



**JAHRESBERICHT**  
**2020**

Fraunhofer EMFT

# Jahresbericht 2020



---

## VORWORT

---

Liebe Freunde und Partnerinnen der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT, sehr geehrte Damen und Herren,

2020 war für uns alle ohne Zweifel ein herausforderndes Jahr. Doch wenn ich auf die vergangenen Monate zurückblicke, steht für mich etwas sehr Positives im Vordergrund: Es hat mich beeindruckt, wie flexibel, pragmatisch und auch kreativ unsere Mitarbeitenden auf die Pandemiesituation reagiert haben. Für mich ist das eine Bestätigung, dass wir über die Qualitäten verfügen, die auch für Forschung und Innovation essentiell sind: Über den Tellerrand zu schauen, Lösungen jenseits des Altbewährten zu suchen und auch in herausfordernden Lagen nicht die Motivation zu verlieren.

Auch im vergangenen Jahr haben wir unsere strategischen Ausrichtung weiter geschärft: Themen wie das autonome Fahren, die vollautomatisierte Produktion und individualisierte Telemedizin sind heute dank der Digitalisierung keine Zukunftsmusik mehr. Dies bedeutet aber auch, dass wir vernetzten Systemen nicht nur äußerst sensible Daten anvertrauen, sondern – wie im Falle des autonomen Fahrens – sogar unsere körperliche Unversehrtheit. Dazu sind wir verständlicherweise nur bereit, wenn die Elektronik absolut sicher und zuverlässig ist: eben vertrauenswürdig. Viele assoziieren das Thema Trusted Electronics vor allem mit Software-Lösungen, doch für die Fraunhofer EMFT steht die Hardwareebene im Fokus. Im Fraunhofer-Projekt TRAICT arbeiten unsere Forscherinnen und Forscher beispielsweise daran, eingekaufte Sicherheitsbausteine der höchsten Klassifizierung zu analysieren und Hardware-Trojaner zu identifizieren. Mehr Infos zum Projekt finden Sie auf Seite 35.

Weitere Aktivitäten drehen sich um Manipulationsschutz von Baugruppen und ganzen Geräten durch Schutzfolien sowie die Eigenentwicklung kritischer Chips.

Ein weiteres Thema wird in ein paar Jahren wohl aus keinem Innovationsbereich mehr wegzudenken sein: nachhaltige und ressourcenschonende Technologien gewinnen signifikant an Bedeutung. Dabei ist die Sensorforschung mitten im Geschehen. Zum einen müssen Sensoren selbst energieeffizient oder bestenfalls sogar energieautark arbeiten. Zum anderen trägt der Einsatz von Sensoren zu mehr Nachhaltigkeit bei: Sensoren helfen zum Beispiel durch vernetztes Monitoring, Produktionsprozesse energieeffizienter zu machen. Nicht zuletzt müssen mikroelektronische Komponenten selbst „grüner“ werden – etwa durch umweltfreundliche Produktionsprozesse und Materialien. Das Potenzial ist groß, damit eine wichtige Stellschraube in Richtung Nachhaltigkeit zu drehen.

Ich lade Sie nun ein, das Jahr 2020 an der Fraunhofer EMFT Revue passieren zu lassen und wünsche Ihnen eine spannende und inspirierende Lektüre. Wie immer freue ich mich über Ihre Anregungen und Ihr Feedback!

Herzliche Grüße,

*Prof. Dr. Christoph Kutter*  
*Direktor der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT*

<b>Fraunhofer EMFT</b>	<b>8</b>		
Menschen, Zahlen und Fakten	10		
<b>Kompetenzen, Anwendungen und Projektbeispiele</b>	<b>12</b>		
Sensordösungen	15		
Mikropumpen	27		
Sichere Elektronik	33		
Mikro- und Nanotechnologien	39		
<b>Dienstleistungs- und Technologieangebot</b>	<b>47</b>		
Fraunhofer EMFT Dienstleistungsangebot	48		
Fraunhofer EMFT Technologieangebot	49		
<b>Zentrum für Verbindungstechnik in der Elektronik ZVE</b>	<b>52</b>		
<b>Netzwerk</b>	<b>56</b>		
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)	58		
LZSIS – Leistungszentrum »Sichere intelligente Systeme«	59		
Universitäten	60		
		<b>Nachwuchsförderung</b>	<b>63</b>
		Interview: »Lernbereitschaft als Erfolgsfaktor«	64
		Karriere an der Fraunhofer EMFT	66
		<b>Wissenschaftliche Aktivitäten</b>	<b>70</b>
		Veröffentlichungen, Vorträge und Auszeichnungen	72
		Bachelorarbeiten	78
		Masterarbeiten	79
		Promotionen	81
		Patente	82
		<b>Kontakt</b>	<b>84</b>
		Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT	86
		Zentrum für Verbindungstechnik in der Elektronik ZVE	88
		<b>Impressum</b>	<b>89</b>

FRAUNHOFER EMFT



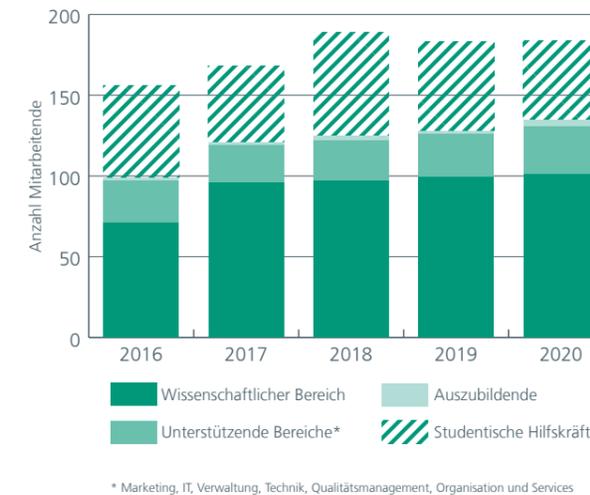
Fraunhofer EMFT Mitarbeitende im Sommer 2019

## MENSCHEN, ZAHLEN UND FAKTEN

Bulgarien  
China  
Deutschland  
El Salvador  
Finnland  
Griechenland  
Indien  
Israel  
Italien  
Kanada

Kasachstan  
Kolumbien  
Marokko  
Niederlande  
Österreich  
Rumänien  
Russland  
Slowenien  
Tschechien  
Türkei  
Vietnam  
Weißrussland

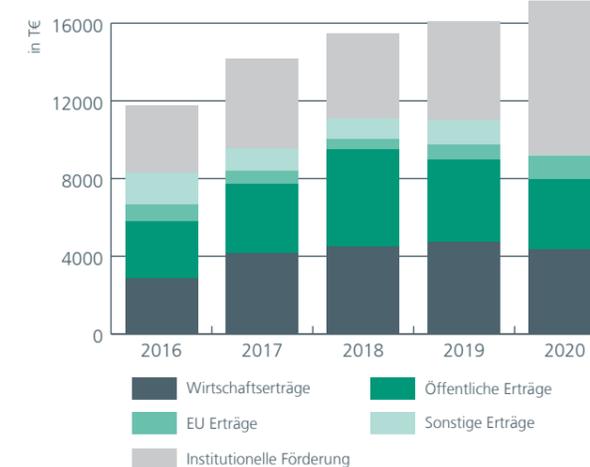
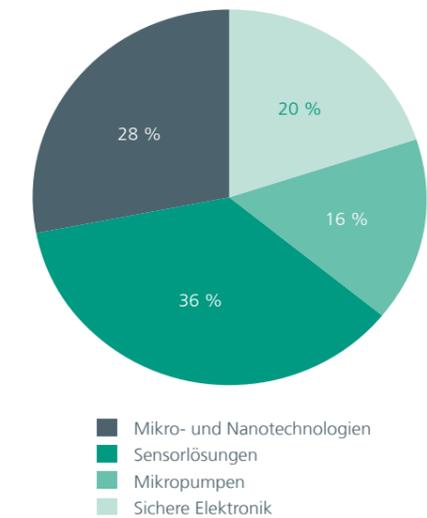
Wir, die Fraunhofer EMFT, stehen für großartiges Wissen aus aller Welt: Unser Team stammt aus insgesamt 22 verschiedenen Ländern. Gemeinsam treiben wir die Forschung und Entwicklung von Sensorsystemen und Aktoren für Mensch und Umwelt voran. Dabei stellt gerade unser multikultureller Hintergrund einen entscheidenden Vorteil dar. Denn er ermöglicht es uns, wissenschaftliche Fragestellungen aus den unterschiedlichsten Perspektiven zu betrachten. Dementsprechend nutzen wir die Chance, uns gegenseitig in unserer Denkweise und unseren Problemlösungsstrategien zu inspirieren.



Im Vergleich zum Vorjahr wuchs die feste Besetzung an der Einrichtung im Jahr 2020 um sieben Personen und bestand zum Jahresende aus insgesamt 135 Personen: Davon sind 101 Personen im wissenschaftlichen und 30 weitere Personen in den unterstützenden Bereichen tätig. Letztere setzen sich aus Marketing, IT, Verwaltung, Technik, Qualitätsmanagement, Organisation und Services zusammen. Darüber hinaus wird das Fraunhofer-EMFT-Team von fünf Auszubildenden ergänzt.

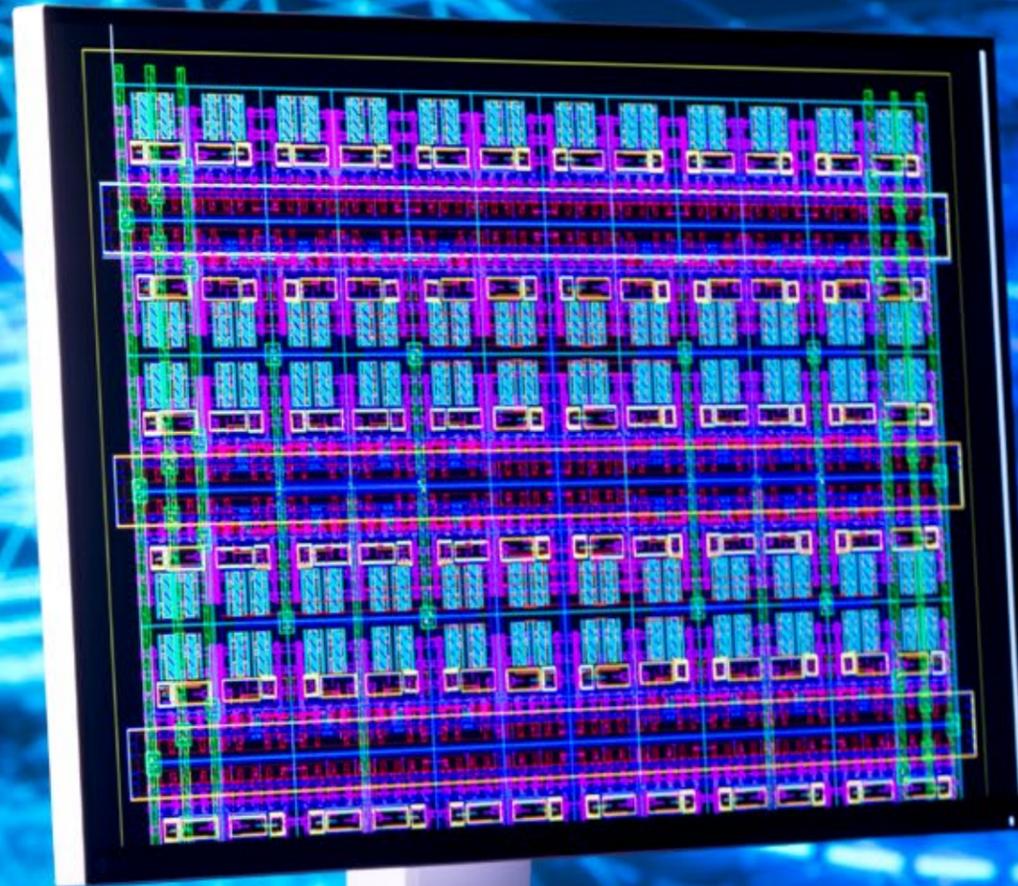
Über das ganze Jahr hinweg waren zusätzlich 49 studentische Hilfskräfte aus den verschiedensten Institutionen an der Einrichtung tätig. Im Zuge dessen erstellten sie ihre Abschlussarbeit und/oder arbeiteten im Rahmen der Fraunhofer-EMFT-Forschungsthemen mit.

Im Jahr 2020 konnte das Team der Fraunhofer EMFT mit insgesamt 103 Projekten seinen Beitrag zur Bewältigung der aktuellen Herausforderungen unserer Gesellschaft leisten. Mit 28 % kann fast ein Drittel der Projekte dem Kompetenzfeld Mikro- und Nanotechnologien zugeordnet werden. Dieses bildet wiederum die Basis für die Kompetenzen Sensorlösungen, Mikropumpen und sichere Elektronik. Gerade das interdisziplinäre Zusammenspiel dieser Kompetenzen hilft uns zukunftsweisende Lösungen für Mensch und Umwelt hervorbringen.



Der Gesamthaushalt der Fraunhofer EMFT betrug 2020 rund 17,3 Mio. Euro. Dabei generierten die Industrieaufträge ein Gesamtvolumen von ca. 4,4 Mio. Euro. In Bezug auf den Betriebshaushalt entspricht das einem Anteil von 26,6 %.

KOMPETENZEN, ANWENDUNGEN  
UND PROJEKTBEISPIELE



---

## SENSORLÖSUNGEN

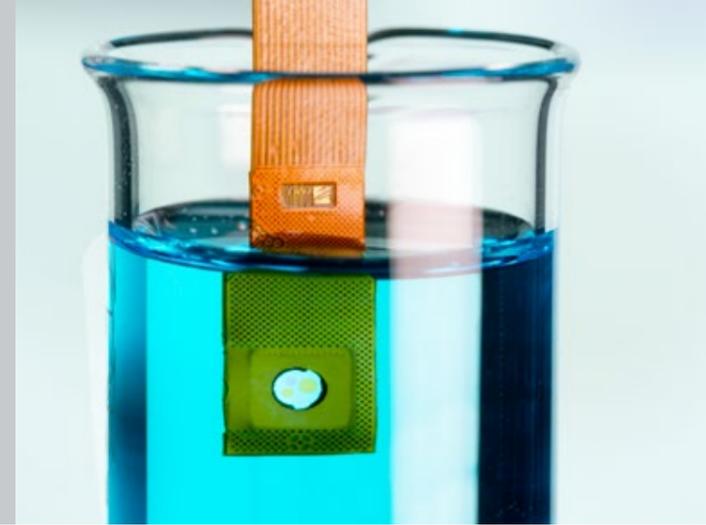
---

Als »Sinnesorgane von Dingen« spielen Sensoren eine Schlüsselrolle für zukünftige Anwendungen im Bereich Internet of Things (IoT). Doch so vielseitig die Einsatzmöglichkeiten, so komplex und gleichzeitig spezifisch sind oft die Anforderungen, die unterschiedliche Anwendungsfälle an die kleinen elektronischen Helfer stellen. Marktübliche Standardlösungen können diese breite Palette an Bedürfnissen in vielen Fällen nicht mehr abdecken.

Ein Forschungsschwerpunkt der Fraunhofer EMFT sind Sensorlösungen, die individuell auf die Bedürfnisse und Anforderungen unserer Kundinnen und Kunden maßgeschneidert werden. Mit ihrem breiten technologischen Know-how entwickeln die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Fraunhofer EMFT neuartige, leistungsstarke Sensoren, konzipieren robuste, sichere und schnelle Sensornetze und schaffen Systemlösungen, die ein perfektes Zusammenspiel der Sensorik mit ihrer Umgebung ermöglichen. Dabei werden Eigenentwicklungen auch mit bereits bestehenden Lösungen kombiniert.

F&E-Schwerpunkte der Fraunhofer EMFT sind:

- Energieeffiziente Sensoren
- Sensorik auf flexiblen Substraten
- Strömungssensorik
- Chemische Sensorik/Gassensorik
- Biosensorik
- Zellbasierte Sensorik
- Charakterisierung und Validierung
- Kombi-Sensorsysteme



*Hermetisch abgedichteter CMOS ionensensitiver Feldeffekttransistor (ISFET) in einem hybriden Folienpackage zum Einsatz als pH oder Ionensensor*

## PROJEKTBEISPIELE UND ANWENDUNGEN

### Innovative Sensorik zur Überwachung des Herzens

Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind nach wie vor die Haupttodesursache in Europa – und jedes Jahr gibt es innerhalb der EU mehr als 6 Millionen Neuerkrankungen. Zuverlässige Monitoringsysteme, welche intermittierende Anomalien erfassen und kritische Herzverhaltensweisen erkennen, wären ein wirksames Mittel gegen den gefürchteten plötzlichen Herztod.

Ziel des EU-Projekts SmartVista (Smart Autonomous Multi Modal Sensors for Vital Signs Monitoring) ist die Entwicklung und Demonstration einer kostengünstigen, intelligenten multi-modalen Sensorplattform der nächsten Generation, um die Häufigkeit des plötzlichen Todes durch Herz-Kreislauferkrankungen zu reduzieren. Die Schlüsselinnovationen in SmartVista sind die Integration von auf 1D/2D-Nanomaterialien basierenden Sensoren zur Überwachung des Herzens, thermoelektrischen Energy Harvestern zur Gewinnung von Energie aus der Temperatur des Körpers, um das System zu betreiben, und druckbaren Batteriesystemen zur Speicherung dieser Energie. Zusammen werden diese zu einem selbstversorgenden Gerät führen, das den Elektrokardiographen, den Atemfluss, den Sauerstofffluss, Stressindikatoren im Schweiß und die Temperatur des Patienten autonom überwacht. Diese Informationen werden dann drahtlos zur Online-Gesundheitsverarbeitung übertragen. Damit ist eine durchgehende Aufzeichnung von Vitalparametern über 24 Stunden oder mehr möglich, ohne dass der Patient durch störende Kabel in seiner Bewegungsfreiheit behindert wird.

Der Beitrag der EMFT ist die heterogene Systemintegration der verschiedenen Komponenten auf dünnen, flexiblen Folien und die Entwicklung eines 2D Sensors in Nanotechnologie zur chemischen Analyse von Komponenten in menschlichem Schweiß.

Das Projekt wird im Rahmen des Programms Horizon 2020 unter dem Förderkennzeichen 825114 gefördert.

ProjektpartnerInnen: Tyndall National Institute, University College Cork, National Centre for Scientific Research (CNRS), Novosense AB, Analog Devices

### Biosensoren detektieren Pflanzenviren

Pflanzenviren verursachen jährlich wirtschaftliche Verluste von mehreren Milliarden US-Dollar. Die oftmals unspezifischen Symptome einer Virusinfektion und die große Variabilität der Genome von Pflanzenviren machen zuverlässige Diagnosen zu einer Herausforderung. Im Falle einer Infektion ist zudem ein schnelles Handeln gefragt, um eine Ausbreitung zu verhindern. Entsprechende Analysen, etwa ein einstufiger gleichzeitiger Nachweis verschiedener Viren in einer infizierten Pflanze, sind jedoch mit handelsüblichen Diagnosekits immer noch schwierig, wenn nicht gar unmöglich.

Im Fraunhofer-internen Projekt BioPat arbeiten Forschende der Fraunhofer EMFT gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME sowie dem Fraunhofer Center for Systems Biotechnology CSB an der Entwicklung von hochspezifischen und robusten In-field-Sensorbauelementen zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten.

Mit Hilfe der neuartigen Biosensoren will das Team eine einfache, schnelle und gleichzeitige Detektion sowie Differenzierung eines breiten Spektrums viraler Genome in einem frühen Stadium der Infektion ermöglichen. Im Rahmen von BioPat werden sich die Arbeiten auf die Analyse von Viren konzentrieren, die für die wichtigsten Nutzpflanzen in Chile und Deutschland – Weinrebe und Kartoffel – am relevantesten sind.

Sobald die neuartige Generation von Biosensoren etabliert ist, kann sie auch schnell an andere analytische Anforderungen angepasst werden. Dadurch eröffnet sich ein breites Anwendungsspektrum, von der Humanpathogendetektion über die Lebensmittelanalyse bis hin zur markergestützten Züchtung.

Das Vorhaben wird direkt vom Fraunhofer-Vorstand unterstützt und gefördert.

ProjektpartnerInnen: Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME, Fraunhofer Center for Systems Biotechnology CSB.

