



Fraunhofer

ENAS

Das Magazin für alle, die sich für
Wissenschaft und Forschung begeistern

Ausgabe 2025/2026



PLORE

10 Ideen für die Welt von morgen

Eine Welt, getragen vom Kleinsten

Kein Smartphone, das uns mit Freunden auf der ganzen Welt verbindet, kein Auto, das uns sicher durch den Stadtverkehr navigiert, und kein Computer, der riesige Datenströme über Kontinente hinweg verarbeitet, um uns binnen Sekunden Antworten auf drängende Fragen zu liefern – ohne Mikro- und Nanotechnologien wären diese Errungenschaften nicht denkbar. Sie sind der kleine und mächtige Schlüssel, der Innovationen ermöglicht, Verbindungen schafft und Wege zu Horizonten eröffnet, die unerreichbar scheinen. All das beginnt in Chemnitz, wo Winziges entsteht, das Großes bewirkt.



03

Packaging für Leistungsbaulemente

S. 07

Von E-Mobility bis Windrad: Erneuerbare Energien müssen günstiger werden. Diese Technologie könnte ein Schlüssel dafür sein.

01 & 02

Test und Zuverlässigkeit

S. 04

Elektronische Bauteile sind das Rückgrat der modernen Welt. Das »European Test and Reliability Center« des Fraunhofer ENAS sichert die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Halbleiterbauelementen.

04

Künstliche Intelligenz

S. 10

Künstliche Intelligenz kann Unmengen von Daten binnen Sekunden analysieren. Das Fraunhofer ENAS erforscht, wie durch KI die Entwicklung von Halbleitern beschleunigt werden kann.

05

Sensorik

S. 12

Die Industrie 4.0 braucht Sensoren. Gut, wenn diese sich in Zukunft selbst mit Energie versorgen.

06

Quantentechnologien

S. 15

Ihnen gehört die Zukunft: Das Fraunhofer ENAS entwickelt eine Technologie, die dazu beiträgt, Quantencomputer in Zukunft deutlich robuster und einsetzbar zu machen.

07

Parylenebasiertes Packaging und Ultraschallwandler

S. 18

Ultradünne Leiterplatten und eine völlig neue Ultraschalltechnologie eröffnen der Medizin von morgen ungeahnte Möglichkeiten.

08

Neuromorphes Computing

S. 22

Neuromorphes Computing ahmt die Funktionsweisen des menschlichen Gehirns nach. Am Fraunhofer ENAS wird an der revolutionären Rechnertechnologie geforscht.

10 Ideen für die Welt von morgen

10

Medizintechnische Applikationen

S. 27

Von Lebensmittelsicherheit bis Patientengesundheit: Viele Tests sind aufwendig und langwierig. Eine neue Technologie könnte das bald ändern.

09

Wasserstoff

S. 25

Ein innovatives Druckverfahren und eine einzigartige Tinte sollen künftig helfen, Strom effizient in Wasserstoff umzuwandeln.

Institutsleitung im Interview – gut aufgestellt für die Zukunft

S. 29

Gute Gründe für Chemnitz

S. 31

Ausgezeichnete Forschung

S. 32

Das Institut in Zahlen

S. 33

Organisationsstruktur

S. 33

Liebe Leserinnen und Leser,

Innovationen verändern unser Leben. Sie erleichtern unseren Alltag, treiben Fortschritt voran und bewältigen die Herausforderungen der Zukunft. Doch um sie Wirklichkeit werden zu lassen, braucht es Mut und Kreativität, neue Wege zu beschreiten. Die Ideen von heute gestalten die Welt von morgen – eine Welt, in der modernste Technologien unser Leben bereichern werden. Hinter diesen Innovationen stehen viele kluge Köpfe, die in unserem Forschungsinstitut täglich daran arbeiten, Wirtschaft und Gesellschaft durch Wissenschaft voranzubringen. In unserem neuen Jahresmagazin »XPLORE« geben wir diesen Menschen ein Gesicht. Sie stehen stellvertretend für unser gesamtes Team an engagierten Kolleginnen und Kollegen, die unsere Zukunft mit leidenschaftlichem Erfindergeist ein Stück besser machen wollen.

Begleiten Sie uns auf eine Entdeckungsreise durch 10 besondere Ideen, mit denen wir uns für eine lebenswerte, sichere und nachhaltige Zukunft einsetzen. Schauen Sie hinter die Kulissen unserer Forschung und gewinnen Sie spannende Einblicke in kommende Entwicklungen.

Erfahren Sie, wie wir elektronische Systeme zuverlässiger machen, der Energiewende neuen Schwung verleihen, der Landwirtschaft mit energieautarken Sensoren neue Möglichkeiten eröffnen oder Supercomputern zu Höchstleistungen verhelfen.

An diesen und vielen weiteren faszinierenden Vorhaben forschen wir gemeinsam mit unseren internen und externen Partnern. Diesen Partnern und unserem ganzen Team gilt unser besonderer Dank – ohne sie wären unsere Erfolge nicht möglich.

Viel Freude beim Lesen und Entdecken unserer 10 Ideen für die Welt von morgen!

Herzliche Grüße
Ihr Harald Kuhn



Herausgeber

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

Telefon +49 371 45001-0

info@enas.fraunhofer.de

www.enas.fraunhofer.de

Institutsleitung

Prof. Dr. Harald Kuhn (V.i.S.d.P.)

Leiter Marketing

Denny Löffler

Redaktion

Denny Löffler, Stefanie Miethbauer

Konzept, Gestaltung und Realisation

Mathias Becker, Wolfgang Behnken,
Johannes Fiola
(Behnken, Becker + Partner GbR)

Texte

Mathias Becker, Sonja Helms, Johannes
Giesler, Jannik Jürgens, Joshua Kocher,
Markus Wanzeck
(Behnken, Becker + Partner GbR)

Fotografie

Martin Albermann, Aristidis Schnelzer

Lektorat

Andreas Feßer

Lithografie

Alexander Langenhagen
(Edelweiß Publish)

Druck

Gutenberg Beuys Feindruckerei GmbH

Bildquellen

NASA/Goddard Space Flight Center,
Scientific Visualization Studio (S. 02),
Martin Albermann (S. 03–09, 15, 17,
19–28, 32), Aristidis Schnelzer (S. 10–14,
18, 29, 30, 32), Raphael Janzer (S. 13),
Olemedia/iStock (S. 16), Collage S. 31
[M]: Kora27/CC BY-SA 4.0/Wikimedia
Commons (2), freepik.com (4), Universitäts-
archiv, Adobe Stock (2), Lothar Spurzem/
CC BY-SA 2.0/Wikimedia Commons,
Jacob Müller, Martin Albermann

01 & 02

Themen

Test und Zuverlässigkeit

Mit der Gründung des neuen »European Test and Reliability Centers« baut das Fraunhofer ENAS sein Angebot in den Themenfeldern »Test« und »Zuverlässigkeit« weiter aus. Das Kompetenzzentrum füllt eine Lücke im »Silicon Saxony« und wird es dem Institut ermöglichen, Kunden und Partner in Deutschland, Europa und der Welt noch umfassender bei der Lösung komplexer technologischer Herausforderungen zu unterstützen.



