



IMMS

JAHRESBERICHT

2017



- 3 Vorwort
- 5 Beiträge des IMMS zu Industrie 4.0, Life Sciences und Energieeffizienz
- 8 Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau
- 11 Nachwuchsförderung am IMMS verbindet Theorie und Praxis
- 18 Stimmen von Projektpartnern aus Wissenschaft und Wirtschaft

- 23 Forschungsthema CPS: Energieeffiziente und energieautarke cyber-physische Systeme**
- 25 Highlights im Bereich CPS
- 43 **fast realtime** – Güterzugüberwachung in Echtzeit
- 52 **ANCONA** – Methoden-Mix beschleunigt Entwurf integrierter Schaltungen
- 62 Forschungsthema Sensorsysteme für die Bioanalytik und Medizintechnik**
- 64 Highlights im Bereich Integrierte Sensorsysteme für die Bioanalytik und Medizintechnik
- 70 **INSPECT** – Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik. Vorarbeiten für die Immobilisierung von Biomarkern.
- 76 **ADMONT** – Batterieloser RFID-Sensor-Chip funkt Messdaten aus wässrigen Lösungen
- 87 Forschungsthema Hochpräzisionsantriebe**
- 90 **PTB** – Hochpräzises Positioniersystem für Maßstäbe der nächsten Mikroelektronik-Generation
- 97 **in-ovo** – Prototyp für die automatisierte Geschlechtsbestimmung im Hühnerei

- 104 Zahlen, Strukturen und Belege**
- 105 Das IMMS in Zahlen
- 107 Organisation
- 109 Lehrangebot, Veranstaltungen
- 110 Publikationen
- 121 *Förderung (Förderangaben für alle im Text mit * gekennzeichneten Projekte)
- 124 Abkürzungen
- 125 Impressum, Datenschutz (Hinweise zur anonymisierten Analyse verlinkter Inhalte)

- 2
- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

- > 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.

Jahresbericht

© IMMS 2017



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 2017 intensiv genutzt, um für unsere Partner und gemeinsam mit ihnen den Bogen von den Grundlagen zu neuen Anwendungen zu spannen. 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“, „Energieeffizienz“, „Life Sciences“ und „Digitale Gesellschaft“ 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 heranzuführen.

Wir freuen uns über das, was wir 2017 erreicht haben – über die Auszeichnung unserer wissenschaftlichen Arbeiten mit einem Preis auf einer führenden internationalen Konferenz 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.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

▲ In dieser

Spalte können

Sie in der PDF

[navigieren ...](#)

... z.B.

[zum Kapitel](#)

[„Leitthemen“...](#)

... oder online

[zusätzliche](#)

[Infos abrufen.](#) ▼

[Mehr Jahres-](#)

[berichte 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

- 4 
- > *fast realtime*
- > *ANCONA*
- > *INSPECT*
- > *ADMONT*
- > *PTB*
- > *in-ovo*

- > *Inhalt*
- * *Förderung*

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

... oder online zusätzliche Infos abrufen. 

Mehr Jahresberichte auf www.imms.de.

Jahresbericht

Beiträge des IMMS zu den Leitthemen Industrie 4.0, Life Sciences und Energieeffizienz

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des IMMS sind geprägt durch den Bedarf an technologischen Beiträgen zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen wie dem Umweltschutz, der Energie- und Ressourceneffizienz, der Gesundheit und Sicherheit im industriellen, öffentlichen und privaten Raum.

Das IMMS fokussiert seine Forschungsthemen und Kompetenzen auf die Leitthemen Industrie 4.0, Life Sciences und Energieeffizienz. Das Institut konzentriert sich dabei auf Applikationsfelder und Zielbranchen, in denen die Integration von Elektronik, Mechatronik und Software in intelligente Systemlösungen hohes Innovations- und Wachstumspotential birgt. Das sind insbesondere Automatisierungstechnik, Medizintechnik/Life Sciences, Umwelt- und Verkehrstechnik sowie die Halbleiterindustrie.

Das IMMS hat 2017 seine Website um die Darstellung dieser Leitthemen erweitert und mit den jeweiligen Forschungs- und Entwicklungsthemen, Projekten, Publikationen, Netzwerkaktivitäten, Pressemeldungen und Terminen untersetzt.

Foto: Fotolia #84706238
Autor: Hamik.



Industrie 4.0

Das IMMS arbeitet an Industrie-4.0-Lösungen zur vernetzten Erfassung, Verarbeitung und Kommunikation von Mess- und Steuerdaten sowie zur Automation, Steuerung und Regelung von Maschinen und Industrieanlagen.

Hierfür entwickelt das IMMS energie- und ressourceneffiziente Sensorsysteme, mechatronische Präzisionsaktoren sowie eingebettete Hardware/Software-Komponenten und Systeme. Diese kommunizieren in Echtzeit über ein Datennetzwerk und interagieren mit der realen Welt. Damit können Anwender komplexe Automatisierungslösungen realisieren und Wertschöpfungsketten effizienter gestalten.

Das Institut forscht kontinuierlich an neuen Ansätzen für solche cyber-physischen Systeme. Diese intelligenten Lösungen vereinen Elektronik, Mechatronik und Software. Sie bieten ein hohes Innovationspotential und den Zugang zu neuen Anwendungen.

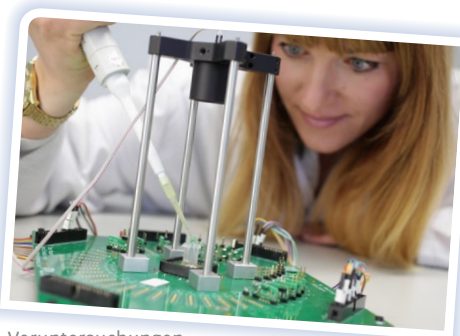
Mehr zu

Industrie 4.0:
www.imms.de

Das IMMS verbindet Mikroelektronik und Biowissenschaften für Diagnostik-Systeme

Der Schwerpunkt des IMMS im Bereich Life Sciences liegt in der Erforschung und Entwicklung von anwendungsspezifischen integrierten elektronischen Schaltkreisen (ASICs) und Sensorsystemen für die quantitative Vor-Ort- und In-vitro-Diagnostik sowie für therapiebegleitendes Monitoring. Die neuen Systeme werden künftig schnelle, zuverlässige, kosteneffiziente und automatisierte Point-of-Care-Tests u.a. für die Krebsfrüherkennung ermöglichen.

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



- 6 ○
- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

- > Inhalt
- * Förderung

Hierfür baut das IMMS auf seinen multiparametrischen Plattformen und auf kostengünstigen Standard-Fertigungsprozessen aus der Halbleiter-Elektronik (CMOS) auf. Die Forschung des Instituts konzentriert sich u.a. darauf, verschiedene Detektionsprinzipien für biologische und chemische Größen in einem elektronischen Sensorelement zu integrieren. Das IMMS arbeitet eng mit seinen Life-Sciences-Partnern zusammen, um die Systeme gemeinsam auf die Applikation anzupassen, beispielsweise durch spezielle Oberflächen-Funktionalisierungen, biokompatible Materialien und Packaging-Lösungen.

Das IMMS bündelt Know-how für Life-Science-Anwendungen seiner Partner

Das IMMS entwickelt Lösungen für rauen Bedingungen und höchste Präzision. Es realisiert energieeffiziente, robuste und biokompatible elektronische Sensor- und Aktorsysteme. Diese können beispielsweise über Jahre in Implantaten oder auch in feuchten Umgebungen und in Flüssigkeiten Daten erfassen, verarbeiten und verschicken. Darüber hinaus entwickelt das Institut Hochpräzisionsantriebe. Diese werden in der Medizintechnik eingesetzt und mit ihnen lassen sich Biotech-Produkte nanometergenau und partikelfrei herstellen.

Mehr zu Life Sciences auf www.imms.de.

Energieeffizienz im System selbst

Das IMMS erforscht und entwickelt Systeme, die selbst energieeffizient arbeiten, sowie Lösungen für deren Energieversorgung. Das ermöglicht unter anderem Innovationen im Bereich Industrie 4.0, wo viele verteilte Sensor-Aktor-Systeme autark arbeiten sollen. Das IMMS realisiert zudem extrem

verbrauchsarme Lösungen, um in physikalische Grenzbereiche vorzustoßen. Zum Beispiel wird durch Energieeffizienz im System Wärmeentwicklung vermieden, um unmittelbar biologische Strukturen ankoppeln zu können oder Nanometergenauigkeit von Hochpräzisionsantrieben zu ermöglichen.

Energieeffizienz in der Anwendung

Das IMMS erarbeitet Lösungen, die dabei helfen, Energieverbräuche zu senken, die Effizienz von Ressourcen zu erhöhen und damit die Umwelt zu schonen. Diese Entwicklungen werden vor allem in Sektoren mit hohem Energiebedarf und damit hohem Einsparpotenzial eingesetzt, wie in der verarbeitenden Industrie, im Verkehr und in der Gebäudewirtschaft.



Tests für die Anbindung eines Energy-Harvesting-Moduls zur energieautarken Versorgung von cyber-physischen Systemen (CPS). Foto: IMMS.

- 7
- > fast realtime
 - > ANCONA
 - > INSPECT
 - > ADMONT
 - > PTB
 - > in-ovo

- > Inhalt
- * Förderung

Mehr zu
Energieeffizienz:
www.imms.de

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 2017 hat das IMMS mit 21 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 von IMMS und TU Ilmenau

Start des Graduiertenkollegs „NanoFab“*

Seit 2017 arbeiten 13 Doktoranden, darunter einer am IMMS, in dem von der DFG für 4,5 Jahre geförderten NanoFab-Graduiertenkolleg 2182 an Lösungen für die spitzenseitige und laserbasierte 3D-Nanofabrikation in erweiterten makroskopischen Arbeitsbereichen. Betreut werden sie von Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern der Technischen Universität Ilmenau und des IMMS unter der Leitung des Instituts für Prozessmess- und Sensortechnik der Fakultät Maschinenbau. Das IMMS entwickelt Lösungen für ein Antriebssystem, das mehrachsige hochdynamische Bearbeitungen von Objekten mit Nanometer-Präzision ermöglichen soll.

Robuster Satellitenempfang trotz Stör- und Täuschsignalen – KOSERNA*-Folgeprojekt

Ergebnis des Forschungsprojekts KOSERNA ist ein kompaktes Satellitenempfangssystem für robuste Navigationsanwendungen, für das das IMMS im Auftrag des Fachgebiets Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik die Frontend-Schaltung entwickelte. Das IMMS hat die vorher im gemeinsamen Projekt „KOMPASSION“ erforschten Konzepte auf ein zweites Frequenzband übertragen, die Robustheit gegenüber Stör- und Täuschsignalen erheblich verbessert und dazu beigetragen, die Empfangseinheit weiter zu verkleinern. Im geplanten gemeinsamen Folgeprojekt werden die Lösungen für sicherheitsrelevante Anwendungen optimiert.

Ziel in Musik ist es, die funktionalen Eigenschaften mikroelektromechanischer Systeme (MEMS) bei hohen Frequenzen verstärkend, steuernd, oszillierend und schaltend in eine multiphysikalische Synthese und Integration komplexer Hochfrequenz-Schaltungen konsequent und konsistent einzubeziehen. In enger Kooperation mit der TU Ilmenau erforscht das IMMS hierfür MEMS-Eigenschaften als Baustein hochfrequenter Systeme. Das IMMS entwickelt konzentrierte Grundblöcke bzw. Bibliothekselemente, die als Basis für die Systemsimulation, unter anderem unter thermischen Gesichtspunkten, dienen.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Forschergruppe Green-ISAS*

Mit dem Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme erarbeitet das IMMS seit 2016 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. 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 zweier Demonstratoren validiert werden.

Mehr zu

MUSIK auf

www.imms.de.

Mehr zu

Green-ISAS auf

www.imms.de.

Forschungsprojekt fast-wireless*

Im Forschungsprojekt fast-wireless arbeitet das IMMS seit 2016 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 des Internet der Dinge und Industrie 4.0 in Echtzeit und mit hoher Zuverlässigkeit kommunizieren sollen.

Mehr zu fast-

wireless auf

www.imms.de.

IMMS als „Modellfabrik Migration“ des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau*

Das IMMS gibt als „Modellfabrik Migration“ Impulse zur Einführung von Industrie-4.0-Technologien für die Verbesserung von Anlagen und Prozessen. Konkret lassen sich beispielsweise Maschinen und Anlagen durch drahtlose und vernetzte Sensoren 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.

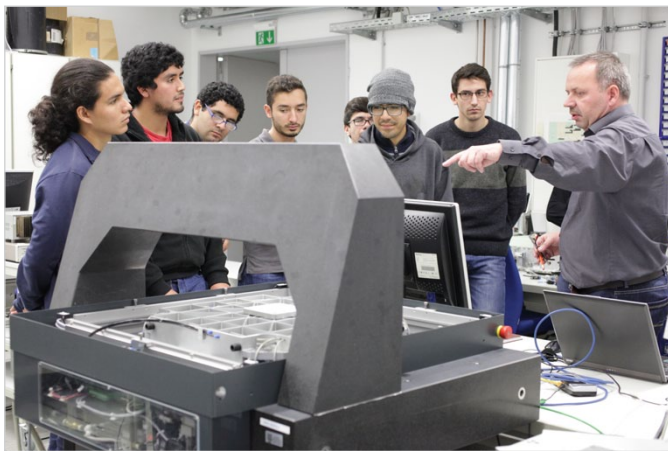
Mehr zu Mittel-

stand 4.0 auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017



2017 nutzten u.a. über 40 Studenten der TU Ilmenau aus dem vom DAAD geförderten Programm Südamerikanische Jungingenieure die Laborführungen am IMMS, um sich über passende Praktika und Betreuungsangebote zu informieren.

Foto: IMMS.

- > *fast realtime*
- > *ANCONA*
- > *INSPECT*
- > *ADMONT*
- > *PTB*
- > *in-ovo*
- > *Inhalt*
- * *Förderung*

Gemeinsame Nachwuchsförderung von IMMS und TU Ilmenau

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 die Motivation und Ausbildung der Studierenden durch seine praktischen und industriennahen Angebote u.a. durch zahlreiche Themen für Praktika, Besichtigungstouren und Veranstaltungen. Beispielsweise nutzten 2017 über 40 studentische Besucher aus dem vom DAAD geförderten Programm Südamerikanische Jungingenieure die Laborführungen am IMMS, um sich über passende Praktika und Betreuungsangebote zu informieren.

Zum Themenangebot auf www.imms.de.

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 – Wie lernt mein Handy das Spielen?“ demonstrierte Prof. Sommer über 600 Schülern im Alter von 8–12 Jahren an vielen (Bei-)Spielen und in Mitmach-Experimenten, wie ein Handyspiel entsteht und wie man dafür Klänge, Monster-Stimmen und Bilder erzeugt und zu einem Programm verarbeitet.



> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Der mobile Testaufbau für Chips, die bei 300°C hochgenau arbeiten und Industrieprozesse effizienter machen, ist das Ergebnis einer am IMMS betreuten Bachelorarbeit und wurde zur Langen Nacht der Wissenschaften am 3.11.2017 in Erfurt durch den Absolventen und seinen Betreuer vorgestellt. Foto: IMMS.

Nachwuchsförderung am IMMS verbindet 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 Anwendungen verknüpft. Zudem bietet das Institut Trainingskurse und Firmenbesichtigungen an.

Zum Themenangebot auf www.imms.de.

Es sind pro Jahr durchschnittlich 50 Studenten als Praktikanten oder studentische Hilfskräfte am IMMS tätig oder schreiben hier ihre Abschlussarbeiten. 2017 wurden 41 Studentinnen und Studenten am IMMS betreut. Darüber hinaus arbeiteten 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.

Jahresbericht

© IMMS 2017



Absolventin bei Untersuchungen für ihre am IMMS betreute Masterarbeit zu drahtlosen Sensornetzwerken im Fahrzeugumfeld.

Foto: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

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.

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 erlernen und durchführen zu können.

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

Zum Themenangebot auf www.imms.de.

Stimmen von Kollegen auf www.imms.de.

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.

> *fast realtime*
> *ANCONA*
> *INSPECT*
> *ADMONT*
> *PTB*
> *in-ovo*

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.

> *Inhalt*
* *Förderung*

Zur Infrastruktur auf www.imms.de.

Stimmen von Nachwuchswissenschaftlern am IMMS

Martin Grabmann, M.Sc.

»Mit der Wahl meines Studiums der Ingenieurinformatik an der TU Ilmenau habe ich versucht, meine beiden Interessenfelder Informatik und Elektrotechnik zu verknüpfen. Auch das IMMS arbeitet unter dem Motto „Wir verbinden die IT mit der realen Welt“ an dieser interdisziplinären Schnittstelle. Aus diesem Grund bin ich auf der Suche nach einem Fachpraktikum und einer Bachelorarbeit auf das IMMS aufmerksam geworden. Das Institut war mir aus den Vorlesungen von Prof. Sommer bereits bekannt und hat durch sein Profil sofort mein Interesse geweckt. Die positiven Erfahrungen, die ich als Praktikant wie auch während meiner Abschlussarbeit im Themenbereich System Design gesammelt habe, bestärkten mich darin, auch während



Martin Grabmann, M.Sc. (Mitte), nach der Verteidigung seiner Masterarbeit 2017, die am IMMS betreut wurde.

Die Ergebnisse flossen in eine Publikation ein, die zur SMACD-Konferenz 2017 als „Competition Runner-up“ ausgezeichnet wurde.

Foto: IMMS.

meines Masterstudiums dem IMMS treu zu bleiben und als studentische Hilfskraft im Themenbereich Mikroelektronik tätig zu sein.

Für meine Masterarbeit suchte ich nach einem Thema aus einem aktuellen Forschungsgebiet. Diese Möglichkeit wurde mir im Kontext des Projektes ANCONA geboten, in dem innovative Ansätze für die EDA-Methodik entwickelt wurden und ich meine Masterarbeit zum Thema „Verfahren für die Analog/Mixed-Signal System-Level Sensitivitätsanalyse“ bearbeiten konnte. Gemeinsam mit meinem Betreuer entstand aus Teilen meiner Arbeit eine wissenschaftliche Publikation. Es hat mich sehr gefreut, dass der Beitrag angenommen wurde und ich meine Ergebnisse auf der SMACD-Konferenz 2017 in Italien präsentieren durfte. Für unsere gemeinsame Arbeit wurden wir dort sogar mit dem „Competition Runner-up“-Preis ausgezeichnet.

Nach Abschluss meines Studiums bin ich seit Mai 2017 am IMMS als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Themenbereich Mikroelektronik beschäftigt. Dabei liegt mein Arbeitsschwerpunkt auf der Verifikation von Mixed-Signal-ASICs. Bei der Verifikation geht es darum den Chip „herauszufordern“, indem vor der Fertigung durch Simulation geprüft wird, ob alle Anforderungen und Ziele des Entwurfes erfüllt werden. Um dies für immer komplexere Systeme möglich zu machen, ist Systemverständnis und die Anwendung der richtigen Methoden zur Abstraktion und Modellierung notwendig. Es freut mich, wenn ich mit meiner Arbeit zum Erfolg von industriellen Entwicklungsprojekten und zur Evaluierung innovativer Schaltungskonzepte z.B. in den Bereichen RFID-Kommunikation oder Biosensorik beitragen kann.

Besonders schätze ich in meiner täglichen Arbeit die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit meinen Kollegen in einem internationalen Team. Dieses Umfeld bietet mir die ideale Möglichkeit zur inhaltlichen und persönlichen Weiterentwicklung, die ich auch in Zukunft mit dem Ziel meiner Promotion nutzen möchte.«

Stephan Gorges, M.Sc.

»In vielen Bereichen der Industrie sind die Produkte „ausentwickelt“. Funktionsverbesserungen sind zu teuer, daher wird häufig nur noch versucht, die Kosten zu reduzieren. Ich persönlich möchte jedoch nicht den 100. Abgaskrümmen entwickeln, um diesen noch ein paar Cent günstiger produzieren zu können. Viel mehr hat für mich oberste Priorität, die Funktionalität ans technisch machbare Limit zu treiben.

Dabei hat man insbesondere bei F&E-Arbeiten für kleine und mittelständische Unternehmen die Möglichkeit, von der Prinzip-Phase bis zum Aufbau und der Inbetriebnahme des ersten Prototyps voll involviert zu sein. Das Systemverständnis ist am IMMS eine Kernkompetenz: Ich muss beispielsweise Antriebs-, Übertragungs-,

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

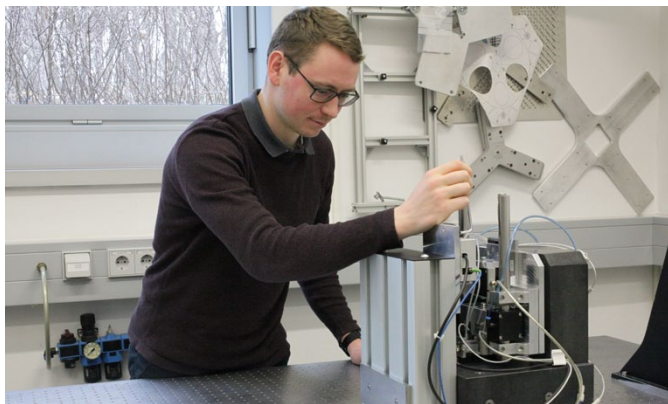
> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Zum Kapitel

„Competition Runner-up“.



Stephan Gorges, M.Sc., bei Vorarbeiten am IMMS für ein hochdynamisches Antriebssystem zur mehrachsigen Bearbeitung von Objekten mit Nanometer-Präzision, mit denen er sich im Graduiertenkolleg befasst.

Foto: IMMS.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Bewegungs-, Mess- und Regelungssysteme verstehen, damit diese im Einklang funktionieren. Den Überblick behalten und nicht in Schubladen denken, lautet die Devise. Meine erworbenen Kenntnisse muss ich vielfältig anwenden und aufgrund neuer Herausforderungen immer wieder erweitern und vertiefen.

Für mich als ehemaliger Student der Mechatronik machen die domänenübergreifenden Anforderungen den Reiz aus. Der Themenbereich Mechatronik am IMMS beschäftigt sich, neben den mechanisch-elektrischen Mikrosystemen, mit Präzisionsantrieben. In dieser hochtechnisierten Branche sind neue Konzepte gefragt, um makroskopische Objekte mit Nanometer-Präzision zu bewegen. An der TU Ilmenau wurde dazu das Graduiertenkolleg NanoFab eingerichtet, um solche Präzisionsmaschinen weiter zu verbessern und neuartige Verfahren für die Fabrikation auf Nanometergröße zu erforschen. Das IMMS ist Teil des Graduiertenkollegs, wobei ich mich mit den besonderen Herausforderungen der vertikalen Bewegungssysteme an Nanopositionier- und -messmaschinen beschäftige.

Warum ich mich für das IMMS entschieden habe? Ganz einfach: Mein Bachelor-Praktikum und die Bachelor-Arbeit habe ich bereits am IMMS absolviert und dabei sehr gute Erfahrungen mit dem Arbeitsumfeld und den Kollegen gemacht. Daher war es für mich eine leichte Entscheidung, mich erneut – diesmal mit vollendetem Abschluss – am IMMS zu bewerben. Wichtig bei der Entscheidung war für mich vor allem auch das Arbeitsklima. Hier bin ich Teil eines familiären Teams, bei dem sich alle auf Augenhöhe begegnen. Man hilft sich gegenseitig und lernt viel voneinander. Außerdem sind die Büro- und Laborräume sehr modern ausgestattet, wodurch sich der Arbeitsalltag sehr angenehm gestaltet. Aber auch außerhalb der Büroräume werden immer wieder gemeinsame Aktivitäten, wie etwa Grillabende, Fahrradtouren oder Rodelwettbewerbe, unternommen.«

Fachartikel zu Hochpräzisionsantrieben.

Zum Kapitel NanoFab.

Stimmen von Kollegen auf www.imms.de.

Jahresbericht



Lange Nacht der Wissenschaften in Erfurt 2017. Im Vortrag „Wie entwirft man einen Chip?“ gab es eine Live-Vorführung von Entwurfswerkzeugen und Prototypen für Gäste ab 12 Jahren zu sehen. Das Angebot nutzten auch viele Schüler und Studentengruppen. Im Bild: Cadence-Umgebung mit einem Chip-Layout aus dem aktuellen Forschungsprojekt ADMONT. Foto: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Informieren, Probieren, Mitmachen: Lange Nacht der Wissenschaften in Erfurt

Zur Langen Nacht der Wissenschaften in Erfurt am 3. November 2017 besuchten etwa 300 Gäste vom Grundschul- bis zum Rentenalter und vom Laien bis zum Experten das IMMS. Darunter waren auch etliche Sekundarschüler und Studentengruppen, um sich umzuschauen, zuzuhören, auszuprobieren und jede Menge Fragen an die Forscher und Entwickler vom IMMS loszuwerfen.

Mitmachexponate aus F&E-Projekten

Das IMMS hatte Mitmachexponate vorbereitet, mit denen für Besucher ab sechs Jahren aktuelle F&E-Arbeiten des Instituts und mit Partnern entwickelte Lösungen greifbar gemacht wurden. Darunter war z.B. ein Aufbau, mit denen man Lecks in Druckluftleitungen mit einem



Ultraschallprüfgerät finden konnte, das SONOTEC und IMMS für die vorbeugende Instandhaltung und Prozessoptimierungen entwickelt haben. Per Tablet und dessen Lagesensor konnten Besucher außerdem das Spiel LEDtris auf einer LED-Wand drahtlos steuern, das auf der am IMMS entwickelten Universalelektronikplattform für Industrieanwendungen, der BASE-Box, läuft. Mit dieser Kommunikationslösung werden am IMMS unterschiedliche Anwendungen mit drahtlosen Sensornetzwerken realisiert, wie z.B. für die Gebäudeautomation, für das Umwelt- und Verkehrs-Monitoring. Mit Hilfe von waschbarer Elektronik und gestrickten Schaltflächen ließ sich u.a. ein Modellzug steuern. Die gestrickte waschbare Fernbedienung wird gerade mit dem Partner Strick Zella für die Serientauglichkeit weiterentwickelt und kann für verschiedene Anwendungen im Gesundheitssektor und in der Industrie genutzt werden.

Details zur

Langen Nacht:

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017

Unter der Überschrift „Wie entsteht ein Chip?“ gab es für die großen Gäste drei jeweils mehrfach gehaltene Vorträge, in denen man erfahren konnte, wie man eine enorme Menge komplexer Funktionen auf wenige Quadratmillimeter packt. Im Vortrag „Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik“ erfuhren die Zuhörer am Beispiel Bioanalytik, warum und wie für jede spezielle Anwendung die Randbedingungen und die Anforderungen genau definiert werden müssen, bevor es mit der Chip-Entwicklung losgehen kann. Fragen zum Design beantwortete der Vortrag „Wie entwirft man einen Chip?“ mit einer Live-Vorführung von Entwurfswerkzeugen und mit realisierten Prototypen. Der Vortrag „Hitzetest für Mikroelektronik“ lieferte Einblicke in die Arbeiten für Charakterisierung und Test, die nach der Chip-Produktion losgehen. Es wurde deutlich gemacht, dass es auch hier meist keine Standardlösung gibt, um die Funktionen eines Chips zu überprüfen – beispielsweise, wenn für Hochtemperatur ausgelegte Mikroelektronik bei 300°C geprüft werden muss, wo Standard-Testausrüstung längst weggeschmolzen ist.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

Chips in rauen Umgebungen – Testaufbauten zu den Vorträgen

Passend zu den Vorträgen gab es mehrere Testaufbauten, u.a. zur Analyse von Bioproben, die direkt auf den Chip gegeben werden, um präzise Diagnosen für Prostata- und Darmkrebs binnen weniger Minuten zu erhalten. Darüber hinaus konnte man einem batterielosen RFID-Sensor-Chip zusehen, wie er Messdaten aus unterschiedlich temperiertem Wasser funkt. Der mobile Testaufbau für Chips, die bei 300°C hochgenau arbeiten und Industrieprozesse effizienter machen sollen, veranschaulichte nicht nur die Inhalte aus dem Vortrag zu Charakterisierung und Test von Mikroelektronik.

*Details zur
Langen Nacht:
www.imms.de*

Einladung zu studentischen Arbeiten am IMMS

Der Hitzetest-Aufbau ist außerdem das Ergebnis einer am IMMS betreuten Bachelorarbeit und wurde den Besuchern eigens durch den Absolventen und seinen Betreuer vorgestellt. Zudem wurden zwei weitere Exponate von studentischen Mitarbeitern präsentiert. Auf das Betreuungsangebot des IMMS



für Studenten und auf deren Arbeitsergebnisse wurde an dem Abend an vielen Stellen verwiesen. Darüber hinaus konnten mehrere Kollegen zur Langen Nacht in Erfurt von ihrem Einstieg am IMMS über ihre studentische Mitarbeit berichten.



Dr.-Ing. Dirk Nuernberg (links), Analog Designer, Melexis GmbH Erfurt. Der Industriepartner Melexis konnte mit den Methoden des IMMS in kürzester Zeit die Problemstellen dreier Schaltungen identifizieren.

Foto: IMMS.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Dr.-Ing. Dirk Nuernberg, Melexis

„Wir liefern seit über zwanzig Jahren ICs an die Autoindustrie. Unser Forschungs- und Entwicklungsteam arbeitet pro Jahr an Dutzenden neuen, intelligenten ICs und Sensor Komponenten. Diese sollen nicht nur Pkw, Lkw und Geländegeräte sicherer, zuverlässiger und energieeffizienter machen, sondern auch Systeme für Home Automation, Industrie und Medizin. Die ICs beinhalten immer mehr intelligente Funktionsblöcke und werden damit zunehmend komplexer. Das heißt, es müssen immer mehr Funktionen immer kompakter auf einer Chip-Fläche angeordnet werden. Dadurch kann es zu physikalischen Effekten kommen, die nicht mit der gewünschten Funktion zusammenhängen, wie z.B. das Übersprechen durch nebeneinanderliegende Leitungen. Layouts müssen daher oft in vielen Schritten mit viel Aufwand optimiert werden. Standard-Werkzeuge melden zwar Fehler, können aber nicht die Elemente identifizieren, die Fehler verursachen und verändert werden müssen. Will man aus wirtschaftlichen Überlegungen Chip-Flächen minimieren und dort gleichzeitig kompaktere Layouts unterbringen, kommt das quasi einer Quadratur des Kreises gleich: Je nach Komplexität der Schaltung würde das für einen Designer bedeuten, mehrere hundert bis tausend potentielle Fehlerquellen manuell modifizieren und Auswirkungen einzelner Kopplungen untersuchen zu müssen.

Das IMMS hat eine neue Methode entwickelt und in einem Programm implementiert, das automatisch kritische parasitäre Elemente beim Schaltungsentwurf findet und bewertet. Die zeitaufwendige Layout-Optimierung kann so stark beschleunigt werden. Eine Evaluation dieser Methodik machte das hohe Potential deutlich: Wir konnten in kürzester Zeit die Problemstellen dreier Schaltungen identifizieren. Wir freuen uns darauf, dieses Vorgehen auch zukünftig für unsere Designs einzusetzen.“

www.melexis.com

Details

im ANCONA-

Fachartikel.

Jahresbericht

© IMMS 2017

„Funkwerk ist Weltmarkt- und Technologieführer für professionelle Zugfunksysteme. Diese Position sichern wir uns mittels eines festen Mitarbeiteranteils von einem Drittel unserer gesamten Belegschaft in unserer Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Neben den kontinuierlichen Weiterentwicklungen unserer Produkte stellen wir im Bereich R&D regelmäßig unsere bestehenden Lösungen in Frage, um sowohl unseren technologischen Vorsprung zu sichern, als auch zukünftig unseren Kunden maßgeschneiderte und flexible Systeme anbieten zu können.

> *fast realtime*
> *ANCONA*
> *INSPECT*
> *ADMONT*
> *PTB*
> *in-ovo*

Mit Blick auf die erheblichen Kosten, die bei der Logistik, beim Monitoring und der Wartung anfallen, haben wir so unter anderem nach Lösungen gesucht, mit denen man Güterzüge effektiv, energie- und kosteneffizient während ihres Betriebes überwachen kann. Hierbei haben wir die Idee geboren, Sensorik-Daten für alle Güterwagen eines Zugverbandes auf dem Trieb-Fahrzeug zu erfassen und per Funk zu versenden. Dabei sollen auch zu erwartende gelegentliche Abbrüche der Funkverbindung das System als solches nicht in Frage stellen.

> *Inhalt*
* *Förderung*

Für die Entwicklung einer entsprechenden Lösung wurden wir im Projekt „fast realtime“ durch das IMMS tatkräftig unterstützt, mit dem wir bereits im Jahr 2007 erfolgreich zusammengearbeitet haben und dessen Aktivitäten wir seitdem mit Interesse verfolgen. Das IMMS hat tiefgehende Kenntnis zu Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Funkvernetzung, zum Umgang mit energieautonomen Systemen sowie zur energetischen Optimierung. Auf dieser Grundlage hat es unter anderem auf dem Sektor des Umwelt- und Verkehrsmonitorings überzeugende Lösungen entwickelt, die in der Praxis im Einsatz sind. Daher war diese Kooperation für uns ein konsequenter Schritt für neue Ansätze, mit denen wir auch weiterhin in der anspruchsvollen Umgebung des Eisenbahnsektors maximale Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gewährleisten können.

Das Ergebnis unserer Zusammenarbeit ist ein Prototyp, der die Erhebung und Überwachung bahrelevanter Funktionen im Zugverbund und die Übertragung dieser Daten in Echtzeit realisiert. Das IMMS hat dabei das zuginterne drahtlose Kommunikationssystem entwickelt, Funktionen zur Überwachung aller geforderten Parameter realisiert und diese Lösung energetisch optimiert. Wir sind mit dem Ergebnis sehr zufrieden – das Demonstratorsystem wurde am Modell getestet und funktioniert einwandfrei. Darüber hinaus hat uns das IMMS zu Testzwecken eine Softwaresimulation zur Verfügung gestellt, womit wir unseren Wertschöpfungsanteil parallel und ohne Wartezeiten entwickeln konnten. Bei der Spezifizierung der Soft- und Hard-

*Details im
fast-realtime-
Fachartikel.*

*Jahresbericht
© IMMS 2017*

wareschnittstellen konnten wir mit dem IMMS von einem ausgesprochen kompetenten und engagierten Projektpartner profitieren. Nicht nur damit, sondern auch in der allgemeinen Zusammenarbeit hat das IMMS durch das Mitdenken für unsere Anforderungen und die Offenheit bei der Lösungsfindung, ausgehend von der Anwendung und dem Umfeld, den Projektfortschritt positiv beeinflusst. Wir konnten uns stets auf kompetente Ansprechpartner verlassen und bedanken uns herzlich für die gute Zusammenarbeit. Derzeit evaluieren wir Möglichkeiten, den Prototypen an realen Güterzügen testen zu können und prüfen, ob aufbauend auf positiven Testergebnissen eine Industrialisierung der Lösung gemeinsam mit dem IMMS realisierbar ist.“

Dr. Uwe Stöpel, Direktor R&D, Funkwerk Systems GmbH.

www.funkwerk.com

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Sylvo Jäger, microsensys GmbH

„Microsensys ist Entwickler und Hersteller von Radiofrequenz-basierten Identifikations- und Sensorlösungen, welche unter anderem im industriellen oder auch medizinischen Umfeld bei Prozesskontrolle und -optimierung Verwendung finden. Hierbei liegt der Fokus vor allem auf Spezialapplikationen, wofür es insbesondere in Sensorik-Anwendungen zugeschnittener und extrem optimierter Komponenten bedarf.

Innerhalb des Förderprojektes „Robuste Multisensorik zur Zustandsüberwachung in Industrie-4.0-Anwendungen“ (Kurztitel: RoMulus) arbeiten wir seit zwei Jahren eng und konstruktiv mit dem IMMS zusammen, um einen flexiblen UHF-RFID-Frontend-ASIC als Basis für die Herstellung von Sensortranspondern zu entwickeln. Unsere praktischen Anforderungen an den ASIC für die nachfolgende Entwicklung von Produkten wurden gemeinsam diskutiert und dann innerhalb des analogen sowie auch digitalen ASIC-Designs sehr gut umgesetzt. Hierbei bildeten die vorliegenden Kenntnisse des IMMS-Entwicklungsteams im Low-Power- und Sensorbereich eine hervorragende Grundlage für eine technologisch anspruchsvolle Umsetzung.