### Stromsparende Chips für neuromorphes Computing

Neuromorphes Computing gilt als Schlüsseltechnologie für künftige KI-Anwendungen. Als Vorbild dient das ausgeklügelte Nervennetz unseres menschlichen Gehirns. Eine zentrale Herausforderung für die Forschung ist dabei der sehr hohe Energieverbrauch der



Fluoreszenzindikatoren in Lösung

Chips für die erforderlichen komplexen Rechenleistungen. Im Rahmen des ECSEL-Projekts TEMPO (Technologie & Hardware für Neuromorphic Computing) arbeitet das deutsche Konsortium mit Beteiligung der Fraunhofer EMFT an der Entwicklung und Evaluierung stromsparender Neuromorphic Computing Chips im 22nm FDSOI-Technologieknoten. Die Forschenden setzen dabei neue integrierte Speichertechnologien in innovativen Konzepten für die Realisierung analoger und digitaler neuromorpher Schaltungen ein. Die Speicher- und Chipentwicklung wird hierbei durch alle Verwertungsebenen von der angewandten Forschung über die IP-Generierung bis hin zu integrierten Systemen getrieben. Die im Projekt entworfenen und gefertigten Chips sollen sowohl für Klassifikationsaufgabestellungen in Bilderkennungssystemen z.B. für das autonome Fahren, als auch für die Verarbeitung weiterer Sensordaten z.B. von Radarsystemen Einsatz finden.

Im Rahmen des Projektes werden sich die Beiträge der Fraunhofer EMFT auf die Entwicklung von Schlüssel-IPs für die analoge und Mixed-Signal Signalverarbeitung für neuromorphe Strukturen fokussieren. Ziel ist es, für bestehende mobile und portable Sensorsysteme eine Signalverarbeitung zu entwickeln, die eine Reduzierung der Leistungsaufnahme um einige Größenordnungen ermöglicht.

Das Projekt wird unter dem Förderkennzeichen 826655 im Rahmen des ECSEL-Initiative durch die EU und mit dem Förderkennzeichen 16ESE0407 durch das BMBF gefördert.

---

### Integrierte optische Gassensoren für VOCs

---

Das Verbundprojekt »Integrated-optical detection of volatile organic compounds using functional polymer coatings (COLODOR)«, unter der Koordination der Austrian Institute of Technology GmbH AIT, adressiert den Bedarf an kompakten Messsystemen für sogenannte »flüchtige organische Verbindungen« (VOCs). Erreicht werden soll dies durch die Erforschung eines neuartigen optischen Multi-Parameter-Gassensorkonzepts unter Verwendung indikatorfarbstoffdotierter Polymere.

Der quantitative Nachweis solcher Verbindungen ist für eine breite Anwendungspalette von großer Wichtigkeit. Eine besonders große Rolle spielen VOCs im Bereich der Lebensmittelindustrie. Eine Detektion von VOCs während der Zubereitung von Nahrung in Verbindung mit einer entsprechenden Optimierung der Koch- und Garprozesse kann dazu beitragen, das Entstehen toxischer organischer Produkte zu vermeiden und generell den Fettgehalt im Essen zu reduzieren. Die im Projekt zu realisierenden VOC-Messsysteme sollen zu

diesem Zweck in Geräte zur Nahrungszubereitung für Endverbraucherinnen und -verbraucher integriert werden.

Das vorgeschlagene COLODOR Konzept ermöglicht neben der hoch integrierten Bauform den Betrieb bei Raumtemperatur mit niedrigem Stromverbrauch und stellt damit die Kompatibilität zu kostengünstigen Massenfertigungstechnologien sicher. COLODOR erschließt das Gebiet der VOC-Messung durch die Erforschung farbstoffdotierter Polymere für optische Multi-Parameter-Gassensoren. Hierfür sollen neue Sensormaterialien und deren lokale Abscheidung auf Sensorchips erforscht, kompakte optische Gassensorchips entworfen und die Funktion des neuen optischen VOC-Messprinzips demonstriert werden. Durch die Beteiligung von drei Industrieunternehmen aus den Sparten photonische Bauelemente, lokale Funktionalisierung und Küchengeräte, wird die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet und eine spätere Verwertung des Themas ermöglicht.

Das Vorhaben wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen der Förderinitiative M-ERA.NET 2015 unter dem Förderkennzeichen 13N14242 gefördert.

---

### Mobiles Testsystem erkennt frühzeitig SARS-CoV-2-Infektionen

---

Schnelltests zum Nachweis einer Infektion sind ein wichtiger Baustein, um die Corona-Pandemie zu überwinden. Gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IME, ISIT, IBMT und ENAS arbeiten Forschende der Fraunhofer EMFT an einem mobilen Testsystem für einen schnellen Nachweis des SARS-CoV-2-Virus, bzw. bestehender Immunität.

Wie die als Goldstandard etablierten PCR-Tests basiert auch das neue Testsystem auf einer Vervielfältigung der Virus-RNA. Dazu nutzen die Partner jedoch das LAMP-Verfahren (Loop-mediated isothermal amplification). Im Vergleich zur PCR zeichnet sich LAMP durch eine hohe Robustheit und Sensitivität aus und kann Krankheiten schon bei einer geringer Viruslast nachweisen. Darüber hinaus läuft der Vervielfältigungsprozess bei einer konstanten Temperatur ab, was nicht nur die Bearbeitungszeit verkürzt, sondern auch den Energiebedarf signifikant reduziert. Mit diesen Eigenschaften bietet LAMP gerade für Point-of-Care-Anwendungen eine attraktive Alternative zur PCR. Im Rahmen des Projekts sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fraunhofer EMFT für die Messsensorik verantwortlich. Das von ihnen entwickelte Mikrovolumen-/Miniaturmesssystem besteht aus einem Sensorarray zur Quantifizierung der Nukleinsäuremenge und zur Überwachung der Schmelzkurvenanalyse.



Arbeiten mit Zellproben in der Sterilbank

Um einen Virusbefall nachzuweisen, wird eine Probe (z.B. Rachenabstrich) in einem Puffer gelöst, Primer und LAMP Reaktionsmix hinzugefügt und die Probe für 30 – 45 Min auf ca. 65 °C erhitzt. Eine Veränderung im Sensorsignal bedeutet ein positives Testergebnis. Das Signal wird von den eingesetzten Biosensoren bereits während der Messung digital aufgezeichnet. Unter anderem verwenden die Forscher einen pH-Transducer, auf dem die LAMP Reaktion abläuft. Genauso wie die anderen verwendeten Biosensoren wird dieser am Fraunhofer EMFT entwickelt und fabriziert. Zur Erhöhung der Validität werden die Amplifikate einer Schmelzkurvenanalyse unterzogen. Falsch positive Ergebnisse können dadurch identifiziert werden. In konventionellen Methoden kommen für die Quantifizierung und Schmelzkurvenanalyse spezielle Fluoreszenzfarbstoffe und dementsprechend teures Labor-Equipment zum Einsatz. Durch den Einsatz der Biosensoren können sowohl Kosten als auch Platzbedarf für die Virendiagnose eingespart werden.

Das Testsystem liefert innerhalb einer Stunde ein zuverlässiges Ergebnis zum Infektionsstatus und lässt sich mit geringem Aufwand auch auf andere Viruserkrankungen anpassen.

---

### **Mobiles Monitoring des Gesundheitszustands von Patienten**

---

Auch milde Verläufe einer Covid-19-Erkrankung können tückisch sein, denn der Zustand von Patienten kann sich innerhalb weniger Stunden rapide verschlechtern. Um in solchen Fällen schwere Komplikationen verhindern zu können, ist schnelles Handeln entscheidend. Dabei gilt: Je früher eine Zustandsverschlechterung erkannt wird, desto besser sind die Therapiemöglichkeiten.

Im Projekt M3Infekt arbeitet die Fraunhofer EMFT zusammen mit neun weiteren Fraunhofer-Instituten und vier medizinischen Partnern an einer flexiblen und mobilen Lösung, die sich für den Einsatz auf Normalstationen in Krankenhäusern ebenso eignet wie für Pflege- und Altenheime oder das eigene häusliche Umfeld: Ein modulares Sensorarmband, welches ein Monitoring relevanter Biosignale zur frühzeitigen Erkennung von Zustandsverschlechterungen bei Infektionskrankheiten Covid-19 erlaubt. Der modulare und mobile Aufbau des geplanten Systems mit standardisierten, offenen Schnittstellen ermöglicht die einfache Integration in andere Plattformen und die Anwendbarkeit für verschiedene Krankheiten, wie bspw. Influenza, Pneumonien und Sepsis.

Das Arbeitspaket der Fraunhofer EMFT-Forschenden umfasst die Bereiche Systemintegration und flexible Elektronik: Die ausgewählten Sensoren zur Messung der Krankheitsparameter

werden auf einen dünnen, flexiblen Schaltungsträger integriert. Ein Gesamtkonzept für Powermanagement, Energiespeicher und Energy Harvesting ermöglicht es dem System, energieautark zu funktionieren. Die Integration einer energieeffizienten Kommunikationsschnittstelle ist essentiell, um die Daten online in eine zentrale Datenbank zur zweckgebundenen Analyse und Weiterverarbeitung übertragen zu können.

---

### **Neues Assay-Konzept für Impfstoffentwicklung**

---

Die Covid19-Pandemie führt vor Augen, wie schnell die Entwicklung neuer Impfstoffe zu einem Wettlauf gegen die Zeit werden kann. Denn bis ein neues Vakzin reif für die Zulassung ist, muss es zunächst auf Effektivität und Nebenwirkungsfreiheit geprüft werden. Dies ist mit komplexen und oft langwierigen Prozessen verbunden.

Forschende der Fraunhofer EMFT und der Universität Regensburg arbeiten im Projekt Covirep an einem Assay-Konzept, das die Wirksamkeitsprüfung von Impfstoffkandidaten schneller und gleichzeitig aussagekräftiger machen könnte.

Ziel des von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Kooperationsprojektes zwischen der Fraunhofer EMFT-Gruppe „Zellbasierte Sensorik“ um Prof. Dr. Joachim Wegener und der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Ralf Wagner am Institut für Mikrobiologie und Hygiene der UR ist die Entwicklung eines konzeptionell neuen Assays zum Nachweis neutralisierender Antikörper gegen SARS-CoV2. Das Konzept macht mit intrinsischen biologischen Verstärkungsmechanismen eine sehr niederschwellige virale Beeinflussung der Zell-Physiologie nachweisbar und ermöglicht einen automatisierten, elektrischen Readout, der auf hohe Durchsätze skalierbar ist. Im Gegensatz zu den bislang eingesetzten Verfahren wird die Reaktion der Wirtszellen auf die Virus-Infektion kontinuierlich in Echtzeit und nicht nur zu einem einzigen Zeitpunkt aufgezeichnet.

---

### **Neues Verfahren im Kampf gegen Viren**

---

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fraunhofer Institute für Biomedizinische Technik (IBMT) in Sulzbach/Saar und der Fraunhofer EMFT in Regensburg arbeiten im Projekt ViroSens gemeinsam mit den Unternehmen nanoAnalytics GmbH (Münster) und innoMe GmbH (Espelkamp) an einem neuen Messverfahren zur Wirksamkeitsprüfung von Impfstoffen.



Ursprünglicher Prototyp des Frühwarnsystems zur Erkennung von Aquaplaning und Glatteis im Test

Die Testzellen werden dazu auf Multi-Elektroden-Arrays angesiedelt, die es erlauben, ihren Infektionszustand mit Hilfe elektrochemischer Messverfahren vollständig automatisiert zu erfassen. Dadurch entfallen die aufwendigen Färbereaktionen der herkömmlichen Tests, was Zeit und Geld spart.

Die neue Methode hat jedoch noch einen weiteren Vorteil: Die Zellen werden über einen längeren Zeitraum kontinuierlich überwacht. Bei den bislang verwandten Färbereaktionen werden sie nur zu einem bestimmten Zeitpunkt analysiert. Damit erhalten die Forschenden zusätzliche Informationen über den Zeitverlauf der Zellreaktion, die bisher nicht zugänglich waren. Das Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, ein entsprechendes Komplettsystem einschließlich des Messgerätes, der zugehörigen Analyse-Software und der zur Zellbeobachtung notwendigen Elektrodenarrays zu erforschen und in Laboraufbauten umzusetzen, die einer späteren Markteinführung den Weg bahnen.

Das Vorhaben „ViroSens“ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Förderrichtlinie KMUinnovativ mit einer Gesamtsumme von rund 2 Mio € gefördert.

---

### Frühwarnsystem zur Erkennung von Aquaplaning und Glatteis

---

Glatteis und Aquaplaning verwandeln Straßen in gefährliche Rutschbahnen und führen so häufig zu schweren Unfällen. In einer gemeinsamen Initiative mit Intel arbeitet die Fraunhofer EMFT im Rahmen des Leistungszentrums »Sichere intelligente Systeme« (LZSiS) an einer Lösung des Problems. Ein Echtzeitwarnsystem soll die potentielle Gefahr durch Wasser oder Eis auf der Fahrbahnoberfläche erkennen und so eine vorausschauende Erkennung der Straßenverhältnisse ermöglichen. Die Gefahrerkennung des Warnsystems basiert auf der Interpretation der optischen Eigenschaften von Wasser und Eis, was das System zuverlässiger und sicherer macht als die bisherigen Methoden. Daten aus Nahinfrarot- (NIR) und Polarisationsensorik zusammen mit einer KI-unterstützten Auswertung ermöglichen eine eindeutige Erkennung und Lokalisierung von witterungsbedingten Gefahren auf Fahrbahnoberflächen. Durch die Verwendung von marktüblichen Bildsensoren basierend auf CMOS-Technologie, kombiniert mit optischen Filtern, bleibt das System dennoch mechanisch einfach und kostengünstig.

Gerade im Kontext des autonomen Fahrens könnte solch ein direkt in die Fahrzeugsteuerung integriertes Assistenzsystem für mehr Sicherheit bei rutschigen Straßenverhältnissen sorgen.

---

### Intelligente Verpackung für Lebensmittel

---

Lebensmittel mit einem hohen Frischegrad wie rohe Fleisch- und Fischprodukte sind anfällig für mikrobielle Verderbprozesse. Doch gerade abgepackten Produkten sieht man ihren tatsächlichen Frischegrad nicht an.

Die Bewertung der tatsächlichen mikrobiologischen Belastung von Lebensmitteln könnte zu einer Steigerung der Produktsicherheit und zu einer Verringerung der Lebensmittelabfälle am Ende der Wertschöpfungskette beitragen. Diese Möglichkeit zum realen Frischemonitoring würde so zu einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen wesentlich beitragen.

Im BMEL-geförderten Verbundvorhaben FRESH entwickeln Fraunhofer EMFT und Fraunhofer IVV gemeinsam mit Industriepartnern eine intelligente Verpackung mit integrierter Sensorfunktion zur Anzeige der mikrobiologischen Qualität von Lebensmitteln. Dazu werden farbwchsel-basierte Sensormaterialien (optische Chemosensoren), die deutlich unterhalb der Geruchsgrenze auf das Vorhandensein biogener Amine ansprechen, in Lebensmittelverpackungen integriert. Beim mikrobiellen Verderb von Fleisch- und Fischprodukten entstehen flüchtige Gase, welche als Indikator für den Frischezustand dieser Lebensmittel herangezogen werden. Die Sensorverpackung soll beim Überschreiten eines Grenzwertes solcher Gase eine deutliche Farbreaktion zeigen, wodurch der Verbraucher durch bloßes Betrachten der Verpackung ohne weiteres Equipment zuverlässig über die tatsächliche Produktqualität informiert wird. Die intelligente Verpackung erlaubt somit eine schnelle Qualitäts- und Sicherheitsbeurteilung von Lebensmitteln.

---

### Künstliche Intelligenz im Sensorknoten

---

Die Auswertung von Sensordaten findet heute in der Regel in der Cloud statt. Durch die fortschreitende Digitalisierung wächst die Menge an erfassten und auszuwertenden Sensordaten jedoch rapide. Selbst moderne Mobilfunknetze und drahtgebundene Kommunikationsnetze werden in absehbarer Zeit von der Übertragung solch immenser Datenmengen überfordert sein. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Datensicherheit und -schutz. Ein Verbleib der Rohdaten in der Edge ist eine vielversprechende Möglichkeit, sowohl die Datenmengen zu reduzieren als auch die Datensicherheit zu erhöhen.

Im Projekt KIS arbeiten Forschende der Fraunhofer EMFT daher daran, Sensoren und Aktoren mit KI auszustatten. Ziel ist es, bereits in der Edge eine intelligente (Vor-)Verarbeitung und



*Thermisch unterstützte chemische Gasphasenabscheidung auf 8-Zoll-Wafer*

Verdichtung von Daten vornehmen zu können. Dazu werden zunächst verschiedene Verfahren untersucht, die es erlauben, ML-Modelle derart zu trainieren, dass sie in einem intelligenten Sensorknoten ausgeführt werden können. Weiterhin wird das Forschungsteam eine intelligente Umweltmessstation konzeptionieren und entwickeln. Diese soll z.B. auf dem Dach der Fraunhofer EMFT installiert werden, um dort die Umwelteinflüsse von Verkehr und Industrieanlagen im Stadtgebiet von München zu monitoren. Die Messstation dient im Vorhaben zum einen als Lieferant von Messdaten, bei dem Daten geeignet erhoben werden, damit sie für ein Training von ML-Modellen genutzt werden können und zum anderen als Vehikel, um im Sensorknoten integrierte ML-Modelle zu untersuchen und zu testen.

Um die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse zu evaluieren, soll anschließend ein zweiter Transfer-Demonstrator zur KI-gesteuerten Mikrodosierung entwickelt werden. Zusätzlich werden zusammen mit der Industrie weitere Transfer-Demonstratoren definiert, um die entwickelten Methoden zu demonstrieren.

Das Projekt wird durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

---

### **Energieeffizientes Brain-like Computing**

---

Die Natur hängt die Messlatte hoch: Unser Gehirn ist in der Lage, riesige Informationsmengen zu verarbeiten und zu speichern, ohne dabei mehr Energie als eine 20-Watt-Glühbirne zu benötigen. Ein guter Grund für Forschende weltweit, sich das menschliche Gehirn als Vorbild für Schaltkreise in so genannten neuromorphen Chips zu nehmen.

Im EU-Projekt NeurONN entwickelt die Fraunhofer EMFT mit fünf europäischen Partnern eine neurologisch inspirierte Computerarchitektur. Dort werden Informationen von gekoppelten oszillierenden Elementen verschlüsselt, die zu einem neuronalen Netzwerk verschaltet sind. Analog zum Gehirn bilden die beiden Schlüsselkomponenten Neuron und Synapse die verteilten Rechen- und Speichereinheiten nach. Als Neuronen dienen neue Elemente auf Basis von Vanadiumdioxid, die 250 Mal effizienter als modernste digitale Oszillatoren sein können. Als Synapsen kommen sogenannte Memristoren – aus memory und resistor, Speicher und elektrischer Widerstand – auf Basis von neuen 2D-Nanomaterialien zum Einsatz. Die winzigen Bauelemente sollen bei Schaltgeschwindigkeit, Lebensdauer und Energieverbrauch bis zu 330 Mal effizienter sein als aktuelle Technologien.

Zum Einsatz sollen die neuromorphen Chips überall dort kommen, wo Energieeffizienz und niedrige Latenzzeiten besonders wichtig sind, etwa weil Geräte batteriebetrieben werden oder keine Zeit bleibt, Daten in die Cloud zu schicken und auf Antwort zu warten. Dazu zählt beispielsweise die Verarbeitung von Sensordaten beim autonomen Fahren, in Satellitenanwendungen, bei Predictive Maintenance oder Condition Monitoring in der Industrie 4.0. Ein großer Vorteil neuromorpher Hardware ist auch, dass Informationen lokal und nicht in der Cloud gespeichert werden, was sowohl die Sicherheit der Geräte als auch den Datenschutz verbessert. Nicht zuletzt dienen neuromorphe Chips als Basis für Edge-AI-Anwendungen.

---

## MIKROPUMPEN

---

Die nanoliter-genaue Dosierung von Gasen und Flüssigkeiten ist ein zentrales und langjähriges Kompetenzfeld der Fraunhofer EMFT und deckt ein breites Anwendungsspektrum ab – von der Medizintechnik über Industrieanwendungen bis hin zur Consumerelektronik.