Prof. Dr. Harald Kuhn
Institutleiter

Telefon +49 371 45001-100
harald.kuhn@enas.fraunhofer.de



Prof. Dr. Sven Rzepka
Leiter der Abteilung »Micro Materials Center«

Telefon +49 371 45001-421
sven.rzepka@enas.fraunhofer.de

»Wir finden Fehler, bevor sie entstehen.«

Die Brücke über das Tal des Todes

Ein europaweit einzigartiges Kompetenzzentrum des Fraunhofer ENAS und seiner Partner soll die Prüfung von Halbleitern auf ein neues Level heben.

Halbleiterschaltkreise sind äußerst komplexe Bauelemente. Sie ähneln Megacitys in Mikrodimensionen. Bis zu mehrere Milliarden Elektronikkomponenten bilden dabei die Gebäude, die durch ein extrem feines und hochkomplexes Netz aus Straßen und Brücken miteinander verbunden sind. Entlang dieser Straßen fließen elektrische Ströme, die, genau wie der Verkehr in der Stadt, vielfältigen Zwecken dienen: Informationen gewinnen, Signale verstärken oder Daten speichern. Diese Halbleiterschaltkreise bilden die Grundlage für nahezu alle modernen elektronischen Geräte, von Computern und Smartphones bis hin zu Waschmaschinen und Autos. Sie machen die Digitalisierung und damit den technologischen Fortschritt erst möglich – oder sie

»Wir werden Synergieeffekte schaffen und den Wissenstransfer in die Industrie vorantreiben.«

stoppen ihn, wenn es zu Fehlern oder Ausfällen kommt.

Elektronische Systeme sind heute hochkomplex. Kleinste Mängel, die bei der Entwicklung nicht erkannt werden, können später zu riesigen Ausfallraten in der Produktion oder im schlimmsten Fall in der Anwendung führen. Deshalb gewinnen Tests und Zuverlässigkeitsprüfungen immer mehr an Bedeutung. Moderne Verfahren entdecken Fehlerquellen frühzeitig und verhindern Störungen im Betrieb. Innovationen müssen dabei auch unter extremen Bedingungen getestet werden, um ihre Zuverlässigkeit und Langlebigkeit für neue Anwendungsfelder, zum Beispiel im Automobil- und Energiesektor, sicherzustellen. Doch für viele kleine und mittelständische Firmen ist es zu teuer, dafür umfangreiche Abteilungen zu unterhalten und die notwendige Vorlauftests selbst zu betreiben.

Externe Dienstleister sind wiederum vor allem in Asien angesiedelt, in Europa gibt es hingegen noch viel zu wenig Möglichkeiten, Halbleiterbauelemente zu testen. Diese, auch geopolitisch bedeutsame Lücke schließt das neue »European Test and Reliability Center« (ETRC) in

Mikrometerarbeit: Mit dem 3D-Computertomografen können die winzigen inneren Strukturen elektronischer Bauteile betrachtet und analysiert werden.

Chemnitz. Die Idee stammt von Prof. Dr. Harald Kuhn. Der Institutsleiter des Fraunhofer ENAS hat sie bei seinem Amtsantritt vor fünf Jahren mitgebracht und seitdem weiterentwickelt. Jetzt wird sie Wirklichkeit: »Es gibt in der Region um Chemnitz bereits viele namhafte Akteure, die über ausgewiesene fachliche Test-Expertise verfügen. Wir werden diese mithilfe des ETRC bündeln, Synergieeffekte schaffen und den Wissenstransfer in die Industrie vorantreiben.«

Das Fraunhofer ENAS hat vom Freistaat Sachsen eine Anschubfinanzierung von mehr als 9,5 Millionen Euro für den Aufbau des ETRC erhalten. Um das Zentrum nachhaltig zu betreiben und seinen Wirkungsgrad zu steigern, soll es zusätzlich durch finanzielle Beiträge aus der Wirtschaft unterstützt werden. Diese Kombination aus öffentlicher Förderung und industrieller Finanzierung soll das ETRC als wissenschaftlichen Leuchtturm in Chemnitz etablieren, von dem auch die regionale Wirtschaft

profitiert. Harald Kuhn sieht das ETRC als starken »Pull-Faktor« für die Ansiedlung namhafter Hightechunternehmen, insbesondere in Chemnitz und damit am Halbleiterstandort Sachsen. »Durch das ETRC stärken wir die technologische Souveränität Deutschlands, da Unternehmen die Möglichkeit erhalten, ihre Innovationen zukünftig hier vor Ort zu testen. Damit machen wir die Halbleiterindustrie unabhän-

giger von geopolitischen Risiken und internationalen Lieferketten«, erklärt Harald Kuhn.

Maßstäbe in der Zuverlässigkeitsprüfung setzen

Die wissenschaftliche Basis für das neue Center liegt in der Historie und Erfahrung im Bereich der thermomechanischen Zuverlässigkeitsforschung des Fraunhofer ENAS begründet. Seit rund 30 Jahren beschäftigt

sich der Standort Chemnitz mit diesem Thema. In den 1990er-Jahren wurden die ersten Generationen der Pentium-Prozessoren geprüft, später modernere Chips für Handy- und Smartphone-Modelle. »Wir gehören mit Blick auf Zuverlässigkeitsprüfungen zu den Besten der Welt«, sagt Harald Kuhn, der selbst umfangreiche Test-Expertise mitbringt: Beim Halbleitergiganten Infineon hat er viele Jahre lang Testanlagen



design, neue Testmethoden entwickelt und dabei vielfältige Branchenkontakte geknüpft.

Mit einigen davon arbeitet er jetzt im Rahmen des ETRC zusammen. Das Kompetenzzentrum ist vollständig ins Fraunhofer ENAS integriert. Ab 2025 werden dort Büros und Prüflabore in den bestehenden Gebäuden eingerichtet. Der Institutsleiter konnte auch externe Kolleginnen und Kollegen aus der Wissenschaft, wie zum Beispiel Prof. Dr. Ulrich Heinkel, Prof. Dr. Thomas Basler und Prof. Dr. Bernhard Wunderle von der Technischen Universität Chemnitz, als Partner gewinnen. Diese lehren und forschen beispielsweise zu formalen Testmethoden, zu Mathematik und Informatik oder zu High-Power-Zuverlässigkeit. »Wir binden sie in Zukunft zielgerichtet ein und erweitern so unser Kompetenzportfolio«, sagt er. Hinzu kommen strategische Industriepartner aus der ganzen Welt, die ihre Erfahrungen und Anforderungen aus der Praxis einbringen.