Sylvo Jäger, Leiter Entwicklung, microsensys GmbH Erfurt. Foto: microsensys.

Weitere

RFID-Lösungen

im ADMONT-

Fachartikel.

Jahresbericht

Neben der Kooperation innerhalb des Förderprojektes ist eine intensive Zusammenarbeit zur Lösung von Problemstellungen aus Anforderungen in weiteren Kundenprojekten entstanden. Die technologischen Grundlagen aus dem gemeinsamen Förderprojekt sowie intensive Diskussionen bieten eine gute Basis, um Kunden gemeinsam Lösungsansätze aufzuzeigen und dann umzusetzen.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Wir schätzen die gemeinsame Zusammenarbeit mit dem IMMS seit mehreren Jahren. Es stellt für uns einen innovativen regionalen Technologiepartner dar, der uns bei der Umsetzung von Entwicklungsaufgaben im Bereich ASIC-Design, aber auch koordinierend bei der Durchführung von industriellen und öffentlich geförderten Verbundprojekten unterstützen kann. Wir freuen uns, aufbauend auf den bisherigen Entwicklungserfolgen auch zukünftig gemeinsam anspruchsvolle Problemstellungen zu lösen.“

www.microsenssys.de

Prof. Dr. Almuth Einspanier, Universität Leipzig

„Seit 2011 forschen wir an einem Verfahren, mit dem man per Hormonanalyse zuverlässig das Geschlecht eines Hühnerküken vor dem Schlupf bestimmen kann. Wir arbeiten mit Herzblut an diesem Thema, denn unser Ziel ist es, eine praxistaugliche Lösung zu finden, die dem Töten männlicher Küken in Legehennenbetrieben ein Ende bereitet.

Um unser endokrinologisches Verfahren zu validieren, haben wir bereits 2013 mehr als 10.000 Eier manuell beprobt. Dazu wurde jedes einzelne Ei mit einem Gerät manuell punktiert, um Proben für unsere Untersuchungen zu entnehmen. Damit konnten wir eine 98%ige Prognose-Genauigkeit am neunten Bruttag erzielen. Bereits am Anfang dieser Untersuchungen war klar, dass sowohl die mechanische Punktion als auch die Arbeitsschwindigkeit die großen Hürden für eine Praxis-tauglichkeit darstellen werden.



Prof. Dr. med. vet. Almuth Einspanier, Institutsleiterin des Veterinär-Physiologisch-Chemischen Instituts (Arbeitsgruppe Endokrinologie) der Universität Leipzig.

Foto: SELEGGT GmbH.

Mit dem IMMS haben wir einen Partner gefunden, der mit uns die prinzipielle Durchführbarkeit einer maschinellen sowie für mehrere Eier gleichzeitigen Probenentnahme untersucht hat. Im Ergebnis entstand ein Prototyp, bei dem unsere Erfahrungen aus den manuellen Untersuchungen in ein Maschinenkonzept eingeflossen sind. Das Gerät übernimmt nach dem Einlegen einer Horde mit 75 Eiern parallel für fünf Eier die Punktion, Probenentnahme und Probenabgabe in eine Mikrotiterplatte. Nach 15 Zyklen ist die Titerplatte gefüllt und kann für die hormonelle Untersuchung verwendet werden. Der Prototyp wurde in Versuchen erfolgreich erprobt und erzielte ein sehr erfreuliches Ergebnis: Mehr als 2.000 Eier wurden beprobt, dabei betrug die Schlupfrate 86,5%, der Beprobungserfolg 89,5% und die endokrine Diagnose 95%.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Wir waren mit diesem Ergebnis sehr zufrieden, wozu auch die Art der Zusammenarbeit beigetragen hat, die sich stets positiv gestaltet hat. Von Beginn an gab es einen regelmäßigen Informations- und Wissensaustausch, bei dem die Mitarbeiter des IMMS in das Wissen, die Sprache und die Prinzipien unserer Disziplin eingetaucht sind. Auf unsere neuen Erkenntnisse im Projektverlauf hat das IMMS stets flexibel reagiert und Lösungen überarbeitet. Für die überaus konstruktive Kooperation möchten wir uns herzlich beim IMMS bedanken.

Details

im in-ovo-

Fachartikel.

Nach diesem ersten und entscheidenden Schritt für eine automatisierte Lösung haben wir die Ergebnisse und Erfahrungen bereits erfolgreich in Weiterentwicklungen mit einem Spezialisten für Brüterei-Equipment einfließen lassen.“

physchem.vetmed.uni-leipzig.de

Mehr Stimmen

von Partnern:

www.imms.de.



FORSCHUNGSTHEMA CPS:

ENERGIEEFFIZIENTE UND ENERGIEAUTARKE CYBER-PHYSISCHE SYSTEME

Dieser batterielose RFID-Chip funkt Messdaten durch Behälter und Flüssigkeiten hindurch über Distanzen bis zu vier Zentimetern. Eine Batterie ist dank der vom IMMS implementierten Ultra-Low-Power-Konzepte überflüssig: Die RFID-Ausleseinheit erzeugt ein magnetisches Feld, das dazu ausreicht, den passiven RFID-Chip mit Strom zu versorgen sowie Messdaten zu erfassen und zu senden.

Das u.a. in den Projekten RoMulus und ADMONT verfolgte Prinzip für batterielose RFID-Sensorik wird derzeit am IMMS auf weitere Messgrößen übertragen. Damit soll die Basis für vielfältige Anwendungen geschaffen werden, z.B. für das Monitoring von bioanalytischen Verfahren oder von Industrieprozessen. Foto: IMMS.

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 Regelungs- 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 zu

Industrie 4.0:
www.imms.de.

Projekte im
Bereich CPS auf
www.imms.de.



Der im Projekt ADMONT entwickelte batterielose RFID-Chip misst Temperaturwerte in einem großen Bereich von 0 °C bis 125 °C mit einer systematischen absoluten Genauigkeit von $\pm 0,4$ °C, die von einer RFID-Ausleseinheit erfasst und verarbeitet werden.

Foto: IMMS.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Im Projekt AgAVE* realisierter Versuchsaufbau für die Integration lokaler Industrie-4.0-konformer Assistenzsysteme in Fertigungsanlagen. Foto: IMMS.

Highlights im Bereich energieeffiziente und energieautarke cyber-physische Systeme (CPS)

Projektstart von AgAVE*

Das Fraunhofer IOSB-Anwendungszentrum für Industrielle Automation und das IMMS arbeiten seit März 2017 an der Industrie-4.0-Konformität für ein Assistenzsystem zur automatischen Analyse von vernetzten Anlagen. Ein Baustein für komplexe Automatisierungslösungen und effiziente Wertschöpfungsketten ist die Zustandsüberwachung von Maschinen und Industrieanlagen.

Im Projekt AgAVE werden **algorithmische Grundlagen** für Assistenzsysteme erarbeitet, die direkt in vernetzte Anlagen integriert werden und diese im laufenden Betrieb automatisch analysieren. Mit einem solchen Assistenzsystem sollen Anlagenbediener unter anderem bei komplexen Status- und Fehlerursachenanalysen unterstützt werden.

Ziel ist, das Assistenzsystem in Industrie-4.0-Umgebungen zu nutzen. Für die **Architektur** eines solchen Assistenzsystems untersucht das IMMS geeignete Plattformen bzw. Infrastrukturen.

Da das Assistenzsystem in vernetzten Umgebungen eingesetzt werden soll, gilt es sicherzustellen, dass eine herstellerübergreifende **Kommunikation** gewährleistet wird. Dies soll durch die **Industrie-4.0-Verwaltungsschale** ermöglicht werden, die maßgeblich für den Informationsaustausch von den einzelnen Modulen zum Nutzer

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

AgAVE auf

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017

als auch zwischen den Modulen untereinander verantwortlich ist. Das IMMS erforscht daher den Aufbau der Verwaltungsschale, welche Parameter diese beinhalten muss und wie diese kommuniziert werden. Hierfür werden vorrangig OPC-UA-Protokolle für die Industrie-4.0-Kommunikation verwendet.

Den Algorithmen müssen Daten für die Analyse zugeführt werden. Hierfür werden durch das IMMS **Schnittstellen** definiert und untersucht, inwiefern diese echtzeitfähig sein müssen und ob dies mittels OPC UA in allen Fällen gewährleistet ist. Beispielsweise kann eine Echtzeitfähigkeit per TSN (Time Sensitive Networking) erreicht werden.

Das Projekt wird begleitet vom **Industriebeirat** aus den Unternehmen pmOne, TE Connectivity Germany, ifm electronic, Weidmüller Interface, iba AG, BN Automation AG, Riha Wesergold und 3D Schilling.

Einfach genial: gestrickte, waschbare Fernbedienung im MDR und als Lösung für smarte Fahrradkleidung

Das MDR-Fernsehen war im März 2017 zu Besuch in der Strickmanufaktur Zella GmbH in Thüringen, dem Partner des IMMS im 2016 abgeschlossenen Projekt Smart Jacket.* In der Strickmanufaktur wurde in den gemeinsam entwickelten Jacken durch die **Sendung „Einfach genial“** geführt, in der Erfindungen vorgestellt werden. Welche Elektronik ins Textil kommt, warum sie dort jahrelang mit wenig Energie arbeiten kann und wie sie sich per Smartphone einstellen lässt, zeigte der Ausflug des MDR ans IMMS. Für den in der Sendung vorgestellten Prototyp wurden alle Arbeiten für die gestrickten Schalter und für die energieeffiziente, waschbare Elektronik auf Funktionskleidung zugeschnitten, die z.B. den Alltag behinderter Menschen erleichtern

> *fast realtime*
> *ANCONA*
> *INSPECT*
> *ADMONT*
> *PTB*
> *in-ovo*

> *Inhalt*
* *Förderung*

*Details und
Videolinks zu
Smart Jacket:
www.imms.de*



Dreharbeiten zur energieeffizienten Elektronik, die das IMMS im Projekt Smart Jacket* entwickelt hat. Foto: IMMS.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

und in der Industrie die Maschinenbedienung ergänzen soll. Inzwischen entwickeln die Partner diesen Prototyp weiter für die Serientauglichkeit.

Die Entwicklungen des IMMS sind zudem in das 2017 bearbeitete **Projekt „incyc: Innovative Cycling Solutions“** eingeflossen. Darin arbeiteten die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, die Strickmanufaktur Zella GmbH, das TITV Institut für Spezialtextilien und flexible Materialien, die VAUDE Sport GmbH & Co. KG und der VCD Verkehrsclub Deutschland daran, smarte Elektroniklösungen mit modernem, funktionellem und nachhaltigem Design für Radfahrer im urbanen Raum zu verbinden. Ergebnis ist ein realisierter Entwurf eines Textilmoduls, das mit integrierten LEDs als Blinker dient und auf Jacke, Rucksack oder Gürtel getragen werden kann. Per Handdruck können Radfahrer die LEDs über in Pullover oder Jacke eingestrickte textile Schalter oder direkt am Lenker bedienen, ohne die Hände vom Lenker zu lösen. Die Arbeitsstände wurden als Design- und Funktionsmuster auch zur Langen Nacht der Wissenschaften am IMMS in Erfurt präsentiert.

Projekt Ko²SiBus* gestartet: Kontinuierliche und kostengünstige Signalüberwachung für industrielle Bussysteme

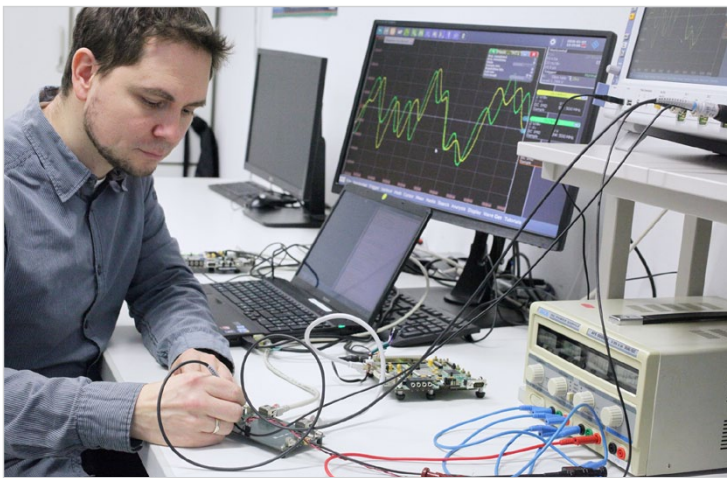
Mehr zu Signalverarbeitung:
www.imms.de

Bislang kein durchgehendes Monitoring von Kommunikationsleitungen vernetzter Anlagen

Damit in der Industrie hochautomatisierte Prozesse reibungslos ablaufen können, werden Zustände und Abläufe in Maschinen und Anlagen einem permanenten Monitoring unterzogen. Die drahtgebundenen Ethernet-basierten Kommunikationsleitungen für den schnellen und sicheren Datenaustausch und für die Vernetzung von Industrieanlagen werden gegenwärtig jedoch noch nicht kontinuierlich überwacht. Ein Grund dafür ist neben der hohen Anzahl an Ethernet-Kabeln, dass die meisten dieser Leitungen verdeckt und schwer zugänglich verlegt sind, um Produktionsabläufe nicht zu behindern. Kabelbrüche und Störungen müssen bislang meist bei Maschinenstillstand und losgelöst von der Anlage mithilfe von zusätzlichen Messgeräten untersucht werden.

Ziel: störungsfreie Produktion durch Monitoring drahtgebundener Kommunikationsleitungen

Um die damit verbundenen Ausfallzeiten und Wartungsaufwände zu minimieren, werden im Projekt Ko²SiBus gemeinsam mit der TU Chemnitz und der Hochschule



In Ko²SiBus* werden neue Methoden entwickelt, mit denen sich Datenleitungen in laufenden Industrieanlagen kostengünstig überwachen lassen. Das Bild zeigt Voruntersuchungen. Foto: IMMS.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Forschungsnetzwerk
Mittelstand



Industrielle
Gemeinschaftsforschung



> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

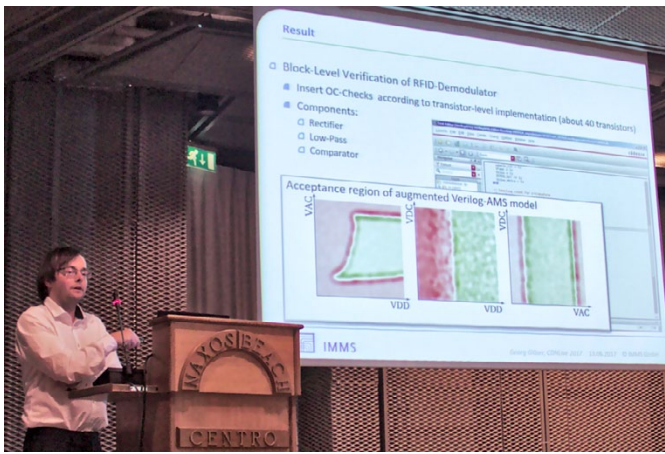
Offenburg Lösungen erarbeitet, mit denen künftig die Signalqualität der drahtgebundenen Ethernet-basierten Installationen während des regulären Anlagenbetriebs kontinuierlich und kostengünstig überprüft werden kann.

Damit sollen sich nicht nur Wartungen besser planen lassen. Das neue Konzept soll es auch erlauben, die Monitoring-Daten über eine einheitliche und offene Schnittstelle weiterzugeben, so dass eine Integration in kundenspezifische Monitoring-Lösungen einfach möglich ist. Die Lösung soll in bestehende Anlagen nachgerüstet werden können, z.B. als Erweiterung für Switches, und sich als Feature direkt in Netzwerkknoten von Industrie-4.0-Anlagen integrieren lassen.

IMMS entwirft Schaltungskonzepte und baut einen Demonstrator auf

Das IMMS wird ein eingebettetes System entwerfen und hierfür passende Schaltungskonzepte erarbeiten. Basierend auf dem Know-how aus Entwicklungen für Sensoriklösungen unter anderem zum Monitoring von Industrieanlagen wird in Ko²SiBus ein System realisiert, das physikalische Signalparameter mittels integrierter analoger und digitaler Bauteile verfolgt und Abweichungen an eine Überwachungszentrale meldet. Die Funktionalität soll anhand eines Demonstrators, den das IMMS aufbauen wird, erprobt werden.

Ko²SiBus auf
www.imms.de.



Präsentation der im Projekt ANCONA* entwickelten Methodik zur Design-Automation, die auf der SMACD 2017 als „Competition Runner-up“ ausgezeichnet wurde.

Foto: IMMS.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

> *fast realtime*

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

ANCONA*-Projektabschluss mit "Competition Runner-up" für Methodik zur Design-Automation

Das IMMS wurde im Juni 2017 gemeinsam mit Forschungspartnern auf der Konferenz "14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design" (SMACD 2017) als "Competition Runner-up" für den Beitrag "Automated Generation of System-Level AMS Operating Condition Checks: Your Model's Insurance Policy" ausgezeichnet.

Projekt ANCONA

Die Arbeit wurde im Clusterforschungsprojekt ANCONA (Analog-Coverage in der Nanoelektronik) entwickelt. Gemeinsam mit fünf Universitäten und Forschungseinrichtungen hat das IMMS in dem im Juni 2017 erfolgreich abgeschlossenen Projekt rechnergestützte Verifikationsmethoden erarbeitet, die den Entwurf analog/digitaler Schaltungen erleichtern und deutlich beschleunigen. Solche Schaltungen sind die technologische Basis für das „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“. Das Zusammenspiel von hierfür neu entwickelten Systemkomponenten und deren parasitären Interaktionen kann bislang meist erst im Versuchsaufbau getestet werden. Daher erarbeiteten die Projektpartner rechnergestützte Verfahren, um die korrekte Funktion der komplexen Systeme schon während des Entwurfs zuverlässig nachzuweisen.

Auszeichnung für Methodik zur Absicherung von Verifikationsergebnissen

Im genannten Beitrag wurde eine Methode vorgestellt, mit der Modelle für gemischt analog/digitale Schaltungsblöcke automatisch durch Prüfbedingungen erweitert werden. Mit diesen Prüfbedingungen wird sichergestellt, dass das Modell ein abgesi-

chertes Verifikationsergebnis garantiert. Bislang konnte es vorkommen, dass sich eine positive Verifikation eines Entwurfs mit rein funktionalen Modellen als falsch herausstellte und durch zusätzliche Simulationen abgesichert werden musste.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

Automatisierte Erweiterung um Prüfbedingungen

Durch die im neuen Ansatz vorgenommene Erweiterung um Prüfbedingungen wird die Wahrscheinlichkeit einer solchen falsch-positiven Verifikation stark verringert: Ursachen für Falschaussagen sind nahezu eliminiert.

Bisher sind derartige Prüfbedingungen (Operating Condition Checks) nur für Transistorschaltungen verfügbar. Eine Simulation/Verifikation eines größeren Systems ist daher mit sehr hohem Aufwand verbunden. Deshalb werden üblicherweise Modelle für einzelne Komponenten verwendet. Diese Modelle müssen dabei nicht nur in ihrer Funktion der Schaltung entsprechen, sondern auch die Umgebungsbedingungen wie z.B. Versorgungsspannung, Eingangssignalamplitude und Temperatur, einbeziehen. Bisher ist das nur über komplexe Ausdrücke möglich, die manuell im Modell ergänzt werden müssen – was neben dem Implementationsaufwand den Verifikationsaufwand steigert.

- > Inhalt
- * Förderung

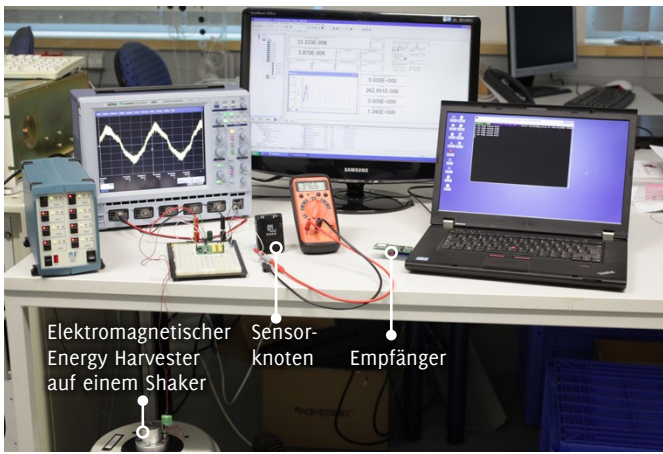
Die vorgestellte Methode automatisiert diesen Prozess weitgehend. Der Benutzer gibt in einer Simulation der Schaltung Parameter für relevante Betriebsbedingungen an, woraufhin diese durch einen Explorationsalgorithmus untersucht werden. Das Ergebnis wird automatisch in das Verilog-AMS-Modell der Schaltung integriert und kann direkt in der weiteren Verifikation verwendet werden.

Anwendung in F&E-Projekten

Das IMMS hat diese neuen Methoden zur elektronischen Designautomation (EDA) direkt in den Verifikationsprozess für eine Chip-Entwicklung im parallel am IMMS bearbeiteten F&E-Projekt ADMONT verwendet. Auch die Ergebnisse dieser ersten Beispiel-Verifikation wurden in dem Beitrag präsentiert. Mehr Details zu diesen und anderen vom IMMS in ANCONA entwickelten Lösungen für rechnergestützte Verifikationsmethoden werden im Fachartikel ausführlich dargestellt.

*Details
im ANCONA-
Fachartikel.*

*Mehr zu
ANCONA auf
www.imms.de.*



Elektromagnetischer Energy Harvester auf einem Shaker

Sensor-knoten

Empfänger

Erster in Green-ISAS* entwickelter Demonstrator für Untersuchungen an energieautarken Systemen und zur Validierung des Design-Tools für elektromagnetische Energy Harvester.

Foto: IMMS.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

> Inhalt

* Förderung



Design-Methodik für elektromagnetische Energie-Harvester und erster Demonstrator der Forschergruppe Green-ISAS*

Wozu eine Design-Methodik für Energy Harvesting?

Einer der Schwerpunkte der 2016 gestarteten Forschergruppe Green-ISAS sind elektromagnetische Energie-Harvester, mit denen Sensor/Aktor-Systeme zu energieautarken Industrie-4.0-Komponenten ausgebaut werden sollen. Im industriellen Umfeld und in der Logistik sind mechanische Bewegungen allgegenwärtig und können über die Wandlung von Vibrationen die Energie für eben jene smarte Sensorik liefern, die diese Maschinen und Anlagen überwachen sollen. Ein Ziel von Green-ISAS ist, für verschiedene Anwendungen optimierte elektromagnetische Energie-Harvester mit maximaler Energieausbeute schnell entwerfen zu können.

Elektromagnetische Energy Harvester können sehr unterschiedlich aussehen

Elektromagnetische Energie-Harvester lassen sich in hohem Maß an verschiedene Bauräume anpassen, bestehen aus mindestens einem Magneten und einer Spule und erzeugen durch ein zeitlich veränderliches Magnetfeld eine Induktionsspannung. Die räumliche Anordnung der Magneten, Spulen oder auch optionale Eisenrückschlüsse und die zulässigen Relativbewegungen ermöglichen unterschiedlichste Grundstrukturen. Um diese Vielfalt hinsichtlich ihrer Eignung für die Anforderungen automatisiert zu vergleichen, entwickelt das IMMS Methoden, die einen schnellen und kostengünstigen Entwurf anwendungsspezifischer Energiewandler ermöglichen.

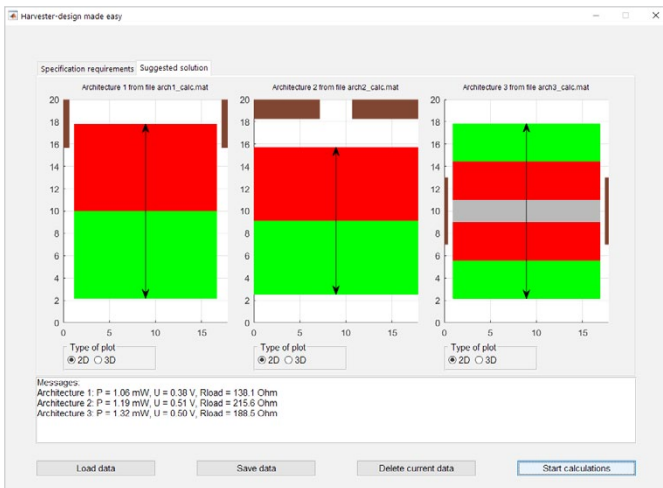
Dazu hat das IMMS 2017 in Green-ISAS eine Entwurfsmethodik für anwendungsspezifische Energie-Harvester entwickelt und begonnen, diese als Design-Tool in MATLAB® zu implementieren. Die derzeitige Version dieses Werkzeugs ermöglicht es Konstrukteuren, über eine grafische Oberfläche eine Vielzahl von Spezifikationsparameter an das Programm zu übergeben, wie z.B. zu Größe und Geometrie des verfügbaren Bauraums, zu Vibrationscharakteristika und zur gewünschten Leistung. Das Tool vergleicht anhand dieser Angaben automatisch verschiedene hinterlegte Grundstrukturen und bietet eine Auswahl von Designlösungen als Ergebnis an. Dieser Prozess basiert auf einer Vielzahl von parametrisierten Modellen, die das Verhalten der Strukturen analytisch beschreiben. Die Anzahl dieser Strukturen kann jederzeit erweitert werden. Durch die realisierte einheitliche Schnittstelle können weitere Grundstrukturen nachträglich auch vom Nutzer hinzugefügt werden.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

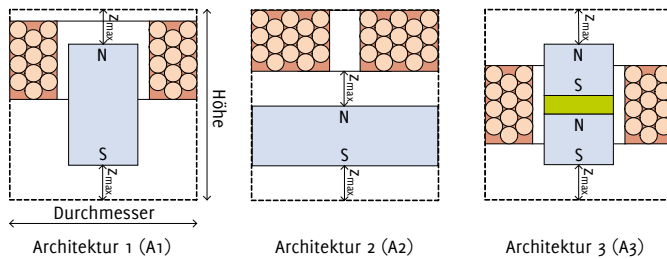
Derzeit wird daran gearbeitet, auch die modulare Anordnung der Grundstrukturen im Designraum zu ermöglichen. Ansätze für eine automatische Vorauswahl von möglichen Strukturen für größere modulare Anordnungen werden ebenso untersucht. Für jede der ausgewählten Strukturen sollen die geometrischen Abmessungen der Bauteile variiert und so unterschiedliche Designvarianten generiert werden, um aus diesen automatisch Vorschläge auszuwählen, die die gewünschten Ausgangsgrößen wie z.B. Ausgangsspannung oder Leistung erreichen. Der Konstrukteur bekommt damit mehrere optimierte Vorschläge an die Hand, die er nach verschiedenen technischen oder wirtschaftlichen Kriterien bewerten kann.

Beispiel für eine automatisch generierte Auswahl von Designlösungen mithilfe des am IMMS entwickelten Tools für den Entwurf elektromagnetischer Energy Harvester.

Grafik: IMMS.



Beispiel für die Untersuchung optimaler Bauraumabmessungen und Bewertung von Grundstrukturen (A1,2,3) für elektromagnetische Energy Harvester. Grafik: IMMS.



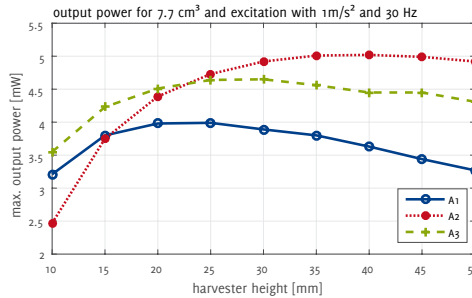
- 33**
- > fast realtime
 - > ANCONA
 - > INSPECT
 - > ADMONT
 - > PTB
 - > in-ovo

Erste Ergebnisse

zum Vergleich von Grundstrukturen

Mit Hilfe des entwickelten Tools hat das IMMS unter anderem anhand von Simulationen untersucht, welchen Einfluss die Dimensionierung des Bauraums auf die Leistungs-

dichte von vibrationsbasierten elektromagnetischen Energy-Harvestern hat. Abhängig von den technologischen Randbedingungen, wie dem erreichbaren Kupferfüllfaktor oder dem fertigungsbedingten minimalen Spalt zwischen Spule und Magnet, wurde u.a. die maximale Ausgangsleistung in Abhängigkeit von der Harvester-Höhe für unterschiedliche Volumina betrachtet. Es wurde gezeigt, dass es eine optimale Höhe gibt, die von dem Volumen abhängt, bei dem die Leistungsdichte maximiert wird. Zudem bestätigten die Untersuchungen, dass die optimale Grundstruktur u.a. von den Bauraumbeschränkungen abhängt. Insgesamt zeigte sich, dass es nicht das eine beste Prinzip für elektromagnetische Energie-Harvester gibt, sondern dieses abhängig von den konkreten Anforderungen bestimmt und konkret ausgelegt werden muss. Das Design-Tool hat demnach das Potential, eine Hebelwirkung für den effizienten Entwurf von elektromagnetischen Vibrationswandlern zu entfalten, sobald das entwickelte Baukastenprinzip vollständig implementiert ist.



- > Inhalt
- * Förderung

Demonstrator für Untersuchungen an energieautarken Systemen und zur Validierung des Design-Tools

2017 wurde am IMMS ein Aufbau realisiert, mit dem der Fortschritt bei der Entwicklung einzelner Komponenten eines energieautarken Systems nachgewiesen und demonstriert werden kann. Mit dem Aufbau ist es möglich, im Labor das Verhalten von Maschinen und Industrieanlagen nachzubilden. Damit soll im weiteren Projektverlauf evaluiert werden, ob die mit dem Design-Werkzeug automatisch generierten Harvester-Prototypen das gewünschte Verhalten zeigen.

Green-ISAS auf www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017

Zwischenergebnisse der Forschergruppe Green-ISAS wurden unter anderem zum Workshop in Devices, Materials and Structures for Energy Harvesting and Storage in Oulu, Finnland, zum Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium Ilmenau und zum 2. Green-ISAS-Statusworkshop vorgestellt. Zum Treffen der Thüringer Forschergruppen wurden dabei bereits in Gesprächen mit Arbeitsgruppen aus anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen erste Ideen für weiterführende Forschungsprojekte auf nationaler und EU-Ebene generiert.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

KSS*: Automatisierte Überwachung von Kühlschmierstoffen für Gesundheitsschutz und effizienteren Ressourcenverbrauch

> Inhalt

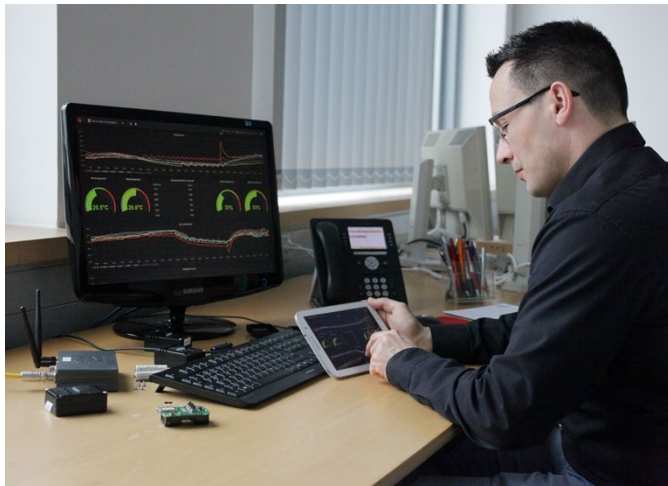
* Förderung

Das IMMS trägt seit 2017 zu einer Entwicklung bei, die es kleinen und mittleren Unternehmen ermöglichen soll, vollautomatisch und kontinuierlich relevante Parameter von Kühlschmierstoffen in Echtzeit und in einer Qualität zu überwachen, wie sie bisher nur in Großbetrieben wirtschaftlich realisiert werden kann. In der Fertigung der GFE Präzisionstechnik Schmalkalden soll gemeinsam ein Demonstrator dazu aufgebaut werden.

Mehr zu

Kommunikationslösungen:
www.imms.de

Kühlschmierstoffe werden in der Industrie beim Fräsen oder Drehen von Präzisionsteilen eingesetzt. Mit ihnen werden nicht nur Werkzeuge und Werkstücke gekühlt, die Reibung vermindert und so der Verschleiß von Werkzeugen eingedämmt. Die Chemikalie spült gleichzeitig die Späne weg, bindet Staub, verbessert die Maßgenauigkeit und die Oberflächenqualität der Werkstücke und schützt sie vor Korrosion. Die „Bohrmilch“ muss allerdings regelmäßig auf vorgeschriebene Grenzwerte für bestimmte Parameter untersucht werden, u.a. um Gesundheitsgefahren auszuschließen.



IMMS trägt als Akteur des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau* zu automatisierter Überwachung von Kühlschmierstoffen bei: für mehr Gesundheitsschutz und Ressourceneffizienz. Foto: IMMS.

Mittelstand-Digital 

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Safety first: strenge Auflagen, viel Aufwand

Aerosole und Öle dieses Hilfsstoffs können sich in der Atemluft anreichern. Wird wasserbasierte Bohrmilch eine Weile nicht genutzt, können sich darin Bakterien und Pilze ansiedeln, die Entzündungen und Allergien verursachen können. Erwärmungen der Kühlschmierstoffe begünstigen auch die Bildung krebserregender Nitrosamine und das Bakterienwachstum. Daher gibt es umfangreiche und strenge Auflagen für den Umgang und Grenzwertvorgaben für die regelmäßige Prüfung und Pflege von Kühlschmierstoffen, die in den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)“ und den Vorgaben nach DGUV 109-003 festgelegt sind. Derzeit werden allerdings oft noch die wöchentlichen und täglichen Prüfroutinen mit Überwachungsblättern pro Maschine von Hand dokumentiert.

35

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Nachrüstbare Lösung automatisiert vorgegebene Prüfungen und bietet neue Funktionen

Funktionen

Bestehende Maschinen sollen einfach und kostengünstig mit geeigneter Sensorik nachgerüstet werden und Messwerte zukünftig jederzeit verfügbar und auf einem Tablet oder PC abrufbar und grafisch dargestellt werden. Zusätzlich zu den gesundheitsrelevanten Prüfungen sollen damit künftig Langzeitanalysen und eine vorausschauende Wartung sowie über einstellbare Schwellwertüberwachungen gezielte Alarmierungen und damit ein rechtzeitiges Eingreifen im Störfall ermöglicht werden. Die Kühlschmierstoffe lassen sich dank des kontinuierlichen Monitorings auch länger verwenden. Inhibitoren, mit denen Bohrmilch chemisch stabilisiert wird, können reduziert werden.

Für Messungen direkt in den Kühlschmierstoffen erprobt die GFE Präzisionstechnik Schmalkalden derzeit Technik einer Partnerfirma für Spezialmessaufgaben, die das Messkonzept dazu entwickelt hat.

IMMS rüstet Sensorik für Klimadaten, Übertragung, Verarbeitung, Cloud und Visualisierung nach

Das IMMS bringt als Akteur im „Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau“ zum einen zusätzliche nachrüstbare Sensorik ein, die Klimadaten des Produktionsbereiches überwacht und ergänzende Hinweise zur Verschlechterung der Bohrmilch liefert. Zum anderen wird das IMMS die Lösung für die drahtgebundene sowie funkbasierte Datenübertragung in der Fertigung der GFE implementieren. Ein energieeffizienter Industrie-PC wird dazu die Daten vorverarbeiten und dauerhaft in einer cloudbasierten Datenplattform speichern. Das IMMS wird zudem die webbasierte

KSS auf

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017



Übergabe der UV-Wasserdesinfektionsanlage, die den Chloreinsatz in der Ilmenauer Schwimmhalle* reduziert. Das IMMS hat die Fernauslesung von Sensor- und Anlagendaten beigesteuert. Foto: IMMS.

Mittelstand-Digital

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

36

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

grafische Ausgabe der Messdaten auf beliebigen Endgeräten realisieren. Ergebnisse werden 2018 angestrebt. Die Arbeiten zu KSS sind ein Teilvorhaben des Projekts „Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau“.

UV-Strahlen und Datenmonitoring für Wasserdesinfektion in der Ilmenauer Schwimmhalle*

Am 11.10.2017 wurde im Beisein des Oberbürgermeisters der Stadt Ilmenau eine neuartige Lösung zur Wasserdesinfektion mit UV-Strahlung in der Schwimmhalle „Am Stollen“ durch die Unternehmen IL Metronic Sensortechnik GmbH, Umex GmbH Kirchheim und der UV Technik Speziallampen GmbH übergeben. Mit Unterstützung des IMMS als Teil des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau wurde darin gleichzeitig eine Demonstrationslösung zur kabellosen Fernauslesung von Sensor- und Anlagendaten realisiert.

