

# Mikroelektronik Nachrichten

April 2021 **82**

**MENSCHEN. MACHEN.  
MIKROELEKTRONIK.**



**Forschungsfabrik  
Mikroelektronik**  
Deutschland

## Liebe Leserinnen und Leser,

mit dieser Frühlingausgabe der »Mikroelektronik Nachrichten« halten Sie ein Verbund-Magazin in den Händen, das zum ersten Mal über die Grenzen des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik hinaus auf die Kooperation »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« (FMD) mit allen ihren Partnern aus der Fraunhofer-Gesellschaft und Leibniz-Gemeinschaft ausgeweitet wird.

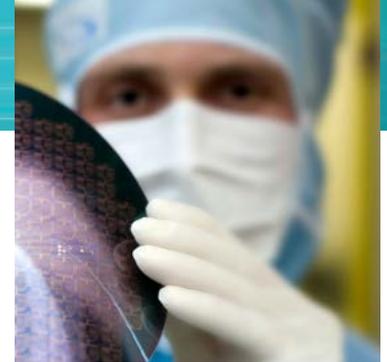
Die »Mikroelektronik Nachrichten«, die im Oktober 2000 erstmalig und mit nur vier Seiten erschienen, veröffentlichen seitdem regelmäßig Neuigkeiten aus dem Verbund und seinen Instituten. So wie im Laufe der Zeit die Zahl der Mitgliedsinstitute zunahm, wuchs auch die Themenvielfalt und damit auch unser Magazin.

Die technologischen Erfolge und Highlights aus 20 Jahren Fraunhofer-Mikroelektronik-Forschung haben wir letztes Jahr kurz vor Weihnachten in einer Jubiläumsausgabe gewürdigt. In der aktuellen Ausgabe geben die Köpfe innerhalb der FMD und des Verbunds unter dem Motto »Menschen.Machen.Mikroelektronik« Einblicke in ihre Arbeit: Mit Forscherinnen und Forschern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aller 18 Kooperationspartner in der FMD sprachen wir über zukunftsweisende Technologien und ließen uns ihre tägliche Arbeit näherbringen. Alles Menschen, die trotz aller aktuellen Widrigkeiten in Zeiten der Covid19-Pandemie hochmotiviert und mit beeindruckender Kreativität und wissenschaftlicher Kompetenz unsere Zukunft mitgestalten!

Insgesamt rund 3.500 Forscherinnen und Forscher innerhalb der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland suchen täglich nach Antworten auf wirtschaftlich und gesellschaftlich relevante Fragen: Mit welchen Technologien und innovativen Elektroniksystemen können wir die Herausforderungen unserer Zeit bewältigen? Künstliche Intelligenz, Industrie 4.0, Smart Living oder autonomes Fahren – all diese digitalen Entwicklungen benötigen neue Verfahren, Prozesse und Geschäftsmodelle für die Übertragung, Speicherung und Verarbeitung der Daten. Wo und wie kann die Mikroelektronik als Basistechnologie zur leistungsfähigen, vertrauenswürdigen und ressourceneffizienten Unterstützung eingesetzt werden?

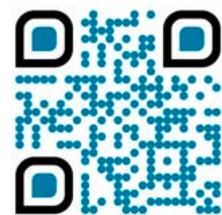
Einen wichtigen strategischen Schritt, um den Einsatz der Mikroelektronik zu stärken, sind die Mitgliedsinstitute des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik mit den Leibniz-Instituten FBH und IHP bereits gegangen. Die mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Jahre 2017 aus dieser Kooperation hervorgegangene Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland ist heute auf gutem Weg, sich als ein Zukunftsmodell der deutschen Forschungslandschaft zur Bewältigung der großen globalen Herausforderungen zu etablieren.

Nun laden wir Sie herzlich auf eine Reise durch die Institute ein und wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen!



© Fraunhofer IZM / Volker Mai

Mehr Einblicke in die Arbeit innerhalb der FMD finden Sie auch auf unserem YouTube-Kanal:



Hier können Sie sich für unsere Digitalkonferenz zur Verstärkung der FMD am 22. April 2021 anmelden:





Dr. Stephan Guttowski.  
© Fraunhofer Mikroelektronik

Dr. Stephan Guttowski studierte Elektrotechnik an der TU Berlin und promovierte anschließend im Bereich Elektromagnetische Verträglichkeit. Es folgte ein Post-Doc-Aufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) in Cambridge, USA. Nach seiner Rückkehr arbeitete er zunächst im Forschungslabor Elektrische Antriebe der DaimlerChrysler AG und wechselte 2001 in das Fraunhofer IZM. Hier war er zunächst Leiter der Gruppe Advanced System Development, dann übernahm er die Abteilung System Design & Integration. Von Juni 2017 bis Dezember 2020 begleitete er die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) als Technologiepark-Manager für Heterointegration. Seit Januar 2021 leitet er die gemeinsame Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und der FMD.

Mit seinen Kollegen (v.l.n.r.)  
Dr. Dirk Nüßler (Fraunhofer FHR),  
Dr. Andreas Grimm und Dr. Patrick  
Bressler während der letzten FMD  
Innovation Days am Leibniz IHP.  
© Fraunhofer Mikroelektronik /  
Uwe Steinert

#### ■ Kontakt:

Dr. Stephan Guttowski  
stephan.guttowski@  
mikroelektronik.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik  
Forschungsfabrik Mikroelektronik  
Deutschland  
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2  
10178 Berlin  
www.mikroelektronik.fraunhofer.de  
www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de

## »Wir sind bereit für die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Elektronikforschung«

Dr. Stephan Guttowski heißt der neue Leiter der gemeinsamen Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Der langjährige Fraunhofer-Mitarbeiter übernahm die Leitung am 1. Januar 2021. Schon zuvor setzte er sich für die institutsübergreifende Kooperation innerhalb der FMD als Technologiepark-Manager für Heterointegration ein.

### Dr. Guttowski, Glückwunsch zu Ihrer neuen Position. Wie fühlt es sich an, der Leiter der zusammengelegten Geschäftsstelle zu sein?

Vielen Dank! Es fühlt sich sehr gut an und trotz aller Widrigkeiten zur Bewältigung der Corona-Pandemie blicke ich mit Zuversicht in die Zukunft. Zum einen sind die Fußstapfen, in die ich nun trete, groß: Jörg Amelung und Michael Galetzka haben die FMD in den letzten drei Jahren erfolgreich durch die Aufbauphase geleitet, Patrick Bressler hat in der Nachfolge von Joachim Pelka die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik durch diese bewegten Zeiten geführt. Zum anderen steht die gemeinsame Geschäftsstelle vor der Herausforderung, den bishe-

Technologieangebot, aktuelle Forschungsprojekte und wie wir die Herausforderungen der Zukunft annehmen wollen.

### Wo möchten Sie als der neue Geschäftsstellenleiter besondere Akzente setzen?

Für mich sind es vor allem drei Aufgabenbereiche, in denen wir als Geschäftsstelle sichtbar werden wollen. Zuerst einmal ist es das aktive Business Development auf der Basis der komplementären Kompetenzen unserer Institute. Das erfordert eine gute Zusammenarbeit auf den als wegweisend erkannten Gebieten. Hier sehe ich die zweite Aufgabe der Geschäftsstelle – die Expertinnen und Experten an einen Tisch zu bringen und ein gemeinsames technologisches Portfolio zu entwickeln. Den dritten Bereich unserer Tätigkeit sehe ich in der Kommunikation und der Sichtbarkeit unseres Leistungsangebots. Ich bin oft erstaunt, wie wenig über zukunftsweisende Ergebnisse der Forschungsarbeit bekannt ist. Daran müssen wir arbeiten, um gemeinsam die Zukunft nachfolgender Generationen zu sichern.

### Und zu guter Letzt: Woher kommt Ihre Motivation?

Was mich antreibt, sind sowohl die ganz großen aber auch ganz kleine Themen. Ich denke, dass in einem Land wie Deutschland, Zukunft und Wohlstand kommender Generationen maßgeblich davon abhängen, dass wir den technologischen Fortschritt nicht nur verstehen, sondern selbst mitgestalten. Dass Unternehmen – egal ob große internationale Konzerne oder kleine erst frisch gegründete Startups – den bestmöglichen Zugang zu neuen Konzepten und Lösungen aus der Forschung erhalten. Gleichzeitig empfinde ich es als höchst motivierend mich mit den Forschenden auszutauschen und zu sehen, welche hervorragende Arbeit in unseren Instituten geleistet wird, mit welcher Begeisterung neue Ideen verfolgt und neue Ansätze erprobt werden.



rigen Erfolg fortzuführen und gleichzeitig Synergien für die Fraunhofer- und Leibniz-Institute in der FMD, deren Vertretung wir hier organisieren, in einem nachhaltigen Regelbetrieb zum Wohle aller zu heben.

### Woran arbeiten Sie und Ihr Team gerade?

Neben den institutsübergreifenden Projekten, die die Geschäftsstelle koordiniert, sind wir aktuell dabei, unsere Außendarstellung zu schärfen. In wenigen Tagen veranstalten wir beispielsweise unsere Digitalkonferenz zur Verstärkung der FMD. Unter dem Motto: **»Impulsgeber FMD: Angebot & Potenzial – Köpfe & Know-how«** berichten wir am **22. April 2021** über unser erweitertes

## »Nur durch Vernetzung und Kooperation werden wir die Erwartungen an die moderne Mikroelektronik erfüllen«

Mikroelektronik bildet die Grundlage für die Innovationskraft in vielen Branchen. Um die europäische Halbleiter- und Elektronikindustrie im globalen Wettbewerb zu stärken wurde 2017 die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) ins Leben gerufen. Über das Erreichte und die Erwartungen an die moderne Mikroelektronik sprachen wir mit dem Vorsitzenden der FMD und dem Sprecher des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik, Professor Albert Heuberger.

### Prof. Heuberger, der Aufbau der FMD ist weitgehend abgeschlossen: Was wurde erreicht und wie geht es jetzt weiter?

Die umfangreichen Investitionen in die Infrastrukturen der Institute konnten bis auf wenige durch die Covid19-Pandemie bedingte Verzögerungen abgeschlossen werden. Nun sind wir in der Phase der Umsetzung und Verstetigung des Modells der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland. Einen ersten Schritt haben wir mit der Neuaufstellung der Geschäftsstelle schon getan. Schon jetzt gilt die FMD als Vorbild, wenn es darum geht, unterschiedliche Kompetenzen der verschiedenen Institutionen mit einer gemeinsamen Strategie und mit gebündelten Angeboten an die Industrie aufzustellen.

Auch weiterhin gilt: Durch konsequente Verknüpfung und strategische Weiterentwicklung der Expertise unserer Institute auch zukünftig die technologische Souveränität und Attraktivität von Deutschland und Europa für die Spitzenforschung aufrechtzuerhalten! Es ist wichtig, die Zukunftsthemen zielgerichtet und gemeinsam voranzutreiben – um gegenüber den Wettbewerbern in den USA und Asien schneller zu agieren als in der Vergangenheit.

### Mit der Digitalisierung stehen viele Branchen vor einem tiefgreifenden Umbruch. Welche Herausforderungen gilt es für die Mikroelektronik dabei zu bewältigen?

Künstliche Intelligenz (KI), Industrie 4.0, autonomes Fahren – all diese digitalen Entwicklungen benötigen neue Verfahren, Prozesse und Geschäftsmodelle für die Übertragung, Speicherung und Verarbeitung der Datenmengen. Die heute existierenden Computertechnologien werden neuen Anforderungen an Energieverbrauch,

Datenverarbeitung und Transferzeiten kaum mehr gerecht. Mit der wachsenden Abhängigkeit von digitalen Netzen und Daten, steigen auch die Anforderungen an die Sicherheit. Dabei kommt vor allem der technologischen Souveränität, also der Selbstbestimmung und Kontrolle über Systeme und Daten, in Deutschland und Europa eine zentrale Rolle zu. Bislang führte die Marktmacht vor allem US-amerikanischer IT-Konzerne wie Microsoft und Google zu nahezu alternativen Abhängigkeiten. Gleiches gilt im Bereich der Chipfertigung, die zum überwiegenden Teil in Asien stattfindet.

Vertrauenswürdige Elektronik und Datensicherheit sind die Basis für alle digitalen, vernetzten Systeme, speziell für das Internet der Dinge, aber auch KI. Vor allem dort, wo personenbezogene oder sicherheitskritische Daten verarbeitet werden, wie in der Medizintechnik, beim autonomen Fahren oder bei kritischen Infrastrukturen, ist es essentiell, dass die Eigentümer die vollständige Kontrolle über ihre IKT-Systeme haben und Nutzer über die Eigenschaften der von



Prof. Albert Heuberger.  
© Fraunhofer IIS

Prof. Albert Heuberger ist seit 2011 Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS. Prof. Heuberger ist unter anderem im Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR) der Fraunhofer-Gesellschaft, er ist Mitglied im Vorstand des Medical Valley Europäische Metropolregion Nürnberg (EMN) e.V., im Hochschulrat der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm und der Hochschule Coburg sowie im Programm Ausschuss Kommunikation und Navigation der Deutschen Raumfahrtagentur. 2017 wurde er als Mitglied in die acadtech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, berufen. Für seine Verdienste rund um die Fraunhofer-Gesellschaft erhielt er im Jahr 2019 die Fraunhofer-Medaille. Seit 2020 ist Prof. Heuberger Vorsitzender der FMD und Sprecher des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik.

*Um Elektronik sicher und zuverlässig einzusetzen, muss man nachvollziehen können, was sie macht und wie sie aufgebaut ist.*  
© Fraunhofer IIS / Katharina Knaut



Beispiel für ein energiesparendes, lernfähiges System der Zukunft: die »intelligente Schraubverbindung«.  
© Fraunhofer IIS

ihnen genutzten Systeme informiert werden. Betrachtet werden muss dabei der gesamte Datenfluss – vom Endkunden bis zu der eigentlichen Hardware, die die Daten verarbeitet.

### Können Sie uns Beispiele nennen wie die FMD der Industrie hierbei hilft?

Für neue Forschungsgebiete, die diese übergreifenden Kompetenzen brauchen, entwickeln wir komplette innovative Elektroniksysteme. Hierfür möchte ich drei Beispiele nennen.

Im Projekt **TRAICT (TrustedResourceAware ICT)** arbeiten acht FMD-Institute mit weiteren zehn Fraunhofer-Instituten gemeinsam an Rahmenbedingungen, damit Informations- und Kommunikationstechnik vertrauenswürdig und datenschutzkonform ist und dabei selbstbestimmt und sicher genutzt werden kann. Die Kernfrage ist: Wie lässt sich die Verlässlichkeit kritischer elektronischer Komponenten und Systeme in global verflochtenen Liefer- und Wertschöpfungsketten validieren und gewährleisten?

gehende Konzepte zu erstellen. Insgesamt sind 12 Partner – 11 Fraunhofer- und Leibniz-Institute der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland sowie das edacentrum – am Projekt beteiligt. Es sollen entsprechende Standards, Normen und Prozesse auf der Grundlage einer nationalen und europäischen Chipsicherheitsarchitektur entwickelt und in die Anwendung gebracht werden.

