

# MEMS REPORT

2 / 2018



## INHALT

Fraunhofer IPMS kooperiert mit der Cornell University

Li-Fi für drahtlose Kommunikation im Industriefeld: Schnellere, störungsfreie und sicherere Infrastrukturen

Ohne RFID und Sensorik keine Industrie 4.0

RFID & Blockchain für das Datenmanagement von Lieferketten

Mehr Raum für angewandte Forschung: Fraunhofer IPMS mit neuem Institutsteil an der BTU in Cottbus

Liebe Kunden, Partner und Freunde  
des Fraunhofer IPMS,

Themen wie Industrie 4.0 und das Internet der Dinge sind in aller Munde. Entgegen des oftmals erweckten Eindrucks gilt es nicht nur, entsprechende Geschäftsprozesse und Cloud-Anwendungen zu definieren. Es sind auch konkrete Hardware- und Software-Entwicklungen notwendig, um der Industrie den Zugang zu diesen Zukunftsfeldern zu ermöglichen. Die Automation von Produktionslinien und die lückenlose Überwachung von Lieferketten ist ohne energieautarke Sensorik nicht vorstellbar. Die so gewonnenen Sensor-Daten müssen drahtlos – entweder funkbasiert als RFID-Lösungen oder auch per Licht – mit geringer Latenzzeit zu einem zentralen Server übertragen werden. Dieser sollte nicht nur mit Sensorknoten eines einzigen Herstellers kommunizieren können, nur so kann der Anwender eine für seine Verhältnisse optimale Lösung gestalten. Gleichzeitig gilt es die Datenübertragung so zu sichern, dass Manipulationen und Hacker-Angriffe ausgeschlossen sind. Zu all diesen Themen finden Sie in der aktuellen Ausgabe unseres MEMS-Reports detailliertere Informationen. Mit den in der jüngsten Vergangenheit erzielten Forschungs- und Entwicklungsergebnissen positioniert sich das Fraunhofer IPMS als umfassender Entwicklungspartner für die Industrie auf diesen für die Zukunftsfähigkeit der Industrie so wesentlichen Themenfeldern.

Wir wünschen eine informative Lektüre des aktuellen MEMS Reports.



Prof. Dr. Harald Schenk

Prof. Dr. Hubert Lakner

## FRAUNHOFER IPMS KOOPERIERT MIT DER CORNELL UNIVERSITY

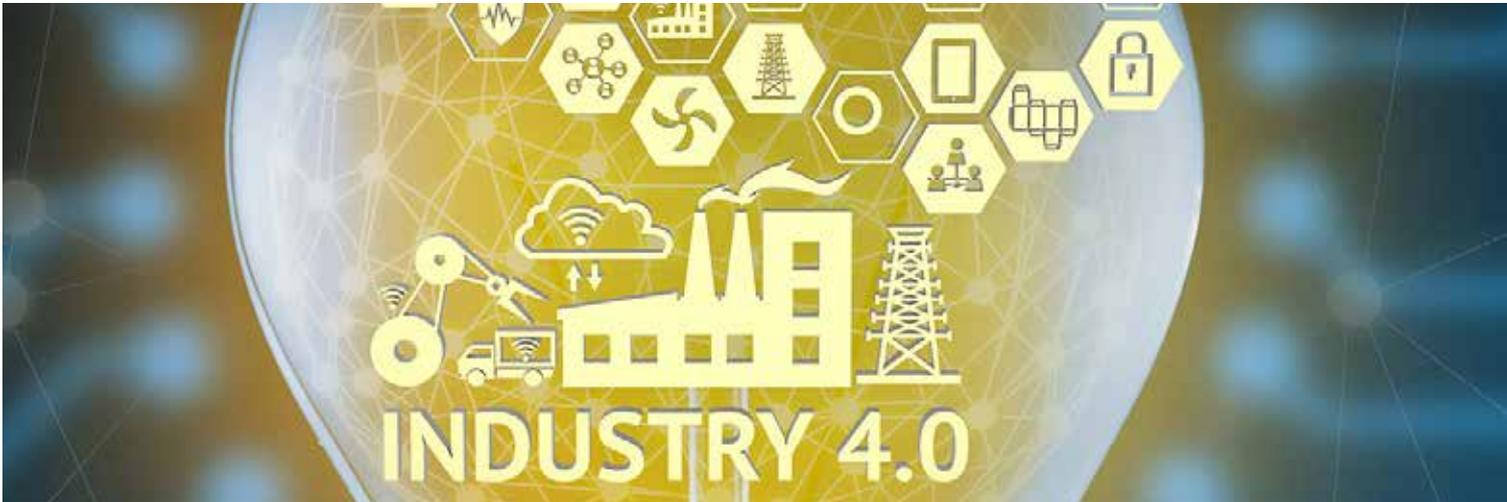
Das Fraunhofer IPMS und die NanoScale-Forschungseinrichtung (CNF) der amerikanischen Cornell Universität sind eine Kooperation eingegangen, um kleinen und mittleren Unternehmen bessere und schnellere Produktentwicklungen zu ermöglichen. Beide Einrichtungen haben dafür eine gemeinsame Prozess- und Equipmentliste erarbeitet, damit Kunden ihre F&E-Prototypenfertigung für die Mikro- und Nanotechnologieprozessierung zukünftig ohne Unterbrechung vom Labormaßstab zur Volumenfertigung zu transferieren.