Mehr zu
Kommunikationslösungen:
www.imms.de

Wasserdesinfektion in Schwimmhallen – UV statt Chlor

In Schwimmhallen werden nach aktuellem Stand der Technik u.a. Chlorverbindungen zur Wasserdesinfektion verwendet. Um den Chloranteil und damit auch unerwünschte Nebenwirkungen zu reduzieren, haben die in und um Ilmenau ansässigen Firmen einen UV-Mitteldruckreaktor zur Wasserdesinfektion in der Ilmenauer Schwimmhalle installiert. Wichtiger Bestandteil dieser Lösung ist die integrierte UV-Sensorik, welche die korrekte Funktion der UV-Strahlungsquelle permanent überwacht. Die Auswertung der Sensordaten erfolgt lokal in einem speziellen Monitorsystem von IL Metronic, welches Abweichungen oder Ausfälle der UV-Strahlungsquelle an die Prozesssteuerung der Schwimmhalle meldet.

Jahresbericht

© IMMS 2017



Mit der am IMMS entwickelten "BASE-Box"* werden die Daten der Anlage zu Wasserdesinfektion mit der Cloud verbunden. Foto: IMMS

Fernauslesung von Sensor- und Anlagendaten mit Lösung des IMMS

Um die Sensor- und Anlagendaten einfach und kostengünstig über längere Zeiträume dauerhaft zu erfassen, sofort auszuwerten und zu speichern, wird eine vorhandene Datenschnittstelle am Messsystem des UV-Reaktors genutzt. Mit Hilfe des am IMMS entwickelten kompakten und energieeffizienten In-

37

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

dustrie-PCs „BASE-Box“* werden die Daten über ein integriertes Mobilfunkmodem an einen Server übertragen und dort dauerhaft gespeichert. Über eine gesicherte Internetverbindung werden die Daten in Browsern auf beliebigen Endgeräten angezeigt, wie z.B. auf Tablets. Die Lösung liefert nicht nur die Grundlage für Soll-Ist-Vergleiche mit automatischen Benachrichtigungen bei Abweichungen, sondern auch die Basis für Langzeitanalysen und die vorausschauende Wartung von Anlagenkomponenten.

Initialzündung für die Vernetzung der Gesamtlösung in der vom IMMS getragenen „Modellfabrik Migration“

Die Idee, das lokale UV-Monitoring zu vernetzen und aus der Ferne auszuwerten, erhielt IL Metronic durch die Informations- und Weiterbildungsangebote des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau im Zuge der regelmäßig durchgeführten Workshops und Stammtische zum Thema „Sensorik 4.0“. Initiiert und durchgeführt werden diese durch die Modellfabrik Migration, die vom IMMS als Partner des Kompetenzzentrums getragen wird. Das IMMS hat mit IL Metronic intensiv Möglichkeiten zur Fernauslesung von Sensoren und Anlagenkomponenten diskutiert, um diese sprichwörtlich „im Auge zu behalten“ und dabei gleichzeitig das Verbesserungspotential von Produkten und Dienstleistungen anhand dieser konkreten Anwendung zu erschließen.

Schwimm-

halle auf

www.imms.de

Sensorik-4.0-Angebote zur schrittweisen Einführung von Digitalisierungslösungen

Know-how-Transfer in Workshops – von Unternehmen positiv angenommen

Am IMMS wurden insgesamt 48 Unternehmensvertretern aus der Region vor allem in den Workshops im Mai, August und November 2017 konkrete Lösungsansätze an die Hand gegeben, mit denen sich Industrie-4.0-Technologien zur Verbesserung von

Jahresbericht

© IMMS 2017



Kostenfreie Workshops am IMMS alias Modellfabrik Migration des M4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau*: Mit Praxisbeispielen wird gezeigt, wie sich Maschinen und Anlagen durch vernetzte Sensorik nachrüsten lassen. Foto: IMMS.

Mittelstand-Digital

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Anlagen und Prozessen einführen lassen. In ihrer Rolle als „Modellfabrik Migration“ des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau (M4.0)* zeigten die Experten des IMMS, wie sich Maschinen und Anlagen durch drahtlose und vernetzte Sensorik nachrüsten lassen und wie man damit Daten für die Entwicklung von innovativen Diagnose-, Wartungs- und Servicekonzepten ermitteln und verarbeiten sowie mit Cloud-basierten Diensten verknüpfen kann. Die Teilnehmer wurden Schritt für Schritt angeleitet, mit universellen Elektronikplattformen für Industrie-4.0-Komponenten und mit Open-Source-Software erste Beispiele im Workshop zu bearbeiten.

So wurde greifbar, wie sich echtzeitfähige Lösungsansätze schnell und kostengünstig realisieren lassen. „Die im Workshop sehr anschaulich behandelten Themen bildeten exakt die Problemstellung ab, die wir im Unternehmen gerade haben und bearbeiten wollen, und lieferten mögliche Lösungen,“ so das Fazit von Steffen Rosipal, N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG Arnstadt. „Wir konnten sehr interessante neue Impulse mitnehmen und werden auf das Angebotsspektrum der Modellfabrik Migration alias IMMS auf jeden Fall zurückkommen.“

Die Workshop-Reihe wird 2018 mit vier Terminen am IMMS fortgesetzt, in denen die Anbindung nachrüstbarer Sensoren über Linux, vernetzte Funksensorik mit Cloud-Anbindung, Sensoren als Industrie-4.0-Komponenten und Sensordatenverarbeitung in der Cloud behandelt werden.

Angebote zum Ideen- und Erfahrungsaustausch: Stammtische, Infogespräche, Führungen und mehr

Neben den Workshops hat das IMMS als M4.0-Akteur Stammtische für Firmen aus der Region zu verschiedenen Industrie-4.0-Themen organisiert, dort eigene Ansätze

Mittelstand 4.0:

www.imms.de

vorgestellt, aber vor allem auch externe Referenten ins Boot geholt, um breite Diskussionen von Anforderungen über Sensoren bis hin zu datenbasierten Services und zugehörigen Geschäftsmodellen anzustoßen: „Sensoriklösungen in der Produktion sind ein Riesenthema,“ meinte Michael Strauß, Controller und Business Analyst der addfinitiy testa GmbH, einem mittelständischen Kunststoffspezialisten. „Wir hoffen, dass zu den nächsten Stammtischen noch mehr Anwender den Weg in die Runde finden, um sich zu Erfahrungen auszutauschen und zu sehen, was heute alles schon möglich ist – zum Beispiel nachrüstbare Sensorik. Solche Netzwerktreffen helfen uns, erfolgreicher zu werden und Wissen auszutauschen.“

Diese mit Führungen und Präsentationen von Demonstratoren verbundenen Treffen, Informationsgespräche und weitere Veranstaltungen mit Unterstützung des Instituts fanden nicht nur am IMMS statt, sondern beispielsweise auch bei der BN Automation AG, der TU Ilmenau oder begleitend zur Technologiekonferenz „elmug-4future“.

Regel Austausch zu Veranstaltungen initiierte gemeinsame Aktivitäten – erste Ideen sind realisiert

Die facettenreichen Themen und die verschiedenen Blickwinkel auf Automation und Vernetzung eröffneten nicht nur vielschichtige Diskussionen der Veranstaltungsteilnehmer. Viele nutzten gleich die Gelegenheit, um gemeinsam Ideen in die Tat umzusetzen oder die Planung dafür anzustoßen.

So wurde bereits im Sommer 2017 eine neuartige Wasseresinfektionsanlage in der Ilmenauer **Schwimmhalle** in Betrieb genommen. Die M4.0-Veranstaltungen gaben den Anstoß dafür, die Sensorik dieser Anlage nicht mehr nur stationär zu auszuwerten, sondern mit der Cloud zu verbinden. Mit den damit gewonnenen Erfahrungen sollen künftig auch weitere ähnliche Anlagen der Akteure vernetzt und damit für neue Diagnose-, Wartungs- und Servicekonzepte fit gemacht werden.

Darüber hinaus wurde 2017 dank der M4.0-Veranstaltungen am IMMS von den Teilnehmern ein weiteres Vorhaben gestartet, um an und in Zerspanungsmaschinen notwendige Betriebs- und Umweltparameter, wie z.B. für **Kühlschmierstoffe**, mit Sensorik vollautomatisch, kontinuierlich und in Echtzeit in einer Qualität zu überwachen, die bislang nur in Großbetrieben wirtschaftlich realisiert wird. Ergebnisse werden 2018 erwartet.

Andere Ideen, wie z.B. für das kontrollierte und energieeffiziente **Anfahren von Maschinenparks**, wurden ebenso angestoßen. Lösungen werden von Workshop-Teilnehmern 2018 in Angriff genommen.



Im vom Freistaat Thüringen geförderten TSN-Labor* untersucht das IMMS technologische Grenzen beim Aufbau datenintensiver industrieller Echtzeitanwendungen. Z.B. wird das Verhalten des TSN Time Aware Shapers nach IEEE-802.1Qbv mit TSN-Entwicklungssystemen der Firma NXP (vorn rechts) analysiert und es werden Methoden zur vereinfachten Parametrisierung von TSN-Netzen implementiert (siehe Monitor). Foto: IMMS.

TSN-Testlabor* aufgebaut

Einzelkomponenten bremsen industrielles Internet

Im 2017 eingerichteten Labor für Time-sensitive Networking (TSN) untersucht das IMMS technologische Grenzen beim Aufbau datenintensiver industrieller Echtzeitanwendungen.

Um Produktions- und Geschäftsprozesse digitalisieren zu können, müssen physische Prozesse eng und in Echtzeit mit skalierbaren Plattformen zur Datenverarbeitung digital vernetzt werden zu sogenannten cyber-physischen Produktionssystemen. Diese CPPS bilden in ihrer Summe ein industrielles Internet aus, das die technologische Grundlage für neue digitale Dienstleistungen und Geschäftsmodelle sowie Industrie 4.0 im Allgemeinen bildet.

Bei besonders datenintensiven Echtzeitanwendungen stoßen CPPS jedoch noch an technologische Grenzen, die sich vor allem aus beschränkten Bandbreiten und Kapazitäten bezogen auf die Kommunikation und Datenverarbeitung einzelner Komponenten innerhalb der Gesamtarchitektur ergeben.

Solche datenintensiven Applikationen, bei denen große Datenmengen in Echtzeit aufgenommen, übertragen und verarbeitet werden müssen, betreffen unter anderem die permanente Zustandsüberwachung und Diagnose von Maschinen sowie die prozessbegleitende Qualitätssicherung. Weitere Beispiele sind virtuelle Abbilder realer Prozesse oder sicherheitsrelevante Anwendungen, wie z.B. Mensch-Roboter-Kollaboration.

Am IMMS wurde daher das TSN-Labor mit umfangreicher und mit Mitteln des Freistaats Thüringen geförderter Infrastruktur aufgebaut. Mit dieser Forschungsplattform wird das IMMS Systemarchitekturen sowie Hardware- und Softwaretechnologien für diese besonders anspruchsvolle Klasse von industriellen Applikationen grundlegend untersuchen bezüglich der Ausgestaltung der wesentlichen TSN-Bausteine Zeitsynchronisation, Regeln für Netzwerkpakete und Regeln für Kommunikationspfade.

Die Plattform beinhaltet alle notwendigen **Komponenten**: verschiedene Sensoren, Edge-Devices zur Datenvorverarbeitung, Kommunikationsmodule zur Echtzeitdatenübertragung, leistungsfähige Server als lokale Cloud zur Verarbeitung großer Datenmengen sowie verschiedene Softwarelizenzen und Laborteile und ist skalierbar und flexibel bezüglich der eingesetzten Hardware- und Softwaretechnologien.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Forschung am IMMS im TSN-Labor für Industrie-4.0-Lösungen

Die Plattform unterstützt insbesondere die Forschung des IMMS zur technologischen Durchgängigkeit echtzeitfähiger Kommunikation vom Sensor bis zu Internet-basierten Datenverarbeitungsplattformen (Real-Time Communication). Hierbei wird die Aufnahme und (Vor-) Verarbeitung von Daten mehrkanaliger Sensorik mit hohen Datenraten und hoher Auflösung mit energieeffizienten Embedded-Systemen (Edge Computing) untersucht sowie die zeitsynchrone und latenzarme vertikale und horizontale Vernetzung zwischen eingebetteten Systemen (Edge-Devices) und Datenverarbeitungs-Servern (Cloud). Darüber hinaus wird in diesem Labor die Verarbeitung und Visualisierung hochauflösender Sensordaten und daraus generierter Informationen in Echtzeit getestet.

Die Ausrüstung wird unter anderem für die **Forschungsarbeiten** in den Projekten FAST realtime, AgAVE und Ko²SiBus verwendet und wird darüber hinaus als Experimental- und Demonstrationsplattform genutzt.

Das Labor steht auch als **Industrie-4.0-Testlabor** für Hersteller von Sensoren und Automationskomponenten zur Verfügung und ist ein wesentlicher Baustein der I4KMU-Testumgebung des IMMS.

Mehr zu

Kommunikationslösungen:

www.imms.de.

Mehr zu I4KMU:

www.imms.de

edaBarCamp-Reihe 2017 mit zwei Veranstaltungen fortgeführt

Im Dezember 2017 fand bereits das dritte edaBarCamp statt. Die von edacentrum, OFFIS und IMMS bereits 2016 initiierte und organisierte Veranstaltungsreihe hat ihren Ursprung in den Doktorandenseminaren des 2017 abgeschlossenen Forschungsprojekts ANCONA. Bei diesen institutsübergreifenden Treffen schlossen sich die Teilneh-

Jahresbericht

© *IMMS 2017*

mer zusammen, um regelmäßig interaktive und offene Forschungstreffen nach dem barcamp-Prinzip auf die Beine zu stellen – für einen erweiterten Kreis aus Studenten, Doktoranden, Professoren und Experten aus der Industrie und dem öffentlichen Dienst sowie für alle, die sich für Elektronik-Design-Automation (EDA), Mikroelektronik und Systemdesign interessieren.



edaBarCamp im Dezember 2017. Foto: Dieter Treytnar, edacentrum.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Prinzip des edaBarCamps: Aktive „Teilgeber“ bestimmen Themen, Agenda, Formate

In offenen Sitzungen hat jeder die Möglichkeit, seine eigenen Themen einzubringen und die anderen Sitzungen mit seinen Gedanken und Ideen zu bereichern. Jeder kann dazu vor und während des Treffens seine Themen vorschlagen. Es gibt kein Programmkomitee. Zum Start der Veranstaltung werden die Themenvorschläge vorgestellt, um in der Gruppe gemeinsame Interessen zu identifizieren. Daraus wird dann – ebenfalls in der Gruppe – die Tagesordnung zusammengestellt. So wird sichergestellt, dass jeder Programmpunkt den Nerv trifft: Durch die Abstimmung ist das Interesse an einzelnen Themen sofort sichtbar. Jeder ist aufgefordert, nicht nur ein passiver Zuhörer (Teilnehmer), sondern ein aktiver Teilgeber zu werden. Je nach Interesse können Sessions als interaktive Workshops, Präsentationen, Tutorials oder auch als Brainstormings, kurze Hackathons sowie als offene Frage- und Feedbackrunde organisiert werden. Ergebnisse werden gemeinsam dokumentiert, mit anderen Gruppen ausgetauscht und nach der Veranstaltung zur Verfügung gestellt. Das edaBarCamp nutzt die von Nachwuchswissenschaftlern bevorzugten Bearbeitungsplattformen und Sozialen Medien als Kommunikationskanäle.

edaBarCamp wird fortgesetzt

Bis Ende 2017 haben sich ca. 20 Teilnehmer aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus Deutschland und Finnland zu Themen ausgetauscht, wie z.B. zu Open-Source-EDA-Tools, virtuellen Plattformen, Sensitivitätsanalyse auf Systemebene, Anwendungen für hochgradig verteilte Embedded-Plattformen, formaler Analog-Mixed-Signal-Verifikation und Co-Design für mit Energy Harvesting betriebene Sensor-Aktor-Systeme. Die Reihe wird weiter fortgesetzt, weitere BarCamps für 2018 sind in der Planung.

Aktuelle

Termine:

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017



fast realtime –

Güterzugüberwachung in Echtzeit

Energiebedarfsmessungen an Prototypen für ein latenzarmes Zug-Monitoringsystem mit lokalem Funksensornetz. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Güterzüge fahren der Digitalisierung noch hinterher

Im Vergleich zu Transportmitteln im Straßen- und Luftverkehr lassen sich Waggon von Güterzügen derzeit nur rudimentär mit intelligenten Komponenten überwachen. Güterwaggon verfügen aufgrund der höheren Lasten, Stoß- und Zugkräfte über andere Kupplungen als Wagen von Personenzügen und lassen sich daher nicht wie diese elektrisch verbinden. Schutzvorrichtungen für die Elektrik gegen Regen und Schmutz sind wegen der unterschiedlich konstruierten Kupplungen nicht nur nicht ohne weiteres von Personen- auf Güterwagen übertragbar, Waggon von Güterzügen werden auch häufiger und zudem manuell gekoppelt. Das heißt, um Innovationen im Schienengüterverkehr mit Hilfe von Sensorik, Ortung und Zustandsüberwachung ins Rollen zu bringen, werden Monitoring-Lösungen benötigt, mit denen die vielen schon genutzten Güterwaggon effektiv und kosteneffizient nachgerüstet werden können und die im täglichen Betrieb nicht zusätzlich konfiguriert werden müssen.

Mehr zu fast realtime auf www.imms.de

Über Funksysteme lassen sich beispielsweise die Daten, die für die Freigabe von Streckenabschnitten benötigt und derzeit mit wartungsaufwändiger Infrastruktur entlang der Trassen erhoben werden, in den Zügen selbst ermitteln. Im Zug integrierte, vernetzte Monitoring-Systeme könnten künftig Positionen und Laufzeiten von Güterwaggons erfassen, den Zug auf Vollständigkeit kontrollieren, automatische Kopplungen von Wagen ermöglichen sowie Fracht und Räder überwachen. Zu diesem Zweck gibt es bereits Systeme, die Daten für jeden einzelnen Waggon per Mobilfunk direkt an eine externe zentrale Kontrollinstanz senden, zum Teil auch mit zusätzlichem GPS-Empfänger. Bei einer Streckenführung mit schlechter oder keiner Mobilfunkanbindung ist die zentrale Datenverarbeitung allerdings entsprechend störänfällig. Zielvorgaben der Bahn erfordern Meldungen binnen zwei Sekunden vom Zug zur Zentrale und sind damit nicht flächendeckend erreichbar.

> *fast realtime*> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

Erweiterter Ansatz: Monitoring über ein lokales Funksensornetz

Im Projekt *fast realtime* wurde daher ein erweiterter Ansatz untersucht und in einem Demonstratoraufbau praktisch erprobt. Hierbei werden die einzelnen Waggons über ein lokales Funksensornetz als zuginterne Monitoring-Anwendung drahtlos verbunden. Mobilfunk ist somit nur für übergeordnete Anwendungen im Streckennetz notwendig.

Ziel für die neue Lösung war es, Betriebsparameter, wie z.B. Temperatur und Vibrationen, aller Wagen eines Güterzugs zu überwachen, deren Reihung und Vollständigkeit zu ermitteln sowie diese Informationen in Echtzeit zu übertragen. Dazu müssen Ereignisse in einem Zug mit bis zu 100 Waggons und damit von bis zu 100 Sensormodulen an den Datenkonzentrator samt Mobilfunk-Zugriffspunkt im Triebwagen und von dort an eine zentrale, für viele Züge zuständige Kontrollinstanz in der Cloud in weniger als zwei Sekunden gemeldet werden.

Diese Anforderung ist beträchtlich, da in Zügen zum einen die Funkausbreitung aufgrund der metallischen Umgebung suboptimal ist. Zum anderen kann ein Kommunikationsproblem nicht wie bei klassischen Netzwerkstrukturen durch andere benachbarte Sensormodule abgefangen werden, da die Module Waggon für Waggon linear angeordnet sind. Ein Datenpaket muss somit auf einem einzigen möglichen Weg Modul für Modul durch den Zug gereicht werden.

*Mehr zu**Kommunikationslösungen:*www.imms.de

An Modellbahn erprobte Lösung soll auf Güterzüge übertragen werden

Das IMMS hat den Prototyp für ein zuginternes Funksensornetz für das oben beschriebene Monitoring-System für einen Modellzug realisiert. Dazu hat das Insti-

Jahresbericht

© IMMS 2017

tut für eine schnell nachrüstbare, wartungsarme und preiswerte Lösung verfügbare Hard- und Softwarekomponenten für Funksensormodule untersucht. Diese wurden so ausgewählt und konfiguriert, dass Verzögerungen bei der Datenübertragung, sog. Latenzen, sowie der Energiebedarf für die Monitoring-Aufgaben minimal gehalten werden. Der Partner Funkwerk Systems GmbH hat Lösungen erarbeitet, mit denen die erhobenen Daten des lokalen Funksensornetzes des IMMS per Mobilfunk an die zentrale Cloud-basierte Kontrollinstanz gesendet werden.

Ergebnis ist ein latenzoptimiertes und energieeffizientes Monitoring-System, das Daten eines Güterzugs in weniger als zwei Sekunden zur Verarbeitung in die Cloud schicken kann, um von dort Zustandsänderungen und Ereignisse zu kontrollieren, zu bewerten und bei Bedarf automatisch Aktivitäten auszulösen.

Die Vorverarbeitung der Daten in den Funkmodulen kann durch einen zusätzlichen Kommunikationskanal von der Steuerungsinstanz zu den Modulen konfiguriert werden. Diese teilweise Verlagerung der Intelligenz in die Module macht die Lösung effizienter, da so weniger Daten übertragen werden müssen. Sämtliche Konfigurationsnachrichten werden von den Modulen bestätigt und damit die Kommunikation abgesichert.

Die Lösung im Detail – Beitrag des IMMS

Funksensormodule – Hard- und Software

Anforderungen

Um einen Zug überwachen zu können, muss ein Funksensormodul verschiedene

Aufgaben erfüllen. Für jeden Güterwagen muss die Position im Zugverbund eindeutig bestimmt und daraus die Wagenreihung abgeleitet werden – ohne dass die Funkmodule jedes Mal neu konfiguriert werden, sobald ein Zug neu zusammengestellt wird. Dazu ist es erforderlich, dass gleichberechtigte Module automatisch ein Netzwerk ausbilden – man spricht hierbei von einem ad-hoc-Netzwerk.

Die Anordnung der Funkmodule im Netzwerk, also die **Netzwerk-Topologie**, ist linear. Sie entspricht der Anordnung der Wagen im Zug. Das heißt, jedes Modul im Netzwerk muss mit nur zwei (bzw. das erste und letzte mit einem) Nachbarn auskommen, alternative Kommunikationspartner sind damit als Ausweichmöglichkeit per se ausgeschlossen. Betriebsparameter für Waggon und Ladung müssen erfasst

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*



Bild 1:
Funkmodul
(OpenMote-
Hardware-Modul)
auf Basis des Texas
Instruments CC2538 SoC
mit OpenWSN als Software für
die Implementierung des Netzwerk-
Kommunikationsstapels. Foto: IMMS.

und überwacht werden und Fehler in **Echtzeit** gemeldet werden. Zieht man für einen Datentransfer bis in die Cloud von der Zielgröße von unter zwei Sekunden den Mobilfunkanteil ab, bleiben je nach Mobilfunksystem für die interne Kommunikation im Zug im Idealfall noch etwa 1,5 Sekunden. Die bis zu 100 Funksensormodule müssen in dieser Zeit ihre erfassten Daten sehr effizient vom letzten zum ersten Waggon kommunizieren.

Dazu müssen unter anderem Datennachrichten von den Modulen mit höchster **Priorität** behandelt werden. Konfigurationsnachrichten in Richtung Module haben dagegen statischen Charakter ohne besondere Anforderungen an die Übertragungszeit und können nachgelagert übertragen werden.

Über die einzelne Waggons betreffenden Daten hinaus müssen auch solche Informationen, die für die Erkennung des Zugverbands notwendig sind, regelmäßig erhoben, schnell verarbeitet und kommuniziert werden. Hat sich eine Netzwerktopologie entsprechend der Wagenreihung ausgebildet, muss jedes Funkmodul ständig die Verbindung zu seinem Vorgänger – also dem Modul in Richtung Lok – bewerten. **Bewertungsparameter** sind die Empfangsstärke der Funksignale oder die über die Funkstrecke ermittelte Entfernung des Vorgängers. Liegt der entsprechende Parameter nicht mehr innerhalb der Toleranzgrenzen, muss eine Zugtrennung erkannt und gemeldet werden.

Die Module sollen darüber hinaus sehr **energieeffizient** arbeiten, da sie in den nicht elektrisch gekoppelten Güterwaggons mit Batterien gespeist werden müssen, die in vorgegebenen Wartungsintervallen alle sechs Jahre ausgetauscht werden sollen.

Auswahl von Hardware und Software

Aus diesen Aufgaben und Randbedingungen hat das IMMS die Anforderungen an die Funksensormodule abgeleitet und die Hardware und Software ausgewählt. Ausschlaggebend waren hierbei vor allem umfangreiche Möglichkeiten zum Energiesparen, die sich mit Verfahren für eine Zeitfenster-basierte Kommunikation eröffnen. Wichtig waren zudem universell einsetzbare, preiswerte Module, die dem Stand der Technik entsprechen und die mit Open-Source-Software für die Anwendung optimiert werden können.

Die Anforderungen hat das IMMS mit **OpenMote-Funkmodulen** und der **OpenWSN-Netzwerksoftware** umgesetzt. Die Software beinhaltet frei verfügbare Implementierungen von standardisierten Netzwerkprotokollen und bildet einen vollständigen Netzwerk-Kommunikationsstapel. Die Daten durchlaufen darin übereinander ange-

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

ordnete Schichten, wie z.B. Anwendungs-, Transport- oder Netz-Zugangsschichten. Eine integrierte Simulationsumgebung erlaubt den virtuellen Betrieb des Netzwerks.

> *fast realtime*

Die **OpenWSN-Software** basiert auf 6LoWPAN als Kommunikationsprotokoll zur Funkdatenübertragung und kann so IPv6-Datenpakete drahtlos übertragen. Die Integration des Funknetzes in bestehende Netzwerke ist daher mit wenig Aufwand möglich. Die Funkkommunikation ist konform zum IEEE 802.15.4-Standard. Dieser erlaubt Lösungen mit sehr geringer Energieaufnahme und damit langer Batterielebensdauer. Das genutzte 2,4-GHz-Band ist zudem lizenzfrei und ermöglicht damit preiswerte Implementierungen. Der Kanalzugriff erfolgt zeitfenster-basiert. Er verwendet wechselnde Frequenzen, das sog. Time Slotted Channel Hopping, um Kollisionen von Datenpaketen zu vermeiden und ermöglicht energiearme Schlafzustände ohne die Gefahr, Datensendungen zu verpassen.

> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

Die **Aufgaben** der Funksensormodule wurden auf mehrere **Dienste** aufgeteilt. Das IMMS hat die OpenWSN-Software so um Dienste zur Abbildung der Wagenreihung, zur Überwachung von externen Sensoren und zur Ermittlung der Laufzeit von Nachrichten erweitert. Die Implementierung der Dienste ist **modular** und verwendet definierte Schnittstellen zum Netzwerk-Stapel. Damit lässt sich die Lösung leichter in alternative Software-Umgebungen portieren und darüber hinaus mit wenig Aufwand auf andere Anwendungsfelder übertragen.

Energieeffizienz

Im Güterbahnverkehr werden Wartungsintervalle von bis zu sechs Jahren angestrebt. Für die Funksensormodule musste dafür eine Batterie mit entsprechender Kapazität ausgewählt werden. Die erforderliche Kapazität leitet sich aus dem Energieverbrauch der Module ab.

Energiebedarf und Energiemodell

Um den Energieverbrauch abzuschätzen, wurde die Aktivität der Funkmodule in verschiedene Betriebsphasen v.a. in Bezug auf die Funkstrecke aufgeteilt in die Modi inaktiv, Senden und Empfangen. Die Energieaufnahme der Module in den einzelnen Phasen hat das IMMS messtechnisch anhand von zwölf Messungen an einem Laboraufbau unter exakt gleichen Bedingungen erfasst, ein Beispiel zeigt Bild 2. Bei statistischen Auswertungen der Messreihen für drei identische Module wurden Exemplarstreuungen ermittelt und berücksichtigt. Messfehler wurden durch Mittelung der Messwerte minimiert.

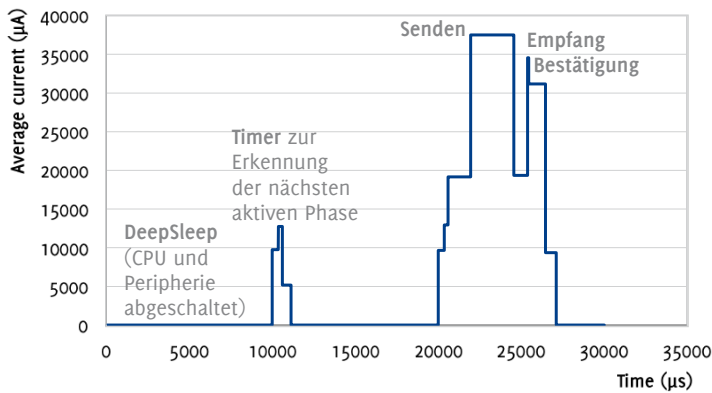


Bild 2:

Typisches Stromprofil bei zeitfensterbasierter Kommunikation mit Zeitslot ohne Funkbetrieb (links) und Zeitslot mit Paketversand inkl. Empfang der Bestätigung (rechts), dazwischen inaktive Phasen.

Grafik: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Für das Anwendungsszenario hat das IMMS ein **Modell** entwickelt, welches die Betriebsphasen zeitlich abbildet. Dabei wurden die Aktivitäten des Netzwerkstapels und der implementierten Dienste berücksichtigt – für den Netzwerkstapel die Ausbildung und der Betrieb des ad-hoc-Netzwerkes, für die Dienste die kontinuierliche Überwachung von Wagenreihung und externen Sensoren. Für einen bestimmten Zeitabschnitt kann im Modell die Häufigkeit der einzelnen Phasen festgelegt und damit das Verhalten des Funkmoduls abgebildet werden.

Auf Basis des erstellten Modells wurde mit den Ergebnissen der Messungen der **Energiebedarf** der Module rechnerisch ermittelt. Das IMMS hat die OpenWSN-Simulationsumgebung um eine Komponente zur Ermittlung des Energieverbrauchs erweitert. Damit wurde die quasi-praktische Validierung des errechneten Energiebedarfs durchgeführt, ohne dass dafür aufwendige Langzeitmessungen an einem realen Netzwerk erforderlich waren.

Optimierung

Das IMMS hat die **zeitlich getaktete Funkkommunikation** dazu eingesetzt, um inaktive Phasen der Funkmodule für das Energiesparen zu nutzen. Um in diesen Phasen die Hardware energetisch optimal konfigurieren zu können, hat das Institut die Software um Funktionen erweitert, die je nach Phase ungenutzte Hardware-Komponenten deaktivieren bzw. das gesamte Modul in einen Schlafzustand versetzen und entsprechend wieder aktivieren. Damit konnte der Energiebedarf erheblich reduziert und der Ruhestrom in den inaktiven Phasen auf weniger als 2 µA gesenkt werden.

Der Hauptanteil der Energie wird für das Senden und Empfangen von Daten über die Funkstrecke verbraucht. Je seltener also Daten im Funknetz übertragen werden, desto positiver ist das einerseits für den Energiebedarf. Andererseits verzögert das

die Übertragung von Nachrichten. Um die geforderten Echtzeitparameter einzuhalten, wurde ein geeigneter Kompromiss für die Übertragungsrate zwischen Energieverbrauch und Verzögerung gefunden.

Batterie

Batterien mit einer Kapazität von 8500 mAh erlauben den Betrieb der Funksensormodule für ca. ein Jahr, sofern die Module ständig aktiv sind. Um die Lösung zu erproben, war dies zunächst ausreichend. Um den Ansatz später in ein Produkt zu überführen, sind weitere Optimierungen erforderlich. Möglich wäre vor allem, die Module bei Stillstand des Zuges abzuschalten und die Häufigkeit weiter zu verringern, mit der die Module über Funk miteinander kommunizieren. Mit diesen Ergebnissen und mit Hilfe weiterer Simulationsrechnungen muss die Batteriekapazität an das Wartungsintervall angepasst werden. Eine Alternative können auch Akkus sein, die während der Fahrt des Zuges durch Energierückgewinnung kontinuierlich geladen werden.

Kommunikationslatenz

Systembedingte Latenz

Im Funknetz werden die Daten zwischen Modulen in Funkreichweite zu festen Zeitpunkten – in sogenannten Zeitfenstern bzw. Slots – übertragen. Die zeitfensterbasierte Kommunikation erzeugt eine Latenz. Diese ist von zwei Größen abhängig. Eine ist die Anzahl der Hops, d.h. die Funkstrecke zwischen benachbarten Funkmodulen im Übertragungsweg. Die andere Größe ist das Schema der Zeitfenster in Bezug auf Länge, Anzahl und Verteilung der Slots. Die Zuordnung der Zeitslots zu den Hops ist zufällig. Da die Funkkommunikation nur in den zugewiesenen Slots erlaubt ist, wird eine Nachricht in einem Modul bis zum nächsten Sendefenster verzögert. Das Schema wiederholt sich dabei zyklisch nach einer festgelegten Anzahl von Slots. Die für Güterzüge typische, tiefe lineare Topologie des Netzwerks führt zu vielen Hops – die Einzel-Latenzen der 100 Hops von 100 Waggons summieren sich.

Optimierung

Die geforderten Obergrenzen für die Kommunikationslatenz konnten durch Optimierung der Slot-Verteilung garantiert werden. Dafür wurde im IMMS ein Slot-Schema erarbeitet und innerhalb der OpenWSN-Software implementiert, das optimal an die lineare Anordnung der Funkmodule im Zug angepasst ist und bei jeder neuen Zu-

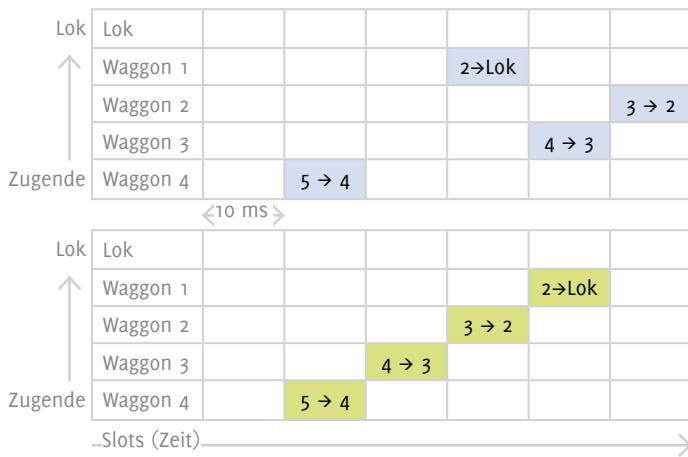


Bild 3:

Verteilung der Zeitslots in einem Zug mit Lok und vier Waggons:

typisch (oben) und optimiert (unten).

Grafik: IMMS.

sammenstellung des Zuges die Slots neu zuweist. Die zeitliche Verteilung der Slots garantiert jederzeit die schnellstmögliche Weiterleitung der Nachrichten in den Hops. Ein Beispiel zeigt Bild 3.

Die typische Latenz für die Übertragung einer Nachricht zwischen zwei benachbarten Modulen wurde durch die Optimierungen auf ein Fünftel verringert. Bei einer Zuglänge von 100 Waggons benötigt die Übertragung einer Nachricht vom letzten Güterwagen bis zur Lok damit etwa eine Sekunde – und ist damit eine halbe Sekunde schneller da als ursprünglich gefordert.

Demonstrator

Das IMMS hat die Grundlagen für eine latenzoptimierte und energieeffiziente Erhebung und Weiterleitung von Sensordaten in einem Funknetzwerk erarbeitet. Die entstandenen Einzelkomponenten wurden zu Testzwecken in einen Demonstrator mit Modellbahnzug integriert und veranschaulichen die gewonnenen Ergebnisse. Mit der entstandenen, stark miniaturisierten Abbildung eines realen Zugüberwachungssystems können die erprobten Konzepte und Methoden nahezu unverändert in die Praxis überführt werden.

