendet wird. Details gibt es im Fachartikel zu INSPECT. Fotos und Montage: IMMS.



Vorwort

Prof. Dr. Ralf Sommer und Dipl.-Ing. Hans-Joachim Kelm. Foto: IMMS.

Liebe Partner und Freunde des IMMS, sehr geehrte Leserinnen und Leser,

unser Institut hat auch das Jahr 2016 intensiv genutzt, um für unsere Partner und gemeinsam mit ihnen den Bogen von den Grundlagen zu neuen Anwendungen zu spannen. Greifbar wurde das unter anderem an Arbeiten, die zur 20-Jahr-Feier in Aktion präsentiert wurden: Wir haben in interdisziplinären Projekten sowohl marktreife Lösungen erarbeitet als auch zukunftsweisende Ergebnisse in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung erzielt. Mit diesen haben wir die Weichen für Anschlussprojekte gestellt, um Leitthemen wie „Industrie 4.0“, „Smart Mobility“, „Digitale Gesellschaft“ und „Individualisierte Medizin“ auch in den nächsten Jahren mit Leben zu erfüllen. Für diesen Gestaltungsprozess werden wir auch weiterhin die Vernetzung in Verbänden, Clustern und Gremien stärken, unsere Forschungsinfrastruktur ausbauen sowie Nachwuchswissenschaftler zielgerichtet fördern und frühzeitig an entsprechende Aufgaben heranführen.

Wir freuen uns über das, was wir 2016 erreicht haben – über die Auszeichnung unserer wissenschaftlichen Arbeiten mit zwei Preisen auf führenden internationalen Konferenzen und über die Anerkennung durch unsere Industriepartner, die uns praxistaugliche Entwicklungen und eine lösungsorientierte sowie effektive Arbeitsweise bescheinigen. Das Erreichte ist Ansporn, auch künftig als kompetenter und zuverlässiger Forschungs- und Entwicklungspartner Neues aus der Wissenschaft in die Wirtschaft zu überführen.

- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFiA*

- > *Inhalt*
- * *Förderung*

▲ *In dieser Spalte können Sie in der PDF navigieren ...*

... z.B. zum Kapitel „20 Jahre IMMS“ ...

... oder online zusätzliche Infos abrufen. ▼

Mehr Jahresberichte auf www.imms.de.

Jahresbericht

Voraussetzungen hierfür schuf die institutionelle Förderung des Freistaats Thüringen, für die wir unseren Dank im Namen des IMMS-Teams und unserer Partner aussprechen, die sich durch die Kooperation mit dem IMMS Wettbewerbsvorteile erschließen können. Vor allem für mittelständische Unternehmen ist das IMMS als einziges Thüringer Forschungsinstitut für Mikroelektronik- und Mechatronikanwendungen nicht nur regionaler Technologiepartner, sondern auch Koordinator von öffentlich geförderten industriellen Verbundforschungsvorhaben.

Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, reflektieren wir die Umsetzung unserer strategischen Ausrichtung mit unserem Wissenschaftlichen Beirat und unserem Aufsichtsrat, denen wir für ihr Engagement herzlich danken.

Unser Dank gilt auch der Technischen Universität Ilmenau für die hervorragende Zusammenarbeit, die unser Schaffen nicht nur enorm bereichert, sondern durch die Verbindung der Forschungsthemen beider Einrichtungen über verschiedene Wissenschaftsdisziplinen hinweg Synergieeffekte hervorbringt.

Wir danken allen Förderern und Geschäftspartnern, Freunden und Menschen, die uns in unserem Tun bestärken!

Bei unseren Mitarbeitern und unseren Studenten möchten wir uns dafür bedanken, dass sie sich mit ihrem Expertenwissen und ihren persönlichen Kompetenzen in konstruktiver und vertrauensvoller Zusammenarbeit in das IMMS-Team einbringen und sich für unsere gemeinsame Zukunft engagieren.

Wir möchten Sie mit unserem Jahresrückblick zum Vorausdenken und auf gemeinsame Wege einladen.

Prof. Dr.-Ing. Ralf Sommer
Wissenschaftlicher Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Kelm
Kaufmännischer Geschäftsführer

Das IMMS profitiert durch seine Stellung als An-Institut der TU Ilmenau, die Universität durch die Industrienähe des Instituts von der wissenschaftlichen Vernetzung beider Partner. Im Jahr 2016 hat das IMMS mit 22 Fachgebieten in den Bereichen Elektro- und Informationstechnik, Maschinenbau, Informatik und Automatisierung, Mathematik sowie Medien- und Kommunikationswissenschaften wissenschaftliche Projekte bearbeitet.

Gleichzeitig ist das Institut stark mit der Industrie vernetzt. In der Halbleiterbranche, in den Bereichen Life Sciences sowie Automatisierungs-, Umwelt- und Verkehrstechnik ist es ebenso in regionale und nationale Innovationsnetzwerke eingebunden wie in industrielle Cluster. Die Nutzung und Bündelung technologischer Kompetenzen und die Entwicklung gemeinsamer Marktstrategien liefert für die Forschungstätigkeit des Instituts und der TU Ilmenau wertvolle Praxisimpulse.

Gemeinsame Projekte

Forscherguppe MUSIK*

In enger Zusammenarbeit mit den Fachgebieten Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik, Mikromechanische Systeme sowie Elektroniktechnologie überführt das IMMS in der Forschergruppe MUSIK die verstärkenden, steuernden, oszillierenden und schaltenden Eigenschaften von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) in komplexe Hochfrequenz-Schaltungen. Dabei soll ein Gesamtsystem aus dem technologisch neuartigen SiCer-Material entstehen. Das IMMS hat hierfür MEMS-Eigenschaften untersucht und modelliert, um Grundblöcke für eine universelle MEMS-Designmethodik zu entwickeln. Ziel sind kompakte, parametrisierte Verhaltensmodelle für eine erweiterte Systemsimulation und -optimierung.

Mehr zu

MUSIK auf

www.imms.de.

Forscherguppe Green-ISAS*

Mit dem Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme erarbeitet das IMMS in der Forschergruppe Green-ISAS neue Methoden und Technologien, um Sensor/Aktor-Systeme zu autonomen Industrie-4.0-Komponenten auszubauen. Dazu werden breit einsetzbare Basislösungen erforscht und entwickelt. Durch die Verknüpfung von Basismodulen sollen sich neue Systeme effizient entwerfen, aufbauen, testen und betreiben lassen. Ansätze für eine hohe Eigenintelligenz, Vernetzung und Energieautarkie dieser Systeme sollen in neuartiger Weise zusammengeführt und mittels

Mehr zu

Green-ISAS auf

www.imms.de.

zweier Demonstratoren validiert werden. Hierfür sollen Forschungsaspekte der Mikroelektronik und Mechatronik mit der Informationstechnik grundlegend verbunden werden.

Forschungsprojekt KOSERNA*

2016 wurde das Forschungsprojekt KOSERNA erfolgreich abgeschlossen. Ergebnis ist ein kompaktes Satellitenempfangssystem für robuste Navigationsanwendungen, für das das IMMS im Unterauftrag des Fachgebiets Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik die Frontend-Schaltung entwickelt hat. Die Arbeiten werden ausführlich im vorliegenden Jahresbericht vorgestellt.

Forschungsprojekt fast-wireless*

Im Forschungsprojekt fast-wireless arbeitet das IMMS gemeinsam mit dem Fachgebiet Integrierte Kommunikationssysteme der Fakultät für Informatik und Automatisierung an neuen Übertragungskonzepten für die fünfte Generation im Mobilfunk (5G), dank derer künftig mobile Geräte und Steuereinheiten für Anwendungen im Bereich IoT und Industrie 4.0 in Echtzeit und mit hoher Zuverlässigkeit kommunizieren sollen.

Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0*

Das Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0 unter der Leitung der TU Ilmenau unterstützt kleine und mittelständische Unternehmen bei der Einführung von Digitalisierungs- und Industrie-4.0-Strategien und ersten Lösungen. Mit diesen Strategien und Lösungen sollen alle Wertschöpfungs- und Geschäftsprozesse von der Produktentwicklung bis zur Fertigung in Wertschöpfungsnetzwerken flexibilisiert und optimiert werden. Ziel ist es, so die Kräfte der KMU zu bündeln, um die steigende Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten und Dienstleistungen bedienen und im Wettbewerb bestehen zu können. Das IMMS liefert als „Modellfabrik Migration“ Impulse für Thüringer Firmen zur schrittweisen Einführung von Industrie-4.0-Technologien.

Gemeinsame Nachwuchsförderung

Das IMMS ergänzt nicht nur die Lehre an der TU durch umfangreiche Praxisangebote. Auch einige Lehrveranstaltungen werden von IMMS-Mitarbeitern gegeben. Darüber hinaus engagiert sich Prof. Sommer sowohl als Lehrender in der Grundlagenausbildung und im Masterstudium, als auch gemeinsam mit dem IMMS in der von der TU Ilmenau etablierten, praxisorientierten Basic Engineering School. Das IMMS fördert



Dieser Testaufbau für die Bioanalytik war eine der IMMS-Stationen zur Lange Nacht der Technik auf dem Campus der TU Ilmenau am 28. Mai 2016.

Foto: IMMS.

die Motivation und Ausbildung der Studierenden durch seine praktischen und industrienahe Angebote u.a. durch zahlreiche Themen für Praktika, Besichtigungstouren und Veranstaltungen, wie z.B. die Lange Nacht der Technik auf dem TU-Campus im Mai 2016. Zur 20-Jahr-Feier des IMMS im September 2016 verfolgten über 40 studentische Besucher, u.a. aus dem vom DAAD geförderten Programm Südamerikanische Jungingenieure, und 60 Schüler die Live-Demos zum Festakt und nutzten die angebotenen Möglichkeiten zum Dialog mit den ausstellenden Firmen und dem Zentralinstitut für Bildung der TU Ilmenau, um sich über Studienrichtungen, passende Praktika und berufliche Perspektiven zu informieren.

Auch dem kleinen Nachwuchs hat sich das IMMS gemeinsam mit der TU Ilmenau in Veranstaltungen zur Kinderuni gewidmet. In einer Vorlesung mit dem Titel „Bilder, Töne Zahlen – Was kann mein Smartphone damit machen?“ demonstrierte Prof. Sommer über 600 Schülern im Alter von 8–12 Jahren in Mitmach-Experimenten, wie man mit Nullen und Einsen Klänge und Bilder beschreiben und verändern kann.

Nachwuchsförderung am IMMS: Verbindung von Theorie und Praxis

Im Zusammenhang mit laufenden Forschungsprojekten bietet das IMMS Studentinnen und Studenten der Ingenieurwissenschaften ständig die Betreuung zu einer umfangreichen Auswahl herausfordernder und praxisorientierter Themenstellungen für Praktika, Bachelor- und Master-Arbeiten an. Dabei wird theoretisch fundiertes Methodenwissen vermittelt und dieses frühzeitig mit der praktischen Umsetzung in

Zum Themen-
angebot auf
www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016



Einer der Schülerbesuche am IMMS im März 2016.

Das Angebot am IMMS mit u.a. dieser Führung im Labor für Präzisionsantriebe ergänzte das MINT-hoch-Zehn-Programm des Zentralinstituts für Bildung der TU Ilmenau.

Foto: IMMS.

8

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Anwendungen verknüpft. Zudem bietet das Institut Trainingskurse und Firmenbesichtigungen an.

Es sind pro Jahr durchschnittlich 50 Studenten als Praktikanten oder studentische Hilfskräfte am IMMS tätig oder schreiben hier ihre Abschlussarbeiten. 2016 wurden 40 Studentinnen und Studenten am IMMS betreut. Darüber hinaus arbeiten momentan acht Mitarbeiter an ihrer Promotion. Der hohe Anteil von Studenten der TU Ilmenau am IMMS zeigt, dass die intensiven Bemühungen im Bereich der Grundlagenausbildung Früchte tragen. So finden regelmäßig hochmotivierte Studenten der TU mit hervorragenden Leistungen den Weg ans IMMS, was uns besonders freut. Auch Schüler erhalten bei Events und Praktika Einblicke in die Arbeiten des IMMS oder werden von den Wissenschaftlern bei Facharbeiten betreut.

Betreute Fachrichtungen

Angehende Ingenieure der Fachrichtungen Biomedizintechnik, Elektrotechnik, Fahrzeugtechnik, Informatik, Maschinenbau, Mathematik, Mechatronik und Physik und verwandter Studiengänge können am IMMS attraktive wissenschaftliche Aufgabenstellungen bearbeiten und werden individuell betreut.

Zum Themenangebot auf www.imms.de

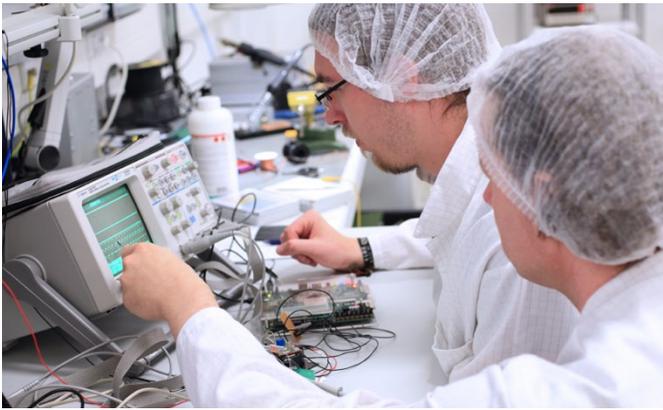
Studienbegleitendes, langfristiges Praxistraining für anspruchsvolle Forschungsthemen

Die üblicherweise für einzelne Bachelor- und Master-Arbeiten vorgesehenen Bearbeitungszeiträume von zwei bis sechs Monaten sind meist viel zu kurz, um komplexe Aufgabenstellungen wie z.B. die Entwicklung einer mikroelektronischen Schaltung vom Entwurf bis zur Fertigung und Messung vollständig durchführen zu können.

Häufig nutzen unsere Studenten daher unser Angebot, sich schon frühzeitig während ihres Studiums über Tätigkeiten als studentische Hilfskraft oder in Praktika

Jahresbericht

© IMMS 2016



Arbeiten im Reinraum-Messtechniklabor am Insitutusteil in Erfurt für eine am IMMS betreute Abschlussarbeit zu einem Reader-System für ein passives RFID-Mikrosensor-Array.

Foto: IMMS.

- 9
- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFiA*
- > *Inhalt*
- * *Förderung*

die notwendigen Praxiskenntnisse zur Bearbeitung anspruchsvoller Themen anzueignen und anschließend sowohl ihre Bachelor-Arbeiten als auch ihre Master-Arbeiten nacheinander bei uns durchzuführen. Hierdurch erhalten unsere Studenten einen besonders umfassenden und realistischen Einblick in die Inhalte sowie die organisatorischen und zeitlichen Abläufe ingenieurwissenschaftlicher Arbeiten. Nicht selten führen die entstehenden langfristigen Bindungen auch zu einer späteren Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMMS.

*Stimmen von
Kollegen auf
www.imms.de.*

Scientific Seminar

Um den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern und zu fordern, findet unter anderem ein regelmäßiges „Scientific Seminar“ am IMMS statt. Dort stellen Studenten und Promovenden ihre Arbeiten 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.

*Zum Themen-
angebot auf
www.imms.de.*

Infrastruktur für Studenten

Das IMMS verfügt über eine international wettbewerbsfähige Infrastruktur nach industriellem Standard in den Bereichen Entwurfsunterstützung und Labortechnik für elektronische und mechatronische Systeme. Diese Ausstattung wird für die Forschungsarbeiten und die dafür im Vorfeld notwendigen Qualifizierungsmaßnahmen bereitgestellt und steht auch für studentische Arbeiten zur Verfügung.

*Zur Infra-
struktur auf
www.imms.de.*



Nachruf

Wir nehmen Abschied von einem unserer Gründungsväter.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c.

Eberhard Kallenbach

*16. August 1935, † 19. Oktober 2016

10

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Foto: Reinhard Ferdinand (CC BY-SA 4.0,
Beschnitt: IMMS).

Als rastloser Wegbereiter und unerschütterlicher Optimist hat er das IMMS mit ins Leben gerufen, war geschätzter Betreuer und Ratgeber und hat uns in unserem Wissenschaftlichen Beirat bis ins hohe Alter mit seiner fachlichen Expertise begleitet.

Als erster Professor für Mechatronik an der TU Ilmenau war er Mitinitiator der mechatronischen Sichtweise und hat damit das Fundament für eine der tragenden Säulen des IMMS gelegt: Dinge fachübergreifend zu analysieren, zu verstehen und zu optimieren. Seine Idee von der Mechatronik, als Inbegriff für eine interdisziplinäre Arbeitsweise in der Technik schlechthin, werden wir am IMMS weiter fortschreiben.

Wir werden ihn als eine großartige Persönlichkeit und seine menschliche, herzliche und hilfsbereite Art vermissen. Unser Mitgefühl gilt seiner Familie.

Im Namen der gesamten Belegschaft, die Geschäftsführung des IMMS

Prof. Dr. Ralf Sommer und Hans-Joachim Kelm

sowie für den Wissenschaftlichen Beirat Dr. Gabriel Kittler.



20 JAHRE
IMMS



20 Jahre IMMS. Was vom Tag bleibt ...

Am 13. September 2016 feierten rund 300 Teilnehmer aus Industrie, Forschung, Bildung, Netzwerken und Clustern, Politik und Medien „20 Jahre IMMS“ mit Kolloquium und Festakt im Helmholtz-Hörsaal der TU Ilmenau sowie mit Expo, Führungen und Networking am IMMS, darunter 26 Redner, 13 Aussteller, 41 Studenten, 60 Schüler und 56 Teilnehmer in vier Führungen.

Kolloquium

Nach einer Einstimmung auf das Thema Digitalisierung durch Dr. Johannes Eisenmenger, Carl Zeiss SMT GmbH, im Vormittagskolloquium „Wir verbinden die IT mit der realen Welt“ konnten die Zuhörer in vier Fachvorträgen in ausgewählte aktuelle Forschungsthemen des IMMS eintauchen. Vom Entwurf komplexer mikroelektromechanischer Systeme, der Vorort-Diagnostik mit Mikroelektronik über die Zuverlässigkeit und Qualität integrierter Sensorschaltkreise bis hin zur Lecksuche in industriellen Prozessen mittels Ultraschall machten die Redner von X-FAB, Senova, Melexis und SONOTEC in Tandem-Vorträgen mit ihren Forscherkollegen vom IMMS greifbar, wie gemeinsam physikalische und technologische Grenzen ausgelotet und Brücken von den Grundlagen zu neuen Anwendungen gebaut werden.

Keynote Dr. Eisenmenger,
▼ Zeiss SMT.

◀ Live-Demo der X-FAB
zum Festakt.



◀ Fachvortrag mit Live-Demo: Prof. Holstein, SONOTEC, und Dr. Hutschenreuther, IMMS. Fotos: IMMS.

Festakt

Nach den Grußworten von TU-Rektor Prof. Dr. Peter Scharff, IMMS-Mitbegründerin Prof. Dr. Dagmar Schipanski und Oberbürgermeister Gerd-Michael-Seeber zum Festakt am Nachmittag schlüpfte Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee nach seiner Festrede in eine smarte Jacke. Die darin eingestrickten elektronisch leitfähigen Fäden bilden mit der am IMMS entwickelten waschbaren Elektronik den Prototyp einer textilen Fernbedienung, die der Industriepartner inzwischen unter dem Namen Knitty-Fi zum Patent angemeldet hat. Dr. Gottfried Betz, Geschäftsführer der Strickmanufaktur Zella, will diese Lösung mit dem IMMS zur Serienreife weiterentwickeln.

Videos von den Vorträgen auf www.imms.de.

Videos vom Festakt auf www.imms.de.

Auftakt zur Live-Demo

Minister Tiefensee erprobte die Jacke und steuerte mit den integrierten, drahtlos kommunizierenden Schaltern zum Auftakt der Live-Demo eine Modelleisenbahn auf ihrer Fahrt zu drei Haltestationen. Dort entnahm er den Waggons drei miniaturisierte Entwicklungen des IMMS aus den Bereichen Industrie 4.0, Biosensorik und Internet der Dinge (IoT) und ließ sich von Prof. Dr. Ralf Sommer die Highlights dazu erläutern.



Auftakt zur Live-Demo: Moderator Steffen Quasebarth (mdr), Minister Wolfrang Tiefensee (TMWWDC) und Prof. Dr. Ralf Sommer (IMMS). Foto: IMMS.

13

- > Smarte Jacke
- > ENTOMATIC
- > KOSERNA
- > HoTSens
- > INSPECT
- > AFIA

- > Inhalt
- * Förderung

Entwicklungen im Fünfminutentakt

Gleich im Anschluss stellten neun Partner im Fünfminutentakt gemeinsame Entwicklungen mit dem IMMS vor, darunter viele bereits marktreife Lösungen bzw. solche, die in der Praxis bereits erfolgreich ihren Dienst tun. Steffen Quasebarth, Moderator des MDR Thüringen-Journals, führte durch den Nachmittag und ließ sich in Gesprächen mit den Referenten innovative Entwicklungen erläutern, die in rascher Folge auf den Geburtstagstisch kamen: ein Augenimplantat zur Behandlung von Blindheit, das planare Positioniersystem eines Nano-3D-Druckers für biologische Implantate, eine intelligente Stromzange für den Check von Industrieanlagen, drahtlose Sensornetze für die Umweltforschung und ein USB-Programmer-Toolkit als hocheffizientes Testgerät für die Chipproduktion. Die Exponate wurden von den Partnern in Aktion vorgeführt und mit Großprojektionen von Live-Bildern und kurzen Filmsequenzen in ihrer Anwendung präsentiert.

- ▼ Supracon zur Live-Demo mit dem Terahertz-Scanner.



- ▲ Indu-Sol präsentierte die intelligente Stromzange in Aktion.



- ◀ Tetra zur Live-Demo mit dem Antrieb für den Nano-3-D-Drucker. Fotos: IMMS.

Video der Live-Demo auf www.imms.de.

Jahresbericht
© IMMS 2016

Expo und Führungen

Zu diesen und anderen Exponaten, wie z.B. zur Reichweitenoptimierung von Elektroautos im städtischen Verkehrsraum, zur quantitativen Krebsfrüherkennung, dem Ultraschallmessgerät für die vorbeugende Instandhaltung, dem Terahertz-Scanner für Sicherheits-Checks, den Hochpräzisionsantrieben und zahlreichen anderen Entwicklungen kamen die Gäste zur Expo und zu den Führungen am IMMS sowie am Kompetenzzentrum Nanopositionier- und Nanomessmaschinen zusammen. Im anschließenden Networking in den Räumen des IMMS wurden in lebhaften Gesprächen Fragen erörtert, Ideen ausgetauscht und neue Kontakte geknüpft.



Expo am IMMS, hier mit Umweltsensorik des UFZ. Fotos: IMMS.

- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Kurzes Video

vom Tag auf

www.imms.de.



Prof. Dr. Erich Barke.

Zitate

Während des Festakts machte Prof. Dr. Erich Barke, Präsident der Leibniz Universität Hannover a.D., in seinem Impulsvortrag „Wettlauf mit der Komplexität“ deutlich, wie man zu hochkomplexen Lösungen kommt und worin die Bedeutung anwendungsorientierter Vorlauftforschung liegt.

An der Entwicklung der elektronischen Entwurfsautomatisierung in der Mikroelektronik zeigte er sehr anschaulich die Notwendigkeit auf, diese Erfolgsgeschichte auf andere Systeme wie die Mikromechanik zu übertragen, wie es u.a. in den Forschungen des IMMS verfolgt wird. Er unterstrich, dass der Schlüssel zum Erfolg für komplexe intelligente Digitalisierungslösungen und damit für einen Vorsprung im Wettbewerb im Entwurf liegt.

Tiefensee würdigte in seiner frei gehaltenen Festrede genau solche Leistungen. Um diese Wege für die Thüringer Industriebetriebe zu erschließen, wurde das IMMS vor 20 Jahren als landeseigenes Institut des Freistaats gegründet und ermöglicht seitdem der mittelständischen Thüringer Wirtschaft den Zugriff auf neueste Forschungsergebnisse aus Mikroelektronik und Mechatronik, IT und Systemtechnik. Insgesamt hat das Land im Zeitraum 1996 bis 2016 mehr als 37 Millionen Euro für das Institut

bereitgestellt. Tiefensee bescheinigte dem IMMS, dass es gut aufgestellt ist, um die Thüringer Unternehmen bei Zukunftsthemen wie Digitalisierung und Life Sciences zu unterstützen. Der Freistaat werde die Arbeit des IMMS daher auch künftig positiv begleiten.

Was vom Tag bleibt

Was vom Tag bleibt, sind viele Aha-Erlebnisse zu überraschenden Lösungen, der Präsentation zum höchsten Stand der Technik in Forschung und Entwicklung, zur Bandbreite der Arbeiten und Kooperationen, zum syn-
ergetischen Ineinandergreifen der Themen sowie zur erlebbar gewordenen „DNA“ des IMMS, was sich an den zahlreichen positive Rückmeldungen von Gästen ablesen lässt. Es gab viele interessante und produktive Gespräche mit neuen Ideen und Input für künftige Projekte, neue Kontakte und viele Querverbindungen wurden geschaltet – wir, das IMMS, haben uns insbesondere darüber gefreut, dass die Schüler und Studenten den Dialog mit unseren Partnern gesucht haben.