Trotz aller technischen Anstrengungen, immer energiesparendere elektronische Komponenten zu entwickeln, um insbesondere die durch elektronische Geräte unterstützte Mobilität zu erhöhen, ist der Gesamtenergieverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik kontinuierlich gestiegen. Aktuelle Entwicklungen zu lernfähigen Systemen und deren erwartete Verbreitung in allen Lebens- und Arbeitsbereichen verschärfen dieses Problem. Dabei wird sich der Energieverbrauch nicht nur auf große Rechenzentren konzentrieren, sondern vor allem auch in den sich immer weiterverbreitenden IoT-Geräten und -Systemen spürbar mehr Relevanz erlangen. Ein wachsender Anteil entfällt dabei auch auf die enorm zunehmende Übertragung von Daten. Für die Bewältigung dieser Herausforderungen plant die FMD ein Kompetenzzentrum für ressourcenschonende Informations- und Kommunikationstechnologien – kurz **Kompetenzzentrum »Green ICT«**.

**Wir sind neugierig: Sie sind jetzt etwas mehr als ein Jahr der Vorsitzende der FMD und Sprecher des Verbunds. Was hat sich für Sie verändert?**

Das letzte Jahr war für alle von uns mit großen Herausforderungen verbunden. Die Taktzahl der Online-Meetings und der fehlende persönliche Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen der FMD hat auch meine Arbeitsweise und -kultur stark verändert. Ich bin dankbar, dass uns Technologie hier auch hilft, arbeitsfähig und in Kontakt zu bleiben.

Mit der Rolle des Sprechers sind auch spannende Aufgaben, wie beispielsweise im Fraunhofer-Präsidium und in Europäischen Gremien verbunden. Ich finde es motivierend, dass aktuell die Bedeutung der Mikroelektronik für Zukunftsthemen wie Quantentechnologien oder die technologische Souveränität erkannt wird und dass ich auch persönlich Veränderungen in der deutschen Forschungslandschaft mitgestalten kann.



Zur Erreichung der deutschen und europäischen Klimaschutzziele ist Mikroelektronik ein wichtiger positiver Baustein. © Shutterstock

Viele kritische Komponenten digitaler Technologien werden heute außerhalb Europas hergestellt und in vielen Bereichen der digitalen Wertschöpfungskette besitzen ausländische Anbieter monopolähnliche Marktpositionen. Dies erzeugt eine große Abhängigkeit, die zum Nachteil Deutschlands werden könnte. Die im März gestartete **Plattform für die Vertrauenswürdige Elektronik – kurz »Velektronik«** – hat es sich zum Ziel gemacht, die komplette Wertschöpfungskette zu beleuchten und durch-

#### ■ Kontakt:

Prof. Albert Heuberger  
albert.heuberger@iis.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS  
Am Wolfsmantel 33  
91058 Erlangen  
www.iis.fraunhofer.de

## Hochfrequenzelektronik für die 6G-Welt

Ob privat oder beruflich, unsere Welt wird immer digitaler – nicht zuletzt befeuert durch die aktuellen Einschränkungen des Lebens in Pandemiezeiten. Die neuen Kommunikationsstandards wie 5G und 6G versprechen eine höhere Datengeschwindigkeit, größere Netzkapazität und schnellere Reaktionszeit. Damit dies gelingt, müssen die dafür benötigten Hardware-Komponenten technologisch enorm weiterentwickelt werden. Dr. Hady Yacoub vom Leibniz FBH setzt genau hier an und erforscht Möglichkeiten für die Nutzung von neuen Frequenzbändern im mm-Wellen-Bereich.

Das Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH) ist ein Teil der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) und bringt hierbei seine Expertise bei der Entwicklung von energieeffizienten Halbleiter-Komponenten ein. Es erforscht neuartige Materialien und entwickelt die notwendigen Bauelemente für Anwendungen wie Elektromobilität, Industrie 4.0 oder die mobile Kommunikation der Zukunft.

**Dr. Yacoub, Sie forschen im Bereich der III/V-Elektronik und leiten am FBH das InP Devices Lab. Was versprechen Sie sich von Indiumphosphid?**

Der zukünftige Kommunikationsstandard 6G zielt auf Frequenzen oberhalb von 100 GHz ab. Dies stellt neue Anforderungen an die Hardware sowie Hochfrequenzelektronik, was Konsequenzen für die Wahl der Halbleiter haben. Hetero-Bipolartransistoren (HBT) auf Basis des Halbleiters Indiumphosphid (InP) sind dank ihrer hohen Integrationsfähigkeit kompakt und liefern exzellente Leistungsdichten, hohe Betriebsspannung und damit, im Vergleich zu Silizium-basierten Technologien, hohe Ausgangsleistung. Zusammen mit mehrfachen Dünnschicht-Verdrahtungsebenen lassen sich komplexe monolithisch-integrierte Schaltungen auf geringer Fläche realisieren. Allerdings sind solche Schaltungen technologisch und prozesstechnisch sehr anspruchsvoll, da sie extrem skaliert werden müssen. Sie müssen also mehr Leistung auf kleinerer Fläche bieten – bei gleichbleibender Ausbeute.

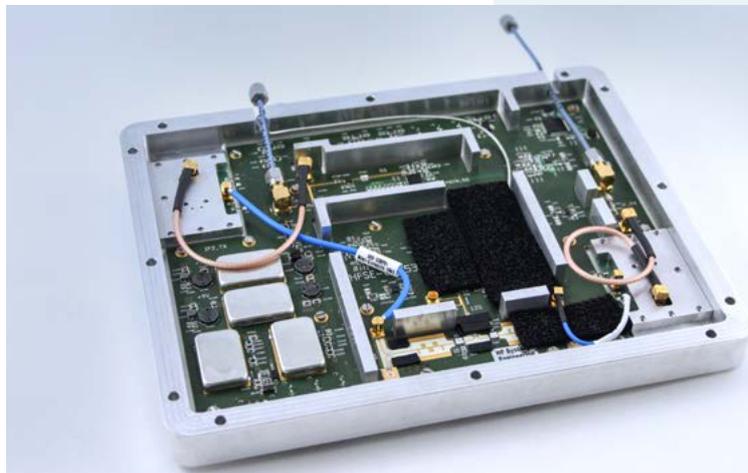
**Wie können Sie diese Herausforderung lösen?**

Ganz klar mit einer leistungsfähigen Anlagentechnik. Um die technologischen Anforderungen zu meistern, hat das FBH im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland seine Anlagentechnik im Reinraum entsprechend aufgerüstet. Mit modernster E-Beam-Lithographie sind Strukturgrößen von nur 30 nm möglich. Weitere

vollautomatische Hightech-Anlagen zum Ätzen oder Galvanisieren erhöhen nicht nur die Ausbeute und Homogenität der Schaltungen, sondern auch den Wafer-Durchsatz.

**Welche Möglichkeiten ergeben sich dadurch für Ihren Forschungsbereich?**

Die neue, leistungsfähige Infrastruktur wird in verschiedenen nationalen und europäischen Vorhaben zum Einsatz kommen. Eines davon ist das Projekt ULTRAWAVE, in dem ein Konsortium eine neuartige drahtlose Systemarchitektur für die Kommunikation mit verbesserter Netzdeckung und nie dagewesenen Datenraten entwickelt. Das FBH



liefert die dafür benötigten monolithisch-integrierten Schaltkreise, die auf dem haus-eigenen InP-DHBT-Prozess basieren. Dank einer Point-to-Multipoint-Infrastruktur im D-Band bei 140 GHz bietet die Systemarchitektur 100 Gbps im Umkreis von einem Quadratkilometer. Dies soll erstmalig in einem Testversuch in Valencia erreicht werden – Point-to-Point-Systeme im gleichen Frequenzband wurden von anderen Gruppen bereits in ersten Versuchen demonstriert. Das ULTRAWAVE-System nutzt einen Standard-Modemzugang und ermöglicht eine drahtlose Datenübertragung von bis zu einem Kilometer.



Dr. Hady Yacoub.

© FBH / Petra Immerz

Hady Yacoub hat Elektrotechnik an der Deutschen Universität Kairo sowie Mikroelektronik und Kommunikationstechnik an der Universität Ulm studiert. Nach seinem Masterabschluss 2011 promovierte er 2017 an der RWTH Aachen mit Fokus auf III/V-Halbleiter-basierten Bauelementen für Hochleistungs- und Hochfrequenzanwendungen. Hady Yacoub kam 2018 als Postdoc an das Ferdinand-Braun-Institut in Berlin und leitet dort seit 2019 das InP Devices Lab. Er ist Autor und Ko-Autor von mehr als 20 Arbeiten aus dem Bereich der III/V-Halbleiter.

*Modul mit monolithisch-integrierten InP-DHBT-Schaltkreisen für die drahtlose Kommunikation im D-Band. © FBH / Nicole Vlach*

■ **Kontakt:**

Dr. Hady Yacoub  
hady.yacoub@fbh-berlin.de  
Ferdinand-Braun-Institut gGmbH,  
Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik  
Gustav-Kirchhoff-Straße 4  
12489 Berlin  
www.fbh-berlin.de



Dr. Johann Heyszl.  
© Fraunhofer AISEC

Johann Heyszl promovierte an der Technischen Universität München im Bereich der angewandten Kryptografie und deren Schutz gegen hochentwickelte Seitenkanalangriffe. Am Fraunhofer AISEC in Garching bei München leitet er die Abteilung Hardware Security und stellvertretend das Institut. Der Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit von eingebetteten elektronischen Systemen und vernetzten Geräten für das Internet der Dinge.

## Vernetzungsplattform für vertrauenswürdige Elektronik

Um Elektronik sicher und zuverlässig einzusetzen, muss nachvollziehbar sein, was sie macht und wie sie aufgebaut ist. Aktuell gibt es technische Lösungen und Forschungsarbeiten zu einzelnen Aspekten einer vertrauenswürdigen Elektronik, aber noch niemanden, der die komplette Wertschöpfungskette ausreichend beleuchtet und durchgehende Konzepte liefert. Die »Plattform Vertrauenswürdige Elektronik« möchte hier Hilfe leisten.

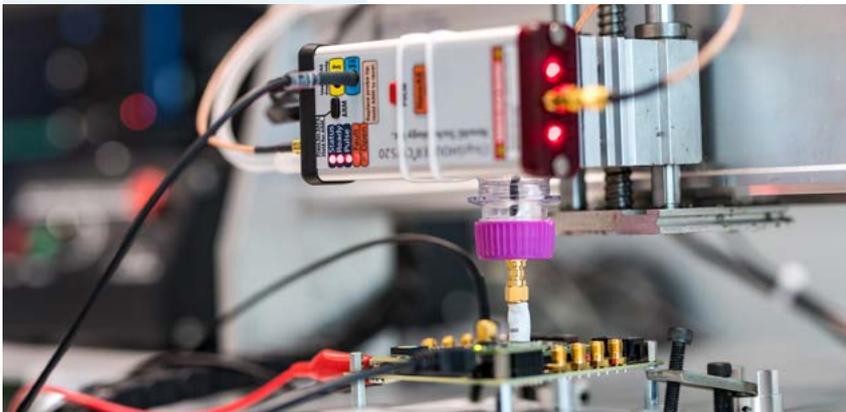
Die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen von Forschungsvorhaben für »Vertrauenswürdige Elektronik (ZEUS)« geförderte Plattform – kurz »Velektronik« – begann ihre Arbeit im März 2021. Dr. Johann Heyszl vom Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC war an dem Konzept maßgeblich beteiligt und ist der fachliche Leiter des Forschungsvorhabens. 12 Partner aus der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland und dem Verbund Mikroelektronik sowie das edacentrum sind in dem Projekt involviert.

und Unternehmen zu schaffen. Hierfür wird in allen Bereichen der Elektronikentwicklung, Fertigung und Analyse an Lösungskonzepten gearbeitet. Die Ergebnisse können anschließend innerhalb der Plattform, für weitere Forschungsvorhaben und vor allem von der Wirtschaft genutzt werden. So werden vertrauenswürdige elektronische Komponenten und Baugruppen zielgerichtet entwickelt, gefertigt, analysiert und danach integriert. Die Plattform »Velektronik« soll als Instrument für die komplette Wertschöpfungskette vertrauenswürdiger Elektronik fungieren und den Ausbau der Technologischen Souveränität in diesem Bereich für die deutsche Industrie und den öffentlichen Sektor auf dem globalen Markt unterstützen.

**Stichwort »Technologische Souveränität«:**  
Welche Rolle spielt vertrauenswürdige Elektronik in diesem Zusammenhang?

Wir sind in allen relevanten Anwendungsdomänen – ob in kritischen Infrastrukturen, in der Industrie 4.0, im Automobilbereich oder auch bei medizinischen Geräten – auf elektronische Komponenten angewiesen. Auf diese müssen wir uns verlassen und ihnen vertrauen können, um darauf letztendlich Produkte, Systeme und Infrastruktur aufzubauen. Technologische Souveränität bedeutet, dass wir vor dem Hintergrund einer stark internationalisierten Wertschöpfung die Hoheit darüber behalten, welche konkreten Eigenschaften technologische Komponenten unserer Produkte haben. Das sichert die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen, insbesondere des Mittelstands, nachhaltig.

Je mehr wir fortschrittliche Elektronik selbst in Deutschland und Europa konzipieren, entwickeln, herstellen und absichern, desto besser können wir auch nachvollziehen, was Elektronik Dritter leistet oder auch nicht leistet. So können wir weltweit auf Augenhöhe kooperieren und Anforderungen an von uns genutzte oder betriebene Elektroniksysteme durchsetzen.



Durch Angriffe auf eingebettete Systeme kann die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit elektronischer Komponenten untersucht werden. © Fraunhofer AISEC

### Dr. Heyszl, darf man nicht automatisch jeder Elektronik vertrauen?

Durch die starke Internationalisierung in der Elektronikentwicklung ist das Thema Vertrauenswürdigkeit tatsächlich eine große Herausforderung. Vertrauenswürdig ist Elektronik, wenn sie allen unseren Erwartungen an Funktionalität und Spezifikationen entspricht und gleichzeitig keine Hintertüren oder Schwachstellen für Angreifer offenlässt. Anderweitig könnte das zu Manipulationen, Angriffen oder Ausfällen von ganzen Systemen führen.

### Welche Ziele verfolgt das Projekt genau?

Die Vision des Projekts ist es, eine Vernetzungsplattform für vertrauenswürdige Elektronik als Schnittstelle zwischen Forschung

#### ■ Kontakt:

Dr. Johann Heyszl  
johann.heyszl@aisec.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC  
Lichtenbergstraße 11  
85748 Garching b. München  
www.aisec.fraunhofer.de

# Neue Systemarchitektur für THz-Frequenzbereichsspektroskopie

Terahertz-Sensorik bietet ein großes Anwendungspotenzial für die industrielle Qualitätsüberwachung. Dabei ist die Komplexität aktueller Messsysteme und der damit verbundene hohe Systempreis eine große Herausforderung. Hier ist die THz-Frequenzbereichsspektroskopie eine sehr attraktive Alternative zur etablierten Zeitbereichsspektroskopie, da sie sich einfacher realisieren lässt und robuster ist.