Für den Demonstratorzug mit fünf Wagen und damit fünf Funkmodulen ist das Sensornetz an einen industrietauglichen Kompakt-PC der Firma HARTING angebunden, auf dem ein Linux-Betriebssystem installiert ist. Eine vom IMMS in Eigenentwicklung erstellte Software sammelt die Daten von den Funkmodulen und leitet diese in aufbereiteter Form über eine Kabelverbindung an die zentrale Kontrollinstanz weiter. In der anderen Richtung setzt die Software Anfragen an die Sensormodule in entspre-

chende Konfigurationsnachrichten um. Zusammen mit der vom Partner Funkwerk entwickelten Visualisierungssoftware zeigt der Demonstrator, wie das Zugüberwachungssystem in der Praxis aussehen kann.

Ausblick

Das mit dem Demonstratoraufbau praktisch validierte System zur Güterzugüberwachung bildete für das IMMS einen wichtigen Baustein, um Entwurfsrichtlinien für ein latenzoptimiertes und energieeffizientes Funksensornetz zu definieren. Die Richtlinien sind wertvolle Grundlagen für zukünftige Aktivitäten im Bereich Funksensornetze und erweitern die Kompetenzen im IMMS.

Ein prototypischer Aufbau des Systems für die Erprobung unter realen Bedingungen ist vorbereitet. Dafür werden derzeit Partner aus dem Bahntechnikumfeld gesucht. Begleitend dazu sollen die Ergebnisse des Projektes dem Technischen Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS) vorgestellt werden.

Alle gewonnenen Erkenntnisse gelten nicht nur für das spezifische Anwendungsszenario Güterzugüberwachung. Sie können darüber hinaus auf andere Anwendungen im Bereich der drahtlosen Überwachung von verteilten Objekten übertragen werden.

Kontakt: Dipl.-Ing. Frank Senf, frank.senf@imms.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Das Projekt wird gefördert vom Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH (PtJ), mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Kennzeichen o3ZZo5o4J im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“.



ANCONA

Methoden-Mix

beschleunigt Entwurf

integrierter Schaltungen

Der Industriepartner Melexis konnte mit den Methoden des IMMS in kürzester Zeit die Problemstellen dreier Schaltungen identifizieren. Links im Bild: Dr.-Ing. Dirk Nuernbergk (Melexis); rechts: Georg Gläser (IMMS). Foto: IMMS.

Motivation: Neue Methoden für schnelle und fehlerfreie Entwürfe komplexer Industrie-4.0-Lösungen

Für intelligente, im „Internet der Dinge“ agierende Systeme und hochleistungsfähige Industrie-4.0-Anwendungen sind komplexe, hochintegrierte Mikroelektronik-Chips die technologische Basis. Solche SoCs (System-on-Chip) vereinen auf engstem Raum zahlreiche analoge und digitale Elemente und Funktionen wie Sensorik, Signalverarbeitung und Aktorik. Designfehler in integrierten Schaltungen können Umsatzeinbußen von mehreren hundert Mio. Dollar durch Produktionsausfälle verursachen und darüber hinaus weitaus höhere Kosten für Rückrufe, Reparaturen und Ersatzleistungen nach sich ziehen. Daher ist man bestrebt, Designfehler möglichst früh im Entwurfsprozess festzustellen und derartige Risiken zu minimieren. Darüber hinaus sollen für die neuen Anforderungen im Industrie-4.0-Kontext intelligenter und damit komplexere Systeme entstehen. Für diese werden künftig zahlreiche neue Systemkomponenten erforscht und entwickelt, deren Zusammenspiel mit den gängigen Methoden meist erst im Versuchsaufbau getestet werden kann.

Mehr zu
ANCONA auf
www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017

Daher haben die Projektpartner in ANCONA rechnergestützte Verfahren erarbeitet, um die korrekte Funktion dieser Systeme schon während des Entwurfs zuverlässig nachzuweisen. Das soll künftig das Design integrierter Schaltungen erleichtern und deutlich beschleunigen, somit Innovationspotentiale heben und zu Wettbewerbsvorteilen verhelfen. Das IMMS hat hierfür spezialisierte Methoden entwickelt, mit denen unter anderem Verkopplungen in Systemmodelle integriert und diese effizient simuliert werden. Drei davon werden hier vorgestellt.

Lösungen des IMMS

Wozu neue Methoden und wo setzen sie an? Ein Überblick zu "top-down design" und "bottom-up verification"

Der Entwurf integrierter Schaltungen beginnt meist auf Systemebene (vgl. Abb. 1), auf der Funktionsblöcke kombiniert werden. In diesen Komponenten werden Schaltungen erstellt, die die gewünschte Funktion realisieren, wie z.B. eine Verstärkung. Nach diesem Entwurfsschritt werden die Funktionalität und die elektrischen Eigenschaften dieser Blöcke in Simulationen verifiziert. Ist dieser Schritt erfolgreich, so wird ein Layout erstellt, das der Bauplan für den Chiphersteller ist: Hier werden die Bauelemente, wie z.B. Transistoren und Widerstände, platziert und mittels Metallleitungen miteinander verbunden.

Mehr zu ASIC-
Entwicklungen:
www.imms.de.

Durch die Anordnung dieser Elemente kann es jedoch zu neuen Effekten kommen, wie z.B. zum Übersprechen durch nebeneinanderliegende Leitungen, was durch parasitäre Kapazitäten verursacht wird. Aufgrund solcher physikalischen Effekte, die nicht mit der gewünschten Funktion zusammenhängen, muss die Schaltung erneut verifiziert werden. Meist führen die Effekte dazu, dass das Layout in weiteren Schritten optimiert werden muss. Hier sind die ersten beiden vorgestellten Methoden, die „Parasitic-Impact-Analyse“ und die „Symmetrieanalyse“ hilfreich: Mit der Symmetrieanalyse können Optimierungspotentiale schon vor dem eigentlichen Layout aufgezeigt werden. Mit der Impact-Analyse werden vorhandene Layouts betrachtet, um einen vielversprechenden Angriffspunkt für die Verbesserungen zu bestimmen. Der aufwendige Prozess der Layoutoptimierung kann so stark verkürzt werden.

Nachdem die korrekte Funktion sichergestellt wurde, kann das System schrittweise in immer größeren Funktionsgruppen geprüft werden. Wenn dabei neben der Funktionalität auch die Betriebsbedingungen überwacht werden sollen, ist meist

Implementierung

Systemebene (Ausführbare Spezifikation)	
Systempartitionierung	↓
Blockebene (Verhaltensmodell)	
Schaltungsdesign	↓
Transistor-/Schaltungsebene (Schaltungsmodell)	
Layoutsynthese	↓
Layoutebene	

Verifikation

Systemverifikation	
	↑
Blockverifikation (Kalibriertes Verhaltensmodell)	
Parameterextraktion & Modellverfeinerung	↑
Schaltungsverifikation (Extrah. Schaltungsmodell)	
Parasitäre Extraktion & Rückannotation	↑
Layoutverifikation	

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

Abbildung 1: Entwurfs- und Verifikationsebenen beim Schaltungsdesign mit Erweiterungen durch:

 Sensitivitätsanalyse,	 Model Coverage & Checker Integration sowie
 Parasitic Symmetry Extraction,	 Simulationsmethoden (PTD, FPGA-basiert),
 Parasitic Debugging,	die das IMMS entwickelt hat. Grafik: IMMS.

> Inhalt

* Förderung

eine sehr detailtreue Simulation auf niedriger Abstraktionsebene notwendig, d.h. mit aufwendigen und zeitintensiven Lösungsverfahren. An dieser Stelle setzt die dritte vorgestellte Methode an: Mit dieser werden Informationen über erlaubte Betriebsbedingungen einzelner Funktionsblöcke automatisch extrahiert. Diese Informationen werden dann in abstraktere Modelle eingearbeitet, mit denen Simulationen stark beschleunigt und gleichzeitig die Betriebsbedingungen abgesichert werden.

Parasitic-Impact-Analyse**Parasiten – Diagnose und manuelle Therapie aufwendig bis unmöglich**

Die parasitären Kopplungen aus dem Layout können die Funktion und elektrischen Parameter einer Schaltung erheblich stören. So kann es dazu kommen, dass die Stabilität beeinträchtigt wird, in anderen Schaltungsteilen Störungen durch Kopplungen verursachen oder systematische Fehler eingefügt werden, die den Nullpunkt verschieben und zu sog. Offsets und damit Ungenauigkeiten führen können.

Vgl. "Impact

Rating of Layout

Parasitics ...":

www.imms.de

Das IMMS hat jeden der neuen Methoden-Ansätze an konkreten Chip-Entwicklungen überprüft. Unter anderem wurde die in Abbildung 2 gezeigte Schaltung aus dem Projekt ADMONT einer Parasitic-Impact-Analyse unterzogen. Diese Abtastschaltung wird in einem höchst empfindlichen Bildsensor für Fluoreszenz-Imaging eingesetzt. Die Genauigkeit dieses Blocks ist dabei entscheidend für die Funktion des Chips und liegt im Zielbereich $<5\text{mV}$. Je kleiner der Wert, desto besser. Die Simulation der Schaltung zeigte einen vernachlässigbar kleinen Offset ($<1\text{mV}$). Nach dem Layout war dieser jedoch in der Simulation mit parasitären Elementen signifikant größer ($>10\text{mV}$) und damit für den Fluoreszenz-Chip zu groß.

Jahresbericht

© IMMS 2017

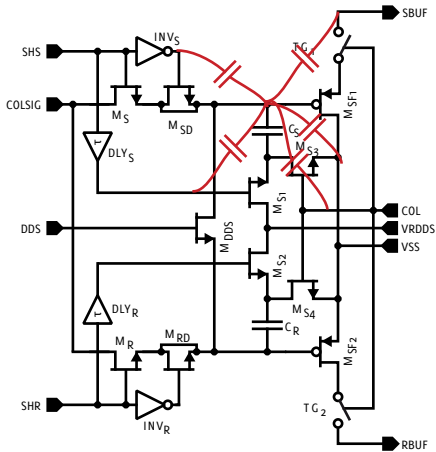


Abbildung 2: Abtastschaltung eines Fluoreszenz-Imagers aus dem Projekt ADMONT. Einige parasitäre Kopplungen sind rot eingezeichnet. Grafik: IMMS.

Bestehende Werkzeuge zeigen dieses Problem auf, ohne jedoch die parasitären Elemente zu identifizieren, welche den Fehler verursachen.

Ein Designer kann durchaus eine Schaltung mit parasitären Elementen manuell modifizieren und die Auswirkung einzelner Kopplungen untersuchen. Da jedoch die Anzahl dieser Elemente typischerweise bei mehreren hundert bis tausend liegt, ist dieser Ansatz wenig praktikabel und erfordert ein tiefes Verständnis der Schaltung.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

Programm findet und bewertet automatisch kritische parasitäre Elemente

Das IMMS hat ein Programm erstellt, mit dem es möglich ist, diese manuellen Anpassungen zu automatisieren und gleichzeitig den Schaltungssimulator zur Auswertung der Modifikation zu verwenden. Der in Abbildung 3 gezeigte Algorithmus wurde wie folgt realisiert: Nacheinander wird jedes parasitäre Element aus der Schaltung entfernt und ein Simulationslauf zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften gestartet. So entsteht eine Liste, die jedem Element seinen Einfluss auf die Schaltung zuordnet. Hier können die parasitären Elemente, die zur Verschlechterung der Eigenschaften führen, leicht identifiziert werden. Dennoch ist die Anzahl der notwendigen Simulationen extrem hoch: Für jedes parasitäre Element muss eine Simulation zur Bewertung ausgeführt werden.

Um diesen Simulationsaufwand zu reduzieren, wurde der Algorithmus weiter verbessert. Anstatt die Betrachtung auf einzelne parasitäre Elemente zu beziehen, können ebenso alle von einem Schaltungsknoten ausgehenden Kopplungen betrachtet

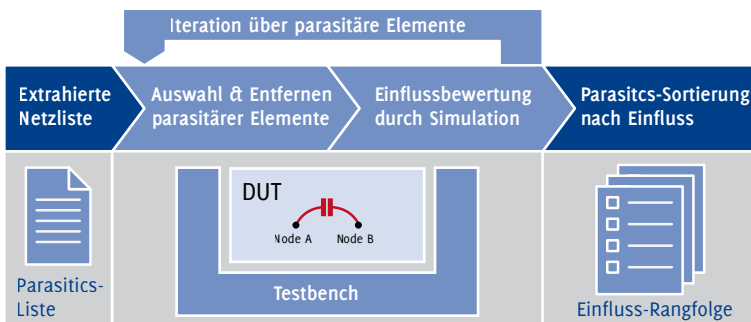


Abbildung 3:

Ablauf der Impact-Analyse.

Grafik: IMMS.

werden. Da die Anzahl der Knoten viel kleiner ist als die der parasitären Elemente, ist hier der Simulationsaufwand viel geringer. Für die in Abbildung 2 gezeigte Schaltung mussten 450 Kopplungen, aber nur etwa 20 Knoten untersucht werden. Der Simulationsaufwand konnte durch die Verbesserung also um den Faktor 20 reduziert werden. Fünf Schwachstellen wurden so in zehn Minuten gefunden und das Layout des Fluoreszenz-Chips punktgenau verbessert.

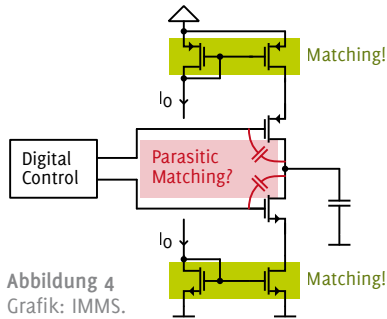
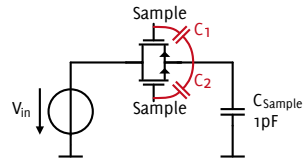


Abbildung 4
Grafik: IMMS.

◀ Symmetriebedingungen für Transistoren, z.B. in den grün markierten Stromspiegeln, sind Stand der Technik.

Für parasitäre Elemente (rot) existiert noch keine Methode dieser Art.



▲ Eine einfache Abtast-Halte-Schaltung. Rot markiert sind parasitäre Koppelkapazitäten. Sind sie symmetrisch, heben sie systematische Fehler auf.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Symmetrieanalyse

Symmetrien können Fehler kompensieren – auch für parasitäre Elemente

Symmetrie ist eines der fundamentalen Konzepte der Natur und Technik. So auch im Entwurf integrierter Schaltungen: Insbesondere im Layout werden Symmetrien ausgenutzt, um gleiches Verhalten von Bauelementen in Gegenwart von Prozessvarianzen zu gewährleisten. So werden z.B. Stromspiegelschaltungen immer in symmetrischen Mustern platziert. Diese Symmetriebedingungen können schon vor dem Layout im Schaltplan angegeben werden, wie in Abbildung 4 (rechts) dargestellt.

Jedoch ist es bisher nicht möglich, derartige Bedingungen für parasitäre Elemente anzugeben. Diese können z.B. bei Abtast-/Halte-Schaltungen zu systematischen Abweichungen führen. Eine solche Schaltung ist in Abbildung 4 (links) dargestellt. Sind die rot markierten Koppelkapazitäten von den Schaltersignalen auf das Ausgangssignal gleich, so kompensieren sich die Kopplungen gegenseitig und es entsteht kein systematischer Fehler.

Neues Konzept der Akzeptanzregionen ermöglicht Symmetriextraktion für parasitäre Elemente

Im Projekt ANCONA wurde am IMMS aus diesem Prinzip eine Methode und auch ein Prototyp für ein Werkzeug entwickelt, mit der es schon vor dem eigentlichen Layout möglich ist, spätere Symmetriebedingungen parasitärer Elemente im Layout zu

Vgl. "Parasitic Symmetry at a Glance ...":

www.imms.de

Abbildung 5: Konzept der Akzeptanzregion. Grafik: IMMS.

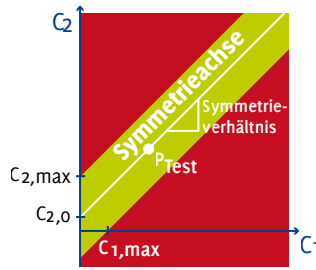
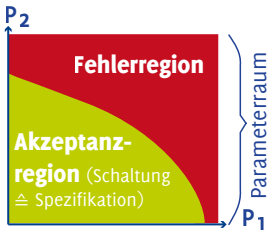


Abbildung 6:

Form der Akzeptanzregion einer Symmetriebedingung.

Grafik: IMMS.

identifizieren. Diese Methode basiert auf dem Konzept der Akzeptanzregionen, wie in Abbildung 5 dargestellt. Eine Akzeptanzregion ist ein Teil des Parameterraums, in dem eine gegebene Schaltung fehlerfrei, d.h. im Rahmen der Spezifikation arbeitet.

Akzeptanzregionen – Beispiel

Für das zuvor gezeigte Beispiel des Fluoreszenz-Chips ist die Spezifikation beispielsweise: Die Ausgangsspannung soll von der Eingangsspannung im Abtastzeitpunkt nur um 5mV abweichen. Werden nun die Parameter der parasitären Kapazitäten C_1 und C_2 variiert, ergibt sich ein Bild wie in Abbildung 6: Die Symmetriebedingung erzeugt einen Akzeptanz-Korridor im Parameterraum. In diesem Bereich können die Kapazitäten beliebige Werte annehmen, ohne das Schaltungsverhalten zu beeinträchtigen. Diese Form der Akzeptanzregion ist typisch für Symmetriebedingungen. Sie kann durch drei Größen erfasst werden: Einerseits durch die beiden Schnittpunkte mit den Koordinatenachsen $C_{1, \max}$ und $C_{2, \max}$, andererseits durch den Anstieg der Symmetrieachse (das Verhältnis der Kapazitäten).

Symmetriebedingungen – Beispiel

Untersucht man die Akzeptanzgebiete aller möglichen parasitären Kapazitäten, lassen sich Symmetriebedingungen identifizieren. Dazu ist es notwendig, die maximal tolerierbaren Werte der Kapazitäten zu bestimmen, also die Schnittpunkte der Akzeptanzbereiche mit den Koordinatenachsen. Um zu testen, ob der betrachtete Parameterraum eine Symmetriebedingung enthält, wird ein Punkt entlang der Symmetrieachse ausgewählt. Ist das Verhalten der Schaltung für diese Parameterkombination korrekt, d.h. der Punkt liegt im „grünen Bereich“, ist die Symmetriebedingung nachgewiesen.

Diese Methode erfordert jedoch eine hohe Anzahl an Simulationsläufen. Diese kann durch zusätzliche Heuristiken und Plausibilitätstests stark reduziert werden. In Zusammenarbeit mit dem Projekt ADMONT wurde eine Schaltung aus einem Bildsen-

sor untersucht (siehe Abbildung 2). Die Analyse erforderte sechs Stunden Simulationszeit und ergab über 200 Symmetriebedingungen. Dieses Wissen führte zu einem tieferen Verständnis der auftretenden parasitären Kopplungen und wurde für die Optimierung des Layouts verwendet.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

Model Safe-Guard Unit – das Ende falsch-positiver Verifikationsergebnisse durch Betriebsbedingungen

Falsch-positive Verifikationen ziehen zeitaufwändige Simulationen und Handarbeit nach sich

- > Inhalt
- * Förderung

„Die Verifikation eines Systems ist nur so aussagekräftig wie die verwendeten Modelle.“ Bislang konnte es vorkommen, dass sich eine positive Verifikation eines Entwurfs mit rein funktionalen Modellen als falsch herausstellte und durch zusätzliche Simulationen abgesichert werden musste.

Vgl. "There is a limit to everything ...": www.imms.de

Dieses Problem eines falsch-positiven Ergebnisses ist in Abbildung 7 dargestellt: Wenn ein Modell wie hier mit zu kleiner Versorgungsspannung betrieben wird, also in einem Bereich, in dem die realisierte Schaltung nicht funktionieren würde, und dennoch ein korrektes Ergebnis liefert, ist das Verifikationsergebnis nicht zuverlässig. Dieser Effekt kann z.B. bei passiven RFID-Tags auftreten, die ihre Energie aus dem elektromagnetischen Feld gewinnen und deren Betriebsbedingungen sich deshalb ständig ändern.

Deshalb müssen bisher entweder manuell zusätzliche Prüfbedingungen in das Modell eingefügt oder zusätzliche, zeitaufwendige Simulationen durchgeführt werden.

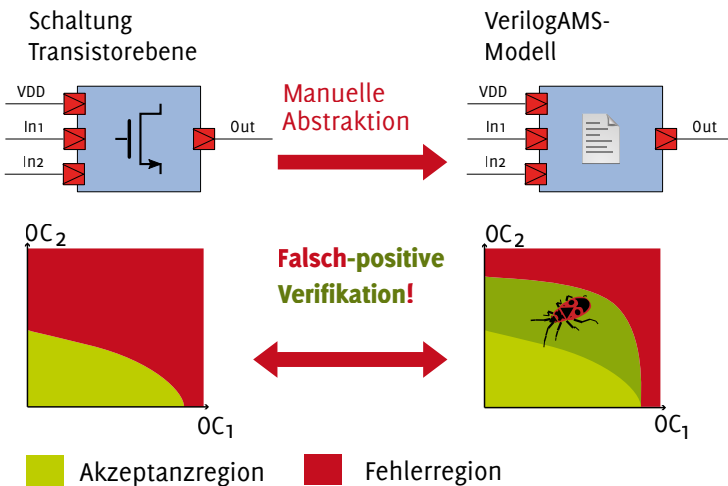


Abbildung 7:
Wird ein Modell in einem Bereich betrieben, in dem die Schaltung nicht mehr funktioniert, kann es zu falsch-positiven Verifikationsergebnissen kommen.

Für Analog/Mixed-Signal-Systeme existiert bisher kein Ansatz, um solche Prüfbedingungen automatisch zu erzeugen und in bestehende Modelle einzufügen. Daher wurde am IMMS auch hierfür das Konzept der Akzeptanzregionen angewendet, d.h. mit dem Teil des Parameterraums gearbeitet, in dem die Schaltung gemäß der Spezifikation funktioniert.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

Wie kommen Prüfbedingungen und Akzeptanzregionen automatisch ins Modell?

Klasse statt Masse

Um diese Akzeptanzregion in ein Modell integrieren zu können, muss zunächst eine passende Repräsentation gefunden werden, die in der Entwurfsumgebung für integrierte Schaltungen abgebildet werden kann. Wie in der Industrie kommt hier das Programm AMS-Designer von Cadence zum Einsatz. Damit können z.B. VerilogAMS Modelle simuliert werden. Die Entscheidung, ob die aktuellen Umgebungsbedingungen zur Akzeptanzregion gehören oder nicht, ist ein Klassifikationsproblem. Aufgrund der hohen Flexibilität bieten sich hier Klassifikatoren auf Basis einer Support Vector Machine (SVM) an, einem mathematischen Verfahren zur Klassifikation. Am IMMS wurde eine Methode entwickelt, diese Klassifikatoren automatisiert in VerilogAMS-Modellen abzubilden.

> Inhalt

* Förderung

Vgl. "Knowing your A/MS System's Limit ...": www.imms.de

Automatisch erzeugte Prüfbedingung beobachtet und agiert

Wie zuvor erläutert, wird eine SVM dazu verwendet, die Akzeptanzregion abzubilden. Dieser Klassifikator bildet den Kern einer automatisch erzeugten Prüfbedingung, wie sie in Abbildung 8 dargestellt ist. Neben dem Klassifikator enthält diese Einheit zum einen Sensormodule, um die Umgebung innerhalb der Simulation zu beobachten. Zum anderen enthält sie Aktormodule, um auf das Verlassen des gültigen Betriebsbereiches zu reagieren, z.B. mit Fehlermeldungen oder Veränderungen des Systemverhaltens. Die Erzeugung und Integration dieser Prüfbedingung kann dank eines vom IMMS erstellten Werkzeuges vollständig automatisiert werden. Im vorhandenen Modell werden dazu neue Blöcke eingefügt, Verbindungsleitungen aufgetrennt und

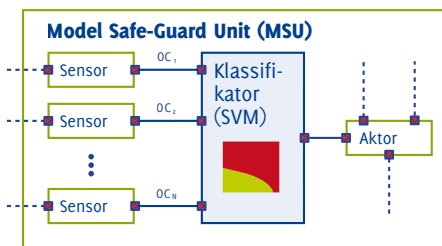


Abbildung 8:

Struktur der Model Safe-Guard Unit.
Grafik: IMMS.

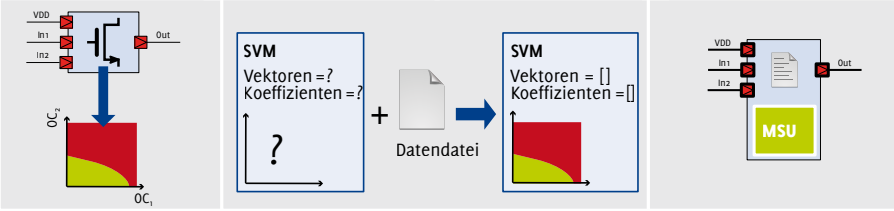


Abbildung 9: Erstellung der MSU. Grafik: IMMS.

neu verbunden. Der Prozess ist in Abbildung 9 dargestellt. Nachdem die Akzeptanzregion der Schaltung erkundet wurde, wird der Klassifikator trainiert und in Verilog-AMS überführt. Dabei wird die zuvor gezeigte Struktur mit Sensoren und Aktoren zusammengestellt und in das vorhandene Modell eingefügt.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo

- > Inhalt
- * Förderung

Beispiel passiver RFID-Chip – Tool schrumpft Simulationsaufwand

Im Projekt ADMONT werden am IMMS u.a. passive RFID-Sensor-Frontends entwickelt. Da sich hier z.B. die Versorgungsspannung der Systemkomponenten fortlaufend je nach Feldsituation ändern, müssen diese insbesondere im Hinblick auf Betriebsbedingungen untersucht werden. Als Beispiel dient hier der Demodulator-Block aus dem in Abbildung 10 dargestellten RFID-Tag. Dieser Block gewinnt das Datensignal aus dem magnetischen Feld zurück, um so eine Kommunikation mit dem Tag zu realisieren.

Mehr zu RFID-Lösungen im ADMONT-Fachartikel.

In der Verifikation zeigte sich, dass eine rein funktionale Modellierung ohne Rücksicht auf die Umgebungsbedingungen nicht ausreicht. Dies ist in Abbildung 11 für die Größen Versorgungsspannung VDD, Gleichwert VDC und Amplitude VAC des Eingangssignals dargestellt: In den grün markierten Bereichen ist die Schaltung funktionsfähig, in den roten Bereichen kommt es zu Funktionsstörungen. Der Vergleich der Akzeptanzbereiche von Modell (b) und Schaltung (a) zeigt, dass das Modell z.B. auch bei VDD=0, also ohne Versorgungsspannung, korrekt funktioniert. Hier kann es zu falschen positiven Verifikationsergebnissen kommen. Deshalb wurde mit der zuvor vorgestellten Methode eine Prüfbedingung erstellt und in das System eingewoben. Der gesamte

Prozess nahm etwa 10h in Anspruch und ergab ein erweitertes Modell des Demodulators, welches etwa 100 Mal schneller simuliert werden kann als die Schaltung.

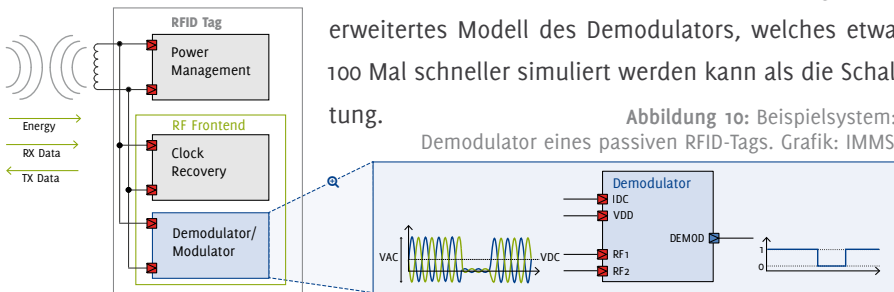
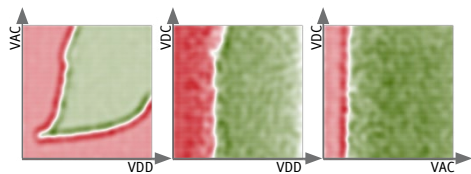


Abbildung 10: Beispielsystem: Demodulator eines passiven RFID-Tags. Grafik: IMMS.

Mehr zu ASIC-Entwicklungen: www.imms.de.



(a) Implementierung Transistorebene

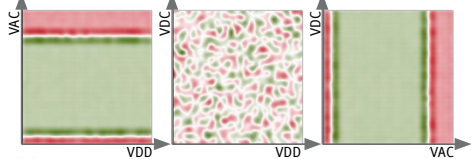
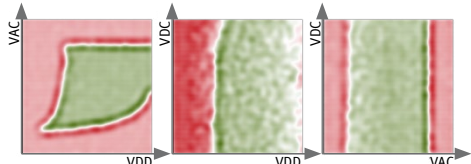
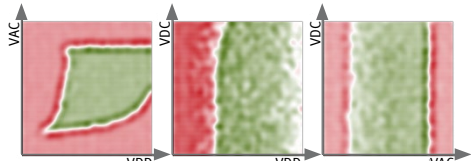
(b) Initialmodell VerilogAMS, Modellabdeckung $\Gamma_B \approx 0,75$.(c) Modellerweiterung MSU, Modellabdeckung $\Gamma_B \approx 0,98$.(d) Modellerweiterung MSU, Sicherheitsspanne 50 mV, Modellabdeckung $\Gamma_B \approx 1$.

Abbildung 11: Vergleich der Akzeptanzregionen von Schaltung und Modell mit und ohne MSU. Grafik: IMMS.

Der Vergleich der Akzeptanzbereiche aus Abbildung 11 (a) und dem erweiterten Modell (c) zeigt eine Übereinstimmung der Regionen. Mit einem ebenfalls in ANCONA entwickelten Verfahren konnte nachgewiesen werden, dass das Risiko einer Falsch-positiven Verifikation dadurch nahezu ausgeschlossen werden kann.

Ausblick:

Gemeinsam mit Forschungspartnern wurde das Institut 2017 auf der "14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design" (SMACD 2017) in Tahormina, Italien, für den Beitrag „Automated Generation of System-Level AMS Operating Condition Checks: Your Model’s Insurance Policy“ als Competition Runner-up geehrt. Davor erhielt das IMMS zwei Best-Paper-

Awards auf internationalen Konferenzen "Forum on Specification & Design Languages" (FDL) 2016 und 2015. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse aus ANCONA bis Ende 2017 in sechzehn Beiträgen publiziert, darunter acht begutachtete Veröffentlichungen, neun Vorträge, vier Fachposter sowie zwei Buchkapitel. Das IMMS hat die neuen Methoden bislang für drei Chip-Entwicklungen in den Projekten ADMONT* und RoMulus* verwendet. Der langjährige Industriepartner Melexis konnte zudem in kürzester Zeit die Problemstellen dreier Schaltungen identifizieren. Die Methoden werden für weitere ASIC-Entwicklungen des IMMS genutzt und sollen künftig ausgebaut werden.

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

Das Projekt ANCONA wurde unter dem Förderkennzeichen 16ES021 im Förderprogramm IKT 2020 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert sowie durch die Industriepartner Infineon Technologies AG, Robert Bosch GmbH, Intel AG sowie Mentor Graphics GmbH unterstützt.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FORSCHUNGSTHEMA

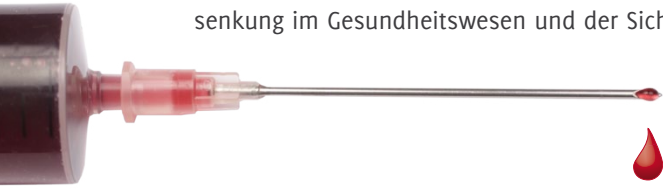
SENSORSYSTEME FÜR DIE BIOANALYTIK UND MEDIZINTECHNIK

Testaufbau für den am IMMS im Projekt MIMOSE* entwickelten Prototyp eines mikroelektronikbasierten Systems zur Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs, mit dem Ärzte künftig Diagnostiktests schnell und zuverlässig vor Ort durchführen können. Grundlage war das vom Partner oncgnostics GmbH entwickelte DNA-basierte Nachweisprinzip, das eindeutige Befunde liefert. Foto: IMMS.



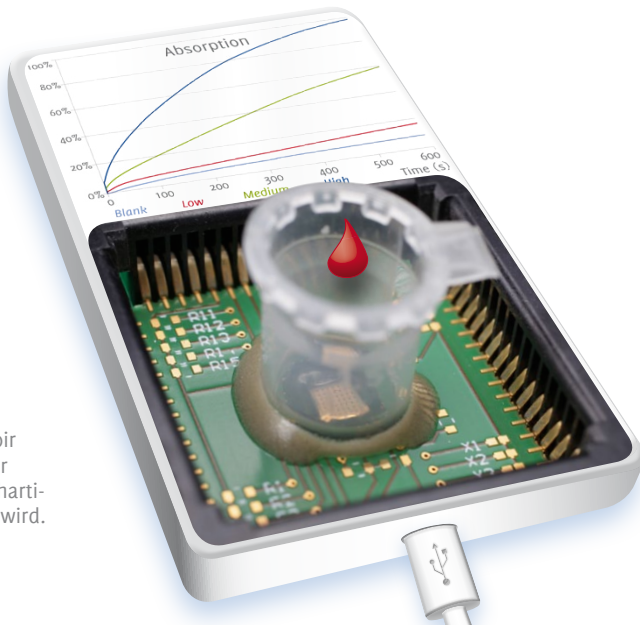
Die steigende Lebenserwartung der Menschen in unserer Gesellschaft führt zu einem Anstieg schwerer Erkrankungen wie Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Demenz sowie der hiermit verbundenen Aufwendungen für Diagnose und Therapie. Mit unserer Forschung zu mikroelektronischen Biosensor-Systemen für die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

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung



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 Teil eines Testaufbaus zur Krebsdiagnostik, der im Fachartikel zu INSPECT beschrieben wird.

Grafik/Fotos: IMMS.

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

MIMOSE*-Projektabschluss:

Elektronik für die Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs

Das IMMS hat in dem 2017 abgeschlossenen Projekt MIMOSE den Prototyp eines Systems entwickelt, dessen mikroelektronikbasiertes Messkonzept es ermöglichen soll, dass Ärzte künftig Diagnostiktests auf DNA-Basis schnell und zuverlässig vor Ort durchführen können. Grundlage war das vom Partner oncgnostics GmbH entwickelte DNA-basierte Nachweisprinzip zur Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs, das eindeutige Befunde liefert.

Methoden der Standardvorsorge sind nicht eindeutig

Jedes Jahr erhalten mehr als 200.000 Frauen in Deutschland nach ihrer Vorsorgeuntersuchung beim Gynäkologen einen Laborbefund, der auf Gebärmutterhalskrebs hinweist, der jedoch nicht eindeutig ist.

Grund dafür ist, dass die mikroskopische Untersuchung der Abstrichproben auf auffällige Zellen, der sogenannte Pap-Test, stark von den Erfahrungen der durchführenden Labore abhängt und mithin sehr subjektiv ist. Meist weisen die zytologischen Veränderungen auf Infektionen oder gutartige Gewebeveränderungen hin, die von selbst ausheilen. Um den Krebsverdacht auszuschließen, werden Tests auf humane Papillomviren durchgeführt, da diese praktisch immer Auslöser von Gebärmutterhalskrebs sind. Nur wenn dieser zweite Labortest negativ ist, kann die Patientin trotz des ersten auffälligen Zellscreenings sicher sein, dass sie nicht an Gebärmutterhalskrebs erkrankt ist.

Der Test auf die Viren ist allerdings in den meisten Fällen positiv, und sehr oft wird dann Gewebe am Muttermund operativ entfernt. Viele dieser Eingriffe sind allerdings nicht notwendig, da die meisten dieser Virusinfektionen von selbst ausheilen und keine Folgeschäden, sprich Krebs, verursachen. Im Gegensatz dazu können die operativen Gewebeentnahmen gravierende Folgen für Frauen mit Kinderwunsch haben, da die Operation zu einer Verkürzung des Gebärmutterhalses und damit zu einem erhöhten Risiko einer Fehl- oder Frühgeburt führt.