Das CNF bietet seinen jährlich 600 externen Kunden eine flexible Umgebung für die Fertigung von Prototypen inklusive technischer Unterstützung in der F&E-Phase. Durch die Kooperation mit dem Fraunhofer IPMS wird das Angebot für Kunden erweitert, die siliziumbasierte Entwicklungen und MEMS-Fertigungslösungen wünschen, die über das Angebot von CNF hinausgehen. Das Fraunhofer IPMS bietet dafür F&E-Leistungen im Bereich Mikroelektronik bis hin zu eigenen Pilotfertigungslinien. Durch die gemeinsame Prozess- und Equipmentliste wird das Leistungsangebot um die beiden Reinräume des Fraunhofer IPMS erweitert: ein 200-mm-MEMS-Reinraum sowie ein 300-mm-CMOS-Reinraum, in denen unter Industriebedingungen neue Prozesse und Entwicklungen getestet und aufskaliert werden können.

Don Tenant, Leiter der Fertigung am CNF: »Wir freuen uns, unseren Kunden einen Partner präsentieren zu können, der sie dabei unterstützt ihre Konzepte und Prototypen für CMOS, siliziumbasierte Photonics und im MEMS-Bereich zu kommerzialisieren. Im Gegenzug können wir Fraunhofer-Kunden in einer früheren Entwicklungsphase dabei unterstützen, ihre Technologieansätze zu optimieren.« Martin Landgraf, Programmkoordinator am Fraunhofer IPMS, ergänzt: »Wir freuen uns über die Kooperation, in der Kunden vor allem von den neuen, millionenschweren Investitionen in Prozessierungsequipment und Anlagenerweiterungen profitieren können. Weiterhin bieten wir umfangreiche Erfahrungen bei Lab-to-Fab-Services, ein großes Netzwerk und eine hohe Verfügbarkeit unserer Halbleiter-Screening-Kapazitäten«.

## LI-FI FÜR DRAHTLOSE KOMMUNIKATION IM INDUSTRIEUMFELD: SCHNELLERE, STÖRUNGSFREIE UND SICHERERE INFRASTRUKTUREN



Nicht nur im privaten Umfeld, auch in der hochautomatisierten Industrie hat die kabellose Datenübertragung via WLAN in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Denn im Zeitalter der Digitalisierung, in der immer größere Datenmengen übertragen werden müssen, erhöht sich der Aufwand für Installation und Wartung von kabelgebundenen Netzwerken.

