



**Fraunhofer**

**ENAS**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ELEKTRONISCHE NANOSYSTEME ENAS

# Jahresbericht 2020



*Titelseite:*

*Um elektronische Komponenten kostensparend und direkt in Bauteile zu integrieren, werden dreidimensionale Oberflächen mit elektronischen Strukturen (Elektroden, Antennen, Heizstrukturen, Sensoren) bedruckt. Ein Roboterarm, der mit einem Druckkopf ausgestattet ist, bringt leitende oder isolierende Tinten auf verschiedenste Oberflächenmaterialien und -formen auf. Untersucht wurden diese Prozesse u.a. im Fraunhofer-Leitprojekt »Go Beyond 4.0« über das Sie mehr auf Seite 55 erfahren.*

*Foto © Ines Escherich*

---

# INHALT

3	Vorwort
5	Strategie: Der Schlüssel zum Erfolg
11	Fraunhofer ENAS: Profil
12	Fraunhofer-Gesellschaft
13	Fraunhofer ENAS
14	Organisationsstruktur
16	Zahlen und Fakten
18	Kuratorium
19	Fraunhofer ENAS – Partner für Innovationen
23	Geschäftsfelder
25	Micro and Nanoelectronics
31	Sensor and Actuator Systems
41	Technologies and Systems for Smart Power and Mobility
47	Technologies and Systems for Smart Health
53	Technologies and Systems for Smart Production
59	Highlights
67	Impressum

---

# VORWORT

*Prof. Dr. Harald Kuhn (rechts), geschäftsführender  
Institutsleiter des Fraunhofer ENAS seit September 2020;  
Prof. Dr. Thomas Otto (links), kommissarischer Leiter des  
Fraunhofer ENAS bis 08/2020  
und aktuell stellvertretender Institutsleiter  
Foto © Ines Escherich*



**»Versuche nicht jemand zu sein, der erfolgreich ist. Sei jemand der Werte schafft!«  
Harald Kuhn frei nach Albert Einstein**

Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme,  
sehr geehrte Lesende,

zum 1. September 2020 habe ich die Leitung des Fraunhofer-Instituts für Elektronische  
Nanosysteme ENAS in Chemnitz vom bisherigen kommissarischen Institutsleiter Prof. Dr.  
Thomas Otto übernommen, der seither mein Team als einer der beiden stellvertretenden  
Institutsleiter verstärkt.

Auch im Jahr 2020 hat sich das Institut insgesamt positiv weiterentwickelt. Ein Großteil unseres  
Forschungsvolumens wird durch Vertragsforschung, d.h. im Rahmen von Direktaufträgen  
der Industrie und durch öffentlich geförderte Projekte, generiert. Wir stehen gemeinsam mit  
dem Leitungsteam und unseren Mitarbeitenden für vertrauensvolle und lösungsorientierte  
Zusammenarbeit, Innovation, Qualität aber auch Kontinuität und Stabilität.

Die gegenwärtige weltweite Situation verdeutlicht, wie wichtig die Digitalisierung ist.  
Folgerichtig bauen wir unsere Kernkompetenzen in der Smart Systems Integration konsequent  
weiter aus und setzen durch innovative Ansätze u.a. im Bereich Datenanalyse mit künstlicher  
Intelligenz bzw. Sicherheit der Systeme neue Impulse. Durch ein vertieftes Verständnis der  
unterschiedlichen Kundenanforderungen entwickeln wir gezielt bestehende Lösungen weiter  
und fokussieren auf zukunftsrelevante Technologien. In der Kooperation mit unseren Kunden  
setzen wir praxisorientiert auf die Verwertung unserer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse  
in Wirtschaft und Industrie als zentrale Rolle im Innovationsprozess.

Wir möchten Ihnen, unseren Partnern und Kunden für Ihr Vertrauen und Ihre Unterstützung  
danken. Wir laden Sie ein, sich über die aktuellen Themen aus den Geschäftsfeldern zu  
informieren und stehen Ihnen gern persönlich für vertiefende, weiterführende Gespräche zur  
Verfügung.

Ihr

Prof. Dr. Harald Kuhn  
Geschäftsführender Leiter

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme

Prof. Dr. Thomas Otto  
kommissarischer Leiter (bis 08/2020) und stellv. Leiter  
Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme



---

# STRATEGIE: DER SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG

---

---

# STRATEGIE: DER SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG

---

## Interview mit dem neuen Institutsleiter Prof. Harald Kuhn und dem früheren kommissarischen Institutsleiter Prof. Thomas Otto

---

Im September 2020 hat Prof. Harald Kuhn die Leitung des Fraunhofer ENAS übernommen. Gleichzeitig nimmt der bis dahin amtierende kommissarische Institutsleiter Prof. Thomas Otto wieder die Rolle des stellvertretenden Institutsleiters wahr. Der Wechsel in der Leitung fällt in eine gesellschaftlich anspruchsvolle Zeit.

*Herr Kuhn, Sie sind im September 2020 als Institutsleiter an das Fraunhofer ENAS gekommen. Wie sind Sie in Chemnitz und am Institut angekommen und aufgenommen worden?*

Sowohl die Leitungsebene als auch die Mitarbeitenden des Fraunhofer ENAS haben mich sehr herzlich aufgenommen. Von Anfang an herrschte eine offene Atmosphäre. In den Gesprächen waren aber gleichzeitig auch die Erwartungen an mich, das Fraunhofer ENAS auf Erfolgskurs zu halten und den erreichten Stand weiter auszubauen, deutlich spürbar.

*Herr Otto, Sie haben über mehr als vier Jahre mit Ihrem Team dafür gesorgt, dass sich das Institut weiterhin positiv entwickelt hat. Wo steht das Institut und wo sehen Sie Herausforderungen, die nun zukünftig im Team zu lösen sind?*

Aus meiner Sicht ist das Fraunhofer ENAS in der Kooperation mit dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz gut aufgestellt. Ich reflektiere an dieser Stelle insbesondere auf die motivierten Mitarbeitenden beider Einrichtungen, die technologische Ausstattung des Fraunhofer ENAS als Teil der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland und seine Infrastruktur. Diesen Stand haben wir zu halten und weiter auszubauen.

*Herr Otto, welcher Beitrag wird in Zusammenhang mit Corona am Institut geleistet?*

Das Fraunhofer ENAS hat sich auch unter den erschwerten Bedingungen positiv weiterentwickelt. Wir haben unsere Industrieaufträge pünktlich und erfolgreich bearbeitet. Verzögerungen infolge der eingeschränkten Vor-Ort-Tätigkeit wurden mit den betroffenen Partnern in Projekten konstruktiv und in beiderseitigem Einvernehmen geklärt.



An dieser Stelle möchte ich darauf verweisen, dass wir natürlich auch Teil der Initiative Fraunhofer versus Corona sind und mehrere Anti-Corona-Projekte auch mit Firmen vor Ort vorangetrieben haben. Sie finden weitere Informationen im Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Health«.

***Herr Otto, was hat sich in dieser Zeit in der Zusammenarbeit mit Kunden geändert?***

Wir haben unsere internen Arbeitsabläufe neu organisiert und damit sichergestellt, dass das Fraunhofer ENAS und sein Kooperationspartner, das ZfM, auch in der Krise verlässliche Partner sind.

***Herr Kuhn, Sie waren viele Jahre in der Industrie in einer Managementposition tätig und sind nun in ein Forschungsinstitut gewechselt. Wo sehen Sie Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede?***

Es gibt Themen, die sehr ähnlich sind, wie Managementaufgaben, das Strukturieren von Themen, Entscheidungswege und ähnliche Dinge. Wie in der Industrie sind auch wir am Institut Teil einer sich stetig verändernden Arbeitswelt mit neuen Herausforderungen, von daher ist für mich die wichtigste Aufgabe Leadership – also Kommunikation mit dem Team, Impulsgeber für Innovationen, Motivator und vor allem andere zu befähigen und zu stärken. Unterschiede sehe ich jedoch in der Breite und Vielfalt der Themen, angefangen von der Tatsache, dass ich als Direktor des Fraunhofer-Instituts ENAS auch gleichzeitig Professor an der hiesigen Technischen Universität Chemnitz bin, über Gremienarbeit bis hin zur Lobbyarbeit auch in der Politik. Ich sehe mich und meine Aufgabe insbesondere darin, als Leiter eines Instituts der angewandten Forschung ein Bindeglied zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu sein und das mit dem klaren Ziel, Mehrwert zu generieren. Um wirtschaftlich erfolgreich zu sein, braucht man zufriedene Kunden und zufriedene Mitarbeiter.

***Herr Kuhn, was erwarten Sie von Ihrem Leitungsteam und von Ihren Mitarbeitenden?***

In meinem Team und am gesamten Institut erwarte ich einen offenen und ehrlichen Austausch zu den unterschiedlichsten Themen. Essentiell sind die Verlässlichkeit bei Entscheidungen und das Vertrauen für den eingeschlagenen Weg. Ich erwarte, dass sich das Leitungsteam und

---

# STRATEGIE: DER SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG

jeder Mitarbeitende sowohl für die Sache an sich als auch für das Zusammenwirken im Team engagiert, d.h. Teamspirit bei einer klaren Aufgabenstruktur. Nur durch die gemeinsame Arbeit, das gemeinsame an einem Strang ziehen, werden wir in diesem dynamischen Umfeld weiterhin erfolgreich sein.

*Und was ist Ihnen mit Blick auf die Kunden des Fraunhofer ENAS wichtig?*

Angewandte Forschung heisst für mich Forschung im Dienste des Kunden, die Industrie zu befähigen, auch morgen im internationalen Wettbewerb erfolgreich zu bestehen mit innovativen, zukunftsfähigen Lösungen. Mir geht es darum, den Kunden und seine Bedürfnisse zu verstehen, ihm eine tragfähige/praktikable/beste Lösung anzubieten und gemeinsam mit ihm bzw. für ihn umzusetzen. Das bedingt jedoch einen beidseitig offenen Austausch zu und an Themen inklusive der vertrauensvollen Einbindung in die zukünftigen strategischen Themenfelder.

*Die ersten hundert Tage in einer neuen Position sind oft für die nächsten Jahre prägend. Welche zukunftsweisenden Themen sind Sie angegangen? Wie möchten Sie das Institut weiterentwickeln? Welche Themen sind Ihnen dabei wichtig?*

Ich habe mir zunächst ein gutes Verständnis der Themen und Abläufe aufgebaut. Das stellt die Basis für Entscheidungen dar. Ich werde die Organisation weiterentwickeln, um uns für die zukünftigen Aufgaben fit aufzustellen. Dabei geht es mir darum, den Systemblick also den Blick auf das intelligente System zu schärfen und dieses Thema als Schritt in der Wertschöpfungskette aufzubauen. Das schließt insbesondere die Datenanalyse ein. Wir werden somit KI (Künstliche Intelligenz, Anm. der Redaktion) als »Werkzeug« etablieren.

*Herr Kuhn, mit Beginn 2021 haben Sie in der Organisation die neue Stelle als Technical Lead mit einem erfahrenen Wissenschaftler besetzt. Was versprechen Sie sich davon?*

Ich möchte damit das technische Leadership von Fraunhofer ENAS mit dem Schwerpunkt Smart Systems Integration langfristig sicherstellen. Der notwendige Fokus liegt auf Innovationen und Bündelung der Synergien. Das schließt die Entwicklung einer technologischen Roadmap und Strategie in Zusammenarbeit mit den Abteilungen als Mehrwert für die gesamte Organisation ein. Wir haben mit Herrn Dr. Kurth einen exzellenten Mitarbeiter für diese Aufgabe gewinnen können.

*Herr Kuhn, Sie sind nicht nur Leiter des Fraunhofer ENAS und Professor für Smart Systems Integration an der TU Chemnitz, Sie arbeiten ebenfalls als Direktor des Zentrums für Mikrotechnologien der Fakultät ET/IT der TUC. Wie möchten Sie die Kooperation am Standort und standortübergreifend weiterentwickeln?*

Ja, diese enge Anbindung an die hiesige Universität ist eine gute und tragfähige Tradition bei der Fraunhofer-Gesellschaft. Wir werden die existierende enge Zusammenarbeit weiter stärken und ausbauen. An der Universität geht es mir darum, die wissenschaftliche Exzellenz in den Kernthemen Mikro- und Nanotechnologien zu stärken und damit die Vorlaufforschung weiter auszubauen. Das sichert beiden Einrichtungen die zukünftige und nachhaltige Attraktivität. Natürlich schauen wir auch über Chemnitz hinaus und engagieren uns im Team für die gesamte Mikroelektronik-Innovationskette von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung (u.a. mit den besonderen Fähigkeiten der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD) bis in die Wirtschaft inklusive der Anwendung zum Wohle der Menschen.

*Vielen herzlichen Dank für das Interview! Möchten Sie zum Abschluss noch ein Statement formulieren?*

Gern, ich stehe mit dem Fraunhofer ENAS und dem Zentrum für Mikrotechnologien für Teamarbeit, Stabilität und Innovation. Wir setzen als verlässlicher Partner konsequent unsere Themen fort und ergänzen sie sinnvoll mit neuen Themen wie zum Beispiel KI als Werkzeug sowohl für smarte Systeme als auch intelligente Prozessführung und Prozessumgebung.



---

# **FRAUNHOFER ENAS: PROFIL**

---

---

# FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden. Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses. Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen. Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

*Stand der Zahlen:  
Januar 2021*

---

# FRAUNHOFER ENAS

Das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS ist der Experte und Entwicklungspartner im Bereich Smart Systems und deren Integration für unterschiedlichste Anwendungen. Smart Systems verbinden Elektronikkomponenten, Mikro- und Nanosensoren sowie -aktoren mit Schnittstellen zur Kommunikation und einer autarken Energieversorgung. Die Systeme sind zunehmend mit der Fähigkeit ausgestattet, einerseits Daten vorauszuwerten, Fehler zu erkennen und damit Entscheidungen vorzubereiten, und andererseits sich gegenseitig anzusprechen, zu identifizieren und in Konsortien zu arbeiten. Sie sind der Schlüssel für die Digitalisierung und das Internet der Dinge und finden Anwendung in verschiedenen Bereichen. Der Entwurf, die Integration und die Technologie zur Realisierung solcher Systeme erfordern neuartige Herangehensweisen und stellen die interdisziplinäre Forschung vor neue Aufgaben.

Ob Start-up, KMU oder Großunternehmen, Fraunhofer ENAS bietet Innovationsberatung, begleitet Kundenprojekte entlang der kompletten Wertschöpfungskette intelligenter Systeme von der Idee über den Entwurf, die Technologieentwicklung bzw. die Umsetzung anhand bestehender Technologien bis zum getesteten Prototypen und dem Technologietransfer. Wenn Standardkomponenten den Anforderungen nicht gerecht werden oder an Grenzen stoßen, entwickelt Fraunhofer ENAS eine kundenspezifische Lösung.

Die Leistungspalette des Fraunhofer ENAS ist fokussiert auf Design, Mikro- und Nanotechnologien, gedruckte Funktionalitäten, spezifische Bauelemente bis hin zur smarten Systemintegration und Zuverlässigkeit. Als zuverlässiger Innovationspartner entwickeln wir hochpräzise Sensoren, neue Sensor- und Aktorsysteme basierend auf integrierten Nanostrukturen, Beyond-CMOS-Bauelemente, innovative Integrationstechnologien, erweiterte Zuverlässigkeitskonzepte und ergänzen sie durch innovative Ansätze u.a. im Bereich Simulation, Datenanalyse mit künstlicher Intelligenz oder Sicherheit der Systeme.

Im Technologieportfolio und in der Marktbearbeitung legt Fraunhofer ENAS die Schwerpunkte auf die fünf Geschäftsfelder Micro and Nanoelectronics, Sensor and Actuator Systems, Technologies and Systems for Smart Power and Mobility, Technologies and Systems for Smart Health und Technologies and Systems for Smart Production. Jedes Geschäftsfeld verfügt über ein eigenes Kundenprofil, das in Abhängigkeit der benötigten Forschungs- und Entwicklungsleistungen verschiedene Stellen der industriellen Wertschöpfungskette anspricht.

Organisatorisch ist das Fraunhofer ENAS in die sechs Fachabteilungen Advanced System Engineering, Micro Materials Center, Multi Device Integration, Nano Device Technologies (frühere Abteilung Back-End of Line), Printed Functionalities, System Packaging sowie die Verwaltung gegliedert. Der Hauptstandort ist Chemnitz. Die Abteilung Advanced System Engineering ist in Paderborn angesiedelt. Die Abteilung Micro Materials Center hat darüber hinaus noch eine Projektgruppe in Berlin-Adlershof.

[www.enas.fraunhofer.de](http://www.enas.fraunhofer.de)

# ORGANISATIONSTRUKTUR

## Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

Institutsleitung: Prof. Dr. Harald Kuhn

Stellvertretende Institutsleitung: Prof. Dr. Stefan E. Schulz, Prof. Dr. Thomas Otto

Abteilung Multi Device Integration Dr. Alexander Weiß	Verwaltung Dr. Tina Kießling	Geschäftsfeld Micro and Nanoelectronics Prof. Dr. Stefan E. Schulz
Abteilung Micro Materials Center Prof. Dr. Sven Rzepka	Infrastruktur Uwe Breng	Geschäftsfeld Sensor and Actuator Systems Prof. Dr. Karla Hiller
Abteilung Printed Functionalities Dr. Ralf Zichner	Zentrales Qualitätsmanagement Dr. Martina Vogel	Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Power and Mobility Dr. Steffen Kurth
Abteilung Nano Device Technologies Prof. Dr. Stefan E. Schulz	Marketing / Public Relations Referentin der Institutsleitung Dr. Martina Vogel	Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Health Dr. Mario Baum
Abteilung System Packaging Dr. Maik Wiemer	Technical Lead Dr. Steffen Kurth	Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Production Dr. Ralf Zichner
Abteilung Advanced System Engineering Dr. Christian Hedayat	Programmkoordinator Dr. Christian Wagner	

## Internationale Büros

Fraunhofer Project Center an der Tohoku Universität, Japan Prof. Dr. Shin-ichi Orimo Prof. Dr. Thomas Otto Assoc. Prof. Dr. Jörg Frömel Dr. Maik Wiemer	Büro Shanghai, China SHI Min	Büro Manaus, Brasilien Hernan Valenzuela
--	---------------------------------	---



## Technische Universität Chemnitz

### Zentrum für Mikrotechnologien (ZfM) Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Direktor: Prof. Dr. Harald Kuhn

Stellvertretende Direktorin: Prof. Dr. Karla Hiller

Abteilung  
Lithografie und Strukturübertragung  
Dr. Danny Reuter

Professur für  
Smart Systems Integration  
Prof. Dr. Harald Kuhn

Abteilung  
Schichtabscheidung  
Dr. Sven Zimmermann

Honorarprofessur für  
Optoelektronische Systeme  
Prof. Dr. Thomas Otto

Honorarprofessur für  
Technologien der Nanoelektronik  
Prof. Dr. Stefan E. Schulz

Honorarprofessur für  
Zuverlässigkeit von Smart Systems  
Prof. Dr. Sven Rzepka

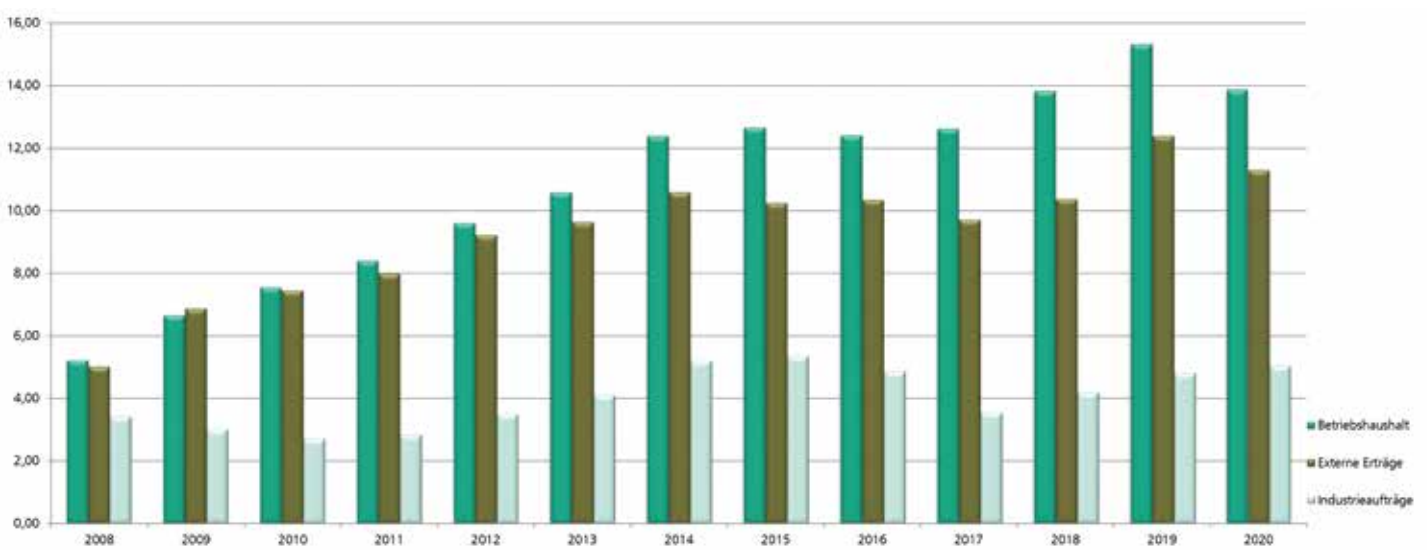
## Universität Paderborn

Fachbereich Sensorik  
Prof. Dr. Ulrich Hilleringmann

# ZAHLEN UND FAKTEN

## Entwicklung des Fraunhofer ENAS

	Jahr												
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gesamthaushalt (in Mio EUR)	5,2	6,7	7,6	8,4	9,6	10,6	12,4	12,65	12,41	12,62	13,83	15,32	16,2
Steigerung Gesamthaushalt (bezogen auf 2008)	–	29 %	46 %	62 %	85 %	104 %	138 %	143 %	139 %	143 %	166 %	195 %	212 %
Industrienertrag (in Mio EUR)	3,4	3	2,8	2,8	3,49	4,1	5,2	5,24	4,85	3,54	4,18	4,8	5,0
Invest (in Mio EUR)	0,65	5,45	6,8	1,5	1,81	1,44	7,23	2,02	1,89	2,72	1,7	1,23	2,28
Mitarbeitende	63	73	91	102	104	125	129	127	132	139	157	174	169
Auszubildende	0	2	3	5	6	7	7	6	7	6	8	8	8
Studierende und Hilfskräfte	10	10	20	40	43	51	51	43	43	35	50	50	45
Publikationen und Vorträge	61	75	114	119	112	215	198	173	176	144	141	147	76
Patente	7	5	13	20	8	17	9	9	12	6	9	13	16
Promotionen	6	0	4	2	3	3	3	5	3	5	2	2	4



## Finanzielle Situation und Invest

Nach starkem Wachstum in 2019 konnte das Gesamtbudget unter dem Einfluss der Corona-Pandemie sowie erhöhten Investitionen nahezu auf dem Niveau des Vorjahres gehalten werden. Dank gesteigerter Industrieerträge und konsolidierten Ausgaben konnte die Ertragsquote mit 81,3 Prozent sogar leicht gesteigert werden. Die Aufträge aus deutschen und internationalen Industrieunternehmen betragen 5,0 Millionen Euro. Verstärkte krisenbedingte Einbrüche waren in den anwendungsorientierten Geschäftsfeldern zu verzeichnen, wohingegen die Auftragslage in den technologieorientierten Geschäftsfeldern sich in der zweiten Jahreshälfte deutlich verbessert hat. Der Betriebshaushalt ging um 1,4 Millionen Euro auf 13,9 Millionen Euro zurück.