DNA-basierter Nachweis liefert eindeutige Befunde bei Laboruntersuchungen

Der Partner oncgnostics GmbH hat mit GynTect® einen einfachen und zuverlässigen Nachweis von Gebärmutterhalskrebs entwickelt. Dieser Test nutzt die Tatsache, dass

MIMOSE auf

www.imms.de



Testaufbau für den am IMMS entwickelten Prototyp eines mikroelektronikbasierten Systems zur Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs, mit dem Ärzte künftig Diagnostiktests schnell und zuverlässig vor Ort durchführen können. Grundlage war das vom Partner oncnostics GmbH entwickelte DNA-basierte Nachweisprinzip, das eindeutige Befunde liefert.
Foto: IMMS.

> *fast realtime*> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

sich Erbinformationen in Krebszellen chemisch verändern, und zwar durch DNA-Methylierung. Die von oncnostics validierten speziellen DNA-Methylierungsmarker lassen sich in Abstrichproben mit entsprechenden Methoden im diagnostischen Labor sehr gut nachweisen. In gesundem Gewebe treten diese Methylierungsmarker nicht auf. Unnötige Operationen lassen sich damit vermeiden.

Mikroelektronik und mobiles Testsystem verbessern das Verfahren und ermöglichen Vor-Ort-Diagnostik

Das IMMS hat auf der Basis von elektronischen Sensoren neue Detektionsprinzipien erarbeitet, die eine innovative, genaue und hochauflösende Erkennung von DNA-Markern ermöglichen sollen. Um die hohe Zuverlässigkeit und Datenqualität der Krebsinformationen zu gewährleisten, wurde eine automatisierte Diagnostikplattform erarbeitet, die DNA-Methylierungsmarker mit einem dualen mikroelektronischen Erkennungsverfahren valide detektieren können.

Darüber hinaus hat das IMMS auf der Basis dieser Plattform einen Prototyp für ein Diagnostiktestgerät entwickelt, gefertigt und getestet. Die Arbeiten beinhalteten die Spezifikation, die Entwicklung, Verifikation, die Fertigung, die Aufbau- und Verbindungstechnik sowie den Test zweier mikroelektronischer Systeme für die zwei unterschiedlichen Erkennungsverfahren. Mit Hilfe dieses Prototyps konnte die Eignung des mikroelektronischen Systems für den Nachweis von Methylierungsmarkern für den beschriebenen Anwendungsfall nachgewiesen werden. Der Prototyp des Diagnostiktestgeräts wurde bereits nach den Anforderungen des bioanalytischen Verfahrens sowie der beiden elektronischen Messmethoden entwickelt, gefertigt und getestet. Im Projekt wurde zudem Sonden-DNA auf mikroelektronischen Systemen des IMMS immobilisiert und eine Hybridisierung nachgewiesen. Das IMMS hat von

*Mehr zu ASIC-
Entwicklungen:*
www.imms.de

*Mehr zu System-
integration:*
www.imms.de

Beginn an alle diese Arbeiten darauf ausgerichtet, die Ergebnisse in die Entwicklung eines benutzerfreundlichen, bioverträglichen Systemdesigns einfließen zu lassen, auf dessen Grundlage ein zukünftig in Arztpraxen einsatzfähiges Diagnostiksystem entwickelt werden kann.

Testreihen in internem Folgeprojekt geplant

Mit dem in MIMOSE entwickelten Prototyp wurde ein wichtiger Grundstein für ein mobiles mikroelektronikbasiertes Diagnostikgerät für die Krebsfrüherkennung gelegt. Das IMMS wird nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten in MIMOSE in einem internen Folgeprojekt gemeinsam mit der oncnostics GmbH umfangreiche Testreihen mit dem Prototyp durchführen. Diese Tests sollen nicht nur die Grundlage für die Weiterentwicklung für ein marktaugliches Gerät festigen, sondern auch Rückschlüsse für weitere Elektronikentwicklungen für den Anwendungsbereich Bioanalytik am IMMS zulassen. Es werden derzeit mehrere der in MIMOSE entwickelten technischen Lösungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Verwertung und möglicher Patentanmeldungen geprüft. Daher wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse verzichtet und auf später geplante Veröffentlichungen verwiesen.

MEDICA 2017: Mikroelektronik zur Krebsfrüherkennung, zur Behandlung von Blindheit und zur Analyse von Flüssigkeiten

Das IMMS präsentierte zur MEDICA im November 2017 auf der Messe Düsseldorf ein mobiles Mikroelektronik-basiertes Testsystem zur Krebsfrüherkennung, Mikroelektronik zur Analyse wässriger Lösungen mittels passiver RFID-Sensorik und ein

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Aktuelle

Termine:

www.imms.de



Das IMMS stellte als Mitglied des Netzwerks Diagnostik Berlin-Brandenburg auf dem Gemeinschaftsstand zur MEDICA 2017 Mikroelektronik zur Krebsfrüherkennung, zur Behandlung von Blindheit und zur Analyse von Flüssigkeiten vor.

Foto: IMMS.

Jahresbericht

© IMMS 2017

bionisches System zur Behandlung von Blindheit. Mit den Funktionsmustern und Prototypen machte das IMMS den aktuellen Stand seiner Arbeiten im Bereich Bioanalytik greifbar. Das Institut zeigte zudem Chip-Entwicklungen für die Medizintechnik, die in den epiretinalen Systemen des Partners Pixium Vision bereits in klinischen Studien mit erblindeten Patienten im Einsatz sind.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Mobile mikroelektronikbasierte Schnelltests für Prostata- und Darmkrebs

Das IMMS verdeutlichte auf der Messe mit Live-Demos am Funktionsmuster das Nachweisprinzip für die quantitative Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik. Um Prostata- und Darmkrebs in einem sehr frühen Stadium feststellen zu können, entwickelt das IMMS Mikroelektronik, die im direkten Probenkontakt sehr geringe Antigen-Konzentrationen unterhalb von einem Nanogramm pro Milliliter misst. Ziel sind einfach zu handhabende Schnelltests vor Ort beim behandelnden Arzt, die die Genauigkeit von zeitaufwändigen Laboruntersuchungen an komplexen Geräten liefern, solche Ergebnisse jedoch schnell und kostengünstig bereitstellen wie ein Streifen-test. Der Stand der Arbeiten wird im Fachartikel zu INSPECT* dargestellt.

Zum *INSPECT-Fachartikel.*

Batterieloser RFID-Sensor-Chip funkt Messdaten aus wässrigen Lösungen

Mit einem weiteren auf der MEDICA vorgestellten Prototyp wurden in Live-Demos Temperaturwerte aus wässrigen Lösungen heraus mittels passiver RFID-Sensorik ohne eigene Stromversorgung gemessen und von einer RFID-Ausleseinheit verarbeitet. Diese RFID-Ausleseinheit erzeugt ein magnetisches Feld, das dazu ausreicht, den passiven RFID-Chip durch Behälter und Flüssigkeiten hindurch in Abständen von bis zu vier Zentimetern mit Strom zu versorgen sowie Messdaten zu erfassen und zu senden. Das zur MEDICA für Temperaturdaten vorgestellte Prinzip für batterie lose RFID-Sensorik wird derzeit am IMMS auf weitere Messgrößen übertragen und ist Thema des Fachartikels zu ADMONT.*

Zum *ADMONT-Fachartikel.*

IRIS®II – Bionisches System zur Behandlung von Blindheit: Mikroelektronik für ein Augenimplantat

In dem vom IMMS zur MEDICA präsentierten epiretinalen IRIS®II-System des Partners Pixium Vision steckt ein biokompatibler, implantierbarer Mikroelektronik-Chip, den das IMMS für diese Anwendung entwickelt hat. Dieser Chip ist Teil eines Augenimplantats, mit dem Menschen, die aufgrund von Netzhautdegeneration erblindet sind, aber einen intakten Sehnerv haben, teilweise neu sehen lernen. Dazu tragen sie eine Brille mit integrierter Kamera, die Bilder der Umgebung aufnimmt. Diese Bilddaten

Jahresbericht

© IMMS 2017



Nach 30 Jahren Blindheit kann der erste spanische Patient der klinischen Studie mit IRIS®II, dem bionischen System zur Behandlung von Blindheit, Objekte lokalisieren. Der Chip des IMMS steckt im Augenimplantat.

Foto:
Fundación IMO.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

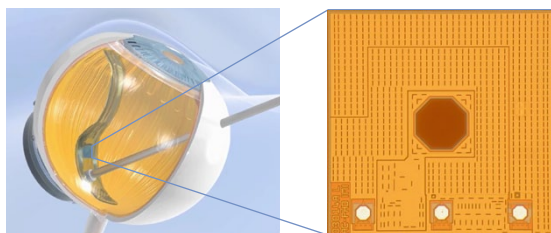
werden durch die Pupille zum Netzhautimplantat übertragen. Dort übersetzt der IMMS-Chip die optischen Informationen in einen elektronischen Datenstrom. Dieser wird an einen Retina-Stimulator weitergegeben, der den Sehnerv anregt und im Gehirn eine visuelle Wahrnehmung hervorruft.

Europaweit laufen klinische Studien zu IRIS®II, in denen Patienten mit diesem System innerhalb von Rehabilitationsprogrammen lernen, diese neue Wahrnehmung zu interpretieren. 2017 wurden die ersten Therapieerfolge in Spanien erzielt. Das IMMS zeigte zur MEDICA die Systeme, mit denen die Patienten ausgestattet werden, und Videobeispiele aus den klinischen Studien mit Erfahrungsberichten von Patienten.

*Details und
Videos zu IRIS®II:
www.imms.de.*

Herausforderung an die Mikroelektronik

„Solch ein Implantat ist ingenieurtechnisch eine große Herausforderung, nicht nur was die Miniaturisierung und die Funktionalität betrifft,“ sagte Khalid Ishaque, CEO von Pixium Vision, rückblickend auf 15 Jahre Forschung und Entwicklung. „Stellen Sie sich vor, Sie möchten unter Wasser einen Fernseher im Mittelmeer betreiben, das warm und sehr salzig ist und sich bewegt. Für ein Mikroelektronikimplantat im Auge sieht die Herausforderung ähnlich aus.“ Dieses elektronische Implantat muss flexibel gestaltet sein, so dass es bei einer Drehung des Augapfels weiterhin fehlerfrei funktioniert. Zudem muss die Elektronik energieeffizient arbeiten und innerhalb unkritischer thermischer Sicherheitsgrenzen. Im menschlichen Körper können auch nicht die für Schaltkreise notwendigen Gleichspannungen zur Energieversorgung verwendet werden. Daher musste ein Chip realisiert werden, der über Wechselspannung versorgt wird.



Augenimplantat des IRIS®II-Systems (links). Der Chip des IMMS (rechts) mit Fotodiode im Zentrum übersetzt die optischen Informationen in einen elektronischen Datenstrom. Dieser wird an einen Retina-Stimulator weitergegeben, der den Sehnerv anregt. Grafik (links): Pixium Vision. Chipfoto (rechts): IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

IMMS-Chip übersetzt Bilder in Signale für den noch intakten Sehnerv

Der am IMMS entwickelte Infrarot-Empfänger-Chip wird im Inneren des Augapfels eingesetzt und wandelt die über die optische Schnittstelle eintreffenden Informationen in ein Stromsignal, das an den Stimulator-Chip weitergegeben wird. Als wesentliche Elemente zur Umsetzung dieser Funktionalität hat das IMMS die Fotodiode, den Regelkreis zur Signaldetektion und den Ausgangstreiber realisiert und getestet. Für einen minimalen Energieverbrauch, geringste Wärmeentwicklung und ständige Betriebsbereitschaft hat das IMMS Schaltungskonzepte implementiert, mit denen eine Stromaufnahme von unter 120 μA erreicht wird.

> Inhalt

* Förderung

Mehr zu ASIC-

Entwicklungen:

www.imms.de.

Das IMMS hat die Energieversorgung des Chips im menschlichen Körper mit einer Wechselspannung realisiert. Diese wird im Gleichrichter des Chips zu einer internen Gleichspannung gewandelt, die ausschließlich im hermetisierten Schaltkreis verwendet wird. Da aus diesem Grund der Versorgungsstrom nicht mit Standardmesstechnik analysierbar ist, hat das IMMS eine speziell angepasste Messmethode entwickelt. Dabei wird der Wert des Versorgungsstroms mit Hilfe eines induktiven Stromfühlers ermittelt.

Details und

Videos zu IRIS®II:

www.imms.de.

Einschätzung von Pixium Vision zum IMMS-Chip und Ausblick

„Das IMMS hat einen unverzichtbaren Beitrag zu unserem Ziel beigetragen, Menschen zu einer partiellen Wahrnehmung zu verhelfen, die ihr Augenlicht durch Retinitis Pigmentosa verloren haben. Der vom IMMS entwickelte Chip ist der entscheidende Teil der Verbindung zwischen der realen Welt über Augen und Sehnerv zum Gehirn des Patienten,“ so die Einschätzung von Khalid Ishaque. „Für ihn geht die harte Arbeit nach der Operation erst richtig los – das Gehirn muss neu trainiert werden.“ Dazu kooperiert Pixium Vision weltweit mit Experten vieler Disziplinen, unter anderem aus Neurowissenschaften, Physik, Optik und Mathematik, Mikro- und Augenchirurgie sowie Experten für Sehschwäche. „Dieses effiziente Netzwerk aus global agierenden Partnern ist entscheidend für den Erfolg auf unserer Reise, die vor nicht allzu langer Zeit für unmöglich gehalten wurde.“

Jahresbericht

© IMMS 2017



INSPECT -

Krebsfrüherkennung mit Mikroelektronik. Vorarbeiten für die Immobilisierung von Biomarkern.

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

Motivation und Überblick

Ziel sind quantitative Schnelltests für frühzeitige und genaue Krebsdiagnosen

Für einige Krebsarten können Schnelltests direkt durch den behandelnden Arzt vorgenommen werden und damit zeit- wie kostenaufwändige Laboruntersuchungen vermeiden. Übliche Schnelltests arbeiten qualitativ und liefern als Befund lediglich Ja-Nein-Aussagen in Form einer vorhandenen oder nichtvorhandenen farbigen Linie auf einem Teststreifen. Perspektivisch soll es mit Mikroelektronik-basierten Schnelltests für Ärzte möglich werden, mit einem geringen, für Streifentests vergleichbaren Aufwand solche Messwerte zu erhalten, die sich bislang nur mit großen und komplexen Laborgeräten für eingeschickte Proben erfassen lassen.

Um Prostata- und Darmkrebs in einem sehr frühen Stadium feststellen zu können, soll Mikroelektronik im direkten Probenkontakt sehr geringe Antigen-Konzentrationen von etwa einem Nanogramm pro Milliliter messen können. Insbesondere für Prostatakrebs können solche quantitativen Methoden die Vor-Ort-Diagnostik erheblich verbessern. Das prostataspezifische Antigen (PSA) kann Hinweise auf Krebs liefern, wird jedoch stets vom Körper produziert. Die PSA-Konzentration im Blut steigt mit zunehmendem Alter von 2,5ng/ml (Nanogramm, also Milliardstel Gramm, pro Milliliter)

*Infos und Video
zu INSPECT auf
www.imms.de.*

auf etwa 6,5ng/ml, kann jedoch auch unabhängig vom Alter variieren und Entzündungen, mechanische Reizungen oder Krebs als Ursache haben. Kann man also in regelmäßigen Abständen die individuelle PSA-Konzentration eines Patienten messen, ist eine zuverlässige Frühdiagnose und damit eine frühzeitige Therapie möglich.

Mehrstufige Voruntersuchungen mit Mikroelektronik und mobilem Testsystem

Stufe 1: Erkennung bekannter Teilchenkonzentrationen in Probenlösungen

Das IMMS hat mit dem Partner Senova im Projekt INSPECT ein Funktionsmuster für ein mobiles Mikroelektronik-basiertes Testsystem zur Früherkennung von Prostata- und Darmkrebs entwickelt. Es dient unter anderem dazu, nachweisrelevante Parameter zur Krebsfrüherkennung zu untersuchen und genaue Informationen zu Lichtintensitäten und zu Teilchenkonzentrationen in Proben zu erhalten. Der Kern dieses Funktionsmusters für Voruntersuchungen ist ein bereits vorliegender Mikroelektronik-Chip, den das IMMS für den Nachweis von Infektionskrankheiten entwickelt hatte. Mit diesem Chip wurde zunächst die technische Machbarkeit der Zielvorgaben für die Krebsdiagnostik grundsätzlich bewertet und dazu unter anderem gezeigt, dass die integrierten Photodioden die durch enzymatische Reaktionen hervorgerufenen Helligkeitsunterschiede in Probenlösungen mit bekannten Teilchenkonzentrationen wie erwartet abbilden.

Stufe 2: Erkennung von Goldpartikel-Markern und Bestimmung der Detektionsgrenze

Auf der Grundlage des Know-hows von Senova für immunologische Assays zur Diagnostik von Krebserkrankungen und biochemische Funktionalisierung haben die Partner mithilfe des oben genannten Funktionsmusters durch opto-elektronische Messungen Goldnanopartikel in geringsten Mengen nachgewiesen. Solche Partikel werden in der Diagnostik verbreitet eingesetzt, um Biomarker sichtbar und damit für optische Messungen detektierbar zu machen. Die mit dem Funktionsmuster nachgewiesenen Goldpartikel-Konzentrationen mit einer minimal messbaren optischen Dichte von 0,009 Bel wurden mit Untersuchungen von Proben mit gleichen Konzentrationen mithilfe eines für Laboruntersuchungen üblichen Spektrophotometers verglichen.

Das IMMS legt auf der Basis dieser und anderer Untersuchungen die Mikroelektronik als anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) speziell für die Krebsdiagnostik aus. Dabei stehen die Signalverarbeitung insbesondere bei extrem geringen Signalunterschieden sowie eine effiziente Rauschunterdrückung im Fokus.

A) Immobilisierung der primären

B) Anreicherung des **Analyten** aus einer Probe

C) Markierung des Analyten durch einen mit **Goldnanopartikeln** markierten sekundären Antikörper

D) Messung des **Signals**

Antikörper

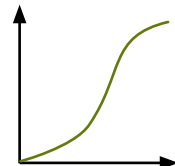


Abbildung 1: Grundprinzip für den quantitativen Nachweis des Analyten (PSA bzw. Hämoglobin)

Grafik: Senova/IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

Lösung im Detail

Mikroelektronik-basiertes System soll genau messen und einfach wie ein Teststreifen funktionieren

Goldpartikel machen Antikörper-Antigen-Komplexe sichtbar

Biotechnologisch ist das angestrebte mikroelektronische Testsystem vergleichbar mit dem Prinzip von Teststreifen: Mit einer Antikörper-Antigen-Wechselwirkung sollen gezielt Analyten in einer Probe nachgewiesen werden, bei Prostatakrebs das prostataspezifische Antigen (PSA) und bei Darmkrebs Hämoglobin. Dazu werden durch biochemische Funktionalisierung die entsprechenden primären Antikörper auf der Oberfläche eines Mikroelektronik-Chips aufrecht fixiert (vgl. Abbildung 1(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 markierte sekundäre Antikörper hinzugegeben werden, die an den Analyten der Antikörper-Antigen-Komplexe andocken (C). Solche Marker sind zum Beispiel Goldnanopartikel, die Licht absorbieren und so die Probenlösung eintrüben. Die getrübte Lösung mit sekundären Antikörpern, die nicht an die Oberfläche gebunden sind, wird mit einer Waschlösung weggespült. Die von den primären Antikörpern festgehaltenen und mit Goldnanopartikeln markierten sekundären Antikörper verändern die optische Dichte, die mit dem ASIC detektiert und ausgewertet wird (D).

Chip zur Messung von Helligkeitsunterschieden, die ein Nanogramm Antigen pro Milliliter verursacht

Hierfür wird zuerst die Lichtintensität vor der Reaktion gemessen und danach, wie stark das Licht durch die Marker gedämpft wird. Das logarithmische Verhältnis aus den beiden Messwerten beschreibt damit die Veränderung der optischen Dichte (OD) in Bel. Um Krebs in einem sehr frühen Stadium feststellen zu können, muss die Mik-

> Inhalt

* Förderung

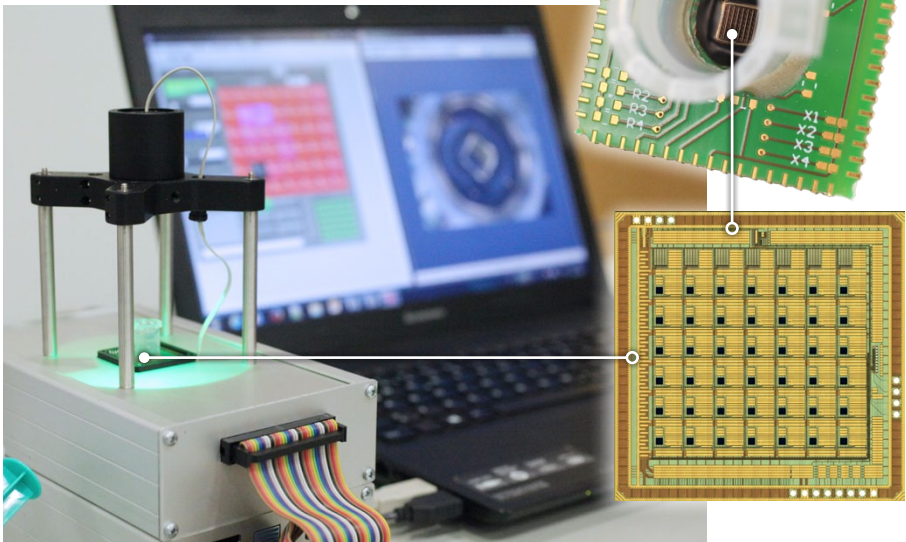
roelektronik sehr geringe Antigen-Konzentrationen von etwa einem Nanogramm pro Milliliter erkennen können, die sehr schwache relative Lichtintensitätsunterschiede in Größenordnungen von 0,01 Bel bis 1 Bel verursachen.

Forschungs-Chip erkannte geringere Mengen immobilisierter Goldnanopartikel als gefordert

Um das oben beschriebene Prinzip der Immobilisierung sowie Trübung direkt auf der Sensoroberfläche nachzubilden, wurden zunächst Versuche mit Goldnanopartikeln und ohne Antikörper-Antigen-Komplexe mit dem bereits vorliegenden ASIC durchgeführt. Der 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. 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.

Es wurden fünf Aufbauten (vgl. Abb. 2, rechts oben) mit je einem der Forschungs-Chips untersucht. Auf diese ASICs wurde je eine Lösung von 100 Mikroliter (μl) mit einer definierten Menge an Goldnanopartikeln mit

Messaufbau (links) mit Flüssigkeitsreservoir (rechts oben) und ASIC (rechts unten) mit einer Matrix aus 6 x 7 Photodioden für die Voruntersuchungen mit Goldnanopartikeln. Fotos: IMMS.



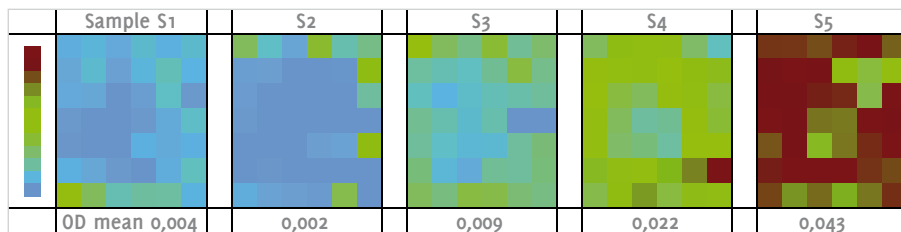


Abbildung 3: Messergebnisse für die Lösungen S1 bis S5 mit Goldnanopartikeln, die nach dem Trocknungsprozess mit fünf ASICs mit der jeweiligen Matrix aus 6 x 7 Photodioden erfasst wurden: mit Blau sind geringste, mit Grün mittlere und mit Rot die höchsten Werte für die optische Dichte (OD, Werte in Bel) gekennzeichnet, die Werte OD mean sind die Durchschnittswerte pro ASIC für die optische Dichte. Grafik: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Durchmessern von 60 Nanometer gegeben und bei 37°C und maximal sieben Prozent Luftfeuchte getrocknet. Die Partikelanzahl verdoppelt sich jeweils von Lösung zu Lösung. Das bestätigten die berührungsfreien optischen Vergleichsmessungen mit einem kommerziellen, für Bioanalytik-Labore typischen Spektrophotometer für fünf Flüssigkeiten mit den definierten Mengen für Goldnanopartikel.

Die in Abbildung 3 dargestellten Messergebnisse der fünf Forschungs-Chips mit direktem Probenkontakt zeigen zum einen steigende Werte für die optische Dichte bei steigenden Konzentrationen von Goldnanopartikeln: mit Blau sind geringste, mit Grün mittlere und mit Rot die höchsten Werte für die optische Dichte gekennzeichnet. Das Raster gibt jeweils die Anordnung der 6 x 7 Photodioden auf dem Chip wieder. Die Verteilung der Messwerte über diese Raster legt zum anderen nahe, dass sich in jeder Probe die Goldnanopartikel durch den Trocknungsprozess mehr oder weniger ungleichmäßig auf der Sensoroberfläche verteilt haben können, da in diesem Versuchsschritt zunächst noch keine fixierten Antikörper eingesetzt wurden, die die Goldpartikel auf der Chip-Oberfläche festhalten konnten. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass sich beim Trocknen Partikel an für die Dioden unsichtbaren Stellen gesammelt haben, wie zum Beispiel am Rand des Flüssigkeitsreservoirs.

Die Messungen mit den fünf Forschungs-Chips zeigen, dass sich auch hier die Partikelanzahl von Lösung zu Lösung verdoppelt. Signifikante relative Unterschiede konnten zwischen den aus den Lösungen 3, 4 und 5 getrockneten und auf den Mikroelektronik-Chips anhaftenden Partikelmengen nachgewiesen werden, da hier verdoppelte Teilchenkonzentrationen in den Lösungen mit Verdopplungen der durchschnittlichen, von Aufbau 3, 4 und 5 gemessenen optischen Dichte einhergehen, vgl. Abbildung 3 (unten). Für Lösung bzw. Aufbau 1 und 2 ist aufgrund der sehr geringen optischen

Dichten keine zuverlässige Aussage möglich, da aufgrund der ungleichmäßigen Partikelverteilung die meisten Messwerte zur Rauschpegelgrenze tendierten.

In diesem Versuch wurde somit ein Detektionslimit von OD 0,009 Bel nachgewiesen, vgl. Abbildung 3 (unten, S3). Damit wurde der geforderte Minimalwert für relative Lichtintensitätsunterschiede von 0,01 Bel erreicht.

Zusammenfassung und Ausblick

Die beschriebenen Untersuchungen mit bekannten Mengen getrockneter Goldnanopartikel in fünf Elektronik-Aufbauten weisen darauf hin, dass die verwendete Mikroelektronik prinzipiell für optische Messungen mit immobilisierten und markierten Antikörper-Antigen-Komplexen geeignet ist. Die Elektronik liefert Messwerte im angestrebten Zielbereich für die zu erfassende optische Dichte. Ein quantitativer Vergleich der bislang mit Forschungs-Chips und Spektrophotometer ermittelten optischen Dichten ist aufgrund der unterschiedlichen Messverfahren und der o.g. Ungleichmäßigkeiten beim Trocknungsprozess Gegenstand daran anknüpfender Analysen. Darüber hinaus wurden bei Senova weiterführende Tests mit biochemisch funktionalisierten Chipoberflächen und Bioproben mithilfe des vorhandenen Chips durchgeführt.

Auf dieser Basis wurde 2017 am IMMS ein ASIC spezifiziert, der kleiner, genauer, rauschärmer, speziell auf die Anwendung ausgerichtet und darüber hinaus kostengünstiger werden soll. Im Gegensatz zum bereits vorhandenen Forschungs-Chip wird der INSPECT-ASIC einen Digitalteil zur Vorverarbeitung der analog erfassten Werte beinhalten. Damit wird die nachfolgende Signalverarbeitung und standardisierte Anbindung zu Informationsverarbeitungssystemen vereinfacht. Die digitalisierten Messsignale sind darüber hinaus robuster gegen äußere Störeinflüsse.

Kontakt: Alexander Hofmann, M.Sc., alexander.hofmann@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.

ADMONT –

Batterieloser RFID-Sensor-Chip funk Messdaten aus wässrigen Lösungen



Mit dem am IMMS entwickelten batterielosen RFID-Temperatursensor-Chip können Messwerte aus wässrigen Lösungen an NFC-fähige Geräte wie Smartphones gefunkt werden, z.B. zum Monitoring von Zellkulturen. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick:

Zustandsüberwachung von Zellkulturen, Mikroben und Viren

Das Wachstum von Zellkulturen, Viren und Mikroben, wie z.B. Bakterien oder Pilzen, hängt neben den Nährstoffen vom pH-Wert des Mediums, der Luftfeuchte und von der Temperatur ab. Die Qualität von Probenkultivierungen und Untersuchungen im Labor steht und fällt damit, Bedingungen und speziell Temperaturen während der Versuche konstant zu halten. Das ist jedoch nicht immer möglich.

Unter welchen Bedingungen untersucht man Zellkulturen, Mikroben und Viren?

Mit Zellkulturen werden nicht nur molekulare und zelluläre Prozesse grundlegend erforscht und Diagnoseverfahren entwickelt. Für neue Arzneimittel werden beispielsweise Stoffwechselprozesse beim Mikробenwachstum und die Wirkung, z.B. von Antibiotika, untersucht. Darüber hinaus können mit humanen Zellkulturen Nebenwirkungen neuer Substanzen, z.B. für die Kosmetik oder Haushaltchemie, analysiert und damit Tierversuche drastisch eingeschränkt werden. Für eine Zellkultur werden aus dem Gewebeverband entnommene Zellen außerhalb des Organismus, in vitro, unter sterilen und standardisierten kontinuierlichen Bedingungen gezüchtet und den Tests

unterzogen. Um beispielsweise Säugetierzellen zu kultivieren und zu testen, benötigt man einen pH-Wert von 7,2 bis 7,4, eine Luftfeuchte von 96% bis 98% und eine konstante Temperatur von 37°C bis 37,5°C. Je nach Organismus müssen Zellen von Bodenorganismen bei 21°C bis 28°C oder von meeresbewohnenden Organismen bei 4°C bis 10°C gezüchtet werden. Ähnliche Bedingungen sind bei der Untersuchung von kultivierten Proben mit Mikroben und Viren einzuhalten.

Biotechnologieranwendungen erfordern beispielsweise Untersuchungen thermophiler Bakterien bei Temperaturen bis über 100°C, z.B. um aus ihnen thermostabile Enzyme für Waschmittelzusätze zu gewinnen. Auch hier gilt es, genaue Temperaturgrenzwerte während der gesamten Kultivierung und Untersuchung streng einzuhalten.

> *fast realtime*> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

Schwankende Bedingungen für Proben im Brutschrank können durch Sensorik überwacht werden

Für die Probenkultivierung verwendete Brutschränke lassen sich bis +100 °C exakt regeln und erzeugen dank Luftzirkulierung oder Wasserummantelung gleichbleibende Temperaturen. Das gilt allerdings nur, wenn Brutschränke nicht oder nur selten geöffnet werden. Für Versuchsreihen werden jedoch häufig Substanzen, wie z.B. neue Medikamente, in die Proben eingebracht, was Temperaturschwankungen in der Probe nach sich ziehen und je nach Kultur Testergebnisse erheblich verfälschen kann.

Einen Ausweg bieten zusätzliche Messungen, mit denen kritische Parameter, wie z.B. die Temperatur, direkt in den Proben detektiert werden und so die Versuchsreihen einem permanenten Qualitätsmonitoring unterzogen werden können. Dazu ist eine Sensorik notwendig, die diese Werte ohne Querkontamination und ohne Zeitverzug im Zielbereich genau genug erheben kann, flexibel und einfach zu handhaben ist und sich einfach mit bestehender Laborausrüstung nutzen lässt.

Batterieloser RFID-Sensor-Chip des IMMS funkt Temperaturwerte aus wässrigen Lösungen

Das IMMS hat einen passiven RFID-Mikroelektronik-Chip ohne eigene Stromversorgung entwickelt. Dieser wird in wässrige Lösungen gegeben und misst dort Temperaturwerte, die von einer RFID-Ausleseeinheit erfasst und verarbeitet werden. Mit dem am IMMS entwickelten energieeffizienten Chip werden Messgrößen mit einer elektrischen Leistung von nur 3,5 Mikrowatt erfasst und digitalisiert. Damit könnte ein entsprechender Sensor aus einer Mignon-Batterie zelle mit einer typischen Kapazität von 1000 mAh mehr als zehn Jahre lang kontinuierlich betrieben werden. Eine

*Mehr zu ASIC-**Entwicklungen:**www.imms.de.*

Jahresbericht

© IMMS 2017

Batterie ist dank dieser geringen Leistungsaufnahme jedoch überflüssig: Die RFID-Ausleseinheit erzeugt ein magnetisches Feld, das dazu ausreicht, den passiven RFID-Chip durch Behälter und Flüssigkeiten hindurch in Abständen von bis zu vier Zentimetern mit Strom zu versorgen sowie Messdaten zu erfassen und zu senden.

Der RFID-Chip vereint hohe Genauigkeit, Energie- und Kosteneffizienz. Der neue digitale RFID-gekoppelte Temperatursensor kann in einem großen Bereich von 0°C bis 125°C mit einer systematischen absoluten Genauigkeit von $\pm 0,4^\circ\text{C}$ messen. Das IMMS hat für minimale Kosten unter anderem etablierte CMOS-Technologien genutzt und eine Einzelchip-Lösung mit integriertem Sensor und mit eingebetteter elektronischer Signalverarbeitung entwickelt. An diesen Chip muss daher bis auf die RFID-Antenne keine weitere Komponente angeschlossen werden. Ein direkter Kontakt mit Probenkulturen ist durch biokompatible Materialien sichergestellt.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

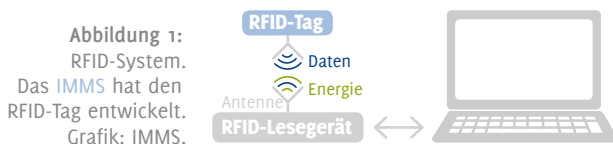
> Inhalt

* Förderung

Das für Temperaturmessungen realisierte Prinzip für batterielose RFID-Sensorik wird derzeit am IMMS auf weitere Messgrößen übertragen. Damit werden sich u.a. weitere Parameter für Tests mit Zellkulturen, Mikroben und Viren überwachen lassen, wie z.B. pH-Wert, Luftfeuchte und gelöster Sauerstoff. Darüber hinaus ist die Entwicklung die Basis für vielfältige Anwendungsentwicklungen über die Bioanalytik hinaus. Beispielsweise ließen sich mit passiver RFID-Sensorik Messdaten für industrielle Fertigungsprozesse erfassen, u.a. für das Monitoring von Kühlschmierstoffen. Darüber hinaus können NFC-fähige Endgeräte als Stromversorgungs- und Ausleseinheit genutzt werden. Daher wird derzeit eine Demonstrator-App für den Einsatz des RFID-Chips mit Android-basierten Smartphones erarbeitet.

Mehr zu ASIC-
Entwicklungen:
www.imms.de

Lösung im Detail



RFID-Sensoren

können nicht nur identifizieren, sondern auch Daten erfassen und senden

Dank RFID (Radio Frequency Identification) können elektronische Systeme Objekte automatisch und berührungslos identifizieren und Metadaten dieser Objekte aufzeichnen. Der RFID-Tag enthält einen kleinen Mikrochip, der mit einer Antenne verbunden ist, und wird zur Identifikation an einem Objekt angebracht. Das RFID-Lesegerät kommuniziert mit dem RFID-Tag über magnetische bzw. elektromagnetische Felder. Das Prinzip eines RFID-Systems ist in Abbildung 1 dargestellt.