**Dr. Liebermeister, Qualitätsüberwachung zum kleinen Preis klingt sehr vielversprechend, wie kam Ihr Team auf die Idee für dieses Projekt?**

In der Qualitätsüberwachung gibt es viele nützliche Anwendungen für THz-Sensorik. Die aktuelle Technologie löst viele Messaufgaben, die bisher von keinem anderen Verfahren erfüllt werden konnten, aber der hohe Preis hat viele weiterführende Projekte verhindert. Vor diesem Hintergrund verfolgt das Fraunhofer HHI zwei unterschiedliche Konzepte: Die weit verbreitete THz-Zeitbereichsspektroskopie (TDS) und die eher nischenhafte THz-Frequenzbereichsspektroskopie (FDS). TDS dient gemeinhin als Arbeitstier, ihr Aufbau ist aber aufwendig und daher entsprechend kostspielig. FDS zeichnet sich durch eine niedrigere Messgeschwindigkeit aus. Diese Technologie kommt bisher in Nischen wie der Gasanalytik zum Einsatz. Sie hat den Vorteil, robuster und einfacher im Aufbau zu sein und wird sich in Zukunft sogar auf einem einzelnen photonisch-integrierten Chip realisieren lassen. Ich habe intensiv an FDS gearbeitet und konnte dabei eine alternative, vereinfachende Systemarchitektur entwickeln. Im Ergebnis ist ein neues FDS-System entstanden, das um zwei Größenordnungen schneller ist als bisherige FDS-Systeme und damit für viele Anwendungen konkurrenzfähig zur TDS wird. Darüber hinaus konnten Material- und Aufbauaufwand weiter reduziert werden. Meinen neuen Ansatz habe ich erfolgreich im Labor demonstriert.

**Und wie kann sich ein Laie die Funktionsweise der Technologie vorstellen?**

Aus zwei optischen Wellen (Laser) wird in einem speziellen nicht-linearen Bauteil, einem sogenannten Photomischer, eine elektromagnetische Welle mit der Differenzfrequenz der beiden optischen Wellen generiert. Auf diese Art und Weise lassen sich Frequenzen erzeugen, bei denen keiner der Laser selbst arbeiten kann. Nun lässt man diese THz-Welle an einem Probekörper re-

flektieren und leitet die Reflexion an einen zweiten Photomischer weiter. Wird dieser zusätzlich mit den gleichen beiden optischen Wellen gefüttert, kann man ein Messsignal abgreifen. Dieses Signal gibt Aufschluss darüber, wie die Probe die THz-Welle verändert hat – sowohl in ihrer Amplitude als auch in ihrer Phasenlage. Durch kontinuierliches Verändern der Frequenz einer der optischen Wellen, lässt sich die THz-Welle selbst wiederum in ihrer Frequenz durchstimmen und somit ein breites Reflexionsspektrum eines Probekörpers erfassen.

**Welche Vorteile ergeben sich daraus?**

THz-Frequenzen sind ungefährlich und bieten bei vielen Materialien (wie Kunststoffe oder Keramik) einen einzigartigen Kompromiss aus Eindringtiefe und räumlicher Auflösung. Dies erlaubt die berührungsfreie Messung von Wand-Beschichtungsdicken, wobei mehrere Lagen einzeln aufgelöst



werden können. Ein einfaches Beispiel ist die Bestimmung der Dicke einer Plastikfolie. Diese kann eine Dicke von mehreren 10 µm haben. Mit unserem System können wir innerhalb von wenigen Millisekunden die THz-Reflexionseigenschaften breitbandig erfassen. Von Amplitudenveränderungen bei bestimmten Frequenzen lässt sich dann eindeutig auf die Foliendicke rückschließen. Das gleiche Prinzip gilt für mehrschichtige Proben, wie dem Lackstapel auf einer Autokarosserie.



Dr. Lars Liebermeister.  
© Fraunhofer HHI

Dr. Lars Liebermeister ist seit 2017 in der Gruppe Terahertz-Sensoren und -Systeme am Fraunhofer HHI Projektleiter und stellvertretender Gruppenleiter. Seine aktuellen Forschungsinteressen umfassen integrierte Terahertz-Photonik, optoelektronische Terahertz-Systeme sowie Terahertz-Quantenoptik. Lars Liebermeister hat Physik an der Georg-August-Universität Göttingen studiert und promovierte 2016 in Quanten- und Nanophotonik an der Ludwig-Maximilians-Universität München.

*THz-Spektroskopie bietet einen einzigartigen Kompromiss aus Eindringtiefe und räumlicher Auflösung. © Fraunhofer HHI*

■ **Kontakt:**

Dr. Lars Liebermeister  
lars.liebermeister@hhi.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik,  
Heinrich-Hertz-Institut, HHI  
Einsteinufer 37  
10587 Berlin  
www.hhi.fraunhofer.de



Dr. Fabian Thome hat am Fraunhofer IAF über das Thema »Drahtlose Low-Power-Datenübertragungssysteme mit hoher Datenrate« promoviert. Zurzeit forscht er im Bereich der ultra-rauscharmen Verstärker und leitet das Kooperationsprojekt »SEQUENCE« seitens des IAF.  
© Fraunhofer IAF



Felix Heinz promoviert am Fraunhofer IAF im Bereich der Mikrosystemtechnik über ultrarauscharme Verstärker und forscht im Projekt »SEQUENCE« an der Charakterisierung und Modellierung kryogener Nanoelektronik.  
© Fraunhofer IAF

## Rauscharme Hochfrequenzelektronik für Quantencomputer

Dr. Fabian Thome und Felix Heinz vom Fraunhofer IAF forschen gemeinsam im EU-geförderten Kooperationsprojekt »SEQUENCE« daran, kryogene Hochfrequenzelektronik für bestehende Quantencomputerkonzepte zu entwickeln. Denn nur mittels kompakter und extrem rauscharmer Elektronik wird es möglich sein, bestehende Quantencomputerkonzepte weiter zu skalieren.

**Sie sind beide keine (Quanten-)Physiker, wie sind Sie zu diesem Projekt gekommen?**

**Thome:** Quantencomputing (QC) ist längst kein exklusiver Forschungsbereich von Quantenphysikern mehr, sondern ein interdisziplinäres Forschungsfeld. Letztlich beruht die aktuell angestrebte Skalierung von QCs, die heute nachgewiesenermaßen funktionieren, maßgeblich auf elektrotechnischen Komponenten – und da kommen wir als Ingenieure der Hochfrequenztechnik ins Spiel.

**Heinz:** Wir haben beide unseren wissenschaftlichen Hintergrund in der Erforschung von kryogenen und ultra-rauscharmen Verstärkern. Das war bis vor ein paar Jahren noch ein richtiges Nischenthema, das klassischerweise in der Radioastronomie Anwendung findet. Seitdem die ersten funktionalen QCs aufgekommen sind, gibt es aber ein ganz neues Interesse an dem Forschungsbereich. Kryogene und rauscharme Elektronik wird nämlich für das Auslesen und Steuern von Qubits benötigt.

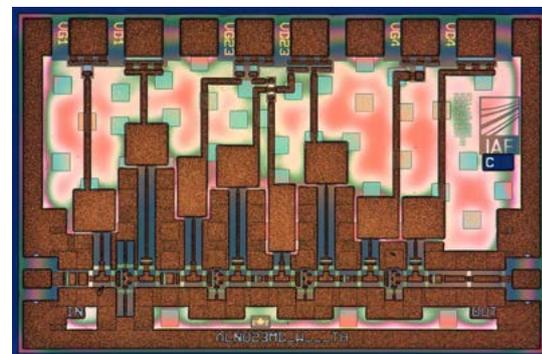
**Was sind Ihre Aufgaben?**

**Thome:** Im Rahmen des Projekts untersuchen wir am Fraunhofer IAF Hochfrequenztechnologien, mit denen wir schon viel Erfahrung gesammelt haben, wie mHEMTs und MOSHEMTs. Diese wollen wir im Hinblick auf die Nutzung in QCs optimieren. Dazu müssen wir das Rauschen der etablierten Technologien noch weiter verringern und die Komponenten kompakter gestalten, damit die Elektronik näher an den empfindlichen und gekühlten Qubits arbeiten kann. Als Projektleiter seitens des IAF befaße ich mich mit der Erforschung rauscharmer Verstärker.

**Heinz:** Ich bin in erster Linie für die Kryomesstechnik und Rauschmodellierung zuständig. Dabei untersuche ich verschiedene Technologien bei extrem niedrigen Temperaturen und beschreibe deren Verhalten mit elektrischen Modellen für CAD-Systeme. Darauf basierend entwerfe ich ultra-rauscharme Schaltungen, die für einen kryogenen Betrieb optimiert sind.

**Welchen Forschungsfragen würden Sie gerne als nächstes nachgehen?**

**Thome:** Ein spannendes Thema, das noch nicht erschöpfend untersucht wird, ist die Frequenzskalierung von QCs. Heutzutage werden bei QCs rauscharme Verstärker im Frequenzbereich von etwa 5 GHz als zentrale Komponenten im Ausleseschaltkreis genutzt. Es ist aber theoretisch möglich, diese Frequenz zu erhöhen. Das könnte zum einen die Performance der Systeme verbessern und zum anderen könnten wir so auch mehr Synergien nutzen, die über das QC hinausgehen. Ein Beispiel hierfür sind zukünftige Satellitensysteme, bei denen rauscharme Verstärker bei einer Betriebstemperatur von etwa -220 °C zum Einsatz kommen könnten.



Ein rauscharmer Verstärker (70 – 116 GHz) mit einer durchschnittlichen Rauschtemperatur von 30 K, hergestellt mit der 35-nm-HEMT-Technologie des Fraunhofer IAF. © Fraunhofer IAF

**Heinz:** Die Jagd nach immer rauschärmerer Hochfrequenzelektronik wird auch nach »SEQUENCE« eine spannende Fragestellung bleiben. In dem Projekt werden wir sicherlich einen großen Schritt in die Richtung machen, aber es wird noch nicht das Ende sein. Darüber hinaus interessiere ich mich für neuartige Integrationskonzepte und multifunktionale Elektronik für skalierbare Quantencomputer.

### ■ Kontakt:

Dr. Fabian Thome  
fabian.thome@iaf.fraunhofer.de

Felix Heinz  
felix.heinz@iaf.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Festkörperphysik IAF  
Tullastraße 72  
79108 Freiburg  
www.iaf.fraunhofer.de

## Neue Fähigkeiten in der Prozessierung für die nächste Generation der MEMS und MOEMS

Fritz Herrmann, Technical Sales Manager am Fraunhofer IPMS, berichtet in seinem Interview über die neue Fähigkeit des Instituts, »intelligent BSOI Wafer« herzustellen. Damit lassen sich MEMS und MOEMS mit anspruchsvollen Eigenschaften realisieren, die mit konventionellen Fertigungsansätzen und Technologiekonzepten kaum möglich sind.

### Herr Herrmann, was bedeutet »intelligent BSOI«?

BSOI steht für »bonded silicon on insulator« und bezeichnet einen speziellen Waferaufbau, welcher als Ausgangsmaterial unter anderem für moderne MEMS-Technologien (MEMS = Micro-Electro-Mechanical-Systems) zur Anwendung kommt. Der Aufbau eines BSOI-Wafer besteht grundlegend aus einem »Handlewafer« auf dem eine Oxidschicht abgeschieden ist. Die oberste, abschließende Schicht, der sogenannte »Device Layer«, ist eine angepasste Schicht, welche in diversen Technologien zur Anwendung kommt, auch über den MEMS-Bereich hinaus.

### Wofür ist das nützlich?

Die Nachfrage an BSOI-Wafern steigt jährlich. Vor allem im MEMS-Bereich deswegen, weil anspruchsvolle Sensoren diese Wafer als Ausgangsmaterial benötigen. Dabei werden die Device Layer derzeit typischerweise mit unterschiedlichen Dicken, Materialien oder Dotierungen angeboten. Das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS möchte nun mit seiner langjährigen Erfah-

rung im Bereich der Waferbearbeitung Features wie vergrabene Leiterbahnen oder Kavitäten zu den Device Layern hinzufügen, um die Kundenanforderungen noch individueller zu adressieren und einen Schritt weiterzugehen. Nicht zuletzt dadurch soll das Marktangebot an standardisierten BSOI-Wafern erweitert werden.

### Wie konnte die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland dabei unterstützen?

Durch die Unterstützung der FMD konnten wir einen sogenannten »Grinder« beschaffen, der für das Abdünnen der Wafer genutzt wird um die Zieldicken der Device Layer einzustellen. Zudem haben wir durch die FMD eine 5-Zonen-CMP erhalten, die die Oberflächen planarisiert und so die Wafer zunächst fürs Bonden und anschließend auch für eine produktive Substratbearbeitung final präpariert. Wir sind sehr stolz, dass wir im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland diese zwei Anlagen zur Verfügung gestellt bekommen haben, die uns nun befähigen, intelligente BSOI-Wafer zu fertigen.



Fritz Herrmann. © Fraunhofer IPMS

Fritz Herrmann hat in Dresden Wirtschaftsingenieurwesen studiert. Nach einem Praktikum bei BMW zog es ihn zur Fraunhofer-Gesellschaft. Er startete als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Fraunhofer IWS. Die Freude an der Halbleitertechnik und der Kontakt zu Industriekunden zog ihn ans Fraunhofer IPMS, wo er inzwischen seit zweieinhalb Jahren als Technical Sales Manager arbeitet. Hier ist er zuständig für Akquise und Projektplanung. Gleichzeitig leitet er eigene Projekte, vertritt das Institut bei Messen, hält Fachvorträge und freut sich gleichzeitig immer auf jeden Tag, den er im Reinraum verbringen kann.



Neben seiner Arbeit als Technical Sales Manager hält Fritz Herrmann auch regelmäßig Fachvorträge für das Fraunhofer IPMS. © Fraunhofer IPMS

#### ■ Kontakt:

Fritz Herrmann  
fritz.herrmann@ipms.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Photonische  
Mikrosysteme IPMS  
Maria-Reiche-Straße 2  
01109 Dresden  
www.ipms.fraunhofer.de



Frank Vanselow. © Fraunhofer EMFT

Frank Vanselow studierte Elektrotechnik an der Ruhr-Universität Bochum. Nach seinem Abschluss 1991 entwickelte er bei der Grundig E.M.V. RF-Empfangs- und Sendemodule für die damals neuen digitalen Übertragungsformate für Rundfunk und Fernsehen. 1997 wechselte er zu Texas Instruments, wo er in verschiedenen Funktionen die Entwicklung von RF-ICs und DC-DC Konvertern unterstützte. Er leitete dort das internationale Entwicklungsteam für die Low-Power DC-DC Konverter. Seit 2016 befasst er sich als Gruppenleiter für die integrierte Schaltungstechnik an der Fraunhofer EMFT in München mit smarten Sensorsystemen, neuromorpher Hardware und Frequenzsynthese.