Die laufenden Investitionen des Geschäftsjahres betragen 2,28 Millionen Euro. In Summe ergibt sich ein Gesamthaushalt von 16,2 Millionen Euro.

*Verwaltungsleitung:*

*Dr. Tina Kiebling*

*Telefon: +49 371 45001-210*

*E-Mail: tina.kiessling@enas.*

*fraunhofer.de*

## Personalentwicklung

Ende des Jahres 2020 waren 169 Mitarbeitende an den Fraunhofer ENAS Standorten Chemnitz, Paderborn und Berlin beschäftigt. 11 Personen wurden neu eingestellt und 15 Personen verließen 2020 das Institut.

Insgesamt waren zum 31.12.2020 acht Auszubildende am Fraunhofer ENAS angestellt, darüber hinaus schloss eine Person im Sommer 2020 erfolgreich ihre Ausbildung ab. In Kooperation mit der TU Chemnitz und der Universität Paderborn haben Studierende sowie wissenschaftliche Nachwuchskräfte ihre Abschlussarbeiten erfolgreich verteidigt. Ende 2020 waren 45 Studierende im Praktikum, im Bachelor- und Masterstudium sowie als studentische Hilfskräfte bei Fraunhofer ENAS beschäftigt, im Verlauf des Jahres 2020 waren es weit über 50. Dieser beschäftigte Personenkreis erweist sich in wachsendem Maße als Quelle für den Nachwuchs von wissenschaftlichem und technischem Personal.

---

# KURATORIUM

Die Kuratorien der Fraunhofer-Gesellschaft sind externe Beratungsorgane, die an den Instituten angesiedelt sind. Sie beraten die Institutsleitung und den Vorstand in Fragen der fachlichen Ausrichtung und strukturellen Veränderung des Instituts. Mitglieder in den Kuratorien der Fraunhofer-Institute sind Vertretende aus Wissenschaft, Wirtschaft und dem öffentlichen Leben. Sie werden vom Vorstand im Einvernehmen mit der jeweiligen Institutsleitung berufen. An den jährlichen Kuratoriumssitzungen nimmt mindestens ein Vorstandsmitglied der Fraunhofer-Gesellschaft teil. 2020 nahm Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn an unserer hybriden Kuratoriumssitzung in seiner Funktion als Vorstand für Technologiemarketing und Geschäftsmodelle der Fraunhofer-Gesellschaft teil.

Die Mitglieder des Kuratoriums am Fraunhofer ENAS waren 2020:

Vorsitz:

Prof. Dr. Udo Bechtloff, Prof. Bechtloff Unternehmensberatung

Stellvertretender Vorsitz:

Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht, Direktor, Institut für Mikro- und Nanomaterialien, Universität Ulm

Kuratoriumsmitglieder:

MRn Dr. Annerose Beck, Referatsleiterin, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus

Jürgen Berger, Bereichsleiter Elektronik und Mikrosysteme, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Dr. Stefan Finkbeiner, Geschäftsführer, Bosch Sensortec GmbH

Prof. Dr. Maximilian Fleischer, Corporate Technology, Siemens AG

Dr. Christiane Le Tiec, CTO, Plasma & Reactive Gas Solutions, MKS Instruments Deutschland GmbH

MR Dr. Stefan Mengel, Referatsleiter, Bundesministerium für Bildung und Forschung

MDirigin Barbara Meyer, Abteilungsleiterin, Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr

Thomas Schmidt, Staatsminister, Sächsisches Staatsministerium für Regionalentwicklung

Prof. Dr. Ulrich Schubert, Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie, Universität Jena

Peter Schuster, Vice President R&D Industry 4.0, Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Uwe Schwarz, Manager Development MEMS Technologies, X-FAB MEMS Foundry GmbH

Dr. Ina Sebastian, Senior Director R&D&I Policy, Infineon Technologies AG

Prof. Dr. Gerd Strohmeier, Rektor, Technische Universität Chemnitz

Dr. Maciej Wiatr, Director, DMTS Strategic Development, GLOBALFOUNDRIES Management Services Limited Liability Company & Co. KG

Wir danken Dr. Wolfgang Buchholtz von GLOBALFOUNDRIES Dresden und Dr. Arbogast M. Grunau von Schaeffler Technologies für die Unterstützung unseres Institutes als Kuratoriumsmitglieder bis 2020.

Außerdem danken wir allen Mitgliedern des Kuratoriums insbesondere dem Vorsitzenden, Prof. Dr. Udo Bechtloff, und dem stellvertretenden Vorsitzenden, Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht, für ihre Unterstützung.

# FRAUNHOFER ENAS – PARTNER FÜR KOOPERATIONEN

Das FuE-Portfolio des Fraunhofer ENAS ist an der Wertschöpfungskette smarter Systeme orientiert und reicht dabei von der Idee über das Design und die Technologieentwicklung bzw. Realisierung basierend auf bereits existierenden Technologien bis hin zum getesteten Demonstrator bzw. Prototyp und dem Technologietransfer. Wenn Standardkomponenten nicht in der Lage sind, die gestellten Anforderungen zu erfüllen, unterstützen wir unsere Kunden bei der Realisierung innovativer und marktfähiger Lösungen.

## Interdisziplinäre Kooperation – Schlüssel zum Erfolg

Fraunhofer ENAS ist aktives Mitglied in verschiedenen weltweiten, europäischen und regionalen Netzwerken, angefangen bei SEMI und dem Micromachine Center in Japan, über EPoSS – der Europäischen Technologieplattform für Smart Systems Integration, Silicon Saxony und IVAM bis hin zum Smart Systems Campus Chemnitz. Das Fraunhofer ENAS engagiert sich auch weiterhin in Sachsen beim Aufbau des Smart Systems Hub – Enabling IoT, der auf eine enge Vernetzung der sächsischen Akteure in den Schlüsselbereichen Hardware – Software – Connectivity zielt. Die komplette Liste Netzwerke ist im Anhang zu finden.

Innerhalb des Arbeitsgebietes Smart Systems Integration unterstützt Fraunhofer ENAS Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von KMUs und Großunternehmen. Durch die Integration von smarten Systemen in vielfältige Anwendungen adressiert Fraunhofer ENAS die unterschiedlichsten Branchen und Märkte. Die Vertragsforschung ist der am häufigsten genutzte Weg für die Zusammenarbeit des Fraunhofer ENAS mit Industriekunden. Sind allerdings die Aufgabenstellungen zu komplex und risikobehaftet, bieten wir auch Vorlaufforschung an. In solchen Fällen ist es oft zielführend, durch Projektteams

## FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSSERVICE- PORTFOLIO

- Entwicklung, Design, Packaging und Test von MEMS/NEMS
- Methoden und Technologien für das Wafer-zu-Wafer- und Chip-zu-Wafer-Bonden
- Integration von Nanofunktionalitäten, z. B. CNTs, Quantum Dots, Spintronik, Memristoren
- Metallisierung: Interconnect-Systeme für die Mikro- und Nanoelektronik und 3D-Integration
- Beyond CMOS-Technologien
- Simulation und Modellierung von Bauelementen, Prozessen und Equipment für Mikro- und Nanosysteme
- Material- und Zuverlässigkeitsforschung
- Analytik von Materialien, Prozessen, Komponenten und Systemen
- Hochpräzise Sensoren und Aktoren
- Entwicklung gedruckter Funktionalitäten für elektronische Anwendungen
- Anwendungsspezifische drahtlose Daten- und Energiesysteme
- Entwicklung von mikrofluidischen Systemen und Biosensorintegration
- Sensor- und Aktorsysteme mit Steuereinheit, integrierter Elektronik, eingebetteter Software und Benutzerschnittstelle
- Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen
- Anwendungsspezifische Integration von KI-Methodiken

aus Industrie und Forschungsinstituten, unter Nutzung öffentlicher Förderung, die anstehenden Fragestellungen zu lösen. Die anwendungsorientierte Forschung am Fraunhofer ENAS ermöglicht eine wirksame Unterstützung von Innovationen an kleinen und mittelständischen Unternehmen bis hin zu großen, international etablierten Firmen.

Als zuverlässiger Partner für die Industrie hat das Fraunhofer ENAS ein strategisches Netzwerk mit Forschungsinstituten und Universitäten in Deutschland und weltweit etabliert. Langjährige, internationale Kooperationen existieren mit der Tohoku Universität Sendai (Japan), der Fudan Universität Shanghai (China) und der Shanghai Jiao Tong Universität (China).

Fraunhofer ENAS und die Tohoku Universität arbeiten seit vielen Jahren auf dem Gebiet neuer Materialien für mikroelektronische Systeme zusammen und verstetigen das 2012 gegründete Fraunhofer Project Center »NEMS / MEMS Devices and Manufacturing Technologies at Tohoku University«. Das Project Center ist eine Plattform für gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und gemeinsame FuE-Services für die Industrie.

[www.enas.fraunhofer.de/  
fraunhofer-project-center](http://www.enas.fraunhofer.de/fraunhofer-project-center)

Darüber hinaus ist das Fraunhofer ENAS eng mit den örtlichen Universitäten, der Technischen Universität Chemnitz und der Universität Paderborn, vernetzt. Die Kooperation mit den Universitäten sichert Synergien zwischen der Grundlagenforschung an der Universität und der stärker anwendungsorientierten Forschung am Fraunhofer ENAS.

Der Hauptkooperationspartner an der TU Chemnitz ist das Zentrum für Mikrotechnologien der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik. Diese Kooperation umfasst nicht nur gemeinsame Forschungsprojekte, sondern schließt auch die gemeinsame Nutzung von Geräten und Anlagen, Gebäuden und Infrastruktur ein.

[www.zfm.tu-chemnitz.de](http://www.zfm.tu-chemnitz.de)

Die Abteilung Advanced System Engineering des Fraunhofer ENAS ist nicht nur örtlich an der Universität Paderborn beheimatet. Sie arbeiten überdies in den Bereichen elektromagnetische Zuverlässigkeit und Verträglichkeit, drahtlose Energie- und Datenübertragung, drahtlose Sensorknoten für den Maschinenbau und der anwendungsspezifischen Integration von KI-Methoden zusammen.

[www.uni-paderborn.de](http://www.uni-paderborn.de)



---

### Kooperationen innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft

---

Seit seiner Gründung ist das Fraunhofer ENAS Mitglied im Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (V $\mu$ E). Darüber hinaus ist Fraunhofer ENAS in der Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion, bei Fraunhofer Nanotechnologie FNT und Fraunhofer Textil aktiv. Themenorientiert arbeitet das Fraunhofer ENAS außerdem in den Fraunhofer-Clustern 3D-Integration sowie Nanoanalytik.

Gemeinsam mit allen weiteren Instituten des V $\mu$ E ist Fraunhofer ENAS Teil der bundesweit koordinierten Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Dieses Forschungsnetzwerk ist mit 13 Mitgliedern und mit über 2000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der größte FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa. Das institutsübergreifende Technologieangebot der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland umfasst die Bereiche Sensorsysteme, Extended CMOS, Microwave & Terahertz, Leistungselektronik, MEMS Aktoren und Optoelektronische Systeme. Aufgrund seines breiten FuE-Portfolios ist Fraunhofer ENAS in allen sechs Technologieplattformen sowie im technologieübergreifenden Querschnittsthema Advanced System Design vertreten. Darüber hinaus bringt das Fraunhofer ENAS seine Expertise insbesondere bei der Einführung des standortübergreifenden Manufacturing Execution Systems MES ein.

Um Lösungen für Herausforderungen der deutschen Industrie zu liefern, setzt die Fraunhofer-Gesellschaft mit Leitprojekten strategische Schwerpunkte. Ziel der Leitprojekte ist das Ausschöpfen des Fraunhofer-Synergiepotenzials durch Zusammenführung von Kompetenzen mehrerer Fraunhofer-Institute. Fraunhofer ENAS leitet und koordiniert das im Dezember 2016 gestartete Leitprojekt »Go Beyond 4.0« und arbeitete mit im Leitprojekt »eHarsh«. Beide Projekte sind in 2020 erfolgreich abgeschlossen worden.

Das Fraunhofer-Konzept der Leistungszentren bündelt und vernetzt innerhalb einer Region die Kompetenzen von Instituten und Hochschulen. Fraunhofer ENAS arbeitet in zwei Leistungszentren: dem Leistungszentrum »Smart Production and Materials« und dem Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik«. In erstgenanntem Leistungszentrum ist Fraunhofer ENAS auch in die Ausbildung zum Smart Production Professional integriert.

[www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de](http://www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de)



[www.go-beyond-four-point-zero.de](http://www.go-beyond-four-point-zero.de)

[www.enas.fraunhofer.de/e-harsh](http://www.enas.fraunhofer.de/e-harsh)

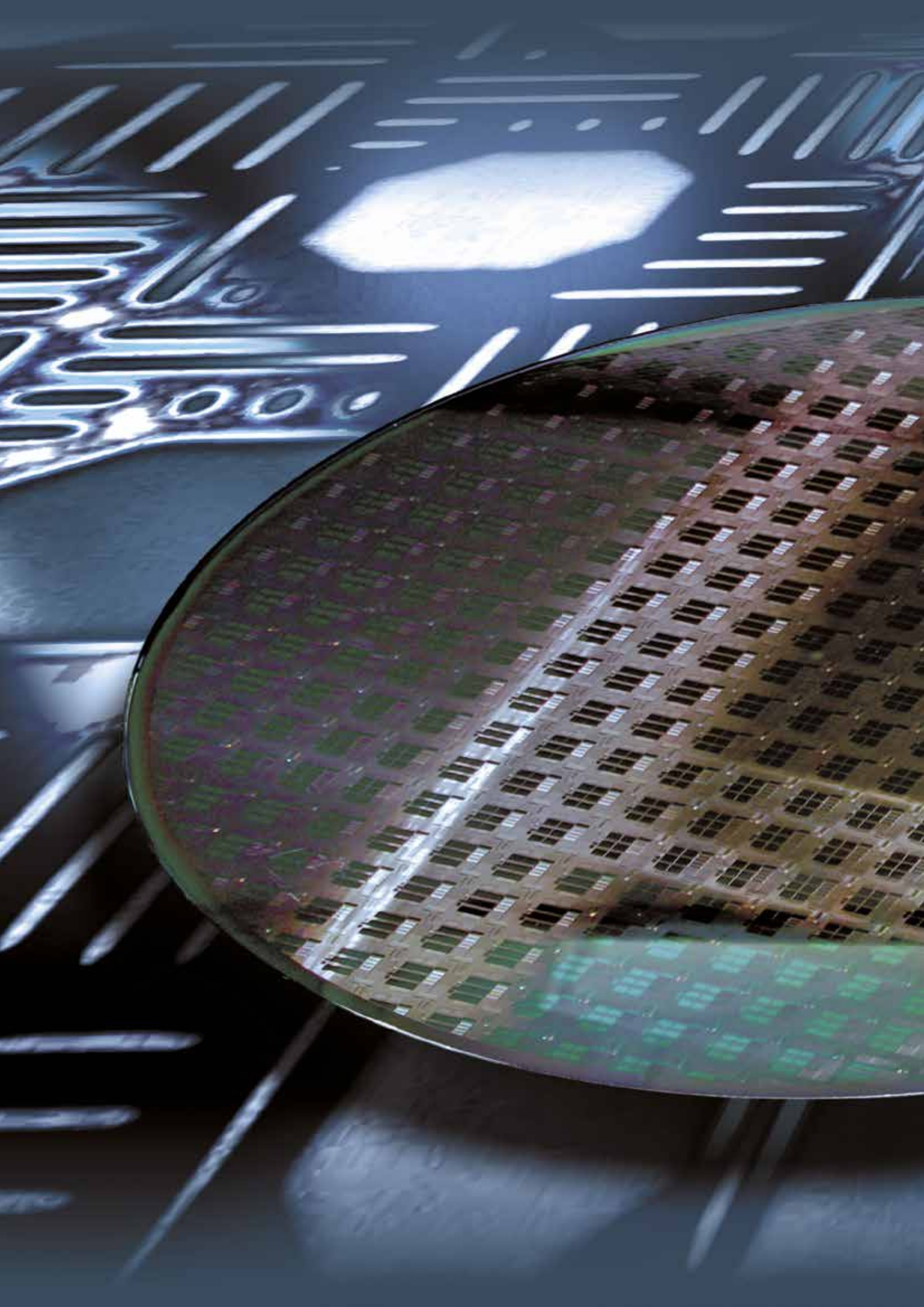
[www.leistungszentrum-smart-production.de](http://www.leistungszentrum-smart-production.de)

[www.leistungszentrum-mikronano.de](http://www.leistungszentrum-mikronano.de)





**AUS DER FORSCHUNG**



---

# MICRO AND NANOELECTRONICS

---

Die Mikro- und Nanoelektronik gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts und ist Enabler für die Digitalisierung und alle Anwenderbranchen. Die fortschreitende Skalierung (More Moore), die Integration unterschiedlichster Funktionalitäten (More than Moore) sowie die Entwicklung alternativer Technologien jenseits der Skalierungsgrenzen von CMOS (Beyond CMOS) sind die fortlaufenden Entwicklungstrends. Das Geschäftsfeld fokussiert dabei auf Forschungs- und Entwicklungsleistungen, Waferpräparationsdienstleistungen und Technologietransfer zu folgenden Themenfeldern:

**Prozesse und Technologien für die Mikro- und Nanoelektronik mit Fokus auf Back-End of**

**Line und Interconnects** || Im Themenfeld Interconnects werden Einzelprozessentwicklungen (Abscheide- und Strukturierungsprozesse für Metalle und Dielektrika, einschl. low-k-Dielektrika), vollständige Metallisierungsmodule (Al, Cu-Damascene, alternative Materialien; einschl. notwendiger Diffusionsbarrieren) und Prozess- und Technologieentwicklung für Memristor-Crossbar-Arrays bearbeitet.

**Modellierung und Simulation technologischer Prozesse, Anlagen und Bauelemente** || Die

experimentellen Entwicklungen werden durch die Simulation technologischer Prozesse und Anlagen (PVD, Epitaxie, CVD, ALD, ECD) unterstützt. In diesem Themenfeld werden weiterhin Bauelemente-Modellierung und -Simulation von CMOS- und anderen Nanobauelementen (z. B. CNT-FETs) sowie Blackbox-Modellierung und ereignisgesteuerte Modellierung und Simulation realisiert.

**Beyond-CMOS- und HF-Bauelemente, integrierte Schaltungen und Technologien** || Das Themenfeld umfasst Entwicklungen zu memristiven Bauelementen und Schaltungen für Anwendungen beim neuromorphen Rechnen und der Hardware-Sicherheit, Hochfrequenzschaltern und CNT-FETs für analoge Hochfrequenzanwendungen.

**Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) und (Heterogene) Integration (2D, 2,5D, 3D)**

**für elektronische Bauelemente** || Im Themenfeld AVT werden Prozessentwicklungen für die Integration elektronischer Bauelemente mit Fokus auf Waferdünnen, TSV-Prozesse, Waferlevel-Füge- und -Kontaktierungsverfahren einschließlich Oberflächenvorbehandlung und Druckverfahren für Metallisierung/Lotabscheidung durchgeführt. Die heterogene Integration von unterschiedlichen Substratmaterialien, auch unterschiedlicher Waferdurchmesser, auf Waferlevel unter Nutzung von TSV-Technologie und Waferbondverfahren ist ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt.

**Elektromagnetische und thermo-mechanische Charakterisierung und Zuverlässigkeitsbe-**

**wertung** || Dieses Themenfeld adressiert BEOL-Komponenten, die Chip-Package-Wechselwirkung sowie Zuverlässigkeitsbewertungen im Board- und System-Level. Dabei wird sowohl die thermo-mechanische Zuverlässigkeitsanalyse und optimale Auslegung für elektronische Bauelemente, Baugruppen und Systeme als auch die simulative thermo-elektrische Zuverlässigkeit auf System-(PCB) und Package-Ebene bearbeitet.