Piezoelektrisch angetriebene Mikropumpen sind das Herzstück von Mikrodosiersystemen. Das Team der Fraunhofer EMFT besitzt umfangreiche Kenntnisse und praktische Erfahrungswerte beim Design von Mikropumpen. Auf dieser Grundlage können die technologischen Parameter in Hinblick auf Dosiergenauigkeit, Gegendrucksteifigkeit, Baugröße, Energieverbrauch, Partikelresistenz, Blasentoleranz und »free flow«-Schutz anwendungsspezifisch auf die Anforderungen angepasst werden.

Die Fraunhofer EMFT verfügt über ein Portfolio an Silizium-, Edelstahl- und Titanmikropumpen, die für unterschiedliche Einsatzgebiete konzipiert sind. Ein Hauptfokus der F&E-Aktivitäten im Bereich der Silizium-Mikropumpen liegt in deren weiterer Miniaturisierung. Ziel ist es, dadurch die Herstellungskosten erheblich zu senken und damit den Zugang zu Massenmärkten zu erleichtern. Die derzeit mit Abmessungen von  $3,5 \times 3,5 \times 0,6 \text{ mm}^3$  kleinste Silizium-Mikromembranpumpe der Welt wurde an der Fraunhofer EMFT entwickelt. Im Bereich der Metallmikropumpen liegt ein Schwerpunkt derzeit auf dem Design der Pumpen und Ventile. Dabei kooperiert die Fraunhofer EMFT eng mit industriellen Partnerinnen und Partnern, die nach einem Technologietransfer die Komponenten selbst in hohen Stückzahlen herstellen sollen.

Neben den Mikropumpen selbst umfasst das F&E-Portfolio der Fraunhofer EMFT in diesem Forschungsfeld auch unterschiedlichste Mikrodosierkomponenten, außerdem verfügt das Team über eine umfassende Systemkompetenz. Mikrodosiertechnik als Querschnittstechnologie erfordert vielseitige Kenntnisse, beispielsweise zu Strömungsmechanik, Elastomechanik, Elektrotechnik, Oberflächenphysik, Chemie und Phasenumwandlung. Das Verständnis der Wirkungszusammenhänge zwischen diesen Faktoren ist essentiell, um ein reibungsloses Zusammenspiel aller Komponenten in einem Mikrodosiersystem zu ermöglichen.



Fraunhofer EMFT Mikropumpenfamilie

## PROJEKTBEISPIELE UND ANWENDUNGEN

### Technologieplattform für innovative medizinische Geräte

Wie kann es gelingen, den stetig steigenden Kosten im Gesundheitswesen entgegenzuwirken und gleichzeitig eine bestmögliche Versorgung von Patientinnen und Patienten zu gewährleisten? Dieser Herausforderung stellen sich Forschende aus 66 Unternehmen, Universitäten und Instituten aus 12 europäischen Ländern im gemeinsamen Projekt Moore4Medical.

Die Partner wollen mit der Bündelung ihrer Kompetenzen die Entwicklung innovativer medizinischer Geräte beschleunigen. Der Fokus liegt darauf, die Notwendigkeit von Krankenhausaufenthalten zu reduzieren, personalisierte Therapieansätze zu unterstützen und intelligente Point-of-Care-Diagnosetools zu realisieren.

Die Fraunhofer EMFT bringt ihre Expertise im Bereich Mikrodosiersysteme und Pumpendesign in das Vorhaben ein. So soll im Rahmen des Projekts ein Chipkasten zur Züchtung von Zellkulturen realisiert werden. Eine integrierte Mikropumpe sorgt dabei für einen konstanten Fluss im Kulturmedium und damit für eine optimale Nährstoffversorgung der Zellkulturen. Außerdem arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einem Autoinjektor für monoklonale Antikörper mit, der im Bereich von Autoimmunerkrankungen eingesetzt werden soll. Die intelligente Mikropumpensteuerung ermöglicht dabei eine exakte, aktive Dosierung des Medikaments.

Das Projekt wird durch das Programm ECSEL JU in Zusammenarbeit mit dem H2020-Rahmenprogramm der Europäischen Union und nationalen Behörden unter dem Förderkennzeichen H2020-ECSEL-2019-IA-876190 gefördert.

### Aktive Implantate – zuverlässig und leistungsstark

Von der Medikamentendosierung bis zum künstlichen Sphinkter: Mikropumpen könnten künftig als aktive Implantate für unterschiedlichste medizinische Anwendungen eingesetzt werden. Im Rahmen des Leistungszentrums „Sichere intelligente Systeme“ (LZSiS) evaluieren Forschende im Projekt „Active Implants“ die Risiken bei der Nutzung von Mikropumpen als

medizinisches Implantat. Die verschiedenen Anwendungen verlangen sehr unterschiedliche Spezifikationen der Pumpe; allen gemein sind jedoch die extrem hohen Sicherheitsansprüche. In „Active Implants“ stehen zwei grundlegende sicherheitsrelevante Themen im Fokus: Zum einen wird die Interaktion zwischen der Pumpe und dem geförderten Medium (z.B. Medikamente) untersucht, um langfristige Dosierstabilität ohne einen Ausfall der Mikropumpe sicherzustellen. Zum anderen untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit, die Betriebsspannung der Pumpe zu verringern. Aktuell liegt sie bei mehreren hundert Volt, was sehr hoch ist. Dazu soll getestet werden, ob der Aktor – momentan eine einlagige Piezokeramik – durch einen mehrschichtigen Antrieb ersetzt werden kann. Durch die Nutzung dieser Multilayer-Technologie könnte die Spannung, die zum Betrieb der Pumpe notwendig ist, deutlich verringert werden. Dadurch ist eine sichere Isolation einfacher möglich.

### KI-gestützte Prophylaxe von Druckgeschwüren

Bettlägerige oder gelähmte Personen, aber auch Menschen mit Diabetes haben ein erhöhtes Risiko für Druckgeschwüre, Druckliegen oder Druckgeschwüre am Fuß (Dekubitus beziehungsweise Fuß ulcus). Diese beeinträchtigen nicht nur die Lebensqualität, sondern können unbehandelt schlimmstenfalls zur Amputation von Gliedmaßen führen. Beginnende oder infizierte chronische Wunden werden von den Patientinnen und Patienten aufgrund verminderter Nerven- und Schmerzwahrnehmung oftmals nicht bemerkt oder dem medizinischen Personal aus Scham oder Unkenntnis nicht angezeigt. Vor allem in der ambulanten Pflege können die zu behandelnden Menschen jedoch nicht stetig überwacht werden.

Ziel des Projektes KIPRODE ist es, mithilfe von angepasster Sensorik und automatisierter, auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierender Vorhersagemethoden eine Wundentstehung frühzeitig zu erkennen und letztlich zu unterbinden. Hierzu arbeiten Forschende der Fraunhofer EMFT gemeinsam mit Wissenschaftlern der Technischen Universität München am Klinikum Rechts der Isar, Fußnetz Bayern e.V. sowie der Monks Vertriebsgesellschaft mbH an einem Prophylaxe-Tool mit Sensorpflastern und telemedizinischer Schnittstelle zwischen ärztlichem Fachpersonal und den zu behandelnden Menschen.

Im ersten Schritt werden flache Sensorpflaster mit tragbarer Elektronik entwickelt, die verschiedene Parameter im Bereich des gefährdeten Patientengewebes aufzeichnen, etwa Werte für Sauerstoffsättigung, Druck, Bewegung und Temperatur. In Verbindung mit telemedizinischen Lösungen könnten die Daten des Sensorsystems zusammen mit anderen Gesundheitsinformationen von der ambulant oder stationär tätigen Pflegekraft direkt an ein Expertengremium übertragen werden.



*Innovativer Mikro-Flusssensor in Verbindung mit Mikropumpe für verteilte Gassensorik im Bereich der Industrie 4.0*

Das Team der Fraunhofer EMFT entwickelt im Rahmen des Vorhabens das tragbare Sensorsystem zur Erfassung der Daten verschiedener kommerzieller Sensoren, das in der klinischen Studie von verschiedenen Patienten getragen werden wird. Die hiermit gewonnenen Daten werden nach einer datenschutzkonformen Anonymisierung und Übermittlung über die Firma Monks an der EMFT mit Methoden der KI (Machine Learning-Algorithmen zur Zeitreihenanalyse) analysiert, um daraus ein Prophylaxe-Tool abzuleiten.

Das Vorhaben wird durch das Bundesministerium für Gesundheit unter der Fördernummer ZMV11-2520DAT50A gefördert.

---

### **SARS-Cov-2: Mit etablierten Medikamenten zu effektiven Therapieansätzen**

---

Der Kampf gegen die SARS-CoV-2-Pandemie ist ein Wettlauf gegen die Zeit: Neben der Impfkampagne sind vor allem wirksame Medikamente gefragt, um schwerere Verläufe besser in den Griff zu bekommen. Im Rahmen des Projekts DRECOR (Drug repurposing for Corona) verfolgen Forschende von acht Fraunhofer-Instituten, darunter der Fraunhofer EMFT, einen pragmatischen Ansatz: Das Team greift auf schon bestehende Medikamente mit bekannten Sicherheitsprofilen zurück, um schnell neue Therapieansätze zu entwickeln. Die Forschenden stellten dabei eine Bibliothek von rund 5.500 Komponenten zusammen, wovon ein Großteil bereits klinischer Überprüfung unterzogen wurden. Aus diesem Portfolio wählen die Forschenden Testkandidaten aus, die eingehender untersucht werden. Ziel ist es, Moleküle zu identifizieren, die einer Corona-Infektion von menschlichen Zellen mit sub- $\mu\text{M}$  oder  $\mu\text{M}$  Aktivität vorbeugen können. Die vielversprechendsten Wirkstoffkandidaten werden durch geeignete Verfahren für die Inhalation vorbereitet und gekapselt.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer ITEM optimieren Forschende der Fraunhofer EMFT im Rahmen des Projekts einen Medikamenten-Vernebler für die Inhalation gekapselter Wirkstoffe. Ziel ist die kontrollierte Abgabe von Wirkstoffmengen im Bereich von 10-30  $\mu\text{l}$  pro Atemzug, bei einer gleichzeitig erhöhten Inhalationseffizienz. Dies soll durch den Einsatz einer Edelstahl-Mikropumpe der EMFT und eine Atemzykluserkennung realisiert werden.

Um in Zukunft besser auf Pandemieszenarien vorbereitet zu sein, soll im Rahmen des Projekts außerdem ein multidisziplinäres Netzwerk von Expertinnen und Experten relevanter Fachrichtungen etabliert werden.

Das Vorhaben wird durch das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME koordiniert und durch das interne Programm Fraunhofer vs. Corona, Förderphase II gefördert.

---

### **Safety Pump – Zuverlässigkeit von Mikrodosiersystemen**

---

Im Projekt Safety Pump arbeiten Forschende der EMFT an einer Mustererkennung von sensorisch überwachten Störgrößen, um Verbesserungen in der Betriebssicherheit von Mikrodosiersystemen für Anwendungen mit sehr hohen Lebensdauern zu gewährleisten. Dank der Modellierungskompetenzen der TU München sowie der Mikrofluidik- und Aktorik-Kompetenz der Fraunhofer EMFT wird die Funktionssicherheit mittels Predictive Maintenance für eine frühzeitige Ausfallprognose ermöglicht. Die Untersuchungen zur Betriebssicherheit erfolgen in der Kooperation mit dem bayerischen Mittelstands-Unternehmen Rausch & Pausch GmbH als Industriepartner für die Fertigung der Metallmikropumpe. Als Pilotanwendung kommt unter anderem eine vielversprechende Anwendung im Bereich der kontinuierlichen Probenzufuhr für Gassensoren in Frage. So soll sichergestellt werden, dass die Hardware frühzeitig und insbesondere ohne Funktionsausfall gewartet oder ausgetauscht werden kann. Hierzu sollen in einem Labortest verschiedene Parameter sensorisch überwacht und insbesondere eine Druckpulsüberwachung im Hinblick auf ihre Eignung zum Einsatz für Predictive Maintenance evaluiert werden. Aus den Sensordaten lassen sich Informationen auf wesentliche Ausfallursachen von Mikropumpen über die Betriebsdauer rückschließen und bei geeigneter Mustererkennung vorzeitig warnen. Fehlerfälle wie Partikelkontamination oder Änderungen der Materialeigenschaften durch Degradation können so frühzeitig erkannt werden.



---

## SICHERE ELEKTRONIK

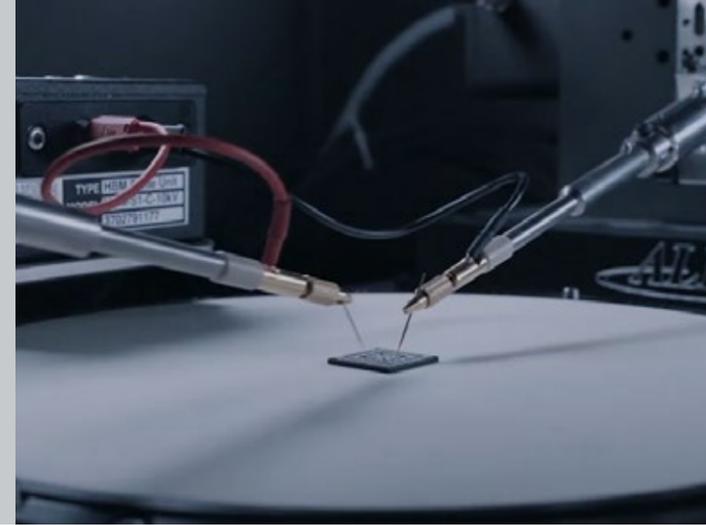
---

Internet of Things, Industrie 4.0, Big Data – ohne Frage hat die Digitalisierung in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens Einzug gehalten. Als »Infrastruktur« dieser vernetzten Welt benötigt man sichere elektronische Systeme. Das Wort »sicher« hat dabei verschiedene Facetten.

Zum Einen müssen vor allem in sensiblen Einsatzbereichen wie der Medizintechnik, Automobilindustrie und Luft- und Raumfahrttechnologie elektronische Systeme zu hundert Prozent zuverlässig im Sinne von ausfallsicher funktionieren. Die Fraunhofer EMFT verfolgt in ihren F&E-Aktivitäten das Ziel, so genannte »Zero-Defect-Systeme« zu ermöglichen. Schwerpunkte sind dabei Ausfallanalysen und Charakterisierung elektronischer Baugruppen und Systeme, die Entwicklung neuartiger ESD Test- und Schutzkonzepte sowie das Monitoring elektrischer Verbindungen mithilfe »intelligenter« Stecker.

Der zweite Aspekt von »Sicherheit«, der im Zeitalter der Digitalisierung immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist der Schutz elektronischer Systeme vor Manipulation und ungewolltem Zugriff. Nur wenn die Sicherheit von Daten gewährleistet ist, werden Internet of Things (IoT)-Anwendungen auf breite Nutzerakzeptanz stoßen. Doch zum Schutz sensibler Daten in elektronischen Systemen, z.B. im Umfeld von Banking, Smart Grid/Smart Metering, beim Umgang mit Patientendaten oder dem Betrieb kritischer Infrastrukturen, reichen softwarebasierte Lösungen oft nicht mehr aus. Die Fraunhofer EMFT arbeitet mit Partnerinnen und Kunden an neuartigen Schutzkonzepten auf Hardwareebene, z.B. auf Basis so genannter Physical Unclonable Functions (PUF).

Im dritten Aspekt von Sicherheit sollen elektronische Systeme auch die Sicherheit von Menschen erhöhen, beispielsweise im Arbeitsschutz, in medizinischen Anwendungen oder im Bereich des Ambient Assisted Living. Die Lösungen der Fraunhofer EMFT leisten in verschiedenen Anwendungsbereichen einen Beitrag zur persönlichen Sicherheit der Anwenderinnen. Im Bereich Medizintechnik etwa sorgen die Mikrodosierkomponenten und -systeme der Fraunhofer EMFT dafür, dass Lösungen zur Medikamentendosierung zuverlässig funktionieren. Im Bereich Arbeitssicherheit können die Sensorlösungen der Fraunhofer EMFT für eine Detektion von gefährlichen Substanzen in der Umgebung eingesetzt werden.



Neuartiges 2-Pin Testsystem für elektrische Tests

## PROJEKTBEISPIELE UND ANWENDUNGEN

### Neuartiges 2-Pin Testsystem für elektrische Tests

In sensiblen Anwendungsgebieten wie Medizintechnik, Kommunikation, Automobil sowie Luft- und Raumfahrt, ist die Zuverlässigkeit der zum Einsatz kommenden elektronischen Systemen extrem wichtig. Deshalb testen Halbleiterindustrie und Hersteller von elektronischen Komponenten und Systemen ihre Produkte sorgfältig, um ihre fehlerfreie Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Ein wichtiger Aspekt ist der Test der ESD-Toleranz (Elektrostatische Entladung) der Chips, weil Miniaturisierung die Halbleiterkomponenten empfindlich für Schaden durch elektrische Impulse macht, verursacht durch elektrostatische Ladungen.

Die Fraunhofer EMFT und High Power Pulse Instruments GmbH (HPPI), ein Hersteller von ESD Messeinrichtungen, haben gemeinsam ein neuartiges 2-Pin Testsystem für elektrische Tests entwickelt, das der Halbleiterindustrie viele Vorteile bietet. Beider Partner verfügen über ein langjähriges Know-how im Bereich von ESD-Tests und Schutz und haben ihre entsprechenden Expertisen in das Entwicklungsprojekt eingebracht.

Das Testsystem verwendet zwei separate Proben, um die Chips auf einem Wafer (Wafer-level Test) oder die elektronischen Komponenten (Komponent-level Test) zu kontaktieren. Sie können unabhängig voneinander gesteuert werden, was mehr Flexibilität für verschiedene elektrische Testszenerarien ermöglicht. Zusätzlich verwendet das System lineare Antriebe, was eine extrem genaue Positionierung der Testproben möglich macht. Das System zeigt auch weniger parasitäre Elemente als die Relais-basierenden Testsysteme, die heute meistens verwendet werden. Zudem unterstützt das System Multi-Die-Prüfung, was Zeit und Aufwand beim Testen spart.

Da das System mit verschiedenen Messsystemen kombiniert werden kann, ist es in der Lage, die meisten aktuellen an ESD Test- und Charakterisierungsbedürfnisse abzudecken, inkl. Standard TLP, very fast TLP sowie Human Metal Model (HMM), Human Body Model (HBM) und Charged-Coupled TLP (CC-TLP).

### Design- und Testmethodik für robuste und zuverlässige Hochleistungs-ICs

Anwendungen in Zukunftsbereichen wie dem autonomen Fahren, Robotik und Industrie 4.0 verlangen nach leistungsfähigen IC-Komponenten für die Datenverarbeitung und -übertragung.

Um die hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Robustheit zu gewährleisten, werden bislang meist applikationsspezifisch entwickelte Microcontroller oder Bausteine älterer Fertigungsgenerationen eingesetzt – was allerdings zu einer verminderten Leistungsfähigkeit dieser Systeme gegenüber Mobilfunk- oder Rechnersystemen führt, die Modems und CPUs der neuesten Fertigungsgeneration verwenden und eine um Größenordnungen höhere Datenrate verarbeiten können.

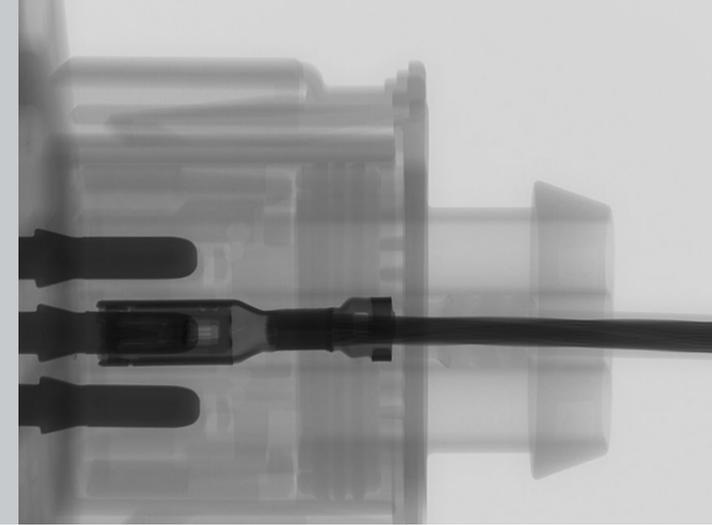
Hier setzt das Projekt ROBUSTNE an: Forschende der Fraunhofer EMFT arbeiten gemeinsam mit der TU München und Intel daran, die Robustheit und Zuverlässigkeit leistungsfähiger Hochvolumenbausteine gezielt an kritischen Stellen anzupassen. Am Beispiel eines aktuellen 4G/5G Modemmoduls soll der Ansatz für eine effiziente Entwicklungsmethode erarbeitet werden, die es erlaubt, hochperformante Halbleiterkomponenten aus dem kostensensitiven Consumerbereich für hochzuverlässige Industrieanwendungen der Industrie 4.0 ohne teures, vollständiges Neudesign verwendbar zu machen.