RFID wird nicht nur zur Identifikation eines Objekts verwendet, sondern kann auch zum Lesen und Schreiben von Informationen auf das Funketikett mit Hilfe der RFID-Lesegeräte verwendet werden. Diese spezifische Charakteristik gilt als größter Vorteil gegenüber herkömmlichen Barcodes, bei denen die Daten nach dem Druck nicht mehr verändert werden können. Noch mehr Funktionalität bieten Sensor-fähige RFID-Tags. Diese Sensor-Tags enthalten neben der Identifikations-, Lese- und Schreibfunktion Sensoren, mit denen sich gleichzeitig physikalische Parameter, wie z.B. die Temperatur, überwachen lassen.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Passive RFID-Sensoren messen ohne Batterien, eine NFC-Kommunikation soll breite Anwendungen erschließen

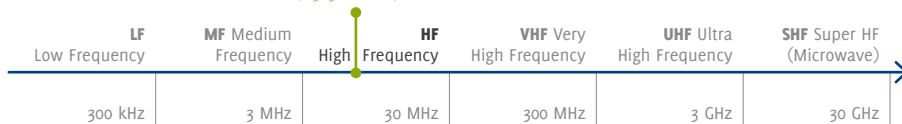
In der RFID-Technologie gibt es mehrere Frequenzbereiche, von Niederfrequenz über Hoch- und Ultrahochfrequenz bis Mikrowellen, wie in Abbildung 2 dargestellt. Für das in ADMONT verfolgte Szenario und die Übertragbarkeit auf Industrieanwendungen konzentriert sich das IMMS auf die Entwicklung von RFID-Temperatursensor-Tags im Hochfrequenz (HF)-Bereich bei 13,56 MHz, weil dort die Sensordaten per Smartphone und andere NFC-fähige Geräte ausgelesen und angezeigt werden können.

Im Gegensatz zu aktiven erfolgt bei passiven RFID-Tags im HF-Bereich die Stromversorgung nicht über Batterien, sondern über ein vom Lesegerät erzeugtes Magnetfeld. Dieses Feld induziert in der Antenne des Tags einen Strom, der zur Versorgung genutzt wird, sobald das Tag in der Energiezone des Lesegeräts liegt. Diese Energie muss genügen, um die geforderte Kommunikationsreichweite zwischen Lesegerät und Tag zu gewährleisten.

Da der Datenaustausch zwischen Lesegerät und RFID-Tag über das gleiche Feld erfolgt, kann dies gerade bei passiven Tags mit HF-Kommunikation ungewollte Störsignale, sogenanntes Rauschen, auf der Versorgungsspannung des RFID-Tags erzeugen. Dieses Rauschen kann die Genauigkeit eines integrierten Sensors erheblich beeinträchtigen. Diese Herausforderung war bei der Entwicklung des neuen RFID-Sensor-Tags zu lösen.

Abbildung 2:
RFID-Frequenzen und -Typen. Grafik: IMMS.

NFC Near Field Communication (13,56 MHz)



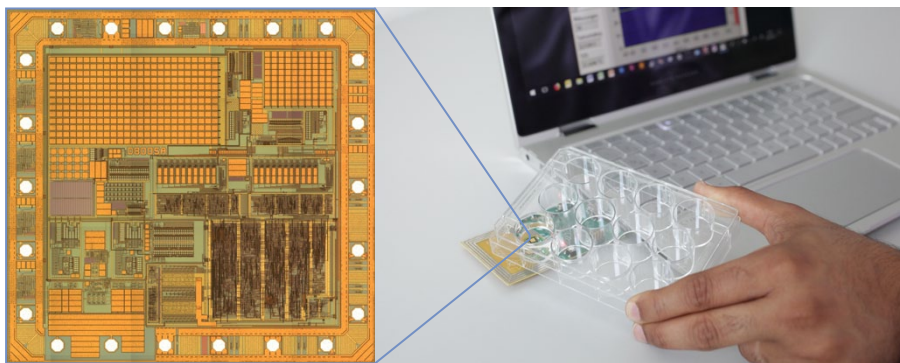


Abbildung 3: Passiver HF-RFID-Tag mit integriertem Temperatursensor (links: Chip-Foto, rechts RFID-Tag mit vergossenem Chip auf der RFID-Antennenspule bei Messungen in einer Flüssigkeit).

Fotos: IMMS.

Was ist neu? Passive HF-RFID mit integriertem Temperatursensor

Kommerzielle RFID-Sensoren werden heute aus einzelnen Komponenten aufgebaut: So ist ein Sensorelement, z.B. die für Temperatur, über eine Ausleseelektronik und einen Mikrocontroller an einen RFID-Transponder-Chip angeschlossen. Mit dem am IMMS entwickelten integrierten passiven HF-RFID-Temperatursensor sind all diese Funktionen auf einem Chip vereint. Dadurch lässt sich das Gesamtsystem energetisch optimieren sowie kosteneffizient herstellen und ist für energieautarke, drahtlose Sensorknoten mit kleinstem Bauraum für Life-Science- und andere Anwendungen geeignet. Abbildung 3 zeigt den kompletten passiven HF-RFID-Transponder für die Temperaturmessung in Flüssigkeiten.

Was ist die Herausforderung?

Eine große Herausforderung besteht darin, RFID-Transponder und Temperatursensor auf einem einzigen Chip zu integrieren und dabei in Arbeitsbereiche und Genauigkeiten kommerziell verfügbarer Einzelsensoren vorzudringen. Die meisten RFID-Transponder-ICs mit integriertem Temperatursensor haben eine geringere Genauigkeit als eigenständige Temperatursensoren. Die Genauigkeit der Einzel-Temperatursensoren liegt bei $\pm 0,15^\circ\text{C}$ und der Messbereich bei -55°C bis 125°C . HF-RFID-Lösungen nach dem derzeitigen Stand der Technik, die über integrierte Temperatursensoren verfügen, können nur sehr schmale Temperaturkorridore von ca. $50 - 60^\circ\text{C}$ abbilden und erreichen dabei eine Genauigkeit von $\pm 0,8^\circ\text{C}$. Diese großen Unterschiede zwischen diskreter und integrierter RFID-Sensorik sind vor allem auf das durch die Stromversorgung verursachte Rauschen zurückzuführen. Bei passiven RFID-Systemen werden die Versorgungsspannungen aus der vom HF-Feld entnommenen Energie generiert. Das dabei erzeugte Rauschen kann die Genauigkeit des Sensors erheblich beein-

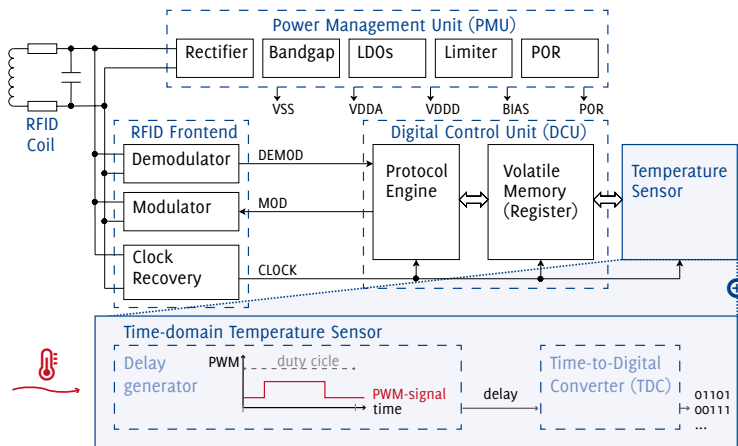


Abbildung 4:

Blockschaltbild des entwickelten passiven HF-RFID-Sensor-Tags.

Grafik: IMMS.

trächtigen. Einzel-Temperatursensoren werden rauschfrei mit Strom versorgt und sind daher nur während der Kommunikation Interferenzen ausgesetzt. Aus diesem Grund besteht für eine integrierte Lösung eine große Herausforderung darin, das passive RFID-Funksensor-System so zu optimieren, dass Signale rauscharm und energieeffizient aufgenommen und übertragen werden.

Chip-Architektur

Abbildung 4 zeigt das Blockschaltbild des RFID-Chips mit Power-Management-Einheit (PMU), RFID-Frontend, Temperatursensor und digitaler Steuereinheit (DCU). Die PMU nimmt die Energie aus dem vom RFID-Lesegerät erzeugten HF-Feld auf und konvertiert sie in eine stabile regulierte Versorgungsspannung für den gesamten RFID-Sensor-Tag.

Das RFID-Frontend enthält neben der Taktrückgewinnung für die zeitlich genaue Ausrichtung der Datenströme einen Demodulator und einen Modulator, die die Nutzsignale in die jeweils notwendigen Frequenzbereiche umsetzen bzw. zurückwandeln: Der Demodulator konvertiert das modulierte HF-Signal in einen digitalen Bitstream, während der Modulator die Antwort auf das Trägerfrequenzsignal umsetzt.

Die digitale Steuereinheit führt den empfangenen RFID-Befehl aus und sendet die Antwort an den Modulator-Block zur Übertragung an das Lesegerät. Der digitale Block besteht aus einer Kommunikationsprotokoll-Engine und einem flüchtigen Speicher. Der Temperatursensor ist mit dem flüchtigen Speicher verbunden, der über RFID-Befehle beschrieben und ausgelesen werden kann.

Abbildung 4 zeigt außerdem das Blockschaltbild des Time-Domain-basierten Low-Power-Temperatursensors, der aus einem Verzögerungsgenerator und einem Zeit-Digital-Wandler (Time to Digital Converter, TDC) zusammengesetzt ist. Dieser Verzö-

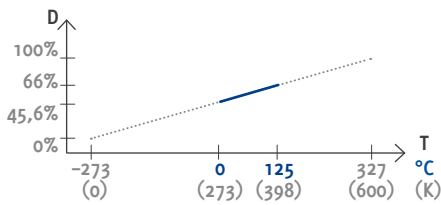


Abbildung 5:

Proportionaler Zusammenhang von Tastverhältnis D und gemessener Temperatur T in °C (bzw. Kelvin) für den für die PWM-Signale maximal verarbeitbaren Temperaturbereich von 0 – 600 K.

Grafik: IMMS.

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

gerungsgenerator erzeugt ein temperaturabhängiges pulswertenmoduliertes (PWM-) Signal, das heißt unterschiedlich lange High- und Low-Pulse. Die Verhältnisse der Pulslängen (Duty Cycle) ist direkt proportional zur gemessenen Temperatur, wie in der Abbildung 5 dargestellt. Der TDC wandelt diesen Duty Cycle in einen binärcodierten digitalen Wert.

Problem: Das Rauschen wird beim Auslesen des RFID-Tags stärker und verfälscht die Messwerte

Die Versorgungsspannung des RFID-Sensor-Tags wird in mehreren Stufen aufbereitet. Zuerst sorgt ein Gleichrichter (Rectifier) dafür, dass die durch das Magnetfeld induzierte Wechselspannung in eine Gleichspannung gewandelt wird. Die Höhe der Ausgangsspannung des Gleichrichters variiert stark in Abhängigkeit von der relativen Lage des RFID-Sensor-Tags zur Leseinheit. Der nachgeschaltete Low-Dropout-Regler (LDO) erzeugt die Versorgungsspannung des RFID-Sensor-Tags, indem er die Ausgangsspannung des Gleichrichters auf einen festen Wert regelt. Dennoch kann ein LDO die schnellen durch die RFID-Kommunikation resultierenden Spannungsvariatio-

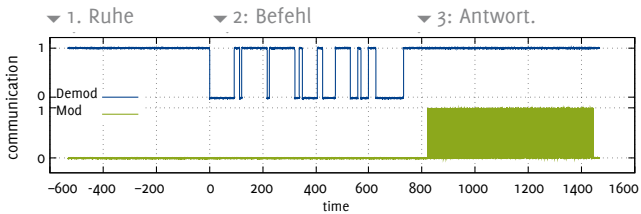
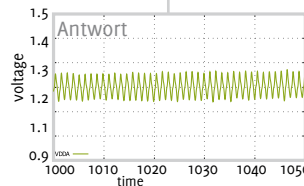
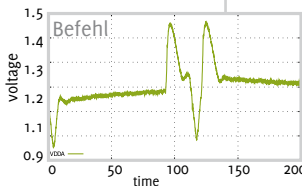
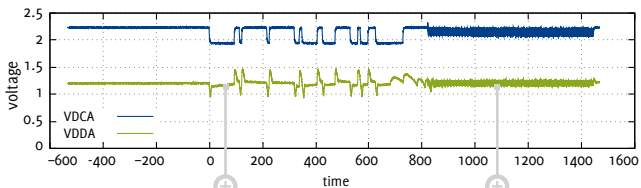


Abbildung 6:

Kommunikations- und Power-Management-Spannungen V_{DCA} und V_{DDA} im Chip. Die Signale werden in drei Bereichen angezeigt:

1. Ruhe,
2. Befehl,
3. Antwort.



Grafiken: IMMS.

nen im Frequenzband zwischen 100 kHz und 1 MHz nicht ausreichend ausregeln. Die Versorgungsspannung des Temperatursensors kann daher während der HF-Kommunikation eine hohe Restwelligkeit aufweisen, die den Temperatursensor stark stört.

Abbildung 6 zeigt Simulationsergebnisse für die demodulierten Kommunikationssignale und die Versorgungsspannung auf dem Chip. Es ist zu erkennen, dass sich das RFID-Tag, bevor die Kommunikation startet, in der Ruhephase (1) befindet: Die Ausgangsspannung des Gleichrichters V_{DCA} und die regulierte Ausgangsspannung des LDO V_{DDA} haben eine minimale Restwelligkeit von ca. 25 mV (Peak-to-Peak). Werden Befehle vom RFID-Reader zum -Tag übertragen (2), erzeugt dies Interferenzen auf V_{DCA} und V_{DDA} mit Peak-to-Peak-Amplituden von 300 mV und 540 mV, die im unteren linken Diagramm von Abbildung 6 zu sehen sind. Auch während der Antwortphase vom RFID-Tag zum -Reader (3) sind Interferenzen mit Peak-to-Peak-Amplituden von 150 mV und 120 mV zu sehen, siehe Abbildung 6 unten rechts.

Diese großen Interferenzen auf der Ausgangsspannung des LDOs sind auf den HF-Kommunikations- und Energietransferprozess in passiven RFID-Tags zurückzuführen. Daher wird die Messung des Temperatursensors immer genau dann stark verfälscht, wenn das Lesegerät einen Befehl zum Auslesen der Temperaturdaten sendet.

Lösung: Seriell Messwerte aufnehmen und nur die verwenden, die nicht durch Kommunikation gestört wurden

Das IMMS hat daher eine Lösung entwickelt, bei der durch einen einzelnen Befehl mehrere Messwerte seriell aufgenommen und übertragen werden können. Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Zusammenhang von Auslesebefehl (command), Rauschen auf der Versorgungsspannung (vdda), Sensorausgang (pwm, dataready) und Antwort (response).

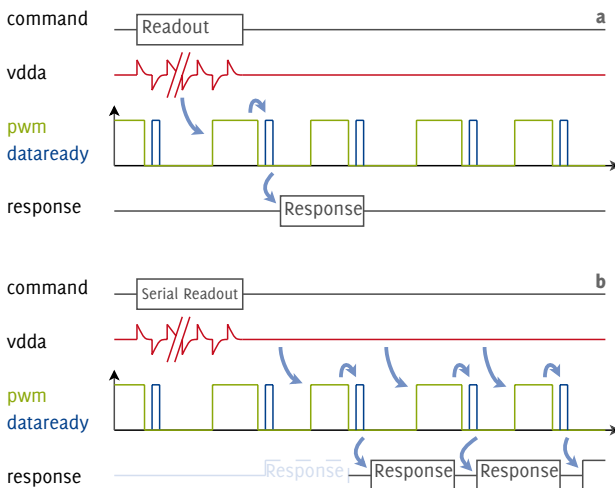


Abbildung 7:

Zeitlicher Ablauf von

(a) einmaligem Auslesen beim Standardverfahren und

(b) seriellem Auslesen.

Grafiken: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

des RFID-Sensor-Tags (response) für zwei Fälle: Standard-Auslesen und serielles Auslesen. Beim Standard-Lesebefehl werden die Temperatursensordaten einmalig an das Lesegerät zurückgesendet, wogegen beim seriellen Auslesen mehrere Sätze von Temperatursensordaten an das Lesegerät zurückgesendet werden. In beiden Fällen wurde der Temperatursensor bereits vor dem Auslesebefehl eingeschaltet, was durch die Aktivität des grün dargestellten Signals „pwm“ verdeutlicht wird. Immer wenn die Messung abgeschlossen und ein neuer Messwert für die Übertragung zur Verfügung steht, wird dies mit dem Signal „dataready“ angezeigt.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Abbildung 7 (a) zeigt, wie die Übertragung des Standard-Auslesekommando den anschließend zu übermittelnden Messwert stört: Durch das erzeugte Rauschen auf der Versorgungsspannung „vdda“ innerhalb des Messintervalls kommt es zu einem Fehler bei der steigenden Flanke von „pwm“, der das Tastverhältnis verfälscht. Die Antwort des RFID-Temperatursensors ist beim einmaligen Auslesen mittels Standardverfahren daher immer von Interferenzen betroffen.

Abbildung 7 (b) stellt die Antwort auf einen serielles Auslesekommando dar, bei dem mehrere Datensätze des Temperatursensors seriell an das Lesegerät gesendet werden. Es ist zu erkennen, dass die Sensordaten nach der zweiten Antwort nicht durch die Versorgungsinterferenz aufgrund des Auslesebefehls beeinflusst werden, da keine HF-Kommunikation vom Lesegerät stattfindet. Jedoch kommt es bereits ab der zweiten Antwort zu Fehlern durch Versorgungsrauschen, das durch die Kommunikation des Tags während des Antwortens erzeugt wird. Dieses Rauschen hat jedoch wesentlich geringeren Einfluss auf die Messung. Weiterhin kann der RFID-Reader diese verbleibende Ungenauigkeit durch eine nachfolgende Mittelung der seriell übertragenen Werte soweit verringern, dass dieser Effekt die Messgenauigkeit des Gesamtsystems nicht dominiert.

Messung, Charakterisierung und Kalibrierung

Der Vergleich der Messergebnisse ist in Tabelle 1 dargestellt. Er zeigt, dass der Funksensor beim einmaligen Auslesen eine Auflösung von $9,01^{\circ}\text{C}$ erreicht, für die serielle liegt sie dagegen bei $0,56^{\circ}\text{C}$. Das bestätigt, dass Versorgungsstörungen durch Standard-Auslesekommandos die Hauptfehlerquelle für die Sensorauflösung sind. Die serielle Kommunikation verbessert die Genauigkeit um den Faktor 16. Eine vollständige Messung des integrierten RFID-Temperatursensors wurde in einer Temperatorkammer mit neun Samples des Chips durchgeführt. Nach einer Zweipunktkalibrie-

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

Jahresbericht

© IMMS 2017

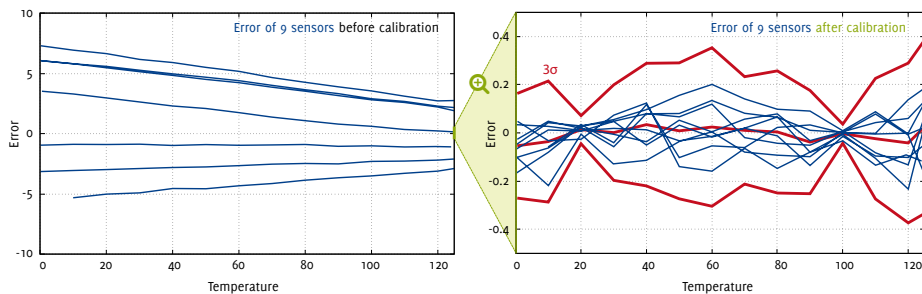


Abbildung 8: Messfehler von 9 Sensoren vor der Kalibrierung (li) und nach der Zweipunktkalibrierung bei 20°C und 100°C (re). Die rote Linie bezieht sich auf die durchschnittliche Grenze von 3σ . Grafiken: IMMS.

Die Messfehler bei 20°C und 100°C reduziert sich das Fehlerintervall auf $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Definiert man die Toleranzgrenze bei 3σ , d.h. bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,27%, sind die Messungen auf $\pm 0,4^\circ\text{C}$ genau im Bereich von 0°C bis 125°C. Die Ergebnisse der Charakterisierung sind in Abbildung 8 dargestellt.

Verfahren	Auflösung ($^\circ\text{C}$)	Dominante Fehlerquelle
Standardauslesen	9.01	Versorgungsstörung
Seriellles Auslesen	0.56	Sensorrauschen

Tabelle 1: Durch verschiedene Verfahren erreichte Auflösung.

Die Sensorkalibrierung wird mit dem Ziel durchgeführt, die Messgenauigkeit des Sensors zu verbessern. Der Anwender setzt den Temperatursensor einer bekannten Temperatur aus, zeichnet den Messwert auf und lässt ihn per Software auf den erwarteten Wert abbilden. Bei der Zweipunkt-Sensorkalibrierung werden zwei bekannte Temperaturen auf den Sensor angewendet, die Reaktion darauf gemessen und die Software aufgefordert, die ursprünglichen Werte auf die neuen kalibrierten Werte umzurechnen. Abbildung 9 zeigt die Messfehler der neun Sensoren (a) vor der Kalibrierung und (b) nach der Zweipunktkalibrierung bei 20°C und 100°C.

Wenn beispielsweise die Temperatur für eine bestimmte Zellkultur über 68°C konstant gehalten werden muss, dann werden die RFID-Sensor-Tags auf eine Genauigkeit von 0,5°C bei 68°C kalibriert. Hätte der Tag dagegen nur eine Genauigkeit von 1°C, könnte der Anwender nicht sicher sein, ob die Temperatur korrekt auf 68°C geregelt wurde.

Mehr zu ASIC-

Entwicklungen:

www.imms.de.

Ausblick

Die batterielosen HF-RFID-Temperatursensoren haben das Potenzial, die Digitalisierung und Automatisierung gesamter Messprozesse in Life-Science-Anwendungen zu ermöglichen und diese mit Smartphones und anderen gängigen NFC-fähigen Endge-

Jahresbericht

© IMMS 2017

räten durchzuführen. Darüber hinaus ist der von IMMS entwickelte passive integrierte RFID-Temperatursensor in der Lage, die für IoT- und Industrie-4.0-Anwendungen notwendigen hohen Anforderungen für Ultra-Low-Power(ULP)-Systeme zu bewältigen. Der größte Vorteil ist, dass passive RFID-Sensor-Tags keine Wartung oder Stromversorgung benötigen und sich damit einfach in unterschiedliche Anwendungsszenarien integrieren lassen. Das IMMS konzentriert sich derzeit darauf, die Empfindlichkeit des Tags und den Stromverbrauch des Chips zu verbessern. Darüber hinaus entwickelt das IMMS im Projekt ADMONT auch einen modularen RFID-Brücken-ASIC für den Anschluss unterschiedlicher kommerzieller Sensoren mit Standardschnittstellen, um vielfältige Sensor-Anwendungsszenarien zu adressieren.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Kontakt:

Muralikrishna Sathyamurthy, M.Sc. MBA, muralikrishna.sathyamurthy@imms.de

ADMONT auf

www.imms.de.



Die Arbeiten im Verbundprojekt ADMONT werden als industrielle Forschung (Innovation Action) im ECSEL-Programm als Teil des Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 durch die Europäische Union und das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 661796 gefördert, das Teilvorhaben des IMMS „Entwurf intelligenter in-vitro-diagnostischer und bioanalytischer Sensor- und Aktorsysteme“ unter dem Kennzeichen 16ESE0057.



FORSCHUNGSTHEMA
**HOCHPRÄZISIONS-
ANTRIEBE**

Das IMMS arbeitet seit 2017 im Graduiertenkolleg 2182 „NanoFab“ an Lösungen für ein hochdynamisches Antriebssystem zur mehrachsigen Bearbeitung von Objekten mit Nanometer-Präzision. Ein Schwerpunkt sind dabei vertikale Antriebe, die auf Erkenntnissen aus Entwicklungen zu Vertikaltrieben wie dem abgebildeten aufbauen.
Foto: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> 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

Highlight 2017 im Bereich Hochpräzisionsantriebe:

Start des Graduiertenkollegs „NanoFab“

Seit April 2017 arbeiten 13 Doktoranden, darunter einer am IMMS, in dem von der DFG für 4,5 Jahre geförderten NanoFab-Graduiertenkolleg 2182 an Lösungen für die spitzen- und laserbasierte 3D-Nanofabrikation in erweiterten makroskopischen Arbeitsbereichen. Betreut werden sie von Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern der Technischen Universität Ilmenau und des IMMS unter der Leitung des Instituts für Prozessmess- und Sensortechnik der Fakultät Maschinenbau.

NanoFab auf
www.imms.de

Nanofertigungsprozesse – bislang nicht für große Objekte und noch ohne Fehlerkorrektur

Durch das Graduiertenkolleg werden Fertigungstechnologien untersucht, mit denen sich künftig makroskopische Objekte in größer werdenden Bearbeitungsbereichen von mehreren hundert Millimetern mit Nanometer-Präzision herstellen lassen sollen. Zwar kann man bereits mit Nanofabrikationsmethoden unter 10 Nanometer strukturieren – allerdings nur in kleinen Bearbeitungsbereichen von einigen 100 Quadratmikrometern, bei geringer Geschwindigkeit und mit begrenzter Genauigkeit. Das

Jahresbericht

© IMMS 2017

NanoFab-Graduiertenkolleg stellt sich der besonderen Herausforderung des Nanofertigungsprozesses: während dieser läuft, ist im Gegensatz zu reinen Messungen im Nanobereich eine Fehlerkorrektur bislang nicht möglich. Kommt es in der Nanoproduktion zu statischen oder dynamischen Positionsabweichungen, verursachen diese u.a. Geometriefehler, Formabweichungen oder Rauheit in den hergestellten Strukturen oder Objekten, die man erst im Nachhinein feststellen kann.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

Um im großen Maßstab nanometergenau und mit Fehlerkorrekturen Freiformen in 3D fertigen zu können, widmen sich die Beteiligten des NanoFab-Graduiertenkollegs in sechs Teilprojekten verschiedenen methoden- und objektorientierten Themenfeldern auf Ebenen zu Theorie und Metrologie, zu Tools und Parallelisierung sowie zu Kinematik und Steuerungen u.a. zu den Themen Lithographie, optische Mikrosysteme, Echtzeitsteuerung und mehrdimensionale Kraftpositionskontrolle.

> *Inhalt*

* *Förderung*

IMMS erarbeitet Antriebe für die hochdynamische Nanofertigung

Das IMMS arbeitet an Lösungen für ein Antriebssystem, das mehrachsige Bearbeitungen von Objekten mit Nanometer-Präzision ermöglichen soll. Dazu muss eine Bewegung mit extrem hoher Gleichmäßigkeit und Glätte realisiert werden – und zwar auf jenen komplexen räumlichen Wegstrecken, die jeweils durch die zu fertigenden Objektgeometrien vorgegeben sind.

Um hohe Geschwindigkeiten bei der Bearbeitung zu erreichen, muss das Antriebssystem mit Aktoren, Führungen, Sensoren, Verstärkern und Steuerung in der Lage sein, die Sollwerte mit minimalen Bahnabweichungen hochdynamisch auszuführen. Das bedeutet, dass für eine mehrachsige Nanofertigung in großen Bearbeitungsbereichen Antriebssysteme mit höchster Reproduzierbarkeit und höchstem Gleichlauf entwickelt werden müssen. Neben einer 3D-Positionierung von Objekten müssen dazu weitere Bewegungsgrade ermöglicht werden und Aktorik und Sensorik in die Antriebsstruktur sowie in die Steuerung integriert werden.

Im Fokus stehen hierbei höchste Synchronität des Bewegungssystems, Temperaturkonstanz, minimale Antriebs- und Störkräfte und minimale Verlustleistung. Eine hohe Antriebs- und Positionierdynamik, die an die Fahraufgabe angepasst werden kann und dabei Konsequenzen für den Antrieb, die Steuerung sowie das messtechnische Gesamtkonzept berücksichtigt, ist für die Auslegung neuartiger Antriebe für die Nanofertigung wesentlich.

NanoFab auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017



PTB –

Hochpräzises Positioniersystem für Maßstäbe der nächsten Mikroelektronik-Generation

Arbeiten am IMMS für die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) für ein nanometergenaues planares Antriebssystem für einen großen Verfahrbereich und den Einsatz im Vakuum. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Ohne Messlatte für Atome kein Hightech der Zukunft

Mikroelektronik begleitet und verändert unseren Alltag. Sie steckt in Smartphones, in der automatisierten und vernetzten Produktion und im Internet der Dinge. Sie wird nicht nur kleiner, sondern enthält immer mehr intelligente Funktionen und damit Strukturen auf einem Chip. In der Halbleiterfertigung müssen daher immer geringere Strukturbreiten beherrscht werden – derzeit sind das zehn Nanometer.

Um Leiterbahnen dieser und künftig geringerer Breite auf einem Chip zu realisieren, müssen moderne Produktions- und Inspektionsanlagen bis in den Subnanometerbereich messen und positionieren können. Längenmaßstäbe oder zweidimensionale Gitterstrukturen dieser Anlagen müssen dafür entsprechend kalibriert werden.

Vor diesem Hintergrund entwickelt die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig als technische Oberbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und oberste Instanz bei allen Fragen des richtigen und zuverlässigen Messens immer genauere Messverfahren und -einrichtungen als Referenzsysteme zur Vermessung von Kalibrierstandards für solche und unzählige andere Anwendungen.

Antrieb

> fast realtime

Für Messeinrichtungen und Kalibrierstandards spielen hochgenaue Wegmessungen per Laserinterferometer eine herausragende Rolle, da sich mit diesen Systemen Messunsicherheiten im Nanometerbereich auch bei vergleichsweise großen Messlängen von mehreren 100 mm erzielen lassen. Die Untersuchung und Optimierung der Eigenschaften von Laserinterferometern, insbesondere der Fehlereinflüsse, sind deshalb ein zentraler Forschungsgegenstand der PTB¹. Dabei stellt unter atmosphärischen Bedingungen die Brechzahländerung der Luft aufgrund von Temperatur, Druck und Feuchte den dominierenden Fehlereinfluss dar, welcher viele andere überdeckt. Aus diesem Grund werden die Untersuchungen zunehmend im Vakuum durchgeführt.

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Für diese anspruchsvollen Forschungsarbeiten wurde seitens der PTB ein hochgenauer planarer Verschiebetisch für einen großen Verfahrbereich und den Einsatz in Vakuumumgebung benötigt. Mit Hilfe dieses Positioniersystems sollen einzelne Komponenten des zu untersuchenden Interferometers nanometergenau positioniert und so definierte, präzise reproduzierbare Messbedingungen geschaffen werden. Hierfür soll der Verschiebetisch eine gleichförmige vibrationsfreie Bewegung über einen Verfahrbereich von 150 mm x 2 mm realisieren und gleichzeitig den Messraum so wenig wie möglich beeinflussen. Besonderes Augenmerk liegt zusätzlich auf der passgenauen Integration in den komplexen Messaufbau innerhalb der Vakuumkammer, der auch eine mitbewegte 3D Positioniereinheit für eine Kurzhubverstellung der z-Position und der horizontalen Kippachsen vorsieht.

Hochpräzises Planarantriebssystem des IMMS arbeitet im Vakuum

Das IMMS hat für diese Aufgabenstellung einen Planarmotor mit optisch inkrementellem Messsystem und aerostatischer Läuferführung entwickelt, siehe Bild 1. Der Antrieb regelt die Läuferposition in der xy-Ebene sowie die Verdrehung um die Hochachse (φ_z) in einem geschlossenen Regelkreis. Die verbleibenden Freiheitsgrade des Läufers, d.h. vertikale (z) sowie Kippbewegungen um die horizontalen Achsen (φ_x , φ_y) werden durch eine planare aerostatische Läuferführung mit drei flachen Luftlagerpads definiert. Der mitbewegte 3D-Verschiebetisch bietet zudem die Möglichkeit, das Messobjekt in diesen Freiheitsgraden in einem kleinen Bewegungsbereich zu positionieren.

Neben der Entwicklung und Realisierung der Hardware des Verschiebetisches erarbeitete das IMMS auch die Regelungsalgorithmen und führte diese mit einer Ablaufsteuerung zu einem in sich geschlossenen 3D-Regelungssystem zusammen. Die

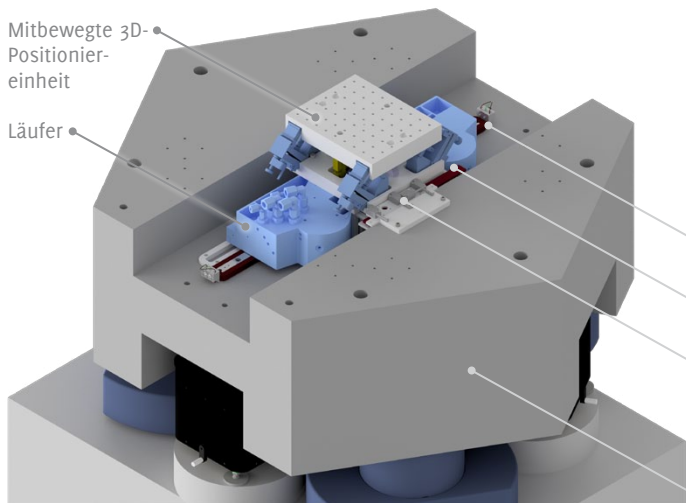


Bild 1:

Hauptkomponenten des planaren Antriebssystems (CAD-Entwurf).
 Grafik: IMMS.

- Antriebsspule
- Maßstab (mitbewegt)
- Gestellfeste Messköpfe des optisch-inkrementellen Messsystems
- Granitstator

- > fast realtime
- > ANCONA
- > INSPECT
- > ADMONT
- > PTB
- > in-ovo
- > Inhalt
- * Förderung

Regelungssoftware wurde auf eine echtzeitfähige Steuerungshardware implementiert, welche als Client mit der übergeordneten Steuerung des Gesamtexperiments kommuniziert. Auf diese Weise wurde das Planarantriebssystem als eigenständiges Subsystem in den Gesamtaufbau integriert. Zusätzlich zur Kernfunktion, das Messobjekt präzise zu positionieren, ermöglicht das neue Antriebssystem auch ein zwischenzeitiges Absetzen des Läufers (Lock-Down) mit anschließender Deaktivierung sämtlicher Systeme, so dass die Beeinflussung der Messumgebung während dieser Zeit noch weiter reduziert wird.

Der Antrieb wird von der PTB seit Mitte 2017 für die beschriebenen Untersuchungen eingesetzt.

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

Mehr zur Entwicklung von Aktorsystemen: www.imms.de.

Die Lösung im Detail

Antrieb

Der entwickelten Lösung liegt das Prinzip eines integrierten Mehrkoordinatenantriebes zu Grunde². Hierbei wird, wie in Bild 2 dargestellt, eine planare Antriebsfunktion erzielt, indem mehrere flächig angeordnete lineare Aktoren simultan auf ein und dasselbe bewegte Objekt einwirken. Durch dieses Zusammenspiel der Aktoren kann eine resultierende horizontale Antriebskraft in beliebiger Richtung erzeugt werden, womit sich die x- bzw. y-Position gezielt verändern lässt. Gleichzeitig wird mit den Aktoren ein Drehmoment um die Hochachse erzeugt und so die Gierbewegung kontrolliert, d.h. die Rotation φ_z des Läufers. Jeder Aktor besteht dabei aus gestellfesten Flachspulen und zugehörigen mitbewegten Magnetkreisen an der Unterseite des Läufers. Aufgrund des geringen Verfahrbereiches von 2 mm wurden für die y-Rich-

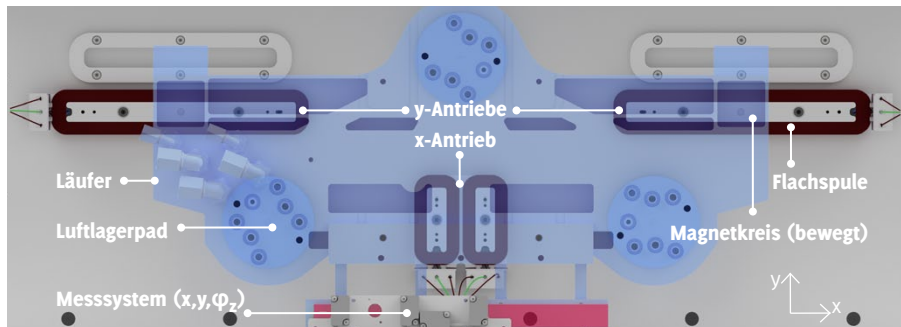


Bild 2: Grundstruktur des planaren Antriebssystems (Läufer transparent dargestellt). Grafik: IMMS.

tion einphasige Antriebseinheiten realisiert. In x-Richtung kommt für die 150 mm Verfahrbereich ein zweiphasiges System zum Einsatz. Auf Basis der Läuferposition werden die Spulenströme hier so kommutiert, dass an jeder Position eine ausschließlich horizontal ausgerichtete Kraft auf die Magnetbrücken bzw. den Läufer wirkt.