In Chemnitz und Umgebung sind rund 18 500 kleine und mit-

telständige Unternehmen (KMU) angesiedelt, überwiegend im Automobil- und Maschinenbaubereich, die sich derzeit im grundlegenden Wandel befinden. Elektronik bestimmt deren Innovationstempo. Diese Unternehmen brauchen eine wirksame Unterstützung bei den nötigen Tests. Diese Tests bekommen mit dem ETRC eine neue Plattform – und eine Community, mit der sich in enger Zusammenarbeit Projekte umsetzen lassen. »Gemeinsam mit den Professorinnen und Professoren an den Universitäten, den zahlreichen sächsischen KMU sowie internationalen Partnern aus der Industrie entsteht mit dem ETRC ein starkes und schlagkräftiges Konsortium, das in Europa einzigartig ist«, freut sich Harald Kuhn: »Und im Mittelpunkt steht das Fraunhofer ENAS.«

Fehlerfrei von Anfang an

Ein wichtiges Ziel des ETRC ist es, zukünftige Trends frühzeitig zu erkennen und ihnen voraus zu sein – etwa in den Bereichen Künstliche Intelligenz (siehe Beitrag S. 14), neuromorphes Computing (siehe Beitrag S. 30) oder Quantentechnologien (siehe Beitrag S. 20). An Quantentechnologien forschen nicht nur das

Fraunhofer ENAS, sondern auch andere Institute der Fraunhofer-Gesellschaft bereits seit Jahren. Um diese Technologien jedoch in die Praxis zu überführen, müssen sie getestet werden – ein Bereich, der bislang oft vernachlässigt wird und technisch äußerst anspruchsvoll ist. Harald Kuhn erklärt: »Wir machen das Testen von Quantensystemen zu einem unserer Kernthemen, da sie unsere Zukunft maßgeblich prägen werden.«

»Das eröffnet neue Perspektiven für die Zukunft.«

Damit erfüllt das Fraunhofer ENAS auch eine Kernaufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft: Wissenschaftliche Themen in die Industrie zu überführen. Denn zu oft erreichen Innovationen nur einen Technologie-Reifegrad, der ihre Funktionsfähigkeit zwar unter Laborbedingungen, jedoch nicht darüber hinaus beweist. Sie verenden im »Tal des Todes«. So wird die Phase genannt, in der die meisten Innovationen »stolpern«. Ihre Entwicklung endet, bevor sie die Marktreife erreichen. Das will Harald Kuhn mit dem neuen Center ändern: »Wir bauen eine Brücke über das Tal des Todes, indem wir dafür sorgen, dass durch unsere Prüfroutinen Mängel schon in der Designphase neuer Produkte und damit frühzeitig erkannt und beseitigt werden. Dadurch stellen wir sicher, dass elektronische Systeme von Anfang an fehlerfrei funktionieren und somit rascher in die Serienfertigung überführt werden können. Technologien, die zuvor gescheitert wären, schaffen so den Sprung in Wirtschaft und Gesellschaft.«

Das ETRC steht auf zwei Pfeilern: Einerseits Tests und andererseits Zuverlässigkeitsprüfungen. Für den zweiten Bereich ist am Fraunhofer ENAS Prof. Dr. Sven Rzepka verantwortlich. Der habilitierte Ingenieur leitet seit zwölf Jahren die Abteilung »Micro Materials Center«. Dort werden Chips und Komponenten der Mikro- und Leistungselektronik experimentell geprüft. Ziel dieser Prüfungen ist es, sicherzustellen, dass Produkte ihre versprochene Lebensdauer erfüllen und deren Design, Materialien und Konstruktion optimal gewählt sind, um die erforderliche Zuverlässigkeit zu erreichen. »Hierfür setzen wir Prototypen thermischem Stress und beschleunigten Alterungsprozessen aus und überprüfen sie anschließend unter dem Mikroskop oder im Computertomografen«, erklärt Sven Rzepka.

Testen und Prüfen als »Game-Changer«

Doch Zeit für langwierige Experimente und Auswertungen hat er immer seltener, weil die Entwicklungszyklen neuer Produkte kürzer werden. »Gleichzeitig werden sie komplexer«, sagt Sven Rzepka. Beispiele dafür gibt es viele, wie die autonome Mobilität, die Industrie 4.0 oder Smart Grids: »Überall werden mehr Sensoren, Speicher, Recheneinheiten und Umrichter verbaut, um die Umwelt zu vermessen, Daten zu verstehen, Entscheidungen zu treffen und diese umsetzen zu können«, sagt der erfahrene Ingenieur. Mit jedem Bauteil und jeder weiteren Funktionalität nehmen aber auch die möglichen Fehlerquellen zu. In autonomen Fahrzeugen etwa müssen echte Hochleistungscomputer eingesetzt werden und unter extremen Bedingungen funktionieren: »Ob das Auto in Finnland nachts extremer Kälte von -40 °C ausgesetzt ist oder sich auf Sizilien vor dem Supermarkt auf +80 °C aufheizt, ob es regnet, schneit oder Schlaglöcher alles durchrütteln – die Elektronik muss in all diesen Szenarien reibungslos funktionieren.«

Auf die Trends, dass Entwicklungszeiten kürzer werden und Systeme komplexer sowie belastbarer sein müssen, reagieren Test- und Zuverlässigkeitsprüfer wie Sven Rzepka. Er erklärt: »Wir möchten viele physische Tests durch Simulationen ersetzen, die 100- bis 1 000-mal schneller sind.« Ein zentraler Aspekt seiner Arbeit ist der »Digitale Zwilling«, ein digitales Abbild des realen Produkts, das in Echtzeit mit seinem physischen Pendant interagiert. Damit kann die Bewertung der Zuverlässigkeit des Produkts in wenigen Stunden erfolgen, anstatt Wochen oder Monate zu dauern.

Zusätzlich programmiert Sven Rzepka Digitale Zwillinge für besonders kritische Komponenten. Diese kommen nicht während der Entwicklungs-

phase, sondern im Betrieb der Elektronik zum Einsatz und ermitteln die sogenannte »Restlebensdauer« des Bauteils. Jedes dieser Programme überwacht ein kritisches Bauteil und warnt rechtzeitig vor einem drohenden Ausfall. Dank dieser Warnungen kann das System rechtzeitig reguliert, abgeschaltet und gewartet werden, bevor ein Schaden entsteht.

Digitale Zwillinge sind vielseitig und effizient. Um das Verhalten physischer Bauteile mit ihnen realistisch modellieren zu können, ist präzises Wissen erforderlich. Daher bleiben praktische Experimente unverzichtbar, denn sie liefern die grundlegenden Daten für die Digitalen Zwillinge. Dank der jahrelangen Erfahrung von Sven Rzepka und seinem Team steht dem neuen ETRC am Fraunhofer ENAS bereits eine umfangreiche Bibliothek an Prüfdaten und Modellen zur Verfügung. Diese ermöglicht es schon heute, Zuverlässigkeitsprüfungen für Produktupdates per Simulation durchzuführen. Sven Rzepka betont: »Wir lernen ständig dazu und verbessern die Leistungsfähigkeit unserer Digitalen Zwillinge kontinuierlich. Eines Tages werden wir neue Produkte ausschließlich digital prüfen und optimieren können.« Danach kann die Serienproduktion sofort beginnen.