Was bleibt, sind nicht nur ein Fernseh- und ein Hörfunkbeitrag, 15 Berichte in der Regional- und Fachpresse sowie 12 Beiträge auf weiteren Websites, zahlreiche Reaktionen durch Partner in den sozialen Medien und die höchste Zugriffsrate seit des Relaunches der IMMS-Website.

Was bleibt, sind auch die Dokumentationen. In Filmbeiträgen können Vorträge, Redebeiträge und Eindrücke vom Tag abgerufen werden. Für die Videos hat das IMMS einen YouTube-Kanal eingerichtet, die Dateien auf www.imms.de eingebettet und dazu Textbeiträge, Fotos und passende Projektinhalte verknüpft.

Wir bedanken uns!

All das wurde nur möglich durch das Engagement unserer Kollegen bei den Partnerunternehmen. Daher ist es uns ein besonderes Anliegen, allen Partnern und Akteuren herzlich zu danken, die zu der gelungenen Veranstaltung beigetragen haben. Darüber hinaus danken wir den Firmen, die mit ihren Spenden einen Beitrag zu unseren gemeinnützigen Aktivitäten in der Nachwuchsförderung geleistet haben.

Für die kompetente Unterstützung bei den Videostreamings und -aufnahmen bedanken wir uns herzlich bei der Forschungsgemeinschaft elektronische Medien e.V. an der TU Ilmenau.



20 Jahre IMMS:
Gäste zum Festakt. Foto: IMMS.



Dr. Gottfried Betz, Geschäftsführer der Strick Zella GmbH & Co.KG.
Foto: Strick Zella.



Dr. Betz präsentierte die Entwicklung mit Minister Tiefensee, TMWWDG, bei der Live-Demo zur 20-Jahr-Feier des IMMS.
Foto: IMMS.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Dr. Gottfried Betz, Strick Zella

„Wearables sind ein großer Zukunftsmarkt. Textilien sind atmungsaktiv, flexibel und vielfältig gestaltbar – mit smarten Elementen eröffnen sich viele neue Anwendungen, die der reinen Elektronik bislang verschlossen blieben. Solche Systeme sind jedoch oft kompliziert zu bedienen und meist nicht waschbar. Wir haben daher ein robustes, waschbares und intuitiv bedienbares smartes Textil entwickelt. Dazu musste sehr unterschiedliches Know-how kombiniert werden: Textiltechnologie, Elektronik, Hochfrequenztechnik, Software und Design. Dazu wären wir allein und auch kleinere Betriebe nicht in der Lage gewesen.

Mit der Expertise des IMMS haben wir eine innovative Gesamtlösung auf die Beine gestellt und mittlerweile unter dem Namen Knitty-Fi zum Patent angemeldet. Diese beruht auf gestrickten Tastern aus elektrisch leitfähigem Garn, einer elektronischen Signalverarbeitung mit Stromversorgung und drahtloser Kommunikation. Damit lassen sich bis zu 30 m entfernte Objekte steuern, wie z.B. Maschinen.

Das IMMS hat nicht nur die Elektronik konzipiert, entwickelt und integriert und dabei immer wieder neue Anforderungen berücksichtigt. Vielmehr verdanken wir der Initiative des IMMS, dass sich das System einfach per Smartphone konfigurieren lässt. Das ist ein wichtiges Argument für die Akzeptanz bei potentiellen Kunden. Erste Anfragen liegen uns schon vor, zum Beispiel aus der Möbelbranche. Den Weg zur Serientauglichkeit möchten wir als nächstes gehen und dabei weiter auf das fundierte Wissen, das gesamtsystembezogene Herangehen und das tolle Engagement des IMMS bauen.“

Video der

Live-Demo auf

www.imms.de.

Zum

Fachartikel.

Infos und TV-

Beitrag zum

Projekt auf

www.imms.de.

„Kreberkrankungen sind eine der häufigsten Todesursachen in Deutschland und der EU. Für eine erfolgreiche Behandlung von Kreberkrankungen ist eine frühzeitige Diagnose unabdingbar. Die Entwicklung von einer Point-of-Care-Diagnostik-Plattform zur frühzeitigen Erkennung von Prostatakrebs ist Ziel des gemeinsamen Forschungsprojektes INSPECT.*

Zur personalisierten Krebsdiagnostik werden immunologische Methoden genutzt, um einen Analyten zu erkennen und über einen Transducer ein Analytenkonzentrationsabhängiges Signal zu erzeugen, das mit der Ausprägung der Erkrankung korreliert. Zur Detektion sind miniaturisierte Sensoren notwendig, welche sehr präzise äußerst geringe Signaländerungen detektieren können. Darüber hinaus müssen die entsprechenden Detektoren kostengünstig sein und ein möglichst einfaches Handling der Testplattform ermöglichen.

Die vom IMMS entwickelten Mikrochips sind in der Lage, diese Anforderungen zu erfüllen. Der Mikrochip nutzt ein Array von Fotodioden für die Detektion sowie eine mehrstufige integrierte Signalverstärkung, um sehr geringe Signaländerungen zu detektieren. Diese vom IMMS entwickelten elektronischen Mikrochips wurden mit einer speziellen Aufbau- und Verbindungstechnik, beruhend auf maßgeschneiderten Trägerplatten und Reaktionsgefäßen, für die Analyse von komplexen Proben wie Blut nutzbar gemacht. Dadurch konnte ein erstes mobiles Diagnostiksystem bereitgestellt werden, womit sich die bioanalytischen Messungen bei der Senova GmbH vor Ort durchführen ließen.

Während der Messungen wurden spezifische Antikörper auf die elektronischen Mikrochips aufgebracht, für die Mikrochips geeignete Transducer entwickelt und in das System integriert. Für die quantitativen kolorimetrischen Messungen wurden HRP-basierte biochemische Verfärbungen in der Lösung und auch auf der Sensoroberfläche ausgelöst. Durch die sehr hohe Signalaufösung und präzise Signalerfassung ist klar geworden, dass eine einfache, schnelle und sichere Diagnostik von Kreberkrankungen und deren Monitoring möglich ist.

Aktuell wird das System am Beispiel der Krebsdiagnose für Prostatakrebs und Darmkrebs erprobt. In Zukunft soll die Vielzahl der Detektoren auf dem Chip für eine multiparametrische Analyse nutzbar gemacht werden, um so die Krebsdiagnostik



Dr. Friedrich Scholz, Senova
Gesellschaft für Biowissenschaft
und Technik mbH, Foto: Senova.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Zum INSPECT-

Fachartikel

Infos und

Video zu

INSPECT auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016

zuverlässiger und sicherer zu machen sowie ein individualisiertes Monitoring der Therapie zu erlauben.

Die großen Herausforderungen bei der Entwicklung von Point-of-Care Test und die damit einhergehenden Anforderungen an die Sensoren wurden vom IMMS sehr motiviert angegangen. Die sehr gute Zusammenarbeit zwischen dem IMMS und uns ist dabei der Grundstein für die erfolgreiche Bearbeitung des interdisziplinären Projektes. Unsere Erfahrungen zeigen, dass das IMMS die biochemischen Prozesse anwendungsorientiert analysiert, versteht und modelliert. Die Partner setzen zudem die Anforderungen in ihren integrierten Systementwürfen um und passen die Systeme auch flexibel an. Die Kombination der Kompetenzen in Elektronik und Signalerfassung des IMMS sowie der Erfahrung der Entwicklung diagnostischer Produkte der Senova bietet eine vielversprechende Grundlage für eine weitere erfolgreiche Zusammenarbeit.“

www.senova.de

Tobias Baumgartner, Pepperl+Fuchs

„Als Spezialist für elektrischen Explosionsschutz und Sensorik für die industrielle Fabrik- und Prozessautomation bieten wir individuelle Lösungen an, die in Automobilfabriken bis hin zu Wasser- aufbereitungsanlagen zum Einsatz kommen. Das IMMS hat für uns einen Chip entwickelt, den wir in unseren Remote-I/O-Systemen einsetzen. Diese Systeme übertragen Prozessdaten aus dem nicht explosionsgefährdeten oder explosionsgefährdeten Bereich, indem sie binäre und analoge Sensoren und Aktuatoren über eine Busschnittstelle mit dem Leitsystem verbinden. Anwendungen sind vor allem explosionsgefährdete Bereiche in der Öl-, Gas-, Chemie- und Pharmaindustrie, aber auch andere raue industrielle Umgebungen.



Tobias Baumgartner, Entwicklungsingenieur für Prozessautomation, Produktgruppe Remote-Systeme, Pepperl+Fuchs GmbH.
Foto: Pepperl+Fuchs GmbH.

Wir haben dem IMMS den internen Programmcode eines Vorgängerschaltkreises bereitgestellt. Diesen Code hat das IMMS geprüft, eine FPGA-Lösung für die Verifikation realisiert und auf dieser Basis und weiteren Anforderungen den neuen Kommunika-

tionscontroller spezifiziert und entworfen, die Fertigung begleitet, den prozessierten Chip charakterisiert und getestet und auch die Aufbau- und Verbindungstechnik für das Gehäuse koordiniert.

Das systematische Vorgehen des IMMS mit Logiksimulation und detailliertem Nachweis der Funktionalität hat deutlich dazu beigetragen, dass wir im ersten Anlauf einen fehlerfreien Chip erhalten haben. Dieser fließt seit Ende 2016 in unsere Serienprodukte ein und wir sind mit dem Ergebnis sehr zufrieden. Für die exzellente Zusammenarbeit und gute Kommunikation möchten wir uns gerne bedanken. Wir freuen uns, wenn sich künftig wieder eine Gelegenheit bietet, gemeinsam an den Entwicklungserfolg anzuknüpfen.“

www.pepperl-fuchs.com

Dr. Dieter Treytnar, edacentrum

„In dem vom edacentrum koordinierten Clusterforschungsprojekt ANCONA* (Analog-Coverage in der Nanoelektronik, Laufzeit 2014 – 2017) haben Mitarbeiter des ANCONA-Forschungspartners IMMS mit ihren Arbeiten maßgeblich dafür gesorgt, dass ANCONA-Ergebnisse in die Entwicklungsprozesse der das Projekt begleitenden Industriepartner integriert wurden.

Aus ANCONA entstand auch die Idee, eine offene Forschungsrunde basierend auf dem Konzept der Großgruppenmoderation durchzuführen. So veranstalteten das edacentrum, das IMMS und OFFIS mit dem „edaBarCamp“ Deutschlands erste als „BarCamp“ organisierte „Unkonferenz“ im Bereich der elektronischen Entwurfsautomatisierung (EDA) für mikroelektronische und eingebettete Systeme.

Das neue Veranstaltungsformat nutzt nahezu ausschließlich neue Kommunikationsmethoden der „Social Media“ wie Facebook, XING, und Google Docs, was insbesondere für Nachwuchswissenschaftler die bevorzugten Kanäle sind. Dank der organisatorischen und inhaltlichen Unterstützung des IMMS war das erste „edaBarCamp“ so erfolgreich, dass eine Fortsetzung im Rahmen einer Veranstaltungsreihe in den kommenden Jahren an weiteren Standorten in Deutschland vereinbart wurde. Wir freuen uns daher über die vergangene, aber vor allen Dingen auf die künftige weitere gute Zusammenarbeit mit dem IMMS.“

www.edacentrum.de



Dr. Dieter Treytnar, Projektmanager, edacentrum GmbH, Hannover. Foto: edacentrum.

Mehr zu

ANCONA auf

www.imms.de

Mehr zum eda-

BarCamp auf

www.imms.de

Michael Muth, AeroLas

„In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt haben wir gemeinsam mit dem IMMS und der TU-Ilmenau einen konzeptionell neuartigen Ansatz für ein aerostatisches Führungselement verfolgt. Im Ergebnis der sehr erfolgreichen Zusammenarbeit entstand ein kompaktes Vertikalführungselement mit integriertem magnetischen Vertikalaktor sowie einer leistungslosen pneumatischen Gewichtskraftkompensation. Dieses aktive Führungselement gestattet eine Regelbarkeit der Vertikalposition mit Nanometer-Präzision, wobei für das Tragen der Nutzlast praktisch keine elektrische Verlustleistung und damit störende Wärme entsteht.

Besonders interessant sind diese Elemente für Antriebssysteme, die Positionier- und Messunsicherheiten im Nanometer-Bereich erfordern, z.B. für die Fertigung von Displays oder die optische Vermessung von Masken und Wafern.

Wir schätzen die Zusammenarbeit mit dem IMMS, insbesondere seine professionelle zielgerichteten Arbeitsweise, bereits seit vielen Jahren. Die Ergebnisse des Projektes bilden für AeroLas die Basis für künftige kundenspezifische Produktdesigns. IMMS ist aufgrund seiner hervorragenden Expertise im Bereich der magnetischen Antriebstechnologie für uns ein wichtiger Partner für weitere Entwicklungen.“

www.aerolas.de



Dipl.-Ing. Michael Muth, Geschäftsführer AeroLas GmbH, Unterhaching. Foto: privat.



FORSCHUNGSTHEMA CPS:

**ENERGIEEFFIZIENTE
UND ENERGIEAUTARKE
CYBER-PHYSISCHE SYSTEME**

Energiebedarfsmessungen an Prototypen für ein latenzarmes Zug-Monitoring mit lokalem Funksensornetz, an dem das IMMS im Projekt "fast realtime"* arbeitet. Foto: IMMS.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Ein cyber-physisches System (CPS) bezeichnet einen Verbund von eingebetteten elektronischen Hardware/Software-Komponenten, die über ein Datennetzwerk miteinander kommunizieren und über Sensoren und Aktoren mit der realen Welt interagieren können. Cyber-physische Systeme bilden die Grundlage für das „Internet der Dinge und Dienste“ sowie für die zukünftige Realisierung komplexer, verteilter Regels- und Automatisierungssysteme, z.B. in der industriellen Produktion („Industrie 4.0“) oder im Energiemanagement („Intelligente Stromnetze“).

Aufgrund der Vielzahl der Komponenten und ihrer meist großräumigen Verteilung ist die Energie- und Ressourceneffizienz von CPS von höchster Bedeutung. Unsere Forschungsaktivitäten konzentrieren sich daher auf die Entwicklung besonders energieeffizienter mikroelektronischer und eingebetteter Systeme zur Erfassung, Verarbeitung und Kommunikation von Mess- und Steuerdaten. Dazu erforschen und entwickeln wir unter anderem Hardware- und Software-Lösungen zur drahtgebundenen und drahtlosen digitalen Vernetzung von Sensoren und Aktoren unter besonderer Berücksichtigung von Aspekten wie Echtzeitfähigkeit und energieautarkem Betrieb.

Mehr Infos zu

Industrie 4.0:

www.imms.de.

Projekte im

Bereich CPS auf

www.imms.de.



Das IMMS zur Preisverleihung anlässlich des MICA-Wettbewerbs auf dem HARTING-Stand zur Hannover Messe 2016. Foto: IMMS.

Highlights im Bereich energieeffiziente und energieautarke cyberphysische Systeme (CPS)

IMMS gewinnt HARTINGs MICA-Wettbewerb und bringt sich ins MICA-Network ein

Das IMMS wurde im Wettbewerb „Was machst du mit MICA?“ für die Anwendungsentwicklungen im Umweltmonitoring und in der Echtzeit-Datenverarbeitung ausgezeichnet. Die beiden Lösungen wurden von zwei IMMS-Teams im April 2016 auf der Hannover Messe einem breiten Publikum und Medienvertretern live präsentiert.

Das IMMS hatte binnen weniger Wochen mit der MICA-Plattform zwei innovative Anwendungslösungen geschaffen. Das Open-Computing-System MICA (Modular Industry Computing Architecture) der Firma HARTING lässt sich mit anwendungsspezifischer Hardware, Software und Schnittstellen nach individuellen Anforderungen erweitern und konfigurieren. HARTING hatte den MICA-Wettbewerb initiiert, um das Anwendungsspektrum der MICA durch Entwickler aus verschiedensten Bereichen ausloten zu lassen und die eingereichten Beiträge bezüglich Innovationskraft, Nutzen, Realisierbarkeit und Kreativität bewertet.

Das IMMS war auch zur Kickoff-Veranstaltung des neugegründeten MICA-Networks im Juni 2016 in der Robotation Academy in Hannover dabei. Gemeinsam mit Anwendern, Anbietern und Entwicklern der MICA wird sich das IMMS in dieses Netzwerk aktiv einbringen und dabei u.a. an die prämierten Lösungen anknüpfen.

Mehr zu

MICA auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016

Für die Anwendung zum Umweltmonitoring hatte das IMMS die MICA mit drahtlos vernetzten, outdoor-fähigen Sensoren für Bodenfeuchte, Temperatur und Licht verknüpft sowie in das Internet der Dinge (IoT) eingebunden und damit eine Komplettlösung vom Sensor bis in die Cloud geschaffen. Die MICA fungiert als Daten-Logger und IoT-Gateway und bietet eine webbasierte Benutzerschnittstelle.

> *Smarte Jacke*
> *ENTOMATIC*
> *KOSERNA*
> *HoTSens*
> *INSPECT*
> *AFIA*
> *Inhalt*
* *Förderung*

Das IMMS hat die MICA-Plattform mit einer IEEE-802.15.4-Funktransceiver-Funktionsplatine erweitert, welche eine Ankopplung drahtloser Sensoren ermöglicht. Außerdem hat das Institut eine skalierbare Multi-Containerlösung mit MQTT-basierter Cloud-Integration implementiert und das Funksensornetz mit IMMS-BASE-Net-Technologie und 6LoWPAN angebunden. Diese Lösung lässt sich über das Umweltmonitoring hinaus zum Beispiel auch für das Verkehrsmonitoring oder in den Bereichen Smart City und Transport einsetzen.

Die MICA wird echtzeitfähig

Mit dem zweiten Exponat hatte das IMMS eine Echtzeitlösung realisiert und damit für die MICA-Plattform eine der zentralen Industrie-4.0-Anforderungen in Angriff genommen: Durch viele, verteilte Sensoren werden Datenmengen immer umfangreicher. Diese müssen verlässlich und rechtzeitig – in Echtzeit – verarbeitet werden, da es andernfalls zu Qualitätseinbußen oder zu kritischen Situationen in Industrieanlagen kommen kann.

Das IMMS hat daher die Software der MICA-Plattform optimiert, ein echtzeitfähiges Linux-Basissystem implementiert und die mit der MICA erzielbare Echtzeit-Performance messtechnisch erfasst und detailliert analysiert. Die Lösung fügt sich transparent in das Software-Container-Konzept von HARTING ein und basiert auf langjährigen Erfahrungen des IMMS in diesem Bereich und auf der Zusammenarbeit mit dem OSADL-Netzwerk.

*Mehr zu
MICA auf
www.imms.de*

Projektstart: System für Lärm-Monitoring soll Lebensqualität in Städten verbessern*

Lärm beeinträchtigt die Lebensqualität. Stadtbewohner sind zahlreichen, stark schwankenden Lärmbelastungen durch Groß- und Sportveranstaltungen, Baumaßnahmen oder einzelne Verkehrsteilnehmer ausgesetzt. In dem im September 2016 gestarteten Projekt „StadtLärm“* wird daher ein System entwickelt, mit dem sich Lärm-Raum-Modelle in einer neuartigen Anwendung dreidimensional visualisieren und bearbeiteten sowie Messdaten zu einem bestimmten Ereignis, wie z.B. zu einem Konzert im Innenstadtbereich, zuordnen lassen.

Jahresbericht



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



25

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Das IMMS erarbeitet eine Software-Basisplattform für ein System, mit dem sich Lärm-Raum-Modelle in einer neuartigen Anwendung dreidimensional visualisieren und bearbeiteten sowie Messdaten zu einem bestimmten Ereignis zuordnen lassen. Foto: Beate Hövelmans, zwei de sign.

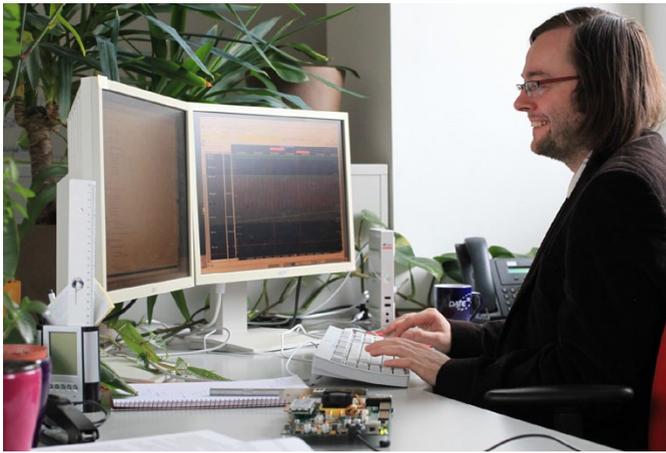
Nutzen und Gesamtlösung

Städtische Behörden können damit Lärmquellen deutlich besser beurteilen. Mit den zeitlich und räumlich aufgelösten Schalldaten wird es möglich, zukünftige Lärmsituationen aus vergangenen Lärmereignissen vorherzusagen. Erprobt werden soll das System in der Stadt Jena in einem halbjährigen Feldtest ab dem Frühjahr 2018.

Datenlieferant für die Anwendung ist eine Plattform mit Lärm-Sensoren, die die Bischoff Elektronik GmbH entwickelt, und mit einer zentralen „Datendrehscheibe“ in Gestalt eines sog. MQTT-Brokers. Dieser bildet die Schnittstelle zu algorithmischen Auswertungen, die das Fraunhofer IDMT übernimmt, und zur StadtLärm-Anwendung, die der Partner Software-Service John erarbeitet, sowie für denkbare weitere Services.

Beitrag des IMMS

Das IMMS realisiert die Software-Basisplattform der Lärm-Sensoren inkl. Audiodatenerfassung und integriert die Audiodatenvorverarbeitung des IDMT. Das IMMS löst die Kommunikation über den Broker und gestaltet die Kommunikationsarchitektur insgesamt; d.h. es definiert die Kommunikationsstrukturen und Nachrichten, konfiguriert und betreut den Broker und schafft eine zentrale Administrationskomponente für das Gesamtsystem. Darüber hinaus wird das IMMS variable Umweltsensoren integrieren, um den Nutzen der Plattform zu erhöhen.



Das IMMS wurde auf der FDL 2016 für die erarbeiteten Verifikationsmethoden mit dem Best Paper Award ausgezeichnet. Für Systemsimulationen werden u.a. FPGAs (vorn im Bild) eingesetzt.

Foto: IMMS.



26

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Best-Paper-Award für Beitrag zu rechnergestützter Verifikationsmethodik

Das IMMS wurde mit Forschungspartnern auf der Konferenz "Forum on specification & Design Languages" in Bremen im September 2016 für den Beitrag "Knowing Your AMS System's Limits: System Acceptance Region Exploration by Using Automated Model Refinement and Accelerated Simulation" mit dem Best-Paper-Award ausgezeichnet.

Motivation

Die Arbeit wurde im Clusterforschungsprojekt ANCONA* (Analog-Coverage in der Nanoelektronik) entwickelt. Gemeinsam mit fünf Universitäten und Forschungseinrichtungen erarbeitet das IMMS in ANCONA rechnergestützte Verifikationsmethoden, die den Entwurf analog/digitaler Schaltungen erleichtern und deutlich beschleunigen sollen. Solche Schaltungen sind die technologische Basis für das „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“. Das Zusammenspiel von hierfür neuentwickelten Systemkomponenten und deren parasitären Interaktionen, z.B. über die Versorgungsspannung, kann bislang meist erst im Versuchsaufbau getestet werden.

Lösungsansatz und Beitrag des IMMS

Daher erarbeiten die Projektpartner rechnergestützte Verfahren, um die korrekte Funktion der komplexen Systeme schon während des Entwurfs zuverlässig nachzuweisen. Das IMMS entwickelt hierfür spezialisierte Methoden, mit denen Modelle für gemischt analog-digitale Schaltungen auf Systemebene automatisch erweitert werden, um einerseits Akzeptanzregionen, in denen das System sicher funktioniert, zu identifizieren und andererseits Bereiche für kritische Szenarien ausfindig zu machen. Der in Bremen vorgestellte und prämierte Ansatz war Thema eines Fachartikels im Jahresbericht 2015.

Mehr zu

ANCONA auf

www.imms.de.

Zum ANCONA-

Fachartikel auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016



In Green-ISAS durchgeführte Voruntersuchungen für Energy-Harvester, die Sensorik in Industrieanlagen mit Energie versorgen sollen. Foto: IMMS.

Projektstart: Forschergruppe Green-ISAS* erarbeitet Grundlagentechnologien für autonome Industrie-4.0-konforme Sensor/Aktor-Systeme

Hochleistungsfähige, intelligente und autonome Sensor/Aktor-Systeme sind ein Schlüssel zu vielfältigen Industrie-4.0-Anwendungen. In dem im November 2016 begonnenen Projekt Green-ISAS erforscht und entwickelt das IMMS mit der TU Ilmenau dazu breit einsetzbare Basislösungen.

Module und Methoden

Durch die Verknüpfung von Basismodulen sollen sich neue Systeme effizient entwerfen, aufbauen, testen und betreiben lassen. Um künftig anwendungsorientierte Lösungen entwickeln zu können, werden in Green-ISAS Entwurfs- und Testmethoden sowie modulare Hard- und Software-Komponenten als technologische Grundlagen erarbeitet.

Demonstratoren zur Validierung

Ansätze für eine hohe Eigenintelligenz, Vernetzung und Energieautarkie dieser Systeme sollen in neuartiger Weise zusammengeführt und mittels zweier Demonstratoren validiert werden. Hierfür sollen Forschungsaspekte der Mikroelektronik und Mechatronik mit der Informationstechnik grundlegend verbunden werden. Durch eine ganzheitliche Betrachtung der Sensor/Aktor-Systeme und des Wechselspiels ihrer Komponenten sollen technologische Barrieren einzelner Systemelemente überwunden werden.