Das Forschungsteam der Fraunhofer EMFT bringt seine Expertise im Bereich Analyse und Test in das Vorhaben ein. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln dazu Testmethoden für Module und IC Bausteine, welche die für die Belastungen in der Anwendung relevanten Impulsparameter identifizieren und dazu dienen elektrische wie thermische Parameter für die Modellierung und Simulation der Funktion und Alterung von Bauelementen durch geeignete Messungen zu extrahieren.

### Hardware-Trojaner zuverlässig detektieren

Vor allem in Bereichen, in denen personenbezogene oder sicherheitskritische Daten verarbeitet werden – etwa in der Medizintechnik, beim autonomen Fahren oder bei kritischen Infrastrukturen – werden im Zuge der Digitalisierung vertrauenswürdige elektronische IKT-Komponenten und -Systeme immer wichtiger.

Forschende der Fraunhofer EMFT haben bei diesem Thema vor allem die Hardware-Ebene im Blick: In den durch das BMBF geförderten Projekten SyPASS (Förderkennzeichen: 16KIS0669) und RESEC (Förderkennzeichen: 16KIS1008) entwickeln die Infineon AG, die Raith GmbH, TU München und die Fraunhofer EMFT zusammen Methoden, um höchstintegrierte Sicherheitsschaltungen zurückzupräparieren und Layoutinformationen zurückzugewinnen. Durch einen Vergleich mit Entwurfsdaten sollen Hardware Trojaner zuverlässig erkannt werden. Strukturen und Schichtdicken von wenigen 10 nm bei der Präparation, die Stabilität der raster-elektronenmikroskopischen Abbildung und schließlich die Synthese und Analyse riesiger



Röntgenaufnahme eines Stecksystems zur Analyse des Schädigungs- und Alterungsverhaltens

Datenmengen sind die besonderen Herausforderungen des Projektes. Hierbei werden zunehmend auch Methoden der KI angewendet.

Technische Voraussetzungen für diese Projekte sind Systeme zur nanoskaligen Präparation und Analyse, welche vor allem durch das vom BMBF geförderte Projekt Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD (Förderkennzeichen: 16FMD01K) beschafft werden konnten, sowie ein im Rahmen von SyPASS aufgebautes nach Common Criteria EAL6 zertifiziertes Sicherheitslabor, um auch nach der höchsten Stufe klassifizierte Sicherheitsbausteine untersuchen zu können. Das von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen der COVID InnoPush Initiative 2020 finanzierte Projekt TRAICT hat eine erfolgreiche synergetische Vernetzung mehrerer Fraunhofer Institute ermöglicht, um am Beispiel eines aktuellen 5G-Routers mit zentralem 7 nm CMOS Baustein verschiedene Analysemethoden zu demonstrieren. Das Analysethema wurde in TRAICT von Fraunhofer EMFT koordiniert. Verbundübergreifende Anschlussprojekte wurden in Aussicht gestellt, um das komplexe Thema nachhaltig zu adressieren auch in einem internationalen Umfeld bei wachsenden technologischen Herausforderungen „Vertrauenswürdige Elektronik“ bereit stellen zu können.

---

### Verschleißursachen von Steckverbindern besser verstehen

---

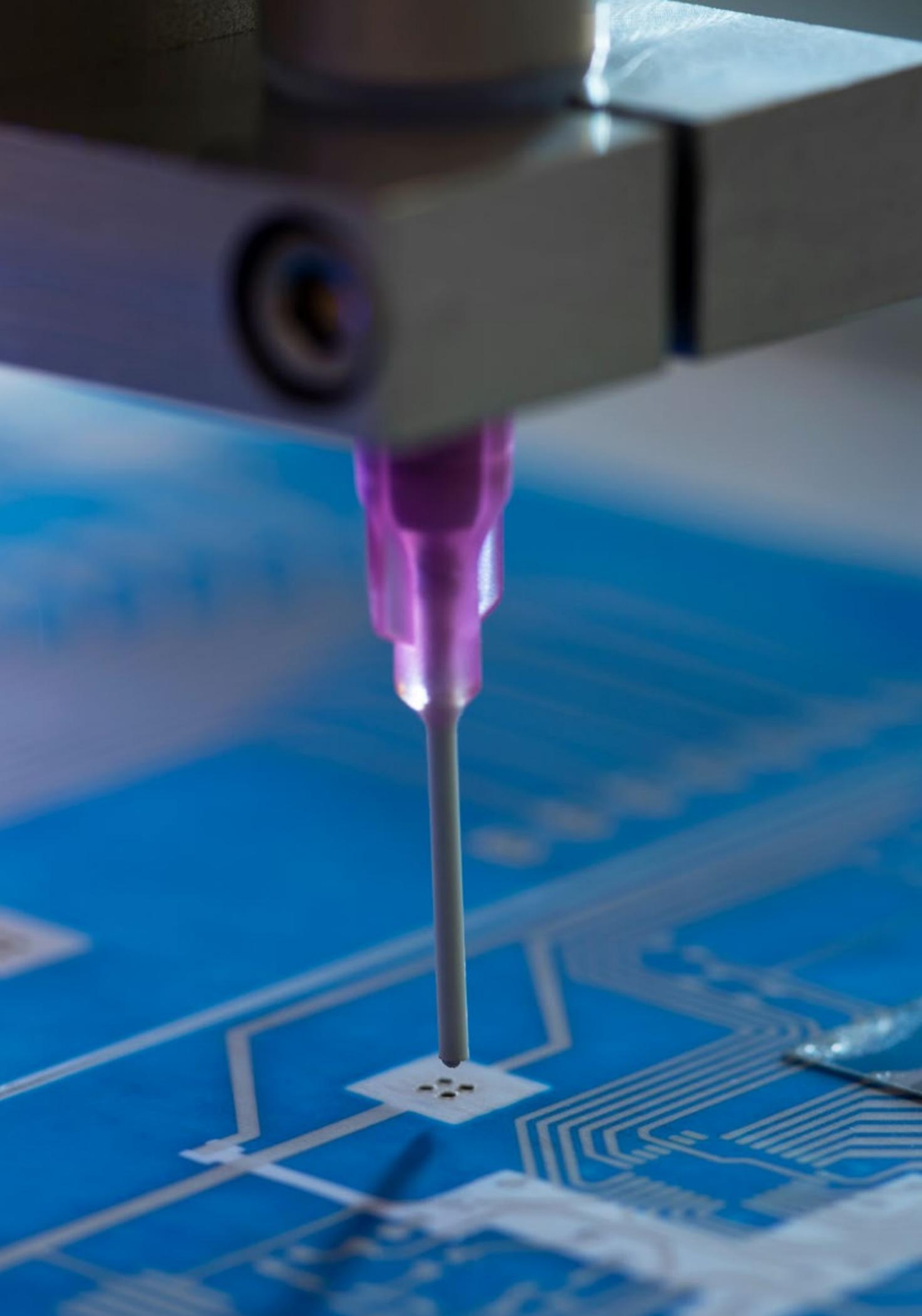
Elektrische Stecksysteme sind die Schnittstelle zwischen den Baugruppen/Modulen mechatronischer bzw. elektrischer Systeme, etwa im Automobil. Vor dem Einbau werden bislang meist nur die elektrischen Eigenschaften aus dem Datenblatt herangezogen, ohne die zu erwartenden Umwelteinflüsse im späteren Betrieb, etwa Vibrationsbelastungen, frühzeitig zu berücksichtigen. Das kann zu frühzeitigem Verschleiß und im ungünstigsten Fall zu kostenintensiven Rückrufaktionen führen.

Im Projekt StroBA nimmt ein Forschungsteam der Fraunhofer EMFT am Standort Oberpfaffenhofen in Kooperation mit der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe die Auswirkungen von Umweltbelastungen auf Stecksysteme genauer ins Visier: Im Fokus steht einerseits der Einfluss von unterschiedlichen Arten der Mikrobewegung (Rotation und Translation) und zum anderen von konstruktiven Merkmalen und der Leitungsverlegung auf das Schädigungs- und Alterungsverhalten.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen zwei Leitfäden zur konstruktiven Auslegung sowie zur Auswahl und Prüfung von Steckverbindern erstellt werden. Diese sollen es Entwicklungsingenieuren erleichtern, durch konstruktive Maßnahmen eine Minimierung

möglicher Schadensbilder bereits beim Design zu berücksichtigen. Für Anwenderinnen von Steckverbindungen ermöglichen die entwickelten Vorschläge eine zielsichere Auswahl des richtigen Steckverbinders für die jeweilige Aufgabe. Dadurch wiederum soll sich nicht nur die Erprobungszeit von neuen Steckverbindungen verkürzen, sondern eine Erhöhung der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der Produkte erreicht werden.

Das Vorhaben wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi sowie die AiF-Forschungsvereinigung unter der Fördernummer 20139 N gefördert.



*Detailansicht eines Folien-  
systems zur Temperaturmessung  
während der Prozessierung*

---

## MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIEN

---

Die Fraunhofer EMFT verfügt über einen umfangreichen, hochmodernen Technologiepark im Bereich Mikroelektronik und Mikro- und Nanotechnologie, der von erfahrenen Forscherinnen sowie Mikrotechnologen betreut und zur Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen genutzt wird. Diese Technologien bilden auch die Basis für die weiteren Kompetenzfelder der Fraunhofer EMFT und beinhalten u.a.:

**Technologie und Prozessanalytik:** Im Bereich Technologie und Prozessanalytik bietet die Fraunhofer EMFT eine industriekompatible Technologieplattform, um neue Prozessmedien zu testen oder ausgewählte Prozessschritte zu optimieren und dadurch beispielsweise Performance oder Ausbeute zu steigern.

**Entwicklung elektrischer und optischer Komponenten:** Die an der Fraunhofer EMFT entwickelten optischen und elektrischen Komponenten umfassen komplexe Fluoreszenzmodule, klassische PIN-Photodioden, sensitive Silizium-Photomultiplier zum Einzelphotonennachweis sowie extrem rauscharme Transistoren – ein Alleinstellungsmerkmal der Fraunhofer EMFT.

**Folienelektronik:** Flexible Elektronik bietet neuartige Möglichkeiten für viele leistungsstarke und »smarte« Produkte. Hauseigene Rolle-zu-Rolle Fertigungsanlagen ermöglichen die kostengünstige Bearbeitung von Folien und anderen flexiblen Substraten, um biegbare, flache und großflächige elektronische Systeme zu entwickeln. Eine technologische Schlüsselrolle kommt dabei der Heterointegration von Silizium- und Folientechnologie zu.

**Dünnes Silizium:** Für heterogene 3D-Integration und Chip-in-Foil Packages werden extrem dünne Siliziumchips benötigt. Das technologische Know-how zur Herstellung dünner Wafer bildet dafür eine wichtige Grundlage. Für die umfangreiche Prozessfolge der Dünnungstechnik ist der Münchener Standort bestens ausgerüstet, so dass beliebig dünne Devices auf Waferlevel realisiert werden können.

**IC Design:** Sehr spezifische Anwendungen oder die Erschließung neuartiger Funktionen und Einsatzgebiete, weitere Miniaturisierung, bessere Energieeffizienz, niedrigere Herstellungskosten oder höhere Zuverlässigkeit verlangen oftmals nach neuen IC-Designs, die in dieser Form am Markt nicht erhältlich sind. Hier unterstützt die Fraunhofer EMFT ihre Kundinnen und Kunden beim Entwurf komplexer analoger und Mixed-Signal Schaltkreise mit den Schwerpunkten auf neuartigen sensorischen Konzepten und Millimeter-Wellen-Design.

**Systemintegration:** Mit dem Aufbau von Demonstratoren, Prototypen und Systemen veranschaulichen Fraunhofer EMFT-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mögliche Anwendungsszenarien für die an der Fraunhofer EMFT entwickelten Technologien und Komponenten. Für Kundinnen und Kunden ist diese Entwicklungskompetenz ein wichtiger Teil des Fraunhofer EMFT-Leistungsportfolios.



Verifikation des Deep-Learning-Algorithmus für die Implementierung einer neuromorphen Hardware

## PROJEKTBEISPIELE UND ANWENDUNGEN

### Intelligente Diagnoseschnittstellen für vernetzte IoT-Systeme

Ob im Automobil – gerade in Hinblick auf das autonome Fahren – oder in der Produktion von morgen: Steckverbinder und elektrische Anschlussstechnologien spielen eine zentrale Rolle für die digitale Vernetzung: Sie sind die Hauptschnittstelle zwischen Maschinen, Steuerungen und Datenverarbeitungsanlagen und bilden somit die Grundlage für Funktionalität, einfache Handhabung und Zuverlässigkeit der Automatisierungstechnik.

Forschende der Fraunhofer EMFT in Oberpfaffenhofen und München arbeiten an einer neuen Generation aktiver, „intelligenter“ Steckverbinder, so genannter Cyber Physical Connector. Ziel ist es, miniaturisierte Sensorsysteme in die Stecker zu integrieren, um unter anderem die Verbindungsqualität überwachen zu können. Noch weiter geht die Idee, dass die eingebauten Sensoren eine Art Condition Monitoring für die angeschlossenen Geräte übernehmen und etwa den Energieverbrauch erfassen. Damit die Sensoren effizient eingesetzt werden können, müssen ihre Daten direkt im Steckverbinder umgewandelt und ausgewertet werden. Die damit einhergehende Anforderung an die Miniaturisierung und Integration von Sensoren ist der Schwerpunkt der F&E-Aktivitäten. So darf die Miniaturisierung nicht zu Einbußen bei der Qualität oder Lebensdauer führen. Zudem müssen die teils heterogenen Komponenten zu einem zuverlässig funktionierenden Gesamtsystem zusammengefügt werden. Sowohl bei der Miniaturisierung als auch bei der Integration setzen die Forscherinnen und Forscher auf innovative Lösungen aus dem breiten Technologie-Portfolio der Fraunhofer EMFT: Dazu gehört z.B. die Folientechnologie, die das Einbetten von Halbleitern und Sensoren in extrem enge Spalten bzw. kleine Volumina erlaubt. Damit kann die angestrebte Integration von Sensorik in Schnittstellen, wie Stecker oder Einpresskontakte, effizient unterstützt werden. Es wurde abteilungsübergreifend ein modulares Konzept entwickelt und teilweise erprobt, die Gehäuse von Steckverbindern im mechatronischen Sinn zu nutzen. Die gefundene optimierte Lösung ist ein Hybrid aus einer starren Leiterplatte mit der erforderlichen Rechentechnik, die für KI-Anwendungen vorbereitet ist, und einer flexiblen Leiterplatte mit hochdichten Verdrahtungsebenen zur Aufnahme der jeweils erforderlichen Sensorik.

Beides kombiniert sich zu einem Cyber-Physical Connector, der industriell unter der Bezeichnung SmeC (Smart mechanical electrical Connector) zu finden ist. Erste Tests dieser Systeme verliefen sehr erfolgversprechend. Begleitend wurde an einem durchgängigen Automatisierungskonzept gearbeitet. Die mögliche Kombination mit effizienten Rolle zu-Rolle-

Anlagen ermöglicht eine Automatisierung bei künftigen Generationen.

Die Grenzen, in denen ein geschädigter Stecker „Alarm“ schlagen soll, wurden in einem eigenen Arbeitspaket „Monitoring Hochzuverlässiges Bordnetz“ evaluiert. Dazu erarbeiteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Grundlagenmodell, welches einen weiten Bereich von Temperaturen (RT, bis 120°C), relativen Feuchtigkeiten (20%r.H. bis 85%r.H.), Kontaktkräften (0,1-fach bis 3-fache Normallast) und Automobil-relevanten Bewegungsfrequenzen und Auslenkungen abdeckt und die Abschätzung eines Worst-Case Szenarios erlaubt. Begleitend wurden kritische Positionen der beiden Kontaktstücke eines Steckverbinders (Messer und Tulpe) relativ zueinander intensiv untersucht. Es konnten Schädigungsfenster ermittelt werden, in denen die Materialzerrüttung intensiv auftritt sowie Bereiche, die dem adhäsiven Verschleiß zuzuordnen sind.

Beide Effekte zusammen haben wesentlichen Einfluss auf die Basiseigenschaft eines Power-Steckverbinders: „Sichere Übertragung von hohen Strömen“.

Das Projekt wird vom Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie unter dem Förderkennzeichen AZ 43-6622/532/4 gefördert.

### Next Generation Computing: Sensor statt Cloud

Wie kann Computing zukünftig statt in der Cloud nahe am Sensor bewerkstelligt werden? Und wie kann in einem solchen Set-up maschinelles Lernen auf verteilten Systemen stattfinden? Mit diesen hochaktuellen Fragestellungen beschäftigen sich Forschende der Fraunhofer EMFT gemeinsam mit elf weiteren Fraunhofer-Instituten im Innovationsprojekt SecLearn. Im Zentrum stehen dabei die Aspekte neuromorphe, energieeffiziente Hardwarekomponenten und KI-Algorithmen für dezentrales Lernen sowie der Datenschutz.

Heutige auf von-Neumann basierte Computer Architekturen haben einen enorm hohen Energieverbrauch, sodass eine massive Ausweitung des Computings in die Edge nicht sinnvoll wäre. Ziel der Forschenden ist es nun, im Rahmen des Projekts neuromorphe Beschleuniger mit einer um Größenordnungen geringeren Leistungsaufnahme zu entwickeln und für KI Algorithmen zu optimieren. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen auf Basis dieser Hardware zwei Use Cases implementiert werden: (I) Spracherkennung (Keyword-Spotter + Audio-Eventdetektor) und (II) Bilderkennung (Automotive bzw. autonomes Fahren). Das maschinelle Lernen soll hierbei in den verteilten Systemen stattfinden, ohne dass die Grunddaten in die zentrale Cloud gegeben werden müssen. Auf diese Weise können sensible Daten in den lokalen Systemen verbleiben und der Datenschutz ist besser gewährleistet.

Die Arbeiten sollen in den kommenden Jahren als Fraunhofer-Leitprojekt weitergeführt werden.



Prototyp eines auf dem kapazitiven Messprinzip basierenden Feinstaubpartikelsensors für die Messung von PM10, PM2.5 und PM1.0 Partikeln. Es besteht aus einem Fluidik-Modul inklusive Filter, Micro-Pumpe und Fluidikkanal zur Aerosol Zufuhr und aus dem Sensormodul zur Detektion der Partikel.

### Europäische Pilotlinie für multifunktionale elektronische Systeme

Europa und vor allem Deutschland besitzen in der Mikroelektronik besondere Stärken in der Automobil-, Energie-, Sicherheits- und Industrieelektronik. Im EU-Projekt EuroPAT-MASIP bündeln Partner und Partnerinnen aus neun Ländern ihr Know-how, um strategische Grundbausteine für die Entwicklung innovativer und komplexer Elektroniksysteme zu legen. Dies soll die Wettbewerbsfähigkeit von Europas Mikroelektronikindustrie im weltweiten Vergleich sichern und deutlich steigern. Die Schwerpunkte des deutschen Konsortiums liegen dabei auf multifunktionalen Elektroniksystemen, energiesparender Leistungselektronik, Design komplexer Systeme sowie innovativen Produktionstechnologien.

Die Fraunhofer EMFT demonstriert im Rahmen des Projekts die Möglichkeit, Pick&Place Prozesse mit Selbstassemblierung durchzuführen. Die Forscherinnen und Forscher passen dazu die Benetzungseigenschaften von Oberflächen mit Hilfe von Niederdruck-Plasma an: Metallflächen werden hydrophil, während die umgebenden Bereiche aus Polyimid hydrophob werden. Im Produktionsprozess werden die Chips dann durch eine Flüssigkeit auf die (metallischen) Zielbereiche justiert.