»Bald werden wir neue Produkte ausschließlich digital prüfen und optimieren können.«

Diese große Verheißung nennt sich »first time right« und bedeutet, dass ein neues Produkt ab der ersten Charge fehlerfrei funktioniert. Dies ist jedoch nur möglich, wenn ein Umdenken in der Entwicklungskette stattfindet. Institutsleiter Harald Kuhn weist darauf hin, dass Produkte und Prozesse oft bereits zu einem Zeitpunkt skaliert werden, an dem sie eigentlich noch instabil sind, weil sie nicht ausreichend getestet und geprüft wurden: »Bei Stückzahlen im Millionenbereich ist das bei einer Fehlerquote von nur einem Prozent bereits katastrophal.« Er plädiert dafür, Tests und Zuverlässigkeitsprüfungen schon in den Entwurfsphasen von Produkten und Prozessen mitzudenken und sie von Anfang an in diese zu integrieren: »Dieser Ansatz nennt sich »Design-to-Test« und »Design-for-Reliability«, und wenn wir diesen beherzigen, können wir die Anzahl fehlerhafter Produkte sowie die Entwicklungszeit erheblich reduzieren.«

Elke Noack und Sven Rzepka werten die 3D-Röntgen-Computertomografie eines neuen elektronischen Bauteils aus.



03

Thema Packaging für Leistungsbauelemente



Christian Hofmann

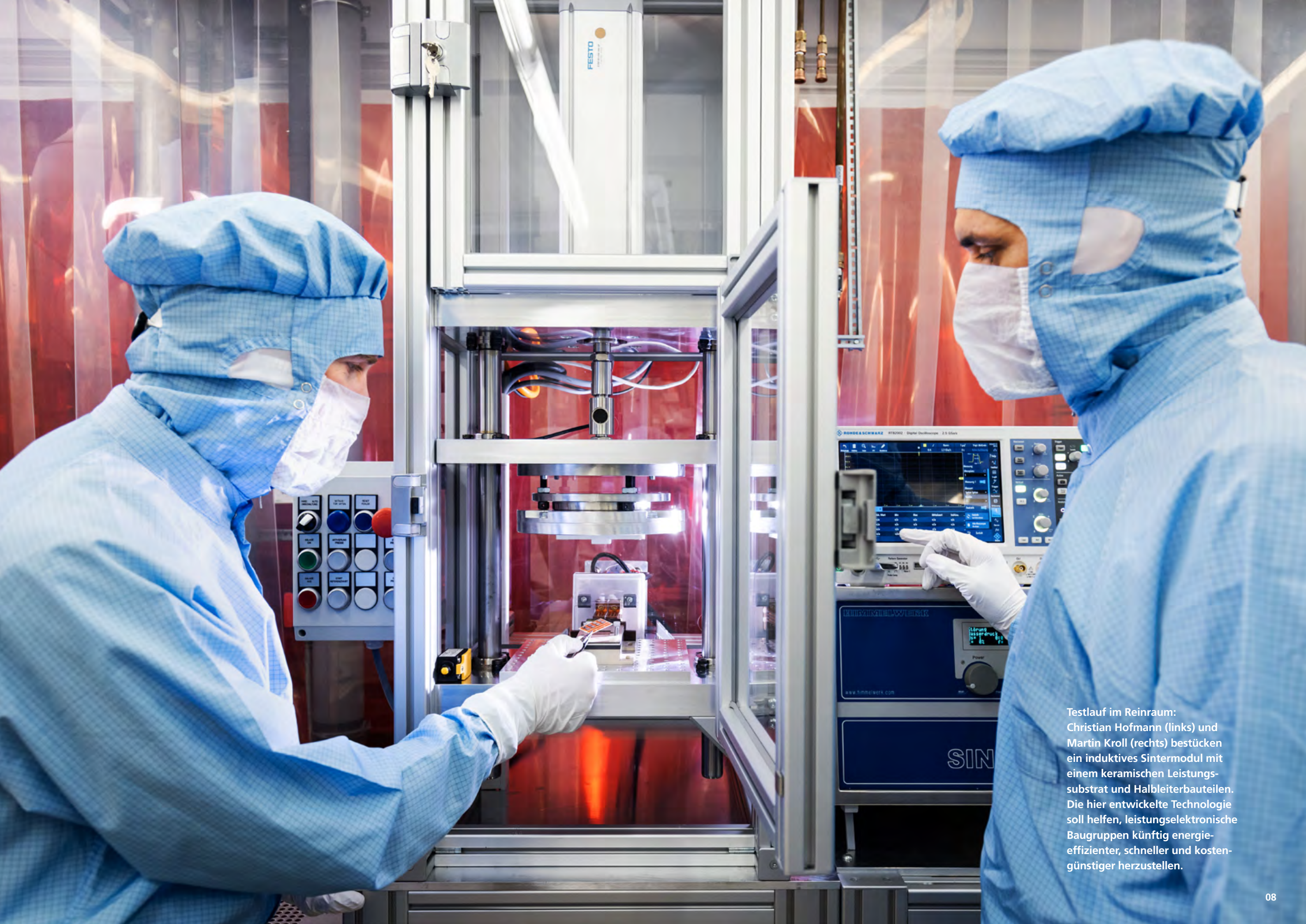
Leiter der Gruppe »Innovative Bonding
and Deposition Processes«

Telefon +49 371 45001-496

christian.hofmann@enas.fraunhofer.de

»Wir lösen die Detailfragen der Energiewende.«

Manchmal kann Kleines Großes bewirken: Die Leistungselektronik-Module, an denen Christian Hofmann und sein Team am Fraunhofer ENAS arbeiten, könnten den Einsatz von erneuerbaren Energien künftig deutlich günstiger machen.



Testlauf im Reinraum:
Christian Hofmann (links) und
Martin Kroll (rechts) bestücken
ein induktives Sintermodul mit
einem keramischen Leistungs-
substrat und Halbleiterbauteilen.
Die hier entwickelte Technologie
soll helfen, leistungselektronische
Baugruppen künftig energie-
effizienter, schneller und kosten-
günstiger herzustellen.

Anschub für die Energiewende

Das Fraunhofer ENAS und die Technische Universität Chemnitz haben ein neues Verfahren zur Herstellung von Leistungselektronik-Modulen entwickelt. Dieses könnte die Produktion und Nutzung von erneuerbaren Energien deutlich günstiger machen.

Elektroautos gelten als die Zukunft des Individualverkehrs. Wenn sie mit Ökostrom aufgeladen werden, fahren sie emissionsfrei. Ganz im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren, die ab 2035 in der Europäischen Union nicht mehr zugelassen werden sollen. Immer mehr Autos auf Deutschlands Straßen fahren deshalb elektrisch. Doch ihr Anteil wächst langsamer als erhofft – und das liegt vor allem am Preis. Noch ist hierzulande kaum ein Elektro-Neuwagen unter

25 000 Euro zu haben. Damit die Verkehrswende gelingt, müssen die Preise sinken.