Forschungsschwerpunkte in Green-ISAS sind CMOS-basierte Ultra-Low-Power-Smart-Sensoren, passive Long-Range-UHF-RFID-Frontends, elektromagnetische Mikro-Energy-Harvester sowie Hardware- und Software-Lösungen für adaptives und verteiltes Energie-Management in Sensor/Aktor-Systemen.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Projektstart von "fast realtime"*: Echtzeitlösungen für intelligente Transportsysteme

In „fast realtime“ arbeitet das IMMS seit 2016 als einer von neun Projektpartnern an Grundprinzipien und Schlüsseltechnologien, um verteilte Sensor-Aktor-Systeme für Echtzeitanwendungen fit zu machen. Damit werden innovative Entwicklungen unter anderem für die Industrieautomation und für intelligente Transportsysteme erst möglich. Die Partner verfolgen verschiedene Wege zu echtzeitfähigen Systemen und setzen diese exemplarisch in drei Demonstrator-Szenarien um.

Die Überwachung der Waggons eines Güterzuges ist eines dieser Szenarien. Das IMMS entwickelt hierfür ein Funksensornetz, mit dem Daten erfasst, verarbeitet und in Echtzeit übertragen werden können. Außerdem erarbeitet das Institut als methodischen Beitrag allgemeine Entwurfsrichtlinien für ein neuartiges Systemdesign.

Darüber hinaus entwickelt das IMMS einen Technologiebaustein, um Verzögerungen bei der Datenübertragung, sog. Latenzen, zu minimieren, damit die beteiligten Systeme strengerer zeitlichen Anforderungen genügen. Hierfür optimiert das Institut Kommunikationsstapel (Stacks) in Linux-Echtzeitsystemen.

Prototyp eines Sensorknotens für ein latenzarmes Zug-Monitoring mit lokalem Funksensornetz, an dem das IMMS im Projekt "fast realtime" arbeitet.

Foto: IMMS.



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Für Echtzeitsysteme wird vor allem in der Industrie zunehmend Linux als Betriebssystem eingesetzt. Auf einem solchen Echtzeitsystem werden Daten meist über einen Protokollstapel ausgegeben oder eingelesen und durchlaufen dabei verschiedene Schichten, wie z.B. Anwendungs-, Transport-, Internet- und Netz-Zugangsschichten im Internetprotokoll TCP/IP.

Hierbei entstehen Verzögerungen (Latenzen) durch Pufferungsvorgänge, dynamische Speicheranforderungen und eventuell durch die Verarbeitung mehrerer paralleler Datenströme. Dadurch können die Echtzeiteigenschaften des Gesamtsystems negativ beeinflusst werden.

Das IMMS untersucht Verfahren, um diese Verzögerungen zu messen und zu charakterisieren und in einem weiteren Schritt vermeidbare Latenzen zu eliminieren.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

„fast realtime“: Güterzüge in Echtzeit überwachen

Sensorik, Ortung und Zustandsüberwachung sollen Innovationen im Schienengüterverkehr ins Rollen bringen. Beispielsweise lassen sich die Daten, die für die Freigabe von Streckenabschnitten benötigt und derzeit mit wartungsaufwändiger Infrastruktur entlang der Trassen erhoben werden, in den Zügen selbst ermitteln.

Dank im Zug integrierter, vernetzter Systeme sollen Positionen und Laufzeiten von Waggons erfasst, der Zug auf Vollständigkeit kontrolliert, automatische Kopplungen von Wagen ermöglicht sowie Fracht und Räder überwacht werden. Zu diesem Zweck liefern derzeitige Systeme Daten für jeden einzelnen Waggon per Mobilfunk direkt an eine externe zentrale Kontrollinstanz.

Im Projekt fast realtime wird ein erweiterter Ansatz untersucht. Hier werden die einzelnen Waggons über ein lokales Funksensornetz als zuginterne Monitoring-Anwendung verbunden, für die keine Mobilfunkverbindung notwendig ist.

Das IMMS realisiert den Prototyp für das zuginterne Funksensornetz. Dieses soll kontinuierlich Daten zwischen jeweils benachbarten Waggons latenzarm, störungssicher und bidirektional über den gesamten Zugverband austauschen, die Wagen überwachen und deren Reihung sowie Vollständigkeit ermitteln.

Für übergeordnete Anwendungen im Streckennetz soll das Sensornetz per Mobilfunk an einen geo-lokalen, auf Signallaufzeit optimierten Cloud-Dienst angebunden werden, um auch extern Zustandsänderungen und Ereignisse zu kontrollieren, zu bewerten und bei Bedarf automatisch Aktivitäten auszulösen.



Das Nachrüsten drahtloser Sensorik ist einer von vielen möglichen Schritten, Industrie-4.0-Technologien einzuführen.

Foto: IMMS.

Mittelstand-Digital



Gefördert durch:
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

30

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

IMMS Teil des 2016 gegründeten Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau*

Seit Oktober 2016 unterstützt das IMMS Firmen dabei, Industrie-4.0-Technologien schrittweise einzuführen. Um die steigende Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten und Dienstleistungen bedienen und im Wettbewerb bestehen zu können, müssen kleine und mittelständische Unternehmen ihre Prozesse optimieren und ihre Kräfte bündeln. Das Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0 in Ilmenau unterstützt daher KMU bei der Einführung von Digitalisierungs- und Industrie-4.0-Lösungen. Mit diesen sollen alle Wertschöpfungs- und Geschäftsprozesse von der Produktentwicklung bis zur Fertigung in Wertschöpfungsnetzwerken flexibilisiert und optimiert werden.

In dem für drei Jahre vom BMWi geförderten Kompetenzzentrum unter der Leitung der TU Ilmenau bieten fünf Partner als Modellfabriken Informationen, Lösungsansätze und deren Erprobung für Unternehmen an. Die Modellfabriken decken Themen von der Vernetzung von Maschinen und Produktionsprozessen, von 3D-Druck und individualisierter Produktion über die Prozessdatengenerierung und den -transfer sowie die Produktionssteuerung und Leitsysteme bis hin zur Migration ab.

Beitrag des IMMS als „Modellfabrik Migration“

Das IMMS unterstützt Firmen bei der schrittweisen Einführung von Industrie-4.0-Technologien. Konkret lassen sich beispielsweise Maschinen und Anlagen durch drahtlose und vernetzte Sensorik nachrüsten und damit Daten für die Entwicklung von innovativen Diagnose-, Wartungs- und Servicekonzepten ermitteln und verarbeiten. Durch universelle Elektronikplattformen für Industrie-4.0-Komponenten und durch Open-Source-Software lassen sich echtzeitfähige Lösungsansätze schnell und kostengünstig realisieren.

Mehr zu Mittelstand 4.0 auf www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016



Smarte Jacke mit gestrickten Schaltflächen und energieeffizienter, waschbarer Elektronik als Alltagshelfer

Dieser Tischaufbau mit Steckbrett wurde genutzt, um die Elektronik der smarten Jacke prinzipiell zu testen, insbesondere die Ansteuerung der Gegenstellen über textile Schaltflächen und die Konfiguration via Smartphone. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Der Griff zur Fernbedienung ist für die meisten von uns selbstverständlich. Hat man buchstäblich alle Hände voll zu tun – oder eben gerade nicht, weil man wegen eines Unfalls, einer Krankheit, einer Behinderung oder aus Altersgründen motorisch eingeschränkt ist – kann ein kleiner Knopf eine große Hürde sein. Würde jedoch eine einfache Armbewegung gegen den eigenen Körper, eine Stuhllehne oder ein anderes festes Objekt ausreichen, um Maschinen, Beleuchtung, Möbel oder Spiele zu steuern, so könnte dies den Alltag erleichtern und beispielsweise auch in der Industrie die Maschinenbedienung ergänzen.

Vor diesem Hintergrund haben die Strick Zella GmbH & Co. KG, die ITP GmbH Weimar und das IMMS den Prototyp für eine smarte Funktionskleidung entwickelt, die man als Universalfernbedienung am Körper trägt. Am Jackenärmel dieses Prototyps sitzen drei gestrickte, farbig markierte Schaltflächen aus elektrisch leitfähigem Garn. Diese Flächen werden durch ein Abstandsgewirk dreidimensional strukturiert, sind dadurch elastisch verformbar und gewährleisten damit eine haptische Rückmeldung beim Be-



Abbildung 1:

Version einer gestrickten Schaltfläche aus elektrisch leitfähigem Garn mit Abstandsgewirk. Foto: IMMS.

dienen, vgl.

Abbildung 1. Wird ein

solcher textiler Taster so stark gedrückt, dass sich die elektrisch leitfähigen Flächen berühren, verarbeitet die Elektronik in der Jacke das entstehende Signal und sendet einen Schaltbefehl per Funk über eine Distanz von bis zu 30 Metern zu Empfängern.

Per Smartphone lassen sich Schaltflächen individuell zu Funktionen verschiedenster Empfänger festlegen. Die Funktionskleidung ist inklusive Elektronik und Batterie bis zu 60°C waschbar und läuft ohne Batteriewechsel bis zu 3 Jahre. Derartige Systeme sind derzeit nicht am Markt erhältlich.

Die gestrickten Schaltflächen, die textile Verdrahtung, die Pflegeanforderungen und das Jackendesign wurden von der Strick Zella GmbH bearbeitet. Der wasserdichte Verguss der Elektronik wurde durch die ITP GmbH realisiert. Das IMMS hat die energieeffiziente Elektronik konzipiert, entwickelt und integriert, dafür sparsame Komponenten gezielt ausgewählt und deren Zusammenspiel optimiert. Damit einhergehend hat das Institut Lösungen für die Energieversorgung, die Funkstrecke und die Konfiguration entwickelt. Die Arbeitsergebnisse der Strick Zella GmbH wurden inzwischen zum Patent angemeldet. Die Lösung wird unter dem Namen Knitty-Fi beworben und soll mit dem IMMS zur Serienreife weiterentwickelt werden.

Infos und TV-

Beitrag zum

Projekt auf

www.imms.de.

Die Lösung im Detail – Beitrag des IMMS

Lösungen für die textile Anwendung

Unterscheidung von Ruhezustand und Bedienung bei variablem Klima

Das IMMS hat untersucht, inwieweit Temperatur und Feuchtigkeit den elektrischen Widerstand der gestrickten Schaltflächen beeinflussen und damit die Unterscheidung von Ruhezustand und Bedienung erschweren können. Hierzu wurde eine Hard- und Software entwickelt, mit der sich Stricktaster automatisiert betätigen und gleich-

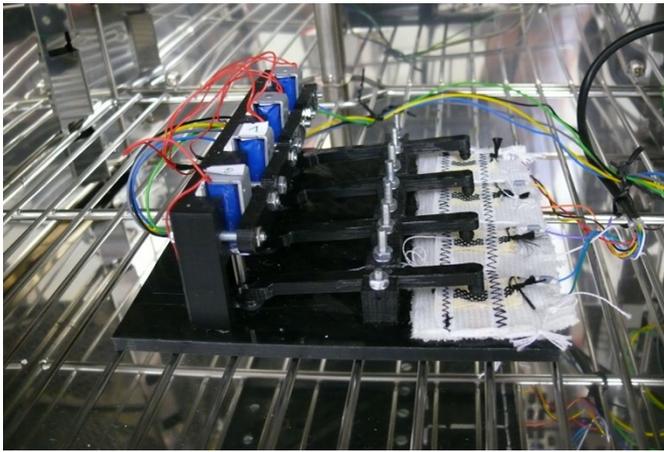


Abbildung 2:

Mit diesem Testaufbau wurden bei unterschiedlichen Bedingungen in einer Klimakammer automatisierte Untersuchungen der Widerstandsänderungen beim Betätigen textiler Schaltflächen vorgenommen. Die Abbildung zeigt die erste Version der textilen Taster.

Foto: IMMS.

zeitig deren Widerstandsänderungen messen lassen, vgl. Abbildung 2. Mit diesem Aufbau wurden in einer Klimakammer Daten bei verschiedenen Temperatur- und Luftfeuchtekombinationen von -20°C bis 50°C und 0% bis 80% für jeweils vier mal 100 Tasterbetätigungen erfasst. Im Ergebnis zeigt sich, dass sich die Schaltzustände durch signifikant unterschiedliche Widerstandswerte über den gesamten Messbereich sicher erkennen lassen. So wurde im gedrückten Zustand ein mittlerer Wert von etwa $15\text{ k}\Omega$ ermittelt, im nicht gedrückten Zustand steigt er auf ca. $500\text{ M}\Omega$. Mit einem Schwellwert von etwa $1\text{ M}\Omega$ lassen sich die beiden Zustände trotz der Schwankungen durch Klimaeinflüsse und Materialtoleranzen separieren.

Eine Ausnahme bildet eine Luftfeuchtigkeit von 100%. Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Zuständen gemessen werden. Das heißt, im durchnässten Zustand ist die Jacke nicht funktionsfähig.

Begrenzung der Störeinflüsse auf die Schaltung

Die Polymerfäden sind neben klimatischen auch elektrostatischen Störungen ausgesetzt, da diese Fäden nicht geschirmt sind. Daher wurden Maßnahmen ergriffen, um die Störeinflüsse auf die Schaltung zu begrenzen. Neben isolierendem Garn und Textil verhindern Kondensatoren am Eingang der Auswerteelektronik Störungen, die durch den Hautkontakt mit dem Träger entstehen können.

Kontaktierung der Fäden

Da die eingesetzten Polymerfäden nicht hitzebeständig sind, können sie nicht durch Löten oder Schweißen mit der Leiterplatte verbunden werden. Deshalb wurden die Fäden über Kontaktlöcher in der Platine verknotet und mit Leitlack und dem Vergussmaterial fixiert, vgl. Abbildung 4. Für spätere industrielle Weiterentwicklungen

kommen andere Möglichkeiten für die Kontaktierung der Leiterplatte, wie z.B. Inter-
mingling-Verfahren, in Betracht.

Darüber hinaus hat das IMMS unterschiedliche Versionen der Schaltflächen, vgl.
Abbildung 1 und Abbildung 2, mit voneinander abweichenden elektrischen Eigen-
schaften untersucht. Die Elektronik wurde so im Projektverlauf auf den jeweiligen
Entwicklungsstand der Strick Zella GmbH angepasst.

Testmessungen für die Funkstrecke

Für eine energieeffiziente Kommunikation hat das IMMS auf den Standard IEEE
802.15.4 gesetzt. Dieser erlaubt Lösungen mit sehr geringer Leistungsaufnahme und
damit langer Batterielebensdauer. Darüber hinaus können damit lizenzfreie Bänder
für Hochfrequenzgeräte genutzt werden. Ein paralleler Betrieb mit anderen Sendern
auf diesen Frequenzen, insbesondere mit WLAN und Bluetooth, ist ebenso möglich.

Nach der Festlegung des Protokolls hat das IMMS Testmessungen für die Funk-
strecke vorgenommen, um Unterschiede in der Reichweite und der Paketverluste
bei den möglichen Frequenzbändern 868 MHz und 2,4 GHz in der konkreten An-
wendung zu identifizieren. Die Versuche wurden mit in der Kleidung eingebrachten
Sendern am Körper, einem Empfänger auf einem Stativ in Entfernungen von 10 m,
20 m und 30 m sowie mit unterschiedlichen Körperausrichtungen von 0° bis 315°
relativ zum Empfänger in 45°-Schritten sowie verschiedenen Antennenstrukturen
auf Sender- und Empfängerseite durchgeführt. Abbildung 3 zeigt, dass bei bestimm-
ten Konfigurationen Pakete verloren gehen, dies jedoch durch eine kleine Anzahl
an Sendewiederholungen kompensiert und damit die erfolgreiche Übertragung der
Schaltinformation gewährleistet werden kann.

Abbildung 3:

Funk- distanz:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
30 m	0 0,00 0,04	0 0,01 0,10	0 0,03 0,68	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,06	0 0,01 0,12
20 m	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00
10 m	0 0,00 0,00	1 0,03 0,30	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,04	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00
	Körperausrichtung des Jackenträgers							

maximale ANZAHL der
Wiederholungen je Paket
für 99% der Messungen
(0,99-Quantil)
arithmetischer MITTELWERT
der Wiederholungen
je Paket
STANDARDABWEICHUNG der
Wiederholungen je Paket

Bei den Testmessungen mussten nur sehr selten Funkpakete mehrfach gesendet werden. Die Bei-
spielstatistik zeigt Sendewiederholungen für ein seitlich am Körper getragenes 2,4-GHz-Funkmodul
mit Chipantenne. Insgesamt wurden 288 Konfigurationen untersucht aus 6 Kombinationen von
Funkmodulen und Antennen, 2 Senderpositionen, 3 Funkdistanzen und 8 Körperausrichtungen. Für
jede Konfiguration wurde binnen 60 s ca. alle 100 ms ein Paket vom Sender in der Jacke zu einem
Empfänger gesandt. Nach der Empfangsbestätigung wurde das Paket jeweils geändert und die An-
zahl der Wiederholungen bis zur erfolgreichen Übertragung vermerkt. Quelle: IMMS.

Beide Bänder erwiesen sich als grundsätzlich geeignet, um im Freifeld eine Reichweite von bis zu 30 m zu erreichen. Ausgewählt wurde das 2,4-GHz-Band, da die verfügbaren Funkmodule mit sehr geringem Ruhestrom mehr Energieeffizienz im System ermöglichen. Zudem sind 2,4-GHz-Antennen klein und lassen sich gut in Kleidung einarbeiten. Darüber hinaus kann dieses Frequenzband weltweit genutzt werden.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

Hardware

Elektronik für das Senden der Schaltbefehle

Mit Blick auf Funkstandard, Energieverbrauch, Schnittstellen und Betriebssystem wurde ein Funkmodul mit integriertem Transceiver der Firma Dresden Elektronik (Typ deRFmega256-23Moo) ausgewählt. Für diese Elektronik hat das IMMS eine Leiterplatte mit kleiner Grundfläche und Kontaktierungspunkten für vier textile Schaltflächen entworfen und realisiert, siehe Abbildung 4. Die gewünschte Reichweite von 30 Metern zwischen gestrickter Fernbedienung und Empfangseinheit wird bereits mit der Standard-Chip-Antenne auf dem Funkmodul erreicht, so dass keine Antennenanpassungen vorgenommen werden mussten.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Elektronik für die Konfiguration per Smartphone

Um mit NFC¹-fähigen Smartphones festlegen zu können, mit welcher Schaltfläche welche Funktionen welches Empfängers in Gang gesetzt werden sollen, wurde die Elektronik mit einer NFC-Antenne und einem NFC-Speicherbaustein ausgerüstet. Hierfür wurden verschiedene Leiterplattenspulen entworfen und kommerziell verfügbare Spulen verglichen. Nach einer messtechnischen Charakterisierung sowie zusätzli-

¹ *Near Field Communication, Nahfeldkommunikation; internationaler Übertragungsstandard auf RFID-Basis, mit dem Daten über Strecken von wenigen Zentimetern drahtlos ausgetauscht werden.*

Abbildung 4:
Am IMMS entwickelte
Hardware für die
gestrickte Fernbedienung.
Fotos: IMMS.



chen Reichweitentests mit einem NFC-Lesegerät wurde eine geeignete Leiterplatten-spule bestimmt. Mit diesem Spulenmodell wurden ebenfalls die Empfänger ausge-rüstet, damit sie per NFC erfasst und den Stricktastern zugeordnet werden können. Zum Anschluss der gestrickten Schaltflächen und zusätzlich notwendiger Sensorik sind auf der Leiterplatte Schnittstellen wie ADC und I²C verfügbar.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

Waschbarkeit

Die Elektronik und die Batterie sind für den Bereich von -40°C bis +85°C spezifi-ziert. Die Vergussmasse und die Polymerfäden sind korrosionsbeständig. Beides ist für die Waschbarkeit des Gesamtsystems unabdingbare Voraussetzung. Mechanisch wird die Lösung durch das Vernähen der Polymerfäden mit dem Textil, elastisches Vergussmaterial und das Verstauen der Elektronik in einer geschlossenen Tasche geschützt.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Um die Waschbarkeit der Kleidung mit allen Komponenten zu gewährleisten, ent-wickelte der Projektpartner ITP ein Gehäusekonzept, bei dem Elektronik und die Batterie in zwei flexibel miteinander verbundenen Kammern wasserdicht vergossen werden. Erneute Reichweitentests des IMMS mit Stativen in Abständen von 10 m, 20 m und 30 m mit je 1000 Paketsendungen ergaben, dass beim Senden mit dem vergossenen Prototyp keine Pakete wiederholt werden mussten und die Signalgüte im Mittel annähernd optimal war.

Firmware und Programmierung

Das Sensornetz-Betriebssystem TinyOS wurde auf die ausgewählte Hardware por-tiert, um die Entwicklung der Firmware für Kommunikation und Konfiguration zu be-schleunigen. Aufbauend auf einer Recherche zu gängigen Verfahren wurde ein Funk-protokoll auf Anwendungsebene entwickelt und implementiert. Dieses unterstützt auch eine einfache Repeater-Funktion zur Reichweitenvergrößerung. Des Weiteren beinhaltet es die eigentlichen Steuerungsfunktionen auf Anwendungsebene. Um die Kommunikation zwischen der Elektronik in der Kleidung und den Empfängern ad-äquat abzusichern, wurde das Funkprotokoll erweitert. Neben einer Integritätssiche-rung bietet es Schutz vor wiederholtem Einspielen von Schaltkommandos.

Um Schaltflächen Funktionen zuzuweisen und einen individuellen Netzwerkschlüs-sel via NFC-Schnittstelle zu übermitteln, wurde die Software parametrierbar ausge-legt und eine Smartphone-App entwickelt.

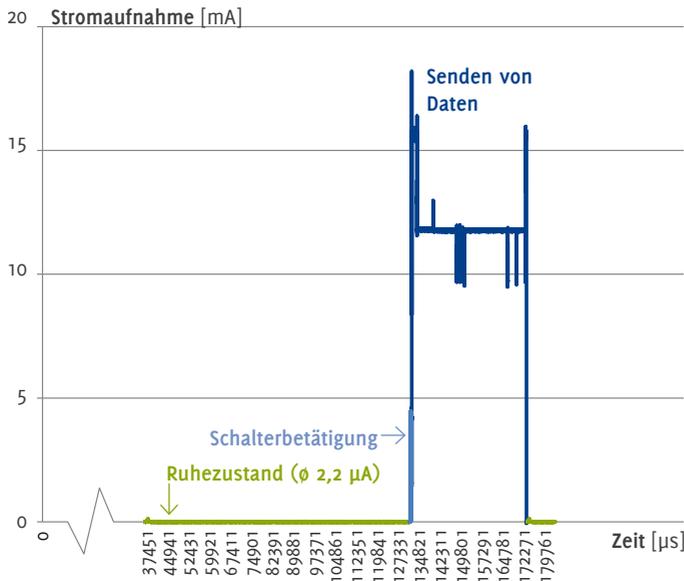


Abbildung 6:

Beispiel für eine der durchgeführten Energiebedarfsmessungen für Ruhezustand, Schaltflächenbetätigung und Funkkommunikation.

Von der Stromaufnahme wurde alle 102,4 Mikrosekunden ein Wert aufgezeichnet, hier dargestellt in Milliampere.

Grafik: IMMS.

Energiemanagement

Energiebedarfsmessungen

Um eine Auswahl für geeignete Batterien treffen zu können, wurden zunächst die Energieaufnahme des Systems für verschiedene Szenarien geschätzt. Entwicklungsbegleitend wurden Energiebedarfsmessungen durchgeführt. Diese umfassen die wesentlichen Betriebsphasen: Zuordnung von Schaltflächen zu Gegenstellen, Ruhe und Schaltflächenbetätigung mit Funkkommunikation, siehe Abbildung 6.

Geht man von vorgegebenen 60 Schalthandlungen pro Tag aus und nimmt an, dass Taster sehr viel seltener konfiguriert als betätigt werden, ergibt sich bezogen auf die angestrebte Laufzeit von bis zu 3 Jahren bei der aktuell eingesetzten Batterie ein Kapazitätsüberschuss. Dieser kann z.B. genutzt werden, um zusätzliche Sensorik nachzurüsten.

Energieeffizientes Zusammenspiel von Hard- und Software

Die lange Laufzeit der Elektronik wurde dadurch erreicht, dass zum einen besonders sparsame Hardware ausgewählt wurde. Zum anderen hat das IMMS Auswerteschaltung und Firmware darauf ausgelegt, das Funkmodul bei jeder Betriebsphase in einem energetisch günstigen Zustand zu betreiben.