Das Vorhaben wird unter dem Förderkennzeichen 737497 im Rahmen der ECSEL-Initiative durch die EU und mit dem Förderkennzeichen 16ESE0260S durch das BMBF gefördert.

### Datenraten im Turbo-Modus

Datenraten bis in den TBit/s Bereich – das ist das ehrgeizige Ziel des internen Fraunhofer-Projekts EOS. Um sich solch extrem hohen Datenraten anzunähern, möchte das Forschungsteam aus den Instituten Fraunhofer HHI, Fraunhofer IIS und der Fraunhofer EMFT mehrere 56 Gbit/s schnelle, digital-elektrische Nachrichtensignale direkt und ohne leistungshungrige Signalprozessoren (DSP) in ein mehrstufiges, optisch komplexes Modulationssignal konvertieren.

Dazu verheiraten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die bisher unabhängig voneinander entwickelten optischen Modulator- und elektrischen Treiber-Komponenten zu einer eng verzahnten und exakt aufeinander abgestimmten funktionalen Einheit. Mit Indium Phosphid (InP) für den photonischen IC (PIC) und der gegenüber SiGe verlustleistungärmeren 22 nm FDSOI CMOS Elektronik werden die effizientesten und schnellsten jeweilig verfügbaren Materialsysteme heterogen in einem neuartigen modularen Aufbau zu einem neuen elektro-optischen (e/o)-Subsystem zusammengefügt.

Hauptaufgabe des Fraunhofer EMFT-Teams ist es, feine Metallstrukturen auf sehr dünnen, flexiblen Folien substraten herzustellen und die InP- sowie Silizium 22nm FDSOI-ICs zusammen mit mehreren anderen Komponenten in sehr anspruchsvollen Abständen zu integrieren. Außerdem haben die Forschenden die thermische Zuverlässigkeit des modularen Integrationsdesigns mithilfe von FEM-Simulationen (Finite-Elemente-Methode) detailliert analysiert. Hinzu kommen Analysen zur ESD-Belastung und Festigkeit bei der Montage und im Test.

### Hochleistungsmodul für das Internet of Things

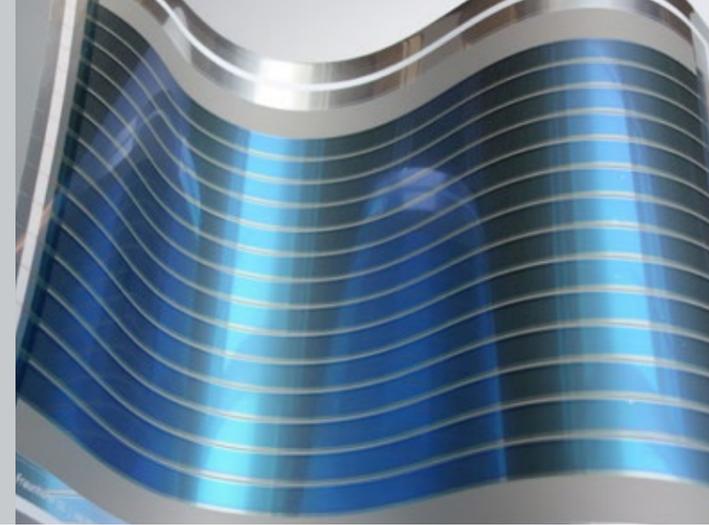
Wie lässt sich die Vision einer hochvernetzten Gesellschaft mit minimalen Auswirkungen auf zukünftige Energieressourcen realisieren? Eine mögliche Antwort liefert das Fraunhofer-Leitprojekt „Towards Zero Power Electronics“. Neun Fraunhofer-Institute bauen in dem Vorhaben eine Technologie- und Methodikplattform zur Realisierung von hochintegrierten, extrem energieeffizienten Modulen für das „Internet of Things“ (IoT) auf.

Das ehrgeizige Ziel der Partner ist es, den Energie- und Ressourcenbedarf von Elektroniksystemen äußerst nachhaltig zu minimieren. Erreicht werden soll dies durch disruptive, international wegweisende Innovationen auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette: Von den Komponenten (z.B. Funk-Transceiver, Sensoren und Energiespeicher) über die Zusammenführung zu einem System (Modularisierung, Integrationsverfahren) bis hin zu den verwendeten Netzwerktechnologien. Im Rahmen dieses Projektes wird an der EMFT ein mikro-systemtechnisch realisierbares gravimetrisches Messprinzip zur Partikelmassenmessung in einem hochintegrierten CMOS MEMS Sensor mit einer extrem rauscharmen Auswerteelektronik umgesetzt. Eine bedarfsgesteuerte Medienzufuhr durch eine Mikro-Aktorik wird die Ansprechzeit und somit den Leistungsverbrauch des Partikelsensors deutlich reduzieren. Dieser Sensor wird somit mobile und autonome Anwendungen für die Luftgüteüberwachung unterstützen.

Die beteiligten Partner bringen ein großes interdisziplinäres Kompetenzspektrum ein, das von Halbleitertechnologien über Designmethoden und Integrationstechniken bis hin zur umfassenden systemischen Effizienzbetrachtung reicht.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Lösungen sollen mithilfe der Technologieplattform auch Industriekunden auf schnellem Wege zugänglich gemacht werden.

Das Vorhaben ist ein Fraunhofer-Leitprojekt, es wird direkt vom Fraunhofer-Vorstand unterstützt und gefördert.



Flexible Solarzellen von der Rolle

ProjektpartnerInnen: Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik (ESK), Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF), Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IIBS), Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen Entwurfsautomatisierung (IIS-EAS), Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme (IPMS) Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie (ISIT), Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)

### Großflächige Leiterbahnmuster für die Photovoltaik

Um die Entwicklung von Solarmodulen mit höherer Effizienz und neuen Eigenschaften wie optischer Transparenz oder mechanischer Flexibilität voranzutreiben, arbeiten Forschende der Fraunhofer EMFT und des Fraunhofer für Solare Energiesysteme ISE im Projekt LEO (Plattform-Technologie zur ressourcenschonenden Fertigung von Leiterbahnen auf großflächigen mit Elektronik bestückten Oberflächen) an einem Verfahren, das eine ressourcenschonende und kosteneffiziente Herstellung von großflächigen Leiterbahnmustern ermöglicht. Solche Leiterbahnmuster werden auch für Solarzellen als elektrische Kontakte zur Abführung des Fotostroms benötigt.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen eine dünne laserstrukturierte Aluminiumschicht als Maskierung für die galvanische Abscheidung der elektrischen Leiterbahnen. Der Prozess ist nicht nur kosteneffizient, sondern auch umwelt- und ressourcenschonend: Aluminium lässt sich relativ leicht aus dem Abwasser filtern und die geringe Menge, die bei dem Prozess anfällt, kann man vollständig recyceln.

Mit der Technologie lassen sich biegsame und transparente organische Solarzellen im Rolle-zu-Rolle-Verfahren herstellen, die in unterschiedlichste Anwendungen integrierbar sind. So konnte das Team mit der neu entwickelten Prozessfolge bereits 20 µm breite, galvanisch verstärkte Leiterbahnen auf Foliensubstraten für flexible organische Solarzellen herstellen. Ein zweites Anwendungsszenario zielt auf die Herstellung neuartiger, hocheffizienter Hetero-Junction-Solarzellen ab: Die im LEO-Verfahren entwickelte kalte Metallisierung könnte deren Herstellung künftig deutlich kostengünstiger machen.

Das Projekt wird über das Fraunhofer-interne Programm WISA gefördert.

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

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

Die bisher verwendeten Ansätze zu Überwachung von Oberflächen und Objekten basieren auf Einzellösungen von Taktil- bzw. Proximity-Sensoren mit unterschiedlichen physikalischen Wirkprinzipien. Hierbei haben sich jeweils kapazitive Verfahren bzw. ultraschallbasierte Verfahren als am geeignetsten herausgestellt. Derzeitige Treiber der Sensorentwicklung sind die Erfassung einer hohen multimodalen Informationsdichte mittels miniaturisierter Sensoren und die Echtzeit-Reaktion des Gesamtsystems für den Einsatz in der Robotik, der Prothetik und des Verbrauchermarkts. Die technische Abbildung der menschlichen Hand und die damit möglichen flexiblen Greifprozesse („reaktives Greifen“) sind hierbei Schlüsselkompetenzen für die Fertigungsindustrie und Medizintechnik. Anforderungen der MMI an eine energieeffiziente drei-dimensionale Erfassung mit steigender lateraler (< 700 µm) und axialer (< 1 mm) Auflösung sowie schneller Signalverwertung (> 20 Hz) sind jedoch mit den derzeit verfügbaren Lösungen nicht abbildbar.

Das Projekt „ProtaktiUS“ adressiert diese wachsenden Marktanforderungen im Bereich der taktilen Proximity-Sensorik und stellt eine innovative modularisierte MEMS-Technologie- und Sensorplattform für ein neues Geschäftsfeld in der Fraunhofer Gesellschaft bereit. Forschende der Fraunhofer EMFT arbeiten dabei gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IPMS, IKTS und IFF an der erstmaligen Chip-Integration hochauflösender kapazitiver und ultraschallerzeugender Elemente auf der CMOS-kompatiblen Plattform. Im Rahmen des Projekts entsteht dazu ein Demonstrator für den Anwendungsfall des reaktiven Greifens in der Robotik zur Handhabung und zur Identifikation unterschiedlich beschaffener Objekte nachgewiesen.

Diese Innovation der entwickelten Modulplattformen MEMS, Elektronik und Signalverarbeitung soll zukünftig den Zugang zu weiteren Applikationsfeldern in industriellen, medizintechnischen, Consumer-orientierten und sicherheitsbezogenen Sektoren eröffnen.

Das Vorhaben wird durch das Fraunhofer-interne MAVO-Programm gefördert.

DIENSTLEISTUNGS- UND  
TECHNOLOGIEANGEBOT



Wartung und Kontrolle einer Reinraumanlage

## FRAUNHOFER EMFT DIENSTLEISTUNGSANGEBOT

### Studien

- Technologieanalysen
- Machbarkeitsstudien
- Gutachten im Schadensfall

### Modellierung & Simulation

- Gesamtprozess
- FEM Simulation
- Systemverhalten

### Kundenspezifische Entwicklung

- Vorentwicklung
- Einzelprozessmodule und Gesamtprozess
- ASIC Design
- Komponenten und Systeme

### Prototypen & Kleinserienproduktion

- Systementwurf
- Layout
- Gerätekonstruktion und -bau

### Analyse & Test

- Risiko- und Problemanalyse
- Entwicklung von Testmethoden und -geräten
- ESD-Qualifikationstests
- Analyse Integrierter Schaltungen

### Weiterbildung

- Seminare und Schulungen
- Fachtagungen

### F&E im Rahmen öffentlich geförderter Projekte

- Verbundprojekte, finanziert aus öffentlichen und Industriemitteln z.B. durch BMBF, Land oder EU
- Koordination industrieller Projektkonsortien
- Beratung für nationale und EU-Forschungsanträge

### Start-Ups & Joint-Ventures

- Unternehmensausgründungen zur Kommerzialisierung von Produkten und Systemen
- Beteiligung industrieller Partner über Joint-Ventures

## FRAUNHOFER EMFT TECHNOLOGIEANGEBOT

### 200 mm - CMOS Technologie

- Nasschemische Reinigungs- und Ätzprozesse
- Photolithographie
- Epitaxie (Si, SiGe)
- Ionenimplantation und Annealing
- Dielektrische Schichten (thermische Oxidation, LPCVD Abscheidung von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , PECVD von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Si}_3\text{N}_4$ )
- Hochleitende Schichten (Al/Si, Ti, W, dotiertes Poly-Si)
- Plasmaätzprozesse (Si,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , Al, W)
- Galvanik (Cu, Sn)

### 200 mm - Lithographiecluster

- Proximitybelichtung
- Beidseitige Belichtung
- Kontaktbelichtung
- Elektronenstrahlbelichtung
- Ionenstrahl schreiben mit FIB
- i-Line Stepper
- Nanoimprint

### Si-MEMS Technologie

- Reinraumtechnik für 150 mm Wafer (Silizium, Keramik, Glas)
- Metallbeschichtung (Cu, Ti, TiW, Pt, Au, Ni)
- Dielektrische Schichten ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , SiC, Polyimid)
- Waferbonden, Verbindungstechnik durch Kleben
- Strukturierung mit Maskaligner 2  $\mu\text{m}$

### Substratbearbeitung

- Wafer-Schleifanlagen (grinding)
- Spin-Ätzprozesse (spin etching)
- Chemomechanisches Polieren (CMP)
- Waferreinigung
- Berührungslose Wafer-Dickenmessung
- Biege- und Bruchtestgeräte für dünne Substrate oder Chips

### Analytik & Materialcharakterisierung

- Rasterkraftmikroskop (AFM): Messungen der Oberflächenrauigkeit und Stufenmessungen bis max. 6  $\mu\text{m}$
- Rasterelektronenmikroskopie (REM) inkl. Energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX)
- Inline-REM (Schottky Emitter) und Focused Ion Beam (Ga-FIB) mit EDX und Gasinjektionssystem (GIS)
- Spektralellipsometer: Messung dünner Schichten und durchsichtiger Materialien
- Spektrometer: Messung der Schichtdicke von Silizium (dicke Schichten) und infrarotdurchlässiger Schichten
- Zielschleifgerät zur Probenpräparation (Genauigkeit:  $\pm 2 \mu\text{m}$ )
- Röntgendiffraktometrie (XRD): Messungen des Silizium-Germanium-Gehalts
- CVD-Epitaxieanlage: Qualitätskontrolle hochreiner Gase
- Plasmaunterstützte Ätz- und Abscheideanlagen zum Test von Gasgemischen
- Waferprober für elektrische Charakterisierung
- Messung der Minoritäts-Ladungsträger-Lebensdauer in Halbleitern durch „Microwave Detected Photoconductivity“ (MDP)



8" Siliziumwafer mit low-noise Varaktordioden

### Mikrobiologisches Labor

- Spektralfluorimetrie zur qualitativen und quantitativen Analyse von fluoreszenten Proben, kinetische Messungen
- Absorptionsspektroskopie (UV/VIS) zur qualitativen und quantitativen Analyse
- Durchlicht- und Phasenkontrastmikroskop mit Mikroskopkamera
- Epi-Fluoreszenzmikroskop mit Mikroskopkamera
- Rotations-Vakuum-Konzentrator zur schnellen und schonenden Trocknung wässriger, säurehaltiger und lösungsmittelhaltiger Proben

### Bearbeitung großflächiger Elektronik & flexibler Substrate auf Folienbögen & im Rolle-zu-Rolle-Verfahren

- Heißwalzenlaminator für beidseitige Laminierung
- Digitales Rolle-zu-Rolle Direktlithografie-System (LED DLP)
- Sputtersystem für beidseitige Metallisierung von PET und PI Folien mit Chrom und Kupfer
- UV Lithographie mit hoher Auflösung (5 - 15 µm Strukturbreite)
- Nasschemische Ätzverfahren zur Strukturierung von Metallen
- Siebdruck auf Folienbögen
- Siebdruck im Rolle-zu-Rolle-Verfahren
- Galvanische Abscheidung von Kupfer auf vormetallisierten Folien
- Laserbearbeitung zum Schneiden, Markieren oder Bohren verschiedener Materialien
- Plasmaprozess zur Oberflächenkonditionierung und zum reaktiven Ätzen von Polymeren mit Stickstoff, Sauerstoff und CF<sub>4</sub>
- Folienmontage und -verbindungstechnik

### Analyse & Test

- Halbautomatische Waferprober bis 300 mm mit Thermochuck
- Halbleiterparameteranalysatoren
- Netzwerkanalysatoren im Megahertz-Bereich bis 110 Gigahertz und Simulator Agilent ADS
- Erzeugung und Messung von Piko- und Nanosekunden-Hochstromimpulsen
- 62 Gigahertz-Echtzeitoszilloskop
- Electrostatic Discharge Charakterisierung und Belastung (Automatischer 2-Pin Tester, CDM, HBM, TLP, VF-TLP, CC-TLP)
- Robustheitsmessplatz für EOS/ESD
- Dauerbiegetester für flexible und starr-flexible Aufbauten
- Physikalische Analyse von integrierten Schaltungen
- Hochaufgelöste Röntgentomographie und -laminographie für Bausteine und Leiterplatten
- ESA - Accepted Qualification Lab
- Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit EDX-Analyse
- Konfokales 3D-Laserscanningmikroskop
- Zug/Druck Material Prüfmaschine mit Klimakammer und Videoerfassung
- Elektrodynamische Schwinganlage mit dreiachsiger Aufspannvorrichtung
- Umweltsimulationslabor
- Kontaminationsmessgerät zur Erfassung von ionischen Verunreinigungen
- Reibkorrosionsuntersuchungen an lösbaren Verbindungen
- Zwick-Universalprüfmaschine mit Heiz- und Kühleinrichtung
- CC-EAL6 zertifiziertes Sicherheitslabor
- Partielle Gehäuseöffnung und Rückdünung mechanisch und mit Laser
- Physikalische Analysen Integrierter Schaltungen
- Nanoskalige Rückpräparation
- Nanoskaliges Chip Scanning
- Layoutextraktion

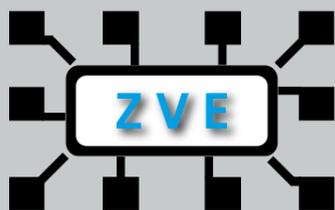
### Praxisräume zur Weiterbildung

- Lernlabor Crimpen
- Lernlabor Kabelbaum
- Labor Nacharbeit und Reparatur von Baugruppen
- Löt Schulungs-Zentrum mit 20 vollausgestatteten Arbeitsplätzen
- ESA STR-258 Skills Training School

ZENTRUM FÜR VERBINDUNGSTECHNIK  
IN DER ELEKTRONIK ZVE



Fraunhofer EMFT in Oberpfaffenhofen,  
Gebäude des Zentrums für Verbindungstechnik in der Elektronik ZVE



Schulungsraum mit 16 vollausgestatteten Arbeitsplätzen  
für praktische Handlötarbeiten

ZVE-Lötmobil für virtuelle Praxisschulungen



## ZENTRUM FÜR VERBINDUNGSTECHNIK IN DER ELEKTRONIK ZVE

**Am Zentrum für Verbindungstechnik in der Elektronik ZVE der Fraunhofer EMFT in Oberpfaffenhofen lehren Experten und Expertinnen seit über 30 Jahren wichtiges Know-how rund um die elektrische Verbindungstechnik. Der Schwerpunkt liegt auf der beruflichen Weiterbildung von QS-Verantwortlichen, Facharbeiterinnen und Werkern.**

Auch in Zeiten von Industrie 4.0 ist gute Handarbeit gefragt: Löten, Einpresstechnik und Crimpen haben nach wie vor ihren festen Platz in der Verbindungstechnik elektronischer Baugruppen. Diese Verfahren garantieren eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit der elektrischen Verbindungen. Das Zentrum für Verbindungstechnik ZVE in Oberpfaffenhofen hat sich mit seiner mehr als 30-jährigen Erfahrung als Anlaufstelle für Schulung und Weiterbildung etabliert.

Das moderne Schulungskonzept des Teams am Standort Oberpfaffenhofen trägt der Tatsache Rechnung, dass Lernen und Arbeiten in der heutigen Berufswelt kaum mehr voneinander zu trennen sind. Auch in klassischen Produktionsbetrieben haben »Wissensarbeitende« längst Einzug gehalten. Die kontinuierliche Weiterbildung ist nötig, um auf dem aktuellen Stand der Technik zu bleiben. Um die Wissensvermittlung effektiv und praxisnah in den Arbeitsalltag zu integrieren, setzt das Schulungskonzept des ZVE ergänzend zu klassischen Seminarformen auf flexible Formate wie Webinare oder Apps, die Informationen bedarfsorientiert abrufbar machen. Zur Vor- oder Nachbereitung der Seminare kommen iAcademy-Lern-Apps der Fraunhofer-Academy zum Einsatz. Das Themenspektrum der Angebote reicht von Herstelltechnologien, Informationen zu Installation und Produktion (Löten, Crimpen und Einpresstechnik) bis hin zu Nacharbeit- & Reparatur- oder Wartungsvorgängen.