Ingenieurinnen und Ingenieure versuchen deshalb, die Komponenten der Fahrzeuge zu optimieren und ihre Herstellung

Von der Werkstatt ins Labor:

Martin Kroll, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz, betrachtet eine klassische Induktionsspule. Das Ziel seines Teams ist es, die Funktionsweisen solcher Spulen für die Mikrotechnologie nutzbar zu machen.



zu verschlanken. Die Bauteile sollen leistungsfähiger und gleichzeitig kostengünstiger werden. Mit dem Ziel, zu diesem wichtigen Aspekt der Verkehrswende entscheidend beizutragen, forscht Christian Hofmann aus der Abteilung »System Packaging« am Fraunhofer ENAS an neuen Fügeverfahren zur Herstellung von Leistungsmodulen. Diese wandeln und steuern elektrische Energie. Der Hintergrund: Ökostrom wird entweder als Wechselstrom, zum Beispiel von Windkraftanlagen, oder als Gleichstrom, etwa von Solaranlagen, bereitgestellt. Für das Stromnetz muss die elektrische Energie in Wechselstrom umgewandelt werden. Batterien, zum Beispiel von Elektrofahrzeugen, können aber nur mit Gleichstrom geladen werden und geben auch nur Gleichstrom ab. Elektromotoren benötigen wiederum meistens Wechselstrom. Somit müssen diese Ströme während ihrer Übertragung mehrfach umgewandelt werden.

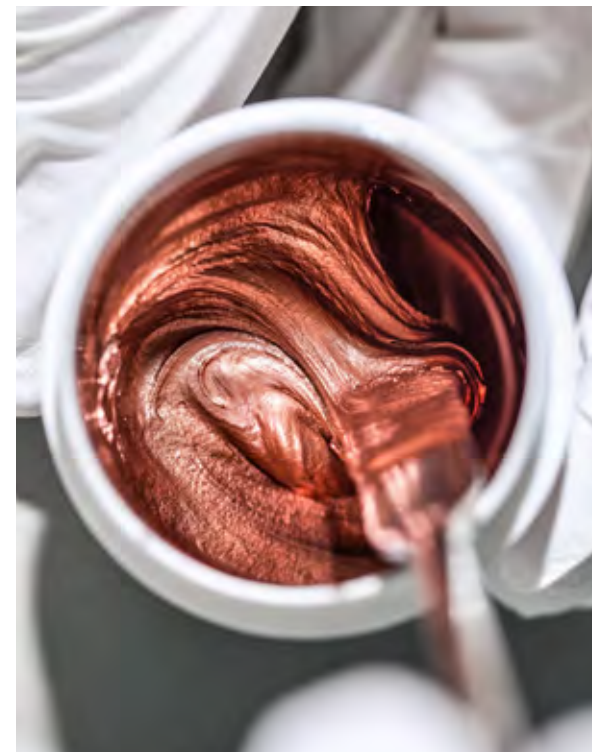
Die nötigen Leistungsmodule sind Kernkomponenten von

Elektrofahrzeugen und mit der Zeit immer leistungsfähiger geworden. So fließen mittlerweile immer größere Ströme auf immer kleinerem Raum: »Damit die Elektronik in den Modulen nicht überhitzt, besteht die größte Herausforderung darin, die entstehende Wärme schnell und zuverlässig abzuführen«, sagt Christian Hofmann. Hier setzt das neue Verfahren an: Der Wissenschaftler entwickelt zusammen mit Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer ENAS sowie der Technischen Universität Chemnitz ein neuartiges und vielversprechendes Verfahren zur Herstellung dieser Module: das induktive Partikelsintern.

Einsatz in E-Autos, Photovoltaik und Windkraft möglich

Beim Partikelsintern müssen die Mikrochips nicht mehr auf die Modulkomponenten gelötet werden, was die Wärmeleitung deutlich verbessert. Stattdessen werden sie mit einer Paste aus Mikropartikeln, bestehend aus den thermisch hochleitfähigen Metallen Silber oder Kupfer zusammengefügt. »Diesen Prozess, das sogenannte Sintern, versuchen wir so weit wie möglich zu optimieren«, sagt Martin Kroll, Leiter der Abteilung »Thermische Füge- und Prozesstechnik« an der Technischen Universität Chemnitz, der gemeinsam mit Christian Hofmann am induktiven Partikelsintern arbeitet.

Was die Forschung von Christian Hofmann und Martin Kroll so einzigartig macht: Es gelingt ihnen, die Chips durch induktiven Wärmeeintrag zu



Spezielle Rezeptur: Mithilfe dieser aus Kupferpartikeln, Bindemitteln und weiteren Additiven bestehenden Sinterpaste werden die Halbleiterbauteile auf die Modulkomponenten gefügt. Die Paste wird von der Firma Heraeus Electronics GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt.

sintern. Statt das ganze Bauteil zu erhitzen, um den Chip zu fügen, können sie die Sinterpaste punktuell auf Temperatur bringen – »minimalinvasiv« sozusagen. Das hat gleich mehrere Vorteile:

Es schützt das Bauteil vor Temperaturschäden, verbraucht weniger Energie, ist deutlich schneller und auch kostengünstiger. »Die Module werden dadurch zuverlässiger, langlebiger und unempfindlicher. Sie können rauen Umgebungen und Umwelteinflüssen sowie hohen Energie- und Wärmedichten standhalten«, erklärt Christian Hofmann. Alles Faktoren, die zum großen Ziel beitragen, die Elektromobilität attraktiver zu machen. Darüber hinaus könnten solche Module in Zukunft auch in Photovoltaik- und Windenergieanlagen eingesetzt werden.

»Die Module werden zuverlässiger und langlebiger.«

Bis 2026 arbeitet das interdisziplinäre Team des Fraunhofer ENAS und der Technischen Universität Chemnitz unter anderem im Kooperationsprojekt »KuSIn« daran, diese Erkenntnisse in konkrete Anwendungen zu überführen. Mit dem Automobilzulieferer Schaeffler, dem Technologiekonzern Heraeus Electronics, dem Anlagenbauer Budatec sowie dem Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS entwickeln sie kupferbasierte Sinterpasten, Werkzeuge, Maschinen und Prozesse, um das induktive Partikelsintern von mikroelektronischen Siliziumkarbid-Chips für die Fertigung von Leistungsmodulen für Elektromotoren im industriellen Maßstab einzusetzen. »Wir erproben den induktiven Sinterprozess, zusammen mit einer neuen Sinterpaste, jetzt erstmals an anwendungsbereiten Bauteilen. Darin sehen wir die Chance, Chemnitz als weltweit führenden Forschungsstandort für induktive Erwärmungsprozesse in der Mikrotechnik zu etablieren«, sagt Martin Kroll.

04

Thema Künstliche Intelligenz



Dr. Jan Langer
Leiter der Gruppe »Data-based Methods«

Telefon +49 371 45001-641
jan.langer@enas.fraunhofer.de

**»Wir beschleunigen
Forschung mithilfe
von Algorithmen.«**

Um technologische Innovationen voranzubringen, brauchen wir eine schnellere Entwicklung leistungsfähiger Mikrochips. Dr. Jan Langer und sein Team am Fraunhofer ENAS erforschen, welchen Beitrag KI dazu leisten kann.

Muster im Datenmeer

Im globalen Innovationswettbewerb müssen neue Halbleiterchips immer schneller entwickelt werden. Am Fraunhofer ENAS wird erforscht, wie Künstliche Intelligenz (KI) dabei helfen kann.