So befindet sich das Gesamtsystem unter der Annahme von etwa 60 Schalthandlungen am Tag die meiste Zeit im Tiefschlaf-Modus mit einer Stromaufnahme von etwa 2,2 µA. Nur beim Drücken eines textilen Tasters oder bei Konfiguration per

NFC wird die Elektronik aufgeweckt. Nach Auswertung des Tastendrucks tauschen Elektronik und Empfänger Pakete zur Umsetzung der Schaltanforderung aus. Danach wird das System wieder in den Tiefschlaf versetzt. Die zeitliche Obergrenze für den gesamten Vorgang liegt momentan bei 100 ms. Damit ist das Gesamtsystem pro Tag nur etwa sechs Sekunden aktiv.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

Ausblick

Die beschriebene Lösung wurde prototypisch umgesetzt und soll zur Serienreife und ggf. für andere Anwendungen weiterentwickelt werden. Hierfür sind u.a. Langzeit-Tests unter verschiedenen mechanischen Belastungen notwendig. Das gilt insbesondere bei der für Robustheit und Betriebssicherheit kritischen Verbindung von Elektronik mit leitfähigen Polymerfäden, die beim Prototyp verknotet und mit Leitlack und Vergussmaterial fixiert werden. Ein Redesign der Leiterplatte mit größeren Abständen zwischen den Kontakten für die Polymerfäden ist ein weiterer Punkt, um das Gesamtsystem robuster zu gestalten. Je nach Anwendung sollten auch entsprechende Lösungen für eine Nass- und Trageerkennung über das Versuchsstadium hinaus weiterentwickelt werden.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Infos und TV-

Beitrag zum

Projekt auf

www.imms.de.

Kontakt: Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther, tino.hutschenreuther@imms.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Zentrales
Innovationsprogramm
Mittelstand

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt Smart Jacket wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) als Kooperationsprojekt unter dem Kennzeichen KF2534511CJ4 gefördert.



ENTOMATIC

Automatisches
Monitoring von
Olivenfliegen

für mehr Ernte
und weniger
Pestizide

Abbildung 1: Insektenfallen wie diese vom Typ McPhail sind Teil eines Systems zum Monitoring von Olivenfliegen. Foto: Nutesca S.L., Spanien.

Problem

In den Olivenplantagen Europas entstehen jährlich ca. 600 Euro pro Hektar Verlust durch Olivenfliegen. Auf den ca. 4,4 Millionen Hektar Olivenhainen der EU¹ vernichten diese Insekten demnach jedes Jahr ca. 2,6 Milliarden Euro. Das entspricht ca. 30% aller mediterranen Olivenkulturen, gebietsweise werden diese nahezu vollständig zerstört.² Der wirtschaftliche Schaden verteilt sich auf etwa 2,5 Millionen Erzeuger, das sind ca. ein Drittel der EU-Landwirte.³ Hauptziel der EU-Olivenöl-Marktpolitik ist es, die Produktion eines hochwertigen Öls zugunsten von Erzeugern, Verarbeitern, Händlern und Verbrauchern zu fördern. Mit den dazu aufgewendeten 2,3 Milliarden EUR pro Jahr⁴ werden allerdings nicht einmal die genannten Verluste kompensiert.

Infos und Video
zu ENTOMATIC:
www.imms.de

Weibliche *Bactrocera oleae* legen bis zu 400 Eier in mehreren Oliven ab und leben bei optimalen Temperaturen ein halbes Jahr.⁵ Bekämpft werden sie mit Bodenködern

¹ Data from the European Commission, Directorate-General for Agriculture (<http://europa.eu.int/comm/agriculture>)

² Marshall Johnson, Olive Fruit Fly, *Bactrocera oleae*. Center for Invasive Species Research, University of California Riverside, 2010

³ IOOC, "Olive oil in the world market", OLIVAE No. 103, June 2005

⁴ International Olive Oil Council (2005). World Olive Oil Figures

⁵ Economopoulos AP, Giannakakis A, Tzanakakis ME, Voyadjoglou AV. 1971. Reproductive behavior and physiology of the olive fruit fly. 1. Anatomy of the adult rectum and odors emitted by adults. *Annals of the Entomological Society of America* 64: 1112-1116.

und Pestizid-Sprays für jährlich etwa 5 Mrd. € in der EU.⁶ Bauernverbände schätzen, dass Pestizide um mehr als 30% überdosiert werden. Die Ursache hierfür ist, dass der Fliegenbefall bisher stichprobenweise erhoben wird, indem Fliegenfallen durch sehr viel Personal in den Olivenhainen in z.T. unwegsamem Gelände verteilt und pro Falle regelmäßig Fliegen manuell ausgezählt werden, um kritische Häufungen zu ermitteln. Sichere und zeitgenaue Aussagen sind so nur eingeschränkt möglich. Folglich ist auch der optimale Zeitpunkt für die Schädlingsbekämpfung ungenau. Deshalb setzen die Bauern präventiv mehr Schädlingsbekämpfungsmittel ein, um ihre Ernte zu schützen, was allerdings eine unnötige Belastung durch Pestizide für die Ernte und die Umwelt bedeutet.⁷

Lösung

Im Projekt ENTOMATIC wurde ein neuartiges automatisches Monitoringsystem entwickelt. Es soll künftig helfen, kritische Konzentrationen von *Bactrocera oleae* in Olivenplantagen schnell und sicher zu ermitteln. Hierzu werden die bisher in Südeuropa am

weitesten verbreiteten herkömmlichen Fallen vom Typ McPhail (siehe Abbildung 1) mit einer Sensorik ausgestattet, die die Fliegen zuverlässig erkennt und zählt.

Diese neue ENTOMATIC-McPhail ist am besten für vergleichende Untersuchungen mit den alten Fallen geeignet und sollte am ehesten durch die Nutzer akzeptiert werden. Bei den Bauernorganisationen liegen für die konventionelle McPhail umfangreiche Erfahrungen vor.

Die neue Falle (Abbildung 2) detektiert die *Bactrocera oleae*, die in die Falle fliegen (1). Das geschieht mit einem opto-akustischen Sensorsystem an der Einflugöffnung (2). Mit Hilfe einer digitalen Signalverarbeitung werden die detektierten Audiosignale ausgewertet und ermittelt, ob es sich um eine *Bactrocera oleae* handelt und welches Geschlecht diese besitzt (3). Der in der Falle enthaltene Lockstoff

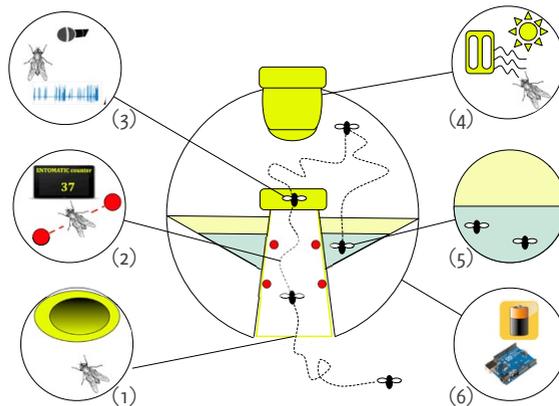


Abbildung 2: Funktionsschema des ENTOMATIC-Systems. Grafik: ENTOMATIC-Konsortium.

⁶ A. Valavanidis, Th. Vlachogianni. *Agricultural Pesticides Ecotoxicological Studies and Environmental Risk Assessment*. Department of Chemistry, University of Athens, University Campus Zografou, 15784 Athens, Greece, 2011.

⁷ Economopoulos A. P. (2002). *The olive fruit fly, Bactrocera (Dacus) oleae (Gmelin) (Diptera: Tephritidae): Its importance and control; previous SIT research and pilot testing*. Report to International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria; Michelakis S. (1990). *The olive fruit fly, Dacus oleae (Gmel.) in Crete, Greece*. *Acta Horticulturae* 286:371-374.



Abbildung 3: Funktionsprinzip für das vernetzte Monitoring von Olivenfliegen. Grafik: ENTOMATIC-Konsortium.

sorgt dafür, dass die Fliegen in der Falle bleiben (4). Dort ertrinken sie wie in der herkömmlichen McPhail (5).

Auf der Oberseite der Falle ist die Elektronik angebracht, die die Signalverarbeitung, Umweltsensoren, die Energieversorgung und die Vernetzung der Fallen untereinander beinhaltet (6).

Die über das lokale Netz der Fallen eines Olivenhaines gesammelten Daten und die dazugehörigen GPS-Positionen werden über ein Mobilfunk-Gateway an einen zentralen Leitrechner mit der Managementsoftware übertragen. Diese wertet die empfangenen Daten des aktuellen Befalls und der Verbreitung aus und visualisiert sie (vgl. Abbildung 3).

Vorhersagen zur künftigen Entwicklung und Weiterverbreitung der Olivenfruchtfliegenpopulation sind damit ebenso möglich. Mit all den Informationen lassen sich für jeden Olivenhain optimale Zeiten und Mengen für Pestizide ermitteln, um Schädlinge zu bekämpfen. Über die einzelnen Haine hinaus sollen die im Projekt entwickelte Sensorik, Elektronikhardware für Datenverarbeitung und Kommunikation, Gehäuse sowie Monitoring-Software so eingesetzt werden, dass künftig durch die Vernetzung verschiedener nationaler Systeme eine europaweit Frühwarnung erreicht werden kann.

Das IMMS hat für die Elektronikkomponenten mit opto-elektronischem Sensorsystem für das Zählen der Olivenfruchtfliegen, Vernetzung der Fallen und Gateway sowie für die Umweltsensorik spezielle Gehäuse entwickelt. Diese sind so gestaltet, dass sie die Komponenten vor Umwelteinflüssen, wie Regen, Staub und Sonneneinstrahlung, schützen und trotzdem einen einfachen Zugang für die Wartung, z.B. beim Auswechseln von Batterien, ermöglichen. Dafür wurde die McPhail entsprechend modifiziert und die Systemintegration der elektronischen Komponenten des Prototyps realisiert.



Abbildung 4:

Fertige Falle für die Feldtests, die 2017 durchgeführt werden.

Die neue Falle enthält Elektronikkomponenten mit opto-elektronischem Sensorsystem für das Zählen der Olivenfruchtfliegen, Vernetzung der Fallen und Gateway sowie Umweltsensorik.

Foto: IMMS.

Das IMMS hat darüber hinaus Beiträge für die Entwicklung und Fertigung der Sensorelektronik und der Elektronikkomponenten für die drahtlose Vernetzung der Fallen und des Mobilfunkgateways geliefert. Für Feldtests wurden durch das IMMS 25 ENTOMATIC-McPhails hergestellt und vormontiert. Die Komplettierung der modifizierten Prototypen mit der Sensorik erfolgte durch TEI Crete. Die ersten Feldtests beginnen im April 2017.

Infos und Video

zu *ENTOMATIC*:

www.imms.de

Kontakt: Dr.-Ing. Frank Spiller, frank.spiller@imms.de



Das Projekt ENTOMATIC wird unter dem Förderkennzeichen FP7-SME-2013-605073 im Rahmen des 7. Forschungsprogrammes „Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung bis zur angewandten Forschung“ durch die Europäische Union gefördert.

Das IMMS ist einer von zwölf Projektpartnern aus Spanien, Portugal, Griechenland, Frankreich, Belgien, der Türkei und Deutschland.

Website des Konsortiums: <https://entomatic.upf.edu>



Abbildung 1: Messkampagne mit der Empfangseinheit im September 2016 an der TU Ilmenau. Foto: Dr.-Ing. Ralf Stephan, TU Ilmenau.

Motivation und Überblick

Güter transportieren, Veranstaltungen überwachen, Gebäude vermessen, Felder und Arbeiten in der Landwirtschaft inspizieren – das sind nur einige Anwendungsfelder für mobile Systeme, wie z.B. Multicopter. Sollen in der Zukunft solche Systeme ohne menschliches Eingreifen in sicherheitskritischen Szenarien unterwegs sein, ist eine absolut genaue, ununterbrochene und robuste Navigation zwingend erforderlich. Das wird am Beispiel von zivilen unbemannten Fluggeräten deutlich. Nur durch präzises und ausfallsicheres Navigieren lassen sich vorgegebene Routen exakt verfolgen und dabei Kollisionen vermeiden, Flughöhen begrenzen, Flugverbotszonen ausweichen, eine Heimkehrfunktion sowie ein automatisches Landen bei einem Kommunikationsausfall realisieren und damit die gesetzlichen Vorgaben einhalten.

Kommerziell verfügbare Satellitennavigationsempfänger kommen wegen möglichen Ortungsfehlern oder -abbrüchen und wegen mangelnder Störsicherheit für autonomes und sicherheitskritisches Navigieren nicht in Betracht. Da Satellitensignale über eine Entfernung von über 20.000 km übertragen werden, kommen sie mit einer geringen Leistung an. Somit kann der Empfang durch Störsender, die um mehr als

das Hundertfache stärker als Satellitensignale sein können, bewusst beeinträchtigt werden. Darüber hinaus kann das Flugobjekt entführt werden.

Daher hatten das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die TU Ilmenau, die RWTH Aachen und das IMMS bereits von 2010 bis 2013 neue Konzepte, Technologien und Algorithmen erforscht, um adaptive Gruppenantennen zur störungsfreien Satellitennavigation kompakter zu gestalten. Solche Antennen erfüllen sehr hohe Anforderungen bezüglich der Störsicherheit, waren bis dato jedoch für den mobilen Einsatz zu groß und zu schwer. Die Partner haben eine Empfangseinheit realisiert, die nur ein Viertel so groß ist wie eine konventionelle Gruppenantenne mit gleicher Anzahl an Einzelelementen und die die Anwendbarkeit der entwickelten Verfahren demonstrierte. Das IMMS hatte die Empfänger-Frontend-Schaltung als Bindeglied zwischen der Gruppenantenne und der digitalen Auswerteelektronik entwickelt.

Im 2014 gestarteten Anschlussprojekt KOSERNA haben die o.g. Partner auf dieser Grundlage einen industriellen Prototyp mit der Firma Antennentechnik Bad Blankenburg GmbH aufgebaut und darüber hinaus an einer wesentlich genaueren und deutlich robusteren Weiterentwicklung der Empfangseinheit gearbeitet. Das IMMS hat für die neue und nochmals verkleinerte Empfangseinheit im Unterauftrag der TU Ilmenau die Frontend-Schaltungen erweitert und die neuen Konzepte auf ein zweites Frequenzband übertragen.

Die Neuentwicklung wurde 2016 im GATE in Aldenhoven (Automotive Galileo Test Environment) umfangreich geprüft. Testfahrten in realen Situationen lieferten gute Ergebnisse in verschiedenen Störszenarien, bei denen handelsübliche Standard-GPS-Geräte versagen.

Die Lösung im Detail

Rückblick auf die erste Entwicklung: Basis für den neuen Empfänger

Eine Markteintrittsbarriere für Navigationssysteme mit hochleistungsfähigen, robusten Komponenten ist deren Größe. So haben klassische Gruppenantennen mit vier Einzelstrahlern in quadratischer Anordnung bereits eine Kantenlänge von etwa 30 cm. Daher wurden im Vorprojekt zunächst die Komponenten für ein solches Antennenarray deutlich verkleinert.

Mehr zum Vor-

gängerprojekt:

www.imms.de

Wozu braucht man Gruppenantennen?

Die Kombination mehrerer Antennen ist zwingend notwendig, wenn Störsignale und reflektierte Signale für ein präzises Navigieren effektiv unterdrückt werden sollen. Ähnlich wie unser Gehirn über die Ohren die Richtung bestimmen kann, aus der ein Geräusch kommt, können Gruppenantennen mit einer nachfolgenden Signalauswertung Störsignale und deren Herkunftsrichtung erkennen und ausblenden. Erreicht wird das mit angepasster Elektronik und Algorithmen zur adaptiven Strahlformung und -steuerung. Damit lassen sich durch vier Kanäle bis zu drei Störer ausblenden.

Warum kann man Gruppenantennen nicht beliebig verkleinern?

Der Abstand zwischen gruppierten Einzelantennen entspricht üblicherweise etwa der halben Wellenlänge der Empfangssignale. Um solche Antennen zu miniaturisieren, müssen die Abstände der Einzelelemente verringert werden. Sind diese jedoch weniger als eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt, so steigt die Verkopplung der einzelnen Antennen stark an. Die Gruppenantenne verliert dadurch zunehmend ihre Richtcharakteristik und damit letztlich ihren ursprünglichen Zweck.

Wie sah die Lösung aus?

Dieses Grundproblem wurde bereits mit der seit 2013 vorliegenden Projektentwicklung gelöst: F&E-Ergebnis war eine auf 15 x 15 cm² verkleinerte Empfangseinheit für Satellitensignale mit vier Kanälen, mit einer Polarisierung und mit einem Empfangsband. Spezielle Entkoppel- und Anpassnetzwerke, die Empfängerschaltung und eine angepasste algorithmische Signalverarbeitung kompensieren die negativen Effekte der Verkopplung. Das IMMS hatte die Schaltung entwickelt, die die Satellitensignale rauscharm verstärkt und in einen Frequenzbereich bei 75 MHz umsetzt, wo sie direkt über einen Analog-Digital-Wandler digital aufbereitet, verarbeitet und ausgewertet werden.

Anforderungen an die neue Empfangseinheit

Wozu braucht man mehr Kanäle?

Das neue, 2014 in Angriff genommene Empfangssystem sollte eine wesentlich genauere Navigation ermöglichen, dabei unempfindlich gegenüber Störern, Interferenzen und Rauschen arbeiten und nochmals verkleinert werden. Die Empfangseinheit ist nach wie vor mit vier gruppierten Einzelantennen ausgestattet. Die Zahl der Kanäle wurde jedoch vervierfacht und damit die Anzahl der Freiheitsgrade von vier

auf 16 erhöht. Erreicht wird dies durch die Erweiterungen von einem auf zwei Empfangsbänder und von einer auf zwei Polarisierungen. Das erzeugt Redundanzen, die Ausfälle und Störungen ausgleichen können.

Mit dem zweiten Frequenzband für den Empfang von Galileo-E5a-Signalen erhöht sich die Anzahl der Empfangskanäle von vier auf acht. Für jedes der beiden Frequenzbänder wird der links- und rechtsdrehende zirkulare Signalanteil getrennt verarbeitet und damit die sog. Dualpolarisation erreicht. Die Kanalzahl verdoppelt sich dadurch auf 16.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Warum braucht man Dualpolarisation?

Satellitensignale sind durch eine rechtsdrehende zirkulare Polarisation der elektromagnetischen Wellen gekennzeichnet und breiten sich in der Atmosphäre normalerweise geradlinig aus. Bei tief über dem Horizont stehenden Satelliten kommen in der horizontal liegenden Empfangsantenne aber auch linksdrehende Signalanteile an. Ebenso wird bei Reflexionen die Polarisationsrichtung umgekehrt. Deshalb verarbeitet das neue Empfangssystem neben der rechtsdrehenden Standardpolarisation auch linksdrehende zirkulare Signale. Dadurch sinkt die Ausfallwahrscheinlichkeit.

Beitrag des IMMS

Vor allem die Vervierfachung der Anzahl der Kanäle bedeutete wesentlich komplexere und schärfere Anforderungen für die Entkoppel- und Anpassnetzwerke, die angepasste algorithmische Signalverarbeitung und damit auch für die Empfänger-Frontend-Schaltung, die das IMMS als Bindeglied zwischen Gruppenantenne und digitaler Auswerteelektronik erarbeitet hat. Die Entwicklung des IMMS beinhaltet eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) und eine Platine.

Die Größe der neuen Empfangseinheit sollte nochmals verkleinert werden auf 10 x 10 cm². Der Anschluss der Antennensignale erfolgte mittels einen Zentimeter breiten Standard-Steckverbindern für die 16 Kanäle mit 16 Ein- und 16 Ausgängen, die auf zwei Frontendplatinen verteilt werden (siehe Abb. 2). Kern der beiden Platinen ist jeweils der neuentwickelte ASIC.

Entwicklung des Frontend-ASIC

Die Empfangseinheit soll Störer unterdrücken können, die über 100 Mal stärker sind als das Satellitensignal. Dazu muss der gesamte Empfangskanal in einem großen Dynamikbereich eine hohe Linearität aufweisen.

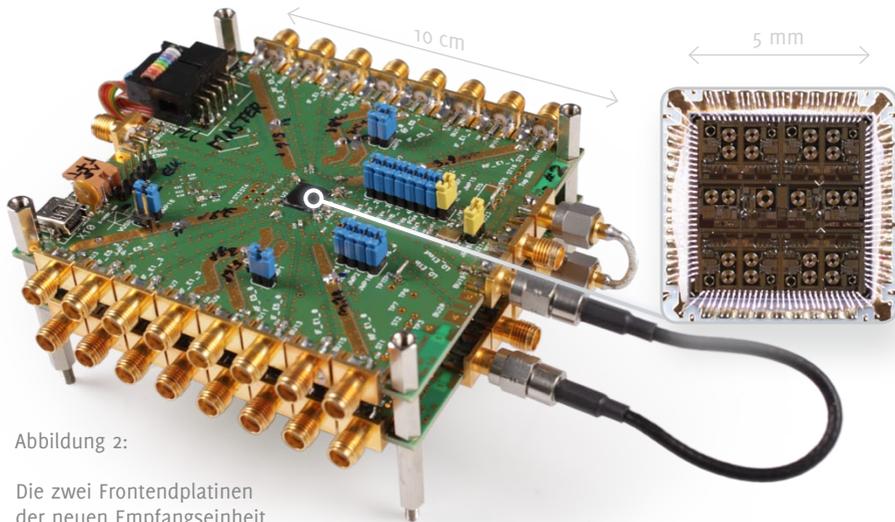


Abbildung 2:

Die zwei Frontendplatinen der neuen Empfangseinheit mit zwei SMA-Steckverbindern je Kanal können auf $10 \times 10 \text{ cm}^2$ Grundfläche unter der Gruppenantenne verbaut werden. In der Mitte der Platine sitzt jeweils ein ASIC ($5 \times 5 \text{ mm}^2$, Detail) als Chip-On-Board-Aufbau. Fotos: IMMS.

Die Empfänger-Frontend-Schaltung bereitet hierfür die schwachen und hochfrequenten Satellitensignale so auf, dass sie digital weiterverarbeitet und damit die Algorithmen zur Störunterdrückung durchlaufen können. Die Satellitensignale werden in der Frontend-Schaltung in ihrer Frequenzlage kohärent umgesetzt und verstärkt. Diese Verstärkung lässt sich in vier Stufen von 44 dB bis 80 dB einstellen. So wird eine Übersteuerung des nachfolgenden Digitalteils vermieden.

Im Gegensatz zum Vorgänger-Chip hat das IMMS jetzt zwei Frequenzbänder auf einem ASIC integriert. Da ein Übersprechen zwischen den Kanälen gering gehalten werden soll und der Platz auf dem ASIC begrenzt ist, wurde der Chip mit einer Isolation von 25 dB für acht Empfangskanäle optimiert. Die Kanäle werden hierfür zum einen räumlich und zum anderen durch unterschiedliche Zwischenfrequenzen gezielt getrennt. Von diesem ASIC werden zwei im Gesamtsystem verwendet, um die Signale der 16 Kanäle zu verarbeiten.

Um die kohärente Frequenzumsetzung mit einem gemeinsamen Lokoszillator zwischen den acht Pfaden je Frequenzband sicherzustellen, müssen die zwei identisch aufgebauten Chips auf den zwei Platinen interagieren. Auf dem Chip gibt es für jedes Frequenzband einen Frequenz-Synthesizer. Die Chips werden über eine digitale Schnittstelle (I²C) so flexibel konfiguriert, dass nur einer die Frequenz-Synthesizer-Funktion für beide übernimmt, die Lokoszillatoren erzeugt und an den zweiten

- > Smarte Jacke
- > ENTOMATIC
- > KOSERNA
- > HoTSens
- > INSPECT
- > AFiA

> Inhalt

* Förderung

Mehr zum Entwicklungsangebot des IMMS für ASICs: www.imms.de/ ASICs.

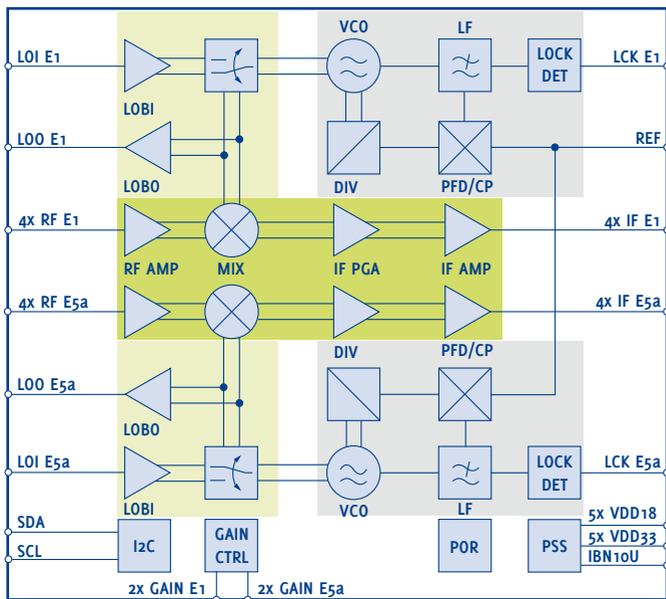


Abbildung 3:

Blockschaltbild des am IMMS entwickelten Empfänger-ICs. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind anstelle von jeweils vier Signalpfaden E1 und E5a nur ein Signalpfad E1 und E5a dargestellt.

■ Signalpfade

■ Lokaloszillatoren

■ Blöcke für den Master-/Slave-Betrieb

Grafik: IMMS.

Chip verteilt. Durch diesen Master-Slave-Betrieb ist die kohärente Frequenzumsetzung für alle Kanäle möglich.

Über die digitale I²C-Schnittstelle sind viele weitere Einstellmöglichkeiten vorhanden, um beispielsweise um Energiesparen ungenutzte Kanäle abzuschalten oder technologiebedingte Fertigungstoleranzen auszugleichen. Hierfür können die Verstärkungen der zusammengehörenden Kanäle eines Frequenzbandes auf einen Wert innerhalb einer Toleranzgrenze von ± 1 dB abgeglichen werden. Die gewünschte ASIC-Konfiguration wird beim Einschalten des Empfängers automatisch aus einem auf der Platine befindlichen Mikrokontroller geladen.