Das vermittelte Wissen fließt direkt aus den aktuellen F&E-Aktivitäten zur Fertigung elektronischer Baugruppen und der elektrisch-mechanischen Anschlusstechnik (wie Schrauben, Stecken, Einpressen, Schneidklemm-Verbindungen und viele weitere) in die Schulungsinhalte ein.

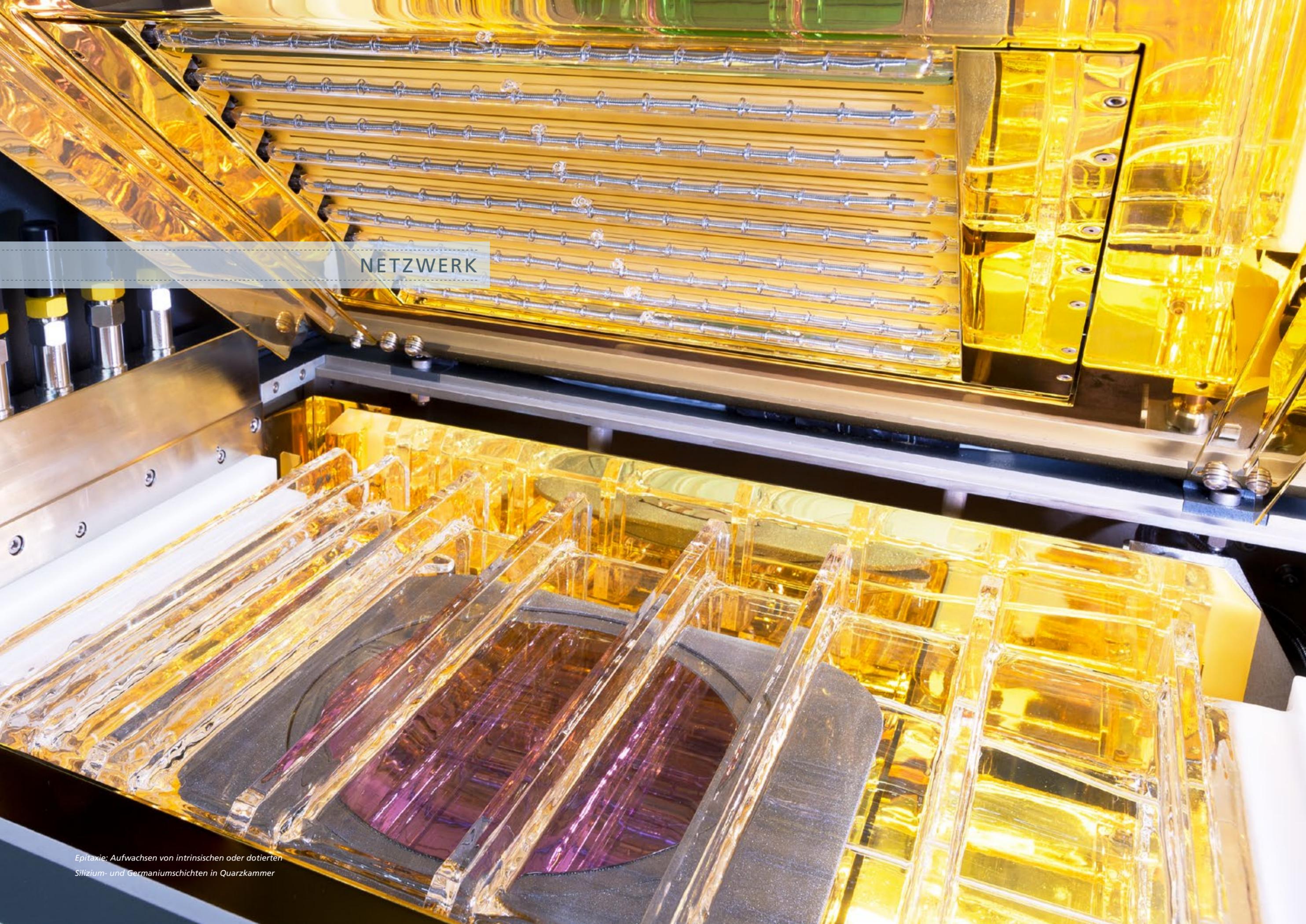
Neben Schulungen und Trainings gehören die Prozessqualifizierung, Prozessaudits und die Schadensanalytik zum Dienstleistungsangebot. Dafür stehen eine 2D- und CT-Röntgenanlage, ein Rasterelektronenmikroskop, Temperaturwechsel- und Klimaprüfschränke, Reibkorrosionsteststände, Hochstrom-Belastung für Kabelbäume sowie ein gut ausgestattetes Metallographielabor zur Verfügung. Durch langjährige Kontakte zur Automobil- und der Luft- und Raumfahrtindustrie zählt die Qualifizierung elektronischer Baugruppen unter schwierigen Umgebungsbedingungen mit zu den Kernkompetenzen des Schulungszentrums. In den Zeiten der COVID-19 Pandemie konnten durch gezielte Hygienekonzepte und Onlineschulungen die Weiterbildungen in allen essentiellen Bereichen erfolgreich fortgesetzt werden. Mit dem neu konzipierten Lötmobil waren sogar aus der Ferne überwachte Praxisschulung möglich: Die voll ausgestattete mobile Lötstation wird beim Kunden über einen 220V-Standardanschluss in Betrieb genommen. Die Live-Präsentation des Trainers kann zeitgleich zur eigenen Übungseinheit verfolgt werden, vier Beobachtungskameras ermöglichen zudem „Blickkontakt“ aus unterschiedlichen Positionen.

Die F&E-Aktivitäten des ZVE stehen ganz im Zeichen des Internet of Things (IoT): Denn in vernetzten Umgebungen sind Konnektivität und Zuverlässigkeit der elektronischen Schnittstellen ein absolutes Muss – gerade in sicherheitssensiblen Bereichen wie etwa dem autonomen Fahren.

### Schulungen und Weiterbildung nach höchstem Standard:

- Das ZVE ist sowohl von der European Space Agency ESA (vgl. ESA STR-258), als auch von der Association Connecting Electronics Industries IPC als Ausbildungs- und Trainingszentrum für hochzuverlässige Löt- und Crimpverbindungen akkreditiert.
- 2019 hat das Team des Schulungszentrums das turnusmäßige Audit als ESA-akkreditiertes Schulungszentrum mit Bravour bestanden. Zwei der ZVE-Trainer verfügen über die Zertifikation als Instructor Cat.I., der höchsten Ausbildungsstufe nach ESA-Kriterien.
- Das ZVE ist Teil des modularen Schulungssystems des Ausbildungsverbundes Löttechnik Elektronik (AVLE) und bietet die Ausbildung zur Fachkraft für Löttechnik an.
- Für alle am ZVE angebotenen Schulungen verfügen die Trainer zudem über die von der IPC anerkannte Qualifikation als Master-Trainer.





NETZWERK

*Epitaxie: Aufwachsen von intrinsischen oder dotierten  
Silizium- und Germaniumschichten in Quarzkammer*

---

## FORSCHUNGSFABRIK MIKROELEKTRONIK DEUTSCHLAND (FMD)

---

### **One-Stop-Shop: Von den Grundlagen bis zur kundenspezifischen Produktentwicklung**

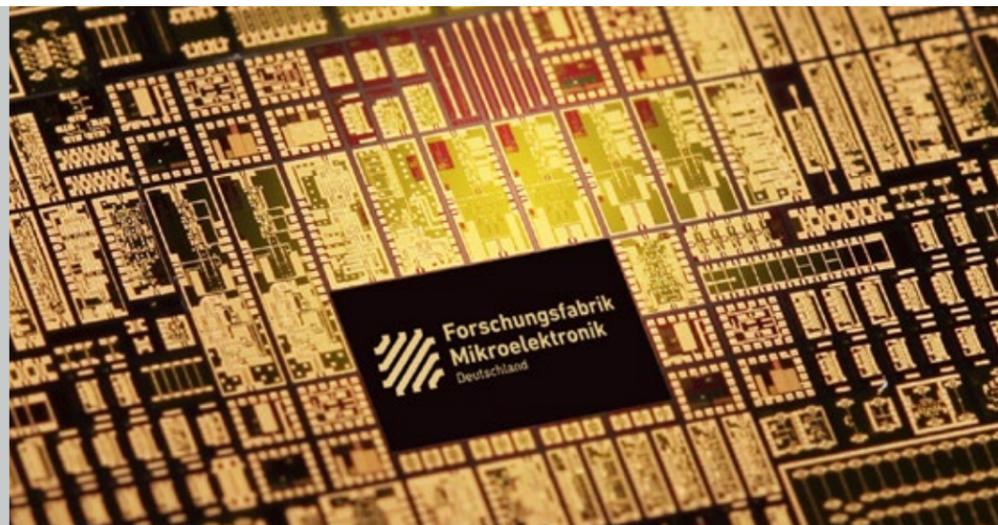
Die Fraunhofer EMFT bildet zusammen mit anderen 12 Mitgliedern seit April 2017 die standortübergreifende Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Dieser Forschungsverbund ist mit über 2.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik und dem Leibniz FBH sowie IHP der größte und weltweit führende FuE-Zusammenschluss für Anwendungen und Systeme der Mikro- und Nanoelektronik.

### **Verstetigung der FMD**

Die FMD mit dem Ziel, Forschung und Entwicklung in Deutschland über mehrere Standorte hinweg zu betreiben, befand sich bis zum Jahr 2020 in der Aufbauphase, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit rund 350 Millionen Euro unterstützte. Hierbei handelte es sich vor allem um die Modernisierung der Forschungsausstattung der 13 beteiligten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft. Mit einem neu aufgestellten Konzept zum nachhaltigen Betrieb startet die FMD nach dem Ende der Projektlaufzeit in die produktive Phase.

### **Vielseitige Kooperationsmöglichkeiten**

Neben dem Leistungsangebot für ihre Kunden aus der Wirtschaft, bietet die FMD ebenfalls unterschiedlichste Kooperationsmöglichkeiten für ihre Partner in der Wissenschaft. Hier sind die Angebote hervorzuheben, die direkt auf eine kooperative Bearbeitung von Forschungsfragestellungen abzielen, wie gemeinsame Arbeit in Verbundprojekten und den Betrieb der gemeinsamen Labore, den sogenannten Joint Labs. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Institute der FMD zu beauftragen, spezielle Konzepte aus der Grundlagenforschung auf den Anlagen der Institute hinsichtlich ihrer Eignung in stärker anwendungsorientierten Umfeldern zu erproben. Als Beispiele für Kooperation zwischen der FMD und Universitäten sowie Hochschulen können das Projekt ASCENT+, die Forschungskooperation »iCampus« oder das Joint Lab Smart-Beam-Lab in Duisburg genannt werden.



---

## LZSiS – LEISTUNGSZENTRUM »SICHERE INTELLIGENTE SYSTEME«

---

Gebündelte Kompetenzen und vielseitiges Know-how für Sichere intelligente Systeme: dafür steht das LZSiS! Als gemeinsame Initiative von sechs Fraunhofer-Instituten (AISEC, EMFT, IBP, IGCV, IKS, IVV), der Technischen Universität München, der Universität der Bundeswehr sowie der Hochschule München verbindet das LZSiS universitäre und außeruniversitäre Forschung aus den relevanten Fachdomänen, um die Digitalisierung für Kundinnen und Kunden verschiedener Branchen nutzbar zu machen.

Das LZSiS begleitet Transformationsprozesse in allen Phasen, von der Konzeption bis hin zur Implementierung digitaler Prozessketten oder neuer Geschäftsmodelle. Besonderes Augenmerk liegt auf der umfassenden Sicherheit der Systemlösungen: Sicher vom Sensor in die Cloud. Die übergeordnete Zielsetzung besteht darin, in Interaktion mit Partnern und Kundinnen Digitalisierungspotentiale in den unterschiedlichen Branchen aufzuzeigen und sicher in die Praxis zu übersetzen. Durch die synergetische, fachdomänen- und branchenübergreifende Zusammenarbeit sowie durch ein starkes Netzwerk werden maßgeschneiderte sichere Systemlösungen bereitgestellt. Die Zusammenarbeit mit dem LZSiS als ebenso neutrale wie herstellerunabhängige Partnerinstitution ermöglicht es Unternehmen – von Start-ups über KMUs bis hin zum Großkonzern – im Rahmen von Förderinitiativen oder Direktaufträgen die Potentiale der Digitalisierung zu identifizieren und gemäß ihren eigenen Anforderungen sicher umzusetzen. Das Leistungsangebot reicht dabei beispielsweise von innovativen, intelligenten Sensorsystemlösungen bis hin zum unternehmensweiten Cyber-Security-Konzept, kundenspezifischen Workshops oder auch Weiterbildungen. Das Leistungszentrum bietet umfangreiches technologisches Know-how u.a. aus den Bereichen Cyber und Hardware Security, innovative Sensorik sowie intelligente Vernetzung und KI. Überdies steht für Projektbeteiligte eine einzigartige Forschungsinfrastruktur (z.B. Cyber Security Labor, Reinraumumgebung etc.) zur Verfügung. In Verbindung mit exzellentem Branchenwissen u.a. in den Anwendungsfeldern Lebensmittel und Verpackung, Gießereiwesen sowie Baugewerbe ist das Leistungszentrum ein umsetzungsstarker Partner in Digitalisierungsfragen.

### **Das Kompetenzportfolio der Forschungsplattform umfasst:**

- Konzeption, Entwicklung und Aufbau von vernetzten Sensorknoten zur Datenerfassung für kundenspezifische Anwendungen
- Vernetzung von eingebetteten Systemen, wie Sensorknoten und Steuergeräten, durch drahtlose und leitungsgebundene Kommunikationssysteme
- Aufbau von sicheren cloudbasierten Daten- und Steuerungslösungen
- Konzept und Aufbau von Echtzeitkommunikationssystemen im industriellen Umfeld
- Konzeption, Evaluierung und Absicherung von neuen Kommunikationsarchitekturen und -technologien für echtzeitfähige, zuverlässige und sichere Fahrzeugumweltvernetzung
- Test von Konformität, Performance und Security in dedizierten Testumgebungen und Kundenszenarien

---

---

## UNIVERSITÄTEN

---

---



Prof. Dr. Marc Tornow

### Technische Universität München (TUM)

---

Im Frühjahr 2016 konnte Prof. Marc Tornow dafür gewonnen werden, die Abteilung Siliziumtechnologien und Devices gemeinsam mit Prof. Ignaz Eisele (seit 2020 in Rente) zu leiten. Marc Tornow hält an der TU München die Professur für Molekularelektronik und forscht an nanoskaligen Bauelementen der molekularen Elektronik und Biosensorik.

Mit dem Lehrstuhl für Technische Elektrophysik gibt es eine enge Zusammenarbeit mit Dr. Gabriele Schrag und Prof. Gerhard Wachutka. Dortige Forschungsschwerpunkte sind die physikalisch basierte Modellierung, die numerische Simulation sowie die Charakterisierung und Diagnostik von Fertigungsprozessen und Betriebsverhalten mikrostrukturierter Bauteile. Durch gemeinsame Forschung soll die Kompetenz der Fraunhofer EMFT auf diesem Gebiet gestärkt werden. Gemeinsame Doktorarbeiten auf verschiedenen Themengebieten in der Vorfeldforschung bereichern weiter die Zusammenarbeit.



Prof. Dr. Joachim Wegener

### Universität Regensburg

---

Die Fraunhofer EMFT hat eine langjährige Kooperation mit dem Institut für Analytische Chemie, Chemo- und Biosensorik der Universität Regensburg. Seit 1. Januar 2017 leitet Prof. Joachim Wegener in Regensburg die Fraunhofer EMFT Gruppe Zellbasierte Sensorik (ZBS). Joachim Wegener ist Professor für Bioanalytik und Biosensorik und arbeitet mit seiner Gruppe schwerpunktmäßig an der Entwicklung physikalischer Sensoren, mit denen es möglich ist, lebende Zellen nichtinvasiv und labelfrei zu untersuchen. Es ist das Ziel dieser neuen Initiative, die mikro- und polymerelektronischen Kompetenzen der Fraunhofer EMFT für die Zellbasierte Sensorik nutzbar zu machen und damit neue Anwendungsfelder in Bioanalytik und Biotechnologie zu erschließen.

---

---

### Technische Universität Dresden

---

---

Seit 2013 zählt die TU Dresden zu den elf deutschen Exzellenz-Universitäten. Die Honorarprofessur von Prof. Peter Kücher an der Fakultät Elektrotechnik bildet die Basis für eine Kooperation zwischen der Fraunhofer EMFT und der Elbuniversität. Prof. Peter Kücher beleuchtet in seinen Lehrveranstaltungen am Institut für Halbleiter und Mikrosystemtechnik (IHM) schwerpunktmäßig den Zusammenhang zwischen technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in der Mikroelektronik. Der globalisierte Wettbewerb erfordert eine Spezialisierung und Neusegmentierung der Wertschöpfungskette.

Aktuelle Trends in der Mikro-/Nanoelektronik – von »More Moore« bis hin zu »More than Moore« – stehen dabei im Fokus.

---

---

### Universität der Bundeswehr München

---

---

Zwischen der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Universität der Bundeswehr München und der Fraunhofer EMFT besteht eine intensive Zusammenarbeit – nicht zuletzt aufgrund der personellen Verzahnung: Seit 2012 lehrt neben Prof. Christoph Kutter (Professur für Polytronik) auch Prof. Linus Maurer (Professur für Integrierte Schaltungen und Elektronische Bauelemente) an der Universität. Die Anfänge der Kooperation gehen auf Prof. Ignaz Eisele zurück, der zum ersten Exzellenten Emeritus der Universität der Bundeswehr München ernannt wurde und bis 2020 bei der Fraunhofer EMFT das Geschäftsfeld Siliziumtechnologien und Devices leitete.

Aufgrund der komplementären Räume ergänzen sich die Fraunhofer EMFT und die Universität der Bundeswehr in idealer Weise. Die enge Verbindung der Universität mit der Fraunhofer EMFT zeigt sich auch durch die Zusammenarbeit im Bereich der modularen Integration innovativer und neuer Funktionalitäten und Komponenten in bestehende Silizium Standardtechnologien. Die Fraunhofer EMFT bringt dabei ihr Know-how im Bereich der Add-on Technologien und deren Kombination mit Standardtechnologien ein. Ziel des Vorhabens ist es, gemeinsam mit Industriepartnern und -partnerinnen neue Entwicklungen voranzutreiben – von der risikoreichen Forschung bis hin zur Produktreife und Umsetzung.



Prof. Dr. Peter Kücher



Prof. Dr. Christoph Kutter



Prof. Dr. Linus Maurer



Prof. Dr. Ignaz Eisele

NACHWUCHSFÖRDERUNG



Teilnehmerinnen des Girls'Day 2019



Eva-Maria Korek, ehemalige Masterandin @Fraunhofer EMFT

---

## STUDENTISCHE HILFSKRAFT AN DER FRAUNHOFER EMFT – LERNBEREITSCHAFT ALS ERFOLGSFAKTOR

---

Interview mit der ehemaligen Masterandin Eva-Maria Korek

---

**„Ich habe mich für eine Abschlussarbeit an der Fraunhofer EMFT entschieden, weil man hier die Möglichkeit hat, sowohl einen Einblick in die Forschung als auch in die Wirtschaft zu bekommen. Das hilft einem sehr bei der späteren Entscheidung, in welche Richtung man sich weiterentwickeln möchte.“**

**Was hast du bei der Fraunhofer EMFT gemacht?**

Eva: Ich habe meine Masterarbeit hier an der Fraunhofer EMFT in der Abteilung Siliziumtechnologien und Devices im Rahmen des EU-Projekts Smart Vista geschrieben. Mit seinem ganz konkreten Alltagsbezug fand ich das Vorhaben sehr spannend: Es geht darum, die häufigste Todesursache in Europa, kardiovaskuläre Erkrankungen, möglichst früh erkennen und quasi so verhindern zu können.