---

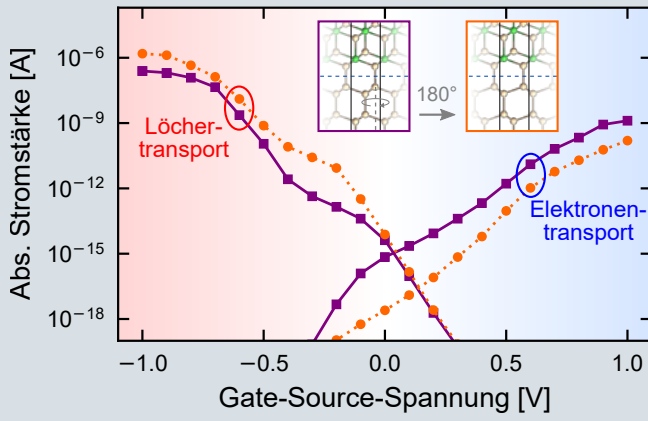
## GESCHÄFTSFELD-MANAGER

---

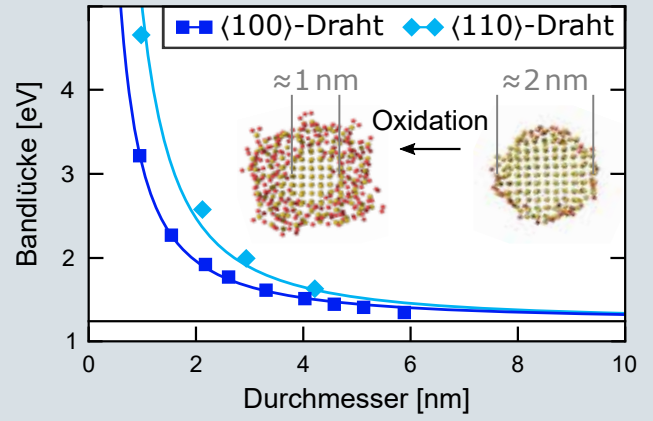
Prof. Dr. Stefan E. Schulz

+49 371 45001-232

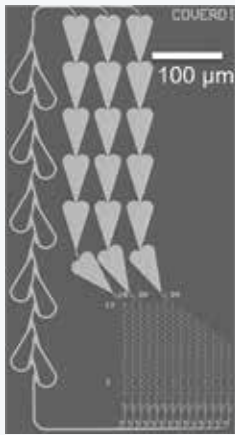
stefan.schulz@enas.fraunhofer.de



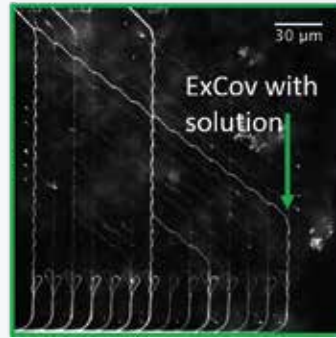
Transferkennlinien von Silizium-basierten rekonfigurierbaren Feldeffekttransistoren mit NiSi<sub>2</sub>-Kontakten. Änderungen in der atomaren Struktur ändern maßgeblich die Symmetrie zwischen Elektron- und Lochströmen.



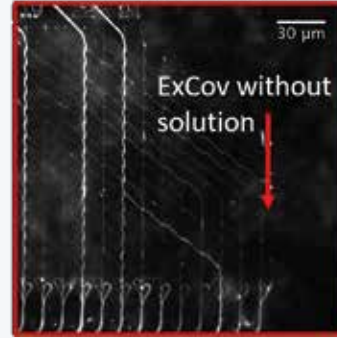
Die Oxidation von Nanodrähten führt zu einer Reduktion des Durchmessers, was zu verstärkten Quanteneffekten und zum Beispiel zu einer erhöhten Bandlücke führt.



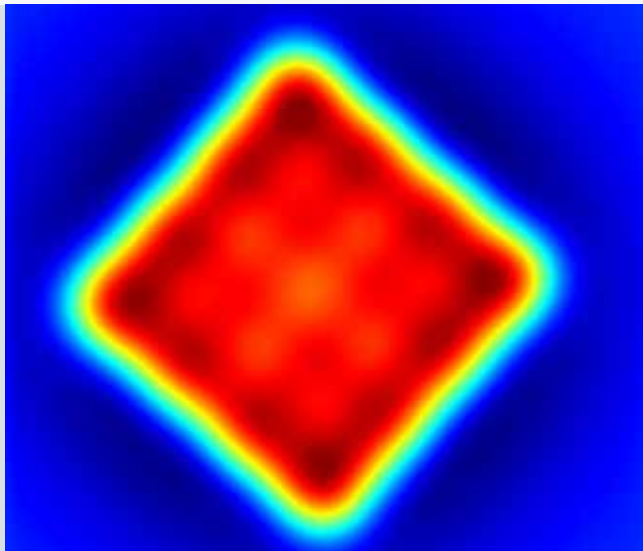
First set of numbers:  
 [(3,5), (1,2,5), (4,3), (4,2), (4,1)]



Second set of numbers:  
 [(2,4), (1,3,4), (5,3,4), (5,2,3), (5,1)]



ExCov-Netzwerk, um eine Kombination von Zahlensets zu finden, die die ganzen Zahlen {1,2,3,4,5} abdecken.



Messung eines Mikromagnet-Arrays.

# FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- BEYOND CMOS UND HF-BAUELEMENTE
- MODELLIERUNG UND SIMULATION

---

# MICRO AND NANOELECTRONICS

---

## SIMULATIONSMODELLE FÜR FELDEFFEKTTRANSISTOREN AUS SILIZIUMNANODRÄHTEN

---

Siliziumnanodrähte stellen eine vielversprechende und zuverlässige Möglichkeit zur Entwicklung von leistungsfähigen Transistoren dar. Bei Verwendung geeigneter Kontaktmaterialien können rekonfigurierbare Transistoren gebaut werden, welche je nach Programmierung Elektronen oder Löcher leiten. Dadurch werden rekonfigurierbare Schaltungen möglich. In hochoptimierten Transistoren ist dabei die atomare Struktur am Kontakt als auch die Struktur des Nanodrahts selbst zunehmend wichtig.

Um den Zusammenhang zwischen atomarer Struktur und Transistor-Eigenschaften zu untersuchen, wurde ein Modell basierend auf Dichtefunktionaltheorie (DFT) entwickelt. Es konnte gezeigt werden, wie die Struktur von  $\text{NiSi}_2$ -Silizium-Grenzflächen an den Kontakten die Symmetrie von Elektron- und Lochströmen beeinflusst. Für {111}-Grenzflächen ändert beispielsweise eine Rotation des Siliziumgitters relativ zum  $\text{NiSi}_2$ -Gitter um  $180^\circ$  die An-Ströme um ungefähr eine Größenordnung. Basierend auf derartigen Modellen können wir die elektronischen Transporteigenschaften auf grundlegende Materialeigenschaften, z.B. die Schottky-Barrierenhöhe, zurückführen.

Um die Eigenschaften von Siliziumnanodrähten und deren Kontakte zu optimieren, kann durch Oxidation das Atomgitter gezielt mechanisch verzerrt werden. Mittels Molekulardynamik wurde untersucht, welche Verzerrungen sich ausbilden und wie sich der Drahtdurchmesser reduziert. Dabei werden Oberflächen- und Quanteneffekte für den Ladungstransport zunehmend wichtig. Mit DFT wurde der Unterschied zwischen Transport im Drahtinneren und nahe der Oberfläche aufgezeigt. Ein wesentlicher Quanteneffekt ist die Erhöhung der Bandlücke bei kleiner werdendem Durchmesser.

---

## DEMONSTRATION ZUR HERSTELLUNG VON BIOCOMPUTATIONAL DEVICES

---

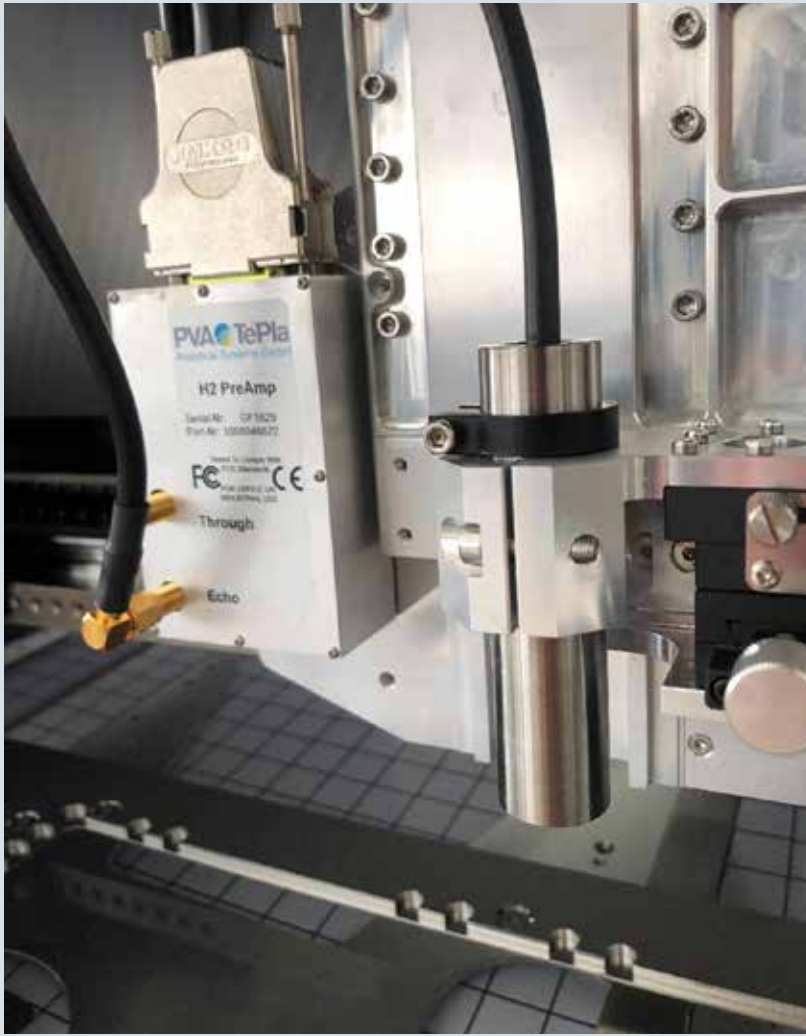
Die etablierte Nanofabrikationstechnologie für netzwerkbasierende Biocomputer (NBC) wurde zur Herstellung von Demonstratoren für großflächige Exact-Cover-(ExCov)-Netzwerke und für Netzwerke, die Satisfiability-(SAT)-Probleme lösen können, vorgelegt. Die Nanostrukturierungsprozesse wurden verbessert und evaluiert, um die Anforderungen hinsichtlich Reproduzierbarkeit und biologischer Funktionalität zu erfüllen. Die Abbildung zeigt ExCov-Bauteile für einen Satz von fünf Zahlen. Für die Herstellung der SAT-Netzwerke wurden zwei verschiedene Netzwerkdesigns verwendet: »agent-encoded« für das Kinesin-1-Mikrotubuli-System in Zusammenarbeit mit der TU Dresden und »space-encoded« für das Aktin-Myosin-System in Zusammenarbeit mit der Universität Lund und der Linnaeus Universität Kalmar, beide in Schweden. Das »Agent-encoded«-Netzwerk ist kompakt und skalierbar. Die erforderliche Markierung wurde durch Laser-Bleaching eines Barcodes in die Mikrotubuli realisiert. Dabei war die Markierung der Mikrotubuli auf transparenten Substraten zu ermöglichen. Das »Space-encoded«-Netzwerk benötigt keine Agentenmarkierung. Hier wurde eine neuartige Kodierungsmethode verwendet, indem das Entscheidungsproblem in ein unitäres Summationsproblem umgewandelt wurde. Für beide biologischen Systeme wurde die Funktionsweise der Netzwerke demonstriert.

---

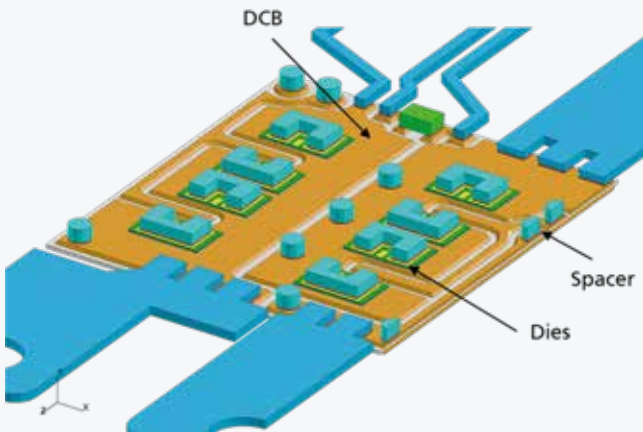
## AUTOMATISIERTE MESSUNG VON MIKROMAGNETEN AUF WAFERLEVEL IM MINIMALEN ABSTAND

---

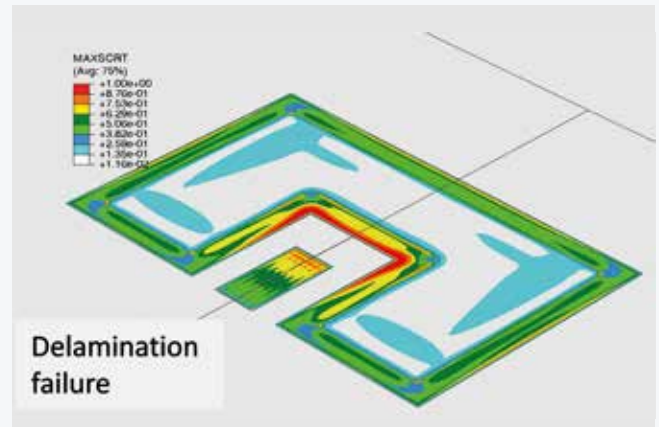
Die Miniaturisierung betrifft heutzutage verschiedene technologische Anwendungsbereiche. Aktuelle Entwicklungen eines neuartigen pulverbasierten MEMS-Herstellungsverfahrens ermöglichen es, Mikromagnete mit einer Strukturgröße von Zehntelmikrome-



Scanning Acoustic Microscope (SAM)-Transducer.



FE-Modell von geformten SiC-Modulen (Formmasse nicht dargestellt).



Kritische Bereiche an der Die-Spacer-Grenzfläche, abgeleitet aus dem Kohäsivzonenmodell.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- PROZESSE UND TECHNOLOGIEN FÜR DIE MIKRO- UND NANOELEKTRONIK
- ELEKTROMAGNETISCHE UND THERMOMECHANISCHE CHARAKTERISIERUNG UND ZUVERLÄSSIGKEITSBEWERTUNG

---

# MICRO AND NANOELECTRONICS

tern zu realisieren. Da es kaum Charakterisierungstools für solch kleine magnetische Strukturen gibt, entwickelt das Fraunhofer ENAS dafür in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISIT ein hochpräzises Messgerät. Basis der Entwicklung ist ein Drei-Achs-Portalroboter mit einer Positioniergenauigkeit von 1  $\mu\text{m}$  in jede Richtung, um präzise über das Testobjekt (DUT) zu navigieren. Durch den Einsatz eines 3D-Hall-Sensors mit minimiertem Gehäuse beträgt der minimale vertikale Abstand vom Hall-Element zum DUT ca. 110  $\mu\text{m}$ . Darüber hinaus erzeugt eine vollautomatisierte 3D-Scaneinheit ein Höhenprofil des DUTs, um einen konstanten Abstand zur Oberfläche an jedem Messpunkt zu garantieren. Um die Messergebnisse weiter zu verbessern, werden die Daten mittels Sondendekonvolution weiterverarbeitet, um die räumliche Integration des Magnetfeldes durch den Hall-Sensor herauszufiltern. Das Messergebnis ergibt eine detaillierte Darstellung der magnetischen Feldstärken von Mikromagneten.

---

## NEUE MÖGLICHKEITEN FÜR DIE LEBENSDAUER-UNTERSUCHUNGEN

---

Eine unserer jüngsten Entwicklungen konzentriert sich auf einen selbst entwickelten aktiven Power-Cycling-Testaufbau (2x8 Proben, max. 500 A), der nun durch einen brandneuen Teststand von Siemens / Mentor Graphics (12 Proben, max. 1800 A) unterstützt wird. Dieser ermöglicht thermische Transienten-Messungen mit Struktur funktionsanalyse. Die Kombination beider Aufbauten ermöglicht das schnelle Testen größerer Probenchargen mit kombinierter Temperaturanwendung, während die Komponenten aktiv betrieben werden. Dank dieser Maschinen wurden bereits neue, genauere Lebensdauermodelle für GaN-Leistungsmodule erstellt. Während das Testen der Komponenten die Essenz der Erstellung eines Lebensdauermodells ist, ist die Untersuchung des Ausfallmechanismus ebenfalls von höchster Bedeutung. Deshalb haben wir neben der bereits vorhandenen Computertomographie, Querschnitts- und Lichtmikroskopie in ein neues Scanning Acoustic Microscope (SAM) investiert, das Proben von 200  $\mu\text{m}$  bis 320 mm mit einer Genauigkeit von 0,5  $\mu\text{m}$  aufnehmen kann.

Abgerundet wird das Gesamtbild durch ein hochmodernes Scherprüfgerät zur Prüfung von Materialeigenschaften wie Adhäsion oder Drahtbondabhebung.

---

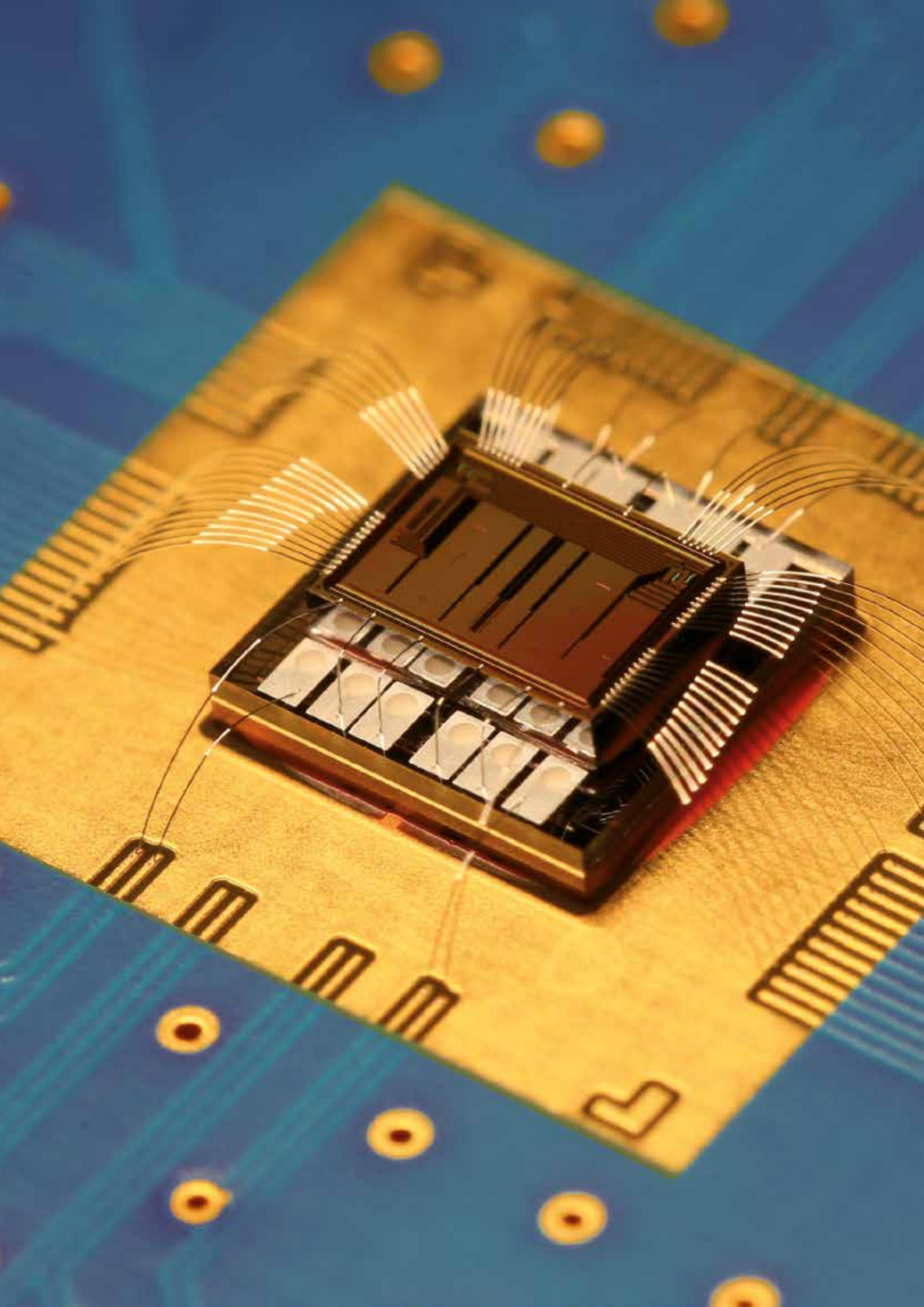
## ZUVERLÄSSIGKEITSOPTIMIERUNG INNOVATIVER AUFBAUTECHNIKEN LEISTUNGSELEKTRONISCHER SYSTEME

---

In der Leistungselektronik wird der Ersatz der traditionellen Verbindungstechnologien insbesondere dann zu einer Notwendigkeit, wenn neue Halbleiter mit breiter Bandlücke eingeführt werden, um die Herausforderungen der steigenden Leistungsdichte, Zuverlässigkeit und Kosten zu bewältigen. Für kompakte Wechselrichtermodule wurde eine neue Verbindungstechnologie entwickelt, die auf drahtfreien Oberseitenverbindungen basiert. Die elektrische Verbindung wird durch diese Strukturen hergestellt, die außerdem eine zusätzliche Wärmeableitung von der Oberseite der Chips bieten.