Entwicklung der Frontend-Platine

Das IMMS hat die Leiterplatten entwickelt, bestückt und in Betrieb genommen. Die ASICs mit je 119 Pins wurden als Chip-On-Board-Aufbau direkt auf die Platine geklebt, gebondet und vergossen.

Die beiden Platinen implementieren jeweils alle peripheren Komponenten, die für den Betrieb der beiden ASICs in der Empfangseinheit nötig sind. Darüber hinaus wurde die Platine so gestaltet, dass sie für die Charakterisierung des ASICs verwendet werden konnte.

Eine Platine stellt alle benötigten Versorgungsspannungen und einen Referenzoszillator bereit. Um die Satellitensignale von der Antenne zum Eingang des Frontend-ASICs verlustarm zu übertragen, müssen deren komplexe Widerstände aneinander

Mehr zum

Entwicklungs-

angebot des

IMMS für ASICs:

www.imms.de/

ASICs.

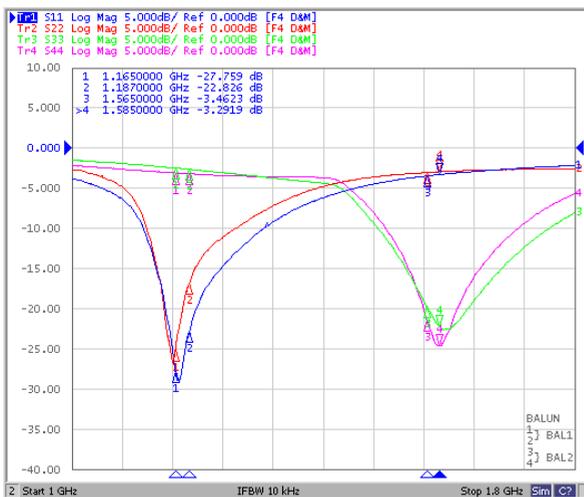


Abbildung 4:

Die Anpassung zur verlustarmen Signalübertragung von der Antenne zum Empfänger ist auf der Platine realisiert und wurde am Hochfrequenz-Messplatz des IMMS messtechnisch überprüft:

Die Minima in den Kurven für jeweils zwei Kanäle der Satellitenbänder E1 und E5A zeigen geringste Verluste bei der Signalübertragung.

Grafik: IMMS.

angepasst werden. Dies wird mit Leitungselementen und Kondensatoren auf der Platine realisiert und wurde durch S-Parameter Messungen mit einem vektoriiellen Netzwerkanalysator verifiziert (siehe Abb. 4). Damit werden geringstmögliche Übertragungsverluste in den beiden Satellitenbändern E1 und E5a erreicht, was durch die Minima in den Kurven im Diagramm dargestellt wird. Zusätzlich zeigen LEDs den aktuellen Status des analogen Frontends an.

Die Master-Platine enthält einen Mikrokontroller, der die Einstellungen beider ASICs lädt und die oben beschriebene Interaktion der beiden Chips zur kohärenten Frequenzumsetzung sicherstellt. Die oben genannten Stufen für die Verstärkung können über DIP-Schalter unabhängig für die beiden Frequenzbänder ausgewählt werden.

Charakterisierung und Test

Mit umfangreichen Messungen am IMMS wurde nachgewiesen, dass mit dem ASIC- und Platinen-Design alle Vorgaben erreicht oder übertroffen wurden. Der für die Unterdrückung von Störern notwendige große Dynamikbereich und die hohe Linearität wurden durch S-Parameter- und Großsignal-Messungen nachgewiesen: Die Gesamtverstärkung ist bis 80 dB einstellbar und das Ausgangssignal ist bis zu einer Leistung von 4 mW bzw. 1,5 Vpp linear zum Eingangssignal. Damit kann der nachfolgende Digitalteil optimal angesteuert werden.

Die ausreichende Eingangsempfindlichkeit des IMMS-Frontends wurde anhand von Messungen der Rauschzahlen der einzelnen Empfangskanäle nachgewiesen. Vergleichende Rauschmessungen fanden parallel dazu am Rauschmessplatz der TU Ilmenau statt und bestätigten die am IMMS ermittelten Messergebnisse.

Mehr zu Test und Charakterisierung auf www.imms.de.

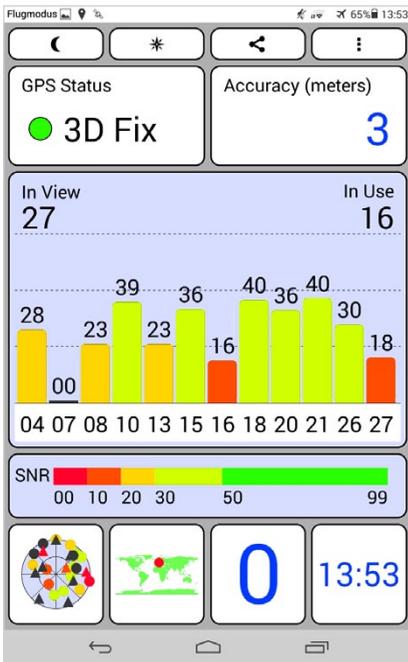


Abbildung 5. In einer abgeschirmten Messkammer des IMMS wurde die Qualität der Signalübertragung des Frontends zu einem handelsüblichen GPS-Gerät mit entsprechender App auf Android-Basis nachgewiesen: Es werden 16 Satelliten empfangen, deren Signale werden dekodiert und der Standort mit 3m Genauigkeit bestimmt. Grafik: IMMS.

Partner das gesamte Empfangssystem in beiden Polarisationsvarianten der Gruppenantenne auf korrekte Funktion für GPS-Signale getestet, siehe Abbildung 1.

Ausblick

Das vom IMMS entwickelte Frontend hat die hohen Anforderungen bezüglich Rauschen und Störfestigkeit erfüllt oder übertroffen. Bei den Testfahrten in realen Situationen im Oktober 2016 im GATE in Aldenhoven wurden mit dem Gesamtsystem die Ergebnisse bestätigt, Positionsgenauigkeiten von unter einem Meter erreicht und die Robustheit gegenüber Störern nachgewiesen.

Für eine Industrietauglichkeit des Frontends wären seitens des IMMS Anpassungen bezüglich der Aufbau- und Verbindungstechnik des ASICs notwendig. Zudem ließe sich die Platine nochmals kleiner und leichter gestalten. Das könnte z.B. erreicht werden durch kompaktere Stecker oder indem Funktionen von der Platine in den Chip verlagert werden.

Um die originalgetreue und verzerrungsfreie Frequenzumsetzung der Satellitensignale nachzuweisen, wurden die Ausgangssignale des Frontends mit einem speziellen Kalibrier-Board wieder in die originale Frequenzlage des E1-Bandes zurückgemischt. Diese Signale wurden dann in einer abgeschirmten Messkammer des IMMS abgestrahlt und mit einem Standard-GPS-Empfänger aufgenommen. Als GPS-Empfänger diente ein Android-Gerät mit der entsprechenden App zur Analyse der einzelnen Satellitensignale. Im dargestellten Beispiel wurde die Position mit einer Genauigkeit von drei Metern bestimmt, was als Nachweis der guten Signalqualität diente, vgl. Abb. 5.

In Kombination mit den Antennenarrays der TU Ilmenau haben bei einer Messkampagne im September 2016 die Ilmenauer

Darüber hinaus sind auf dieser Basis Weiterentwicklungen des Gesamtsystems u.a. für weitere Anwendungen möglich, wie z.B. für autonomes Fahren, die andere Randbedingungen und Anforderungen mit sich bringen.

51

- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFiA*

Kontakt: Dipl.-Ing. (FH) André Jäger, andre.jaeger@imms.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IMMS hat im Unterauftrag der Technischen Universität Ilmenau Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Projekt KOSERNA geleistet. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über den Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50 NA 1405 finanziert.

> *Inhalt*
* *Förderung*



Publikationen

S. IRTEZA, E. SCHÄFER, R. STEPHAN, A. HORNPOSTEL, and M. A. HEIN, “**Compact Antenna Array Receiver for Robust Satellite Navigation Systems,**” *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 7, no. 6, pp. 735–745, 2015.
DOI: dx.doi.org/10.1017/S1759078714000907.

Zum
Abstract via
www.imms.de.

S. IRTEZA, E. SCHÄFER, M. IBRAHEAM, B. BIESKE, R. STEPHAN, and M. A. HEIN, “**Beamforming in Compact Antenna Arrays for Robust Satellite Navigation,**” in *IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)*, Palm Beach, Aruba, Aug. 2014, Pages 528 – 531,
DOI: dx.doi.org/10.1109/APWC.2014.6905569

Zum
Abstract via
www.imms.de.



HoTSens

ASIC für hochgenaue Messungen bei 300°C
für effizientere Industrieanwendungen

Device-Messungen für einen ASIC, mit dem ein am IMMS entwickeltes Konzept für hochpräzise Messungen in Hochtemperaturumgebungen realisiert wurde. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Im Projekt HoTSens wurde eine integrierte Systemlösung für Sensorik und Elektronik entwickelt. Diese misst bei hohen Umgebungstemperaturen von bis zu 300 °C sehr genau Druck und Temperatur mit Abweichungen kleiner +/- 2%. Solche Sensorik ist dort erforderlich, wo unter außergewöhnlichen klimatischen Bedingungen in Industrieanlagen und Maschinen Daten erfasst werden müssen.

*Mehr zu
HoTSens unter
www.imms.de*

Bislang sind spezielle, für den Hochtemperatureinsatz ausgelegte integrierte Mikroelektronikschaltungen (ASICs) für eine maximale Betriebstemperatur von bis zu 225 °C erhältlich. Um zunehmend komplexer werdende Maschinen und Anlagen sicher und mit höchstmöglicher Ressourcen- und Energieeffizienz betreiben zu können, müssen die Maschinen- und Prozesszustände schnell, präzise und an vielen Stellen gleichzeitig erfasst werden. Je näher sich ein System aus Sensoren und Auswertungs-elektronik am Prozess befindet, desto störungsärmer und genauer können Signale erfasst und verarbeitet werden. Soll ein solches System jedoch näher zum Prozess vordringen, muss es immer höheren Temperaturen standhalten.

Jahresbericht

© IMMS 2016

Das neue Sensorsystemmodul mit integrierter Hochtemperaturelektronik verstärkt und kalibriert die primären Signale eines kombinierten Druck- und Temperatursensors, um mögliche Fehler des Drucksignals ausgleichen zu können.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Das IMMS hat Hochtemperatur-ASICs mit zeitkodierter Signalverarbeitung und Korrekturrechnungen für das System entwickelt, die ASICs getestet und charakterisiert. Hierfür hat das Institut zum einen ein Test-Setup mit integrierter Kühlung für einen kompletten halbautomatischen Wafertest bis 300°C und zum anderen eine hochpräzise Brückenersatzschaltung entwickelt, aufgebaut und erfolgreich eingesetzt.

Die Lösung im Detail: Analog oder Digital? Die Wahrheit liegt in der Mitte.

Problem: Große Temperatureinflüsse und kleine Messsignale

Gerade in Hochtemperaturumgebungen ergeben sich spezielle Herausforderungen an den Entwurf des Chips. Analogschaltungen sind nur bedingt einsetzbar, da sie zum Teil stark durch die Temperatur beeinflusst werden. Da sich die Materialeigenschaften des Chips über der Temperatur stark verändern können, kommt es folglich zu Abweichungen der Schaltungseigenschaften. Das Messsystem würde dadurch ungenau oder sogar irreversibel geschädigt.

Die Wheatstone-Messbrücke im genannten kombinierten Druck- und Temperatursensor gibt ein kleines Messsignal von 0...10mV aus. Hier wirken sich Temperatureinflüsse besonders stark aus, weil in der Regel Fehler, wie z.B. Eingangs-Offsets, diese Werte bereits übersteigen können. Diese Einflüsse vollständig durch Abgleichen zu korrigieren, ist extrem aufwendig, da auch die Korrekturschaltungen neue Abgleichmaßnahmen erfordern. Üblicherweise wird hier ein Analog/Digital-Wandler eingesetzt, um die weitere Verarbeitung digital vorzunehmen – auch das ist in diesem Umfeld nicht mit der geforderten, hohen Genauigkeit von +/- 2% Abweichung bezogen auf den Maximalwert möglich. Zudem würden die benötigten digitalen Schaltungen eine sehr große Chipfläche und komplexe Korrekturalgorithmen erfordern.

Lösung: Zeitkodierte Signale und Korrekturrechnungen

Deshalb wurde am IMMS ein neues Konzept auf der Grundlage zeitkodierter Signale erarbeitet (siehe Abbildung 1). Eine analoge Eingangsstufe wandelt das Eingangssignal in einen Strom um, der von einem Pulsweitenmodulator (PWM) ein- und ausgeschaltet wird und somit wie ein Digitalsignal nur zwei Werte annimmt. Dieses Prinzip ist in Abbildung 2 dargestellt: Durch Laden und Entladen einer Kapazität mit einer Strom-

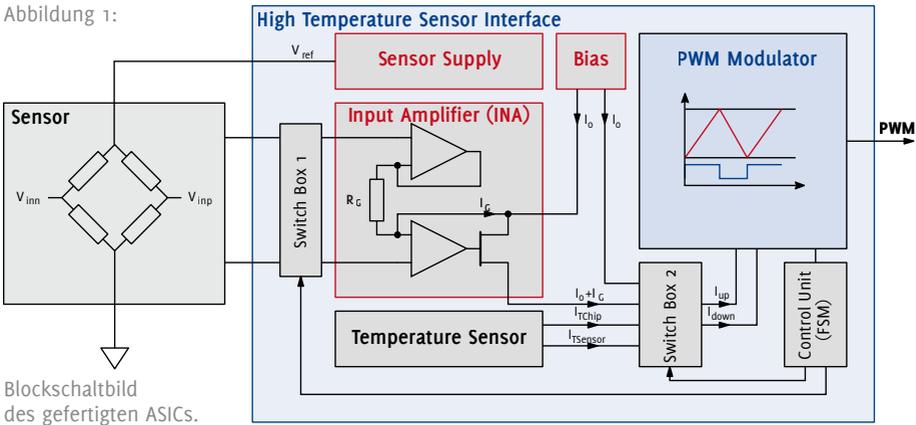
Fachartikel

zum Wafertest

bis 300°C auf

www.imms.de.

Abbildung 1:



Blockschaltbild des gefertigten ASICs.

Bereiche, die besonders hohen Temperatureinflüssen unterliegen, sind rot markiert Grafik: IMMS.

quelle kann ein konstanter Strom in Zeitabstände umgewandelt werden. Diese lassen sich am Ausgang einfach mit z.B. einem handelsüblichen Mikrocontroller messen, ohne einen Analog/Digital-Wandler zu verwenden. Diese Lösung ist Stand der Technik und im anvisierten Temperaturbereich > 250 °C nur schwer zu beherrschen: Die in Abbildung 1 eingefärbten Blöcke beinhalten nach wie vor temperaturabhängigkeiten. Die allein hieraus resultierenden Signaländerungen können die Größenordnung des Messsignals annehmen. Der Offset der Eingangsstufe, also der Fehler, liegt dann im Bereich von bis zu ±10 mV und ist damit so groß wie das Brückensignal von 0 bis 10 mV, das gemessen werden soll. Zusätzlich sind die externen Widerstände bei hohen Temperaturen ab 250 °C ebenso nichtlinear temperaturabhängig wie die interne Referenzquelle. Damit ist selbst die Brückenversorgungsspannung (V_{REF}) temperaturabhängig. Die rechnerische Kompensation dieser Effekte ist in diesem großen Temperaturbereich nur näherungsweise und mit großem Aufwand möglich.

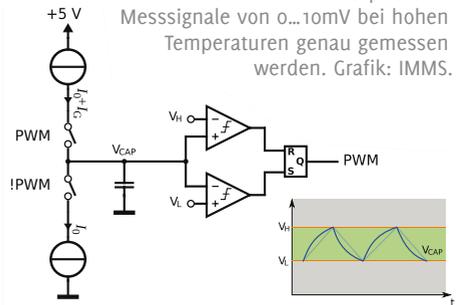
Am IMMS wurde das oben beschriebene PWM-Verfahren deshalb so erweitert, dass temperatur- und alterungsabhängige Größen, wie z.B. Offset und Übertragungsfaktor bzw. Span, durch eine Korrekturrechnung aus dem Messwert entfernt werden können: Durch zwei zusätzliche Messungen werden die aktuellen Werte der temperaturabhängigen Größen mitgeführt und am Le-

segerät mit dem Messwert verrechnet. In der Rechnung kompensieren sich die temperaturabhängigen Terme durch geeignete Konstruktion des PWM-Phasenschemas.

- > Smarte Jacke
- > ENTOMATIC
- > KOSERNA
- > HoTSens
- > INSPECT
- > AFIA
- > Inhalt
- * Förderung

Mehr zum Entwicklungsangebot des IMMS für ASICs: www.imms.de/ ASICs.

Abbildung 2: Dank einer Zeitkodierung wie hier können mit dem darauf basierenden, vom IMMS entwickelten neuen Konzept kleine Messsignale von 0...10mV bei hohen Temperaturen genau gemessen werden. Grafik: IMMS.



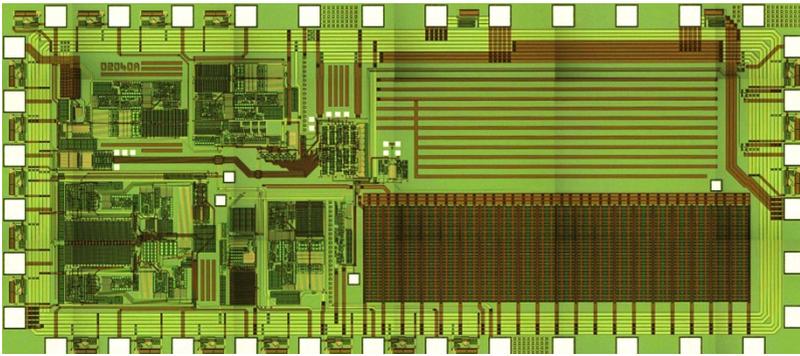


Abbildung 3: Das neue Konzept wurde im Chip D2040A integriert und gefertigt. Foto: IMMS.

Funktioniert es tatsächlich? Ein Charakterisierungskonzept

Hochpräzise Brückenersatzschaltung und hochaufgelöstes Temperaturnaster

Für die Charakterisierung des ASICs D2040A musste ein spezieller Messaufbau entwickelt werden. Da das Eingangssignal im Bereich von 0 bis 10 mV liegt und von einer Messbrücke erzeugt wird, musste hierfür eine hochpräzise Brückenersatzschaltung für die Charakterisierung entworfen werden. Um die Temperatureigenschaften des Chips bewerten zu können, wird er in einer Hochtemperaturfassung auf bis zu 300 °C aufgeheizt. Während des sehr langsamen Abkühlungsprozesses wird ein Messprogramm ausgeführt, das die aktuelle Übertragungscharakteristik ermittelt und zusammen mit dem Temperaturwert abspeichert. So werden die Werte für Offset und Verstärkung mit hochaufgelöstem Temperaturnaster ermittelt.

Die gewonnenen Werte werden wie folgt nachbearbeitet: Der Vollausschlag wird auf 1 normiert, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Daraufhin werden Offset und Verstärkung über der Temperatur ermittelt und in einer Grafik wie z.B. Abbildung 4 dargestellt.

ASIC misst bis 300°C hochgenau

Die Messungen zeigen eine herausragende Genauigkeit im gesamten Temperaturbereich. Nach Korrektur der linearen Temperaturabhängigkeit liegt der verbleibende Fehler bei $\pm 1,5\%$ FS (bezogen auf den Vollausschlag von 10 mV). Das entspricht einem Eingangs-Offset von $\pm 150 \mu\text{V}$: Der Offset der Eingangsstufe von bis zu $\pm 10 \text{ mV}$ wurde durch das neue Verfahren um etwa den Faktor 100 verringert. Auch die Temperaturdrift ist nahezu vollständig entfernt. Bei herkömmlichen Systemen kann ein so geringer Fehler nur durch Auslese guter Bauelemente erreicht werden. Für die Messungen wurden fünf Chips verwendet.

Mehr zu Test und Charakterisierung auf www.imms.de.

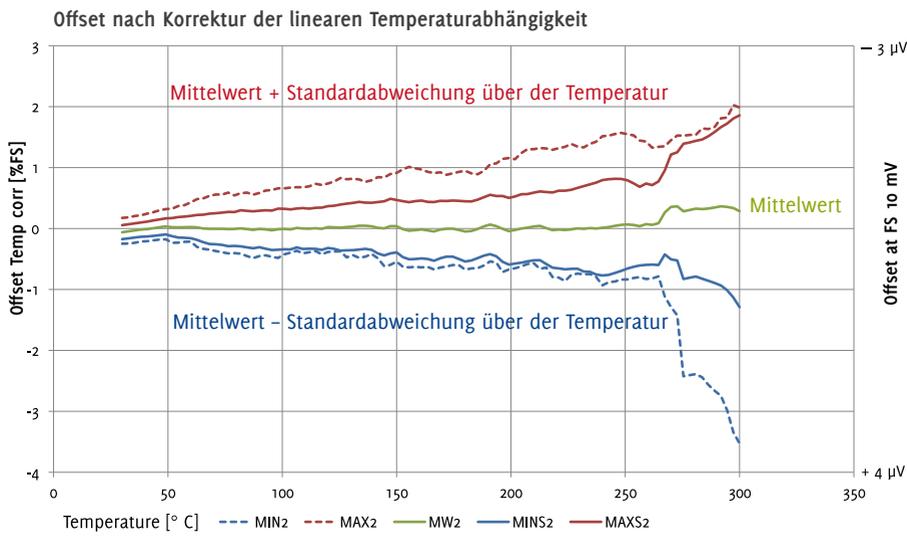


Abbildung 4: Messungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1,5\%$ FS bezogen auf den Vollausschlag.
 Grafik: IMMS.

Neben der Charakteristik wurde die Alterungsbeständigkeit bei 300 °C evaluiert. Der Chip funktionierte nach 100 Stunden Dauerbetrieb in dieser Umgebung wie erwartet. Weitere Messungen zur Charakterisierung des Alterungsverhaltens sind notwendig, um die durchschnittliche Lebensdauer zu ermitteln.

Ausblick

Das neue, am IMMS entwickelte Konzept zum hochpräzisen Auslesen von Messbrücken wurde in einem ASIC integriert und mit herausragender Performance in einer Hochtemperaturumgebung demonstriert. Dieser Prototyp liefert etwa 10 bis 20 Messwerte pro Sekunde, was in einem möglichen Nachfolgechip um mindestens das zehnfache gesteigert werden kann. Der erste realisierte ASIC wird derzeit weiter evaluiert. Ein Demonstrator ist in Arbeit und wird im Laufe 2017 zur Verfügung stehen. Zudem kann das Konzept in andere Technologien übertragen werden, wo der Einsatz eines Analog/Digital-Wandlers zu kostspielig oder aus anderen Gründen ungünstig wäre.

Mehr zu
 HoTSens unter
www.imms.de

Kontakt: Georg Gläser, M.Sc., georg.glaeser@imms.de

GEFÖRDERT VOM



Das Projekt HoTSens wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ unter den Kennzeichen 16ES0008 gefördert.

FORSCHUNGSTHEMA

SENSORSYSTEME FÜR DIE BIOANALYTIK UND MEDIZINTECHNIK

Testaufbau für Messungen von pH-Werten in wässrigen Lösungen mit Hilfe von Mikroelektronik – eine der Voruntersuchungen für eine automatisierte Diagnostikplattform zur Krebsfrüherkennung.
Foto: IMMS.



Die steigende Lebenserwartung der Menschen in unserer Gesellschaft führt zu einem Anstieg schwerer Erkrankungen wie Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Demenz sowie der hiermit verbundenen Aufwendungen für Diagnose und Therapie. Mit unserer Forschung zu mikroelektronischen Biosensor-Systemen für die medizinische Diagnostik und die personalisierte Medizin leisten wir Beiträge zur Kostensenkung im Gesundheitswesen und der Sicherung der Lebensqualität von Patienten.



Unsere Forschungsaktivitäten konzentrieren sich unter anderem darauf, verschiedene Detektionsprinzipien für biologische und chemische Größen in einem elektronischen Sensorelement zu integrieren, um genauere Aussagen zu erhalten und die Fehlerrate zu senken. Grundlage unserer Arbeiten sind kostengünstige Standard-Fertigungsprozesse aus der Halbleiter-Elektronik, die für die neuen Ansätze applikationsspezifisch angepasst werden, z.B. durch spezielle Oberflächen-Funktionalisierung oder die Verwendung biokompatibler Materialien. Mit unseren Lösungen soll es in Zukunft möglich sein, Vor-Ort-Tests, z.B. zur Krebs-Früherkennung, schnell, zuverlässig, kosteneffizient und automatisiert durchzuführen.

Projekte zur Biosensorik:
www.imms.de



Ideenskizze für ein mobiles System zur Vor-Ort-Diagnostik.

Das Modul mit Leiterplatte, ASIC und Flüssigkeitsreservoir ist bereits Teil eines Testaufbaus zur Krebsdiagnostik, der im Fachartikel zu INSPECT beschrieben wird.

Grafik/Fotos: IMMS.