**Wie bist du zur Fraunhofer EMFT gekommen?**

Eva: Ich bin durch einen Kommilitonen zur Fraunhofer EMFT gekommen, der mir das Arbeitsumfeld hier sehr empfohlen hat. Dann habe ich mich zuerst als wissenschaftliche Hilfskraft (HiWi) in der Abteilung für Mikropumpen beworben. Für meine Masterarbeit wollte ich dann nochmal einen anderen Themenschwerpunkt kennenlernen und habe mich deshalb über die Onlineplattform in der Nachbarabteilung beworben. So bin ich zu meiner Masterarbeit gekommen.

**Was bietet die Fraunhofer EMFT Studenten und Studentinnen?**

Eva: Ich habe mich für die Fraunhofer EMFT entschieden, weil die Themenfelder hier sehr spannend sind und es quasi eine Kombination aus Wissenschaft und Wirtschaft ist. Das heißt, bei den Sachen, die man entwickelt, gibt es auch einen direkten Praxisbezug und potentielle Anwendungsfälle. Außerdem hat man natürlich den Vorteil, dass man auch ein kleines Einkommen erhält. Speziell bei dem EU-Projekt fand ich es zudem toll, dass man sehr gute Kontakte überall in Europa knüpfen konnte.

**Was ist dein Tipp für Studierende, die sich an der Fraunhofer EMFT bewerben wollen?**

Eva: Was euch hilft, wenn ihr euch hier als HiWi oder für eine Abschlussarbeit bewerben wollt, ist die Lernbereitschaft. Das ist viel wichtiger, als schon alles perfekt zu beherrschen. Ihr arbeitet hier in einem Team, bekommt Hilfestellung von eurer Betreuerin oder eurem Betreuer und auch genug Zeit euch einzuarbeiten. Wenn ihr das mitbringt, fehlt eigentlich nur noch die Bewerbung!

---

## KARRIERE AN DER FRAUNHOFER EMFT

---



Ich bin seit August 2020 in der Gruppe Analyse und Test als Werkstudent tätig. Meine Aufgaben sind sehr abwechslungsreich: Von Softwareentwicklung für Messplätze, Anforderungs- und Datenanalysen bis zu Tests im Labor. Aber auch in die Planung und Steuerung von Projekten werde ich mit eingebunden. Mir gefällt, dass man an der EMFT die Möglichkeit bekommt, viele eigene Ideen einzubringen. Von daher könnte ich mir sehr gut vorstellen, längerfristig hier zu bleiben.

*Igor Rzhin*



Ich bin noch nicht so lange an Bord: am 01. Dezember 2020 habe ich in der Abteilung Mikrosystems als Masterandin angefangen. Meine Masterarbeit befasst sich mit der Untersuchung der mechanischen Belastbarkeit von MEMS Aktoren. Meine Bilanz nach rund drei Monaten ist sehr positiv: Es ist schön, viele Freiheiten zu haben und die eigene Arbeit und Forschung mitgestalten zu können. Das Arbeitsklima gefällt mir auch sehr gut.

*Doris Zhou*



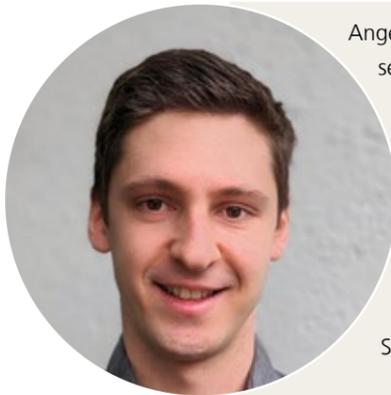
Seit dem 05. Oktober 2020 arbeite ich im Rahmen meines Praxissemesters in der Abteilung Mikrosystems. Meine Aufgabengebiete sind sehr vielfältig. Ich führe messtechnische Aufgaben durch, darf diese selbstständig auswerten und erstelle daraus kurze Berichte für interne Zwecke aber auch für Kundinnen und Kunden. Außerdem löte ich elektrische Bauteile und programmiere Gerätetreiber. Besonders gut gefällt mir, dass ich kleinere Projektaufgaben auch eigenständig übernehmen darf. Ich arbeite sehr gerne an der EMFT, da ich einen wirklich guten Einblick in die verschiedensten Themengebiete und Projekte bekomme und in die internen Abläufe an der EMFT eingebunden werde. Ich lerne so nicht nur fachlich eine Menge, sondern nehme darüber hinaus auch viele wertvolle Erfahrungen für mein späteres Berufsleben mit. Das habe ich vor allem meinen tollen Kolleginnen und Kollegen zu verdanken, die mich stets unterstützen und immer ein offenes Ohr haben, wenn ich Fragen habe. Mein nächstes Karriereziel ist mein Bachelor Abschluss.

*Jan Lützelberger*



Ich bin seit dem 20. April 2020 als wissenschaftliche Hilfskraft im Bereich Business Development beschäftigt. In meiner Arbeit an der Fraunhofer EMFT helfe ich dabei, ein neues Verfahren zur Strukturierung kupferbasierter Leiterbahnen für mikroelektronische Anwendungen zu entwickeln, welches sowohl Nachhaltigkeit als auch Wirtschaftlichkeit verbinden soll. Während meiner Zeit an der Fraunhofer EMFT habe ich bereits sehr viel Hilfsbereitschaft und Unterstützung durch meine Kolleginnen und Kollegen erlebt. Besonders gut gefällt mir das offene Miteinander, die gute Kommunikation und die flachen Hierarchien an der EMFT. Ich kann mir meine Arbeitszeiten flexibel einteilen und somit eine gute Balance zwischen Uni und Arbeit schaffen. Außerdem habe ich die Möglichkeit, von der großen Erfahrung eines internationalen und vielfältigen Teams zu lernen und bin dankbar, dass ich durch mein Team viel Feedback und Mentoring erleben darf. Mein nächstes Karriereziel ist mein Masterabschluss im Studiengang Management & Technology an der Technischen Universität München.

*Konstantin Hauser*



Angefangen habe ich im Juli 2019 als Werkstudent in der Abteilung Mikrodosiersysteme; seit Juli 2020 bin ich dort Masterand. In meiner Masterarbeit beschäftige ich mich mit den Leckraten von Silizium und Edelstahl Mikropumpen. Ich entwickle ein Modellsystem, welches es erlauben soll, anhand bestimmter Designparameter die Leckraten beschreiben und abschätzen zu können. Ich schätze die freundliche Atmosphäre an der EMFT sehr. Es ist spannend, in einem Team mit vielen kompetenten Kolleginnen und Kollegen arbeiten zu können. Außerdem bekommt man bei Fraunhofer einen guten Einblick in die „wirkliche Welt“ jenseits der „theoretischen Welt“ an der Universität. Die flexible Arbeitsweise und Arbeitszeiten kommen mir als Student auch sehr entgegen.

*Philipp Maier*



Im Rahmen meines Studiums habe ich am 01. Oktober 2020 meine Tätigkeit als Werkstudentin in der Abteilung Siliziumtechnologien and Devices begonnen. In meinem Team unterstütze ich bei Messungen am Waferprober und bei Schichtdickenmessungen im Reinraum. Außerdem führe ich Auswertungen mit Python durch und helfe dabei, die Ansteuerung einiger Maschinen zu automatisieren. Meine Arbeit an der Fraunhofer EMFT gefällt mir sehr gut, da es so viele unterschiedliche und spannende Aufgabenbereiche gibt. Ich finde es toll, dass ich einerseits die Arbeitsweise in einem Reinraum kennenlernen darf und gleichzeitig auch Aufgaben habe, bei denen ich meine Fähigkeiten im Bereich Programmieren erweitern kann. Im Moment bin ich in meinem ersten Mastersemester und strebe in Zukunft meinen Masterabschluss an.

*Hannah Lange*



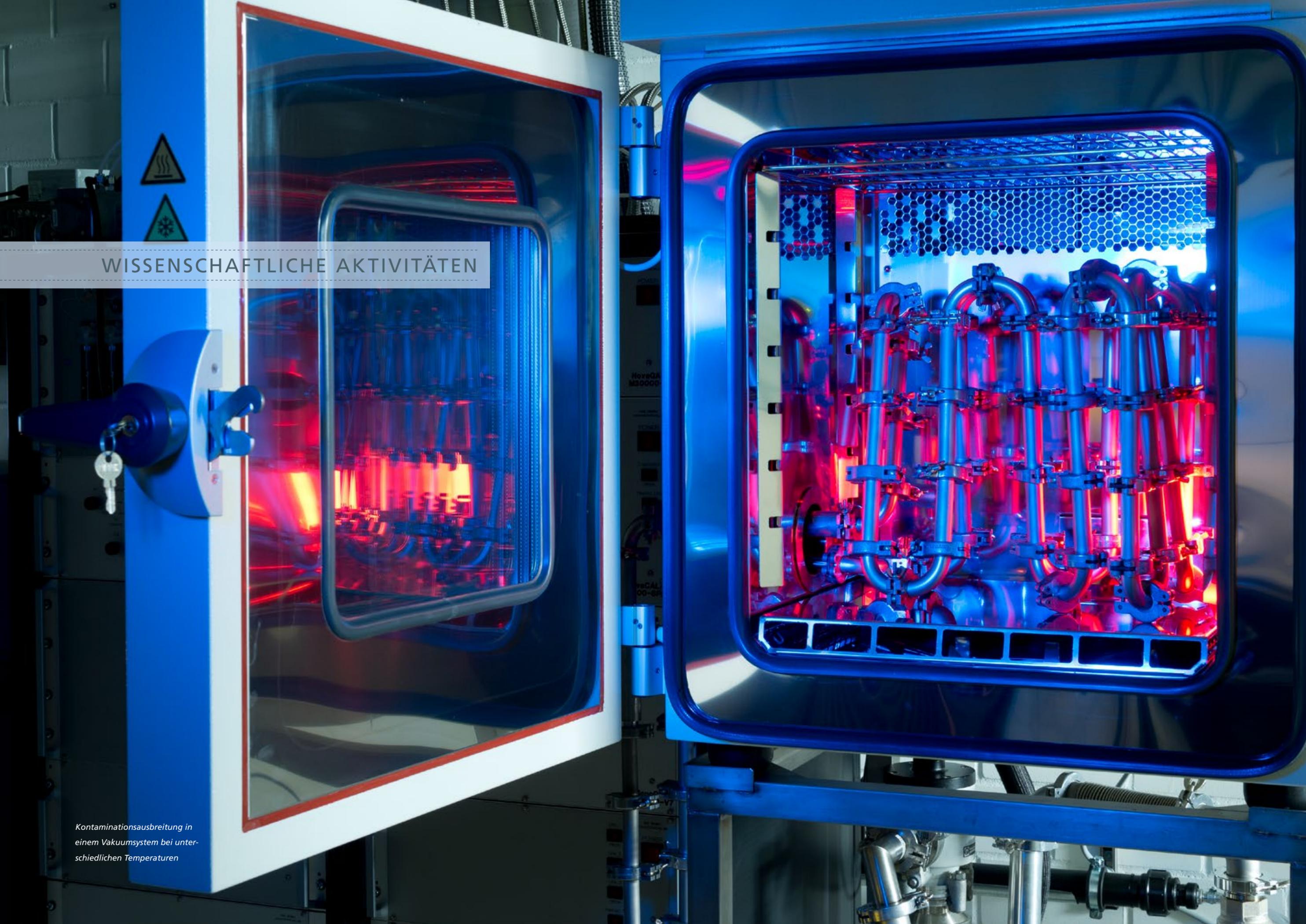
Im September 2020 habe ich meine Ausbildung zur Mikrotechnologien an der Fraunhofer EMFT in der Abteilung für Mikrotechnologie und Devices begonnen. Dort lerne ich, wie die verschiedenen Prozesse ablaufen, welche Stoffe dabei verwendet werden und was diese für Eigenschaften haben. Außerdem stehen die verschiedenen Maschinen und Geräte auf dem Ausbildungsplan: Neben Einblicken in die Funktionsweise gehört dazu auch, zu wissen, wie man ein Gerät repariert, wenn etwas falsch oder gar nicht mehr läuft. Wenn ein Prozess beendet ist, werden noch die Messdaten ausgewertet. Ich finde die Ausbildung sehr abwechslungsreich. Sie beschränkt sich nicht auf ein Fach, sondern es ist von allem etwas dabei. Mein Ausbilder und meine Kollegen nehmen sich viel Zeit für mich: Es wird einem immer ausführlich erklärt, warum sich etwas so verhält wie es sich verhält. Toll finde ich außerdem, dass den Auszubildenden großes Vertrauen entgegengebracht wird. Man darf z.B. auch Teures oder Zerbrechliches selbst in die Hand nehmen. Es herrscht eine angenehme und unterstützende Arbeitsatmosphäre.

*Saskia Heinze*



Ich bin seit dem 01. Dezember 2019 als Werkstudent in der Abteilung Flexible Systeme / Polytronische Technologien beschäftigt, wo ich an verschiedenen Vorhaben mitarbeite. Beispielsweise baue ich für das Projekt Secure Foil einen Demonstrator auf Basis eines Raspberry Pi auf. Auch ins Projekt Ulimpia bin ich mit eingebunden: Ich teste und simuliere pH-sensitive Wundüberwachungssensoren, um sie anschließend neu zu designen und zu optimieren – ein spannendes Thema, welche ich auch gern in meiner Masterarbeit weiterführen möchte! Die Arbeitskultur erlebe ich als sehr positiv: Man hat viele Freiheiten und kann eigenverantwortlich arbeiten, gleichzeitig sind die Kollegen sehr hilfsbereit und man hat praktisch immer einen Ansprechpartner zu Verfügung. Dadurch, dass man in unterschiedliche Projekte involviert ist, sind die Tätigkeiten sehr abwechslungsreich. Schön finde ich auch, dass Feedback immer willkommen ist und aufgenommen wird. Mein Job an der EMFT ist für mich ein gelungenes Beispiel, wie man im Studium gewonnenes Wissen direkt anwenden kann und umgekehrt in der Arbeit auch studienrelevante Dinge lernt.

*Canbey Oguz*



WISSENSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN

*Kontaminationsausbreitung in  
einem Vakuumsystem bei unter-  
schiedlichen Temperaturen*



Miniaturisiertes, hall-basiertes Stromsensormodul

## VERÖFFENTLICHUNGEN, VORTRÄGE UND AUSZEICHNUNGEN

### Veröffentlichungen

J. A. Stolwijk, J. Wegener

**Impedance Analysis of Adherent Cells after in situ Electroporation-Mediated Delivery of Bioactive Proteins DNA and Nanoparticles in  $\mu$ L-Volumes**

Sci. Rep. 10, 21331, December 2020

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-78096-6>

P. Tamminen, R. Fung, R. Wong, J. Weber, H. Wolf

**Discharge current analysis with charged connector pins**

Microelectronics Reliability, Volume 115, December 2020

<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2020.113977>

K. B. Saller, K.-C. Liao, H. Riedl, P. Lugli, G. Koblmüller, J. Schwartz, M. Tornow

**Contact Architecture Controls Conductance in Monolayer Devices**

ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 28446 (2020)

J. D. Bartl, S. Gremmo, M. Stutzmann, M. Tornow, A. Cattani-Scholz

**Modification of silicon nitride with oligo(ethylene glycol)-terminated organophosphate monolayers**

Surface Science 697, 121599 (2020)

M. Speckbacher, M. Jakob, M. Döblinger, J. G. C. Veinot, A. Kartouzian, U. Heiz, M. Tornow

**Nonvolatile Memristive Switching in Self-assembled Nanoparticle Dimers**

ACS Appl. Electron. Mater. 2, 1099 (2020)

J.A. Stolwijk, L. Sauer, K. Ackermann, A. Nassios, T. Aung, S. Härteis, A. J. Bäumner, J.

Wegener, S. Schreml

**pH sensing in skin tumors: Methods to study the involvement of GPCRs, acid-sensing ion channels and transient receptor potential vanilloid channels**

Experimental dermatology, 29(11), 1055–1061, November 2020 (Epub 2020 Aug)

<https://doi.org/10.1111/exd.14150>

P. Kumar, D. Stajic, E. Böhme, E. Nevzat Isa, L. Maurer

**A 500 mV, 4.5 mW, 16 GHz VCO with 33.3% FTR, designed for 5G applications**

2020 IEEE Nordic Circuits and Systems Conference (NorCAS), October 27-28, 2020, Virtual Conference

L. Zhang, D. Borggreve, F. Vanselow, R. Brederlow

**Quantization Considerations of Dense Layers in Convolutional Neural Networks for resistive Crossbar Implementation**

2020 9th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS), Sep 2020, Bremen, Germany

P. K. Poongodan, F. Vanselow, L. Maurer

**A Two-Level, High Voltage Driver Circuit with Nanosecond Delay for Ultrasonic Transducers**

2020 9th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS), Sep 2020, Bremen, Germany

S. Michaelis, J. Wegener

**Cells as Sensors**

In: Neugebauer R. (eds) Biological Transformation. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, September 2020

[https://doi.org/10.1007/978-3-662-59659-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-59659-3_7)

L. Di Biccari, A. Boroni, A. Castelnovo, L. Zullino, L. Cerati, H. Wolf, J. Weber, A. Andreini

**Impact of Alternative CDM Methods on HV ESD Protections Behavior**

2020 IEEE 42nd Annual EOS/ESD Symposium (EOS/ESD), 13-18 Sept. 2020, Reno, NV, USA

D. Abessolo-Bidzo, J. Weber, V. Kiriliouk, H. Wolf, S. Verwoerd, E. Jirutková

**Charged Device Model (CDM) and Capacitive Coupled Transmission Line Pulsing (CC-TLP) Stress Severity Study on RF IC's**

2020 IEEE 42nd Annual EOS/ESD Symposium (EOS/ESD), 13-18 Sept. 2020, Reno, NV, USA

D. Reiser, A. Drost, D. Chryssikos, I. Eisele, M. Tornow

**Temperature driven memristive switching in Al/TiO<sub>2</sub>/Al devices**

Proceedings of the IEEE Conference on Nanotechnology, Volume 2020-July, July 2020, Article number 9183631, Pages 342-347



Virtuelle Empfangshalle der Fraunhofer Solution Days

J. M. Dlugosch, D. Devendra, D. Chryssikos, S. Artmeier, M. Speckbacher, T. Kamiyama, M. Tornow

**Metallic top contacts to self-assembled monolayers of aliphatic phosphonic acids on titanium nitride**

Proceedings of the IEEE Conference on Nanotechnology, Volume 2020-July, July 2020, Article number 9183521, Pages 29-34

N. Wongkaew, M. Simsek, J. Heider, J. Wegener, A. J. Baeumner, S. Schreml, J.A. Stolwijk

**Cytocompatibility of mats prepared from different electrospun polymer nanofibers**

ACS Applied Bio Materials, 3(8), 4912-4921, July 2020

<https://doi.org/10.1021/acsabm.0c00426>

R. Mietzner, C. Kade, F. Frömel, D. Pauly, W. D. Stamer, A. Ohlmann, J. Wegener, R. Fuchshofer, M. Breunig

**Fasudil loaded PLGA microspheres as potential intravitreal depot formulation for glaucoma therapy**

Pharmaceutics, 12(8), 706, July 2020

<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12080706>

D. Martin, S. Sullivan, I. Bose, C. Landesberger, R. Wieland

**Dicing of MEMS devices - Vereinzeln von MEMS Bauelementen**

Tilli, M.: Handbook of silicon based MEMS materials and technologies: A volume in Micro and Nano Technologies, 3rd Edition; Amsterdam: Elsevier, 2020; ISBN: 978-0-12-817786-0; S.677-689, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817786-0.00031-1>

O. Sakolski, P. K. Poongodan, F. Vanselow, L. Maurer

**A Feedforward Compensated High-Voltage Linear Regulator With Fast Response, High-Current Sinking Capability**

IEEE Solid-State Circuits Letters, Volume 3, pages 114-117, IEEE, New York, USA, 2020

<https://doi.org/10.1109/LSSC.2020.3005787>

P. Pütz, A. Behrent, A. J. Baeumner, J. Wegener

**Laser-scribed graphene (LSG) as new electrode material for impedance-based cellular assays**

Sensors and Actuators B-chemical, 321, 128443, June 2020

<https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128443>

L. Zhang, D. Borggreve, F. Vanselow, R. Brederlow

**Quantization Considerations of Dense Layers of Convolutional Neural Networks for Resistive Crossbar Implementation**

IEEE International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS) on Electronics and Communications, Bremen, Germany, 11 - 13 May 2020

P. Ramm, A. Klumpp, C. Landesberger, J. Weber, A. Heinig, P. Schneider, G. Elst, M. Engelhardt

**Fraunhofer's Initial and Ongoing Contributions in 3D IC Integration**

IEEE Xplore, 09 April 2020

F. Urban, K. Hajek, T. Naber, B. Anczykowski, M. Schäfer, J. Wegener

**PETER-assay: Combined impedimetric detection of permeability (PE) and resistance (TER) of barrier-forming cell layers**

Sci. Rep. 10, 7373, April 2020

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63624-1>

B. Lippmann, N. Unverricht, A. Singla, M. Ludwig, M. Werner, P. Egger, A. Duebotzky, H.

Graeb, H. Gieser, M. Rasche, O. Kellermann

**Verification of physical designs using an integrated reverse engineering flow for nanoscale technologies**

Elsevier Integration Volume 71, March 2020, Pages 11- 29

C. Pannek, T. Vetter, M. Oppmann, C. Weber, A. Eberhardt, M. Dold, M.-L. Bauersfeld, M.

Henfling, S. Trupp, B. Schug, J. Wöllenstein, K. Mandel

**Highly sensitive reflection based colorimetric gas sensor to detect CO in realistic fire scenarios**

Sensors and Actuators B-chemical, Volume 306, 1 March 2020, 127572

J.A. Stolwijk, A.-K. Mildner, C. Kade, M. Skiba, G. Bernhardt, A. Buschauer, H. Hübner, P.