»Wir kombinieren das Wissen unterschiedlicher Disziplinen wie kaum eine andere Forschungseinrichtung.«

Wenn in den Reinräumen am Fraunhofer ENAS Mikrochips oder Nanosysteme entwickelt werden, schaut das Team von Dr. Jan Langer den Forschenden in den Laboren oft über die Schulter. Nicht, dass sie wirklich hinter ihnen stünden, um ihre Handgriffe zu beobachten. Es sind vielmehr die zahlreichen Daten, welche im Zuge der Herstellungsprozesse in den Anlagen entstehen, die sie im Blick haben.

Sie untersuchen das Datenmeer, das bei der Entwicklung von Halbleitern entsteht, mithilfe von KI-Algorithmen: »Wenn wir die Prozesse, die hier ablaufen, besser verstehen, können wir sie optimieren«, so Jan Langer. Der 44-jährige Ingenieur leitet das Team »Data-based Methods«, das 2021 am Institut gegründet wurde. Mittlerweile besteht das Team aus acht Wissenschaftlern, unterstützt von Studierenden aus verschiedensten Disziplinen wie Mathematik, Physik und Elektrotechnik.

Am Anfang der Prozessketten, die sie analysieren, steht in der Regel der Wafer: die Siliziumscheibe, die als Basis der Chips und Systeme fungiert. Ihr werden nach und nach Schichten aus

verschiedenen Materialien wie Siliziumoxid oder Metall hinzugefügt. Dieses Vorgehen lässt sich am besten damit vergleichen, wenn ein Konditor verschiedene Teig- und Cremeschichten zu einer Torte auftürmt. Bei der Herstellung von Halbleitern kommt hinzu, dass in jede Schicht, die dem Wafer hinzugefügt wird, mithilfe von physikalischen und chemischen Prozessen feinste Strukturen eingearbeitet werden. Diese sind bis zu 10 000-mal schmäler als ein menschliches Haar. Sie werden zum Beispiel mit Kupfer befüllt, und anschließend wird überstehendes Material abgeschliffen, um eine perfekt glatte Oberfläche zu erzeugen. Diesen Prozess nennen die Technologen »Planarisierung«.

Digitale Zwillinge sparen Ressourcen

Damit ein Chip am Ende funktioniert, muss jeder dieser hochkomplexen Prozesse in exakter Abfolge ausgeführt werden. Kleinste Abweichungen würden den Chip unbrauchbar machen. Das Problem bei der Entwicklung neuer Chips aber ist: Am Anfang der Prozesskette kennt niemand das erfolversprechendste »Rezept« für den Ablaufprozess.

Den Datenschutz heben: Tom Rothe aus dem Team von Jan Langer begleitet die Entwicklung neuer Chips am Fraunhofer ENAS. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz könnte dieser Prozess künftig deutlich schneller ablaufen.

Es muss erst entwickelt werden. Und genau hier kann die KI helfen: Sie ist in der Lage, in der unüberschaubaren Masse von Prozessdaten Muster zu erkennen und den Forschenden den Weg zu weisen. »Auf Basis der Daten und unserem Vorwissen über den Prozess konstruieren wir mithilfe der KI einen Digitalen Zwilling, der es uns ermöglicht, das Endergebnis des neuen Ablaufprozesses zu simulieren. So kann mit unseren Modellen unglaublich viel Zeit gespart werden, da Entwicklungsprozesse beschleunigt und Messschritte während der Produktion überflüssig werden«, sagt Jan Langer.

Bei der Entwicklung setzen die Forschenden auf die Erfahrung der Fachexpertinnen und -experten in ihrem Team sowie auf das Prinzip »Trial and Error«, erklärt Jan Langer. »Dabei führen wir so lange Experimente durch, bis das Ergebnis zufriedenstellend ist.« Dieses Vorgehen sei jedoch aus zwei Gründen problematisch. Erst einmal dauert es zu lange. »Immer schnellere Innovationszyklen verlangen in immer kürzeren Abständen nach neuen Chips und Systemen«, so Jan Langer. Deshalb müsse deren Entwicklung beschleunigt werden.



Zweitens kommt der Faktor »Umwelt« hinzu. »Bei den Experimenten fallen schädliche Substanzen an, die fachgerecht entsorgt werden müssen.« Digitale Zwillinge haben den Vorteil, dass wertvolle Ressourcen gespart werden können.

Fachübergreifende Expertise am Fraunhofer ENAS

Noch untersuchen Jan Langer und sein Team die Prozessketten vor allem anhand von Daten, die in den Reinräumen des Fraunhofer ENAS entstehen. »Wir sind aber auch schon mit Unternehmen im Gespräch, um Einblick in deren Daten zu erhalten«, sagt Jan Langer. Er ist zuversichtlich, dass die Nachfrage nach ihren Methoden schon bald steigen wird. Zum einen, weil der Druck auf die Her-

steller wachse, ihre Entwicklungsprozesse zu beschleunigen. Zum anderen, weil das Fraunhofer ENAS gewissermaßen in einer »Pole Position« stehe: »An vielen Instituten der Welt arbeiten Datenwissenschaftlerinnen und Mikrotechnologie-Experten weitgehend unabhängig voneinander«, so Tom Rothe. Der 27-jährige Physiker hat sich deshalb für das Team um Jan Langer entschieden: »Wir kombinieren das Wissen unterschiedlicher Disziplinen wie kaum eine andere Forschungseinrichtung. Durch den direkten Draht zu unseren Technologie- und Simulationsexpertinnen und -experten schaffen wir ideale Voraussetzungen, dieses Thema in den kommenden Jahren entscheidend voranzutreiben.«

05

Thema Sensorik



Dr. Alexander Weiß
Leiter der Business Unit »Smart Systems«

Telefon +49 371 45001-246
alexander.weiss@enas.fraunhofer.de

»Wir liefern
Kraftwerke, klein
wie ein Fingernagel.«

Künftig könnten Sensorplattformen, die sich selbst mit Energie versorgen, Prozesse in Landwirtschaft, Logistik oder Produktion überwachen. Die nachhaltige Technologie wird derzeit von Dr. Alexander Weiß und seinem Team am Fraunhofer ENAS entwickelt.

Endlose Überwachung mit Zero-Power-Sensoren

Die Idee eines energieautarken Sensors zur Überwachung mechanischer Bauteile ist nicht neu – aber ein Team vom Fraunhofer ENAS hat sie jetzt erstmals mit Piezowandlern umgesetzt.

Wer am Frankfurter Flughafen seinen Koffer abgibt, schickt ihn schon vor dem Abflug auf die Reise. Nach dem Check-in rumpelt er über kilometerlange Transportbänder, bis er in großen Hallen sortiert und anschließend ins Flugzeug verladen wird. Mehrere Tausend Motoren treiben dieses System an. Fällt auch nur einer aus, stockt nicht nur der Koffer-Transfer – der Defekt kann den Ablauf im ganzen Flughafen aufhalten.

Um das zu verhindern, könnte in Zukunft jeder einzelne Motor von einem Sensor überwacht werden. Nimmt dieser ungewöhnlich starke Vibrationen wahr, schlägt er Alarm. Der Motor wird gewartet, bevor ein Schaden entsteht. Das ist »Predictive

Hochbetrieb hinter den Kulissen: Am Frankfurter Flughafen bringen kilometerlange Transportbänder das Gepäck der Reisenden ans richtige Gate. Künftig könnten Anlagen wie diese von energieautarken Sensoren überwacht werden.