Bei der neuen Verbindungstechnologie werden die oberseitigen Verbindungen zu den SiC-Halbleitern durch metallisch strukturierte Spacer zu einem Leadframe hergestellt. Es wurden parametrische Finite-Elemente-Studien zur T-Beanspruchung in Abhängigkeit von der Spacer-Geometrie/Material und den Pressmassen durchgeführt. Zusätzlich wurden die Auswirkungen verschiedener Spacer-Attach-Lote mit Standard-SAC-Eigenschaften, hoch kriechfesten Innot-Loteigenschaften und Hochtemperaturlöt HT1 mit kriechfähigem Verhalten verglichen.

Als ein dominanter Versagensmodus wurde Chip-Pad-Ermüdungsbruch beobachtet. Die Bewertung dieses Versagensmodus mit Standard-FE-Methoden ist aufgrund des Pad-Seitenverhältnisse und des stark nichtlinearen Materialverhaltens begrenzt. Um eine vergleichbare Schadensmetrik zu erhalten, wurde die CZ-Modellierung eingeführt. Die Methodik erlaubt sowohl die Modellierung der Grenzflächenfestigkeit als auch des Schädigungsfortschritts. Durch kombinierte elektrothermisch-mechanische Modellierung werden schließlich die transienten Temperatur- und Spannungsfelder damit verknüpft.





---

# SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

---

Das Geschäftsfeld »Sensor and Actuator Systems« umfasst vielfältige Sensor- und Aktuatorssysteme, welche auf unterschiedlichen Technologien und Wirkprinzipien beruhen, sowie Verfahren, Methoden und Sensorik zur Material- und Strukturanalyse. Besonderes Augenmerk liegt auf der zunehmenden Integration von Nanostrukturen. Das Geschäftsfeld adressiert folgende Themenfelder:

**Inertialsensorik** || Der Fokus liegt auf der Entwicklung von hochpräzisen siliziumbasierten Sensoren zur Messung von Beschleunigung, Vibration, Neigung und Drehraten. Die gesamte Wertschöpfungskette, beginnend mit dem MEMS- und Systemdesign über die Technologieentwicklung und Prototypenfertigung bis zur Charakterisierung und zum Systemtest, wird abgedeckt.

**Optische Bauelemente/MOEMS** || Optische Bauelemente/MOEMS sind etablierte siliziumbasierte Systeme, wie durchstimmbare optische Filter und Shutter auf der Basis optischer Bragg-Reflektorschichten, welche durch geeignete Lichtquellen und Detektoren ergänzt werden. Eine neue Technologie-Plattform vereint eine Vielzahl von optischen Komponenten auf einem Siliziumchip für spektroskopische Auswertungen. Darüber hinaus ermöglichen Quantum-Dot-basierte LEDs und Photodetektoren eine kundenspezifische spektrale Sensorik, materialintegrierte Lichtquellen sowie Design- und Anzeigeelemente.

**Elektromagnetische Sensorik** || Mehrdimensionale Magnetfeldsensoren auf der Basis des GMR- bzw. TMR-Effektes liegen im Fokus dieses Themenfeldes. Sie werden in der direkten Magnetfeldmessung im mT bis in den nT-Bereich und in der daraus folgenden Bestimmung von z. B. Abstand, Position, Rotation und Bewegung angewendet. Aufgrund der sehr hohen Sensitivität solcher Sensoren werden neue Einsatzbereiche ermöglicht.

**Druck- und Kraftwandler** || Im Fokus der Forschungsarbeiten stehen siliziumbasierte Ultraschallwandler, wobei sowohl Ansätze mit elektrostatischem bzw. kapazitivem Wirkprinzip als auch piezoelektrischer Wandlung verfolgt werden. Weiterhin sind umgebungsdrucksensitive Resonatoren entwickelt worden. Neuartige Kraftwandler auf der Basis integrierter Kohlenstoffnanoröhren bewirken eine äußerst sensitive piezoresistive Detektion.

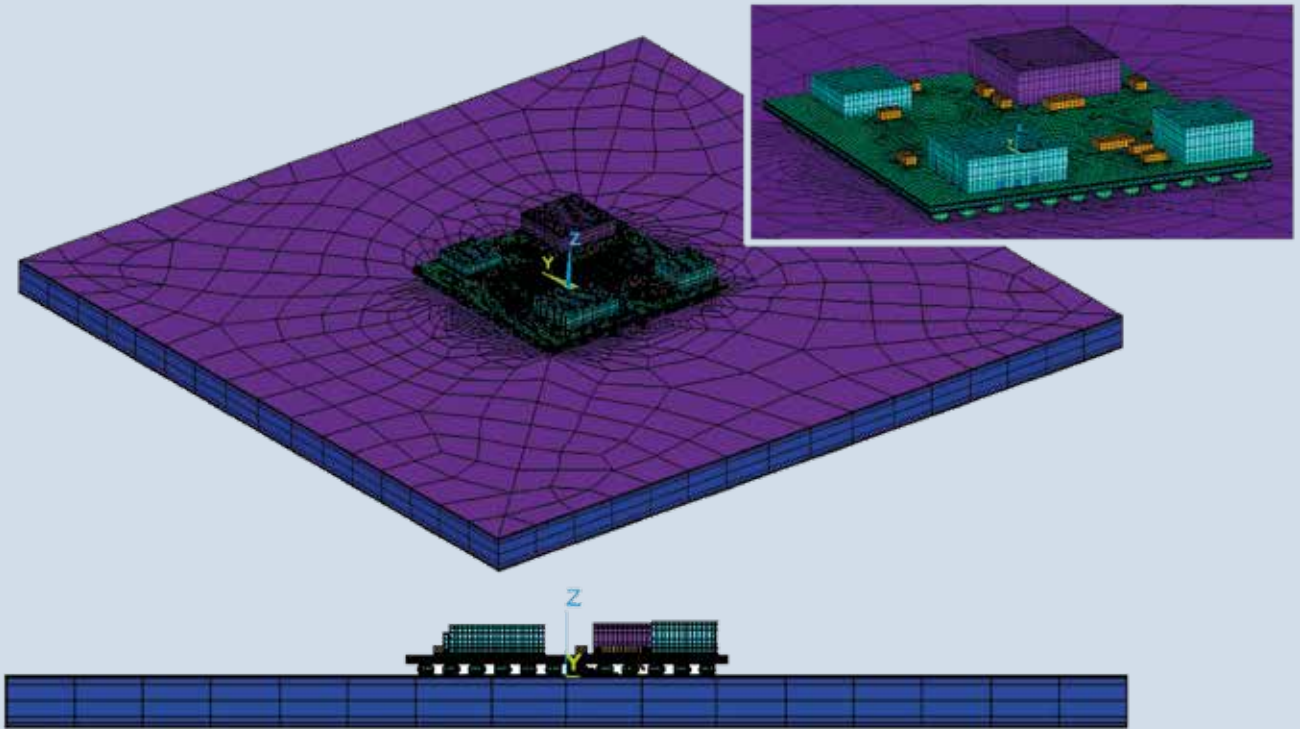
**Material- und Struktursensorik** || Dieses Themenfeld umfasst Verfahren, Methoden und Anordnungen zur Material- und Struktursensorik. Dabei basiert die Sensorik für mechanische Spannung, Dehnung und Überlast (Riss- und Bruchdetektion) zum einen auf Siliziumtechnologien. Die nanokompositbasierte Überlastsensorik sowie Feuchtesensorik nutzt andererseits dünne Schichten organischer Materialien mit eingebetteten Nanopartikeln, wodurch eine Integration in Faserverbundwerkstoffe ermöglicht wird. Ein weiteres Standbein dieser Art Sensorik basiert auf Kohlenstoffnanoröhren.

---

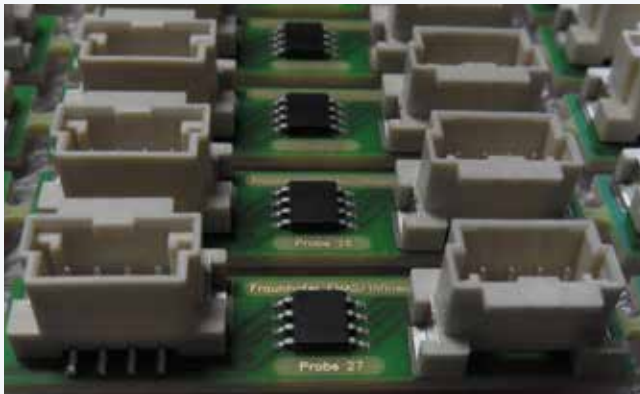
## GESCHÄFTSFELD-MANAGERIN

---

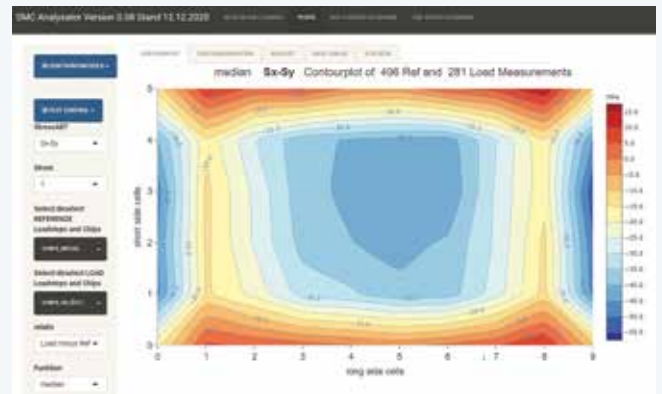
Prof. Dr. Karla Hiller  
+49 371 45001-400  
karla.hiller@enas.fraunhofer.de



Finite-Element-Modell des USeP-Moduls mit Sensorbestückung.



Auf Testleiterplatten gelötete Stresschip-Packages.



Stresschip-Auswertesoftware (Median Differenzstress von 50 Chips).

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- SENSOR MODULE
- ZUVERLÄSSIGKEIT

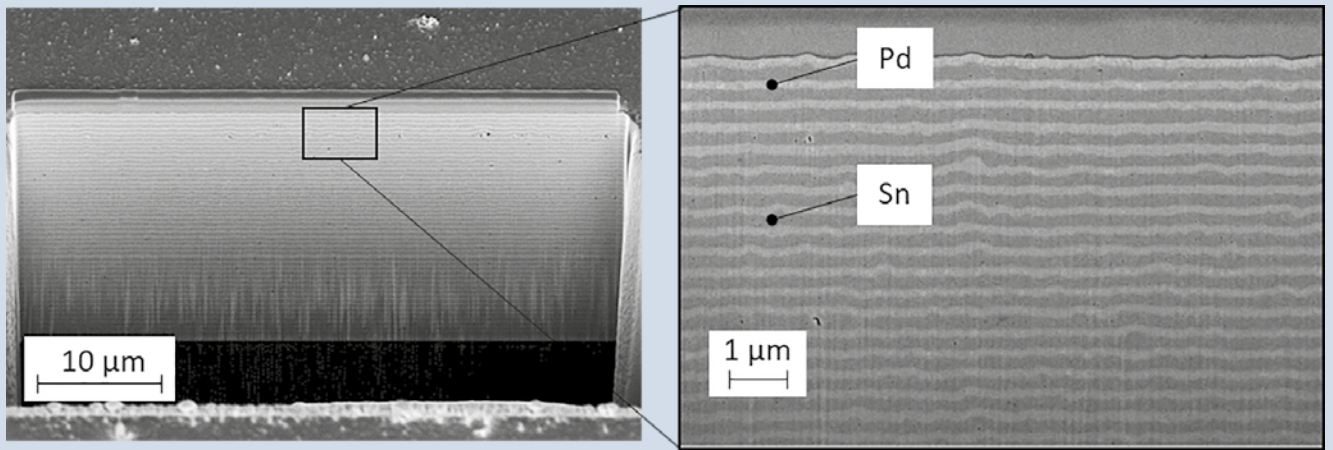
# SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

## VIRTUELLES PROTOTYPING FÜR DEN SCHNELLEN ENTWURF VON UNIVERSELLEN SENSORPLATTFORMEN

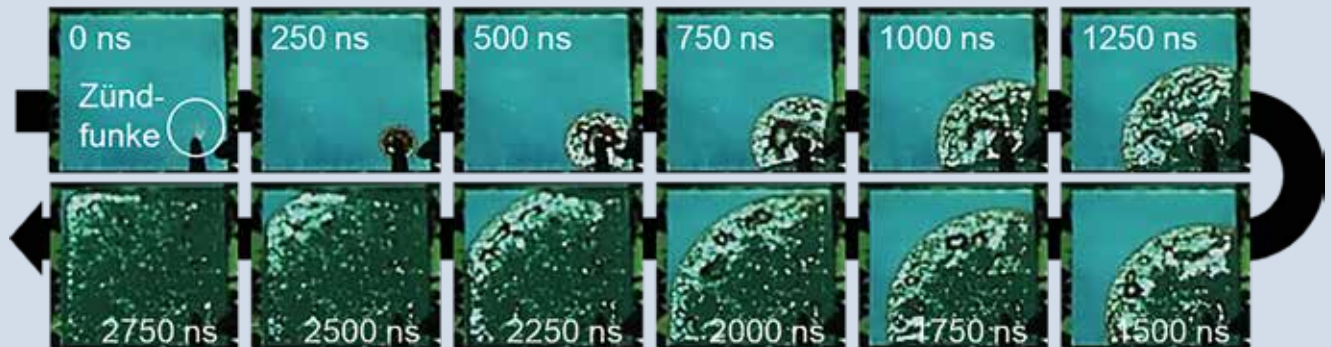
Die Vorteile des Virtuellen Prototypings lassen das Verfahren bei der Produktentstehung einen bedeutsamen Platz einnehmen. So verursachen digitale Prototypen in der Regel geringere Kosten als physische Prototypen. Die Kosten für 3D-CAD-Systeme und Simulationsprogramme sind zwar in den letzten Jahren gefallen, aber für kleine und mittelständische Unternehmen immer noch erheblich. Durch das von der SAB geförderte Projekt USeP wird KMUs durch zukunftsweisende Systemarchitekturen und Fertigungsmethoden ein Zugang zu elektronischen Lösungen geschaffen, die es ihnen erlauben auf dem IoT-Markt konkurrenzfähig zu bleiben. Die Zuverlässigkeit der Aufbau- und Verbindungstechnik ist bei der Umsetzung der angestrebten Variabilität des mittels Baukastensystems konfigurierten elektrischen Gesamtsystems von zentraler Bedeutung. Die Anwendung einer »bottom-up«-Methode ermöglicht Zuverlässigkeitsaussagen sequentiell mit steigender Systemkomplexität. Zur Sicherstellung der thermischen und thermomechanischen Zuverlässigkeit der universellen Sensorplattform kam die Methode des virtuellen Prototypings zum Einsatz. Basierend auf parametrischen Finite-Element-Modellen konnte die angestrebte Variabilität durch den modularen Ansatz gewährleistet werden. Dieses System ist in der Lage, schnell auf Modelländerungen hin zu weiteren aktuellen und zukünftigen SiP-Produkten auf der Basis von FOWLP zu reagieren. Alle Ebenen der Packaging-Komponenten sind in einem kombinierten Satz von Modellen integriert. Durch die im Projekt USeP entwickelten Simulationsschemata werden KMUs in die Lage versetzt, die Vorteile des Virtuellen Prototypings nutzen zu können.

## ON-LINE-STRESSÜBERWACHUNG WÄHREND DER HERSTELLUNG UND ANWENDUNG DURCH STRESS-CHIP-PACKAGES

FEM-Simulationen sind eine etablierte Methode, um die Zuverlässigkeit eines Packages zu untersuchen. Die Ergebnisse können Wapage, Eigenspannungen oder die Restlebensdauer vorhersagen. Allerdings handelt es sich bei FEM-Modellen immer um eine Idealform ohne Fertigungstoleranzen. Viele zeitaufwendige Tests müssen durchgeführt werden, um diese statistischen Schwankungen zu identifizieren. Die größte Herausforderung für die Zustandsüberwachung ist es, eine Monitorstruktur mit einem starken physikalischen Zusammenhang zum Ausfall zu finden. Die Messung des Stroms oder der Temperatur im Inneren eines Packages ist der einfachste Weg. Allerdings sind die Änderungen dieser Werte sehr schwach und spät im Verhalten eines physikalischen Fehlers zu beobachten. Der Stress-Chip kann kleine Aufbau- und Materialänderungen direkt messen, ohne das Package zu zerstören. Alle Gehäusekomponenten und deren Fertigungstechnologien haben einen Einfluss auf den Eigenspannungszustand des Gehäuses. Dieser wird vor und nach wichtigen Produktionsschritten (Die-Attach, Molding, Löten) gemessen. Abschließend kann ein Temperatur-Zyklustest mit On-line-Stressmessung durchgeführt werden. Mit einer neu programmierten Software ist es möglich, viele gleiche Packages in beliebigen Stresszuständen zu vergleichen. Es wird das unterschiedliche Zyklusverhalten der verschiedenen Packages in Kombination mit moderneren KI-Auswertungstechnik untersucht. Da die Eigenspannungen direkt gemessen werden, können neue Package-Materialien oder Prozesse schneller qualifiziert werden. Die gewonnen Erkenntnisse zum realen thermomechanischen Verhalten von Packages können auch zum Health Monitoring eingesetzt werden.



Querschliff eines galvanisch abgeschiedene Pd/Sn-Multilagenstapels auf Silizium.



Reaktionsausbreitung in elektrochemisch abgeschiedenen Pd/Sn-Multilagenstapeln.



Gyroskop.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- INERTIALSENSORIK
- PACKAGING

---

# SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

---

## ELEKTROCHEMISCHE ABSCHIEDUNG REAKTIVER Pd/Sn-MULTILAGEN-SYSTEME

---

Bei der Integration heterogener Werkstoffe stellt die Reduktion der Prozesstemperaturen einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt dar. Am Fraunhofer ENAS werden deshalb seit über 10 Jahren integrierte reaktive Materialsysteme (iRMS) als interne Wärmequelle zum Fügen von Substraten auf Wafer-, Chip- und Komponentenebene erforscht. Die während der selbstausbreitenden exothermen Reaktion freigesetzte Energie wird dabei nur lokal in der Fügezone bereitgestellt. Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt ElisA werden elektrochemisch abgeschiedene Pd/Sn-Multilagensysteme als Alternative zu gesputterten Reaktivsystemen erarbeitet. Durch die strukturierte Abscheidung mittels Zweibadtechnik können neben klassischen Substraten der Mikrosystemtechnik (Silizium, Glas) auch vormetallisierte Leiterplatten und Keramiksubstrate mit reaktiven Multilagen beschichtet werden. Die reaktiven Schichten wachsen dabei direkt auf den gedruckten Grundmetallisierungen der Leiterplatten bzw. Keramiken auf. Die Dicke der reaktiven Multilagen variiert in Abhängigkeit der Substrate und Vormetallisierungen zwischen 20 µm und 50 µm. Beim Anlegen eines lokalen Zündimpulses (Kurzschlussfunke) breitet sich die exotherme Reaktion im Pd/Sn-Multilagenstapel mit einer Geschwindigkeit von max. 5,7 m/s aus und schmelzen die Metallisierung der Fügepartner lokal auf. Das Fügeverfahren ermöglicht auch für Leiterplatten und Keramiken ein Verkapseln von temperaturempfindlichen Bauelementen ohne externen Wärmeeintrag innerhalb von Sekundenbruchteilen. Vorbestückte Bauelemente auf den Leiterplatten erfahren dabei keine nachträgliche thermische Belastung.