## Innovative Chipintegration in Systeme der Mensch-Maschine-Interaktion

In Bereichen wie Industrie 4.0, Smart Health, Smart Security und Automotive kommen zunehmend intelligente Systeme für die Mensch-Maschine-Interaktion zum Einsatz. Hierbei sind Sensorsysteme für den nonverbalen Informationsaustausch im Nahdistanz- und Kontaktbereich sowohl für die Funktionalität als auch die Sicherheit essentiell.

Die wachsenden Anforderungen hinsichtlich einer energieeffizienten 3D-Erfassung und einer schnelleren Signalverwertung sind jedoch mit derzeit verfügbaren Lösungen nicht realisierbar. Fraunhofer-Forschende aus vier Instituten entwickeln im Projekt »ProtaktiUS« neue Ansätze. Die Ergebnisse sollen in eine modularisierte MEMS-Technologie- und Sensorplattform einfließen.

### Herr Vanselow, was ist Ihre Aufgabe im Projekt?

Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus den Fraunhofer-Instituten IPMS, IKTS und IFF arbeiten wir an der erstmaligen Chipintegration hochauflösender kapazitiver

### Welche kniffligen Herausforderungen haben Sie bereits im Projekt gelöst?

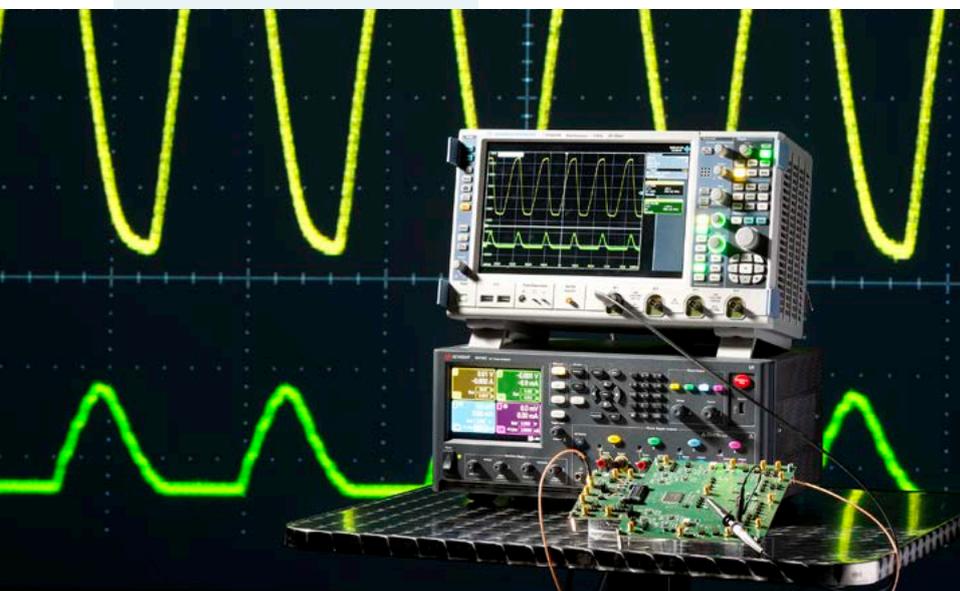
Wesentliche Herausforderungen bestanden in der Synthese von Lösungsmöglichkeiten für die Reduktion der Zahl der externen Komponenten, der Hochspannungsansteuerung der MEMS Strukturen und die Umsetzung in eine vollintegrierte Lösung. Wir können nun zum Beispiel mit unserem Ansatz die Ultraschall CMUT-Elemente ohne externe DC-Blocking Elemente ansteuern und trotzdem im rauscharmen Vorverstärker mit Niederspannungstransistoren arbeiten. Diese Lösung wird uns in Zukunft die nächsten Schritte bei der Integration von Ansteuerelektronik und MEMS-Elementen entweder in einem System-in-Package oder monolithischen Ansatz ermöglichen.

### Die Projektarbeiten sollen den Grundstein für ein neues Fraunhofer-Geschäftsfeld legen. Welche Erwartungen sind damit verbunden?

Mit den entwickelten Modulplattformen MEMS, Elektronik und Signalverarbeitung wollen wir zukünftig den Zugang zu weiteren Applikationsfeldern in industriellen, medizintechnischen, Consumer-orientierten und sicherheitsbezogenen Sektoren eröffnen.

### Was fasziniert Sie an der Entwicklung neuartiger Schaltungstechnik besonders?

Seit vielen Jahren bin ich immer wieder davon begeistert, welche neue Aufgabenstellungen bei dem Entwurf integrierter Schaltungen und speziell bei dem Design von analogen Schaltungen auftreten. So werden wir für wichtige Themen auch in Zukunft neue Lösungen benötigen. Wie können wir zum Beispiel den Energiehunger des Internets durch neuromorphe oder Quantencomputer reduzieren oder wie können wir durch smarte Sensorlösungen beim Umweltschutz helfen? Das macht für mich die Faszination an diesem Thema aus.



Messaufbau für einen achtkanaligen Ultraschalltransceiver-Chip.  
© Fraunhofer EMFT

#### ■ Kontakt:

Frank Vanselow  
frank.vanselow@emft.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme  
und Festkörper-Technologien EMFT  
Hansastraße 27 d  
80686 München  
www.emft.fraunhofer.de

und ultraschallerzeugender Elemente auf einer CMOS-kompatiblen Plattform. Konkret wollen wir die Leistungsfähigkeit unseres Ansatzes am Beispiel des reaktiven Greifens in der Robotik zur Handhabung und zur Identifikation unterschiedlich beschaffener Objekte demonstrieren. Unser Part hier an der Fraunhofer EMFT ist die Miniaturisierung der mehrkanaligen Hochspannungselektronik, die für die Ansteuerung der mikroelektromechanischen Ultraschallwandler benötigt wird.

## Neue 3D-Drucker für Hochfrequenzkomponenten am Fraunhofer FHR

Ende 2020 erweiterte das Fraunhofer FHR seinen Standort Villip mit neuen Anlagen. Die ergänzende 5-Achs-Maschine, der Metalldrucker und das Kunststoff-Laser-System wurden im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland beschafft. Alex Shoykhetbrod ist einer der Forschenden, der an den drei Maschinen arbeitet. Heute erzählt er uns über die Vorteile der additiven Fertigungsverfahren.

### Herr Shoykhetbrod, wie würden Sie Ihrer Großmutter Ihre Arbeit erklären?

Ich arbeite am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in der Abteilung Integrierte Schaltungen und Sensorsysteme und würde die Erklärung mit einem Zitat von Charles Darwin anfangen: »Es ist nicht die stärkste Spezies, die überlebt, auch nicht die intelligenteste, sondern eher diejenige, die am ehesten bereit ist, sich zu verändern«. Genau diesen Aspekt versuchen wir in unserer Forschungsgruppe zu adressieren. Jedes Projekt im Millimeterwellen-Bereich ist einzigartig und bringt verschiedene Herausforderungen mit sich:

komplexe Geometrien, geringe Gewichtsanforderungen, Einsatz von Materialverbänden.

### Wofür sind die neuen 3D-Drucker nützlich?

Die neuen Fertigungsmöglichkeiten in Kombination mit den traditionellen Verfahren ermöglichen es uns am Institut, schnell und agil auf die Anforderungen unserer Auftraggeber zu reagieren. Mithilfe der neuen Maschinen sind wir in der Lage, erweiterte Antennen-Konzepte, Wellenleiter-Komponenten, Filterstrukturen und Meta-Materialien zu fertigen. Diese existierten aufgrund der hohen mechanischen Komplexität bis heute nur konzeptionell in einer Simulationsumgebung. Der ausgebaut additive Fertigungspark in Villip ist dadurch sicherlich ein »Game-Changer«.

### In welche anderen Bereiche fließen die Ergebnisse Ihrer Arbeit mit ein?

Es gibt eine Vielzahl von Anwendungsbereichen für die unsere Arbeitsergebnisse relevant sind. Ein Beispiel hierfür ist das Wärmemanagement, denn insbesondere Radarsysteme mit hoher Ausgangsleistung müssen effizient gekühlt werden. Mit additiven Fertigungsverfahren lässt sich die Oberfläche eines Kühlkörpers signifikant erweitern, was zur Steigerung des Wirkungsgrades führt. Gleichzeitig kann dieser Kühlkörper auch noch andere Zwecke erfüllen und beispielsweise als Teil eines Wellenleitersystems fungieren. Im Vergleich zu den traditionellen Fertigungsverfahren ermöglichen die Ergebnisse der neuen 3D-Drucker außerdem einen höheren Freiheitsgrad bei der Gestaltung der Hochfrequenzkomponenten. Die flexible Kontrolle über die Geometrie der Bauteile erlaubt eine Herstellung von viel leichteren Komponenten bei gleichbleibender Funktionalität. Hierdurch können hochintegrierte Radarsysteme mithilfe luftgetragener Systeme geflogen werden.

Alex Shoykhetbrod. © Fraunhofer FHR



Aus Aluminium gedruckter Hohlleiter-Filter für den Einsatz im Frequenzbereich von 100 GHz. Die Dicke der feinen Lamellen innerhalb des Hohlleiters beträgt ca. 200 µm. © Fraunhofer FHR

Alex Shoykhetbrod wurde 1983 in Odessa in der Ukraine geboren. Er schloss 2009 sein Studium der Telekommunikationstechnik an der Fachhochschule Koblenz mit Diplom ab. Im Jahr 2012 erhielt er den M.Eng. an der Fachhochschule Koblenz in Systems Engineering. Seit November 2012 ist er am Fraunhofer FHR in Wachtberg als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Sein Hauptforschungsbereich umfasst die interdisziplinäre Forschung an integrierten Millimeterwellen-Systemen. Seit neuestem beinhaltet dies auch den Einsatz der additiven Fertigungstechnologien.

#### ■ Kontakt:

Alex Shoykhetbrod  
alex.shoykhetbrod@fhr.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR  
Fraunhoferstraße 20  
53343 Wachtberg  
www.fhr.fraunhofer.de



## Unsere Standorte

 **Forschungsfabrik  
Mikroelektronik**  
Deutschland



**Geschäftsstelle**  
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2  
10178 Berlin

### Kooperationspartner in der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Fraunhofer EMFT München  
Fraunhofer ENAS Chemnitz  
Fraunhofer FHR Wachtberg  
Fraunhofer HHI Berlin  
Fraunhofer IAF Freiburg  
Fraunhofer IIS Erlangen  
Fraunhofer IISB Erlangen

Fraunhofer IMS Duisburg  
Fraunhofer IPMS Dresden  
Fraunhofer ISIT Itzehoe  
Fraunhofer IZM Berlin  
Leibniz FBH Berlin  
Leibniz IHP Frankfurt (Oder)

Fraunhofer AISEC Garching  
Fraunhofer FOKUS Berlin  
Fraunhofer IKS München  
Fraunhofer IMWS Halle/Saale  
Fraunhofer IZFP Saarbrücken

Eine Kooperation von

 **Fraunhofer**  
MIKROELEKTRONIK

 **FBH**  
Leibniz  
Ferdinand  
Braun  
Institut

 **IHP**

## Das Team der Geschäftsstelle



**Dr. Stephan Guttowski**  
Leitung der Geschäftsstelle

[stephan.guttowski@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:stephan.guttowski@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Dr. Michael Galetzka**  
stellv. Leitung der Geschäftsstelle | Zukunftsthemen  
[michael.galetzka@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:michael.galetzka@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Dr. Patrick Bressler**  
EU-Koordination | Zukunftsthemen

[patrick.bressler@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:patrick.bressler@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Christoph Galle**  
Business Development

[christoph.galle@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:christoph.galle@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Bernd Hintze**  
Silizium-basierte Technologien

[bernd.hintze@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:bernd.hintze@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Akvile Zaludaite**  
Kommunikation

[akvile.zaludaite@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:akvile.zaludaite@mikroelektronik.fraunhofer.de)



**Dr. Andreas Grimm**  
Technologien der Verbindungshalbleiter  
andreas.grimm@mikroelektronik.fraunhofer.de



**Jörg Stephan**  
Business Development | Öffentliche Programme  
joerg.stephan@mikroelektronik.fraunhofer.de



**Dr. Dietmar Laß**  
Business Development  
dietmar.lass@mikroelektronik.fraunhofer.de



**Dr. Frank Hochschulz**  
Manufacturing Execution System  
frank.hochschulz@mikroelektronik.fraunhofer.de



**Romy Zschiedrich**  
Kommunikation  
romy.zschiedrich@mikroelektronik.fraunhofer.de



**Tina Leyli**  
Projektmanagement  
tina.leyli@mikroelektronik.fraunhofer.de

## Unser Technologieangebot

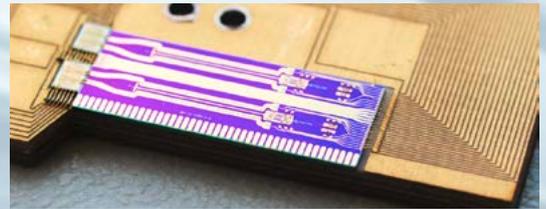


Als ein Forschungsverbund für Anwendungen und Systeme der Mikro- und Nanoelektronik sind wir in der Lage, maßgeschneiderte Technologie- und Systemlösungen aus einer Hand anzubieten. Basierend auf dem breiten Technologieportfolio der Kooperationspartner in der FMD haben wir sechs Technologieplattformen etabliert. Diese bündeln die notwendigen Einzelkompetenzen – vom System Design bis zur Prüfung und Zuverlässigkeitsbewertung – um Kundenbedarfe abzudecken.



### Sensorsysteme

Sensor Design, Fertigung, Integration, Charakterisierung and Test von Sensoren, auch in Systemen



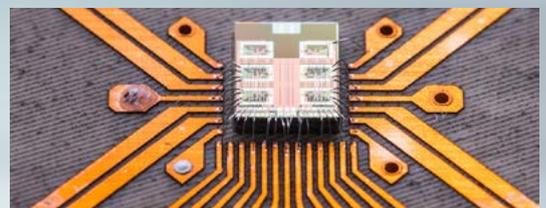
### Optoelektronische Systeme

Vollständig integrierte optoelektronische Systeme für Bilderzeugung und -verarbeitung, sowie Kommunikation mit Tbit/s-Geschwindigkeit



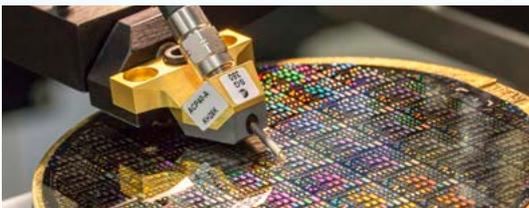
### Extended CMOS

Design, Fertigung und System-Integration von CMOS-Schaltkreisen



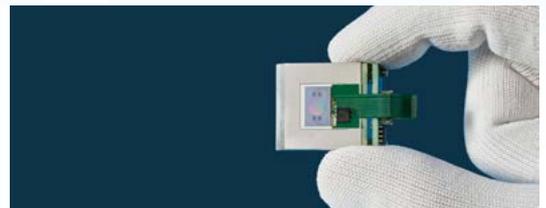
### Microwave & Terahertz

Cutting-edge-Bauelemente und Schaltkreise für Frequenzen bis in den THz-Bereich



### Leistungselektronik

Design und Fertigung von Leistungsbaulementen, sowie deren Integration in Module und Systeme



### MEMS Aktoren

Design und Fertigung sowie Charakterisierung, Prüfung und Systemintegration



Dr. Marie Christin Wolff.  
© Fraunhofer ISIT

Dr. Marie Christin Wolff studierte Chemie an der Universität Oldenburg und promovierte anschließend im Bereich anorganische Chemie an der Universität Hamburg im AK Heck. 2018 wechselte sie an das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT und war dort zunächst im Bereich Galvanik und dann auch im Bereich Nasschemie tätig. Im Januar 2020 wurde sie Teamleiterin der Fabrikation für Nasschemie, Galvanik und chemisch-mechanisches Polieren. Seit Sommer 2020 vertritt Dr. Wolff das Fraunhofer ISIT im Wissenschaftlich-Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft.