Mehr zur Vor-Ort-Diagnostik:
www.imms.de



INSPECT – Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik

Voruntersuchungen mit einem mobilen Testsystem für die Entwicklung integrierter Systeme zur individualisierten Krebsfrüherkennung. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

In Deutschland erkranken jedes Jahr etwa 500.000 Menschen an Krebs.¹ Die Überlebensraten fünf Jahre nach der Diagnose variieren je nach Tumorart von unter 20 Prozent bis zu über 90 Prozent.² Je früher die Krankheit entdeckt wird, desto größer ist die Chance auf Heilung. Darmkrebs, die häufigste Krebsform in Deutschland, kann ein Jahrzehnt unbemerkt wachsen, bis er Symptome verursacht.³ Für einige Krebsarten können Schnelltests direkt durch den behandelnden Arzt vorgenommen werden, unmittelbar Ergebnisse liefern und zeit- wie kostenaufwändige Laboruntersuchungen sparen.

Übliche Schnelltests arbeiten nur qualitativ

Stand der Technik sind dabei unter anderem Teststreifen, auf denen Antikörper-Moleküle aufgebracht sind. Diese Bindungsmoleküle sind farbig markiert, halten in der Probenflüssigkeit das gesuchte Molekül fest und liefern nach fünf bis zehn

¹ <https://www.krebshilfe.de/informieren/ueber-krebs/was-ist-krebs/>

² im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung, http://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Krebs_gesamt/krebs_gesamt_node.html

³ <http://www.darmkrebs.de/ueberblick/>

Minuten einen Befund als Ja-Nein-Aussage in Form einer vorhandenen oder nicht-vorhandenen farbigen Linie. Unterschiedlich starke Einfärbungen dieser Markierung sind für Anwender jedoch nicht interpretierbar. Ein blasser Strich kann auch übersehen werden.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Quantitative Schnelltests sollen künftig genaue Diagnosen ermöglichen

Lassen sich dagegen genaue Konzentrationen bestimmter Moleküle in Probenflüssigkeiten feststellen, sind verlässliche Diagnosen möglich. Insbesondere bei Prostatakrebs, der häufigsten Krebsform bei Männern in Deutschland,⁴ können solche quantitativen Methoden die Vor-Ort-Diagnostik erheblich erleichtern. Das prostata-spezifische Antigen (PSA) kann Hinweise auf Krebs liefern, wird aber immer vom Körper produziert. Für unter 50-Jährige liegt die PSA-Konzentration bei weniger als 2,5 ng/ml (Nanogramm, also Milliardstel Gramm, pro Milliliter), bei über 70-Jährigen bei etwa 6,5 ng/ml. Diese Werte können unabhängig vom Alter variieren und Entzündungen, mechanische Reizungen oder Krebs als Ursache haben. Wenn ein Karzinom wächst, steigt die individuelle PSA-Konzentration eines Patienten kontinuierlich an. Kann man also in regelmäßigen Abständen die PSA-Konzentration messen, ist eine zuverlässige Frühdiagnose und damit eine frühzeitige Therapie möglich.

Mikroelektronik soll Antigen-Konzentrationen bei Darm- und Prostatakrebs messen

Für solche quantitativen Messungen entwickelt das IMMS mit Thüringer Partnern im Projekt INSPECT⁵ ein biologisch-mikroelektronisches Schnelldiagnostik-System zur immuno-onkologischen Früherkennung von Darm- und Prostatakrebs. Das IMMS entwickelt die Elektronik, wobei die Signalverarbeitung insbesondere bei extrem geringen Signalleistungen sowie deren effiziente Rauschunterdrückung im Fokus stehen. Ausgangspunkt für die geplante Mikroelektronik-Entwicklung sind die Erkenntnisse der Forschergruppe GreenSense* des IMMS zu einem entwickelten Halbleiter-basierten optischen Sensor-Array-System für die Diagnostik von Infektionskrankheiten.

Infos und

Video zu

INSPECT auf

www.imms.de.

Infos zu

GreenSense auf

www.imms.de.

Voruntersuchungen zu neuen Anforderungen an die anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), zur Biofunktionalisierung der Chip-Oberflächen und erste erfolgreiche Tests zur optischen Messung chemischer Reaktionen im direkten Kontakt mit der Elektronik wurden durchgeführt und bilden die Grundlage für das Diagnostik-System, das die Partner bis 2019 entwickeln werden.

⁴ http://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Prostatakrebs/prostatakrebs_node.html

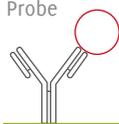
⁵ *Mikroelektronische Diagnostik-Plattformen für die personalisierte Krebsforschung und Mikro-Bioreaktoren.*

Immobilisierung
der primären

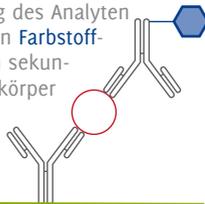
Antikörper



Anreicherung
des **Analyten**
aus einer
Probe



Markierung des Analyten
durch einen **Farbstoff-**
markierten sekundären
Antikörper



Messung
des **Signals**

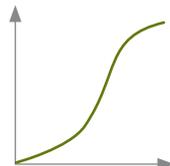


Abbildung 1: Grundprinzip für den quantitativen Nachweis des Analyten (PSA bzw. Hämoglobin)

Grafik: Senova/IMMS.

61

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

Lösungsansatz und Voruntersuchungen

Grundprinzip und Ziele des Gesamtsystems

Der biotechnologische Ausgangspunkt für das neue Testsystem ist vergleichbar mit dem der Teststreifen: Mit einer Antikörper-Antigen-Wechselwirkung sollen gezielt Analyten in einer Probe nachgewiesen werden, bei Prostatakrebs das PSA und bei Darmkrebs Hämoglobin.

Neu ist (vgl. Abbildung 1), dass die entsprechenden primären Antikörper auf der Oberfläche eines Mikroelektronik-Chips aufrecht fixiert werden (A). Wird eine Probe auf den Chip gegeben, bilden sich dort unsichtbare Antikörper-Antigen-Komplexe (B), sofern die gesuchten PSA- bzw. Hämoglobin-Analyten in der Lösung enthalten sind. Diese werden in einem zweiten Schritt sichtbar gemacht, indem farbig markierte sekundäre Antikörper hinzugegeben werden, die an den Analyten der Antikörper-Antigen-Komplexe andocken (C). Die farbige Lösung mit sekundären Antikörpern, die nicht an die Oberfläche gebunden sind, wird mit einer Waschlösung weggespült. Die festgehaltenen farbigen Antikörper verändern die optische Dichte, die mit dem ASIC detektiert und ausgewertet wird (D).

Hierfür wird zuerst die Lichtintensität vor der Reaktion gemessen und danach, wie stark das Licht durch die Farbmenge gedämpft wird. Aus den beiden Messwerten wird ein logarithmisches Verhältnis gebildet. Die für eine Diagnose erforderliche Messgenauigkeit soll im Bereich von 0,01 Bel bis 1 Bel liegen.

Systemaufbau

Diese Reaktionen und Messungen sollen in einem kompakten und mobilen Gerät stattfinden. Dieses soll man per Standardschnittstelle an Rechner oder Laptop anschließen können, wo sich mit einer Software der Test steuern, die Daten anzeigen und weiterverarbeiten lassen. Die Probe wird in die Reaktionskammer über dem ASIC gegeben und mechanisch sowie elektrisch mit dem System verbunden. Lichtquellen mit unterschiedlichen Wellenlängen erzeugen in einem festen Abstand zum Chip

> *Inhalt*

* *Förderung*

ein homogenes Licht, das in konstanter Intensität über die Zeit die Probe ausleuchtet. Mit dem Gerät sollen Ärzte ohne Umweg ins Labor zuverlässig messen können, um Diagnosen zu stellen. Dank der im Voraus biofunktionalisierten Mikroelektronik sollen Anwender die Schnelltests ohne Vorbereitungsaufwand durchführen können.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

Erste Vorversuche als Basis für die Entwicklung des neuen Mikroelektronik-Chips

Um Krebs in einem sehr frühen Stadium feststellen zu können, muss die Mikroelektronik sehr geringe Antigen-Konzentrationen von etwa einem Nanogramm pro Milliliter erkennen können, die sehr schwache relative Lichtintensitätsunterschiede in Größenordnungen von den oben genannten 0,01 Bel bis 1 Bel verursachen.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Das IMMS hat die technische Machbarkeit dieser Zielvorgaben für die Krebsdiagnostik grundsätzlich bewertet. Dafür wurden in einem ersten Schritt mit einem bereits vorliegenden ASIC untersucht, wie dieser Helligkeitsunterschiede in Probenlösungen mit bekannten Teilchenkonzentrationen abbildet.

Dieser für Forschungszwecke relativ groß gehaltene Chip war ursprünglich für den Nachweis von Infektionskrankheiten und damit für andere Randbedingungen entwickelt worden. Er beinhaltet eine Matrix aus 6 x 7 Photodioden (Abbildung 2). Diese war realisiert worden, um parallel verschiedene Krankheitserreger durch die Messung von Lichtunterschieden zu detektieren.

Fachartikel

zu diesem

Forschungs-

Chip auf

www.imms.de.

Das optische Prinzip für die Signalwandlung dieses Forschungs-Chips soll auf die Krebsdiagnostik übertragen und in einem neuen ASIC-Design schaltungstechnisch auf die spezifischen Anforderungen ausgelegt werden.

Auf diesen Chip wurden Tetramethylbenzidin-Substrat-Lösungen (TMB) gegeben, die mit Meerrettich-Peroxidase-Enzym (HRP) angereichert wurden. Durch chemische Reaktionen färben sich die Flüssigkeiten blau ein. Mit den ASICs wurde gemessen, wie sich die Reagenzien im Zeitverlauf durch die Verfärbung abdunkeln.

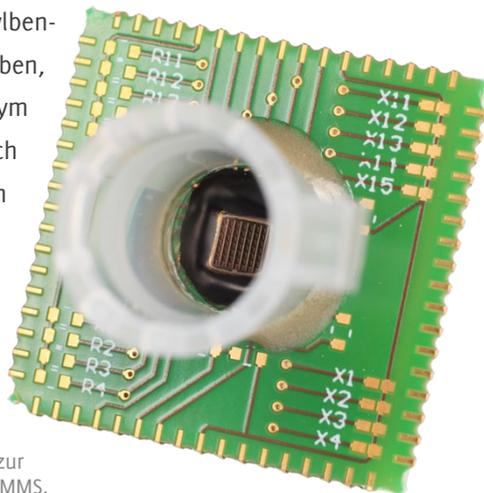
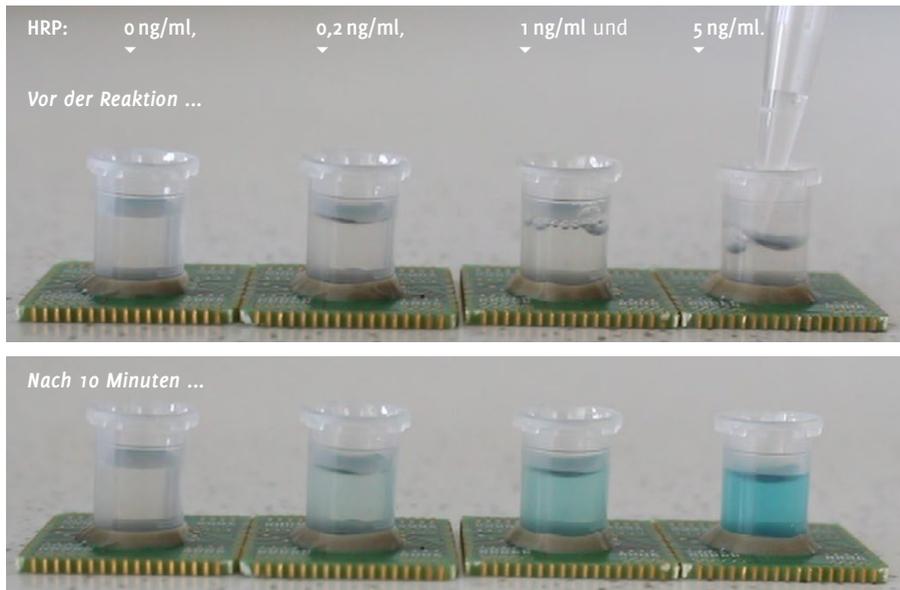


Abbildung 2: Der für die Voruntersuchungen zur Krebsdiagnostik genutzte ASIC (Mitte). Foto: IMMS.

Abbildung 3: Unterschiedliche Verfärbungen durch die Reaktionen in den Testlösungen mit vier verschiedenen HRP-Konzentrationen von 0 / 0,2 / 1 und 5 ng/ml HRP. Fotos: Senova.



Für diese Untersuchungen wurde der Nachweis verschiedener Analytkonzentrationen simuliert, um das elektronische System zu prüfen. Dafür hat der Projektpartner Senova vier Lösungen angefertigt, die 0 ng/ml, 0,2 ng/ml, 1 ng/ml und 5 ng/ml HRP beinhalten, vgl. Abbildung 3.

Die unterschiedlichen Verfärbungen wurden wie folgt nachgewiesen. Für jede Lösung wurde mit der Zugabe der definierten HRP-Menge ein Helligkeitswert pro Sekunde über eine Zeitspanne von 600 Sekunden aufgezeichnet. Mit den Messungen wurden Helligkeitsveränderungen im Zielbereich von 0,01 Bel bis 1 Bel nachgewiesen und die Unterschiede zwischen den Reaktionsverläufen der zunächst höher konzentrierten Lösungen grundsätzlich wie erwartet abgebildet (Abbildung 4).

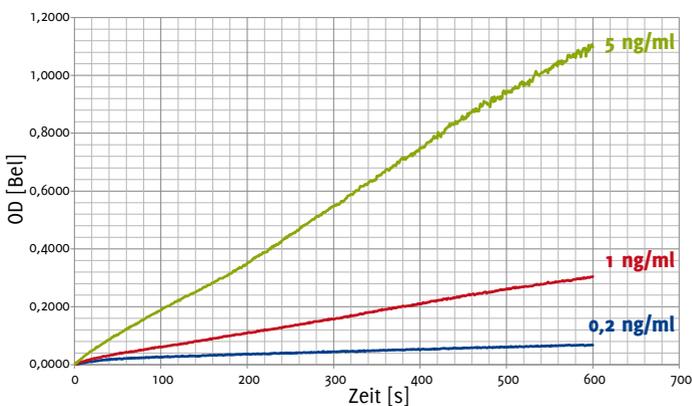


Abbildung 4:

Gemessene Helligkeitsunterschiede bei verschiedenen HRP-Konzentrationen im Zielbereich von 0,01 Bel bis 1 Bel.

Zur vereinfachten Darstellung wurde hier auf die Lösung ohne HRP verzichtet.

Aus diesen und weiteren Voruntersuchungen sollen später Korrelationen zu den Analytkonzentrationen für den Nachweis von PSA und Hämoglobin erarbeitet werden.

Ausblick

Die beschriebenen ersten Untersuchungen mit der Elektronik bestätigten, dass diese prinzipiell für die Zielgrößen zur Krebsdiagnostik geeignet ist. Weitere Tests werden 2017 durchgeführt. Im Fokus stehen dabei geringere Probenkonzentrationen, kürzere Messintervalle und Wiederholungen für verlässliche Ergebnisse. Darüber hinaus werden bei Senova weiterführende Tests mit biochemisch funktionalisierten Chipoberflächen und Bioproben mithilfe des vorhandenen Chips durchgeführt.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Das IMMS hat dafür ein mobiles Testsystem entwickelt, mit dem Senova nachweisrelevante Parameter zur Krebsfrüherkennung untersucht und genaue Informationen zu Lichtintensitäten und Konzentrationen in Lösungen und zur Genauigkeit der erzielten Abstufungen für das weitere Vorgehen liefern wird. Auf dieser Basis soll 2017 ein ASIC spezifiziert werden, der kleiner, genauer, rauschärmer, speziell auf die Anwendung ausgerichtet und darüber hinaus kostengünstiger werden soll.

*Mehr zu Test
und Charakterisierung auf
www.imms.de.*

Kontakt: Dr. Balázs Németh, balazs.nemeth@imms.de

Infos und

Video zu

INSPECT auf

www.imms.de.



Das diesen Ergebnissen zugrundeliegende Vorhaben wurde vom Freistaat Thüringen unter der Nummer 2015 FE 9159 gefördert und durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert. Projektpartner des IMMS sind die Senova Gesellschaft für Biowissenschaft und Technik mbH, die CDA GmbH, das Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. und die X-FAB Semiconductor Foundries AG.



FORSCHUNGSTHEMA
HOCHPRÄZISIONSANTRIEBE

Arbeiten am IMMS für ein
planares Antriebssystem für
die Physikalisch-Technische
Bundesanstalt. Foto: IMMS.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Die fortschreitende Miniaturisierung technischer Produkte führt in vielen Industriebereichen zu einem wachsenden Bedarf an Präzisionsmaschinen, mit denen kleinste Strukturen und Objekte hochgenau vermessen und bearbeitet werden können. Viele solcher Objekte besitzen räumliche Ausdehnungen im Millimeter- bis Zentimeterbereich, während Oberflächenmerkmale und Funktionselemente nur wenige Mikro- oder Nanometer groß sind und im Produktionsablauf bis auf weniger als einen Nanometer genau positioniert werden müssen.

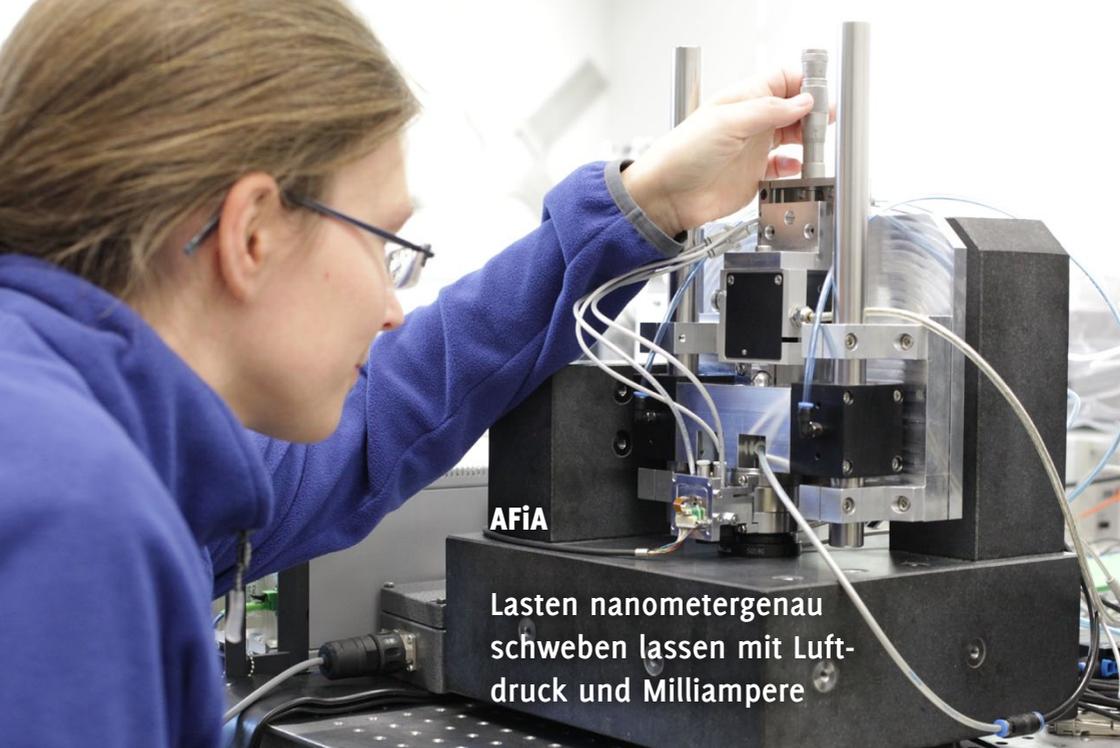
Um die Fertigung makroskopischer High-Tech-Produkte mit mikroskopischer Präzision zu ermöglichen, forschen wir an wissenschaftlichen Grundlagen und technischen Lösungen zur Realisierung von Nanopositioniersystemen für große Bewegungsbereiche. Mit unseren hochdynamischen Mehrkoordinaten-Direktantriebssystemen können Objekte in Arbeitsbereichen von mehreren hundert Millimetern in kürzester Zeit mit Nanometer-Präzision positioniert werden. Unsere Lösungen eignen sich für den Einsatz im Vakuum, in Reinräumen und an Orten mit besonderen Anforderungen hinsichtlich thermischer Isolation und Entkopplung von Vibrationen.

*Projekte zu
Hochpräzisions-
antrieben auf
www.imms.de*

Planares Antriebssystem für die Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Mitte 2016 startete ein Projekt, in dem das IMMS im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) einen Planarantrieb entwickelt. Dieser wird Teil eines Interferometermessaufbaus der PTB, mit dem Objekte in einer Vakuumumgebung ultrapräzise vermessen werden sollen.

Dafür wird der Antrieb die Messobjekte in einem Verfahrbereich von 150 mm x 2 mm entsprechend präzise positionieren. Das IMMS konzipiert, entwirft und realisiert für das Antriebssystem die Funktionsgruppen Antrieb, Führung und Messsystem sowie das Steuerungs- und Regelungssystem. Neben der hohen Positioniergenauigkeit und Vakuumtauglichkeit steht bei der Entwicklung die Reduzierung des thermischen Einflusses auf den Messbereich im Vordergrund. Daher wird auch die Möglichkeit zum definierten Absetzen des luftgelagerten Läufers mit anschließender Deaktivierung von Antrieb und Messsystem geschaffen.



Das IMMS hat einen Vertikaltrieb entwickelt, der Objekte in einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Foto: IMMS.

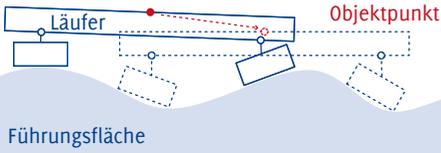
Motivation und Überblick

In der Fertigung eine Nutzlast von zehn Kilogramm anzuheben und mit Nanometer-Präzision sicher zu positionieren war bisher nur sehr schwer und mit Kompromissen zu lösen. Möglich wird dies durch elektromagnetische Vertikalaktoren mit pneumatischer Gewichtskraftkompensation, die sich in viele existierende Präzisionsantriebssysteme integrieren lassen.

Solche Systeme werden u.a. in der Halbleitertechnik verwendet, um beispielsweise Belichtungsmasken zu positionieren. Mess- und Strukturierungsanlagen für Substrate, Wafer, Belichtungsmasken etc. verfügen in der Regel über einen x-y-Tisch, der ein Objekt hochpräzise innerhalb der Ebene bewegt.

Die Höhe der Objekte ist jedoch nicht immer identisch: Wafer- und Maskendicken oder Höhen von Maskenhaltern variieren. Darüber hinaus verteilen sich Vorgänge auf verschiedene Ebenen, z.B. bei der Vermessung von Bildstapeln hinter einer Belichtungsmaske oder bei der Strukturierung von Wafer-Schichten. Diese sind oft nur wenige Nanometer dünn, ein ganzer Wafer zwischen 0,7 und 0,9 mm dick.

Läuferbewegung ohne Vertikaltrieb



Läuferbewegung mit Vertikaltrieb

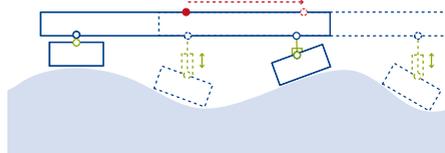


Abbildung 1: Die Ebenheit einer Führungsfläche, wie zum Beispiel für eine Luftführung, kann nicht beliebig genau gefertigt werden. Dies führt zu Höhenschwankungen und Verkippen des Läufers beim Gleiten über die Führungsfläche. Mit Vertikalaktoren kann der Höhenunterschied ausgeglichen werden. Grafik: IMMS.

Das IMMS hat einen Vertikaltrieb entwickelt, der Objekte in einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Dies wird über eine pneumatische Gewichtskraftkompensation erreicht, mit der die zu leistende Kraft des elektromagnetischen Vertikaltriebs stets nahe Null geregelt wird. Damit fließt praktisch kein Strom in der Aktorspule und somit entsteht keine unerwünschte Wärmequelle im Messraum, die durch Materialausdehnung die notwendigen hochpräzisen Messungen verhindern würde.

Beispielsweise verursacht eine Temperaturerhöhung im Messraum von nur 0,01 Kelvin bei der Vermessung einer Maske zur Waferbelichtung bereits einen Messfehler, der zum Ausfall der damit produzierten integrierten Schaltkreise führen würde. Mit dem neuen Antrieb wird es möglich, Objekte wesentlich genauer als bisher im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt, im sog. Abbe-Punkt, zu positionieren.

Die Lösung im Detail

Grundprinzip

Die genannten Präzisionsantriebssysteme gewinnen Positionsdaten in der Regel aus drei um den Läufer verteilten Laserinterferometern (Vgl. Abbildung 2). An den Spiegelflächen der mit dem Läufer bewegten Spiegelecke werden die Laserstrahlen reflektiert und zur Abstandsmessung genutzt. Dem Abbeschen Komparatorprinzip folgend, liegen die am Prüfling zu messende Strecke und der Maßstab des Messgerätes vorzugsweise fluchtend auf einer Linie, um sogenannte Kippfehler erster Ordnung zu vermeiden. Für die hochgenaue Vermessung oder Strukturierung von oben genannten Objekten befindet sich somit der Antast- bzw. Bearbeitungspunkt vorzugsweise im Abbe-Punkt (Vgl. Abbildung 2).