Führung

Zur Führung des Läufers werden drei spezielle flache Luftlagerpads mit geringem Luftverbrauch und minimierter Leckage eingesetzt. Mit der zugeführten Druckluft realisieren die Lagerpads einen Tragspalt von ca. 5 μm , d.h. der Läufer mit den Pads schwebt ca. 5 μm über dem hochebenen Stator aus Granit. Er kann sich somit in der horizontalen Ebene praktisch reibungs- und vibrationsfrei und ohne Stick-Slip bewegen. Bei den Lagerpads wird mit Hilfe umgebender Nuten die dem Lager zugeführte Luft wieder abgeführt, so dass sie nicht in die Vakuumumgebung entweicht.

Messsystem

Um den planaren Verschiebetisch im geschlossenen Regelkreis zu betreiben, wird die Bewegung des Läufers in den betreffenden Richtungen x , y , φ_z berührungsfrei und hochgenau gemessen. Zu diesem Zweck ist ein optisch inkrementelles Messsystem von Heidenhain implementiert, dessen Maßverkörperung eine 1D-Plus-Skala aus Zerodur-Glaskeramik darstellt. Dieser spezielle Maßstab verfügt über je ein Linienmuster für die x - und die y -Richtung. Zusammen mit drei gestellfesten Messköpfen wird auf diese Weise die hochauflösende und genaue Messung der x -, y -, φ_z -Bewegung möglich. Weiterhin ist ein vierter Messkopf integriert, der zur Initialisierung der Verdrehposition bei der Inbetriebnahme des Motors zum Einsatz kommt, während des eigentlichen Messbetriebs aber abgeschaltet wird, um den Wärmeeintrag ins System so gering wie möglich zu halten.

Mit dem gleichen Ziel wurde eine Absetzfunktion für den Läufer integriert (Lock-Down). Sofern die Messaufgabe dies erfordert, kann der Läufer an beliebiger Position innerhalb des Verfahrbereiches abgesetzt werden. Hierzu werden die Luftlagerpads definiert außer Funktion genommen, so dass der Läufer kontrolliert auf dem Stator „abgestellt“ wird. Anschließend werden auch die Positionsregelung und das Messsystem deaktiviert. Der Verschiebetisch verbleibt somit als rein passives System im Messraum. Mit Hilfe der zwischengespeicherten Werte der Stellgrößen und Messsysteme kann nach beliebiger Zeit das System wieder reaktiviert und der Läufer an Ort und Stelle wieder angehoben und in Betrieb gesetzt werden (Lift-Up).

> *fast realtime*

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

EDV-Steuerungssystem

Neben Antrieb, Führung und Messsystem vervollständigen das Steuerungssystem zur elektronischen Datenverarbeitung und die zugehörigen Regelalgorithmen das Antriebssystem. Für die drei Freiheitsgrade wurden separate Achsregler mit einer Proportional-Integral-Differential-Charakteristik (PID) entworfen und anhand einer Streckenidentifikation optimiert. Eine zentrale Ablaufsteuerung organisiert das Zusammenspiel der Elektronik-Komponenten, wie z.B. der Endstufen, Schaltventile, Druckwächter und der Messsignalüberwachung und ermöglicht dem Nutzer eine skriptbasierte Bedienung über Positionierbefehle und Statusabfragen.

Ergebnisse und Positionierperformance

Die Parameter und Positioniereigenschaften des realisierten Antriebssystems zeigt die folgende Tabelle im Überblick:

150 mm x 2 mm	Verfahrbereich
max. 10 mm/s	Verfahrgeschwindigkeit in x, y
300 mm/s ²	Beschleunigung in x, y
2,5 nm	Messauflösung in x, y
0,042 µrad	Messauflösung φ_z (2,5 nm @ 60 mm Basisabstand)
5 kHz	Samplefrequenz der Steuerelektronik
ca. 25 kg	bewegte Masse

Bild 3 zeigt das realisierte Antriebssystem bei der Erstinbetriebnahme am IMMS, die zunächst unter atmosphärischen Bedingungen erfolgte. Ein wesentlicher Schritt hierbei war die Erarbeitung und Implementierung einer Initialisierungsprozedur, die es ermöglicht, mit den zwei auf dem Maßstab vorhandenen Referenzmarken nicht nur die x- und y- Richtung, sondern auch die Verdrehung des Läufers um die Hochachse (φ_z) zu referenzieren.

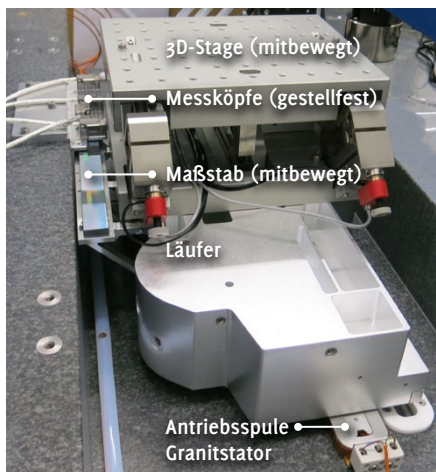


Bild 3: Das entwickelte Planarantriebssystem bei der Inbetriebnahme am IMMS. Foto: IMMS.

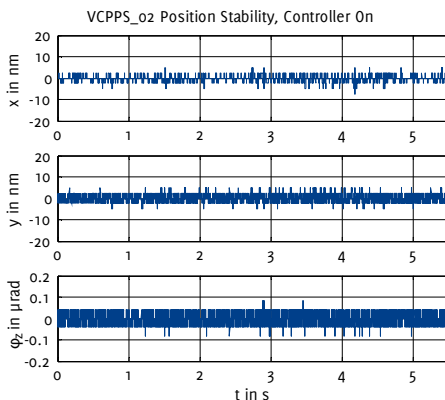


Bild 4: Zeitsignale der x -, y - bzw. φ_2 -Position im geregelten Zustand bei Sollposition $(x,y)=(0,0)$. Grafiken: IMMS.

Im Anschluss wurden die vorbereiteten Echtzeit-Programme zur Ablaufsteuerung und Regelung auf die Steuerelektronik übertragen und in Betrieb genommen. Nun war es möglich, die realen Streckeneigenschaften, wie z.B. Eigenfrequenzen, Störkräfte und Umgebungsvibrationen, zu ermitteln, auf dieser Basis die Reglerstruktur und die Regelparameter zu optimieren und so die hohen Anforderungen bezüglich der Positioniereigenschaften zu erfüllen.

Bild 4 zeigt die Zeitsignale der x -, y - und φ_2 -Messung im Betrieb beim Stillstand an einer vorgegebenen Position und verdeutlicht die Nanometer-Positionsstabilität des planaren Antriebssystems. Der quadratische Mittelwert der Regelabweichung (RMS) ist hierbei kleiner als 3 Nanometer. Demgegenüber zeigt Bild 5 exemplarisch den Positions- und Geschwindigkeitsverlauf während der Bewegung in x -Richtung mit einer Soll-Geschwindigkeit (v) von 1 mm/s. Das Direktantriebsprinzip, die geringen Störkräfte und die Optimierung von Reglerstruktur und Regelparametern ermöglichen eine sehr gute Geschwindigkeitskonstanz sowie sehr geringe seitliche Bahnabweichungen, die ebenfalls im Nanometerbereich liegen. Die folgende Tabelle fasst die erzielten Positioniereigenschaften zusammen:

Szenario	Parameter	Wert
Regler Ein, Stillstand bei Vorgabeposition	2D-RMS-Regelabweichung	< 3 nm
Regler Ein, Fahrt mit $v=1$ mm/s	RMS-Geschwindigkeitsabweichung	< 0,5 %
Regler Ein, Fahrt mit $v=1$ mm/s	RMS-Bahnabweichung	< 10 nm
Absetzen des Läufers bei Vorgabeposition	Lock-Down Positionsabweichung	< 0,5 μ m

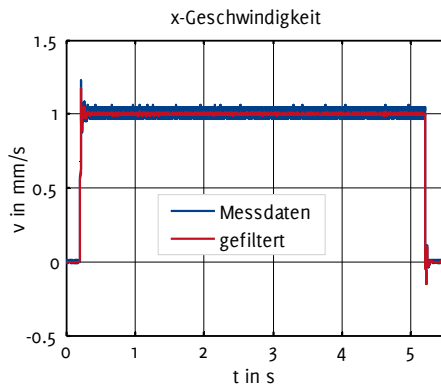
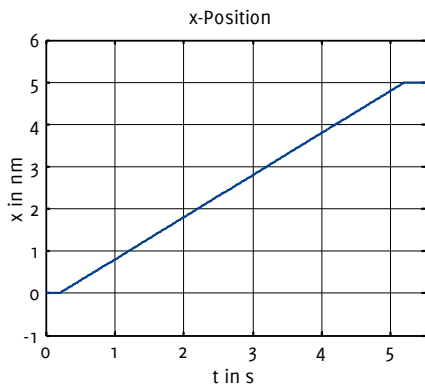


Bild 5: Zeitsignale und Geschwindigkeitsverlauf während der Bewegung in x-Richtung (Fahrt von $x=0$ mm nach $x=5$ mm mit $v_{\text{soll}}=1$ mm/s, RMS-Geschwindigkeitsabweichung: $4,2 \mu\text{m/s}^*$) *Filter zur Geschwindigkeitsermittlung: Bandpass: Passband bis 200 Hz, Stoppband ab 300 Hz. Grafik: IMMS.

Ausblick

Das hier vorgestellte hochgenaue Positioniersystem wurde am IMMS in enger Zusammenarbeit mit dem Fachbereich „Dimensionelle Nanometrologie“ der PTB entwickelt und Mitte 2017 vor Ort in Braunschweig als Teilkomponente in den komplexen Interferometertestaufbau integriert und in Betrieb genommen. Dies bietet der PTB nun eine leistungsfähige Basis für zukünftige systematische Untersuchungen zu den Fehlereinflüssen bei Laserinterferometern. In ersten Experimenten hierzu hat sich das Antriebssystem bereits sehr gut bewährt und die Identifikation von Fehlereinflüssen auf Subnanometer-Level ermöglicht³. So leistet der am IMMS entwickelte Planarantrieb einen wertvollen Beitrag, um Kalibrierstandards für die Produktions- und Inspektionsanlagen für die Mikroelektronik der nächsten Generation bereitstellen zu können.

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

1 C. Weichert, P. Köchert, S. Quabis, J. Flügge: A displacement interferometer for the calibration of the silicon lattice parameter. Proc of 17th EUSPEN, 2017.

2 S. Hesse, C. Schäffel, H.-U. Mohr, M. Katzschmann, H.-J. Büchner: Design and performance evaluation of an interferometric controlled planar nanopositioning system. In: Meas. Sci. Technol. 23 074011, doi:10.1088/0957-0233/23/7/074011, 2012.

3 C. Weichert, S. Quabis, J. Flügge: A new vacuum setup for fundamental investigations on interferometric length measurements, 18th EUSPEN, 2018.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Mehr zur Ent-

wicklung von

Aktorsystemen:

www.imms.de.

Mehr zu Steue-

rungen und

Reglungen auf

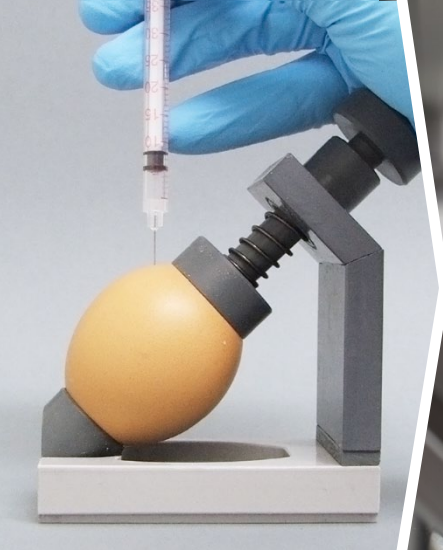
www.imms.de.

Projekte zu

Hochpräzisions-

antrieben auf

www.imms.de.



Prototyp für die automatisierte Geschlechtsbestimmung im Hühnerei

Bild 1: Das IMMS hat im Auftrag des Veterinär-Physiologisch-Chemischen Instituts (VPCI) der Universität Leipzig einen ersten Prototyp (rechts) für die automatisierte Geschlechtsdiagnose im Brutei entworfen und realisiert. Grundlage dafür waren die Vorgaben des VPCI auf Basis der Erfahrungen mit für Einzeltests ausgelegten Handgeräten (links). Foto links: Prof. Dr. Almuth Einspanier und Dr. Anne Weißmann. Foto rechts: IMMS.

Motivation und Überblick

Derzeit werden mangels wirtschaftlicher Alternativen Millionen männlicher Küken getötet

Allein in Deutschlands Geflügelwirtschaft werden jedes Jahr ca. 40 – 50 Millionen männliche Eintagsküken getötet, weil sie keine Eier legen und zu wenig Fleisch ansetzen. Die wirtschaftliche Motivation dafür ist die Aufspaltung in zwei Entwicklungslinien für Hühnerrassen in die, die eine hohe Legeleistung aufweisen und jene, die in kurzer Zeit viel Fleisch ansetzen. Nur aus vernünftigem Grund dürfen Tiere laut Tierschutzgesetz getötet werden. Inwieweit das bei einem wirtschaftlichen Grund zutrifft bzw. inwieweit dieser ethische Bedenken überwiegen darf, ist heftig umstritten. Ausstiege aus dem Kükenschreddern sind von der Politik geplant und mehrere Landesregierungen hatten diese Praxis bereits rechtskräftig verboten. Allerdings greifen die Verbote erst dann, wenn es tragfähige Alternativen gibt.¹ Weltweit wird seit Jahren an sehr unterschiedlichen Lösungen gearbeitet, mit denen sich Tierschutz und Massenproduktion in Einklang bringen lassen.²

¹ Vgl. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/kuekenschreddern-das-gemetzel-geht-weiter-1.3924618>

² Überblick zu den Lösungsansätzen in: „In-ovo-Geschlechtsbestimmung bei Legehhybriden mittels endokriner Analyse der Allantoisflüssigkeit“, Anne Weißmann, Leipzig 2014, <http://ul.qucosa.de/api/qucosa%3A12496/attachment/ATT-0/>

Das IMMS hat im Auftrag und nach den Vorgaben des Veterinär-Physiologisch-Chemischen Instituts (VPCI) der Universität Leipzig einen ersten Prototyp für die automatisierte Geschlechtsdiagnose im Brutei entworfen und realisiert. Das in Leipzig seit 2011 entwickelte und in Praxistests validierte endokrinologische Verfahren zur Geschlechtsbestimmung im Hühnerei sollte so automatisiert werden. Grundlage dafür bildeten die Erfahrungen des VPCI mit für Einzeltests ausgelegten Handgeräten. Zentrale Vorgabe war, die Eier im Winkel von 45° zu lagern und Proben mit senkrechtem Einstich von oben zu entnehmen, vgl. Bild 1 (links). Der Prototyp des IMMS für parallele und automatisierte Probenentnahmen ist ein erster Schritt, um künftig in Legehennenbetrieben große Mengen von Hühnereiern automatisch analysieren und männliche Eier vor dem Schlüpfen aussortieren zu können.

> *fast realtime*> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*> *Inhalt** *Förderung*

Endokrinologisches Verfahren der Uni Leipzig

Beim Leipziger endokrinologischen Verfahren wird nach derzeitigem Stand der Forschung vor Einsetzen des Schmerzempfindens beim Embryo durch ein kleines Loch in der Eischale mit einer feinen Injektionsnadel ein Tropfen Harn (Allantoisflüssigkeit) des Embryos entnommen. In dieser Probe werden mithilfe des Markers Östrogensulfat hormonelle geschlechtsspezifische Differenzen in der Allantoisflüssigkeit von neun Tage alten Embryos untersucht. Wird das gesuchte Hormon nachgewiesen, entwickelt sich ein weibliches Küken. Fehlt es, handelt es sich um ein männliches Küken, das nicht weiter ausgebrütet wird. Das Loch in der Eischale stört die weitere Entwicklung des weiblichen Embryos nicht und muss daher nicht wieder verschlossen werden.³ Bei manueller Punktion und Probenentnahme bei 10.678 Eiern wurde mit diesem Verfahren eine 98%ige Prognose-Genauigkeit am neunten Bruttag erzielt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Kükenkörpergewicht beim Schlupf festgestellt werden. Aufzuchtversuche bestätigten alle Legeleistungsparameter.⁴

Prototyp 1.0 des IMMS

Das IMMS hat in enger Zusammenarbeit mit Frau Prof. Einspanier (VPCI) ein geeignetes Testerkonzept zur Automatisierung des endokrinologischen Verfahrens entworfen und die Antriebstechnik sowie die Systementwicklung realisiert. Mit dem ersten

*Prototyp 1.0**im Video via**www.imms.de*

³ Vgl. ebd.

⁴ Vgl. „Anwendungsorientierte Untersuchungen zur endokrinologischen In-ovo-Geschlechtsbestimmung beim Haus- huhn“, Prof. Dr. Almuth Einspanier, Veterinär-Physiologisch-Chemisches Institut, Universität Leipzig, https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Homepages/Angewandte_Gefluegelwissenschaften/pdf/2017_8._Gefluegelwissenschafter_30.05.2017.pdf

Prototyp für zunächst 75 Eier pro Horde ist es gelungen, die Probenentnahme von Allantoisflüssigkeit aus Hühnereiern und die Vorbereitung für die Geschlechtsbestimmung inklusive Probenzuordnung zu automatisieren. Bei den durch die Universität Leipzig in Kooperation mit der REWE Group durchgeführten Tests wurde bei bislang 2.100 Eiern beprobt, bei einer Schlupfrate von 86,5% ein Beprobungserfolg von 89,5% erzielt und dabei 95 % der endokrinen Diagnosen korrekt vorgenommen.⁵

Das Grundprinzip dieses Prototyps wird derzeit durch das Joint Venture SELEGGT aus REWE Group und dem holländischen Technologie-Unternehmen HatchTech zur Serienreife mit dem Fokus auf einen höheren Durchsatz mit höherem Beprobungserfolg weiterentwickelt.⁶

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Lösung des IMMS im Detail

Voruntersuchungen zum maschinellen Durchstoßen der Schale und zur Probenentnahme

Basierend auf den langjährigen Vorversuchen von Prof. Einspanier wurde eine automatisierbare Lösung angedacht, mit der ein sehr kleines Loch in ein Ei eingebracht und Allantoisflüssigkeit entnommen werden kann. Ausgehend von der Praxis, manuell mit einer Spitze vorsichtig das Loch in die Eischale zu drücken, wurde die Idee untersucht, eine Spitze mit einem definierten Gewicht aus einer bestimmten Höhe fallen zu lassen und so die Eischale zu durchstoßen. Hierfür wurden Messreihen für unterschiedliche Spitzen, Gewichte und Fallhöhen durchgeführt. Hat man zu wenig kinetische Energie zur Verfügung, dann wird die Eischale nicht durchstoßen. Bei zu viel Energie wird durch die Anschlagfunktion die Eischale zerstört.

Darüber hinaus wurde untersucht, ob für das Lochen und das Entnehmen unterschiedliche Werkzeuge verwendet werden müssen oder ob es gelingt, mit einem einheitlichen Element das Loch zu schlagen und die Flüssigkeit zu entnehmen. Während für das Einbringen des Lochs eine gehärtete Spitze eine verschleißfeste Lösung darstellte, waren die Experimente mit Röhrchen unterschiedlicher Materialien, Größen, Wandstärken und Anschliffwinkel sehr schwierig. Mithilfe von Testreihen wurden Material und Geometrie für eine Kanüle gefunden, die bei genügend kleinem Außendurchmesser und ausreichend großem Innendurchmesser eine geeignete Materialfestigkeit aufweist. Mit dieser Kanüle konnten Lochen und Probenentnahme zu einem einzigen Arbeitsschritt zusammengeführt werden.

Mehr zur Entwicklung von Aktorsystemen:
www.imms.de.

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

5 Quelle: Universität Leipzig, Veterinär-Physiologisch-Chemisches Institut.

6 <https://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Geschlechtsbestimmung-beim-Ei-bald-praxisreif-8395092.html>



Bild 2: Hühnereier auf Horden, die in Legehennenbetrieben verwendet werden. Pro Etage bzw. Horde werden 150 Eier im Brutschrank ausgebrütet. Foto: Prof. Dr. Almuth Einspanier und Dr. Anne Weißmann, VPCI.



Bild 3: In-ovo-Tester des IMMS als Prototyp 1.0. u.a. mit (1) Aufnahme für eine Horde (15 Zeilen, 5 Spalten für 75 Eier), (2) Aufnahme und Aktorik für Titerplatten, (3) Stechmodul, (4) Anzeige- und Bedieneinheit. Foto: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Vorgaben für den technologischen Ablauf

Die Vorgaben für den technologischen Ablauf wurden von Frau Prof. Einspanier definiert und in regelmäßigen Abständen durch intensiven Austausch aktualisiert. Zu einer festgelegten Zeit vor dem zehnten Bruttag soll eine Horde mit 75 Eiern aus dem Brutschrank genommen und in den Prototyp eingelegt werden. Die Vorrichtungen im Brutschrank zeigt Bild 2. Dann soll aus allen Eiern dieser Horde die Allantoisflüssigkeit automatisch entnommen und geordnet in einer geeigneten Titerplatte abgelegt werden. Die sich anschließenden Schritte erfolgen manuell: die Flüssigkeiten werden hormonell untersucht. Die Eier mit den männlichen Embryonen werden aussortiert und die Horde mit den verbliebenen Eiern kommt wieder in den Brutschrank. Für die Wiederholung des Vorgangs mit weiteren Horden ist die Probenentnahme mit rückstandsfreien Aufnahmevorrichtungen zu gewährleisten. Zudem sollte sichergestellt werden, dass die Anlage keimfrei gehalten wird.

Aufbau des Prototyps 1.0 des IMMS

Für die vollautomatische Entnahme der Allantoisflüssigkeit und deren Abgabe in einer Titerplatte hat das IMMS den in-ovo-Tester als Prototyp 1.0 realisiert, vgl. Bild 3. Wesentliche Komponenten des in-ovo-Testers sind die Aufnahme für eine Horde, die mit 75 Hühnereiern in 15 Zeilen und 5 Spalten bestückt ist, und eine weitere Aufnahme und Aktorik für Titerplatten zur Ablage der Flüssigkeitsproben. Hinzu kommen

Prototyp 1.0

im Video via

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017

Einrichtungen zur schonenden Handhabung und Positionierung der Eier, ein Stechmodul sowie eine Anzeige- und Bedieneinheit. Um Querkontaminationen zu vermeiden, wurde eine Einrichtung zur Reinigung und Trocknung der Kanülen realisiert. Mit einer UV-Lampe für eine allgemeine Entkeimung außerhalb der Betriebszeiten des Testers werden die notwendigen hygienischen Bedingungen eingehalten.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

Automatische Abläufe des in-ovo-Testers

Kein Ei gleicht dem anderen – Auslegung für natürliche Schwankungen

Um aus dem Ei Allantoisflüssigkeit neben der Luftkammer zu entnehmen, wird es unter das Stechmodul bewegt. Die Eier werden mit der Luftkammer nach oben in derselben Lage wie in den Brutschränken, vgl. Bild 2, in den Prototyp eingelegt. Der höchste Punkt des Eis ist die gewünschte Einstechposition zur Entnahme der Allantoisflüssigkeit. Aber auch wenn die Eier in der Horde die richtige Position haben, sind sie unterschiedlich groß. Mit Messreihen und Tabellen wurden diese Unterschiede erfasst und dokumentiert. Damit liegt der gewünschte Einstechpunkt bei den fünf Eiern, die gleichzeitig beprobt werden sollen, auf unterschiedlicher Höhe. Jetzt müssten die Kanülen am Einstechmodul an jeweils unterschiedlichen Punkten starten, um mit der richtigen Fallhöhe jedes Ei zu treffen. Ein solcher Aufbau würde aus dem Einstechmodul eine aufwendige, störanfällige und teure Baugruppe machen. Auch läge das Ei lose in der Horde, so dass es sich beim Einstechen verdrehen kann und damit die Gefahr besteht, dass die Kanüle oder das Ei beschädigt werden.

> *Inhalt*

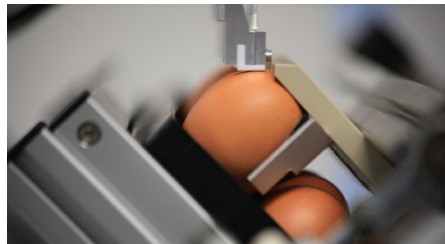
* *Förderung*

Die Lösung für beide Probleme besteht in der Prinzipumkehr. Die Eier, die beprobt werden sollen, werden aus der Horde herausgehoben und gegen einen Anschlag bewegt, vgl. Bild 4. Dadurch hat jede Eioberfläche in Bezug auf das Einstechmodul die gleiche Höhe. Hinzu kommt, dass das Ei mit pneumatisch gefederten Elementen angedrückt wird und sich nicht mehr verdrehen kann. Seitliche Führungsbleche sorgen während des Anhebens zusätzlich für eine korrekte Lage.

Prototyp 1.0

*im Video via
www.imms.de*

Bild 4: Das Anheben und Andrücken unterschiedlich großer Eier gegen einen Anschlag bewirkt, dass jede Eioberfläche in Bezug auf das Einstechmodul die gleiche Höhe hat und für das Einstechen arretiert ist. Fotos: IMMS.



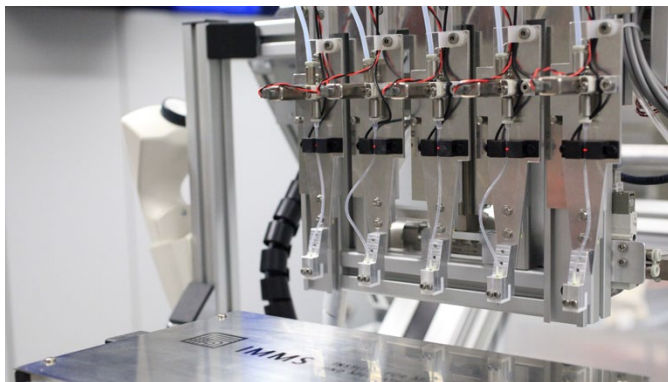


Bild 5:

Stechmodule mit Kanülen sowie Schläuche zum Ansaugen der Proben mit Lichtschranke zur Detektion klarer Flüssigkeiten.

Foto: IMMS.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Die exakt vorgegebene Einstechtiefe wird durch die Länge der Kanülen erreicht. Anstechpunkt und Anschlagstelle sind auf kurzem Wege verbunden und liegen wegen des ringförmigen Anschlags ineinander. So kommt die Krümmung der Eioberfläche nicht zur Wirkung.

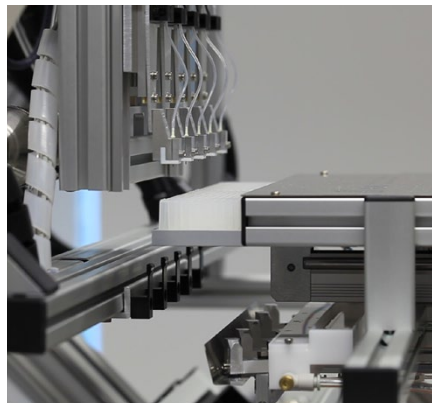
Probenentnahme und -zuordnung

Die Allantoisflüssigkeit kann trotz des sehr kleinen Querschnittes der Kanüle mittels Vakuum angesaugt werden. Die Menge der entnommenen Probe wird durch eine Flüssigkeitsniveaumessung im Schlauch ermittelt, der sich unmittelbar hinter der Kanüle befindet, vgl. Bild 5. Eine Lichtschranke, die klare Flüssigkeiten detektieren kann, gibt das Signal zur Abschaltung des Vakuums und die gleichzeitige Sperrung des Schlauchs, damit die angesaugte Flüssigkeit nicht herausläuft.

Die Titerplatte wird automatisch so unter das Modul mit den fünf Kanülen geführt, dass die Proben mit dem Absenken der Stechmodule an den richtigen Positionen in die Titerplatten abgegeben werden, vgl. Bild 6. Die Eier werden wieder in der Horde abgesetzt und diese fährt eine Reihe weiter. Parallel dazu läuft ein Reinigungszyklus ab. Die Kanülen werden mit Reinigungsflüssigkeit gespült und anschließend getrocknet. So wird die Vermischung der Proben untereinander verhindert und die Besiedelung mit Keimen unterdrückt.

Bild 6:

Die Titerplatte wird automatisch so unter die fünf Kanülen geführt, dass die Proben an den richtigen Positionen in die Küvetten abgegeben werden. Foto: IMMS.



Prototyp 1.0
im Video via
www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017

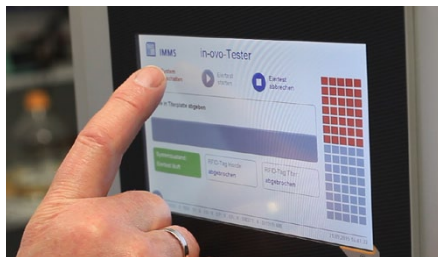


Bild 7: Vom IMMS programmierte Nutzeroberfläche für den In-ovo-Tester. Foto: IMMS.

und Eier richtig zuzuordnen, wird jede Horde und jede Titerplatte mit einem RFID-Tag ausgestattet. Diese Tags werden am Anfang jedes Bearbeitungszyklus mit einem Handscanner ausgelesen.

Projektergebnis

Das IMMS hat sein Know-how in den Bereichen Antriebstechnik und Systementwicklung in den Entwurf des Testerkonzepts eingebracht, insbesondere auf den Gebieten des Einsatzes von effektiven Schrittmotoren, der Installation von Ablaufsteuerungen und deren Programmierung in Kombination mit pneumatischen Antrieben, der Programmierung von Touchscreens und des Einsatzes von optischer Messtechnik bei der Dosierung von Flüssigkeiten. Im Projekt wurden darüber hinaus im engen Dialog mit Frau Prof. Einspanier Kompetenzen für die Entwicklung von Life-Science-Anwendungen ausgebaut. So ist es gelungen, den Prozess der Probenentnahme von Allantoisflüssigkeit aus Hühnereiern im Brutprozess zum Zweck der Geschlechtsbestimmung zu automatisieren. Der realisierte Prototyp 1.0 wurde in Großversuchen erfolgreich erprobt und als Basis für Weiterentwicklungen an das VPCI übergeben. Beispielsweise waren die Automation der hormonellen Untersuchungen, des Aussortierens von Eiern oder des Handlings der Horden nicht Gegenstand der Entwicklungen am IMMS. Partner des VPCI mit speziellem Verfahrens-Know-how für Legehennenbetriebe haben nach dem ersten Schritt zur Automation am IMMS dessen Prototyp bereits zu neueren Versionen des Prototyps vorangebracht. Somit ist man auf dem Weg, eine Alternative zum Töten männlicher Küken zu entwickeln, mit der sich künftig Tierschutz und Massenproduktion in Einklang bringen lassen könnten.

Kontakt: Dr.-Ing. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

Das IMMS hat im Auftrag des Veterinär Physiologisch-Chemischen Instituts der Universität Leipzig den Prototyp 1.0 für die automatisierte Probenentnahme zur endokrinologischen Geschlechtsbestimmung im Hühnerei entwickelt und aufgebaut. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung unter dem Kennzeichen 313-06.01-28-1-33.031-07 gefördert.

Wenn aus allen Eiern einer Horde die Probe entnommen wurde, fährt die Maschine in ihre Ausgangsstellung und Horde und Titerplatten können gewechselt werden. Der Bediener wird über die vom IMMS realisierte Nutzeroberfläche zu den entsprechenden Handlungen aufgefordert, vgl. Bild 7. Um Proben

Mehr zur Entwicklung von Aktorsystemen:
www.imms.de.

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

Projekte zu Hochpräzisionsantrieben auf
www.imms.de.

Prototyp 1.0 im Video via
www.imms.de

A scientist wearing a white lab coat, a hairnet, and white gloves is working in a cleanroom. He is focused on a piece of equipment, possibly a microscope or a wafer measurement device. A computer monitor in the background displays a colorful data visualization. The text 'ZAHLEN, STRUKTUREN UND BELEGE' is overlaid on the image.

**ZAHLEN,
STRUKTUREN
UND BELEGE**

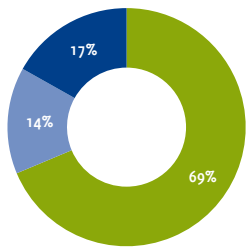
Vorbereitungen für
Messungen auf Wafer-
Ebene am Institutsteil
Erfurt im Reinraum-
Messtechniklabor.
Foto: IMMS.

Personal:

Wissenschaftler

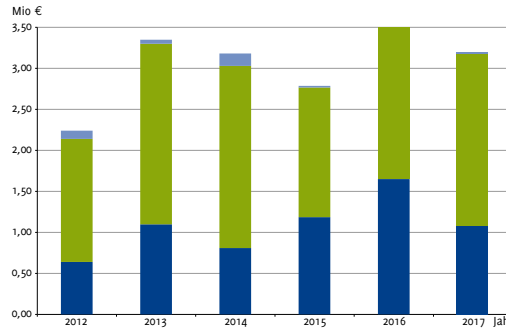
studentische Mitarbeiter (FTE)

Mitarbeiter Administration / Azubi



Projekteinnahmen:

Industrieeinnahmen / Förderprojekte / Sonstige



> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

2017 waren im IMMS 85 Mitarbeiter beschäftigt. Hiervon waren 57 Wissenschaftler und 14 Studenten-FTE¹ in der Forschung und Entwicklung tätig, was ca. 83% aller Beschäftigten entspricht.

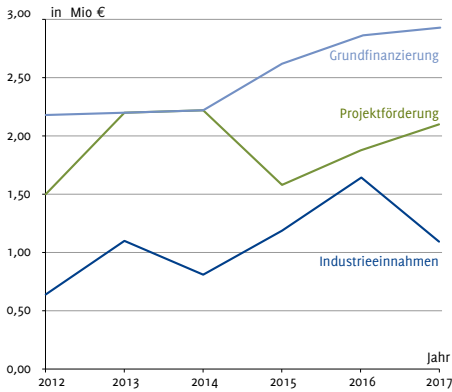
Hinter den 14 Studenten-FTE stehen eine große Zahl von 41 Studenten, die das Angebot des IMMS nutzen, ihre Ausbildung in praxisorientierter Forschung zu vertiefen und zu vervollständigen: neun Studenten absolvierten Praktika und 23 sind als Hilfskräfte tätig, sechs Bachelorarbeiten und drei Masterarbeiten wurden betreut und acht 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 öffentlicher Projektförderung sind um 11% gestiegen und die Erlöse aus industrieller Auftragsforschung sind 2017 gegenüber denen des Vorjahres um 16% zurückgeblieben. Der Ertragsanteil beträgt 59%. 15 Projekte in der industriellen Auftragsforschung wurden planmäßig bis Mitte 2018 fertiggestellt. Durch Berücksichtigung der Bestandveränderungen hat sich die Gesamtleistung 2017 gegenüber dem Vorjahr um 17% erhöht. Die Einnahmen spiegeln dieses Verhältnis tendenziell wider. Die Einnahmen aus Projektförderung sind um 12% gestiegen. Die Einnahmen aus

Mehr zur
Förderung auf
www.imms.de.

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



> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

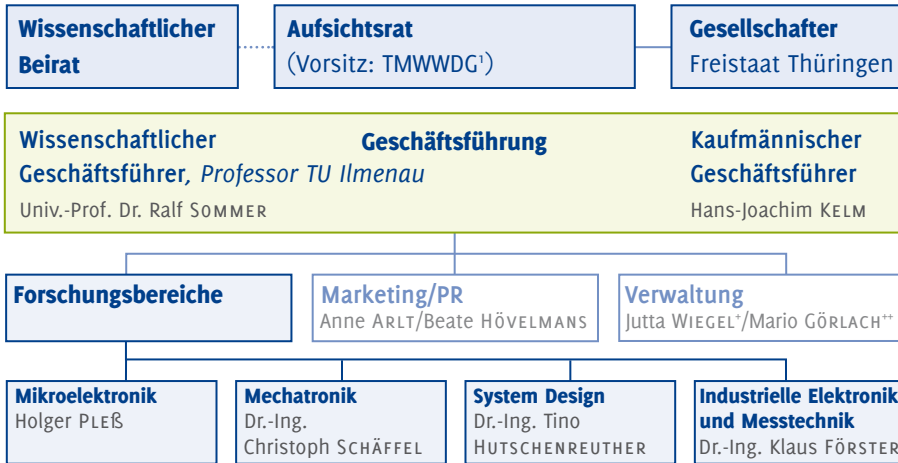
> Inhalt

* Förderung

industrieller Auftragsforschung sind infolge oben genannter Gründe um 34% hinter den Einnahmen 2016 zurückgeblieben. Für die kommenden Jahre 2018 bis 2020 erwartet das IMMS in beiden Bereichen 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. 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 2017 für verlässliche Bedingungen durch die institutionelle Zuwendung gesorgt. Das hat insbesondere die Zusammenarbeit mit den kleinen und mittelständischen Betrieben Thüringens gefördert.