## Ätz-Expertin am Fraunhofer ISIT

Oxidieren, Ätzen, Strukturieren, Polieren und Abscheiden gehören zum Arbeitsalltag von Dr. Marie Christin Wolff. Sie und Ihr Team beschäftigen sich am Fraunhofer ISIT mit Einzelprozessentwicklung in den Bereichen Nasschemie, Galvanik und chemisch-mechanisches Polieren (CMP).

### Dr. Wolff, woran arbeiten Sie und Ihr Team gerade?

Einfach gesprochen stellen wir Mikrosysteme her. Mein Team und ich entwickeln die Einzelprozesse für geplante Bauelemente und kümmern uns um Prozessstabilität und das zugehörige Equipment. Wir bearbeiten dabei so ziemlich alle Prozesse, die etwas mit (ätzenden) Flüssigkeiten zu tun haben – das ist quasi der gemeinsame Nenner des Teams. Dazu gehören elektrochemische Abscheidungsprozesse in der Galvanik, aber auch chemisch-mechanisches Polieren von Wafer-Oberflächen. Dazwischen liegen dann alle Ätz- und Reinigungsprozesse in der Nasschemie. In der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland und dem Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik engagieren wir uns derzeit in Expertengruppen, um die gemeinsamen Erfahrungen der Geräteverantwortlichen zu stärken. Hierbei ergeben sich gute Netzwerke und Austauschplattformen. Wir können Kunden aus diesem Pool einen Zweitlieferanten für Prozesse aufzeigen, komplett andere Prozesse anbieten oder Fachdiskussionen über Prozessführung anregen.

### Wofür ist Ihre Arbeit nützlich?

Die Ergebnisse unserer Arbeit sind zentraler Bestandteil für die Herstellung von MEMS-Komponenten und MEMS-Bauteilen. In dem 1000 m<sup>2</sup> Reinraum des Fraunhofer ISIT leisten Nasschemie, Galvanik und CMP einen wichtigen Beitrag in der Prozesskette, um Sensoren, Aktoren und Post-CMOS-Integration zu realisieren. Wir ätzen beispielsweise Elektrodenstrukturen und Membranen, scheiden Leiterbahnen und Pads ab und polieren Glas- und Metalloberflächen.

### Welchen Anteil hat die Mikroelektronik in Ihrem Forschungsbereich?

Schaut man sich die Kette der Erstellung von Bauelementen an, dann sind wir Teil der Fertigung. In unserem Arbeitsalltag wenden wir unsere Prozesse auf unterschiedliche Materialien und Stacks an. Eine unserer Hauptaufgaben ist dabei die Integration und Evaluierung von für uns neuen Materialien in unseren bestehenden Anla-



Frau Dr. Wolff bei der Arbeit an der Sprühätzanlage zum Bearbeiten von GaN-Oberflächen im MEMS-Reinraum des Fraunhofer ISIT.  
© Fraunhofer ISIT

genpark, wie zum Beispiel Aluminiumscandiumnitrid, Parylene oder Galliumnitrid. Aber auch das Testen von anderen Ätzmedien, Schleifmaterialien oder Elektrolyten gehört dazu. Der Drahtseilakt besteht darin, die Prozesse trotz unterschiedlicher Substrate möglichst vergleichbar und reproduzierbar hinzubekommen. Gleichzeitig müssen die unterschiedlichen Anforderungen einer Machbarkeitsstudie mit einer Pilotfertigung und teilweise einer Produktion an denselben Anlagen kombiniert werden.

### Was finden Sie besonders spannend an Ihrer Arbeit?

Die Kombination aus Praxisnähe und den Freiheiten, die eine Forschungsumgebung mit sich bringt, gefällt mir am besten. Außerdem bin ich noch nicht so lange in dem Kosmos der Mikroelektronik und Siliziumtechnologie, sodass für mich jedes neue Projekt spannend ist.

#### ■ Kontakt:

Dr. Marie Christin Wolff  
marie.christin.wolff@isit.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Silizium-  
technologie ISIT  
Fraunhoferstraße 1  
25524 Itzehoe  
www.isit.fraunhofer.de

## Hochtemperaturschutzschichten für die Raumfahrt

Bei Betriebstemperaturen von mehr als 1700 °C stehen Forschende vor großen Herausforderungen Bauteile für Luft- und Raumfahrtanwendungen zu entwickeln. Dr. Christian Reimann und Kevin Schuck vom Fraunhofer IISB fanden einen Weg solche Bauteile mit kostengünstigen ultrahochtemperaturbeständigen Schutzschichten zu versehen. Mit ihrer Idee gewannen die jungen Wissenschaftler den 3. Platz bei der DLR-Challenge der »INNOspace Masters« 2020.

Insbesondere in Triebwerken, Antrieben und Thermalschutzstrukturen für die Luft- und Raumfahrt ist eine derartig hohe Hitzeentwicklung problematisch. Bei üblichen Kohlenstofffaser-Kompositbauteilen kommt es zur aktiven Oxidation und zwangsläufig zur Zerstörung der Werkstoffe durch Partikelablation sowie Abplatzungen. Dies hat zur Folge, dass der bisherige Einsatz auf Anwendungen mit niedrigeren Temperaturen limitiert ist und Triebwerke sowie Antriebe ihr Potenzial nicht erreichen.

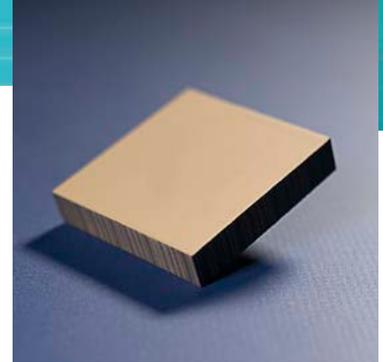
dass Triebwerke und Antriebe auch bei höheren Temperaturen arbeiten und einen besseren Wirkungsgrad erreichen können.

### Was hat sich für Sie nach der Auszeichnung verändert?

Der vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) initiierte Wettbewerb »INNOspace Masters« zeichnet jährlich innovative Ideen und Konzepte für den Transfer von Technologien, Diensten und Anwendungen von der Raumfahrt in andere Branchen und umgekehrt aus. Durch die Prämierung erhielten wir als Forscher Zugang zu weltweiten Wissenschaftsnetzwerken. Auch bekamen wir eine Förderung für die Durchführung unseres zweijährigen Forschungsprojektes »HOSSA«. Hierbei geht es darum, unsere Idee für die Hochtemperaturschutzschichten gemeinsam mit Firmen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie in die praktische Anwendung zu bringen.

### Von der Theorie in die Praxis. Wie weit sind Sie mit Ihrem Forschungsprojekt?

Nach der Prüfung der Projektunterlagen durch das DLR wollen wir Anfang Mai 2021 mit unserem Vorhaben starten. Durch die direkte Einbindung eines Industriebeirats aus Zulieferfirmen und Anwendern der Luft- und Raumfahrtindustrie sind wir sehr zuversichtlich, dass es zu weiteren Anschlussvorhaben und Technologieverwertungen kommen wird. Ein wesentlicher Punkt ist es auch, möglichst viele Anwendungsszenarien für die neuartige Technologie zu generieren. Hierbei ist unsere Expertise im Bereich der Halbleitermaterialherstellung und Prozessierung sehr nützlich. Es ist uns bereits gelungen, Unternehmen aus diesem Bereich für unseren Ansatz zu interessieren und die ersten Lizenzverhandlungen zu führen.



Graphitplatte versehen mit einer Hochtemperaturschutzschicht.  
© Fraunhofer IISB / Anja Grabinger

Christian Reimann studierte Mineralogie an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz und an der Universität zu Köln. Seit 2005 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IISB und erhielt seinen Dokortitel von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Jahr 2010. Im selben Jahr wurde er Gruppenleiter für das Themenfeld Silizium und 2016 stellvertretender Leiter der Abteilung Materialien am Fraunhofer IISB.

Kevin Schuck hat im Jahr 2019 sein Studium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik erfolgreich mit dem Titel Master of Science abgeschlossen. Seit seinem Studienabschluss ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IISB in der Abteilung Materialien und beschäftigt sich mit Schutzschichten für Hochtemperaturanwendungen.



Dr. Christian Reimann und Kevin Schuck bei der Übergabe der Urkunden während der »INNOspace Masters« 2020.  
© Fraunhofer IISB / Anja Grabinger

### Herr Reimann, Herr Schuck, erzählen Sie uns bitte von Ihrem Ansatz.

Das Herzstück unseres Ansatzes ist die bei uns am Fraunhofer IISB entwickelte Sprühbeschichtungstechnologie, die dabei hilft Bauteile für Luft- und Raumfahrtanwendungen mit ultrahochtemperaturbeständigen Schutzschichten zu versehen. Durch die Symbiose aus unserer Idee und der am Institut entwickelten Sprühbeschichtungstechnologie ist es nun möglich, die betroffenen Kohlenstofffaser-Kompositbauteile mit den temperaturbeständigen Oxidationsschutzschichten zu versehen. Dies führt dazu,

#### ■ Kontakt:

Dr. Christian Reimann  
christian.reimann@iisb.fraunhofer.de

Kevin Schuck  
kevin.schuck@iisb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB  
Schottkystraße 10  
91058 Erlangen  
www.iisb.fraunhofer.de



Christian Dils. © privat

Christian Dils studierte Mikrosystemtechnik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HTW) Berlin und schloss 2005 sein Studium ab. Er arbeitete für International Fashion Machines in Seattle, einem Pionierunternehmen für elektronische Textilien und am TZI - Zentrum für Datenverarbeitung und Kommunikationstechnologien in Bremen. 2007 trat Christian Dils als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Forschungsgruppe »Systems on Flex« am Fraunhofer IZM ein. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählt die Entwicklung von dehnbaren und textilintegrierten elektronischen Systemen, insbesondere auf dem Gebiet der Substratprozessierung, Fertigungstechnologien und Verbindungstechniken.

#### ■ Kontakt:

Christian Dils  
christian.dils@izm.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit  
und Mikrointegration IZM  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin  
www.izm.fraunhofer.de

## Smarte Mode kommt mit Mikroelektronik

Kann Mode mehr als Kleiden? Im Projekt »Re-FREAM« suchen Kunstschaffende und Forschende gemeinsam nach Synergien aus Textil und Technik, um Kleidung smart zu gestalten. Um die dafür benötigten Integrationstechnologien und elektronischen Module kümmern sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wie Christian Dils vom Fraunhofer IZM.

**Herr Dils, während aus Uhren Smartwatches und aus Armbändern Fitness-Tracker wurden, ist Kleidung noch Kleidung geblieben. Ist Mode schon im digitalen Zeitalter angekommen?**

Schon heute sind erste textile Produkte verfügbar, die Vitalfunktionen und Fitnessdaten aufnehmen und an ein Smartphone senden, vor Gefahren bei der Arbeit warnen oder ganz simpel, wärmen können. Im Vergleich zu Smartwatches oder Fitness-Trackern sind die elektronischen Textilien – die sogenannten E-Textilien – jedoch noch nicht auf dem Massenmarkt angekommen. Am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM sind wir aber fest davon überzeugt, dass E-Textilien ein großes Innovations- und Wachstumspotential aufweisen.

**Was wäre ein passendes Beispiel aus der Re-FREAM-Kooperation?**

Das Vorhaben »Connexstyle« rund um die Designerin und Produktentwicklerin Jessica Smarsch. Sie und ihr Team haben Kleidungsstücke entwickelt, die Rehabilitationsprozesse nach einem Schlaganfall optimieren können. Dafür werden die Muskelaktivitäten mit textilbasierten Elektromyographie-Sensoren gemessen und mittels dehnbarer Leiterbahnen an ein textilintegriertes Elektronikmodul gesendet. Anschließend können die Daten via Smartphone an die zuständigen Therapeuten übermittelt werden.

Die Anwendungsszenarien sind aber unbegrenzt und nicht nur auf Mode beschränkt. Ein Teilprojekt in Re-FREAM ist beispielsweise »Alma«, mit dem die italienische Designerin Giulia Tomasello Tabus rund um die weibliche Gesundheit aufdecken und ein Monitoring der vaginalen Flora realisieren möchte. Ein weiteres Beispiel wäre das Teilprojekt »Lovewear«, das Unterwäsche entwickelt, die besonders Menschen mit körperlichen Einschränkungen dabei helfen sollen, die eigene Intimität zu erforschen.

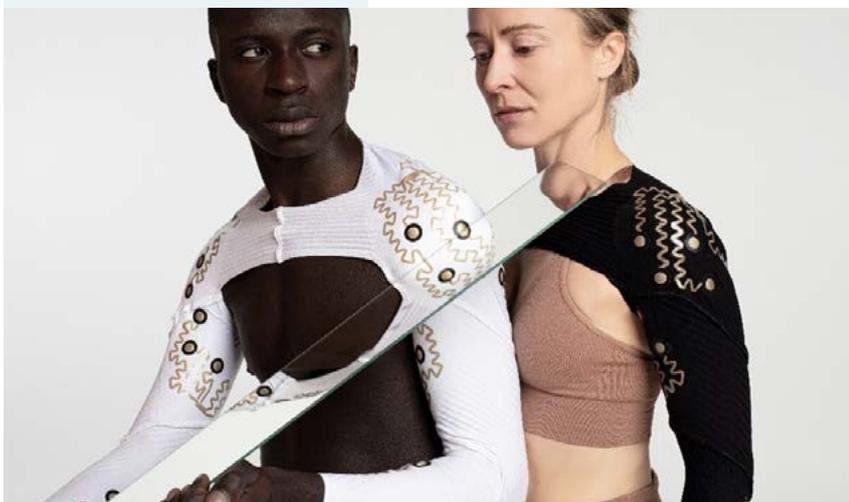
**Welche technischen Herausforderungen müssen dabei bewältigt werden?**

Besonders anspruchsvoll sind die Kontaktstellen zwischen Elektronik und Textilien, denn diese müssen im industriellen Maßstab herstellbar sein und beim Tragen sowie nach dem Waschen immer noch zuverlässig funktionieren. Möglich wird dies durch starke Miniaturisierung der elektronischen Module, spezielle Beschichtungs- und Verkapselungsverfahren oder auch durch textilgeeignete Kontaktierungstechnologien wie beispielsweise dem am Fraunhofer IZM speziell dafür entwickelten Bonding-Prozess. Eine weitere Herausforderung sind die integrierten Leiterstrukturen, die ähnlich weich, dehn-, biege- und faltbar wie Textilien sein müssen.