Gmeiner, J. Wegener

**Stepwise dosing protocol for increased throughput in label-free impedance-based GPCR assays**

J. Vis. Exp. (156), e60686, Februar 2020

<https://dx.doi.org/10.3791/60686>

C. R. Engst, I. Eisele, C. Kutter

**Defect characterization of unannealed neutron transmutation doped silicon by means of deep temperature microwave detected photo induced current transient spectroscopy**

Journal of Applied Physics, Vol. 127, No. 3, S. 035704, Jan. 2020

<https://doi.org/10.1063/1.5134663>

E. Böhme

**REFERENCE: A 4.3-GHz fractional-N PLL frequency synthesizer in GLOBALFOUNDRIES 22FDX**

EUROPRACTICE Activity Report 2019-2020, Leuven, Belgium, page 22

N. Palavesam, W. Hell, A. Drost, C. Landesberger, C. Kutter, K. Bock

**Influence of Flexibility of the Interconnects on the Dynamic Bending Reliability of Flexible Hybrid Electronics**

Electronics 2020, 9(2), 238

<https://doi.org/10.3390/electronics9020238>

---

#### Vorträge

---

J. Weber

**High-density W-filled TSVs for advanced 3D-Integration**

Invited Talk, Nanoinnovation 2020, September 13-18, 2020

H. Wolf, J. Weber, E. Jirutková

**Transient Pulse Characterization for ICs and Modules**

Invited Talk, IoT Workshop at the EOS/ESD Symposium, Reno, September 13-18, 2020

P. Ramm, P. Vivet, T. Braun, M. Engelhardt, A. Klumpp, J. Weber

**3DIC: Past, Present and Future – a European Perspective**

Plenary Talk, ECTC 2020, June 2020

H. Wolf

**Transmission Line Pulsing TLP - Applications and Challenges**

Keynote Speech, 4th India ESD Workshop, Bangalore, February 26-27, 2020

---

#### Auszeichnung

---

Dr. Peter Ramm wurde gemeinsam mit seinem japanischen Kollegen Prof. Mitsumasa Koyanagi (Tohoku University) mit dem renommierten Electronics Packaging Award 2020 ausgezeichnet. Der Preis gehört zu den Technical Field Awards, mit welchen der weltweit größte Technologie-Berufsverband Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) jedes Jahr Preisträger für „Leadership in specific fields of interest“ auszeichnet. Der IEEE würdigt damit Koyanagi's und Ramm's Verdienste und Pionierarbeiten, die zur Entwicklung und Kommerzialisierung der 3DIC Integration führten.

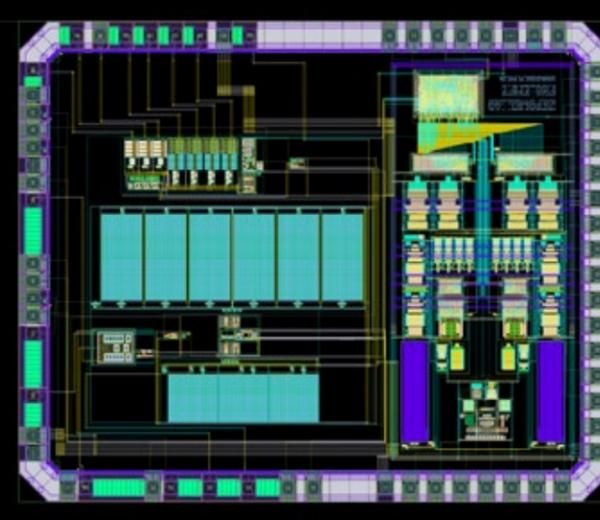
Die Preisverleihung findet am 1. Juni 2021 im Rahmen der ECTC San Diego statt.

Der Preis ist die höchste Auszeichnung der Electronics Packaging Society und wurde im Jahr 2002 für herausragende Leistungen bei der Weiterentwicklung von Komponenten, Electronic Packaging und Fertigungstechnologien ins Leben gerufen. Die Nominierten werden nach einer breiten Palette von Kriterien beurteilt, darunter Führungsrolle auf dem Gebiet, Auswirkungen der Arbeiten auf den Technologiefortschritt Originalität und Nutzen für die Gesellschaft.



IEEE Electronics Packaging Award 2020

Prof. Mitsumasa Koyanagi und Dr. Peter Ramm bei der japanischen, festlichen Tradition „Kagami Biraki“ – dem Öffnen eines Sake-Fasses (Dezember 2019)



Layout des Zepowel-Testchips mit einem Pumpentreiber und einem Partikelsensor-Front-End

---

## BACHELORARBEITEN

---

Christine Drießlein

**Ableitung eines phänotypischen Wirkprofils von Nitrat durch Impedanz-basierte Assays**

Bachelor Thesis, Universität Regensburg

Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Til Friebe

**A measurement setup to investigate the impact on micropumps of pumping protein solution**

Bachelor Thesis, Technische Universität München

Betreuerin: Agnes Bußmann

Ng Ming Feng

**Implementation of Electrochemical Impedance Spectroscopy on Microcontrollers**

Bachelor Thesis, Technische Universität München

Betreuer: Matthias Steinmaßl

Lisa Tetek

**Invasive und nicht-invasive Untersuchungen zur potentiellen Zytotoxizität auf konvertierender Nanopartikel**

Bachelor Thesis, Universität Regensburg

Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Jack Qiu

**Vergleich von Effizienz und Robustheit bei der Analyse des  $^{14}\text{C}$  und  $^3\text{H}$**

Bachelor Thesis, Universität Regensburg

Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Anna Saridis

**Vergleich von Effizienz und Robustheit bei der Analyse des  $^{90}\text{Sr}$**

Bachelor Thesis, Universität Regensburg

Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Robert Jacumet

**Charakterisierung von Al-TiO<sub>2</sub>-Al und Al-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al Memristoren**

Bachelor Thesis, Technische Universität München

Betreuer: Prof. Marc Tornow, Daniel Reiser

---

## MASTERARBEITEN

---

Marc Dannenmaier

**Ausbreitung von Wasser in einem Vakuumsystem – Konstruktion und Aufbau eines Messsystems zur zeitabhängigen Detektion eines Wasserpulses**

Master Thesis, Technische Universität München

Betreuer: Rudolf Schönmann

Lucas Reganaz

**Capacitive transducer design for particulate matter sensor**

Master Thesis, Grenoble INP

Betreuer: Oleg Sakolski

Raghavendra Padmanabha

**Current Sensing Network for Industry Application**

Master Thesis, Technische Universität München

Betreuer: Bassem Badawi

Eva-Maria Korek

**Development of an Electrochemical Microsensor for Monitoring Biomarkers in Sweat for Healthcare Applications**

Master Thesis, Technische Universität München

Betreuerin: Dr. Jamila Boudaden



CMOS Ionensensitiver Feldeffekttransistor mit kontrollierbarem Floating Gate (FG-ISFET)

Jonathan Preitnacher

**Entwicklung eines Detektorsystems zur Messung radioaktiver Substanzen im Schrott-Recycling**

Master Thesis, Hochschule München  
Betreuer: Bassem Badawi

Tobias Naber

**Extending microphysiometry to cell layers cultured on permeable substrates**

Master Thesis, Universität Regensburg  
Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Bettina Brechenmacher

**Functional consequences of translocators protein (TSPO) overexpression or knockout / knockdown in human brain tumor initiating cells (BTICs)**

Master Thesis, Universität Regensburg  
Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Daniel Anheuer

**Herstellung und Charakterisierung eines elektrostatischen Antriebs für MEMS-Mikropumpen**

Master Thesis, Universität Stuttgart  
Betreuer: Henry Leistner

Viktor Böpple

**Herstellung und Charakterisierung eines Piezokeramik-Silizium-Verbundes für MEMS-Anwendungen**

Master Thesis, Hochschule München  
Betreuer: Yücel Congar

Christina Patrizia Pfab

**Interactions between ceftazidime and 5-fluorouracil in colon cancer**

Master Thesis, Universität Regensburg  
Betreuer: Prof. Joachim Wegener

Mauriz Trautmann

**Investigation and Implementation of Machine Learning Algorithms for Condition Monitoring of Piezoelectrically Driven Micropumps**

Master Thesis, Technische Universität München  
Betreuer: Johannes Häfner

---

## PROMOTIONEN

---

Christian Engst

**Minoritäts-Ladungsträger -Lebensdauerermessung und Defektspektroskopie an Silizium mit hohem spezifischen Widerstand**

Die Doktorarbeit entstand in einer Kooperation zwischen der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT (Siliziumtechnologien und Devices) und der Technischen Universität München. Die Dissertation wurde bei Prof. Christoph Kutter durchgeführt und am 17. November 2020 erfolgreich verteidigt.

Nagarajan Palavesam

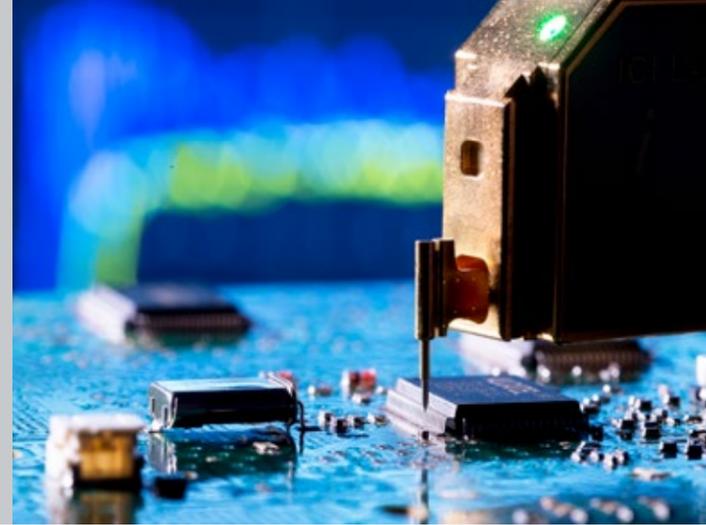
**Reliability analysis of foil substrate based integration of silicon chips**

Die Doktorarbeit entstand in einer Kooperation zwischen der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT (Siliziumtechnologien und Devices) und der Technischen Universität Dresden. Die Dissertation wurde von Prof. Karlheinz Bock (TU Dresden) betreut und am 26. Oktober 2020 erfolgreich verteidigt.

Zlatko Paric

**Development of a dual ECIS-SPR sensor platform for cell-based assays: Label free analysis of g-protein coupled receptor signal transduction**

Die Doktorarbeit entstand in einer Kooperation zwischen der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT (Zellbasierte Sensorik) und der Universität Regensburg. Die Dissertation wurde von Prof. Joachim Wegener betreut und am 05. Februar 2020 erfolgreich verteidigt.



Sonde zur Injektion von Stressimpulsen

---

## PATENTE

---

### **Dünnes Chip-Folien-Package mit indirekter Kontaktierung**

Robert Faul  
DE 10 2019 202 720.2

### **Dünnes Dual-Folien-Package**

Robert Faul  
DE 10 2019 202 718.0

### **Ein Verfahren zur Ermöglichung planarer dünner Packaging für MEMs Sensoren**

Ronnie Bose, Christof Landesberger  
US 10,752,499

### **Entgasungsvorrichtung**

Martin Richter, Axel Wille, Simone Strohmair, Christian Wald  
DE 102016220107.7

### **Folienbasiertes Package mit Distanzausgleich**

Erwin Yacoub, Waltraud Hell  
DE 10 2019 202 715.6

### **Flex-Folien-Package mit coplanarer Topologie für Hochfrequenzsignale**

Robert Faul  
DE 10 2019 202 716.4

### **Flex-Folien-Package mit erweiterter Topologie**

Robert Faul  
DE 102019202717.2

### **Freistrahldosiersystem zur Verabreichung eines Fluids in oder unter die Haut**

Martin Richter, Martin Wackerle, Christian Wald  
US 10,792,430

### **Gerät mit Mikrofluidaktor**

Martin Richter, Christian Wald , Yücel Congar  
WO 2018 006 932 A1

### **Kombinierte Pumpe-Sensor-Anordnung**

Siegfried Röhl, Yücel Congar, Christoph Kutter, Martin Richter  
DE 10 2019 202 722.9

### **Mikrodosiersystem**

Martin Richter, Martin Wackerle, Sebastian Kibler  
US 10,550,833

### **Nanopartikelbasiertes Halbleiter-Strukturelement**

Armin Klumpp  
EP 18208574

### **PUF-Film and Method for producing the same**

Martin König  
EP 3550623 A1

### **Trägersubstrat und Verfahren zur Befestigung einer Substratstruktur**

Christof Landesberger  
WO2014117853

### **Vorrichtung mit Schutzstufenbereich zum direkten oder indirekten Nachweis eines oder mehrerer Biostoffe**

Sabine Trupp, Jennifer Schmidt  
DE 10 2019 200 595

### **Vorrichtung und Verfahren zum Ansteuern einer Last**

Frank Vanselow, Bernadette Kinzel, Erkan Isa  
WO 2018/006964

### **Vorrichtung und Verfahren zur Detektion von Gasen**

Trupp Sabine, Henfling Michael, Hemmetzberger Dieter, et al.  
DE 10 2018 206 917.4

## KONTAKT



*Stahlmikropumpe mit piezoelektrischem Antrieb*

*Um einen Kurzschluss zu verhindern wird der Scheibenaktor durch eine Isolationsfolie vom metallischen Grundkörper der Pumpe getrennt. Die Mikropumpen können kleinste Flüssigkeitsmengen genau dosieren, was für viele medizinische Anwendungen wie Medikamentendosierung und Wundtherapie essentiell wichtig ist.*

## KONTAKT

### Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT

Hansastraße 27d  
80686 München  
Tel.: +49 89 54759-0  
Fax: +49 89 54759-100

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

#### Direktor



Prof. Dr. Christoph Kutter  
Tel.: +49 89 54759-500  
Christoph.Kutter@  
emft.fraunhofer.de

#### Business Development



bis 28. Februar 2021:  
Prof. Dr. Peter Kücher  
Tel.: +49 89 54759-241  
Peter.Kuecher@  
emft.fraunhofer.de

#### Marketing, Kommunikation & Strategie



Pirjo Larima-Bellinghoven  
Tel.: +49 89 54759-542  
Pirjo.Larima-Bellinghoven@  
emft.fraunhofer.de

#### Verwaltungsleitung



Andrea Keill  
Tel.: +49 89 54759-507  
Andrea.Keill@  
emft.fraunhofer.de

#### Business Development



ab 01. März 2021:  
Dr. Karin Bauer  
Tel.: +49 89 54759-223  
Karin.Bauer@  
emft.fraunhofer.de

#### Strategic Projects



Dr. Peter Ramm  
Tel.: +49 89 54759-539  
Peter.Ramm@  
emft.fraunhofer.de

#### Analytik & Technologien



Dominik Muß  
Argelsrieder Feld 6  
82234 Weßling  
Tel. +49 89 54759-430  
Dominik.Muss@  
emft.fraunhofer.de

#### Flexible Systeme



Christof Landesberger  
Tel.: +49 89 54759-295  
Christof.Landesberger@  
emft.fraunhofer.de

#### Mikrodosiersysteme



Dr. Martin Richter  
Tel.: +49 89 54759-455  
Martin.Richter@  
emft.fraunhofer.de

#### Siliziumtechnologien & Devices



Dr. Wilfried Lerch  
Tel.: +49 89 54759-190  
Wilfried.Lerch@  
emft.fraunhofer.de

#### Zellbasierte Sensorik



Prof. Dr. Joachim Wegener  
Universitätsstr. 31  
93053 Regensburg  
Tel.: +49 94 19434-546  
Joachim.Wegener@  
emft.fraunhofer.de

#### Circuits & Systems



Prof. Dr. Linus Maurer  
Tel.: +49 89 54759-330  
Linus.Maurer@  
emft.fraunhofer.de

#### Flexible Systeme



Dr. Alexey Yakushenko  
Tel.: +49 89 54759-211  
Alexey.Yakushenko@  
emft.fraunhofer.de

#### Sensormaterialien



Dr. Sabine Trupp  
Tel.: +49 89 54759-561  
Sabine.Trupp@  
emft.fraunhofer.de

#### Siliziumtechnologien & Devices



Prof. Dr. Marc Tornow  
Tel.: +49 89 54759-551  
Marc.Tornow@  
emft.fraunhofer.de

---

## KONTAKT

---

### Zentrum für Verbindungstechnik in der Elektronik ZVE

Oberpfaffenhofen      Tel.: +49 89 54759-444  
Argelsrieder Feld 6      Fax: +49 89 54759-415  
82234 Weßling

[www.zve-kurse.de](http://www.zve-kurse.de)

### Leiter Weiterbildung und Technologietransfer



Dr.-Ing. Frank Ansorge  
Tel.: +49 89 54759-456  
Frank.Ansorge@  
emft.fraunhofer.de

### Veranstaltungsmanagement



Silke Paul  
Tel.: +49 89 54759-440  
Anmeldung@  
emft.fraunhofer.de

### Veranstaltungsmanagement



Monika Schmidt  
Tel.: +49 89 54759-400  
Anmeldung@  
emft.fraunhofer.de

### Trainer



Dirk Schröder  
Tel.: +49 89 54759-417  
Dirk.Schroeder@  
emft.fraunhofer.de

### Trainer



Günter Paul  
Tel.: +49 89 54759-418  
Guenter.Paul@  
emft.fraunhofer.de

---

## IMPRESSUM

---

### Fraunhofer EMFT Jahresbericht 2020

---

**Herausgeberin:**  
Fraunhofer EMFT  
Hansastraße 27d  
80686 München  
Tel.: +49 89 54759-0  
Fax: +49 89 54759-100

**Direktor der Einrichtung:**  
Prof. Dr. Christoph Kutter  
Tel.: +49 89 54759-500

**Redaktion:**  
Pirjo Larima-Bellinghoven  
Tina Möbius  
Sophia Drimmel  
Johanna Markl

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

**Layout / Satz:**  
Johanna Markl

**Druck:**  
Förster & Borries GmbH & Co. KG  
Industrierandstraße 23  
08060 Zwickau  
[www.foebo.de](http://www.foebo.de)

@ Fraunhofer EMFT  
München, März 2021

**Titelbild:**  
Stresstest zur Evaluation der Robustheit von Systemen

**Bild auf Zwischenseiten (S. 2/3 und 90/91):**  
TAIKO Wafer in einer Wafer Kasette

**Bildnachweis:**  
S. 35: HPPI GmbH  
S. 37: Fraunhofer EMFT  
S. 45: Fraunhofer ISE  
S. 58: Fraunhofer IFA  
S. 62-63: Fraunhofer EMFT  
S. 66 - 69: privat  
S. 76: IEEE  
S. 77: privat

Alle übrigen Bildrechte bei der  
Fraunhofer EMFT zusammen mit  
Bernd Müller Fotografie  
Maximilianstraße 56  
86150 Augsburg  
[www.berndmueller-fotografie.de](http://www.berndmueller-fotografie.de)