---

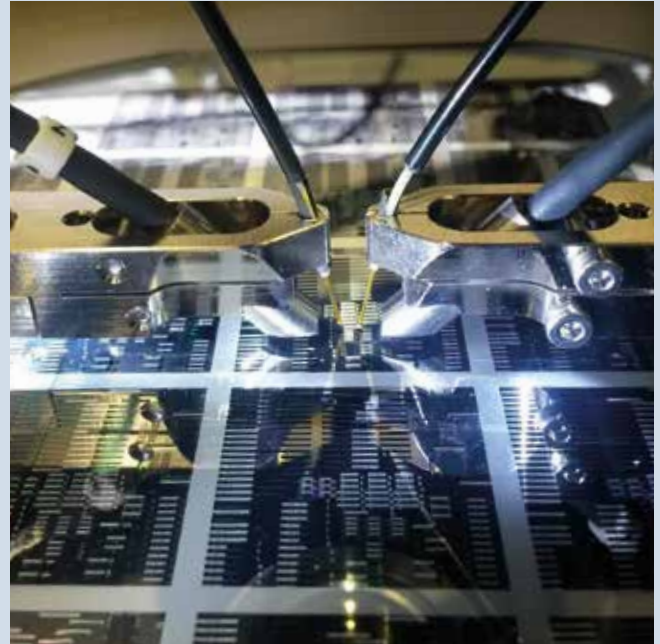
## GYROKOMPASS: EINSATZ EINES PRÄZISIONS-MEMS-GYROSKOPS ZUR BESTIMMUNG DER HIMMELSRICHTUNG

---

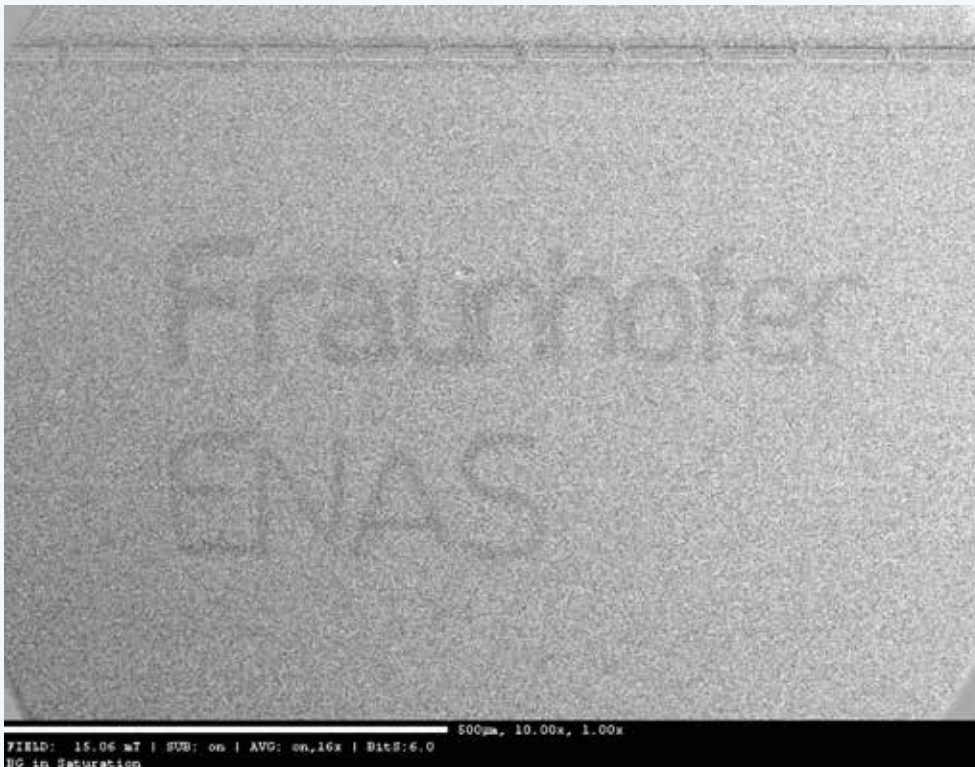
Die Bestimmung der Himmelsrichtung mithilfe von Gyroskopen ist heutzutage üblich, da diese im Vergleich zum magnetischen Kompass nicht von lokalen Störungen des Erdmagnetfelds beeinflusst werden. Außerdem sind sie unabhängig von Funkverbindungen zu Satelliten. Die benötigte Auflösung und Stabilität findet man derzeit nur in optischen oder halbkugelförmigen Resonator-Gyroskopen. Die Weiterentwicklung der deutlich günstigeren und kleineren MEMS-Gyroskope macht es nun möglich, diese auch in entsprechenden Anwendungen zu verwenden. Um die Vorteile zu zeigen, wurde am Fraunhofer ENAS ein kompaktes, transportables Gerät zur Nord-Bestimmung entwickelt. Die Grundlage ist der ebenfalls vom Fraunhofer ENAS in Zusammenarbeit mit externen Partnern entwickelte Drehratensensor mit integrierter Signalwandlung. Aufgrund der im KoliBriS-Projekt weiterentwickelten und hier verwendeten Vollsilizium-BDRIE-Technologie und dem aufeinander abgestimmten MEMS- und ASIC-Designs, erreicht dieser eine hohe Auflösung und Empfindlichkeit bei gleichzeitig kleiner Signaldrift. Die erreichte Genauigkeit des Kompass-Systems ist ungefähr 1° innerhalb von 10 Minuten bei 50.8° nördlicher Breite (Chemnitz, Deutschland). Der implementierte Maytagging-Algorithmus ermöglicht die Verwendung von günstigen Standardbauteilen wie einen Schrittmotor und STM-Mikrokontroller. Die Steuerung der Messroutine sowie das Sammeln und Auswerten von Daten findet komplett im Gerät statt und benötigt keinen zusätzlichen Computer. Der Energieverbrauch liegt unter 4 W. Nach der Messung zeigt der Gyrokompass in Richtung Norden und kann daher zum Beispiel zur einfachen Ausrichtung von Maschinen in Gebäuden verwendet werden.



Spektrometer-Komponenten auf SOI-Wafer (Infrarotquellen, Wellenleiter, Filter und Koppler).



Messaufbau zur optischen Charakterisierung von Spektrometer-Komponenten auf Waferebene.



Per Laser eingepprägter magnetischer Kontrast einer 5 nm dicken CoFeB-Schicht auf Basis des Exchange Bias Effektes. Der Schriftzug ist nur in einem begrenzten Magnetfeldbereich sichtbar, hier  $H=15$  mT.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- OPTISCHE BAUELEMENTE / MOEMS
- ELEKTROMAGNETISCHE SENSORIK

# SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

## PLATTFORM FÜR CHIPINTEGRIERTE OPTISCHE IR-KOMPONENTEN

Ein miniaturisiertes, modulares Spektrometer-System, welches eine Vielzahl optischer und mikromechanischer Einzelkomponenten auf einem Siliziumchip vereint und somit spektroskopische Technologien für Massenanwendungen erschließt, wird in den beiden Projekten ESAIRQ und PHiPMEMs entwickelt. Die Projekte betrachten dafür jeweils unterschiedliche Einzelkomponenten, die auf Chipebene zu vielfältigen Gesamtsystemen kombiniert werden können. Dies hat den Vorteil, dass sich die Komplexität des Systems nur auf den Entwurf, jedoch nicht auf die Technologiesequenz auswirkt. Die Herstellung in einer oberflächennahen Mikrotechnologie erlaubt die Führung und Modulation der infraroten Strahlung in der Chipebene. Dadurch ist ein hoher Grad an Miniaturisierung und Komplexität des Gesamtsystems erreichbar.

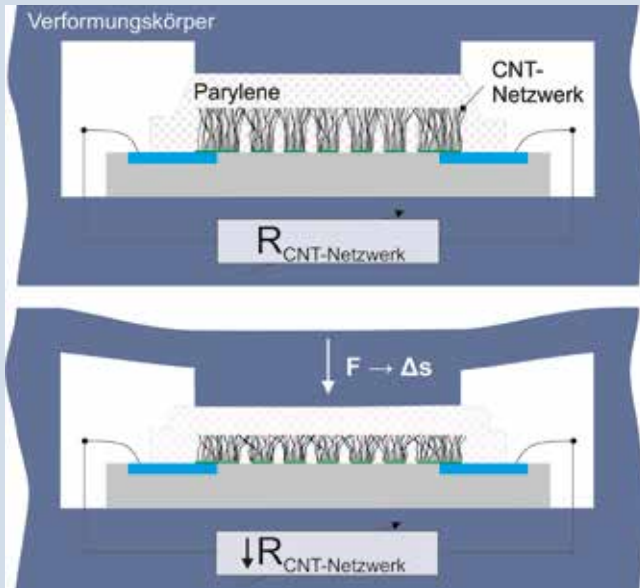
Im Projekt ESAIRQ werden Infrarotstrahlungsquellen, Fabry-Pérot-Filter und optische Gitterkoppler entwickelt. Das Projekt PHiPMEMs fokussiert auf digitale MEMS-Aktoren für die Variation optischer Eigenschaften, wie z. B. der Filterwellenlängen, und auf integrierte Cavity-Resonatoren.

Zur Charakterisierung der Spektrometer-Komponenten auf dem Chip wurde ein neuer Messplatz aufgebaut. Ein Waferprober mit optischem Messsystem und steuerbaren Faserhaltern ermöglicht die Ankopplung der optischen Strukturen auf dem Wafer mit optischen Fasern.

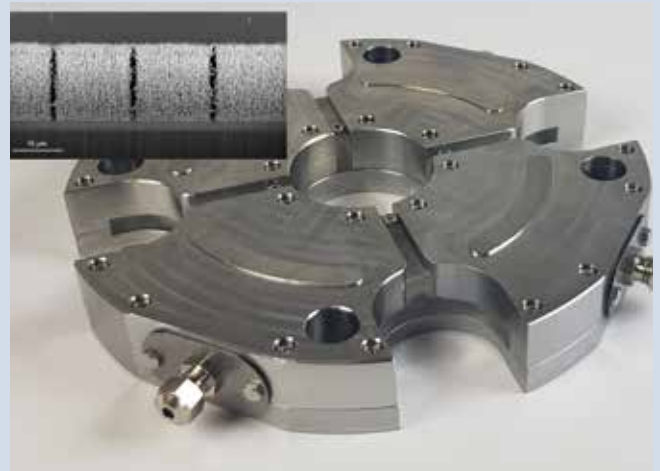
Die Entwicklung eines miniaturisierten, kostengünstigen Spektrometers ermöglicht den Einsatz spektroskopischer Technologie in vielen Bereichen des täglichen Lebens, wie zum Beispiel zur Analyse von Lebensmitteln mit dem Smartphone oder zur Überwachung der Luftqualität in Gebäuden oder im Straßenverkehr.

## SPINTRONIK: KRISTALLISATION DURCH LOKALES LASERTEMPERN VON TMR-SENSORELEMENTEN

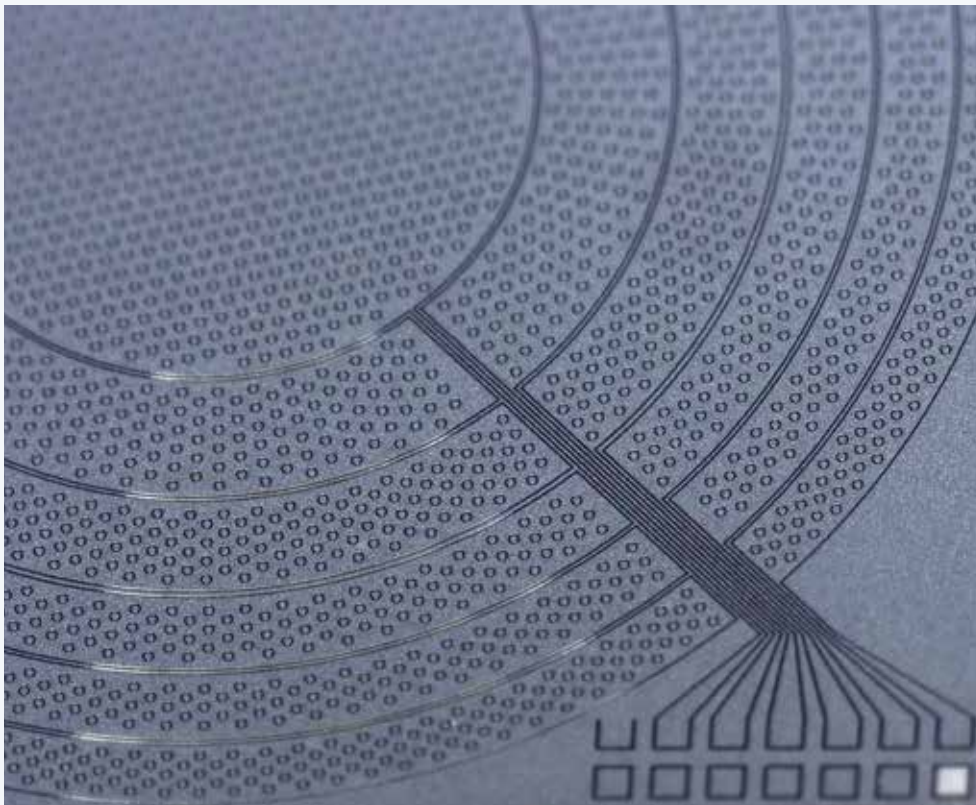
Magnetfeldsensoren auf Basis spintronischer Effekte, v.a. dem »giant magnetoresistance«-(GMR)- und »tunneling magnetoresistance«-(TMR)-Effekt, nehmen aufgrund ihrer Performance stetig größere Marktanteile ein. Insbesondere TMR-basierte Systeme stehen seit einigen Jahren am Fraunhofer ENAS im Fokus, bieten sie doch eine wesentlich höhere Sensitivität, kleinere Sensorabmessungen sowie eine höhere Energieeffizienz, und stellen somit eine vielversprechende Technologie für die nächste Sensorgeneration auch für das industrielle Umfeld dar. Um das TMR-Signal zu maximieren, sind CoFeB/MgO-basierte Sensorelemente auf einen Temperschritt angewiesen, welcher sowohl zur Kristallisation, als auch zur Ausrichtung einer Referenzmagnetisierung im Schichtsystem dient. Vor allem die benötigten Temperaturen zur Kristallisation von CoFeB sind oft herausfordernd, u.a. für eine Integration in Smart Systems oder auf flexiblen Substraten, da dieser Schritt typischerweise in einem Vakuumofen unter Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes durchgeführt wird. Alternativ kann diese Erwärmung durch Laserbestrahlung erfolgen, welche zudem eine lokal aufgelöste magnetische Strukturierung gestattet und die monolithische Integration von multidimensionalen Sensoren erst ermöglicht. Nun wurde für ein Laserscanverfahren mit effektiven Verweilzeiten im  $\mu\text{s}$ -Bereich nachgewiesen, dass auch eine gezielte CoFeB-Kristallisation in Dünnschichtsystemen erreicht werden kann. Dadurch wird großes Potenzial zur zukünftigen Implementation von TMR-Elementen in Architekturen mit besonderen Temperaturanforderungen entfaltet sowie das Integrationspotenzial von spintronischen Systemen und deren Anwendungsspektrum deutlich erweitert.



Aufbau und Wirkprinzip des CNT-basierten Kraftsensors.



In Kooperation mit dem Fraunhofer IWU entwickelter Verformungskörper mit integrierten Sensorzellen zur Prozessüberwachung sowie einer REM-Querschnittsansicht des CNT-Netzwerkes eingebettet in die Passivierungsschicht aus Parylene.



Miniaturisierter piezoelektrischer Ultraschallwandler mit radialsymmetrischem Array, gefertigt in Silizium-Mikrotechnologie.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

### • DRUCK- UND KRAFTWANDLER



# SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

## CNT-BASIERTE KRAFTSENSORIK: PROZESSÜBERWACHUNG IN UMFORMWERKZEUGEN

Für die genaue Prozessüberwachung von Zerspanungs- und Umformprozessen ist eine gewisse Wirkstellennähe der Sensorik notwendig, um die tatsächlich wirkenden Kräfte in Werkzeugen zu messen. Diese Wirkstellennähe wiederum erfordert eine hohe Sensitivität der Sensoren, um eine hohe Steifigkeit der Sensorumgebung zu erreichen. Ist der Steifigkeitsverlust durch die integrierte Sensorik zu groß, führt dies zu einer Verringerung der Bauteilgenauigkeit sowie zu einer Verschlechterung der dynamischen Eigenschaften von Werkzeugen und Maschinen.

Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurde ein neuartiger Kraftsensor entwickelt, dessen Sensorprinzip auf einem Netzwerk vertikal angeordneter Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) beruht. Verändert man die Struktur dieses Netzwerkes durch Kompression, äußert sich dies in einer ausgeprägten Widerstandsänderung.

Um einen Kraftsensor zu realisieren, werden CVD-gewachsene CNT-Strukturen als Widerstände in einer Messbrücke verschaltet und in einen Verformungskörper integriert. Für eine Prozessüberwachung wurde eine Sensorzelle entwickelt, welche insgesamt vier Messstellen in einer kreisförmigen Anordnung beinhaltet. Folgende Ergebnisse konnten aus Versuchen in einem Pressenversuchsstand abgeleitet werden:

- Bei normierter Belastung bis Nennlast ergibt sich eine Sensitivität von bis zu 75 mV/V und ist damit mehr als 35-mal so groß wie bei klassischen Kraftsensoren mit metallischen DMS (2 mV/V).
- Der Verformungskörper weist eine Steifigkeit von 8 kN/μm auf. Vergleichbare kommerziell verfügbare Kraftsensoren im Nennlastbereich zwischen 1 und 5 kN besitzen eine Steifigkeit zwischen 0,05 und 0,2 kN/μm. Die Steifigkeit des CNT-Sensors liegt damit ein bis zwei Zehnerpotenzen höher.

## PIEZOELEKTRISCHE ULTRASCHALL- WANDLER AUS ALUMINIUMNITRID MIT MIKROBEARBEITUNG

Ultraschallwandler mit hoher Arbeitsfrequenz erreichen eine hohe Auflösung. Diese Wandler ermöglichen präzise Bildgebungsanwendungen wie z. B. Fingerabdrucksensoren oder die medizinische Bildgebung von Gewebe. Durch ein radiales Sensorarray können zukünftige Anwendungen mit fokussierter Strahlsteuerung realisiert werden, um somit eine hohe Schallenergie auf einer kleinen Fläche mit hoher Auflösung ein- oder mehrachsig zu steuern. Darüber hinaus lassen sich akustische Manipulationen realisieren, z.B. die Erwärmung von Gewebe zur medizinischen Behandlung oder der Transport und die Aktivierung einzelner Mikro- und Nanopartikel. Piezoelektrische miniaturisierte Ultraschallwandler (PMUTs) können sehr klein gefertigt und mit sehr hohen Arbeitsfrequenzen ausgelegt werden. Daher haben PMUTs Vorteile im Vergleich zu Ultraschallwandlern in Bulk-Technologie. Zusätzlich hat die Anordnung der einzelnen Ultraschallelemente durch die Mikrotechnik einen großen Freiheitsgrad. So ist das Array-Design nicht aufgrund technischer Einschränkungen durch Sägelinien begrenzt, die bei Bulk-Ultraschallwandlern üblicherweise verwendet werden. Zusätzlich ermöglicht die Miniaturisierung der Mikrotechnologien neue Anwendungen, wie endoskopische, medizinische Behandlungen und die kostengünstige Integration in Verbraucher-, Automobil- und Industriesensorik. Das Fraunhofer ENAS hat in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Mikrotechnologien der Technischen Universität Chemnitz ein neues Design und eine neue Aluminiumnitrid-basierte Technologie für radial fokussierbare PMUTs mit hohen Frequenzen im MHz-Bereich entwickelt. Die auf Aluminiumnitrid (AlN) basierende Technologie ermöglicht den mehr als 4000 Membranen hohe Auslenkungen. Aufgrund der sehr homogenen Fertigungsprozesse konnten die Technologietoleranzen minimiert werden, wodurch die über 4000 Einzelstrukturen zuverlässig parallel angesteuert werden können.



---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

---

Im Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Power and Mobility« entwickelt das Fraunhofer ENAS Know-how und betreibt Technologietransfer einschließlich der Entwicklung von Forschungsmustern und Prototypen im Bereich der Erzeugung und Übertragung von Elektroenergie und im Bereich Elektromobilität. Nach wie vor spielt die Zuverlässigkeit der Betriebsmittel und Baugruppen in beiden Bereichen eine immense Rolle für die Versorgungssicherheit und Verfügbarkeit im Hinblick auf die durchschnittliche Ausfallhäufigkeit und -dauer. Wir betrachten Predictive Maintenance und Design for Reliability als zwei wesentliche Methoden, möglichen Ausfällen im Vorfeld effektiv entgegenzuwirken.

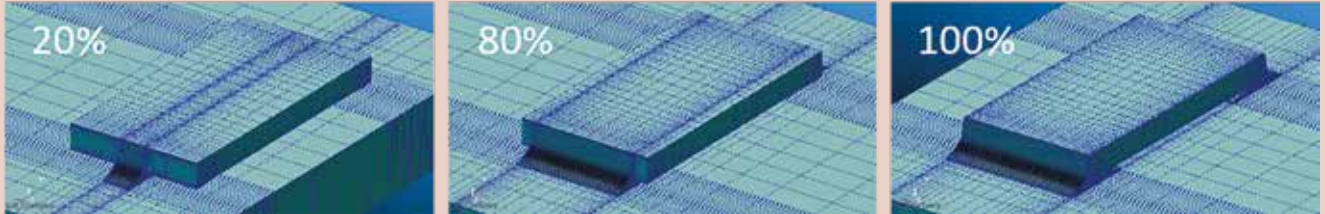
Fraunhofer ENAS arbeitet deshalb kontinuierlich daran, Sensortechnologie für das Monitoring von Betriebsmitteln zu entwickeln und in Einsatzszenarien gemeinsam mit Energieversorgern derartige Sensorsysteme zu testen. In den letzten beiden Jahren wurde auf das Monitoring von Mittelspannungsanlagen fokussiert und ein funkbasiertes Multisensor-System für Kabelverbinder und Anschlussstellen in Schaltanlagen und Transformatoren mit wartungsfreien und batterielosen Sensoren entwickelt. Die Datenübertragung erfolgt über ein LoRa-Datennetzwerk, so dass sich entwickelnde Degradationen bereits im Vorfeld von Ausfällen detektiert und eine geeignete Wartung vorgenommen werden kann. Im Folgenden wird über dieses System berichtet, dass in Kooperation mit dem südkoreanischen Energieversorger KEPCO und der Forschungseinrichtung Korea Electric Power Corporation Research Institute (KEPRI) entwickelt und getestet wurde.

Design for Reliability erfordert ein solides Wissen über die physikalischen Zusammenhänge von Degradation und Ausfallmechanismen. Für den Einsatz neuer Materialien, wie beispielsweise SiC als Leistungshalbleiter und neuartige Aufbau- und Verbindungstechnologien werden kontinuierlich die relevanten Zusammenhänge erforscht und Methoden zur Analyse und zum Design hinsichtlich der thermo-mechanischen Zuverlässigkeit und der elektromagnetischen Verträglichkeit entwickelt. Modellierung und Simulationen sowie umfangreiche experimentelle Validierung stehen dabei im Vordergrund. Beiträge auf den folgenden Seiten berichten über Aspekte dieser Arbeiten im Hinblick auf Halbleiter-Leistungsmodule für die Motorenansteuerung und auf die Integration spezieller Teststrukturen für die Etablierung eines Prognostics and Health Managements.