**Das Projekt befindet sich nun in der zweiten Phase. Was können wir in den nächsten Monaten erwarten?**

Während der drei Art-Tech-Projekte der ersten Phase wurden innovative Konzepte für tragbare und nachhaltige Gesundheitsanwendungen entwickelt. In der zweiten Phase haben wir wieder drei talentierte und motivierte Designer gefunden, mit denen wir uns weitere Umsetzungsvarianten für E-Textilien anschauen. Die Fortschritte können jederzeit auf unserer Projektwebseite verfolgt werden. Außerdem möchte ich alle Interessierten dazu einladen, sich über unsere Re-FREAM-Gruppe auf LinkedIn zu vernetzen.

*Stil und Funktionalität vereint: hier mit Kleidung, die Muskelaktivitäten misst und somit Rehabilitationsprozesse optimiert. © Jessica Smarsch*



## FMD-Equipment im Einsatz beim Kabelmonitoring

Dr. Alexander Weiß hat im Januar 2021 die Leitung der Abteilung Multi Device Integration beim Fraunhofer ENAS übernommen. Im aktuellen Projekt »Kabelmonitoring«, in dem Herr Weiß aktiv ist, kommt Equipment zum Einsatz, das im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) beschafft wurde. Auch sonst spielt die FMD für den Wissenschaftler eine wichtige Rolle in seinem beruflichen Alltag.

### Dr. Weiß, womit beschäftigen Sie sich in Ihrer neuen Rolle?

Als erstes habe ich mich auf Organisatorisches konzentriert und einige Prozesse in der Abteilung neu aufgesetzt. Aktuell widme ich mich vor allem den strategischen Themen. Dabei geht es auch um unsere Rolle in der FMD. Grundsätzlich ist die Abteilung Multi Device Integration (MDI) nach wie vor Entwicklungspartner für neuartige Sensoren und Aktoren und deren Integration in applikationsnahe Systeme. Mit unseren zentralen Themenfeldern können wir wesentliche Beiträge in den FMD-Technologieplattformen »Sensorsysteme« und »MEMS-Aktoren« sowie deren weitergehende Anwendung innerhalb der FMD leisten. Letztlich ist auch hier für uns wichtig, dass wir auf Basis unserer Expertise durch anwendungsorientierte Forschung in den genannten Themenfeldern den Stand der Technik bereichern und zukünftig Wachstumsfelder besetzen.

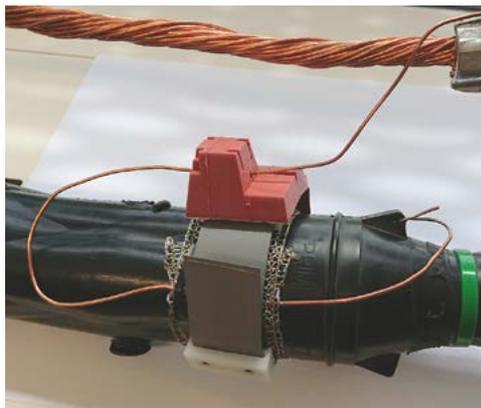
### Wie unterstützt die FMD Sie bei Ihrer Arbeit?

Die FMD bietet uns als Institut und als Abteilung einen großen Mehrwert. Das fängt bei institutsübergreifenden Kooperationen in internen Projekten an und geht weiter über gemeinsame Initiativen in Verbundprojekten sowie Industriekooperationen und setzt sich top-down bei der wunderbaren Ausstattung fort, die ja durch die FMD finanziert wurden. Zwei Beispiele kann ich gleich an dieser Stelle nennen: unsere neue »Probation für den MEMS-Funktionstest auf Waferlevel-Niveau« und unser »komplexes optisches Analytikcluster zur Charakterisierung von optoelektronischen Systemen«.

### Im Projekt Kabelmonitoring arbeiten Sie ja mit solchem Equipment. Was genau wird hier umgesetzt?

Die fehleranfälligen Teile eines kabelgebundenen Stromnetzes sind Kabelverbindungen und Steckverbinder. Durch allmähli-

che Degradation der Kabelisolierung in Kombination mit hoher Spannung bilden sich zunehmend Teilentladungen aus. Letztlich gehen diese in extrem hohe Kurzschlussströme über. Die daraus resultierende Wärmeentwicklung führt schließlich zur Zerstörung. In diesem Projekt geht es darum, mit neuartigen Sensoren – in diesem Projekt beispielsweise einem Teilentladungssensor – autarke Multi-Sensor-Systeme zu entwickeln, die solche Fehler frühzeitig und zuverlässig erkennen. Die verwendeten Sensorknoten selbst bestehen aus einem drahtlosen Kommunikationsmodul, einem Stromwandlermodul und verschiedenen Sensoren zur Erfassung von Teilentladungen, Kabeltemperatur und äußeren Einflüssen wie Vibrationen oder Stößen. Mit der bereits angesprochenen Probestation charakterisieren wir hierbei beispielsweise die eingesetzten MEMS-Vibrationssensoren.



Ein Prototyp des Sensors, der an eine Steckverbindung angebracht wurde. © Fraunhofer ENAS

### An welchem Projekt im FMD-Universum wären Sie außerdem gerne beteiligt?

Wir hören gegenwärtig viel von Quantencomputing und anderen fortschrittlichen Technologien. Ich könnte mir vorstellen, dass wir in der FMD gemeinsam quantenoptische Sensoren entwickeln.



Dr. Alexander Weiß.  
© Fraunhofer ENAS

Als Kind haben mich große Maschinen und das, was mit ihnen möglich ist, sehr fasziniert. Fast hätte ich nach meiner Schulausbildung dann Maschinenbau studiert. Aber beim Besuch der TU Chemnitz am Tag der Offenen Tür faszinierten mich die wissenschaftlichen Arbeiten, die auf Postern ausgestellt waren und die kleinen Mikrosysteme, die im Rahmen des damaligen Sonderforschungsbereichs SFB 379 – Mikromechanische Sensor- und Aktorarrays – erforscht wurden. So etwas hatte ich bis dahin noch nicht gesehen und mir war klar, dass das die Zukunft prägen wird. Umso mehr freue ich mich heute, wenn unsere Entwicklungen von kleinen Sensorsystemen auch an großen Maschinen, bspw. zur Zustandsüberwachung und vorausschauenden Instandhaltung, eingesetzt werden.

### ■ Kontakt:

Dr. Alexander Weiß  
alexander.weiss@enas.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Elektronische  
Nanosysteme ENAS  
Technologie-Campus 3  
09126 Chemnitz  
www.enas.fraunhofer.de



Sebastian Schulze. © IHP GmbH

Sebastian Schulze ist 1985 in Burg geboren, studierte Physikalische Technik an der Technischen Hochschule Wildau und schloss das Studium 2009 mit einem Ingenieurs-Diplom ab. Anschließend arbeitete er am IHP im Bereich der Materialcharakterisierung und beschäftigte sich mit verschiedenen Methoden zur Oberflächenanalyse. Nach einem Auslandsaufenthalt 2011 in Vancouver, Kanada kehrte er 2012 zurück zum IHP und sein Arbeitsschwerpunkt verlagerte sich hin zur Prozessentwicklung. Berufsbegleitend erlangte er 2017 den M.Sc. in Nanotechnologie an der Universität Kaiserslautern. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit am IHP ist Sebastian Schulze ein leidenschaftlicher Triathlet und bereitet sich aktuell auf ein Rennen auf der Ironman-Distanz vor.

#### ■ Kontakt:

Sebastian Schulze  
schulze@ihp-microelectronics.com  
IHP GmbH – Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik  
Im Technologiepark 25  
15236 Frankfurt (Oder)  
www.ihp-microelectronics.com

## Neue Bondtechnologien für Wafer-Level Packaging und 3D-Heterointegration

Als Teil der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) modernisierte das Leibniz IHP in den vergangenen drei Jahren einen Teil seiner Forschungsinfrastruktur. Sebastian Schulze forscht im Bereich Al-Al Bonding und arbeitet in Frankfurt (Oder) an einem der neuen Hightech-Geräte – einem Hochvakuumbonder, der beispielsweise hilft, die hohen Temperaturen beim Bonden zu reduzieren und so die Bauelemente zu schonen.

### Herr Schulze, woran arbeiten Sie gerade?

Ich arbeite am Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik und befasse mich zurzeit mit der Optimierung von physikalischen und chemischen Gasphasen-Abscheidungsverfahren zur Metallabscheidung und der Lösung von Technologieproblemen im Leitbahn- und Kontaktsystem. Durch die FMD und die damit einhergehende Modernisierung der Forschungsinfrastruktur des IHP hat sich mein Arbeitsfeld um das Thema Aluminium zu Aluminium (Al-Al) Waferbonden erweitert. Seit 2018 beschäftige ich mich mit dem Al-Al-Thermokompressionsbonden, der Präparation der dafür benötigten Wafer sowie der Nachbearbeitung und strebe in diesem Thema auch eine Promotion an. Zurzeit verbringe ich sehr viel Zeit im Labor und bin mit der Prozessentwicklung an einem neuen Waferbonder beschäftigt.

### Was bedeutet »Waferbonden« und wofür wird das eingesetzt?

Beim Waferbonden geht es darum, zwei Wafer dauerhaft miteinander zu verbinden und einen niedrigen Kontaktwiderstand an

der Al-Al-Grenzfläche zu gewährleisten. Bisher war die Oxidbildung auf den Al-Oberflächen eine der Haupteinschränkungen, um zuverlässige elektrische Verbindungen mit geringem Kontaktwiderstand zu realisieren. Erfolgreiches Bonden war nur bei einer sehr hohen Temperatur ( $> 400\text{ °C}$ ) möglich. Der Hochvakuumbonder, an dem ich gerade arbeite, umgeht genau dieses Problem.

### Wofür sind die neuen technischen Möglichkeiten in Ihrem Forschungsbereich wichtig?

Eine neuartige Oberflächenbehandlung auf Basis einer Plasmareinigung zusammen mit der Bearbeitung der Wafer unter Ultrahochvakuum ermöglicht ein oxidfreies Al-Al-Waferbonden. Dadurch können die Temperaturen beim Bonden auf ca.  $150\text{ °C}$  enorm reduziert werden. Dies schont die Bauelemente und vermindert thermomechanische Verspannungen beim Bonden.

Eine weitere Besonderheit: eine optische Justierung mit einer sehr hohen Genauigkeit von unter  $1\text{ }\mu\text{m}$  ermöglicht eine Herstellung von elektrisch-leitfähigen Al-Verbindungen mit ultrafeinen Abmessungen zwischen den Substraten. Mithilfe dieser neuen Bondtechnologie ergeben sich zukunftsweisende Möglichkeiten im Bereich Wafer-Level Packaging und der 3D-Heterointegration, bei der unterschiedliche Halbleitertechnologien vereinigt werden können, um so eine höhere Funktionalität und Leistung zu erhalten.



Sebastian Schulze mit den Kollegen Patrick Krüger und Thomas Voß (v.l.n.r.) vor dem Hochvakuumbonder im IHP Nanolab. © IHP GmbH

## Effektives KI-Training mit LIDAR-Daten

Künstliche Intelligenz (KI) kann nur so leistungsfähig operieren, wie es die Qualität der antrainierten Daten zulässt. Im Besonderen gilt dies beim Deep-Learning, das neuronale Netze nutzt, die vom menschlichen Gehirn inspiriert sind. Tools für das Labeling von Kamerabildern sind auf dem Markt bereits etabliert, entsprechende Tools für das Labeling von Laser-scanner-Daten sind jedoch noch nicht verfügbar.

### Herr Schäufele, wie kann das Labeling-Tool FLIT.AI dazu beitragen, dem Ziel der autonomen Mobilität näher zu kommen?

In vielen selbstfahrenden Fahrzeugen gehören LIDAR-Sensoren, also Laserscanner, zur Sensorik für die Umfelderkennung. Damit die Vehikel mit den Daten auch etwas anfangen können, muss die KI im Fahrzeug trainiert werden. Für LIDAR-Daten gibt es bis jetzt allerdings nur wenige verfügbare Datensätze. Mit unserem Labeling-Tool FLIT.AI kann man auf einfache Weise Datensätze für LIDAR-Daten erstellen. Zum einen kann man mit gleichzeitig aufgezeichneten Video-Daten automatisiert die LIDAR-Daten vorlabeln lassen. Zum anderen ist es einfach möglich, die LIDAR-Daten händisch nachzubearbeiten. Außerdem werden über Tracking Labels von einem LIDAR-Scan zum nächsten weitergeführt. So wird im Mittel nur noch 10 % der Zeit benötigt, um hochqualitative Lerndaten zu generieren.

### Wie bringt der Mensch die KI voran und wird dies in Zukunft auch (fast) ohne ihn funktionieren?

Heutzutage ist es häufig so, dass man der KI beim sogenannten »Supervised Learning« Vorgaben machen muss. Die beim Training verwendeten Daten müssen von Menschen zuvor verarbeitet werden, in dem verschiedene Objekte in den Daten gelabelt werden. In der Zukunft kann das durch »Unsupervised Learning« zum Teil auch ohne Menschen funktionieren. Dabei versucht die KI beim Training Unterschiede in den Trainingsdaten zu bestimmen und so selbst Klassen zu finden. Die Prüfung, ob diese korrekt sind und die Festlegung der Parameter beim Training, müssen jedoch immer noch von einem Menschen bestimmt werden.

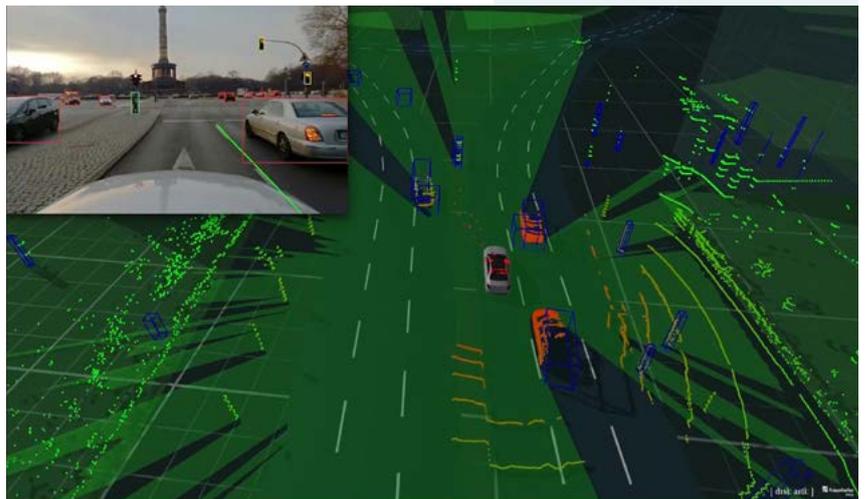
### Wie wirkt Mikroelektronik mit Ihrem Tool zusammen?