Kabelgebundene Technologien lassen sich nicht überall einsetzen. Drahtlose Systeme eignen sich häufig besser – insbesondere bei beweglichen Anlageteilen oder mobilen Maschinen. Viele Funktechnologien wie WLAN erreichen allerdings in Umgebungen mit vielen Netzwerkteilnehmern rasch ihre Grenzen: nicht selten sind sie zu langsam und außerdem störanfällig. In Industrieumfeldern mit vielen Netzwerkteilnehmern können Sicherheitsanwendungen mit schnellen Zykluszeiten deswegen nicht zuverlässig über WLAN-Verbindungen betrieben werden. Zusätzlich ist WLAN hinsichtlich der Abhörsicherheit bedenklich. Denn die Funksignale können durch Wände und Maschinengehäuse dringen und mit einem Empfangsgerät in Reichweite abgehört werden. Li-Fi (Light Fidelity)-Technologie, also die Datenübertragung durch Licht, löst viele dieser Probleme. »Li-Fi nutzt das weltweit nicht regulierte Spektrum des Lichts«, erläutert Dr. Alexander Noack, Chefentwickler am Fraunhofer IPMS. »Die verfügbare Bandbreite dieses Spektrums ist ausschließlich durch die für die Modulation bzw. Demodulation eingesetzten opto-elektronischen Bauelemente begrenzt und erlaubt enorm hohe Nettodatenraten«. Die Echtzeitfähigkeit ist ein weiteres Merkmal des Systems. Alexander Noack: »WLAN realisiert eine paketbasierte und asynchrone Datenübertragung. Li-Fi hingegen versendet Daten kontinuierlich in einem Strom. Anwendungen in denen Datenberechnung und -übertragung ein vorbestimmtes

Zeitlimit nicht überschreiten dürfen, können mit Li-Fi betrieben werden. Dabei können mehrere Datenlinks im Raummultiplexverfahren parallel aufgebaut werden, ohne dass Interferenzen zwischen den einzelnen Datenlinks bestehen. Dies ermöglicht eine störungssichere Industrieumgebung und eine sehr hohe Dichte von Datenübertragungszellen. Li-Fi-Technologie ist allerdings an eine Grundvoraussetzung gebunden: Die Datenübertragung funktioniert nur, wenn die Sichtachse zwischen Sender und Empfänger frei ist. Aus Sicht der Datensicherheit betrachtet, ist das der größte Vorteil. Denn Licht kann Wände oder andere Hindernisse nicht durchdringen. Daten lassen sich so von außen nicht abhören. Ob Li-Fi eine Alternative für spezifische Anwendungsfälle ist, lässt sich häufig nur durch Tests unter realen Anwendungsbedingungen herausfinden. Das Fraunhofer IPMS bietet seinen Kunden dafür Li-Fi HotSpots als Evaluation-Kit an. Optische Datenlinks können so mit einer Datenrate von 1 Gbit/s auf einer Distanz von fünf Metern aufgebaut werden. Ohne zusätzlichen Aufwand ist das Modul über ein CAT5-Kabel in bestehende Systeme integrierbar. Mit dem Modul können Punkt-zu-Punkt Verbindungen im Halb- oder Vollduplexmodus aufgebaut werden. Je nach Anwendungsfall kann der HotSpot in Größe, Datenrate, Datenübertragungs-Distanz und Schnittstellen an spezifische Kundenanforderungen optimiert und weiterentwickelt werden. Schnittstellen wie USB 3.0, Ethernet, Gigabit-Ethernet wurden bereits in Industrieanwendungen realisiert. Auch verschiedene Verbindungsarten wie Punkt zu Punkt, Punkt zu Multipunkt oder Multipunkt zu Multipunkt können umgesetzt werden. Mögliche Anwendungen finden sich in beweglichen oder rotierenden Systemen und überall dort, wo Kabel, Schleifringe und Steckverbinder nur beschränkt einsetzbar sind oder wo große Datenmengen, wie etwa Videodaten, zur Prozesskontrolle übertragen werden müssen.