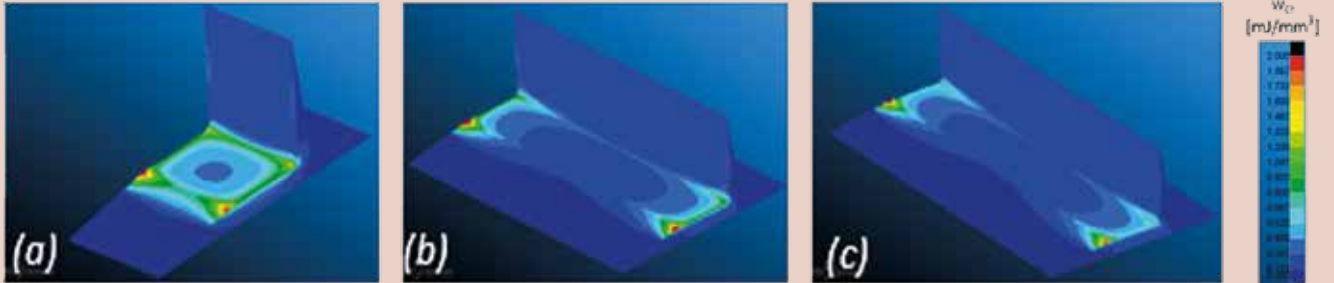
---

## GESCHÄFTSFELD-MANAGER

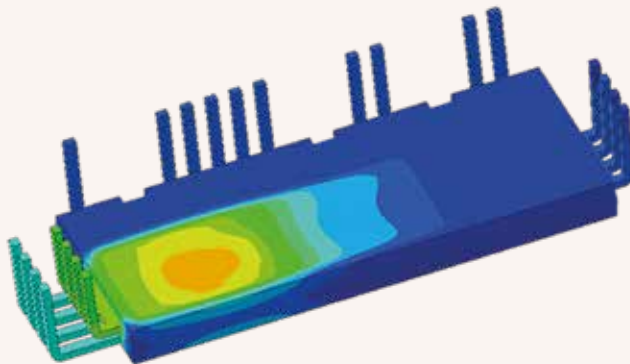
Dr. Steffen Kurth  
+49 371 45001-255  
steffen.kurth@enas.fraunhofer.de



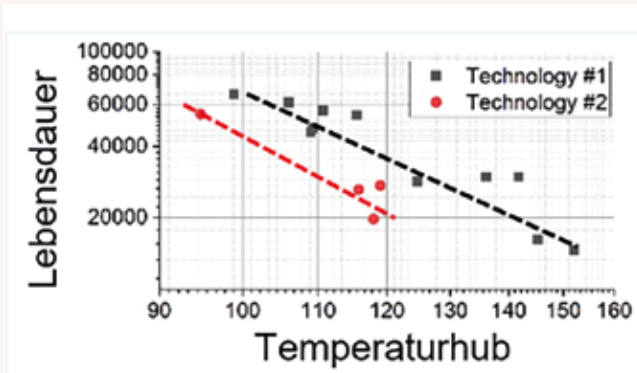
Geometriemodelle der untersuchten SMD-Widerstände (=Kanarienelemente) mit reduzierter Lötbreite.



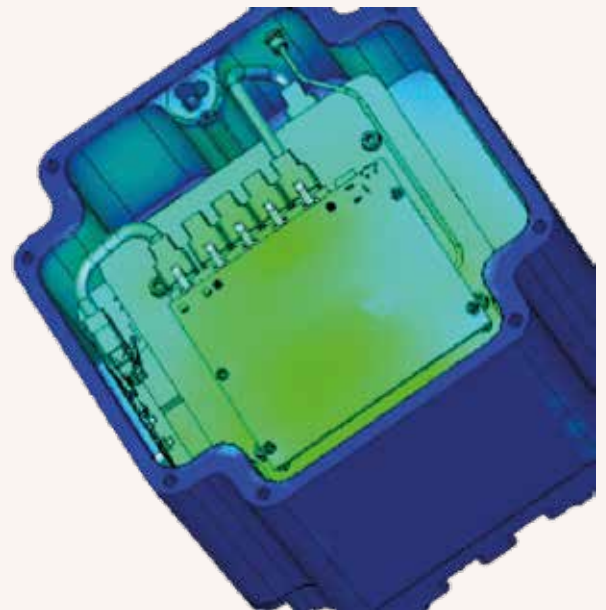
Verteilung der akkumulierten Kriechenergiedichte bei passiver thermischer Belastung.



Simulierte Temperaturverteilung in einem SiC-Leistungsmodul während aktiver Belastung.



Lebensdauercurven für verschiedene, im Projekt CosmoDU untersuchte Leistungsmodul-Aufbauvarianten.



Simulation der Feldverteilung mit Nahfelddaten als Quelle.

# FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- ZUVERLÄSSIGKEIT
- PROGNOSTIC HEALTH MONITORING

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

## KANARIENSTRUKTUREN BASIEREND AUF SMD-BAUELEMENTEN MIT REDUZIERTEN LOTBREITEN FÜR PHM

Kanarienstrukturen als Frühwarnindikatoren stellen ein wichtiges Werkzeug zur Zustands- und Funktionsüberwachung von elektronischen Komponenten und Systemen im Kontext der PHM-Methodik (Prognostics and Health Management) dar. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen des europäischen Projekts EVC1000 Leiterplatten mit Kanarienstrukturen auf Basis von SMD 2512 Keramik-Chipwiderständen mit reduzierten Lötpad-Größen (20 % und 80 %) untersucht. Der Fokus dieser Untersuchungen lag auf thermo-mechanischen sowie mechanischen Beanspruchungen durch Temperaturwechsel und Schwingungsbelastungen. Sie umfassten temperaturabhängige Verwölbungs- und Verformungsmessungen, beschleunigte Lebensdauertests sowie begleitende Finite-Elemente-Simulationen. Basierend auf diesen Untersuchungen liegt nun ein grundlegendes Verständnis zur Lebensdauerabschätzung von SMD-Bauelementen in Abhängigkeit von deren Lötpad-Geometrie vor. Dieses kann im nächsten Schritt genutzt werden, um die Methodik für die Implementierung solcher Strukturen in verschiedene Anwendungen weiterzuentwickeln. Als Anwendungsfall wird derzeit die Zustandsüberwachung einer Inverter-Elektroniksteuereinheit, die in elektrischen Fahrzeugen zum Einsatz kommen soll, untersucht.

## HOCHINTEGRIERTE INDUSTRIEMOTOR- ANSTEUERUNG MIT SELBSTLERN- FÄHIGKEITEN UND EMV-GERECHTEN DESIGN

Im Rahmen des kürzlich abgeschlossenen PENTA-Projekts CosmoDU wurde gemeinsam mit mehreren europäischen Partnern erfolgreich eine modulare Hardware-Architektur für industrielle Motorantriebe entwickelt. Die Architektur ermöglicht die vollständige Integration des Umrichters sowie der Sensoren für die

Zustandsüberwachung und die Optimierung der Antriebsleistung auf Basis von Selbstlernfähigkeit. Alle Informationen werden im gesamten Motor und mit den höheren Systemschichten über den Standard »OPC Unified Architecture« ausgetauscht, der einen skalierbaren und herstellerunabhängigen Weg zur Offenlegung von Informationen gegenüber den höheren Schichten des Steuerungs- und Überwachungssystems bietet. Fraunhofer ENAS war hierbei verantwortlich für die Zuverlässigkeitsbewertung und -optimierung der im Rahmen des Projekts entwickelten SiC-basierten Leistungsmodule, welche auf neuartigen Kühl- und Verbindungstechnologien basieren. Dazu wurden experimentelle Untersuchungen, inklusive Lastwechseltests und temperaturabhängige Verformungsmessungen, in Verbindung mit Finite-Elemente-Studien durchgeführt, um deren thermo-mechanische Zuverlässigkeit unter passiver und aktiver thermischer Belastung zu bewerten. Die erzielten Ergebnisse stehen somit nun für die Zuverlässigkeitsbewertung SiC-basierter Leistungsaufbauten in zukünftigen Projekten und Kooperationen zur Verfügung. Neu ist ebenfalls, dass alle elektronischen Komponenten, die für die Smartifizierung des Motors benötigt werden, in einem Gehäuse stecken. Das führt zu einer dichten elektromagnetischen Feldkonzentration und einem breiten Störspektrum. Um auftretenden EMV-Herausforderungen zu begegnen werden von Fraunhofer ENAS Nahfeld-(NF)-Scanner eingesetzt. Die Ergebnisse eines NF-Scans werden auf zwei Arten genutzt. Erstens können EMV-Quellen durch einen NF-Scan aufgezeigt werden, um Störquellen zu beheben. Zweitens kann der NF-Scan mit Simulationen kombiniert werden, um die Nahfelder als Quelle zu nutzen. Zusammen mit CAD-Modellen weiterer Komponenten kann die hochfrequente Feldabstrahlung in andere Bereiche untersucht und charakterisiert werden, bevor alle Komponenten physikalisch integriert werden. Mit dieser noch jungen Kombination aus NF-Messung und Simulation werden EMV-Störquellen und damit nach der Integration aller Komponenten Probleme vermieden.



*Windkanalmodell bestückt mit Aktorik im DNW in Braunschweig.  
(Foto © 2021 Niko Bier, DLR)*



*Austrittsdüsen der integrierten fluidischen Aktoren in einem 2.5-D-Modell eines Rotorblattes. (Foto © 2021 Fraunhofer ENAS)*



*Prototyp an Kabelverbindung im Labor montiert.*



*Installation von Sensoren in einer Mittelspannungsschaltanlage.*

## **FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

- **VERBESSERUNG AERODYNAMISCHER BEDINGUNGEN**
- **NETZMONITORING BEIM TRANSPORT VON ELEKTROENERGIE**

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

## VERBESSERTE WINDERNTEFÄHIGKEIT DURCH AKTIVE STRÖMUNGSKONTROLLE

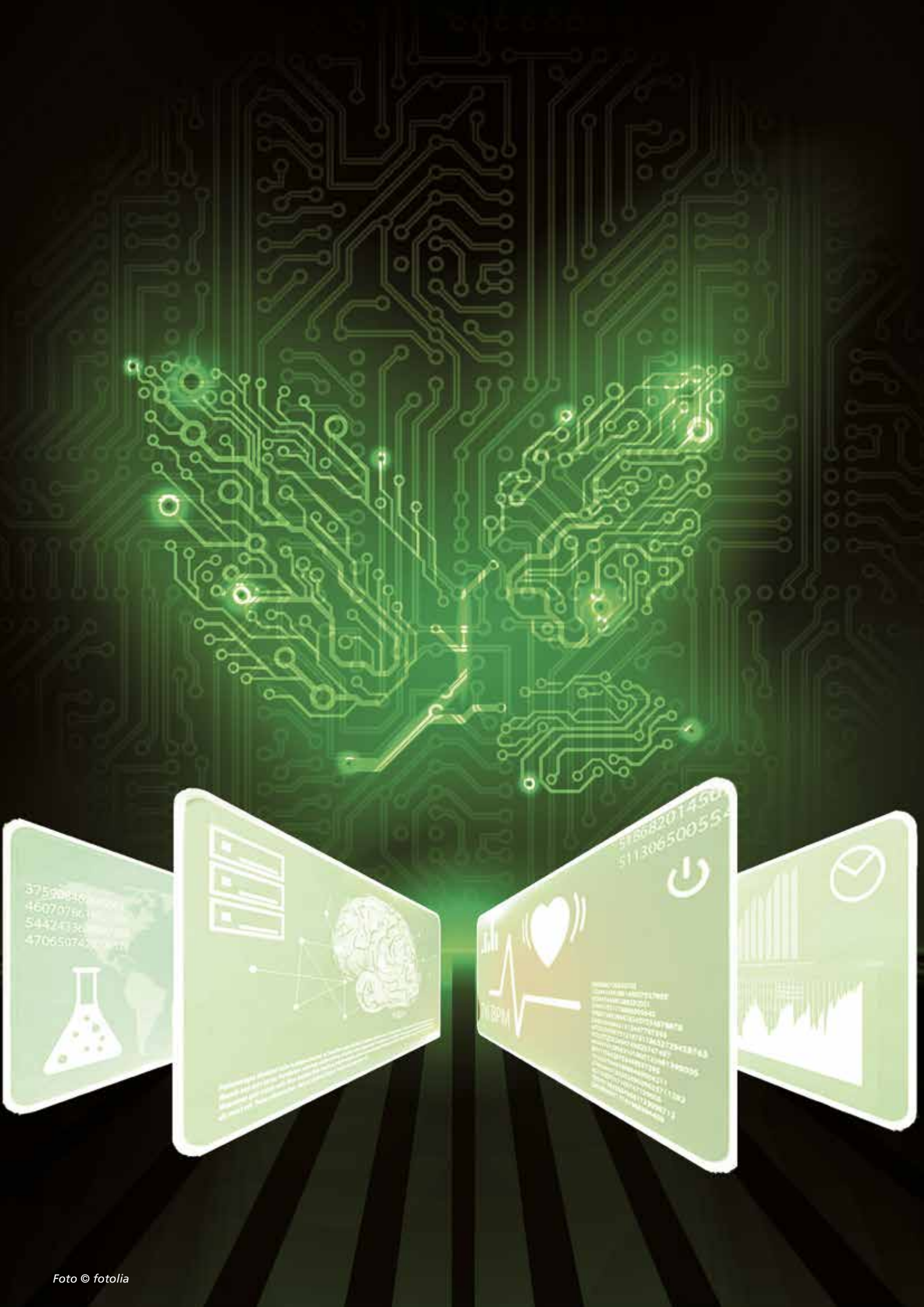
Das Verbundvorhaben TOpWind beschäftigte sich mit der »Technologischen und ökonomischen Betrachtung der Anwendung aktiver Strömungskontrolle zur Optimierung der Winderntefähigkeit von Windenergieanlagen«. Hierbei beteiligten sich fünf Industriepartner und zwei Forschungseinrichtungen, sowie vier Fraunhofer-Institute an der Entwicklung von Konzepten zur aktiven Beeinflussung von Luftströmung auf Rotorblättern von Windkraftanlagen. Das Konsortium deckte dabei alle notwendigen Forschungsbereiche ab: angefangen von aerodynamischen Simulationen über die Entwicklung des Aktorsystems und dessen Integration, bis hin zu aerodynamischen und aeroakustischen Tests, sowie die ökologische und ökonomische Bewertung des Gesamtsystems. Der Fokus des Fraunhofer ENAS lag in diesem Projekt auf der Entwicklung von fluidischen Aktoren, sogenannten Synthetik Jet Aktoren, welche eine gepulste und gerichtete Luftströmung erzeugen und damit die Strömung über das Rotorblatt beeinflussen. Die Herausforderungen lagen hierbei in der Optimierung der Aktorik in Hinblick auf die Leistung, die Robustheit bei einer großen Anzahl an Lastzyklen und die Reduzierung der Schallemission.

Abschließende Tests des Gesamtsystems in Hinblick auf aerodynamische Effekte sowie Zuverlässigkeit wurden im Dezember 2020 durchgeführt. Im Vergleich zur Basiskonfiguration konnte eine deutliche Verbesserung des Auftriebsbeiwertes um bis zu 10 % erreicht, die Zuverlässigkeit der Aktoren deutlich gesteigert und die akustische Schallemission um 20 dB reduziert werden. Perspektivisch können so in verschiedenen Szenarien die Erträge von Windenergieanlagen verbessert und damit die Kosten und Umweltbilanz reduziert werden.

## CABLE JOINT MONITORING SYSTEM

Die fehleranfälligen Teile eines kabelgebundenen Stromnetzes sind Kabelverbindungen und Steckverbinder. Durch allmähliche Degradation der Kabelisolierung in Kombination mit hoher Spannung bilden sich zunehmend Teilentladungen aus. Letztendlich gehen diese in extrem hohe Kurzschlussströme über. Die dadurch resultierende Wärmeentwicklung führt schließlich zur Zerstörung.

Mit Wärmebildkameras können die Kabelverbindungen sehr zuverlässig überprüft werden, jedoch ist dies sehr zeitaufwendig und teuer. Daher entwickelte das Fraunhofer ENAS zusammen mit einem internationalen Netzbetreiber ein flexibles, leicht montierbares, autarkes Multi-Sensor-Funküberwachungssystem. Damit lassen sich Fehler frühzeitig erkennen, entsprechende Wartungsarbeiten durchführen und schließlich kostenintensive und lange Stromausfälle vermeiden. Die Sensorknoten selbst bestehen aus einem drahtlosen Kommunikationsmodul, einem Stromwandlermodul und verschiedenen Sensoren zur Erfassung von Teilentladungen, Kabeltemperatur und äußeren Einflüssen wie Vibrationen oder Stößen. Das entwickelte System zeichnet sich durch eine beeindruckende Flexibilität, geringe Größe und geringes Gewicht aus. Es kann einfach um alle gängigen Stromkabel mit Abschirmung und Kabelverbindungen montiert werden. Auch der induktive Energie-Harvester ist flexibel ausgelegt. Ab einem Stromfluss von etwa 15 Ampere wird die Funkelektronik und Sensorik mit ausreichend Energie versorgt. Der Sensorknoten mit all seinen Komponenten ist für einen weiten Temperaturbereich von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+110^{\circ}\text{C}$  ausgelegt. Das System befindet sich derzeit in einem umfangreichen Feldtest in einer Schaltanlage im 22,9-kV-Verteilnetz.



37590816  
46070786  
54424330  
47065074

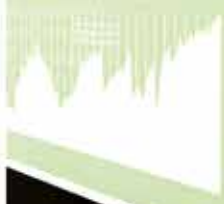


...

51868201450  
51130650055



...





---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

---

Das Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Health« bündelt abteilungsübergreifend die FuE-Aktivitäten mit medizinischem, biologischem und lebenswissenschaftlichem Hintergrund. Neben den humanen Gesundheitsaspekten betrachten wir auch die Tiergesundheit, Pflanzengesundheit und land- und forstwirtschaftliche Problemstellungen. Der Fokus unserer Entwicklungen liegt dabei auf den technischen bzw. technologischen Aspekten, insbesondere auf der Nutzung von Mikro- und Nanotechnologien für einen Einsatz im Dienste der Medizintechnik, Biotechnologie und Gesundheit. Die medizinische Expertise stellen wir dabei über die Einbeziehung von starken Partnern, Beratern und externen Experten inner- und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft sicher. Unsere Forschungsarbeiten untergliedern sich in drei Schwerpunkte: Technologien für Implantate, Technologien für Medizintechnik sowie Messtechnik und Analytik.

Im Bereich Implantate werden miniaturisierte Sensor- und Aktorsysteme sowie Technologien zu deren Integration entwickelt. Die wesentliche Motivation für implantierbare Sensoren und Aktoren liegt im Ersatz bzw. der Verbesserung menschlicher Sinne, aber auch der Unterstützung von körperlichen Funktionen von Gelenken bis hin zu Organen.

Zur Forschung an Medizingeräten gehören alle Arbeiten zu chirurgischen Werkzeugen sowie Sensoren und Aktoren, die der Patientenüberwachung dienen und nicht implantiert bzw. nur kurzzeitig, im Falle einer Operation, im Körper eingesetzt werden. Eine wesentliche Rolle für die FuE-Inhalte spielen biokompatible Materialien, insbesondere für den Schnittstellenbereich zwischen biologischem Gewebe und technischem Gerät, aber auch die Verwendung von MRT-verträglichen Materialien sowie die drahtlose Daten- und Energieübertragung.

Im Bereich Messtechnik/Analytik sind die Arbeiten zu Analyse- und Diagnostiksystemen zusammengefasst, welche durch mikrofluidische und/oder spektroskopische Komponenten gekennzeichnet sind. Ziel der Entwicklungen ist die Miniaturisierung und Automatisierung etablierter Analyseverfahren hin zu schnellen, portablen Systemen sowie die Entwicklung vollkommen neuer Systeme und Komponenten basierend auf Mikro- und Nanotechnologien.

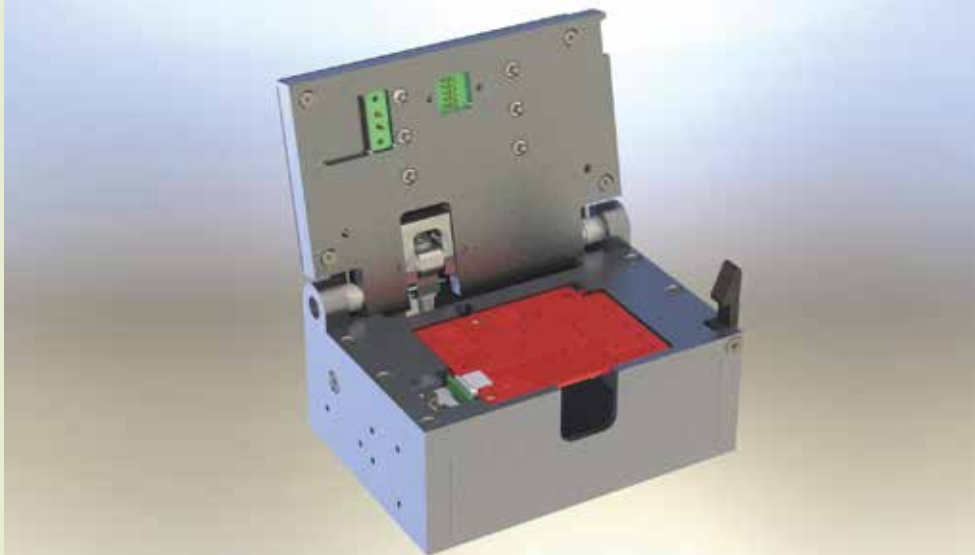
---

## GESCHÄFTSFELD-MANAGER

Dr. Mario Baum  
+49 371 45001-261  
mario.baum@enas.fraunhofer.de

# #WeKnowHow

## FRAUNHOFER VS. CORONA



*3D-Modell des Messadapters für die mikrofluidische Kartusche (rot) im Projekt CovMoTe.*



*Hyperspektrales Kamerasystem mit Vision-System-on-Chip-(VSoC)-Bildsensor und einem am Fraunhofer ENAS entwickelten abstimmbaren Fabry-Pérot-Filter. (Foto © Fraunhofer IIS/EAS)*

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- MESSTECHNIK UND ANALYTIK
- MEDIZINGERÄTE

---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

---

## FRAUNHOFER VERSUS CORONA

---

Das Jahr 2020 war geprägt durch viele Ausnahmesituationen, die durch die Covid-19-Pandemie entstanden sind. Neben den alltäglichen und persönlichen Einflüssen auf unser aller Leben, waren bestimmte Patientengruppen stark bis lebensbedrohlich gefährdet. Um hier schnell und wirkungsvoll helfen zu können, setzte die Fraunhofer-Gesellschaft ein kurzfristiges und schnelles Förderprogramm »Fraunhofer vs. Corona« auf, in dem die besten Ideen zur Bekämpfung der Auswirkungen der Pandemie in Form von Forschungsprojekten in allen Sektoren an den Instituten durchgeführt werden konnten. Hierfür stellte die Fraunhofer-Gesellschaft insgesamt mehr als 40 Mio. Euro bereit. Derzeit befindet sich das Programm in der zweiten Phase, in der strategische Projekte zur Pandemiebekämpfung und zur forschungspolitischen Positionierung der Fraunhofer-Gesellschaft im Vordergrund stehen. Die Wissenschaftler des Fraunhofer ENAS arbeiten in insgesamt drei Projekten und Kooperationsprojekten auf Basis wesentlicher Kernkompetenzen des Institutes mit:

### CovMoTe

Schnelltests wurden schnell als notwendiges Werkzeug zur Kontrolle der Ausbreitung des Virus identifiziert. Die teils unzuverlässigen Ergebnisse der ersten Antikörpertests zeigten jedoch, dass nicht nur schnelle, sondern auch verlässliche Tests notwendig sind. Dabei werden neben Antikörpertests zur Bestimmung überstandener Infektionen auch DNA-Tests für den Nachweis akuter Infektionen benötigt.