Aufsichtsrat

- **Vorsitzender:** Herr ¹Robert FETTER, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- **Stellv. Vorsitzende:** Frau ¹Bianca KIZINA, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- Herr Univ. Prof. Dr.-Ing. Klaus AUGSBURG (*bis 30.09.2017*), Prorektor Wissenschaft, Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau
- Herr Dr. sc. Wolfgang HECKER
- Herr Dr. Jens KOSCH, Chief Technical Officer, X-FAB-Semiconductor Foundries AG
- Herr Andreas ROHWER, Thüringer Finanzministerium
- Herr Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Kai-Uwe SATTLER (*seit 01.10.2017*), Prorektor Wissenschaft, Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung FG Datenbanken und Informationssysteme
- Herr Dr. Ingolf VOIGT (*seit 01.07.2017*), Stellvertretender Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf

- **Vorsitzender:** Herr Dr.-Ing. Gabriel KITTLER, Innovation Manager, X-FAB Semiconductor Foundries AG Erfurt
- **Stellv. Vorsitzender** (*bis 31.3.2017*): Herr Olaf Mollenhauer, Gesellschafter, Kompass GmbH, Ilmenau
- Frau Dr. Christiane EHRLING, Analytik Jena AG, Leiterin Forschung und Entwicklung, Bereich Elementaranalyse/Summenparameter und Standortleiterin Langewiesen
- Herr Dr. Fred GRUNERT (*bis 31.3.2017*), Geschäftsführer ams Sensors Germany GmbH
- Herr Dr. Alfred HANSEL (*seit 1.4.2017*), Geschäftsführer, Oncgnostics GmbH
- Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Martin HOFFMANN (*seit 1.4.2017*), Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik
- Frau Prof. Dr. Olfa KANOUN (*bis 31.3.2017*), Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Mess- und Sensortechnik
- Herr Dr. Ralph KLÄSGES, Vice President Research & Development, Carl Zeiss SMT GmbH
- Herr Prof. Dr. Mario KUPNIK (*seit 1.4.2017*), Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Mess- und Sensortechnik
- Herr Dr. Peter MIETHE (*seit 1.4.2017*), Geschäftsführer, FZMB Forschungszentrum für Medizintechnik und Biotechnologie GmbH
- Herr Prof. Dr. Wolfgang NEBEL (*seit 1.4.2017*), Universität Oldenburg, Fakultät II, Dep. Informatik, Abt. Eingebettete Hardware-/Software-Systeme und Vorstandsvorsitzender OFFIS e.V.
- Herr Prof. Dr. Ulf SCHLICHTMANN (*seit 1.4.2017*), Technische Universität München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Entwurfsautomatisierung
- Herr Dr. Peter SCHNEIDER, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS – EAS, Direktor des Institutsteils Entwurfsautomatisierung EAS, Dresden
- Herr Prof. Dr. Ansgar TRÄCHTLER, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Fachgruppe Regelungstechnik und Mechatronik
- Herr Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas TÜNNERMANN (*bis 31.3.2017*), Direktor des Instituts für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena und des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF Jena
- Herr Jörg WENDE (*seit 1.4.2017*), Consultant Hybrid-Integration und Industrie 4.0, IBM Deutschland GmbH, Dresden

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

> fast realtime

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.

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

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/Veranstalter

Sensorik-4.0-Tag, Workshop & Stammtisch, 18.05.2017, IMMS Ilmenau (Vorträge, Organisation)

5. RIS3-Forum, Regionale Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung, 15.06.2017, TU Ilmenau (Führung am IMMS Ilmenau)

2nd edaBarCamp, Workshop, 05. – 06.07.2017, Robert-Bosch-Zentrum Reutlingen (IMMS als Initiator und Mitorganisator)

2. Stammtisch Sensorik 4.0, 17.08.2017, IMMS Ilmenau (Vortrag, Organisation)

2. Workshop Sensorik 4.0, 25.08.2017, IMMS Ilmenau (Vortrag, Organisation)

Lange Nacht der Wissenschaften 03.11.2017, IMMS Erfurt (Demonstratoren, Live-Demos, Vorträge)

3. Stammtisch Sensorik 4.0, 09.11.2017, IMMS Ilmenau (Vortrag, Organisation)

3. Workshop Sensorik 4.0, 23.11.2017, IMMS Ilmenau (Vortrag, Organisation)

3rd edaBarCamp – the next generation! Workshop, 11.12.2017, Leibniz-Universität Hannover (IMMS als Initiator und Mitorganisator)

Aktuelle

Termine:

www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2017

Messen/Ausstellungen

110

JeTT 2017 Jenaer Technologietag, 31.01.2017, Ernst-Abbe-Hochschule Jena (*IMMS als Aussteller*)

> *fast realtime*

> *ANCONA*

Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau, Eröffnungsveranstaltung, 17.03.2017, TU Ilmenau (*Demonstrator; IMMS als Mitaussteller*)

> *INSPECT*

> *ADMONT*

EBS 2017 First European/10th German BioSensor Symposium, 20. – 23.03.2017, Universität Potsdam (*IMMS als Mitaussteller; Gemeinschaftsstand DiagnostikNet BB*)

> *PTB*

> *in-ovo*

2. Thüringer IT-Leistungsschau, 06.04.2017, Jena (*IMMS als Mitaussteller*)

Innovationstag Mittelstand 2017, 18.05.2017, AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Berlin (*Demonstrator*)

> *Inhalt*

* *Förderung*

MEDICA 2017, 13. – 16.11.2017, Messe Düsseldorf (*Live-Demo; IMMS als Mitaussteller; Gemeinschaftsstand DiagnostikNet-BB*)

Publikationen

Überblick zu Konferenzen/Veranstaltungen mit Beiträgen des IMMS

Silicon Saxony AK CPS, Arbeitskreis Cyber-physische Systeme, 01.02.2017, TU Dresden (*Vortrag*)

AWF, Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliche Fertigung, 13.02.2017, TU Ilmenau (*Vortrag*)

1. IID/3. RIS3-Forum, 1. Industrie-Innovationsdialog / 3. Forum Regionale Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung „Produktionsüberwachung und -steuerung“, 15.02.2017, TU Ilmenau (*2 Vorträge*)

ANALOG 2017, Workshop, 02. – 03.03.2017, TU Berlin (*Vortrag*)

TuZ 2017, 29. GMM/GI/ITG Workshop – Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen, 05. – 07.03.2017, Lübeck (*Vortrag*)

SCI 2017, 14th Int. Conference on Sensors, Circuits and Instrumentation Systems, 28. – 31.03.2017, Universität Marrakesch, Marokko (*Vortrag*)

11. ITG-Fachtagung, Informationstechnische Gesellschaft des VDE, Fachkonferenz zur Breitbandversorgung in Deutschland, 29. – 30.03.2017, Fraunhofer HHI Berlin (*Vortrag*)

Aktuelle

Termine:

www.imms.de.

Digitale Gesellschaft/Politisches Bildungsforum Thüringen, 04.04.2017, IPOL – Institut für Produktionsorganisation und Logistik Ilmenau (*Vortrag*)

Jahresbericht

DDECS 2017, IEEE International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, 19. – 21.04.2017, Dresden (*Co-Autor Vortrag*)

edaWorkshop 2017, Workshop Elektronische Design-Automation, 08. – 10.05.2017, Dresden (*2 Vorträge*)

NOVEM IT Kongress, 10.05.2017, Novem Car Interior Design GmbH Vorbach (*Vortrag*)

Weimarer Wirtschaftsforum, 22.5.2017 (*Vortrag*)

CDNLive EMEA 2017, Europäische Cadence User Conference, 15. – 17.05.2017 München (*Vortrag*)

EHW Oulu 2017, The 4th Workshop in Devices, Materials and Structures for Energy Harvesting and Storage, 17. – 18.05.2017, Universität Oulu, Finnland (*Vortrag*)

Sensorica 2017, IEEE-Workshop, 08. – 09.06.2017 – Hochschule Ruhr West, Mülheim an der Ruhr (*3 Vorträge*)

SMACD 2017, 14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design, 12. – 15.06.2017, Taormina, Italien (*2 Vorträge, Competition Runner Up*)

1. Waltershäuser Technologietag, 13.06.2017 (*Vortrag*)

MedTech Summit, 21. – 22.06.2017 Nürnberg Messe (*Vortrag*)

elmug4future 2017, Technologiekonferenz der Elektronischen Mess- und Gerätetechnik Thüringen eG, 27. – 28.06.2017, Friedrichroda (*IMMS als Mitaussteller*)

Digitalisierungslösungen für den Mittelstand, Workshop des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Ilmenau, 28.06.2017, Friedrichroda (*Vortrag*)

HiTEN 2017, International Conference and Exhibition on High Temperature Electronics Network, 10. – 12.07.2017, Queens' College Cambridge, UK (*Vortrag*)

ISTET 2017, XIX International Symposium on Theoretical Electrical Engineering, 16. – 19.07.2017, TU Ilmenau (*Fachposter*)

FAC 2017, Frontiers in Analog CAD, 21. – 22.07.2017, Goethe-Universität, Frankfurt am Main (*Vortrag*)

FGSN 2017, 16.GI/ITG KuVS, Fachgespräch „Sensornetze“ der Fachgruppe Kommunikation und Verteilte Systeme der Gesellschaft für Informatik/Informationstechnischen Gesellschaft, 07. – 08.09.2017, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (*Vortrag*)

ISC 2017, 59th Ilmenau Scientific Colloquium, 11. – 15.09.2017, TU Ilmenau (*2 Vorträge*)

IEEE RFID-TA 2017, 8th Annual IEEE International Conference on RFID Technology and Applications, 20. – 22.09.2017, Warschau, Polen (*Vortrag*)

Jenaer Maschinensicherheitssymposium des TÜV Thüringen e.V., 27.09.2017, Jena (*Vortrag*)

M2M Summit 2017, 6th M2M Alliance Academic Day, 11.10.2017, Köln (Vortrag)

CHANTS 2017, 12th Workshop on Challenged Networks, 16.10.2017, Snowbird, Utah, USA (2 Fachposter)

Rohrer Dialog der Mittelstandsvereinigung pro Südthüringen e.V., 25.10.2017, Rohr (Vortrag)

TELFOR 2017, 25th Telecommunications Forum, 21. – 22.11.2017, Belgrad, Serbien (2 Vorträge)

RIS3-Jahresveranstaltung, Regionale Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung, 28.11.2017, Erfurt (Vortrag, Poster)

Kölner Industriertage 2017 des Arbeitskreises Produktionstechnik, 28. – 29.11.2017, Köln (Vortrag)

Informationstag Digitalisierung in der Elektroindustrie für Vertreter des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., 30.11.2017, Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau/TU Ilmenau (Vortrag mit Demonstrator)


Begutachtete Veröffentlichungen

Towards Robust Communication-Based Object Monitoring Under Harsh Propagation Conditions, Frank SENF¹. Bojana NIKOLI³. Bojan DIMITRIJEVI³. Silvia KRUG¹. Tino HUTSCHENREUTHER¹. Hannes TOEPFER². *TELFOR 2017, 25th Telecommunications Forum, Belgrade, Serbia, 21-22 November 2017, pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2017.8249338>*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Ilmenau University of Technology. ³University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia.

An Open Platform for Distributed Urban Noise Monitoring, Marco GOETZE¹. Rolf PEUKERT¹. Tino HUTSCHENREUTHER¹. Hannes TOEPFER². *TELFOR 2017, 25th Telecommunication Forum, 21-22 November 2017, Belgrade, Serbia, pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2017.8249339>*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Ilmenau University of Technology.

Testing Electrostatic Energy Harvesters: A New Topology for Accurate Characterization, Björn BIESKE¹. Gerrit KROPP¹. Alexander ROLAPP¹. *SSD 2017, 14th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices, Marrakech, Morocco, 28-31 March 2017, pp. 331-336. DOI: <https://doi.org/10.1109/SSD.2017.8166930>*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Sensor Technologien 2022, Autorenkollektiv: Prof. Dr. Karlheinz BOCK, M. Eng. Paul-Gerald DITTRICH, Dr. Klaus ETTRICH, Prof. Dr. Thomas FRÖHLICH, Verena GRAF, Dr. Volker GROßER, Dipl.-Ing. Frank HÄNSCHKE, Dr. Hans-Dieter HARTMANN, Prof. Dr. Dietrich HOFMANN, Prof. Dr. Klaus-Peter HOFFMANN, Prof. Dr. Thomas ORTLEPP, Prof. Dr. Franz SCHMIDT, Prof. Dr. Andreas SCHÜTZE, Dr. C. Thomas SIMMONS, Dr. Wolfgang SINN, Dr. Rolf SLATTER, Prof. Dr. Hannes TÖPFER^{1,2}, Dr. Guido TSCHULENA, Prof. Dr. Roland WERTHSCHÜTZKY, Prof. Dr. Jürgen WILDE, Dr. Gabriel ZIEGER. *Eine Studie des AMA Verbandes für Sensorik und Messtechnik e.V., Herausgeber Prof. Dr. Roland Werthschützky, 23. November 2017.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ehrenbergstraße 27, 98693 Ilmenau, Germany. ²Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau University of Technology, Germany.

113 
> fast realtime
> ANCONA
> INSPECT
> ADMONT
> PTB
> in-ovo
> Inhalt
* Förderung

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. In: *Fummi F., Wille R. (eds) Languages, Design Methods, and Tools for Electronic System Design. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 454. Springer, Cham, 2017, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62920-9_1.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany.

Supply sensitivity analysis for low-power time-domain temperature sensor in RFID application, Jun TAN¹. Georg GLÄSER¹. *RFID-TA 2017, IEEE International Conference on RFID Technology & Application, Warsaw, Poland, 20-22 September 2017, pp. 196-201. DOI: <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2017.8098882>.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Parasitic Symmetry at a Glance: Uncovering Mixed-Signal Layout Constraints, Georg GLÄSER¹. Benjamin SAFT¹. Ralf SOMMER¹. *FAC 2017, Frontiers in Analog CAD, Frankfurt on the Main, Germany, 21-22 July 2017, pp. 1-6. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8011279/>.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Automated Generation of System-Level AMS Operating Condition Checks: Your Model's Insurance Policy, Georg GLÄSER¹. Martin GRABMANN¹. Gerrit KROPP¹. Andreas FÜRTIG². *SMACD 2017 14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design, Giardini Naxos,*

Alle Publikationen auf www.imms.de

Jahresbericht
© IMMS 2017

12-15 June 2017, pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/SMACD.2017.7981567>. ¹IMMS

Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Institute for Computer Science, Goethe Universität Frankfurt a. M., Germany.

Comparing Apples and Oranges: Evaluating Model-Coverage using Acceptance Regions, Martin GRABMANN¹. Georg GLÄSER¹. *SMACD 2017, 14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design, Giardini Naxos, 12-15 June 2017, pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/SMACD.2017.7981566>*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

A contribution towards model-based design of application-specific MEMS, Jenny KLAUS¹. Eric SCHÄFER¹. Roman PARIS¹. Astrid FRANK¹. Ralf SOMMER¹. *In: Integration, the VLSI Journal, Volume 58, 2017, Pages 454-462, ISSN 0167-9260, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2017.03.014>*. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Novel Metrics for Analog Mixed-Signal Coverage, Andreas FÜRTIG¹. Georg GLÄSER². Christoph GRIMM³. Lars HEDRICH¹. Stefan HEINEN⁶. Hyun-Sek Lukas LEE⁴. Gregor NITSCHÉ⁵. Markus ÖLBRICH⁴. Carna RADOJICIC³. Fabian SPEICHER⁶. *DDECS 2017 IEEE 20th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems, Dresden, 19-21 April 2017, pp. 97-102, DOI: <https://doi.org/10.1109/DDECS.2017.7934589>*. ¹Institute for Computer Science, Goethe Universität Frankfurt a. M., Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ³Design of Cyber-Physical Systems, Kaiserslautern University of Technology, Germany. ⁴Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany. ⁵OFFIS, Institute for Information Technology, Germany. ⁶Chair of Integrated Analog Circuits, RWTH Aachen University, Germany.

Feasibility of Dual-polarized Antenna Arrays for GNSS Receivers at Low Elevations, Maysam IBRAHEAM¹. Bjoern BIESKE². Kurt BLAU¹. Eric SCHÄFER². André JÄGER². Safwat Irteza BUTT³. Ralf STEPHAN¹. Matthias A. HEIN¹. *EUCAP 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation, Paris, 19-24 March 2017, pp. 857-861. DOI: <https://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928441>*. ¹Thuringian Center of Innovation in Mobility, RF and Microwave Research Laboratory, Technische Universität Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ³Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Germany.

Enhancement- and depletion-mode AlGaIn/GaN HEMTs on 3C-SiC(111)/Si(111)

pseudosubstrates, Wael JATAL¹. Uwe BAUMANN². Heiko O. JACOBS¹. Frank SCHWIERZ³.

Jörg PEZOLDT¹. *Phys. Status Solidi A* 214, No. 4, 1600415 (2017). DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/pssa.201600415>.

¹FG Nanotechnologie, Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano[®] und Institut für Mikro- und Nanoelektronik, TU Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany. ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ³FG Festkörperelektronik, Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano[®] und Institut für Mikro- und Nanoelektronik, TU Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Latency Critical IoT Applications in 5G: Perspective on the Design of Radio Interface and Network Architecture, Philipp SCHULZ¹. Maximillian MATTHÉ¹. Henrik KLESSIG¹. Gerhard FETTWEIS¹. Meryem SIMSEK². Junaid ANSARI³. Shehzad Ali ASHRAF³. Björn ALMEROTH⁴. Jens VOIGT⁵. Ines RIEDEL⁵. Andre PUSCHMANN⁶. Andreas MITSCHELE-THIEL⁶. Michael MÜLLER⁷. Thomas ELSTE⁸. Marcus WINDISCH⁹. in: *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 2, pages 70-78, February 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600435>.

¹Technical University Dresden, Vodafone Chair Mobile Communications Systems. ²Technical University Dresden, Electrical engineering and information technology. ³Ericsson, Research.

⁴RadioOpt GmbH. ⁵Actix GmbH, R&D. ⁶Technische Universität Ilmenau, Integrated Communication Systems Group. ⁷IVM

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

Fachartikel (Veröffentlichungen in Zeitschriften)

Wie Mikroelektronik dabei hilft, Krebs im Frühstadium zu erkennen, Alexander

HOFMANN¹. Michael MEISTER¹. Friedrich SCHOLZ². Balázs NÉMETH¹. Susetta GERMER¹.

Hendrik HÄRTER³. *Elektronikpraxis, Fachwissen für Elektronik Professionals*, online:

<https://www.elektronikpraxis.vogel.de/wie-mikroelektronik-dabei-hilft-krebs-im-fruehstadium-zu-erkennen-a-673280/>.

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme

gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Senova Gesellschaft für Biowissenschaft und Technik mbH. ³Elektronik-

praxis, Redakteur.

Anknüpfungspunkte für das Clusterforschungsprojekt ANCONA – Ideen der Projektpartner zur Überführung in die industrielle Anwendung, Georg GLÄSER¹. Andreas FÜRTIG². Markus OLBRICH³. Gregor NITSCHÉ⁴. Fabian SPEICHER⁵. Christoph GRIMM⁶. *Newsletter edacentrum* 01/02 2017, 2. Dezember 2017. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Institute for Computer Science, Goethe Uni-

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

gGmbH, Communication and ITS. ⁸IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany. ⁹Freedelity GmbH, Research and Development.

Alle Publi-

kationen auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017

versität Frankfurt a. M., Germany. ³Institute of Microelectronic Systems, Leibniz Universität Hannover, Germany. ⁴OFFIS, Institute for Information Technology, Germany. ⁵Chair of Integrated Analog Circuits, RWTH Aachen University, Germany. ⁶Design of Cyber-Physical Systems, Kaiserslautern University of Technology, Germany.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Vorträge und Posterpräsentationen

INSPECT – Mikroelektronische Diagnostikplattformen für die personalisierte Krebsforschung und Mikro-Bioreaktoren, Autorenkollektiv^{1,2,3,4,5}. RIS3 Jahresveranstaltung, Session 3, Innovationsfelder „IKT, innovative und produktionsnahe Dienstleistungen“ und „Gesundes Leben und Gesundheitswirtschaft“, 28. September 2017, Erfurt. ¹CDA

GmbH. ²iba Institut für Bioprozess- und Analysemesstechnik e.V.. ³Senova Gesellschaft für Biowissenschaft und Technik mbH. ⁴X-FAB Semiconductor Foundries AG. ⁵IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Design of a Power Amplifier Module in a Novel Silicon-Ceramic Substrate for an LTE Transmitter, V. SILVA CORTES¹. L. LIU¹. U. STEHR². M. FISCHER². A. FRANK³. V. CHAUHAN¹. M. HEIN². J. MÜLLER². R. WEIGEL¹. G. FISCHER¹. A. HAGELAUER¹. Asia Pacific Microwave Conference 2017, 13-17 November 2017, Kuala Lumpur. ¹Institute for Electronics

Engineering, University of Erlangen-Nuremberg, Germany. ²Institute for Micro- and Nanotechnology, University of Ilmenau, Germany. ³IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Beyond Static Sending Intervals for Sensor Node Energy Estimation, Silvia KRUG^{1,2}.

Axl SCHREIBER¹. Michael RINK¹. CHANTS 2017, 12th Workshop on Challenged Networks Co-located with ACM MobiCom, 16-20 October 2017, DOI: <https://doi.org/10.1145/3124087.3124100>, Snowbird, Utah, USA. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und

Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Communication Networks Group, Technische Universität Ilmenau Germany.

Utilization of Additional Nodes in Hybrid DTN-MANET Scenarios, Silvia KRUG^{1,2}.

Max HELBIG². Jochen SEITZ². CHANTS 2017 12th Workshop on Challenged Networks Co-located with ACM MobiCom, 16-20 October 2017, DOI: <https://doi.org/10.1145/3124087.3124099>, Snowbird, Utah, USA. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und

Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Communication Networks Group, Technische Universität Ilmenau Germany.

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Jahresbericht

High-Precision Mixed-Signal Sensor Interface for a Wide Temperature Range

[0°–300°C], Georg GLÄSER¹. Dirk M. NUERNBERGK². Dagmar KIRSTEN³. André RICHTER¹. Marco REINHARD¹. Gerrit KROPP¹. *International Conference and Exhibition on High Temperature Electronics Network, HiTen 2017, 10-12 July 2017, Queens College, Cambridge, UK.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²Melexis GmbH, Erfurt. ³X-FAB Semiconductor Foundries AG, Germany, Erfurt.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

Neue miniaturisierte in-vitro Technologie-Konzepte für die Frühdiagnostik von Krebs,

Balázs NÉMETH¹. *MedTech-Summit, 20.-22. Juni 2017, Messe Nürnberg.* ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

> Inhalt

* Förderung

Knitty-fi, Michael RINK¹. 12th Silicon Saxony Day, 19.-20. Juni 2017, Dresden.

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

Measuring and Optimizing Efficiency of Electrostatic Energy Harvesters for Sensor Applications, Bjoern BIESKE¹. Gerrit KROPP¹. Alexander ROLAPP¹. Sensorica 2017, IEEE

Workshop, 8-9 June 2017, Mülheim an der Ruhr. <https://d-nb.info/1137195215>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

High Voltage RF-Multiplexer for Medical Applications, Bjoern BIESKE¹. Dagmar KIRSTEN². Sensorica 2017, IEEE Workshop, 8-9 June 2017, Mülheim an der Ruhr. [https://d-](https://d-nb.info/1137195215)

[nb.info/1137195215](https://d-nb.info/1137195215). ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ²XFAB-AG, Erfurt, Germany.

Next Generation Diagnostics: Highly Sensitive Integrated CMOS Photodiode Sensor Array for Light Absorption Measurement, Alexander HOFMANN¹. Michael MEISTER¹.

Sensorica 2017, IEEE Workshop, 8-9 June 2017, Mülheim an der Ruhr. <https://d-nb.info/1137195215> ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693

Ilmenau, Germany.

Influence of the design space dimensions on the power density of electromagnetic vibration energy harvesters, Bianca LEISTRITZ¹. 4th Workshop in Devices, Materials and Structures for Energy Harvesting and Storage, 17-18 May 2017, Oulu, Finland.

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

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Physical Design and Verification of MEMS, RoMulus – Robuste Multisensorik zur Zustandsüberwachung in Industrie-4.0-Anwendungen, Volker BOOS¹. Jenny KLAUS¹.

Gerold SCHRÖPFER³. Johannes EISENMENGER⁴. Johannes SEELHORST⁵. *edaWorkshop*

2017, 8-10 May 2017, Dresden. ¹X-FAB Semiconductor Foundries AG, Germany, Erfurt. ²IMMS Institut für

Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany. ³Coventor. ⁴Carl Zeiss SMT

GmbH, Germany. ⁵Robert Bosch, Germany.

Robust and Energy-Efficient Multi Sensor Systems, RoMulus – Robuste Multisensorik zur Zustandsüberwachung in Industrie-4.0-Anwendungen, Volker BOOS¹. T.

BÖSER². Eckhard HENNIG³. S. HEINßEN⁴. M. KELLER⁵. Muralikrishna SATHYAMURTHY⁶.

Ralf POPP⁷. *edaWorkshop 2017, 8-10 May 2017, Dresden.* ¹X-FAB Semiconductor Foundries AG,

Germany, Erfurt. ²Robert Bosch, Germany. ³Hochschule Reutlingen, Germany. ⁴Universität Bremen, Germany. ⁵Universität

Freiburg, Germany. ⁶IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau,

Germany. ⁷edacentrum, Germany.

Multi-Sensor Systems in Industrie 4.0 Applications, RoMulus – Robuste Multisensorik zur Zustandsüberwachung in Industrie-4.0-Anwendungen, Johannes EISEN-

MENGER¹. S. JÄGER². Volker BOOS³. Eric MARKWEG⁴. A. FROTZSCHER⁵. Ralf SOMMER⁶.

Gerold SCHRÖPFER⁷. *edaWorkshop 2017, 8-10 May 2017, Dresden.* ¹Carl Zeiss SMT GmbH,

Germany. ²microsensys GmbH, Germany. ³X-FAB Semiconductor Foundries AG, Germany, Erfurt. ⁴TETRA GmbH, Germany.

⁵Fraunhofer IIS, Germany. ⁶IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693

Ilmenau, Germany. ⁷Coventor.

RoMulus Ensures Systematic Design of Robust, Energy-Efficient Multi-Sensor Microsystems for Industry 4.0 Applications, Ralf SOMMER¹. *edaWorkshop 2017, 8-10*

May 2017, Dresden. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693

Ilmenau, Germany.

Hinters Licht geführt – Optical Wireless Links, Christian JORDAN¹. Andreas BLUSCH-

KE². Ralf BODEN¹. Ulrich LIEBOLD³. Philipp RIETZSCH². *11. ITG Fachkonferenz Breit-*

bandversorgung, 29.-30. März 2017, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, Berlin.

¹Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden. ²Teleconnect GmbH, Am Lehmborg 54, 01157 Dresden. ³IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Charakterisierung und Test von elektrostatischen Energieharvestern – Eine neue Schaltungstopologie für exaktere Messungen, Björn BIESKE¹. Gerrit KROPP¹. 29. *GI/GMM/ITG-Workshop, Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen (TuZ 2017)*, 5.-7. März 2017, Lübeck. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Elektrostatische Energie-Harvester: Neue Topologie - Genaue Messung der Energiebilanz und Leistung auch bei verlustbehafteten Dielektrika, Björn BIESKE¹. Gerrit KROPP¹. *Analog Workshop Berlin 2017, Technische Universität Berlin, Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik*, 2.-3. März 2017, Berlin. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Datenerfassung in urbanen Räumen mittels drahtloser Sensornetze, Marco GÖTZE¹. *Kickoff Forschergruppe Bauhaus-Universität Weimar – Digital Engineering für Planungs- und Revitalisierungsprozesse von Stadtquartieren*, 28. Februar 2017, Weimar. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrum Ilmenau, Jörg WEBER¹. *RIS3-Forum „Produktionsüberwachung und -steuerung“*, Technische Universität Ilmenau, 15. Februar 2017, Ilmenau. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Innovationen in der Produktionsüberwachung durch nachrüstbare Sensorik, Wolfram KATTANEK¹. *RIS3-Forum „Produktionsüberwachung und -steuerung“*, Technische Universität Ilmenau, 15. Februar 2017, Ilmenau. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Wirtschaft und Wissenschaft – Praxisbeispiele aus der Zusammenarbeit des IMMS mit Unternehmen, Wolfram KATTANEK¹. 1. Sitzung AWF – Arbeitsgemeinschaft Industrie 4.0, 13. Februar 2017, Ilmenau. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, 98693 Ilmenau, Germany.

Alle Publikationen auf www.imms.de.

Jahresbericht

KNITTY-fi – Kleidung mit gestrickten Schaltern und energieeffizienter, waschbarer Elektronik, TINO HUTSCHENREUTHER¹. *Silicon Saxony Arbeitskreis CPS*, 1. Februar 2017, Dresden.

¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH,

98693 Ilmenau, Germany.

Patente

Offengelegtes Patent: DE 10 2015 119 969 „Anordnung zum Betrieb und/oder zur Messung der Erzeugerleistung eines kapazitiven Energie-Harvesters“. Björn BIESKE. Gerrit KROPP.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

* Förderung

- 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 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.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- 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.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



- Das Projekt **MIMOSE** wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Kennzeichen **KF2534515CS4**.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Mehr zur

Förderung auf

www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2017

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



> *fast realtime*

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

- Das Projekt **AgAVE** wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie als Vorhaben der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) unter dem Kennzeichen **19341BG** gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



> PTB

> in-ovo

- Das Projekt **Ko²SiBus** wird durch die DFAM (Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V.) über die AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen als IGF-Vorhaben unter dem Kennzeichen **19574 BG** durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



> Inhalt

* Förderung



- 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.
- *Die Arbeiten zu KSS sind ein Teilvorhaben des Projekts „Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau“.*
- *Die Demonstrationslösung für die Schwimmhalle ist ein Teilvorhaben des Projekts „Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Ilmenau“.*

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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Mehr zur Förderung auf www.imms.de.

- Das IMMS hat im Auftrag des Veterinär Physiologisch-Chemischen Instituts der Universität Leipzig den Prototyp 1.0 für die automatisierte Probenentnahme zur endokrinologischen Geschlechtsbestimmung im Hühnerei entwickelt und aufgebaut. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung unter dem Kennzeichen **313-06.01-28-1-33.031-07** gefördert.

> *fast realtime*> *ANCONA*> *INSPECT*> *ADMONT*> *PTB*> *in-ovo*

- Die Arbeiten im Verbundprojekt **ADMONT** werden als industrielle Forschung (Innovation Action) im ECSEL-Programm als Teil des Forschungsrahmenprogramms Horizont 2020 durch die Europäische Union und das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 661796 gefördert, das Teilvorhaben des IMMS „Entwurf intelligenter in-vitro-diagnostischer und bioanalytischer Sensor- und Aktorsysteme“ unter dem Kennzeichen **16ESE0057**.

> *Inhalt** *Förderung*

- Die grundlegenden Arbeiten des IMMS im Projekt **Schwimmhalle** an der für den Demonstrator modifizierten BAsE-Box-Plattform wurden im Projekt **SHS-Facility** mit Mitteln des Freistaates Thüringen und der Europäischen Union (EFRE) unter dem Förderkennzeichen **2010 FE 9073** 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).



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



Ministerium
für Wirtschaft, Wissenschaft
und Digitale Gesellschaft

- Das Vorhaben **TSN** „Forschungsplattform für Datenintensive Real-Time Cyber-physische Produktionssysteme“ wird durch den Freistaat Thüringen unter dem Kennzeichen **2017 FGI 0006** gefördert.
- Das Infrastrukturprojekt **SensorLab** wurde gefördert vom Freistaat Thüringen unter dem Förderkennzeichen **13027-514**.



Hier hat Zukunft Tradition.

*Mehr zur**Förderung auf**www.imms.de.*

- Das IMMS wird als Mitglied der Forschergruppe **FOR 1522**



MUSIK der DFG im Teilprojekt 5 unter dem Förderkennzeichen **SCHA771/2-2** gefördert.

Jahresbericht

© IMMS 2017

- Das **Graduiertenkolleg 2182** „Spitzen- und laserbasierte 3D-Nanofabrikation in ausgedehnten makroskopischen Arbeitsbereichen“ wird unter dem Förderkennzeichen **DFG GRK 2182** der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

> fast realtime

> ANCONA

> INSPECT

> ADMONT

> PTB

> in-ovo

> Inhalt

* Förderung

Abkürzungen

5G Mobilfunkstandard der fünften Generation

6LoWPAN IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network, Kommunikationsprotokoll zur Funkdatenübertragung

ASIC Application-specific integrated circuit, Applikationsspezifische integrierte Schaltung

BMBF Bundesministerium f. Bildung u. Forschung

BMWi Bundesministerium f. Wirtschaft u. Energie

CMOS Complementary metal-oxide-semiconductor, Komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter

CP(P)S cyber-physisches (Produktions-) System

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

EDA Electronic Design Automation, rechnergestützte Entwurfsautomatisierung

EFRE Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

ESF Europäischer Sozialfonds

FTE Full-time equivalent, Vollzeitäquivalent

HF Hochfrequenz

IC Integrated Circuit, Integrierte Schaltung

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, weltweiter Berufsverband von Ingenieuren (v.a. Elektrotechnik, Informationstechnik)

IP Intellectual Property, u.a. vorgefertigter Funktionsblock eines ASIC-Designs

IPv6 Internet Protocol Version 6, standardisiertes Verfahren zur Datenübertragung in paketvermittelnden Rechnernetzen (Internet)

KMU kleine und mittlere Unternehmen

LDO Low Drop-Out, Low-Drop-Spannungsregler für geringe Spannungsdifferenzen

MCU Microcontroller Unit, Mikrocontroller-Einheit

MEMS Mikroelektromechanische Systeme

NFC Near Field Communication, Standard zu Nahfeld-Datenübertragung auf RFID-Basis

OPC UA Open Platform Communications Unified Architecture, industrielles Protokoll für die Kommunikation zwischen Maschinen

PID Proportional-Integral-Differential-Charakteristik

PMU Power Management Unit, Stromverwaltungseinheit

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

RFID Radio-frequency identification (Hochfrequenz-Identifikationsverfahren)

RMS Root Mean Square, Mittelwert der Regelabweichung

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

TDC Time-to-Digital Converter, elektronische Baugruppe zur Messung kurzer Zeitintervalle und Wandlung in eine digitale Ausgabe

TSN Time-sensitive Networking, Standards für die Übertragung mit sehr geringer Übertragungslatenz und hoher Verfügbarkeit

TU Technische Universität

ULP Ultra-Low-Power, extrem niedrige Leistungsaufnahme

WSN wireless sensor network, drahtloses Sensornetz

Herausgeber / Anbieterkennzeichnung

nach § 5 TMG, § 2 DLVO

IMMS Institut für Mikroelektronik-
und Mechatronik-Systeme
gemeinnützige GmbH
Ehrenbergstraße 27
98693 Ilmenau, Deutschland
+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 Matomo

Für die in der digitalen Version dieses Berichts mit www.imms.de verlinkten Inhalte nutzen wir Matomo (ehem. Piwik) für die anonymisierte Analyse und die Verbesserung unseres Jahresberichts. Die Open-Source-Software Matomo 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: www.BRANDTDRUCK.de

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

> *fast realtime*

> *ANCONA*

> *INSPECT*

> *ADMONT*

> *PTB*

> *in-ovo*

> *Inhalt*

* *Förderung*

*Ansprechpartner und
Anfahrt auf
www.imms.de.*

*Impressum
und rechtliche
Hinweise auf
www.imms.de.*

*Datenschutz-
erklärung auf
www.imms.de.*