Durch verschiedene Schnittstellen, die das FLIT.AI-Tool anbietet, können mit LIDAR-Sensoren und Kameras aufgenommene

Daten direkt in das FLIT.AI-Tool integriert werden. Außerdem arbeiten wir an der Integration weiterer Sensoren, wie RADAR. Für das Labeling der Daten verwenden wir eine eigene, sehr leistungsstarke KI-Server-Farm, um die neuronalen Netze auszuführen. Gleichzeitig arbeiten wir aber auch im Projekt KI-Flex mit an der Entwicklung eines ASIC speziell für das Ausführen von neuronalen Netzen.

### Was fehlt noch zum autonomen Vehikel, das ohne Sorgen auf die Straße gebracht werden kann?

Bei der Erkennung des Umfelds ist die Forschung für selbstfahrende Fahrzeuge schon sehr weit fortgeschritten. Damit können Verkehrsbereiche mit relativ geringer Komplexität, beispielsweise Autobahnen bereits gut beherrscht werden. Eine große Herausforderung ist noch die Entscheidungsfindung bei komplexen Verkehrsszenarien,



Die Datenaufnahme erfolgt mithilfe von Kameras und eines LIDAR-Sensors. © Fraunhofer FOKUS

wie man sie in Städten, aber auch auf Landstraßen mit Kreuzungen, vorfindet. Die Anzahl der möglichen Verkehrssituationen ist dort sehr hoch und erfordert daher eine riesige Menge an Daten, um die KI darauf vorzubereiten.

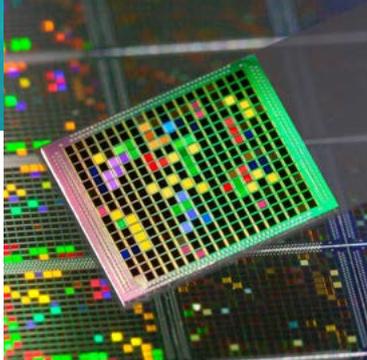


Bernd Schäufele. © privat

Bernd Schäufele leitet die Gruppe »Perception and Communication« im Geschäftsbereich Smart Mobility am Fraunhofer FOKUS. Er hat an großen, z. T. europaweiten Forschungsprojekten im Bereich Fahrzeugkommunikation und Kooperatives Fahren mitgewirkt, wie SimTD, Drive C2X und TEAM. Seine Forschungsschwerpunkte sind Kooperative Positionierung und Kooperative Fahrmanöver sowie Umfelderkennung mit LIDAR- und Kamera-Sensorik. In der Gruppe von Bernd Schäufele wurde das Software-Framework »FLIT.AI« entwickelt, mit dem u. a. LIDAR-Daten automatisiert und manuell gelabelt werden können, um zeitsparend qualitativ hochwertige Daten für das Training von Künstlicher Intelligenz zu erzeugen. Bernd Schäufele hat einen Masterabschluss im Studiengang Software-Systemtechnik am Hasso-Plattner-Institut in Potsdam.

#### ■ Kontakt:

Bernd Schäufele  
bernd.schaeufele@fokus.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme FOKUS  
Kaiserin-Augusta-Allee 31  
10589 Berlin  
www.fokus.fraunhofer.de



Smarte Sensoren, integrierte Schaltungen und Software-Lösungen für einen besseren Lebensalltag.  
© Fraunhofer IIS / Max Etzold

## Führungswechsel im Bereich »Smart Sensing and Electronics« am Fraunhofer IIS

Zum Jahresbeginn erfolgte die Stabübergabe des Forschungsbereichs Smart Sensing and Electronics am Fraunhofer IIS: Die neue Doppelspitze heißt Dr. Denise Müller-Friedrich und Dr. Jens-Uwe Garbas. Der Gründungsvater und bisheriger Leiter des Institutsbereichs, Josef Sauerer, verabschiedete sich Ende März in den Ruhestand.

In dem Forschungsbereich »Smart Sensing and Electronics« des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen wird an der Entwicklung und Realisierung von praktischen und zukunftsorientierten Lösungen auf den Gebieten Medizintechnik, Wahrnehmungsbasierte und Integrierte Sensorsysteme und Chipentwicklung (IC-Design) gearbeitet. Die am Institut entwickelten integrierten Schaltungen stecken in Produktionsanlagen und Maschinen oder in Fahrzeugen namhafter Hersteller. Im Zusammenhang mit »kognitiver Sensorik« er-

Institut ein neues Geschäftsfeld zur wahrnehmungsbasierten Sensorik aufgebaut. Seine neuen Aufgaben werden vor allem die Gesamtstrategie und Personalführung umfassen. »Mein Ziel ist es, noch mehr Synergien zwischen den Geschäftsbereichen zu heben und dabei die Stärken in den etablierten Feldern auszubauen. Strategischen Initiativen und neuen Partnerschaften kommen dabei besondere Bedeutung zu«, so Dr. Garbas.

Dr. Denise Müller-Friedrich promovierte an der Universität Bayreuth im Fach Chemie. Nach verschiedenen Positionen in wissenschaftlichen Einrichtungen wechselte sie 2014 in die Industrie und war zuletzt als Leiterin Vertrieb und strategisches Marketing bei der Seuffer Unternehmensgruppe tätig. Seit 2017 verantwortete sie am Fraunhofer IIS als Referentin Teile des Bereichs Smart Sensing and Electronics. Nun wird sie sich vor allem um die Organisationsentwicklung, Strategie- und Businessprozesse und Finanzen kümmern. Dr. Müller-Friedrich: »Unsere Vision einer Entwicklung von smarten Sensoren, Mikroelektronik und Software für einen besseren Lebensalltag, ist der Antrieb für unsere Forschungsarbeit. Wir möchten an die fachlichen und strategischen Erfolge der vergangenen Jahre weiter anknüpfen, neue Initiativen starten und Themen und Menschen optimal vernetzen.«



Als Team in einer Doppelspitze:  
Dr. Jens-Uwe Garbas und  
Dr. Denise Müller-Friedrich.  
© Fraunhofer IIS

forscht der Bereich Technologien für Sensorik und Datenübertragungstechniken sowie -analysemethoden. Damit wird die Funktion des klassischen intelligenten Sensors um eine kognitive Komponente erweitert.

### Das neue Duo

Der Elektronikingenieur Dr. Jens Garbas kam nach seiner Promotion im Jahr 2010 an das Fraunhofer IIS. Dort verantwortete er unter anderem Strategie- und Geschäftsfeldentwicklung im Themenfeld Bildsensorik und künstliche Intelligenz. Zuletzt hatte er am

### Der Vorgänger

Als Mann der ersten Stunde hat Josef Sauerer in den letzten 35 Jahren den Aufbau der Kernkompetenz Mikroelektronik am Fraunhofer IIS entscheidend geprägt. Mit der Einrichtung des Forschungsbereichs Smart Sensing and Electronics begann er 2014. Heute hat dieser mehr als 120 Mitarbeitende und ein jährliches Budget von etwa 23 Mio €. Mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft arbeitet der Bereich mit Hochdruck nicht nur an Lösungen für die Märkte von heute und morgen, sondern auch an Bausteinen für eine nachhaltige und lebenswerte Gesellschaft im Wandel der Digitalisierung.

### ■ Kontakt:

Syndia Ioannidou  
syndia.ioannidou@iis.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Schaltungen IIS  
Am Wolfsmantel 33  
91058 Erlangen  
www.iis.fraunhofer.de



Karsten Roscher. © Fraunhofer IKS

## Robustes Quantencomputing für die Praxis

Quantencomputing hat das Potenzial, eine Vielzahl von Industrien massiv und nachhaltig zu verändern und zahlreiche neue Anwendungen zu ermöglichen. Dazu zählen beispielsweise Simulationen neuer Materialien für effizientere Solarzellen und Batterien sowie datenintensive Anwendungen für Künstliche Intelligenz (KI) und Cybersicherheit.

**Herr Roscher, Sie arbeiten in einem absoluten Trendbereich, dem Quantencomputing. Was ist das und wie kann die Gesellschaft hierdurch praktisch vorangebracht werden?**

Ganz vereinfacht gesprochen sind Quantencomputer heutigen Rechnern für gewisse Aufgabenstellungen in puncto Verarbeitungsgeschwindigkeit um ein X-Faches überlegen. Anders gesagt: Quantenrechner sollen künftig Probleme in Sekunden lösen, für die bisherige Computer Jahrhunderte brauchen. Das macht zahlreiche neue Anwendungen möglich. Dazu zählen Lösungen für komplexe Optimierungsprobleme in der Logistik-, Finanz- und Versicherungsindustrie, aber auch eine bessere medizinische Diagnostik.

**Und an welchen Stellen bringen Sie mit Ihrer täglichen Arbeit die Technologieentwicklung voran?**

Im Rahmen der Entwicklung von Software-Anwendungen für Quantencomputing konzentriert sich das Fraunhofer IKS mit seiner Expertise in Sachen Safety auf das Forschungsfeld »Zuverlässiges und robustes Quantencomputing«. Denn Quantencomputing bietet wie schon gesagt viele Möglichkeiten für innovative Problemlösungen, allerdings kann es erst dann einen echten Mehrwert liefern, wenn die Berechnungen zuverlässig und sicher sind. Neben der reinen Rechenleistung ist daher die Robustheit des Quantencomputing eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz in der Praxis.

**Welchen konkreten Einfluss hat die Mikroelektronik auf Ihre Arbeit?**

Unabhängig vom konkreten Quantencomputing-Projekt steckt Mikroelektronik in jedem Gerät, mit dem wir täglich arbeiten. Ohne die ständig steigende Rechenleistung auf allen Ebenen, wäre eine breite Anwendung des Maschinellen Lernens überhaupt nicht möglich. Der Erfolg von Künstlicher Intelligenz ist also auch ein Erfolg der Mikroelektronik.

**Und was sind die größten Herausforderungen an denen Sie derzeit forschen?**

Der Einsatz Neuronaler Netze in sicherheitskritischen Umfeldern ist sehr herausfordernd, da selbst kleine Veränderungen am Input wie beispielsweise einem Bild zu einem anderen Ergebnis der Berechnungen führen können. Benötigt wird also ein Qualitätsnachweis für die Berechnungen des Neuronalen Netzes. Dafür kommen bestimmte Algorithmen zum Einsatz, was aktuell jedoch nur für relativ einfache Netze funktioniert. Denn mit der Größe und Komplexität eines Neuronalen Netzes steigt die für die Nachweisführung benötigte Berechnungszeit massiv. Daher untersuchen wir am Fraunhofer IKS, wie die Optimierung und Absicherung autonomer, vernetzter Systeme mithilfe des Quantencomputing verbessert werden kann.



*Die Fraunhofer-Gesellschaft hat im November den ersten Quantencomputer nach Deutschland geholt; das Fraunhofer IKS unterstützt die zugehörige Software-Entwicklung durch zuverlässige und robuste Quantencomputing.*  
© IBM Research

Karsten Roscher ist seit 2010 am Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS (damals noch das Fraunhofer ESK). Er leitet seit 2020 die Abteilung für Zertifizierbare Künstliche Intelligenz. Karsten Roscher studierte Informatik und Elektrotechnik mit den Schwerpunkten Multimediale Systeme, Rechnernetze und Robotvision an der Technischen Universität Ilmenau. Derzeit forscht er an der zuverlässigen Bestimmung von Unsicherheiten sowie an Methoden zur Sicherstellung von Robustheit und Nachvollziehbarkeit für das maschinelle Lernen.

■ **Kontakt:**  
Karsten Roscher  
karsten.roscher@iks.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS  
Hansastraße 32  
80686 München  
www.iks.fraunhofer.de



Frank Altmann. © Fraunhofer IMWS

## Zuverlässige Mikroelektronik durch Fehleranalyse mit Künstlicher Intelligenz

Frank Altmann ist seit 2019 kommissarischer Leiter des Geschäftsfelds »Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik« am Fraunhofer IMWS in Halle (Saale). Zudem leitet er seit 2006 die Gruppe »Diagnostik Halbleitertechnologien« und doziert seit 2007 an der Hochschule Merseburg im Masterstudiengang »Mechatronik, Wirtschaftsingenieurwesen, physikalische Technik«. Er selbst hat Physik an der TU Dresden studiert und bereits seine Diplomarbeit in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut in Halle geschrieben. Seit 1997 ist er am Fraunhofer IMWS tätig und forschte zuletzt an der Fehlerdiagnostik 3D-integrierter Mikroelektronik.

Der Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens bietet neuartige Möglichkeiten zur Automatisierung und damit Effizienzsteigerung der Fehlerdiagnostik. Gemeinsam mit Partnern will das Fraunhofer IMWS in einem internationalen Projekt dafür den Weg bereiten. Die neuen Methoden auf Basis der Künstlichen Intelligenz (KI) sollen helfen, komplexe Fehlermodi zu erfassen und auszuwerten.

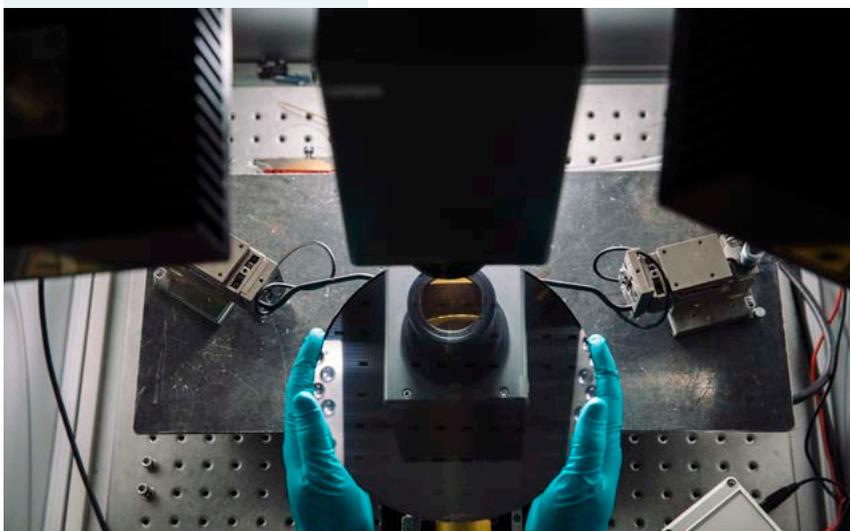
Genau hier setzt das Projekt »Failure Analysis 4.0 – Key for reliable electronic devices in smart mobility and industry production« (FA 4.0) an. Bis März 2023 arbeiten die Partner aus Forschung und Industrie an Methoden für Fehleranalyse-Tools und -Workflows. »Die hohe Integrationsdichte ist eine ständige Herausforderung für die Qualität und Zuverlässigkeit von Bauelementen für die Mikroelektronik«, sagt Frank Altmann, der die Aktivitäten des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS innerhalb des neuen Projekts leitet. »Leistungsfähige und ständig verbesserte Methoden zur Fehleranalyse sind deshalb elementar wichtig.«

Lock-in Thermographie. Die Idee: Konzepte des Überwachten sowie des nicht Überwachten maschinellen Lernens zu entwickeln und diese dann in Diagnostikgeräte für die Datenakquise und Auswertung zu integrieren. Die Forschenden arbeiten einerseits daran, einzelne Analysegeräte aus verschiedenen Stufen des Prozesses mit standardisierten Hard- und Software-Schnittstellen miteinander zu verbinden sowie andererseits Richtlinien und Datenbanksysteme für die Strukturierung, Verarbeitung und Speicherung von bauteilspezifischen Kenn- und Analyse-daten zu definieren.