## OHNE RFID UND SENSORIK KEINE INDUSTRIE 4.0



Systemkonzept des Fraunhofer IPMS aus verschiedenen drahtlosen RFID-Sensoren und eigens entwickelter RFID-OPC-UA-Middleware.

Ob Kostensenkungen durch Predictive Maintenance, transparente Lieferketten oder durch Werkstücke gesteuerte Produktionslinien. All das lässt sich nicht ohne das Zusammenwirken von Identifikationsverfahren, Sensoren, Software und sicheren Datenspeicherungskonzepten lösen. Sensoren spielen neben der Auto-ID-Technologie RFID in der Welt von Industrie 4.0 eine Hauptrolle. Reale Objekte müssen eindeutig identifizierbar sein, um sie in der virtuellen Welt zuzuordnen. Die verschiedenen Zustände der zugeordneten Objekte werden von Sensoren erfasst. Experten vom Fraunhofer IPMS haben beides kombiniert und verbinden damit beide Funktionalitäten: Die automatische Identifikation von Objekten und die drahtlose Erfassung von Sensordaten, wie Temperatur, Neigung, Feuchtigkeit und einiges mehr.

Mit der reinen Hardware ist es aber nicht getan. »Haben Unternehmen bereits RFID-Technologien in ihre Prozesse eingebunden, stehen sie heute oft vor der Problematik an bestimmte Hersteller gebunden zu sein. Unterschiedliche Komponenten lassen sich über verschiedene Frequenzen und Hersteller nicht ohne hohen Integrationsaufwand kombinieren und an übergeordnete Leit-

systeme und Cloud-Services anbinden«, erklärt Dr. Frank Deicke, Geschäftsfeldleiter Wireless Microsystems am Fraunhofer IPMS. Abhilfe verschafft die entwickelte RFID Middleware, die auf der OPC-UA-Auto-ID-Companion Spezifikation basiert und damit eine vereinfachte Systemintegration ermöglicht.

Typische Anwendungen von RFID-Sensor-Systemen sind laut Dr. Deicke in Bereichen zu finden, in denen die Notwendigkeit für drahtlose Messwerverfassung und Datenübertragung besteht. Die Temperaturüberwachung beweglicher Güter entlang der Logistikkette, die Überwachung mechanischer Beanspruchung an rotierenden Bauteilen von Werkzeugmaschinen oder die Überwachung von Feuchtigkeits- und Temperaturwerten in schwer zugänglichen oder rauen Umgebungen können solche Anwendungsbereiche sein.

Die Erfassung und Verarbeitung von Daten alleine reicht heute jedoch zumeist nicht aus. In heutige Produktionsprozesse sind viele verschiedene Hersteller, Logistikunternehmen und andere Teilnehmer involviert. Die Daten, gewonnen aus Fertigungs- und Lieferprozessen, sollen oft über die gesamte Supply Chain transparent und manipulationssicher zur Verfügung stehen. Die Blockchain-Technologie bietet dafür einen Ansatz.

## RFID & BLOCKCHAIN FÜR DAS DATENMANAGEMENT VON LIEFERKETTEN



RFID-Sensor-Daten in der Blockchain.

Blockchain ist auch in der Logistik das neue Zauberwort, wenn es darum geht, Identifikations- und Zustandsdaten von Waren entlang der kompletten Lieferkette sicher zu protokollieren und auszutauschen, um so eine transparente Supply Chain für alle Beteiligten zu schaffen. Das Fraunhofer IPMS entwickelt für die Identifikation und das Messen von Zuständen drahtlose RFID-Sensor-Systeme, die in vielfältigen Branchen eingesetzt werden können, und bietet darauf aufbauend Softwarelösungen, die um Blockchain-Konzepte erweitert werden können.