Im Projekt CovMoTe bündeln fünf Fraunhofer-Institute Ihre Kompetenzen zur Entwicklung eines neuartigen Schnelltests basierend auf isothermaler Amplifikation. Die neuartige Methode wird dabei sowohl für Labore, mobile Testcenter als auch als miniaturisierter Vororttest realisiert. Obwohl PCR immer noch als Gold-Standard für DNA-Nachweis gilt, bietet die isothermale Amplifikation vor allem für Vorort-Tests eine technisch einfachere und robustere Nachweismethode. Das Fraunhofer ENAS

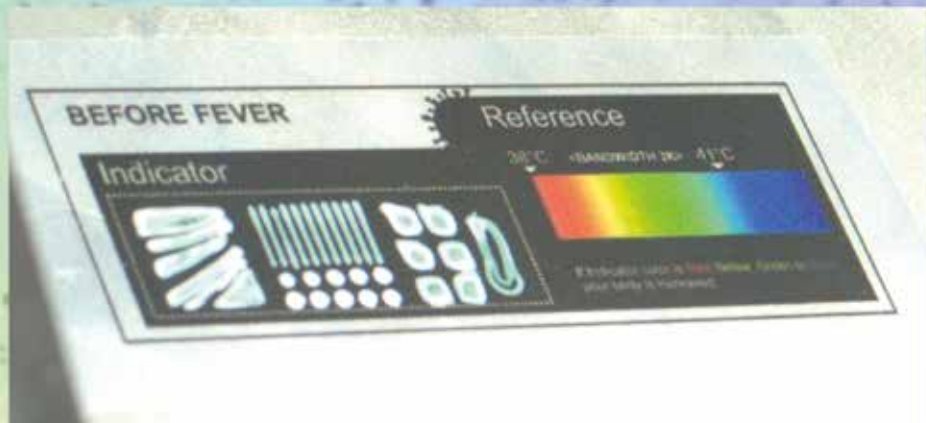
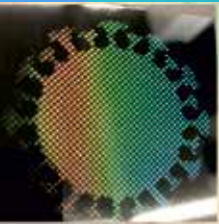
entwickelt hierfür eine mikrofluidische Plattform, um den Test im Checkkartenformat verfügbar zu machen. Die mikrofluidische Kartusche enthält neben patentierten Mikropumpen auch Ventile und Heizelemente für die isothermale Amplifikation. Die amplifizierte DNA wird dann auf einem elektrochemischen Biochip des Fraunhofer ISIT nachgewiesen. In der finalen Konfiguration wird das Messsystem neben dem molekularbiologischen Nachweis auch einen Antikörpertest durchführen können. Für einen nahtlosen Transfer der Entwicklungsergebnisse in marktreife Produkte sind bereits zwei mögliche Inverkehrbringer in das Projekt eingebunden.

### M<sup>3</sup>Infekt

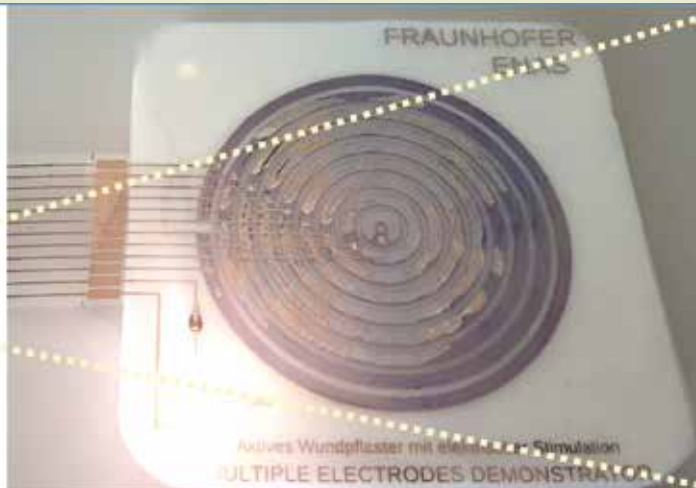
Das Kooperationsprojekt M<sup>3</sup>Infekt – Modulares, Multimodales, Mobiles Sensorsystem zur frühzeitigen Erkennung von Zustandsverschlechterungen bei Infektionskrankheiten am Beispiel von Covid-19-Patienten – bündelt Kompetenzen und Vorarbeiten von zehn Fraunhofer-Einrichtung sowie klinischer Partner und adressiert medizinische Lösungen in der Prävention, Diagnostik und Therapie von Infektionskrankheiten sowie die Lenkung der damit verbundenen Versorgungsprozesse. Bisher gibt es keine Lösungen zum Monitoring von infizierten Patienten außerhalb von Intensivtherapiestationen (ITS). Somit werden häufig auftretende akute Zustandsveränderungen bei zunächst milden Verläufen stark zeitverzögert erkannt und die betroffenen Covid-19-Patienten folglich zu spät hospitalisiert. Dies wirkt sich unmittelbar negativ auf die Verlaufsprognose der Erkrankung aus und verlängert in der Regel die erforderliche Therapie. Aufgabe von M<sup>3</sup>Infekt ist die Schließung dieser Versorgungslücke in der Betreuung von erkrankten Menschen durch die Entwicklung einer Lösung zur frühzeitigen Erkennung von Zustandsverschlechterungen bei Infektionskrankheiten auch außerhalb der ITS am Beispiel von Covid-19-Patienten. Die Lösungsidee von M<sup>3</sup>Infekt besteht in der Erfassung und Analyse der für die Erkennung akuter Zustandsverschlechterungen relevanten Biosignale mit einem Gesamtsystem.

# #WeKnowHow

## FRAUNHOFER VS. CORONA



Technologiedemonstrator zur Temperaturindikation bei Fieberpatienten durch Drucken von thermochromen Tinten auf hautverträgliche Substrate.



Technologiedemonstrator für ein elektrisch aktives Wundpflaster mit gedruckten Elektroden auf flexiblen Substraten.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- MESSTECHNIK UND ANALYTIK
- MEDIZINGERÄTE

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

Im Rahmen von M<sup>3</sup>Infekt entwickelt das Fraunhofer ENAS in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IIS/EAS einen bildgebenden Hyperspektralsensor für die berührungslose Detektion des Pulses und der Sauerstoffsättigung im Blut in Kombination mit einer Bewegungsanalyse und Lokalisation der untersuchten Person(en) in natürlichen Umgebungen. Vom Fraunhofer IIS/EAS wird dazu ein leistungsstarker sowie programmierbarer Bildsensor (Vision-System-on-Chip, VSoC) für den sichtbaren Bereich bereitgestellt und vom Fraunhofer ENAS ein abstimmbares Filter mit einer optischen Apertur von bis zu 9 mm entwickelt. Zur Umsetzung des hyperspektralen Bildsensors werden beide Komponenten über Interposer miteinander vereint. Das hyperspektrale Kamerasystem ist somit in der Lage, spektrale Merkmale anhand des Hautbilds von Personen/Patienten orts- und zeitaufgelöst zu bestimmen und anhand dieser, gekoppelt mit geeigneten Auswertelgorithmen, auf eine mögliche Zustandsverschlechterung zu schließen.

## beforeFever

Die Körpertemperatur ist ein wesentlicher Indikator für das Infektionsgeschehen und kann bereits 72 Stunden vor dem Auftreten des eigentlichen Fiebers (38,1 °C) als Indikator für den Krankheitsverlauf genutzt werden. Im Projekt beforeFever exploriert Fraunhofer ENAS Fertigungsstrategien für flexible und kostengünstige Wearables zur Temperaturmessung am menschlichen Körper, um eine Erstindikation bzw. eine Verlaufsverfolgung erkrankter Patienten zu ermöglichen. Durch den Einsatz und die Kombination konventioneller Drucktechnologien konnten flexible Polymerfolien mit grafischen Indikatoren und angepassten thermochromen Pigmenten mit Temperaturindikation ab 37 °C beschichtet werden. Durch den zukünftigen Einsatz neuartiger ultradünner und atmungsaktiver medizinischer Substratmaterialien soll die Tragedauer der Indikatoren auf bis zu 14 Tagen erweitert werden. Diese kostengünstige Messmethode eignet sich daher sehr gut für einen Einsatz auch in unterversorgten Regionen bzw. bei sehr hohen Patientenzahlen.

## PROJEKT APFEL

Die Heilung von Wunden ist ein uraltes Problem, das bis heute noch nicht komplett verstanden und gelöst ist. Bereits im Altertum wurden Wunden mit Alkohol gespült, verbunden und genäht. Bei akuten Wunden findet eine Heilung innerhalb von wenigen Tagen bis Wochen statt, je nach Größe der Verletzung. Von chronischen Wunden spricht man, wenn sich nach drei Monaten keine Heilungstendenzen zeigen oder die Wunde nach wie vor besteht und nicht abgeheilt ist<sup>1</sup>. Die Eigenschaft eines elektrischen Gradienten, Zellen in regenerativem Gewebe zu gerichtetem Wandern und Polarisation zu veranlassen, ist der Angriffspunkt für die im BMBF-Projekt APFEL<sup>2</sup> entwickelten Therapieformen, über ein »intelligentes elektronisches Pflaster« eine beschleunigte und verbesserte Wundheilung herbeizuführen. In Zusammenarbeit mit Partnern werden additive Verfahren für die Herstellung mehrlagiger flexibler elektronischer Systeme entwickelt und die Einzelkomponenten hinsichtlich der Biokompatibilität bewertet. Zur Darstellung der In-vitro-Wirkung wurde unter anderem ein Scratch-Assay als In-vitro-Wundheilungssassay eingesetzt und das beschleunigte Verschließen einer, in einen Zellrasen aus Keratinozyten (HaCaT-Zellen) eingebrachten Lücke (Scratch), nachgewiesen. Fraunhofer ENAS entwickelte angepasste Siebdruckverfahren für die Herstellung von leitfähigen und isolierenden Multilagenschichten auf flexiblen Substraten, elektrische Durchkontaktierungsvarianten für dünne Foliensubstrate und Aufbau- und Verbindungstechnologien für die hybride Integration von herkömmlichen elektronischen Bauelementen und entsprechende Steuerelektroniken für den Test der Demonstratoren. Ein präklinischer Test wird derzeit vorbereitet.

<sup>1</sup> Schiemann D, Deutsches Netzwerk für Qualitätsentwicklung in der Pflege. *Expertenstandard Pflege von Menschen mit chronischen Wunden*. DNQP; 2009.

<sup>2</sup> BMBF »KMUinnovativ: Medizintechnik«, Förderkennzeichen 13GW0106C.



---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

---

Das Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Production« adressiert Themen der Automatisierung und Digitalisierung in der Fertigung. Dabei stehen Technologien und Sensoren für die Produktionsüberwachung und die Individualisierung von Produkten im Fokus.

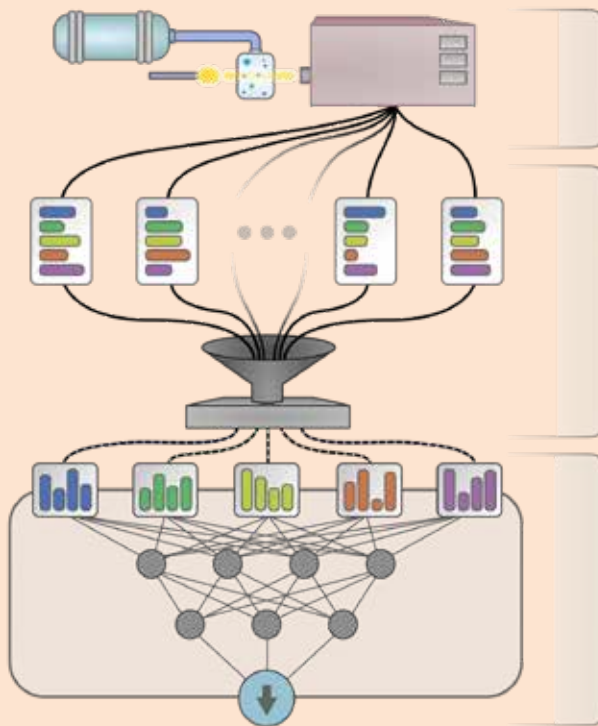
Die von uns entwickelten Sensoren für die Produktionsüberwachung basieren zum Beispiel auf optischer Spektralanalyse. Ein Vorteil unserer Technologien ist, dass sie leicht integriert und durch neuronale Netze hocheffizient ausgewertet werden können. Außerdem haben wir Sensorlösungen entwickelt, welche besonders anspruchsvollen Umgebungsbedingungen standhalten und selbst eine Signalübertragung durch Öle und Schlamm sicherstellen.

Wir arbeiten an und mit Technologien zur Individualisierung von Produkten innerhalb der Fertigung. Neben klassischen Robotik-gestützten werden auch kontinuierliche Fertigungssysteme eingesetzt. In einem Projekt kommt das Inkjet-Druckverfahren in einer Rolle-zu-Rolle Fertigungsanlage zum Einsatz, um scheckkartengroße Sensorsysteme aufzubauen. Diese sind in der Lage, Umgebungsbedingungen zu messen und diese drahtlos an mobile Endgeräte wie ein Smartphone oder Tablet zu senden. Zudem arbeiten wir an Lösungen, um zum einen die Herstellungs-Prozessstabilität gedruckter Systeme und zum anderen deren Zuverlässigkeit derart sicher zu stellen, dass diese anerkannten Standards und Normen genügen.

---

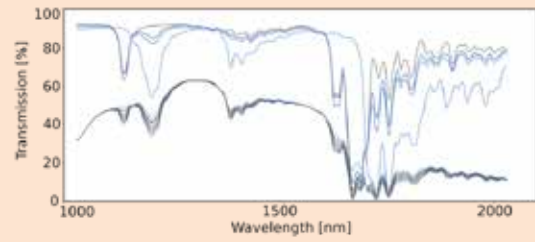
## GESCHÄFTSFELD-MANAGER

Dr. Ralf Zichner  
+49 371 45001-441  
ralf.zichner@enas.fraunhofer.de

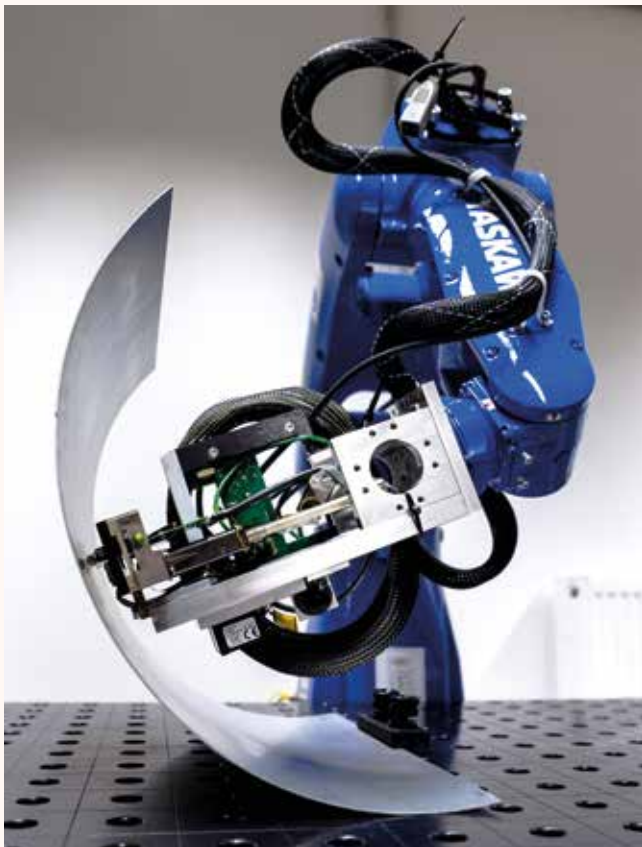
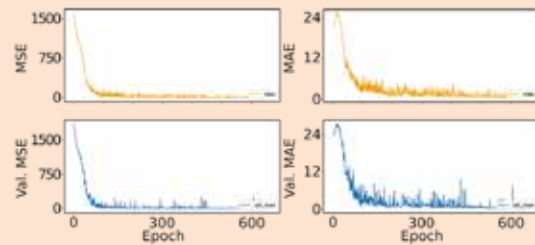


Probennahme und Messdatenerzeugung mittels Spektrometer.

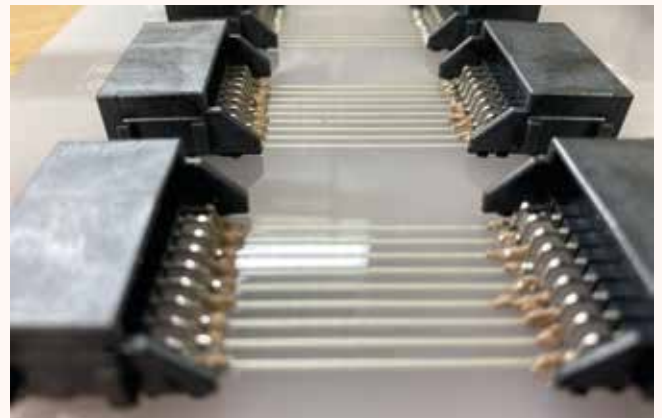
Aggregation und Bereitstellung der Spektraldaten.



Training von spezifischem neuronalen Netz und Auswertung.



Sechs-Achs-Robotersystem mit adaptierter digitaler Drucktechnologie zur Herstellung von u.a. Leiterbahnen auf dreidimensionale Oberflächen.



Gedruckte Leiterbahnen elektrisch und mechanisch kontaktiert an für KfZ zugelassenen Steckverbindern.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- SENSORSYSTEME FÜR PROZESS- UND ZUSTANDSMONITORING
- SMARTE DIGITALE PRODUKTION



---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

---

## INTEGRIERBARE SPEKTRALSENSORIK IN DER MULTIREAKTORTECHNOLOGIE – ERGEBNISINTERPRETATION MITTELS NEURALER NETZE

---

Multireaktorsysteme sind insbesondere in der Pharmaforschung und Katalyse fest etabliert. Sie zeichnen sich durch einen hohen Grad an Automatisierung und Parallelisierung aus und gewährleisten so eine hohe Effizienz. Die gezielte Manipulation der Prozesse bedarf allerdings genauerer Kenntnis der Konzentration der Reaktionsteilnehmer während des Reaktionsverlaufs. Hier stellt die NIR-Spektroskopie eine geeignete Methode dar. Im Rahmen eines FuE-Projekts wurde ein miniaturisiertes Spektrometermodul in die Systemarchitektur eines Multireaktorsystems integriert und für verschiedene Hydrierreaktionen qualifiziert. Zur Kalibration der gewonnenen Spektraldaten wurden u.a. Methoden des maschinellen Lernens und neuronaler Netze verwendet. Aktuelle Ansätze nutzen Brute-Force-Algorithmen zur Ermittlung der Faktorengewichtungen. Deshalb sind vorberechnete Modelle von Vorteil. Das Training erfolgte mittels gewonnener Messdaten, algorithmisch erzeugter Abweichungen und einem spezifischen, mehrlagigen neuronalen Netz. Die Eingangsdaten sind nach einmaliger Anpassung an das Datenformat fortan ohne weitere Vorverarbeitung nutzbar. Metadaten konnten in Einzelfällen den Messdaten zur Erhöhung der Genauigkeit zugewiesen werden. Die bei klassischen PLS-Verfahren für jeden Messdatensatz notwendigen individuellen Optimierungsvorgänge entfallen. Das heißt ein einmal trainiertes neuronales Netz kann auf die anfallenden Messdaten angewendet werden und liefert treffsichere Schätzer bezüglich vorher definierter Auswertungsziele - nahezu gleichwertig gegenüber den ebenfalls betrachteten PLS-Verfahren. Neue Messdaten können ein trainiertes Netz dynamisch anpassen, ohne die Rechenleistung eines kompletten Trainings abzurufen.

---

## »GO BEYOND 4.0«: ERHÖHUNG DER HERSTELLUNGSPROZESSSTABILITÄT UND ZUVERLÄSSIGKEIT GEDRUCKTER SYSTEME

---

Das Fraunhofer-Leitprojekt »Go Beyond 4.0« wurde nach vierjähriger Laufzeit am 30. November 2020 erfolgreich abgeschlossen. 2020 wurden dabei besonders innovative Forschungsergebnisse erzielt. Dazu zählte die Erhöhung der Prozessstabilität digitaler Druck- und Laserverfahren im Einsatz zur Stückzahl-1-Fertigung von individualisierten Produkten sowie die Erhöhung der Produkt-Zuverlässigkeit (Fokus: Temperaturwechselbeständigkeit) nach Industriestandards. Im Projektverbund mit den Fraunhofer-Instituten IFAM, ILT und IWU wurden u.a. neue Regelungskonzepte erprobt, um die Schwankungen der gedruckten und nachbehandelten Leiterbahnwiderstände auf unter 20 % zu reduzieren. Im Ergebnis konnte die Standardabweichung der Leiterbahnwiderstände während der Produktion in beeindruckender Art und Weise auf 1,1 % (Jet-Dispenser) respektive 4,5 % (Schnecken-Dispenser) reduziert werden.