Wenn man eine Verknüpfung zwischen den Daten aus unterschiedlichen Analysemethoden und dem Layout eines integrierten Schaltkreises erreicht hat und diese anschließend von einem trainierten und selbst lernenden Algorithmus analysiert werden, könnten Defekte automatisch erkannt, deren Signatur ermittelt, klassifiziert und mit katalogisierten Daten bereits bekannter Fehlerursachen verglichen werden. Mit diesen neuen innovativen Ansätzen können bisher nicht auffindbare komplexe Fehlerbilder identifiziert und der Zeit- und Kostenaufwand der Fehleranalysen erheblich verringert werden.

### Erfolgreiche Fehlerdiagnostik mit KI-basierter Auswertung

Frank Altmann blickt optimistisch in die Zukunft und fasst das Vorhaben zusammen: »In den aktuellen Fehleranalyse-Workflows kommen zwar zahlreiche Methoden zum Einsatz, die sich ergänzende Analysedaten von Bauelementen liefern. Diese werden aber bisher nur manuell verknüpft. Die automatisierte, prozessübergreifende Bereitstellung und KI-basierte Auswertung dieser Daten einschließlich Ableitung von Fehlerursachen haben ein enormes Potenzial, die Effizienz der Qualitätssicherung bei der Fertigung weiter zu erhöhen und damit die Produktzuverlässigkeit und Qualität bei immer kürzeren Entwicklungszeiten zu steigern.«



Zerstörungsfreie Diagnostikmethoden wie die Lock-in Thermographie sind einer der Schwerpunkte im Projekt »FA 4.0«. © Fraunhofer IMWS

### Weitgehend automatisierte Fehleranalyse und Datenmanagement

Um dieses gemeinsame Ziel im Projekt zu erreichen, konzentriert sich das Fraunhofer IMWS auf die Erforschung und Entwicklung von KI-Methoden zur Signalanalyse von zerstörungsfreier Defekterkennung – beispielsweise die akustische Mikroskopie oder

#### ■ Kontakt:

Frank Altmann  
frank.altmann@imws.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur  
von Werkstoffen und Systemen IMWS  
Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)  
www.imws.fraunhofer.de

## Zerstörungsfreies Prüfsystem für die Handprüfung

Für die Qualitätssicherung in den unterschiedlichsten Industriebranchen sind Sensorsysteme der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) essentiell. Gerade bei der manuellen Prüfung sind die aktuellen unhandlichen Prüfsystemkonzepte jedoch eher hinderlich, da oft in schlecht zugänglichen Bereichen geprüft werden muss. Kevin Becker vom Fraunhofer IZFP forscht an Technologien, die den Einsatz erleichtern sollen.

### Herr Becker, welche Herausforderungen sehen Sie bei der Entwicklung neuer Sensorsysteme für ZfP-Verfahren?

Unser Ziel am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP ist es unter anderem, Systeme zu entwickeln, welche neue Konzepte der Sensorsignalverarbeitung zur Anwendung bringen. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Handprüfung, bei der vielfältige Randbedingungen berücksichtigt werden müssen – gute Handhabbarkeit, Miniaturisierung des gesamten Sensorsystems, geringe Latenz der Signalübertragung sowie eine Echtzeitdatenverarbeitung.



Wirbelstrombaugruppe inspECT-PRO als Teil des Demonstrators. © Fraunhofer IZFP / U. Bellhäuser

Dies verlangt eine genaue Betrachtung der gesamten Signalkette, damit die Datenverarbeitung und -übertragung möglichst energieeffizient und ohne größere Verzögerung voransteht. Wichtig ist es auch, schon vorab eine Klassifizierung der Daten vorzunehmen, um die Fehlererkennung für den Prüfer möglichst zu vereinfachen. Dadurch kann eine deutliche Verbesserung des Qualitätssicherungsprozesses erzielt werden.

### Mit welchen Forschungsthemen beschäftigen Sie sich am Fraunhofer IZFP?

Im Kern meiner Forschungen geht es vor allem um die Entwicklung neuartiger Konzepte für

energieeffiziente Mikroarchitekturen und KI-Beschleuniger. Hierfür dient zunächst ein »Field Programmable Gate Array« (FPGA) als Entwicklungsplattform. Die darauf entwickelten Systeme sollen die Datenverarbeitung beschleunigen, möglichst energieeffizient arbeiten sowie neue Konzepte der biologisch inspirierten Informationsverarbeitung umsetzen. Bei solchen und ähnlichen Forschungsthemen arbeiten wir in enger Kooperation mit Instituten des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik – beispielsweise in dem Innovationsprogramm »TRAICT« (TrustedResource-Aware ICT). Hierbei untersuchen die beteiligten Forscherteams aus 18 Fraunhofer-Instituten gemeinsam Systemarchitekturen und deren Komponenten im Hinblick auf ihre Vertrauenswürdigkeit und Energieeffizienz.

### An was genau arbeiten Sie gerade?

Aktuell arbeite ich an der Umsetzung eines Wirbelstrom-Prüfsystems für die Handprüfung. Bisher wurde ein Demonstrator realisiert, der zukünftig vor allem hinsichtlich Energieeffizienz und Performance optimiert wird: so können Daten nach einer Analog-Digital-Wandlung des Sensorsignals mittels Bluetooth auf ein Smartphone übertragen und dargestellt werden. Hierfür haben wir im Team die notwendige Programmierung des Mikrocontrollers vorgenommen sowie eine App entwickelt, welche die Daten auf dem Bildschirm des Smartphones darstellt.

### Was finden Sie besonders spannend dabei?

Für uns ist es interessant, eine möglichst geringe Latenz zwischen der physikalischen Wechselwirkung mit dem Prüfobjekt, der Datenverarbeitung auf dem Mikrocontroller und der letztendlichen Darstellung auf dem Bildschirm des Smartphones zu erzielen. Eine Latenz von 100 ms ist für die Handprüfung schon deutlich zu lang. Künftig soll hier die Verknüpfung mehrerer Sensorsignale sowie die einhergehende Klassifikation der Daten realisiert werden.



Kevin Becker. © privat

Kevin Becker, geboren 1991 in Homburg, studierte Elektro- und Informatikstechnik an der Technischen Universität Darmstadt mit den Vertiefungsrichtungen »Integrierte Mikro- und Nanotechnologie« sowie »Sensorik, Aktuatorik und Elektronik« und schloss dieses 2020 mit dem Abschluss Master of Science ab. Im Rahmen seiner Masterarbeit entwickelte er einen 10 Gbps High-Speed-Transceiver in der 28 nm HPC-Technologie von TSMC. Seit November 2020 ist er als Doktorand am Fraunhofer IZFP tätig und forscht hier auf dem Gebiet der energieeffizienten Echtzeit-Datenverarbeitung für Sensorsysteme der zerstörungsfreien Prüfung.

### ■ Kontakt:

Sabine Poitevin-Burbes  
Unternehmenskommunikation  
sabine.poitevin-burbes@izfp.fraunhofer.de

Kevin Becker  
kevin.becker@izfp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP  
Campus E3 1  
66123 Saarbrücken  
www.izfp.fraunhofer.de



Prof. Sebastian Kruss.  
© RUB / Marquard

Sebastian Kruss studierte Chemie und Biophysik an der Universität Heidelberg und promovierte am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme über nanostrukturierte Oberflächen. Es folgte ein Post-Doc-Aufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) in Cambridge, USA. Nach seiner Rückkehr leitete er zunächst eine Arbeitsgruppe an der Universität Göttingen. 2020 wurde er auf eine Professur für Physikalische Chemie an die Ruhr-Universität Bochum berufen. Zeitgleich baute er am Fraunhofer IMS im Rahmen des Attract Programms eine Arbeitsgruppe zum Thema Biosensoren auf.



Ein Teil des Forschungsteams:  
Sebastian Kruss (links) und Robert Nibler. © Alexander Spreinat

## Neue Biosensoren detektieren Viren und Bakterien in Echtzeit

Mithilfe optischer Biosensoren könnten Bakterien und Viren in Sekundenschnelle detektiert werden. Patienten müssten nicht mehr tagelang auf ihre Testergebnisse warten, sterile Räume, medizinische Geräte, Produktionsprozesse und Lebensmittel könnten in Echtzeit überwacht werden. Am Fraunhofer IMS in Duisburg hat sich eine neue Arbeitsgruppe gegründet, die all das ermöglichen will.

**Prof. Kruss, Bakterien und Viren in Echtzeit zu erkennen, das klingt ja nach einer großartigen Zukunftsaussicht. Wie würden Sie einem Laien die Funktionsweise Ihres geplanten Detektors erklären?**

Wir arbeiten an Nanosensoren die man sich als extrem kleine Röhren vorstellen kann – 100.000 Mal kleiner als ein menschliches Haar. Sie leuchten in einem für den Menschen nicht sichtbaren Bereich (nahes Infrarot). Diese Nanoröhren können nun chemisch so dekoriert werden, dass sie in Gegenwart eines bestimmten Zielmoleküls ihr Leuchten verändern. So kann die Anwesenheit beispielsweise eines Virus-Partikels oder von Bakterien optisch angezeigt werden. Das besondere an unseren Sensoren ist, dass sie für eine Vielzahl von Anwendungen einsetzbar sind und äußerst klein, schnell und ultrasensitiv sind. Die aktuelle Lage zeigt, dass wesentlich mehr Diagnostik vorhanden sein sollte, um Pandemien eindämmen zu können. Stellen sie sich vor, man hätte für Jeden verfügbare Biosensoren, die in wenigen Minuten ein Ergebnis liefern und nicht so fehlerbehaftet wären wie aktuelle Tests.

**An welchen Stellschrauben herrscht noch weiterer Forschungsbedarf?**

Wir können bereits im Labormaßstab wichtige Pathogene wie Bakterien unterscheiden. Auf dem Weg zur Anwendung wollen wir die Erkennungsstrategien weiter ausdehnen um möglichst viele Dinge gleichzeitig erfassen zu können. Außerdem arbeiten wir an einem Prototyp zum Auslesen der Nanosensoren. Längerfristig wollen wir solche Sensorkonzepte aber noch wesentlich patientennäher einsetzen. Ein Beispiel sind intelligente Implantate, die Infektionen berührungsfrei und nicht-invasiv anzeigen.

**Wie können wir uns ein solches Detektions-Gerät vorstellen?**

Biosensoren erkennen chemische Strukturen, die charakteristisch für eine bestimmte Frage sind. Ein Beispiel wäre das Protein, mit dem das Coronavirus in menschliche Zellen eindringen kann. Die Nanosensoren erkennen genau diese Strukturen. Daher werden immer solche Nanosensoren, beispielsweise integriert in ein Hydrogel oder auf Papier, benötigt. Das Auslesen kann dann mit verschiedensten Geräten oder dafür optimierten Detektoren erfolgen.

**Welchen Anteil hat die Mikroelektronik in Ihrem Vorhaben?**

Unsere Nanosensoren liefern präzise Informationen über biologische Proben. Um sie auszulesen wird Licht genutzt und dieses muss detektiert werden können. Dazu kommen beispielsweise die Einzelphotonen Detektoren vom Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS zum Einsatz. Außerdem muss für einen, von Endkunden nutzbaren, Biosensor ein hoch integriertes Gerät entwickelt werden, bei dem Mikroelektronik und Optik eine zentrale Rolle spielen.

**Warum haben Sie sich dazu entschieden, Ihre Forschung beim Fraunhofer IMS voranzubringen?**

Die Entwicklung von Biosensorik benötigt Expertise aus verschiedenen Bereichen: Von der Chemie und Physik über Ingenieurwissenschaften bis hin zur Medizin. Das Fraunhofer IMS verfügt über eine große Expertise im Bereich Systemintegration und bei hochsensitiven optischen Detektoren. Das ergänzt sich hervorragend mit meiner Expertise im Bereich der Nanosensoren und Erkennung von biologischen Motiven. Zusammen können wir so die nächste Generation an diagnostischen Werkzeugen entwickeln.

### ■ Kontakt:

Prof. Sebastian Kruss  
sebastian.kruss@ims.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS  
Finkenstraße 61  
47057 Duisburg  
www.ims.fraunhofer.de

## Kooperationspartner in der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme  
und Festkörper-Technologien EMFT  
Hansastraße 27 d  
80686 München

Fraunhofer-Institut für Elektronische  
Nanosysteme ENAS  
Technologie-Campus 3  
09126 Chemnitz

Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik  
und Radartechnik FHR  
Fraunhoferstraße 20  
53343 Wachtberg

Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik,  
Heinrich-Hertz-Institut, HHI  
Einsteinufer 37  
10587 Berlin

Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Festkörperphysik IAF  
Tullastraße 72  
79108 Freiburg

Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Schaltungen IIS  
Am Wolfsmantel 33  
91058 Erlangen

Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme  
und Bauelementetechnologie IISB  
Schottkystraße 10  
91058 Erlangen

Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische  
Schaltungen und Systeme IMS  
Finkenstraße 61  
47057 Duisburg

Fraunhofer-Institut für Photonische  
Mikrosysteme IPMS  
Maria-Reiche-Straße 2  
01109 Dresden

Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT  
Fraunhoferstraße 1  
25524 Itzehoe

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit  
und Mikrointegration IZM  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin

IHP GmbH – Leibniz-Institut für innovative  
Mikroelektronik  
Im Technologiepark 25  
15236 Frankfurt (Oder)

Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für  
Höchstfrequenztechnik.  
Gustav-Kirchhoff-Straße 4  
12489 Berlin

Fraunhofer-Institut für Angewandte  
und Integrierte Sicherheit AISEC  
Lichtenbergstraße 11  
85748 Garching b. München

Fraunhofer-Institut für Offene  
Kommunikationssysteme FOKUS  
Kaiserin-Augusta-Allee 31  
10589 Berlin

Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS  
Hansastraße 32  
80686 München

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur  
von Werkstoffen und Systemen IMWS  
Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie  
Prüfverfahren IZFP  
Campus E3 1  
66123 Saarbrücken



Eine Kooperation von



## Impressum

Mikroelektronik Nachrichten Ausgabe 82  
April 2021  
© Fraunhofer-Verband Mikroelektronik, Berlin 2021

Geschäftsstelle Fraunhofer-Verband Mikroelektronik /  
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland  
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 · 10178 Berlin  
[www.mikroelektronik.fraunhofer.de](http://www.mikroelektronik.fraunhofer.de)  
[www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de](http://www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de)

Redaktion:  
Akvile Zaludaite | [akvile.zaludaite@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:akvile.zaludaite@mikroelektronik.fraunhofer.de)

Maximilian Kunze | [maximilian.kunze@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:maximilian.kunze@mikroelektronik.fraunhofer.de)  
Jonathan Zöllinger | [jonathan.zoellinger@mikroelektronik.fraunhofer.de](mailto:jonathan.zoellinger@mikroelektronik.fraunhofer.de)