In einer Blockchain (»Informationskette«) werden Daten in Blöcken chronologisch abgelegt, so dass sie für alle Teilnehmer des Netzwerks sichtbar und nachvollziehbar sind. Die Technologie erlaubt, dass die beteiligten Akteure ohne regulierende Intermediäre interagieren können. Das dafür notwendige Vertrauen entsteht, indem die Daten kryptologisch gesichert und nicht in einer zentralen Datenbank, sondern verteilt bei allen Netzwerkteilnehmern rückverfolgbar gespeichert werden. Transaktionen können so nachträglich nicht verändert werden. Das aus der Kryptowährung Bitcoin bekannte Blockchain-Konzept hat damit auch für das Datenmanagement von Lieferketten in Automatisierungs- und Logistikprozessen großes Potenzial, um Transporte zu beschleunigen, Betrug und Fehler zu vermeiden sowie Ausschuss und Kosten zu reduzieren. RFID-Transponder, also die Verbindung von Antennen-, Identifikations- und Sensortechnologie auf einem Chip, sind geeignet, um relevante Parameter im Lieferprozess zu erfassen. »Unsere

passiven RFID-Sensor-Transponder messen physikalische Parameter wie Feuchtigkeit, Erschütterung oder Temperatur und übertragen diese drahtlos an einen Reader, der auch die Energie bereitstellt«, erläutert Dr. Andreas Weder, Teamleiter am Fraunhofer IPMS.

»Sie sind klein, leicht, wartungsfrei, benötigen keine eigene Stromversorgung und lassen sich deswegen unkompliziert in unterschiedliche Ladungsträger integrieren.« Die Sensortransponder des Fraunhofer IPMS unterstützen damit nicht nur die bereits etablierte Identifikation und Sendungsnachverfolgung von Waren zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern geben auch Auskunft darüber, was mit Rohstoffen, Halbfertigfabrikaten und Endprodukten bei ihrem Gang durch die Lieferkette geschehen ist. Werden die Daten in einer Blockchain gespeichert, sind sie für alle Teilnehmer der Lieferkette verlässlich und nachvollziehbar.

Welcher Sensor für welche Anwendung geeignet ist, wird typischerweise im Rahmen eines Proofs of Concept im Vorfeld erarbeitet. Dabei spielen Umgebung, Trägermaterial und Positionierung der Antennen ebenso eine Rolle wie das Design der RFID-Sensor-ASICs für verschiedene Frequenzbereiche und die Integration der Daten in existierende Systeme. Dazu analysieren die Experten vom Fraunhofer IPMS die anwendungsspezifischen Umgebungen der Kunden im Rahmen von Simulationen. Das Fraunhofer IPMS bietet Customer Evaluation Kits zur individuellen Erprobung an. Abgerundet wird das Angebot mit individuellen Hard- und Softwarelösungen, um die Kompatibilität mit vorhandenen Anlagen sicherzustellen und die bei Langzeitmessungen anfallenden großen Datenmengen je nach Anforderung zu analysieren und auszuwerten.

## MEHR RAUM FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG: FRAUNHOFER IPMS MIT NEUEM INSTITUTSTEIL AN DER BTU IN COTTBUS



*Feierliche Eröffnung des neuen Institutsteils »Integrated Silicon Systems« des Fraunhofer IPMS an der BTU Cottbus-Senftenberg mit Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer, Fraunhofer IPMS Leiter Prof. Harald Schenk, Brandenburgs Wissenschaftsministerin Dr. Martina Münch und BTU-Präsident Prof. Jörg Steinbach (v.l.n.r.).*

Das Fraunhofer IPMS eröffnete am 19. April 2018 feierlich mit Gästen aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft seinen neuen Institutsteil »Integrated Silicon Systems«, kurz Fraunhofer IPMS-ISS, am Zentralcampus der BTU Cottbus-Senftenberg. Die Arbeiten im neuen Institutsteil wurden bereits zu Beginn dieses Jahres aufgenommen und umfassen das Geschäftsfeld »Monolithisch Integrierte Aktor- und Sensorsysteme« sowie die Arbeitsgruppe »Terahertz-Mikromodule und -Applikationen«.