Die Forschungen zur Erhöhung der Produktzuverlässigkeit im Jahr 2020 hatten zum Ziel, eine heterogene Integration digital gedruckter Aufbau- und Verbindungsstrukturen in klassische Elektronikumgebungen umzusetzen. Am Fraunhofer ENAS wurde zum Beispiel eine nach Automobil-Norm sichere elektrische und mechanische Klebeverbindung zwischen gedruckten Leiterbahnen und für Kfz zugelassenen Steckverbindern entwickelt. Die links abgebildeten Steckverbinder und gedruckten Leiterbahnen hielten einen Temperaturwechseltest von 1000 Zyklen (–40 °C zu +125 °C) stand und sind somit für eine Anwendung in Kraftfahrzeugen voll einsatzbereit.



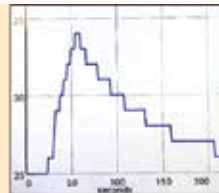
Der Wandler, montiert auf einer Leiterplatte, und das Gehäuse.



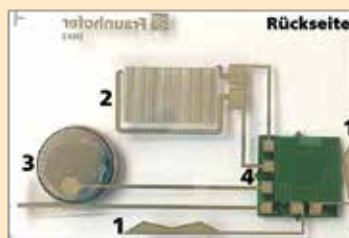
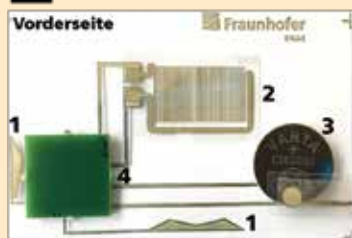
Rolle-zu-Rolle-Inkjet-Druck von Sensoren.

Drahtloser Sensorknoten mit gedruckter Antenne:

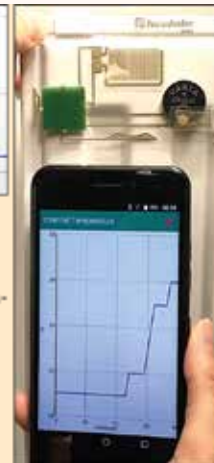
- 1) 2,45-GHz-Antenne
- 2) Temperatur-Sensor
- 3) Batterie
- 4) Bluetooth-Chip



1 cm



Lesereichweite:  
> 25 m



Aufbau und Funktionstest des entwickelten gedruckten und hybriden Sensorsystems.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- SENSORSYSTEME UND TECHNOLOGIEN FÜR PROZESS- UND ZUSTANDSMONITORING
- SMARTE DIGITALE PRODUKTION

---

# TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

---

## »EHARSH«: SENSORSYSTEME FÜR EXTREM RAUE UMGEBUNGEN, PROOF OF CONCEPT FÜR DIE CMUT-SIGNALLEISTUNG

---

Konventionelle piezoelektrische Wandler, die in akustischen Bohrloch-Televiewern verwendet werden, sind in der Regel mehrere Zentimeter groß, haben eine hohe akustische Impedanz und eine schmale Bandbreite und sind temperaturabhängig.

In rauen Umgebungen, wie z. B. bei geothermischen Erkundungen mit hohen Temperaturen, haben diese Wandler thermische Einschränkungen. Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojektes »eHarsh« untersucht das Fraunhofer ENAS die Machbarkeit des Einsatzes eines kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlers (CMUT), der aufgrund seiner Struktur bei hohen Temperaturen arbeiten kann und zur Bildgebung im Bohrloch eingesetzt wird.

Bei den in diesem Projekt getesteten Wandlern handelte es sich um einzelementige 2D-Arrays aus CMUT-Zellen, die am Fraunhofer ENAS mit einem Waferbond-Prozess hergestellt wurden. Zu Testzwecken wurde der Ultraschallwandler (3 x 3 mm groß) auf einer Leiterplatte montiert und in ein ölgefülltes Aluminiumgehäuse mit einem akustischen Fenster aus Teflon integriert.

Die Charakterisierungen wurden separat für Sende- und Empfangsleistung in Öl und in einem im Labor hergestellten Bohrschlamm (typischerweise eine Mischung aus Bentonit und Wasser) durchgeführt. Im Sendemodus wurde ein kalibriertes Hydrofon verwendet, um den Schalldruck zu messen, den der Wandler erzeugt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Wandler messbare Signale in Entfernungen von mehr als 5 cm liefern konnte, selbst wenn er in einem nachgebildeten Bohrschlamm eingetaucht war. Im Empfangsmodus wurde ein kalibrierter Schallwellensender (eine Piezo-Scheibe) eingesetzt und die Antwort des Aufnehmers wurde, verstärkt durch eine angepasste Empfangsschaltung,

aufgezeichnet. Die erzielten experimentellen Ergebnisse sind vielversprechend und deuten darauf hin, dass eine CMUT-basierte Messsonde optimal für den Einsatz in Bohrloch-Bildgebungsanwendungen ausgelegt werden kann.

---

## »DIGIMAN«: ENTWICKLUNG EINES R2R- GEDRUCKTEN UND HYBRIDEN SENSORSYSTEMS

---

Das Projektvorhaben »DigiMan« wurde nach zweijähriger Laufzeit am 30. November 2020 erfolgreich abgeschlossen. Mit den Projektpartnern Fraunhofer IKTS, C.P.C Solutions Ltd., Kerafol Keramische Folien GmbH & Co. KG, RIIT Ltd. OSTEC Group, PV Nano Cell Ltd., der Technischen Universität Chemnitz und der MEPhI wurde an der Entwicklung von Platin-Nanotinten sowie einer digitalen Herstellungskette für den additiven Digitaldruck von Umweltsensoren gearbeitet. Das Fraunhofer ENAS konzentrierte sich dabei auf die Entwicklung eines gedruckten und hybriden Sensorsystems zur Messung der Temperatur und zur drahtlosen Auswertung desselbigen durch handelsübliche Bluetooth-Systeme, wie z.B. Smartphones. Das Sensorsystem besteht aus gedruckten Leiterbahnen, einer gedruckten 2,45 GHz Antenne, einem gedruckten Temperatur-Sensor sowie einer kleinen Leiterplatte und einer Knopfzelle. Die gedruckten Komponenten wurden im Rolle-zu-Rolle-Inkjet-Druckverfahren hergestellt. Die Abbildung links zeigt einen Inkjet-Druckkopf, welcher auf eine PET-Folienbahn Sensorelemente in hoher Effizienz und mit großem Durchsatz herstellt.



76 PUBLIKATIONEN

4 DISSERTATIONEN

16 PATENTE

6 MESSEN UND  
AUSSTELLUNGEN

30 MITGLIEDSCHAFTEN

---

# HIGHLIGHTS

---

---

# DISSERTATIONEN

Im Jahr 2020 wurden in Summe sechs Promotionen abgeschlossen bzw. betreut. Die aufgeführten Promotionen stehen in direktem Zusammenhang mit den Arbeitsgebieten des Fraunhofer ENAS. Nur die beiden letztgenannten Promotionen betreffen aktuelle Mitarbeitende am Fraunhofer ENAS.

17. September 2020

Doktor: Apoorva Sharma  
Thema: Correlation Between the Structural, Optical, and Magnetic Properties of CoFeB and CoFeB Based Magnetic Tunnel Junctions Upon Laser or Over Annealing  
Institution: Technische Universität Chemnitz

24. September 2020

Doktor: Jana Tittmann-Otto  
Thema: Improvement of carbon nanotube-based field-effect transistors by cleaning and passivation  
Institution: Technische Universität Chemnitz

7. Oktober 2020

Doktor: Alexander Otto  
Thema: Lebensdauermodellierung diskreter Leistungselektronikbauelemente unter Berücksichtigung überlagerter Lastwechselfests  
Institution: Technische Universität Chemnitz

11. Dezember 2020

Doktor: Martin Möbius  
Thema: Nutzung der Photolumineszenz von Quantenpunkten für die Belastungsdetektion an Leichtbaumaterialien  
Institution: Technische Universität Chemnitz

---

# AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN

---

## Best Paper Awards auf Konferenzen / Best Innovation Award

---

Das EuroPAT-MASIP Team von Fraunhofer ENAS, Besi NL und Amkor wurde mit dem Outstanding Paper Award auf der ASME 2020 InterPACK Conference (27.–28. Oktober 2020) für das Paper »The Systematic study of Fan-Out Wafer Warpage Using Analytical, Numerical and Experimental Methods« ausgezeichnet. Der Fokus lag auf der Charakterisierung der Physik des Wafer Warpage. Dies stellt eine Herausforderung für viele Prozessschritte im Fan-out Wafer-Level Packaging (FoWLP) dar, einer Technologie die für die heterogene Systemintegration genutzt wird. Die neue Studie enthält Empfehlungen und praktische Anleitungen für die Verbesserung des Designs und die Optimierung des FoWLP Prozessflusses unter dem Aspekt steigender Ausbeute und Zuverlässigkeit.

Das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking hat das Projekt MAMA-MEA mit dem Best Innovation Award 2020 zur European Hydrogen Week ausgezeichnet. In diesem Projekt geht es um Massenproduktion von MEAs durch schnelle Druck- und Beschichtungsprozesse. Eine MEA (Membran-Elektroden-Einheit/Assembly) ist die Kernkomponente für die chemische Reaktion innerhalb von Niedertemperatur Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (PEM-BZ). Die Partner Informatics Energy Automation (INEA), Johnson Matthey Fuel Cells Ltd. (JMFC), Nedstack Fuel Cell Technology B.V. (NFCT), System S.p.A., TU Chemnitz (TUC), Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (UNIMORE) und Fraunhofer ENAS begannen 2018 damit, bestehende Druck- und Beschichtungstechnologien auf ihr Potenzial für die Massenfertigung von MEAs zu evaluieren.

---

## Forschungspreis des Fraunhofer ENAS

---

Das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS verlieh zum zehnten Mal seinen Forschungspreis. Auf der virtuellen Veranstaltung erhielt den Forschungspreis 2020 Dr.-Ing. Alexander Otto für seine Forschungsarbeiten an neuartigen Ansätzen zur Lebensdauermodellierung mit dem Fokus auf Leistungselektronik-Bauelemente. Ihm gelingt dabei der Übergang von rein belastungsbasierten Modellen hin zu beanspruchungs- und ausfalleffekt-basierten Ansätzen für die Lebensdauerprognose. Für praktische Anwendungen im industriellen Umfeld bedeutet dies künftig eine wesentliche Steigerung der Prognose-Genauigkeit. Leistungselektronik wird im Bereich erneuerbare Energien, Elektromobilität und Industrie 4.0 eingesetzt. Die Anforderungen an Zuverlässigkeitsbewertungen für die Leistungselektronik steigen dabei immer mehr, da die Bauteile und Funktionswerkstoffe komplexer werden, mehr Leistungsdichte und Funktionsintegration gefordert wird, die Elektronik unter rauerer Umgebungsbedingungen eingesetzt wird und die funktionale Sicherheit z.B. für autonomes Fahren gewährleistet werden muss.

---

# VERANSTALTUNGEN

---

## Nationale und internationale Konferenzen, Workshops und Seminare

---

Das Jahr 2020 war veranstaltungsmäßig stark durch die Coronapandemie geprägt. Aus diesem Grund fanden nur sehr wenige Präsenzveranstaltungen statt.

Im Januar 2020 sprach im Rahmen der Chemnitzer Industriegespräche der DPG am Fraunhofer ENAS Rüdiger Röhrig von Sustainable Growth Associates GmbH, Planegg über das Thema »Nachhaltigkeit und Technologiebeschleunigung – wie man die Killerwellen surft«. Alle weiteren Veranstaltungen konnten nicht, wie geplant in Präsenz durchgeführt werden.

Nach einigen Anfangsschwierigkeiten im digitalen Bereich fokussierten wir gemeinsam mit der Zentralverwaltung der Fraunhofer-Gesellschaft auf den virtuellen Tag der Zukunftstechnologie am 2. September 2020. Im Mittelpunkt stand das Leitprojekt »Go-Beyond 4.0« mit seinen Ergebnissen. Es ging darum, wie innovative digitale Druck- und Laserverfahren die Serienfertigung individualisieren.

Nachdem auch viele Messen von Präsenz auf virtuell umschwenkten bzw. ausfielen, präsentierte sich das Konsortium des Leitprojekts »Go Beyond 4.0« auch auf dem neuen virtuellen Format der Fraunhofer-Gesellschaft – den Fraunhofer Solution Days.

Eine eigene virtuelle Veranstaltung des Fraunhofer ENAS fand Mitte Dezember 2020 direkt im Anschluss an die Forschungspreisverleihung des Fraunhofer ENAS statt. So lud am 17. Dezember 2020 die Institutsleitung zu einer Podiumsdiskussion unter dem Thema »Mehrwert generieren sowohl für Industrie als auch Forschung unter dem bestehenden Innovationsdruck« ein. Neben dem Institutsleiter des Fraunhofer ENAS, Prof. Dr. Harald Kuhn, und dem Moderator Prof. Stefan Schulz nahmen Dr. Oliver Pyper (Director Research Development Innovation Programs bei Infineon Technologies Dresden GmbH & Co. KG), Dr. Steffen Heinz (Geschäftsführer der EDC Electronic Design Chemnitz GmbH), Barbara Meyer (Abteilungsleitung Industrie, Mittelstand und Innovation, Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr), Prof. Dr. Uwe Götze (Prorektor für Transfer und Weiterbildung der TU Chemnitz), Dr. Christiane Le Tiec (CTO der Business Unit Plasma & Reactive Gas Solution von MKS Instruments Deutschland GmbH) und Dr. Stefan Leidich (Senior Manager Microsensorsystems der Robert Bosch GmbH) teil. Dieses neue Format wurde sehr gut von den Partnern und Kunden des Fraunhofer ENAS angenommen.





---

## Wissenschaft trifft Kunst

---

Auch unsere langjährige Ausstellungsreihe »Wissenschaft trifft Kunst« musste 2020 unter den Corona-Einschränkungen neue Wege einschlagen.

Die 20. Ausstellung unter dem Titel »QUO VADIS«, die von der Chemnitzer Künstlerin Dagmar Ranft-Schinke im Institut gezeigt wurde, konnten wir Dank der Künstlerin noch bis Ende Mai 2020 in unseren Räumen behalten. Im Februar begrüßten wir gemeinsam Dagmar Ranft-Schinke Gäste zum Künstlergespräch und zu einer Führung mit Studierenden. »Wissenschaft und Kunst haben zwei Ausgangspunkte: das sind Neugier und Phantasie.«, so Ranft-Schinke im Künstlergespräch. In ihren Bildern setzt sich die Künstlerin mit dem Einfluss und der Auswirkung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf Mensch und Natur auseinander.

Im 2. Halbjahr holten wir dieses Mal keine weitere Ausstellung in unsere Institutsräume, sondern arbeiteten mit der Chemnitzer Fotografin Ines Escherich an einer Fotoausstellung. »NATUR – MENSCH – TECHNIK 2021« vereint meditative Naturaufnahmen mit Portraits aus dem Fotoprojekt »Engagement zeigt Gesicht«, das die Fotografin seit fast 20 Jahren für die Initiative »Verbundnetz der Wärme« begleitet. Für die wissenschaftlich-technischen Fotografien öffneten wir unsere Labore und ließen Ines Escherich mit ihrem ganz eigenem gestalterischen Blick die Forschungsthemen am Fraunhofer ENAS abbilden. Herausgekommen ist eine Fotoausstellung, die nun nicht nur in unserem Institut sondern auch online unter [www.enas.fraunhofer.de/fotoausstellung](http://www.enas.fraunhofer.de/fotoausstellung) zu erleben ist.

---

## Chemnitzer Firmenlauf

---

2020 wurde der Chemnitzer Firmenlauf zum Selbstläufer-Event. Alle gemeldeten Läuferinnen und Läufer waren im September aufgerufen, die Strecke von fünf Kilometern allein auf ihren gewohnten Laufstrecken zu Hause oder mit Abstand im Team zu absolvieren. Die Ergebnisse trug jeder selbst online beim WIC Firmenlauf Chemnitz ein. Eine Gruppe von Mitarbeitenden des Fraunhofer ENAS und des Zentrums für Mikrotechnologien trafen sich zu einem gemeinsamen Laufabend im Chemnitzer Kuchwald.

Der schnellste Läufer in unserem Team war Patrick Schwarz. Er belegte Platz 75 in der Gesamtwertung der Männer. Bei den Frauen lief Doreen Jäger allen davon und belegte Platz 27 in der Gesamtwertung aller Läuferinnen.

Vielen Dank an alle 22 Läuferinnen und Läufer, die auch unter etwas ungewöhnlichen Bedingungen in diesem Jahr teilgenommen haben!

*1 Dagmar Ranft-Schinke zeigte im Februar 2020 bei der Führung im Rahmen des Künstlergesprächs zur Ausstellungsreihe »Wissenschaft trifft Kunst« am Fraunhofer ENAS ihre Arbeit »Ich, der Roboter«.*

*[www.enas.fraunhofer.de/wissenschafttrifftkunst](http://www.enas.fraunhofer.de/wissenschafttrifftkunst)*

*2 Die Läuferinnen und Läufer am Fraunhofer ENAS und dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz mussten 2020 auf den Chemnitzer Firmenlauf als Großevent verzichten. Allerdings liefen sie allein oder als Gruppe mit ausreichend Abstand – und als EIN Team.*

# MITGLIEDSCHAFTEN

## Mitgliedschaften des Fraunhofer ENAS

AGENT-3D e.V.	Dresden
ALPIN – Atomic Layer Processing Innovation Network	Dresden
biosaxony e.V.	Dresden
Cool Silicon e.V.	Dresden
DECHEMA	Frankfurt/Main
Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik	Dresden
Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und Wissenschaft e.V.	Dresden
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS)	Dresden
Eureka Cluster Metallurgy Europe	Ulm
European Center for Micro and Nanoreliability EUCEMAN	Berlin
European Platform on Smart Systems Integration EPoSS	Berlin
FED Fachverband für Design, Leiterplatten- & Elektronikfertigung	Berlin
Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion	Deutschland
Fraunhofer Nanotechnologie FNT	Deutschland
Fraunhofer Textil	Deutschland
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik	Deutschland
Fraunhofer-Cluster 3D-Integration	Dresden und Chemnitz
Hzwo e.V.	Chemnitz
Industrieverein Sachsen 1828 e.V.	Chemnitz
InnoZent OWL e.V.	Paderborn
it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe e.V.	Bielefeld
IVAM Fachverband für Mikrotechnik e.V.	Dortmund
Micromachine Center	Tokio, Japan
Organic Electronics Association OE-A	Frankfurt/Main
Organic Electronics Saxony e.V. OES	Dresden
Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI)	San José, USA
Silicon Saxony e.V.	Dresden
VEMAS innovativ	Chemnitz

## Partner in ZIM-Netzwerken

ZIM-Kooperationsnetzwerk 3D-Elektronik	Darmstadt
ZIM-Netzwerk Skalierung von Fügetechnologien in Produktionsprozessen für mikro- und makroskopische Anwendungen SCALE	Chemnitz
ZIM-Netzwerk Umwelttechnologien und Bodenrekultivierung UtBr	Berlin

---

# PUBLIKATIONEN UND PATENTE

---

## Publikationen

---

Die Forschenden des Fraunhofer ENAS veröffentlichten 2020 ihre Ergebnisse in 76 Artikeln, Büchern inkl. Buchkapitel und Tagungsbänden.

Sie finden alle publizierten Inhalte in der Datenbank von Fraunhofer publica, die alle Veröffentlichungen und Patente der Fraunhofer-Institute enthält:

[publica.fraunhofer.de/starweb/pub09/newPub.htm](https://publica.fraunhofer.de/starweb/pub09/newPub.htm)

Außerdem sind alle Publikationen auch auf der Webseite unseres Kooperationspartners, des Zentrums für Mikrotechnologien der TU Chemnitz, gelistet:

[www.zfm.tu-chemnitz.de/publications/index.php.en](http://www.zfm.tu-chemnitz.de/publications/index.php.en)

Elektronische Dokumente können über Fraunhofer publica heruntergeladen werden.

*Publikationen:*

*Dr. Bianca Milde*

*Telefon: +49 371 45001-456*

*E-Mail: bianca.milde@enas.*

*fraunhofer.de*

---

## Patente

---

Im Jahr 2020 wurden 16 Patente von Wissenschaftlern des Fraunhofer ENAS angemeldet, veröffentlicht und/oder erteilt. Mitarbeitende des Fraunhofer ENAS sind in Summe an 203 Patentanmeldungen, offengelegten und erteilten Patenten beteiligt, die zu insgesamt 66 Patentfamilien gehören.

*Patente:*

*Dr. Andreas Bertz*

*Telefon: +49 371 45001-402*

*E-Mail: andreas.bertz@enas.*

*fraunhofer.de*



---

# IMPRESSUM

## **Herausgeber**

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

Telefon: +49 371 45001-0

Fax: +49 371 45001-101

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

Internet: [www.enas.fraunhofer.de](http://www.enas.fraunhofer.de)

Institutsleitung: Prof. Dr. Harald Kuhn

## **Redaktion**

Dr. Martina Vogel

Dr. Bianca Milde

## **Layout**

Andrea Messig-Wetzel

## **Fotos**

Fraunhofer ENAS

Alle weiteren Quellenangaben sind direkt auf den Fotos gekennzeichnet.

Fraunhofer ENAS ist Teil der



**Forschungsfabrik  
Mikroelektronik**  
Deutschland

---

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

[www.enas.fraunhofer.de](http://www.enas.fraunhofer.de)