> Smarte Jacke

> ENTOMATIC

> KOSERNA

> HoTSens

> INSPECT

> AFiA

> Inhalt

* Förderung

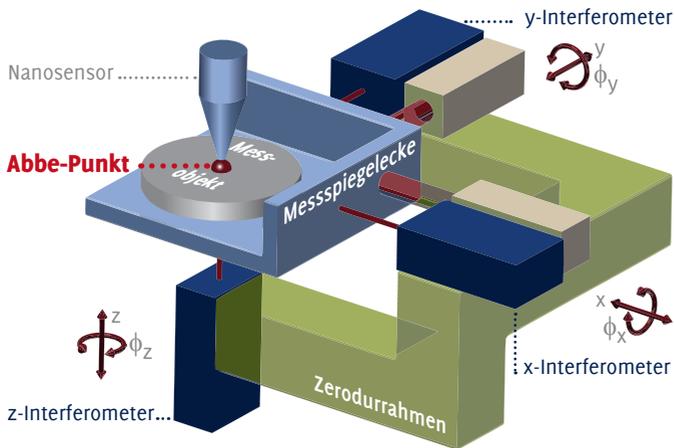


Abbildung 2:

Objektvermessung
bzw. -bearbeitung im
sog. Abbe-Punkt.

Grafik: TU Ilmenau,
Bearbeitung: IMMS.

Praktisch heißt dies, das Objekt befindet sich innerhalb einer Spiegelecke und alle virtuell verlängerten Messstrahlen der Koordinaten x , y und z der Interferometer treffen sich im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt (räumliches Abbesches Komparatorprinzip). Gemäß dieses Grundprinzips der Messtechnik sind Spiegelecke sowie Objekt je nach Dicke und Oberflächenprofil anzuheben oder abzusenken, um den Antastpunkt auf der Objektoberfläche jeweils in den Abbe-Punkt zu bringen.

Anforderungen und Stand der Technik

Die benötigten Stellwege in vertikaler Richtung (z) liegen für eine Reihe von Applikationen typischerweise im Bereich von 1 – 10 mm. Dabei sind zum Anheben und Positionieren von Spiegelecke und Messobjekt Lösungen gefragt, die nanometerpräzise agieren und hierfür möglichst ohne nennenswerte thermische Verlustleistung auskommen, um Materialausdehnungen auszuschließen.

Bekannte Lösungen im Hochpräzisionsbereich kombinieren derzeit entweder Spindelantriebe mit Piezoantrieben oder komplizierte Federmechanismen mit Tauchspulaktoren. Alle diese Systeme arbeiten mit mechanischem Kontakt, sind somit nicht reibungsfrei und unterliegen einem Verschleiß. Mit den bekannten Ansätzen ist eine nm-präzise Vertikalbewegung nicht oder nur mit erheblichen Kompromissen hinsichtlich der Feinfühligkeit und der Lebensdauer zu erreichen. Die besondere Herausforderung besteht darin, für die geforderte nanometergenaue Positionierung eine sehr hohe Konstanz der Tragkraft über einen z -Hub von einigen Millimetern zu erzielen und eine quasi reibungsfreie Führung für diese Bewegung zu realisieren.

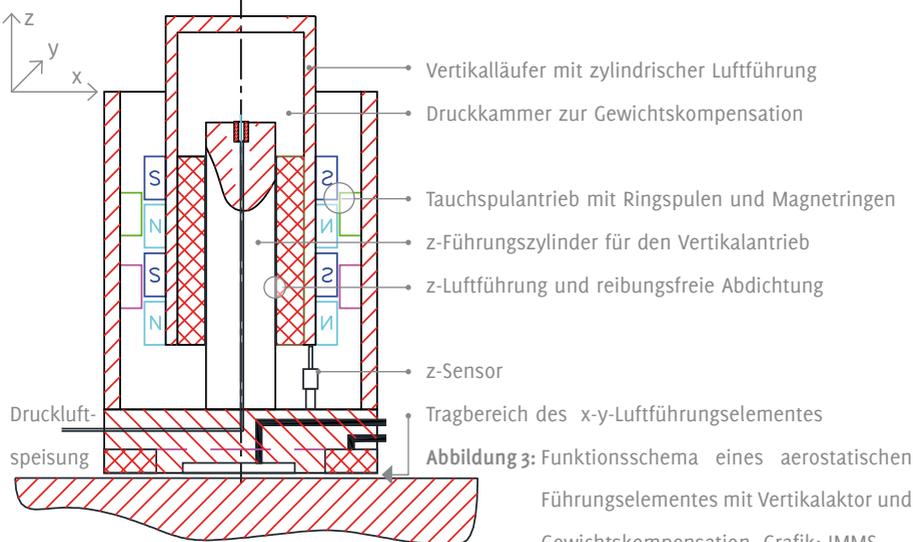


Abbildung 3: Funktionsschema eines aerostatischen Führungselementes mit Vertikalaktor und Gewichtskompensation. Grafik: IMMS.

Entwicklung

Genau hier setzen die Arbeiten des IMMS an. Das vorgeschlagene Konzept nach Abbildung 3 kombiniert einen luftgeführten Tauchspulantrieb, d.h. den elektromagnetischen Antrieb für den z-Hub, mit einer Druckkammer zur Gewichtskraftkompensation. Diese Kammer wird über ein Druckreservoir mittels Feindruckregler gespeist. Dieser stimmt den Druck permanent auf das Tragen der Nutzlast ab. Damit wird erreicht, dass die zu leistende Kraft des Tauchspulantriebs stets auf Null abgesenkt und damit dessen Wärmeentwicklung nahezu eliminiert wird. Die Sollwertvorgabe für den Feindruckregler wird aus den im Magnetaktor fließenden Strömen abgeleitet. Mit einer geeigneten Regelungsstruktur und Parametrisierung sind auch bei Lasten von einigen Kilogramm nur Verlustleistungen von wenigen Milliwatt im Aktor erzielbar (vgl. Abbildung 4). Diese sehr geringe Restwärmemenge wurde durch Integration eines Temperierkreises in unmittelbarer Nähe der Aktorspule abgeleitet.

Mehr zu Aktorsystemen auf www.imms.de.

Mehr zu Steuerungen und Regelungen auf www.imms.de.

Für die anvisierten Applikationen ist mit weitgehend zeitlich konstanter Nutzlast zu rechnen. Änderungen der Belastung ergeben sich im Wesentlichen nur aus der dynamischen x-y-Bewegung der zu führenden Objektische, die ein „Einfedern“ der Führungselemente verursachen.

Ein reibungsfreies Arbeiten wird durch die besondere Abdichtung in Form eines nur wenige Mikrometer schmalen Radialspalts zwischen Druckkammer und zylindrischer Luftführung erreicht.

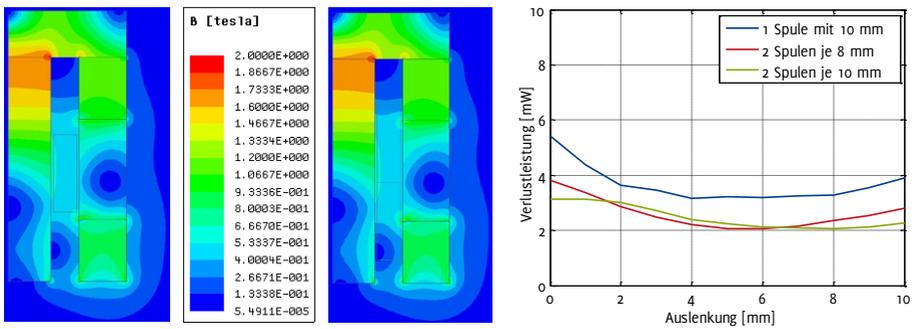


Abbildung 4: FE-Ergebnis einer Ausführungsform des Magnetaktors mit einphasiger (links) bzw. zweiphasiger (mitte) Spulenanordnung; Darstellung der berechneten Verlustleistung über einen Stellbereich von 10 mm beim Tragen einer Nutzlast von 50 g (rechts) Grafiken: IMMS.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Mit dem Ziel eines geringen Bauraumes und eines effizienten und gut temperierbaren Aktorsystems hat das IMMS Varianten des Vertikalaktors entworfen, grob dimensioniert und die verschiedenen Ausführungsformen bewertet. Nach einer Vorauswahl wurden Konfigurationen mittels Finite-Elemente-Berechnungen hinsichtlich der Strukturmechanik, der Magnetik und des thermischen Verhaltens feindimensioniert, konstruktiv ausgeführt und anschließend gefertigt. Das umgesetzte Konzept beinhaltet dabei auch Abdicht- und Absaugkanäle für die Luftführungskomponenten, die einen Einsatz unter Vakuum gestatten.

Mehr zum FE-Angebot auf www.imms.de.

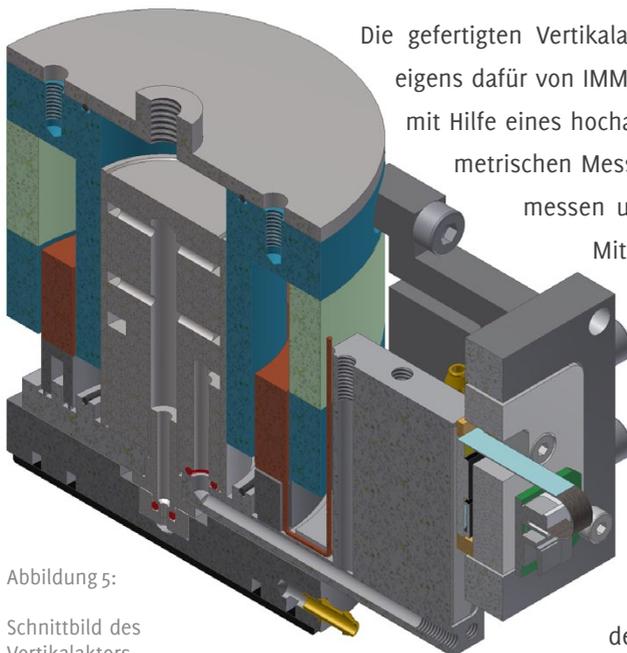


Abbildung 5:

Schnittbild des Vertikalaktors.
Grafik: IMMS.

Die gefertigten Vertikalaktoren wurden in einem eigens dafür von IMMS entworfenen Messstand mit Hilfe eines hochauflösenden laserinterferometrischen Messsystems als Referenz vermessen und experimentell erprobt.

Mit diesem Aufbau wurden sowohl Verlustleistungskennlinien bei verschiedenen Belastungen und Positionierbewegungen ermittelt als auch das Regelungsverhalten untersucht. Abbildung 5 zeigt eine Schnittdarstellung

des Aktors, Abbildung 6 einen Ausschnitt des Messstands.

Jahresbericht

© IMMS 2016

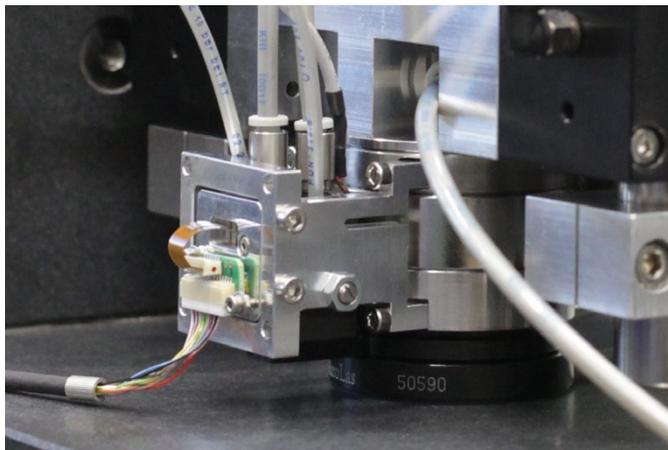


Abbildung 6:

Funktionsmuster
des Vertikalaktors
in einem Versuchs-
stand.

Foto: IMMS.

Ausblick

Mit dem elektrodynamischen Vertikalaktor wird nun eine Komponente verfügbar, mit der eine Messplattform mit hoher Traglast und höchster Präzision quasi ohne Kraftaufwand und damit ohne Wärmeerzeugung angehoben werden kann. Bereits vorhandene Antriebe, auch die im Vakuum arbeiten, können mit dieser Lösung nachgerüstet und damit deutlich verbessert werden. Hierzu müssen lediglich drei der neuartigen Aktoren an einer Plattform eines Positioniersystems montiert werden. So wird neben der Höhenpositionierung auch eine extrem feinfühligte Regelung der Plattformneigung möglich.

Der Vertikalaktor wurde am IMMS in enger Zusammenarbeit mit der Fa. AeroLas sowie dem Fachgebiet Fertigungs- und Präzisionsmesstechnik der TU Ilmenau entwickelt.

Kontakt:

Dr. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

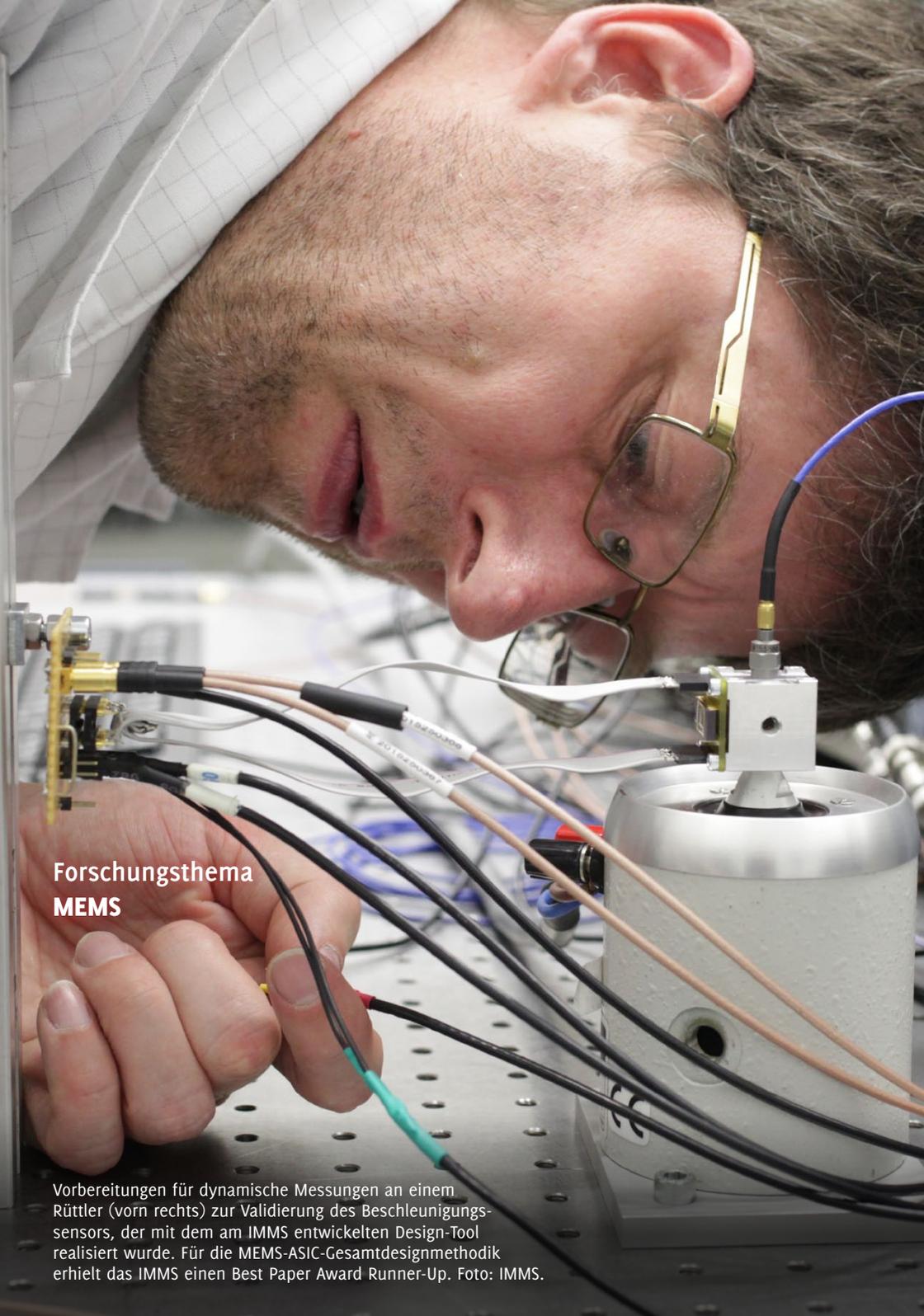
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Das Projekt AFiA wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Kennzeichen KF2534513P04 gefördert.



Forschungsthema
MEMS

Vorbereitungen für dynamische Messungen an einem Rüttler (vorn rechts) zur Validierung des Beschleunigungssensors, der mit dem am IMMS entwickelten Design-Tool realisiert wurde. Für die MEMS-ASIC-Gesamtdesignmethodik erhielt das IMMS einen Best Paper Award Runner-Up. Foto: IMMS.

Highlights 2016 auf dem Gebiet MEMS – Mikroelektromechanische Systeme

74

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) vereinen auf einer Fläche von nur wenigen Quadratmillimetern mikromechanische Sensoren und Aktoren sowie Steuerungselektronik in einem einzigen Bauelement. Im Fokus unserer Forschungsaktivitäten stehen MEMS-basierte Elektronik-Systeme für innovative Applikationen in der industriellen Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie in speziellen, jungen Wachstumsfeldern wie den Lebenswissenschaften und der Biomedizintechnik. Neuartige Ansätze, wie z.B. die an unserem Institut entwickelten Lösungen für mikroelektromechanische Energy-Harvesting-Module, ermöglichen vielfältige Produktinnovationen mit attraktivem Marktpotential besonders für kleine und mittelständische Unternehmen.

Um diese Felder gemeinsam mit unseren Kunden erfolgreich erschließen zu können, bauen wir unsere Fähigkeiten zur Entwicklung von MEMS-basierten Systemen seit mehreren Jahren stetig aus. Hierzu arbeiten wir eng mit MEMS-Technologieentwicklungs- und Fertigungspartnern zusammen und konzentrieren uns auf den systematischen Entwurf integrierter mechatronischer Systemlösungen. Einen weiteren Schwerpunkt unserer Arbeiten bilden die Charakterisierung und der Test von MEMS-Komponenten mittels spezieller Labormesstechnik und zerstörungsfreier Analysemethoden.

Projekte zu

MEMS auf

www.imms.de.

Best Paper Award Runner-Up für MEMS-ASIC-Gesamtdesignmethodik

Das IMMS wurde im Juni 2016 auf der Konferenz "13th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design", der SMACD 2016 in Sevilla, Spanien, für den Beitrag "Systematic MEMS ASIC Design Flow using the Example of an Acceleration Sensor" mit dem Best Paper Award als Runner-Up ausgezeichnet. Die Arbeit ging aus dem 2015 abgeschlossenen Projekt MEMS2015* hervor. Dort hatte das IMMS Ansätze entwickelt, um den Entwurfsprozess der mechanischen und elektronischen Bauteile von MEMS zu verbinden und zu harmonisieren. Dank der erarbeiteten neuartigen Gesamtdesignmethodik können MEMS als Gesamtsystem simuliert und verifiziert und somit Fehler frühzeitig erkannt und behoben werden.

Mehr zu

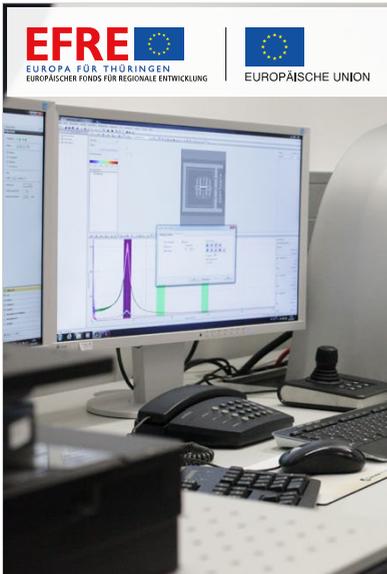
MEMS2015 auf

www.imms.de.

Ein wesentlicher Bestandteil des Ansatzes ist ein Design-Tool zum rechnergestützten Entwurf von elektromechanischen Sensoren. Diese Software wurde zunächst für eindimensionale Beschleunigungssensoren in der SOI-Technologie XM-SC der X-FAB AG erstellt. Das Werkzeug berechnet auf der Basis eines am IMMS entwickelten Algorithmus automatisch verschiedene Mechanik-Designmöglichkeiten gemäß kun-

Jahresbericht

© *IMMS 2016*



Arbeiten am neuen MEMS-3D-Vibrometer-Messplatz für neue MEMS-Generationen.* Foto: IMMS.

denspezifischer Anforderungen. Darüber hinaus stellt das Tool dem Anwender Sensormodelle zur Verfügung, die in etablierte Entwurfswerkzeuge integriert werden können, und generiert die für die Sensorfertigung notwendigen Maskenlayouts.

Für die Validierung dieser neuen Methodik und des neuen Tools hat das IMMS einen Beschleunigungssensor samt Präzisions-Auswertelektronik mit dem neuen Vorgehen in dem neuen Werkzeug entworfen, fertigen lassen und charakterisiert. Auf dieser Basis wird das Design-Tool im 2015 gestarteten Projekt RoMulus* von ein-dimensionalen auf zwei- und dreidimensionale Inertialsensoren ausgebaut.

MEMS-3D-Vibrometer-Messplatz für neue MEMS-Generation eingerichtet

Dank der bewilligten EFRE-Förderung konnte das IMMS seine Forschungsinfrastruktur zur vibrometrischen Untersuchung von MEMS erweitern. Mit dem neuen 3D-Vibrometersystem können neben den out-of-plane-Schwingungen auch solche in der Ebene gemessen werden. Das erlaubt die Charakterisierung von neuen Sensorklassen, wie z.B. von multiaxialen Inertialsensoren. Mit dem neuen Breitband-Verstärkersystem mit einem Frequenzband von 9 bis 250 MHz bei einer Leistung von 200 W können nun u.a. Drucksensoren der aktuellen Generation elektrostatisch angeregt werden. Diese weisen kleinere und dickere Membranen auf und sind daher verglichen mit Drucksensoren früherer Generationen wesentlich steifer.

Das vom Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) als Maßnahme zur forschungsbezogenen Geräteinfrastruktur unter dem Förderkennzeichen 2015 FGI 0010 kofinanziert.

Mehr zu

RoMulus auf

www.imms.de.

MEMS-3D-

Vibro auf

www.imms.de.

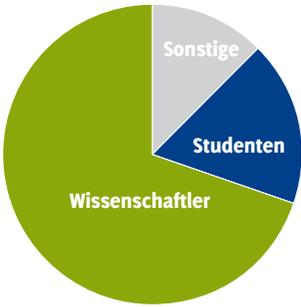


ZAHLEN, STRUKTUREN UND BELEGE

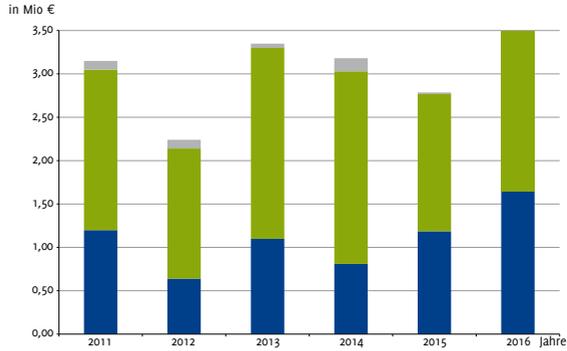
Vorbereitungen für Messungen auf Wafer-Ebene am Institutsteil Erfurt im Reinraum-Messtechniklabor Klasse 7, DIN EN ISO 14644-1. Im Bild: Prober für 300-mm-Wafer/SensorLab.* Foto: IMMS.



Personal



Projekteinnahmen:
Industrieeinnahmen / Förderprojekte / Sonstige



- > Smarte Jacke
- > ENTOMATIC
- > KOSERNA
- > HoTSens
- > INSPECT
- > AFiA
- > Inhalt
- * Förderung

2016 waren im IMMS 75 Mitarbeiter beschäftigt. Hiervon waren 51 Wissenschaftler und 13 Studenten (FTE¹) in der Forschung und Entwicklung tätig, was ca. 85% aller Beschäftigten entspricht.

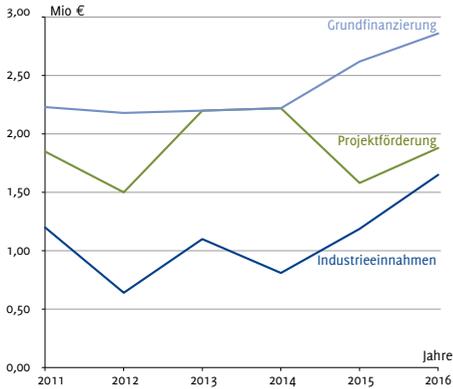
Hinter den 13 FTE stehen eine große Zahl von 40 Studenten, die das Angebot des IMMS nutzen, ihre Ausbildung in praxisorientierter Forschung zu vertiefen und zu vervollständigen: 22 Studenten absolvierten Praktika und 18 sind als Hilfskräfte tätig, 5 Bachelorarbeiten und 4 Masterarbeiten wurden betreut und 8 Mitarbeiter sind gegenwärtig als Doktorand an einer Universität eingeschrieben.

Sein großes Engagement in der studentischen Ausbildung ermöglicht dem IMMS natürlich auch, auf diesem Wege selbst ausreichend Absolventen in der notwendigen Anzahl und Qualität zu gewinnen.