Maintenance« – eine der größten Verheißungen in der vernetzten Industrie 4.0. Die sogenannte vorausschauende Wartung soll Ausfallzeiten von Maschinen erheblich senken.

»Wenn wir diese Vision umsetzen wollen, brauchen wir unzählige Sensoren«, sagt Dr. Alexander Weiß, Leiter der Business Unit »Smart Systems« am Fraunhofer ENAS. Aber: So viele vernetzte Sensoren würden nicht nur riesige Mengen Strom verbrauchen, sie würden auch selbst regelmäßig gewartet werden müssen und – wenn sie mit Batterien betrieben werden – sehr viel giftigen Sondermüll verursachen. Es sei denn, die Sensoren könnten sich selbst mit Energie versorgen. Autark.

Nachhaltiges Sensorkonzept: kein Verschleiß, kein Müll
Das ist die Idee von »Zero-Power«-Sensoren. Was lange als utopisch galt, hat ein achtköpfiges Team am Fraunhofer ENAS in Zusammenarbeit mit Partnern der Technischen Universität Chemnitz, der Ruhr-Universität



Bochum und der Universität Paderborn umgesetzt. Gemeinsam haben sie einen Sensor entwickelt, der Energie aus der Bewegung des Bauteils, das er überwacht, bezieht. Er besitzt zudem einen eingebauten Speicher. Darauf schreibt der Sensor, wie lange und wie stark er vibriert. Die Informationen können jederzeit über eine drahtlose Schnittstelle ausgelesen werden.

Das Besondere: Selbst, wenn das überwachte Bauteil länger stillsteht, dem Sensor also keine Energie zur Verfügung steht, sind die Daten im Speicher sicher.

»Unser Sensor ist wartungsfrei und kann unendlich lange betrieben werden.«

»Unser Sensor ist wartungsfrei und kann unendlich lange betrieben werden«, so Alexander Weiß. Es gibt keinen Verschleiß, keine Ermüdung, keinen Müll.

Die Daten werden im Widerstand gespeichert
Der innovative Sensor des Fraunhofer ENAS besteht aus drei Komponenten: einem Piezowandler als Energiequelle, einem Memristor, dem Datenspeicher, und einer Schnittstelle, um die Informationen auszulesen und den Memristor zurückzusetzen.

Das Herzstück ist der Piezowandler. Er erzeugt eine Spannung, wenn Kraft auf ihn einwirkt, beispielsweise, wenn das überwachte Bauteil ungewöhnlich stark vibriert. Er wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um. Sein Strom fließt dann in den Memristor.

Hoffnungsträger:
Alexander Weiß und Katja Meinel mit einem Prototyp des Zero-Power-Sensors, der gemeinsam mit den Universitäten Chemnitz, Paderborn und Bochum entwickelt wurde. Die Technologie könnte schon bald unzählige Sensor-Batterien in Anlagen und Maschinen ersetzen.

Das ist ein Kofferwort aus »Memory« (Speicher) und »Resistor« (Widerstand). Alexander Weiß erklärt seine Funktion so: »Je länger der Memristor Strom vom Piezowandler bezieht, desto mehr verändert sich sein elektrischer Widerstand.« Über die Schnittstelle lässt sich der veränderte Widerstand auslesen. Dieser Wert zeigt an, ob und wie lange das Bauteil ungewöhnlich stark vibriert hat. Beim Auslesen wird der Memristor auf seinen ursprünglichen Widerstand zurückgesetzt. Der Sensor ist wie neu.

Einsatzzweck: Predictive Maintenance

»Wir waren die erste Forschungsgruppe weltweit, die eine Piezowandler-Einheit konstruieren konnte, die auch bei kleinsten Vibrationen ausreichend Energie für den Memristor bereitstellt«, sagt der 44-jährige Alexander Weiß. »Das war ein großer Meilenstein.« Und das im ganz Kleinen: zwei mal zwei Zentimeter misst die Energie-Einheit des Sensors, in der insgesamt 20 Piezowandler integriert und in Serie verschaltet sind. Noch winziger ist der Memristor, der bis auf eine Größe von 600 Nanometer skaliert werden kann.

Viereinhalb Jahre hat das Team an dem Sensor geforscht, bis es unter Laborbedingungen zeigen konnte, dass das Zero-Power-Konzept funktioniert. Jetzt müssen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler noch potenzielle Kunden überzeugen, am besten aus dem Maschinenbau. Der Grund: Bereits eine größere Produktionsmaschine müsste, um sie mit Predictive



Mini-Power-Plant: Mithilfe dieses Systems zur Vibrationsdetektion mit Piezowandler und Memristor lassen sich künftig energieautarke smarte Sensoren für die Industrie 4.0 betreiben.

Maintenance vorausschauend warten zu können, mit Hunderten Sensoren überwacht werden. Zwei passende Firmen haben das Projektteam in den letzten Jahren eng begleitet und beraten: die Ulrich Rotte Anlagenbau und Fördertechnik GmbH sowie die MSF-Vathauer Antriebstechnik GmbH & Co. KG. »Die Erste hat die Koffertransportbänder am Frankfurter Flughafen gebaut«, sagt Alexander Weiß. »Ich würde sagen, dass sie unseren Sensor sehr gut gebrauchen könnte.«

Vergängliche Technologie

Ein Team vom Fraunhofer ENAS hat ein Sensorsystem für die Landwirtschaft entwickelt, das fast vollständig kompostierbar ist.

Sind handelsübliche Sensoren defekt, landen sie auf dem Müll. Selbst wenn einzelne Komponenten recycelt werden können, sind doch die meisten Ressourcen verloren. Das wollte ein Team um den Ingenieur Sven Voigt vom Fraunhofer ENAS ändern und hat sich die Frage gestellt: Können wir Sensoren herstellen, die ausschließlich aus umweltfreundlichen Materialien gefertigt sind?

Nach drei Jahren ist es ihnen gelungen, ein smartes Sensorsystem für die Landwirtschaft zu entwickeln, das fast vollständig kompostierbar ist. Wo sie verzichten konnten, ließen sie bei der Konstruktion Plastik und andere giftige oder schwer abbaubare Materialien weg. In einem zweiten Schritt ersetzen sie konventionelle Bauteile durch umweltfreundliche Alternativen: Sie nutzten biologisch abbaubare Polyester, druckten elektronische Schaltungen auf Papier, stellten Sensoren aus Gips her oder Leiterbahnen aus Kohlenstoff: »Das sind alles Materialien, die im Boden zersetzt werden«, sagt der 41-jährige Projektleiter Sven Voigt. Und: »Die Materialien sind günstig. Wenn wir die Sensoren in Masse herstellen, handelt es sich sozusagen um Centware.«

Sensoren können einfach untergepflügt werden

Noch enthalten aber einige mikroelektronische Elemente Silber, Kupfer und Silizium. Diese wertvollen Substanzen gehören nicht auf den Kompost. Perspektivisch müssen sie daher ersetzt werden, um das Projektziel zu erreichen. »Aber wir haben es fast geschafft«, sagt Sven Voigt.