Die vorgesehenen Entwicklungen werden den Menschen in vielen Bereichen seines Lebens unterstützen. So arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im neuen Geschäftsfeld beispielsweise an Mikrolautsprechern, die nur wenige Millimeter groß aber dennoch mit perfektem Klang bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch ausgestattet sind und für Hearables oder medizinische Hörgeräte eingesetzt werden sollen. Aber auch Mikrodosiereinheiten für beispielsweise Insulinpumpen sind Gegenstand der Forschungsarbeiten. All dies wird durch neuartige Aktoren und Sensoren ermöglicht, die am Fraunhofer IPMS-ISS entwickelt werden und auf einem völlig neuen, in den Vorjahren erforschten Antriebsprinzip für mikromechanische Bauelemente beruhen. Auch auf dem Gebiet »Terahertz« arbeiten die Forscherinnen und Forscher an der Behebung alltäglicher Probleme und wollen einen Weg finden, über neuartige Bauelemente die Nutzung der Tera-

hertz-Strahlung deutlich zu erweitern. Anders als beispielsweise Röntgenstrahlung ist diese nicht ionisierend und somit auch nicht schädlich für das Gewebe, das sie durchdringt. Diesen Vorteil will man am Fraunhofer IPMS-ISS nutzen, um kompakte und mobile Prüfsysteme zu entwickeln, die in der Medizin und Biotechnologie, Sicherheitstechnik, Gefahrstoffdetektion oder zerstörungsfreier Werkstoffprüfung einsetzbar sind. Aufwändige, stichprobenartige Verfahren sollen damit der Vergangenheit angehören.

Prof. Harald Schenk, Leiter des Fraunhofer IPMS in Dresden und Inhaber der Professur Mikro- und Nanosysteme an der BTU Cottbus-Senftenberg, initiierte 2012 die Zusammenarbeit beider Institutionen mit dem Aufbau der Fraunhofer-Projektgruppe »Mesoskopische Aktoren und Systeme« (MESYS) vor Ort in Cottbus und legte damit den Grundstein für den neuen Institutsteil. »Was wir hier in den letzten sechs Jahren geschaffen und geschafft haben, ist enorm«, so Schenk und führt aus: »Im Rahmen der Projektgruppe wurde eine komplett neue Klasse elektrostatischer Mikroaktoren entwickelt und patentiert. Momentan gibt es acht weitere angemeldete Patentfamilien, die ersten Ergebnisse werden in den praktischen Einsatz überführt, wir haben für unsere Arbeit der letzten Jahre mehrere Preise erhalten und sogar eine Ausgründung ist in Planung. Der Weg, den wir gegangen sind, ist maßgeblich und bezeichnend für Fraunhofer. Doch ohne die Unterstützung des Landes Brandenburg, speziell die des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur MWFK, und die der BTU

Cottbus-Senftenberg wäre dieser Weg nicht möglich gewesen. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle auch noch einmal herzlich bedanken und wünsche uns allen für die Zukunft viel Erfolg.«

Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft schließt sich Prof. Schenks Worten an: »Als Fraunhofer-Projektgruppe gestartet, wird nun mit dem neuen Institutsteil des Fraunhofer IPMS die erfolgreiche Kooperation vor Ort mit der BTU Cottbus-Senftenberg fortgeführt. Auf diese Weise verstetigen wir die Fraunhofer-Forschung in Brandenburg. Gerade der Bereich der neuartigen Aktoren und Sensoren ist ein aussichtsreiches Forschungsfeld mit vielfältigen industriellen Einsatzbereichen. Durch den Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie legen wir nicht nur die Basis für innovative neue High-Tech-Anwendungen, sondern leisten auch einen entscheidenden Beitrag zur Stärkung der lokalen Wirtschaft und Zukunftsfähigkeit der Region.«