Die Erlöse aus industrieller Auftragsforschung sind 2016 gegenüber denen des Vorjahres um 13 % gestiegen und die Erlöse aus öffentlicher Projektförderung um 36 %. Der Ertragsanteil beträgt 61 %. Die Einnahmen spiegeln dieses Verhältnis tendenziell wider. Durch nachschüssige Zahlungen über das Jahresende hinaus fällt die Steigerung der Einnahmen aus Projektförderung mit 19 % geringer aus. Die Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung sind mit einer Steigerung von 39 % dagegen signifikant.

Mehr zur
Förderung auf
www.imms.de.

¹ FTE Full time equivalent (Vollzeitäquivalent). Die erbrachten Arbeitszeiten werden zu Vergleichszwecken auf eine Vollzeit-Beschäftigung umgerechnet.



> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Für die kommenden Jahre 2017 bis 2019 erwartet das IMMS in beiden Bereichen nennenswerte Zuwächse – nicht zuletzt durch die konsequente Ausrichtung seiner Strategie an den unternehmerischen und gesellschaftlichen Erfordernissen.

Weit überwiegend finden die Projekte im Verbund mit Industriepartnern statt. Das verdeutlicht die hohe Akzeptanz des IMMS als Forschungspartner. 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 Anwendungen zu bringen. Hiervon profitieren in erster Linie die KMU. Die Stabilisierung dieses Prozesses 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 Herstellung von Produkten unter Verwendung von Mikro- und Nanotechnologien. Hierfür ist das IMMS gut aufgestellt.

Der Freistaat Thüringen hat auch 2016 für verlässliche Bedingungen durch die institutionelle Zuwendung gesorgt, die sich an den Rahmenbedingungen im wissenschaftlichen Umfeld orientiert. Das hat insbesondere die Zusammenarbeit mit den kleinen und mittelständischen Betrieben Thüringens gefördert.



> Smarte Jacke

> ENTOMATIC

> KOSERNA

> HoTSens

> INSPECT

> AFIA

> Inhalt

* Förderung

Aufsichtsrat

- **Vorsitzender:** Herr Robert FETTER, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- Stellv. Vorsitzender (*bis 31.03.2016*): Herr Dr. Frank EHRHARDT, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- Stellv. Vorsitzende (*seit 01.04.2016*): Frau Bianca KIZINA, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- Herr Univ. Prof. Dr.-Ing. Klaus AUGSBURG, Prorektor Wissenschaft, Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau
- Herr Dr. sc. Wolfgang HECKER, Geschäftsführer, MAZeT GmbH Thüringen (*seit Mitte 2016 ams Sensors Germany GmbH*)
- Herr Ulrich KAMPER (*bis 14.01.2016*), Thüringer Finanzministerium
- Herr Andreas ROHWER (*seit 15.01.2016*), Thüringer Finanzministerium
- Herr Dr. Jens KOSCH, Chief Technical Officer, X-FAB-Semiconductor Foundries AG

- **Vorsitzender:** Herr Dr.-Ing. Gabriel KITTLER, X-FAB
Semiconductor Foundries AG Erfurt, Innovation Manager
- **Stellv. Vorsitzender:** Herr Olaf MOLLENHAUER, bis Juni 2016
Geschäftsführender Gesellschafter der TETRA GmbH
Ilmenau; jetzt Kompass GmbH Ilmenau
- Frau Dr. Christiane EHRLING, Analytik Jena AG, Leiterin Forschung und Entwicklung, Bereich Elementaranalyse/Summenparameter
- Herr Dr. Fred GRUNERT, Technischer Geschäftsführer MAZeT GmbH, Jena (*seit Mitte 2016 ams Sensors Germany GmbH*)
- Frau Prof. Dr. Olfa KANOUN, Technische Universität Chemnitz, Prodekanin der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Mess- und Sensortechnik
- Dr. Ralph KLÄSGES, Carl Zeiss SMS GmbH, Leiter Forschung und Entwicklung
- Herr Dr. Peter SCHNEIDER, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS – EAS, Direktor des Institutsteils Entwurfsautomatisierung EAS, Dresden
- Prof. Dr. Ansgar TRÄCHTLER, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Fachgruppe Regelungstechnik und Mechatronik
- Herr Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas TÜNNERMANN, Direktor des Instituts für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena und des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF Jena

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*



Prof. Dr. Ralf Sommer, TU Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme:

- Grundlagen der analogen Schaltungstechnik, Vorlesung & Übung, B.Sc. 3. Sem.
- Rechnergestützte Schaltungssimulation und deren Algorithmen (EDA), Vorlesung & Übung, B.Sc., M.Sc.
- Modellierung und Simulation analoger Systeme, Vorlesung & Übung, B.Sc.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

Prof. Dr. Hannes Töpfer, TU Ilmenau, Fachgebiet Theoretische Elektrotechnik:

- Theoretische Elektrotechnik I und II, Vorlesung, B.Sc. 4./5. Sem.
- Grundlagen der Modellierung und Simulation, Vorlesung & Übung, B.Sc. 5./6. Sem.
- Schaltungen der Quanteninformationsverarbeitung, Vorlesung, M.Sc., 2. Sem.
- Elektromagnetische Sensorik, Vorlesung, M.Sc., 2. Sem.
- Technische Elektrodynamik, Vorlesung, M.Sc., 2. Sem.
- Supraleitung in der Informationstechnik, Vorlesung, M.Sc., 1. Sem.
- Projektseminar ATET, Seminar, M.Sc., 2. Sem.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Veranstaltungen

Workshop-Angebote / IMMS als Gastgeber

Lange Nacht der Technik Mai 2016, IMMS Ilmenau (*Demonstratoren, Vorträge*)

VDMA LabTour Industrie 4.0 August 2016, IMMS Ilmenau (*Vortrag, Laborführungen*)

20 Jahre IMMS September 2016, TU/IMMS Ilmenau (*Kolloquium, Festakt; Vorträge, Live-Demos, Expo Führungen*)

1st edaBarCamp November 2016, Hannover (*IMMS als Initiator und Mitorganisator*)

Aktuelle

Termine auf

www.imms.de.

Messen

Hannover Messe April 2016: IMMS als Aussteller und Gewinner des MICA-Wettbewerbs auf dem MICA-Stand; Juni 2016: Kickoff MICA-Network (*Vortrag, Demonstratoren*)

MEDICA November 2016, Düsseldorf (*Live-Demo; Mitaussteller, Gemeinschaftsstand DiagnostikNet-BB Düsseldorf*)

Überblick zu Konferenzen mit Beiträgen des IMMS

EAS 2016 8. GMM-Workshop „Energieautarke Sensorik“, Februar 2016, Renningen (Vortrag)

TuZ 2016 28. GMM/GI/ITG Workshop – Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen, März 2016, Siegen (2 Poster)

DATE 2016 "Design, Automation and Test", März 2016, Dresden (2 Vorträge, Ausstellung)

2. Thüringer Maschinenbautag Juni 2016, Erfurt (Posterpräsentation)

SPITSE 2016 3rd International Scientific Symposium "Sense. Enable. SPITSE. 2016", Moskau/Smolensk, Russland, Juni 2016, (2 Posterpräsentationen)

elmugafuture 2016 Juni 2016, Friedrichroda (Vortrag)

SMACD 2016 13th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design, Juni 2016, Lissabon, Portugal (Vortrag, Best Paper Award Runner-Up)

FDL 2016 Forum on specification & Design Languages, September 2016, Bremen (Vortrag und Best Paper Award)

M2M Summit 2016 Düsseldorf, Oktober 2016 (Vortrag)

12. Schmalkalder Werkzeugtagung November 2016, Schmalkalden (Vortrag)

Workshop on High Temperature Electronics November 2016, Duisburg (Vortrag)

Workshop – Wirtschaft 4.0 am TITK e.V. Dezember 2016, Rudolstadt (Vortrag)

- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFIA*
- > *Inhalt*
- * *Förderung*

Begutachtete Veröffentlichungen

Systematic MEMS ASIC Design Flow using the Example of an Acceleration Sensor, Jenny KLAUS¹. Roman PARIS¹. Ralf SOMMER¹. *13th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design (SMACD) 2016, 27–30 June 2016, Lisbon, Portugal*, pp. 1–4, DOI: <http://doi.org/10.1109/SMACD.2016.7520730>, (Best-Paper-Award-Runner-Up).

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Tri-Gate Alo.2Gao.8N/AlN/GaN HEMTs on SiC/Si-substrates, Wael JATAL¹. Uwe BAUMANN². Heiko O. JACOBS¹. Frank SCHWIERZ³. Jörg PEZOLDT¹. *Materials Science Forum*, ISSN: 1662-9752, Vol. 858, pp. 1174–1177, DOI: <https://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.858.1174>, ©2016 Trans Tech Publications, Switzerland. ¹FG Nanotechnologie,

Alle Publikationen auf www.imms.de.
Jahresbericht

100565, 98684 Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ³FG Festkörperelektronik, Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano® and Institut für Mikro- und Nanoelektronik, TU Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany.

Investigations of metal systems in a silicon ceramic composite substrate for electrical and thermal contacts as well as associated mounting aspects, M. FISCHER¹.

T. WELKER¹. B. LEISTRITZ². S. GROPP¹. C. SCHÄFFEL². M. HOFFMANN¹. J. MÜLLER¹. *Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies, Additional Conferences (Device Packaging, HiTEC, HiTEN, & CICMT): May 2016*, Vol. 2016, No. CICMT, pp. 000107-000110, DOI: <http://dx.doi.org/10.4071/2016CICMT-WA22>. ¹Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano®, TU Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Embedded tutorial: Analog-/mixed-signal verification methods for AMS coverage analysis, Erich BARKE¹. Georg GLÄSER². Hyun-Sek Lukas LEE¹. Markus OLBRICH¹.

Andreas FÜRTIG³. Lars HEDRICH³. Carna RADOJICIC⁴. Christoph GRIMM⁴. Fabian SPEICHER⁸. Stefan HEINEN⁸. Gregor NITSCHKE⁶. Eckhard HENNIG⁵. Wolfgang NEBEL⁷. *2016 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), Dresden, 2016*, pp. 1102-1111, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=ctarnumber=7459473&isnumber=7459269>. ¹Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ³Johann Wolfgang Goethe-Universität, Germany. ⁴University of Kaiserslautern, Germany. ⁵Reutlingen University, Germany. ⁶OFFIS - Institut für Informatik Oldenburg, Germany. ⁷University of Oldenburg and OFFIS, Germany. ⁸RWTH Aachen, Germany.

6D planar magnetic levitation system - PIMag 6D, Christoph SCHÄFFEL¹. Michael KATZSCHMANN¹. Hans-Ulrich MOHR¹. Rainer GLÖSS². Christian RUDOLF². Carolin WALENDA². *JSME Mechanical Engineering Journal*, Vol. 3 (2016) No. 1 p. 15-00111, The Japan Society of Mechanical Engineers, DOI: <http://doi.org/10.1299/mej.15-00111>.

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ²Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Germany.

Temporal Decoupling with Error-Bounded Predictive Quantum Control, Georg GLÄSER¹. Gregor NITSCHKE². Eckhard HENNIG³. *Languages, Design Methods and Tools for Electronic System Design, Selected Contributions from FDL 2015*, ISBN 978-3-319-31722-9, pp. 125-150. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693

Ilmenau, Germany. ²OFFIS - Institut für Informatik Oldenburg, Germany. ³Hochschule Reutlingen, D-72762 Reutlingen, Germany.

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016

ANCONA – Analog/Mixed-Signal Verifikationsmethoden für die AMS Coverage-Analyse, Andreas FÜRTIG³. Georg GLÄSER². Christoph GRIMM⁴. Lars HEDRICH³. Stefan Heinen⁶. Hyun-Sek Lukas Lee¹. Gregor Nitsche⁵. Markus Olbrich¹. Ralf Popp⁷. Thiya-garajann Purusothaman⁴. Carna Radojicic⁴. Ralf Sommer². Fabian Speicher⁶. Dieter Treytnar⁷. Newsletter edacentrum 01/02 2016, Seite 05–20. ¹Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ³Johann Wolfgang Goethe-Universität, Germany. ⁴University of Kaiserslautern, Germany. ⁵OFFIS - Institut für Informatik Oldenburg, Germany. ⁶RWTH Aachen, Germany. ⁷edacentrum, Germany.

> *Smarte Jacke*
> *ENTOMATIC*
> *KOSERNA*
> *HoTSens*
> *INSPECT*
> *AFiA*

> *Inhalt*
* *Förderung*

Vorträge und Posterpräsentationen

Gateway als Bindeglied zwischen Sensor und Business, Tino HUTSCHENREUTHER¹. *Workshop Wirtschaft 4.0 am TITK e.V. – Digitale Sensorik und Vernetzung sowie smarte Datenanalysen und zukünftige Geschäftsmodelle*, 6. Dezember 2016, *Rudolstadt*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Design and characterization of a high-temperature pressure measurement system, Georg GLÄSER¹. *Workshop on High Temperature Electronics*, 29. – 30. November 2016, *Duisburg*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Projektvorstellung „Mittelstand 4.0“, Frank SPILLER¹. *12. Schmalkalder Werkzeugtagung*, 3. – 4. November 2016, *Schmalkalden*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Knowing your A/MS system's Limit: System Acceptance Region Exploration by using Automated Model Refinement and Accelerated Simulation, Georg GLÄSER¹. Hyun-Sek Lukas LEE². Markus OLBRICH². Erich BARKE². *Forum on specification & Design Languages, FDL 2016*, 14. – 16. September 2016, *Bremen, Germany*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ²Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany.

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Vorstellung IMMS und Arbeiten zu Industrie 4.0, Tino HUTSCHENREUTHER¹. *VDMA LabTour Industrie 4.0*, 23. August 2016, *Ilmenau*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Jahresbericht
© IMMS 2016

An Approach to Extract Significant Features for Vehicle Classification Based on Magnetic Field Sensor Data, Vladimir SHKODA¹. Sylvia BRAEUNIG¹. Marco GOETZE². Hannes TOEPFER^{1,2}. *Sense. Enable. SPITSE, 2016, 20. – 24. Juni 2016, Moskau, Russland.*

¹Ilmenau University of Technology, Institute for Information Technology, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

On the Role of Wireless Sensor Networks for Intelligent Transportation Systems, Silvia KRUG¹. Jochen SEITZ¹. Elena CHERVAKOVA². Hannes TOEPFER². *Sense. Enable. SPITSE, 2016, 20. – 24. Juni 2016, Moskau, Russland.*

¹Communication Networks Group, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Flexible Hardware/Softwareplattformen für intelligente Industrie-4.0-Geräte, Tino HUTSCHENREUTHER¹. Wolfram KATTANEK¹. *elmug4future, Technologiekonferenz 2016, 21. Juni 2016, Friedrichroda.*

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Intelligente Lösungen für Industrie 4.0 – Diagnose und Überwachung in industriellen Anlagen, Tino HUTSCHENREUTHER¹. *2. Maschinenbautag, 15. Juni 2016, Erfurt.*

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Adaptive Wireless Ad-hoc Sensor Networks for Long-term and Event-oriented Environmental Monitoring, Jan BUMBERGER¹. Hannes MOLLENHAUER¹. Paul REMMLER¹. Andrei Marian CHIRILA¹. Olaf MOLLENHAUER². Tino HUTSCHENREUTHER³. Hannes TOEPFER⁴. Peter DIETRICH^{1,5}. *European Geosciences Union General Assembly, EGU 2016, 17. – 22. April 2016, Open Session on Geosciences Instrumentation and Methods, Vienna, Austria.*

¹UFZ - Helmholtz Centre for Environmental Research, Monitoring and Exploration Technologies - MET, Leipzig, Germany. ²TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH, Ilmenau, Germany. ³IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

⁴Technische Universität Ilmenau, Department of Advanced Electromagnetics, Germany. ⁵Eberhard Karls University, Centre of Applied Geosciences, Tübingen, Germany.

Identification of Critical Scenarios in AMS Verification: Methodology for Finding the Safe Operating Area of AMS Systems, Georg GLÄSER¹. Hyun-Sek Lukas LEE². Markus OLBRICH². Erich BARKE². Eckhard HENNIG³. *Design Automation and Test in Europe (DATE) 2016, 14. – 18. März 2016, University Booth, Embedded Tutorial: Analog-/*

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2016

Hörbarmachung von Ultraschallsignalen, Peter HOLSTEIN¹. Nicki BADER¹. A. THARANDT¹. R. JOHN¹. S. UZIEL². D. JANUSZKO^{2,3}. T. HUTSCHENREUTHER². Fortschritte der Akustik – DAGA 2016, 42. Jahrestagung für Akustik, 14. – 17. März 2016, Aachen, Germany. ¹SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Nauendorfer Str. 2, 06112-Halle (Saale), Germany. ²IMMS Institut

für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ³Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, Technische Universität Ilmenau, Germany.

Nanopositioning and nanomeasuring technology – following the challenges of nanofabrication, E. MANSKE¹. T. HAUSOTTE¹. R. FÜßL¹. T. FRÖHLICH¹. M. HOFMANN¹. I. RANGELOW¹. J. REGER¹. C. SCHÄFFEL². S. SINZINGER¹. R. THESKA¹. 11th Seminar on Quantitative Microscopy (QM) and 7th Seminar on Nanoscale Calibration Standards and Methods, Dimensional and related measurements in the micro- and nanometre range, March 9 – 11, 2016, Wroclaw, Poland. ¹Competence Centre „Nanopositioning and Nanomeasuring

Machines, Department of Mechanical Engineering, Technische Universität Ilmenau, 98684 Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Testschaltung für MEMS-Inertialsensoren-Auswerte-ASIC, Roman PARIS¹. Peter KORNETZKY¹. Jenny KLAUS¹. Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen – TuZ 2016, 6. – 8. März 2016, Siegen, Germany. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Hochtemperatur-Wafertest bis 300°C, Marco REINHARD¹. Ingo GRYL¹. Ulrich LIEBOLD¹. André RICHTER¹. Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen – TuZ 2016, 6. – 8. März 2016, Siegen, Germany. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany.

Adaptiver Frontend-ASIC für elektrostatische Energy-Harvester, Benjamin SAFT¹. Eric SCHÄFER¹. Andre JÄGER¹. Alexander ROLAPP¹. Eckhard HENNIG². 8. GMM Workshop Energieautarke Sensorik 2016, 25. – 26. Februar 2016, Renningen, Germany. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, D-98693 Ilmenau, Germany. ²Reutlingen

University, Germany.

DE 10 2013 113 378 „Verfahren und Schaltung zum Bestimmen des Zeitpunkts eines Extremums einer sich zeitlich verändernden Kapazität“. ERIC SCHÄFER.

BENJAMIN SAFT.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Förderung

- Das Projekt **AFiA** wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Kennzeichen **KF2534513P04** gefördert.

Gefördert durch:



- Das Projekt **Smart Jacket** wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) als Kooperationsprojekt unter dem Kennzeichen **KF2534511CJ4** gefördert.

- Das Projekt **StadtLärm** wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Kennzeichen **ZF4085703LF6** gefördert.

- Das **Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrum Ilmenau** ist Teil der Förderinitiative „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“, die im Rahmen des Förderschwerpunkts „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird. Das IMMS wird unter dem Kennzeichen **01MF16005C** als Akteur des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau gefördert.

Gefördert durch:



- Das Projekt **KOMPASSION** wurde 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**.

Gefördert durch:



- Das IMMS hat im Unterauftrag der Technischen Universität Ilmenau Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Projekt **KOSERNA** geleistet. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über den Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unter dem Förderkennzeichen **50 NA 1405** finanziert.

Mehr zur

Förderung auf

www.imms.de.

Jahresbericht

- Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben **ANCONA** wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **16ES0210K** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.
- Das Projekt **HoTSens** wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ unter den Kennzeichen **16ES0008** gefördert.
- Das Projekt **MEMS2015** wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen **16M3093** im Förderprogramm IKT 2020 gefördert.
- Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben **RoMulus** wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **16ES0362** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



> *Smarte Jacke*
> *ENTOMATIC*
> *KOSERNA*
> *HoTSens*
> *INSPECT*
> *AFiA*

> *Inhalt*
* *Förderung*

- Das Projekt **fast-wireless** wird als Cluster-Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen **03ZZ0505J** gefördert.
- Das Projekt **fast-realtime** wird vom Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH (PtJ), mit den Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ unter dem Kennzeichen **03ZZ0504J** gefördert.



- Das Projekt **ENTOMATIC** wird unter dem Förderkennzeichen **FP7-SME-2013-605073** im Rahmen des 7. Forschungsprogrammes „Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung bis zur angewandten Forschung“ durch die Europäische Union gefördert.



- Das diesen Ergebnissen zugrundeliegende Vorhaben **INSPECT** wird vom Freistaat Thüringen unter der



- Nummer **2015 FE 9159** gefördert und durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.
- Das vom Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben **MEMS-Vibro3D** wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) als Maßnahme zur forschungsbezogenen Geräteinfrastruktur unter dem Förderkennzeichen **2015 FGI 0010** kofinanziert.

*Mehr zur
Förderung auf
www.imms.de*

Jahresbericht

- Die Forschergruppe **Green-ISAS** wird gefördert durch den Freistaat Thüringen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds unter dem Kennzeichen **2016 FGR 0055**.



- Die Forschergruppe **GreenSense** wurde gefördert durch das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit (jetzt TMWWDG) aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds unter dem Förderkennzeichen **2011 FGR 0121**.

- Das Infrastrukturprojekt **SensorLab** wurde gefördert vom Freistaat Thüringen unter dem Förderkennzeichen **13027-514**.



- Das IMMS wird als Mitglied der Forschergruppe FOR 1522 **MUSIK** der DFG im Teilprojekt 5 unter dem Förderkennzeichen **SCHA771/2-1** gefördert.



Abkürzungen

ASIC *Application-specific integrated circuit*
(Applikationsspezifische integrierte Schaltung)

CMOS *Complementary metal-oxide-semiconductor*
(Komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter)

CPS *cyber-phisches System*

DAC *Digital-to-analog converter* (Digital-Analog-Wandler)

EDA *Electronic Design Automation* (Rechnergestützte Entwurfsmethodik)

FEM *Finite-Elemente-Methode*

FPGA *Field Programmable Gate Array* (vor Ort programmierbare Logik-Gatter-Anordnung)

FTE *Full-time equivalent* (Vollzeitäquivalent)

HF *Hochfrequenz*

HTTPS *HyperText Transfer Protocol Secure* (sicheres Hypertext-Übertragungsprotokoll)

IC *Integrated Circuit* (Integrierte Schaltung)

IKT *Informations- und Kommunikationstechnologien*

IP *Intellectual Property* (vorgefertigter Funktionsblock eines ASIC-/FPGA-Designs)

KMU *Kleine und mittelständische Unternehmen*

LTE *Long Term Evolution*, Mobilfunkstandard der vierten Generation (3.9G)

MEMS *Mikroelektromechanische Systeme*

PWM *Puls-Weiten-Modulation* – die Information über den übertragenen Wert wird im Tastverhältnis eines digitalen Signals kodiert.

RFID *Radio-frequency identification* (Hochfrequenz-Identifikationsverfahren)

SiCer *Silizium-Keramik-Verbundsubstrattechnologie*

SoC: System-On-Chip – komplexer ASIC mit vielen verschiedenen Systemkomponenten, wie z.B. Mikrocontroller, Sensoren, Aktoren, HF-Frontends.

SOI *Silicon on insulator* (Technologie zur Herstellung von Silizium-Schaltkreisen auf einer isolierenden Schicht)

TU *Technische Universität*

Herausgeber / Anbieterkennzeichnung

nach § 5 TMG, § 2 DLVO

IMMS Institut für Mikroelektronik-
und Mechatronik-Systeme
gemeinnützige GmbH
Ehrenbergstraße 27
98693 Ilmenau, Germany
+49.3677.87493.00 *Telefon*
+49.3677.87493.15 *Fax*
imms@imms.de
www.imms.de
www.imms.de/impressumdisclaimer.html

Vertretungsberechtigt:

Prof. Dr. Ralf Sommer,
wissenschaftlicher Geschäftsführer
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Kelm,
kaufmännischer Geschäftsführer

Rechtsform:

Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Registergericht: Amtsgericht Jena

Registernummer: HRB 303807

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

gem. § 27a UStG: DE 177 527 119

Analyse verlinkter Inhalte mit Piwik

Für die in der digitalen Version dieses Berichts mit www.imms.de verlinkten Inhalte nutzen wir Piwik für die anonymisierte Analyse und die Verbesserung unseres Jahresberichts. Die Open-Source-Software Piwik folgt den geltenden Datenschutzbestimmungen und ist nach

den Empfehlungen des Unabhängigen Landeszentrums für Datenschutz (ULD) konfiguriert. Unsere Datenschutzerklärung finden Sie unter www.imms.de/datenschutzerklaerung.html.

Externe Links

Die digitale Version des Jahresberichts enthält Verknüpfungen zu Webseiten Dritter („externe Links“). Das Setzen von externen Links bedeutet nicht, dass wir uns die hinter dem Verweis oder Link liegenden Inhalte zu Eigen machen. Für den Inhalt verlinkter Seiten haften ausschließlich deren Betreiber. Wir haben keinerlei Einfluss auf die aktuelle und zukünftige Gestaltung und auf die Inhalte der verknüpften Seiten.

Lektorat

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

Übersetzung

Susan Kubitz Sprachdienst

Gestaltung, Grafik, Satz und Fotografie

Dipl.-Hdl. Dipl.-Des. Beate Hövelmans

Druck: PROOF, www.proof-ef.de.

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

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Ansprech-

partner und

Anfahrt auf

www.imms.de.

Impressum

und rechtliche

Hinweise auf

www.imms.de.

Datenschutz-

erklärung auf

www.imms.de.