Die Ansicht Neugebauers bekräftigt auch Dr. Martina Münch, Wissenschaftsministerin des Landes Brandenburg, mit den Worten: »Die erfolgreiche Förderung von anwendungsorientierter Forschung ist eine Investition in die Zukunft und trägt zur nachhaltigen Stärkung und Weiterentwicklung der Lausitz und darüber hinaus bei. Diese Entwicklung kann auch für weitere Forschungsaktivitäten beispielgebend sein, neue Impulse für wirtschaftliche Entwicklungen geben und einen wichtigen Beitrag für die Schaffung hochqualifizierter Arbeitsplätze in der Region leisten – das ist gerade vor dem Hintergrund der Herausforderung des Strukturwandels in der Lausitz von zentraler Bedeutung. Deswegen haben wir den Aufbau dieses ersten Institutsteils der Fraunhofer-Gesellschaft an der Brandenburgischen Technischen Universität in den vergangenen fünf Jahren mit rund drei Millionen Euro unterstützt.«

Und auch Prof. Jörg Steinbach, Präsident der BTU Cottbus-Senftenberg zeigt sich hoch erfreut und sagt abschließend: »Die Ansiedlung des neuen Institutsteils des Fraunhofer IPMS an der BTU ist ein wichtiger Schritt, um unsere Partnerschaften mit renommierten außeruniversitären Forschungseinrichtungen auszubauen und weiter zu festigen. Ich bin sicher, dass diese Kooperation und die daraus resultierenden Hightech-Anwendungen positiven Einfluss auf Region und Gesellschaft haben werden, zumal die Forschungsaktivitäten am Fraunhofer IPMS-ISS durch ein weiteres Projekt »Adaptive Integrierte Systeme«, gefördert durch das Land Brandenburg, gestärkt werden soll. Das und die geplante Einrichtung von zwei weiteren Fraunhofer-Forscherguppen im Bereich der Polymermaterialien und der Biotechnologie an der BTU macht mich stolz und zeigt, dass wir mit unserer Forschungsstrategie im fünften Jahr des Bestehens dieser jungen Universität auf dem richtigen Weg sind.«

## TERMINVORSCHAU

### Sensors Expo & Conference

San Jose, CA, USA 26. - 28. Juni 2018  
McEnery Convention Center, Stand 1318

### Sensor & Test

Nürnberg, Deutschland 26. - 28. Juni 2018  
Messezentrum Nürnberg, Halle 5, Stand 5-248

### Semicon West

San Francisco, CA, USA 10. - 12. Juli 2018  
Moscone Center

### European MEMS Summit

Grenoble, Frankreich 19. - 21. September 2018  
MINATEC innovation campus

### Photonik Tage

Berlin, Deutschland 18. - 19. Oktober 2018  
Bunsensaal der WISTA

[www.ipms.fraunhofer.de/de/events.html](http://www.ipms.fraunhofer.de/de/events.html)

### Folgen Sie uns auch auf:



[facebook.com/FraunhoferIPMS](https://facebook.com/FraunhoferIPMS)



[twitter.com/FraunhoferIPMS](https://twitter.com/FraunhoferIPMS)



[xing.com/companies/fraunhoferipms](https://xing.com/companies/fraunhoferipms)



[linkedin.com/company/fraunhofer-ipms](https://linkedin.com/company/fraunhofer-ipms)



[youtube.com/user/fraunhoferipms](https://youtube.com/user/fraunhoferipms)

### Weitere Informationen:

Dr. Michael Scholles, Leiter Business Development & Strategy  
Tel.: +49 351 88 23 201

E-Mail: [info@ipms.fraunhofer.de](mailto:info@ipms.fraunhofer.de)

Das Fraunhofer IPMS ist Teilnehmer der



**Forschungsfabrik  
Mikroelektronik**  
Deutschland

#### **IMPRESSUM**

Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden

Tel.: +49 351 88 23-0, Fax: +49 351 88 23-266, [www.ipms.fraunhofer.de](http://www.ipms.fraunhofer.de)

Redaktion: Romy Zschiedrich, Moritz Fleischer, [info@ipms.fraunhofer.de](mailto:info@ipms.fraunhofer.de)

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit Genehmigung des Fraunhofer IPMS.

Fotos: Fraunhofer IPMS, S. 2 © CNF, S. 6 © BTU Cottbus-Senftenberg