Wenn das Team dieses Ziel erreicht hat, sieht der Lebenszyklus der neuen Sensorik so aus:

Die innovativen Sensoren messen Bodenfeuchte und Nitratwerte bewirtschafteter Felder, ebenso die Blattfeuchte angebaute Pflanzen. Mit diesen Informationen können Landwirte gezielter bewässern oder düngen. Das spart Ressourcen, schont die Böden und optimiert die Erträge. Erreichen die Sensoren ihr Lebensende, können sie einfach untergepflügt werden – und weil sie vollständig abbaubar sind, düngen sie sogar noch das Feld.



Recyclebar: Sven Voigt aus der Business Unit »Smart Systems« entwickelte das Sensorsystem, das Landwirten dabei hilft, ausreichend zu wässern oder zu düngen.

06

Thema Quantentechnologien



Dr. Steffen Kurth
Technical Lead

Telefon +49 371 45001-255
steffen.kurth@enas.fraunhofer.de

»Wir fangen Ionen – für Wirtschaft, Forschung und Sicherheit.«

Dr. Steffen Kurth und sein Team am Fraunhofer ENAS entwickeln Quantenchips auf Basis von »Ionenfallen«. Die Chips bilden die Grundlage von Quantencomputern, die in Zukunft einen entscheidenden Beitrag zum Ausbau von Rechnerkapazität, Forschungsleistung und Cybersicherheit in Europa leisten werden.

Die Ionenfalle

Ionen sind klein, flüchtig und kaum zu bändigen. Wer sie beherrscht, könnte schon bald einen Quantencomputer bauen, der unsere Welt verändern wird.

Die Dimensionen, in denen Quanteningenieurinnen und -ingenieure denken, lassen sich am besten an einem menschlichen Haar veranschaulichen. Wird das Haar längs in 700 000 gleiche Teile aufgespalten, hätte einer dieser Haarsplitter die gleiche Größe wie ein Ion: ungefähr 0,1 Nanometer. Und auf die Ionen kommt es an.

»Wir erleben den Beginn einer neuen Epoche«, sagt Dr. Steffen Kurth vom Fraunhofer ENAS. Ionen, positiv geladene Atome, seien drauf und dran, Informationen tragen, Rechenfunktionen ausführen und so eine neue Ära einläuten zu können: die Ära des Quantencomputings.

Quantencomputer könnten unsere Welt schon in wenigen Jahren grundlegend verändern. Ihre Rechenleistung übersteigt jene von herkömmlichen Computern um ein Vielfaches. Das Entschlüsseln einer codierten Nachricht etwa, an der heute noch wochenlang gerechnet wird, könnte zukünftig innerhalb weniger Minuten gelingen. Auch bei der effizienten Entwicklung von Werkstoffen, bei Fragen der Klimaforschung, bei Wirkstoffberechnungen für neue Medikamente oder bei der Kalkulation komplexer Logistikrouten könnten Quantencomputer einen entscheidenden Beitrag leisten.

Zudem spielen sie in energiesparsamen Rechenzentren der Zukunft und der Künstlichen Intelligenz eine zentrale Rolle. Hinzu kommt: Für Staaten stellt Quantencomputing eine strategische Schlüsseltechnologie dar. »Deutschland und Europa müssen bei dieser Entwicklung ganz vorn mit dabei sein, um im globalen Wettbewerb langfristig und erfolgreich zu bestehen«, sagt Steffen Kurth.

Wettlauf der Technologien

Deshalb investiert Deutschland viel Geld in die Entwicklung eines deutschen Quantencomputers: Bisher wurden zwei Milliarden Euro für Forschungs- und Entwicklungsprojekte eingeplant und weitere drei Milliarden für die künftigen Jahre. Weil aber noch nicht absehbar ist, welche Quantentechnik das Rennen machen wird, unterstützt die Regierung verschiedene Ansätze. Darunter sind Quantencomputer, die mit Supraleitern rechnen und

Tatort Cybersicherheit: Quantencomputer könnten jede nach aktuellem Standard codierte Nachricht innerhalb weniger Minuten entschlüsseln. Deshalb wird schon jetzt an der »Post-Quanten-Kryptografie« gearbeitet, einem Codierungsverfahren, das auch vor Quantencomputern schützt.

»Wir erleben den Beginn einer neuen Epoche.«





Steffen Kurth und Anne-Katrin Schumann, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer ENAS, an einer Wafer-Testanlage. Hier werden photonische Komponenten, die zentral für Quantenchips kommen-der Generationen sind, analysiert.

Quantencomputer, die Photonen nutzen. Außerdem auch Quantencomputer, in denen Ionen miteinander interagieren – an genau dieser Technologie forschen die Fachexpertinnen und -experten am Fraunhofer ENAS unter der Leitung von Steffen Kurth, finanziert mit Mitteln aus dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Das Geheimnis der »Qubits«
Der wichtigste Unterschied zwischen Quantencomputern und herkömmlichen Computern ist die Art, wie sie Informationen verarbeiten: Herkömmliche Computer rechnen auf der Basis von Bits, die nur zwei Zustände abbilden können: entweder 0 oder 1. Quantencomputer hingegen arbeiten mit »Qubits«, die sich, vereinfacht gesagt, in mehreren Zuständen gleichzeitig befinden können. Ein anderer

Quanteneffekt, die sogenannte Verschränkung, sorgt dafür, dass sich mit jedem zusätzlichen Qubit, den ein Quantencomputer besitzt, die Rechenleistung des Systems verdoppelt. Durch die Verschränkung kann ein Quantencomputer Daten auch parallel verarbeiten. Vor allem diesem Effekt verdankt der Computer seine Schnelligkeit.

»Bei Quantencomputern, die auf der Basis von Ionen arbeiten, tragen einzelne Ionen die Informationen und führen Rechenoperationen aus«, so Steffen Kurth. Doch die Forschenden am Fraunhofer ENAS stehen vor einer Herausforderung: Neben ihrer Winzigkeit sind Ionen flüchtig und kaum zu bändigen. Die Lösung: eine »Ionenfalle«. Stark vereinfacht lässt sich diese als eine Kammer beschreiben, in der ein extremes Vakuum herrscht. In dieser Kammer wird mit einem ultravioletten Laser auf Atome »geschossen«, um sie in positiv geladene Ionen zu verwandeln.

»Junge Menschen haben die seltene Chance, die Entwicklung einer Technologie mitzugestalten, die es so bisher nicht gegeben hat.«

Die Herausforderung: Die Ionen stabil halten

Um Daten auf den Ionen zu speichern, machen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deren Energiezustände zunutze. Mit Laserlicht und Mikrowellenfeldern versetzen sie Ionen in unterschiedliche interne Energiezustände. So bestücken sie einzelne Ionen mit Informationen und lassen sie miteinander interagieren. »Wir sprechen hier von Gatterfunktionen«, sagt Steffen Kurth. Dieser Prozess beschreibt das eigentliche Rechnen. Um die Daten auszuwerten, wird abermals Laserlicht eingesetzt, auf das die Ionen mit einem Lichtimpuls reagieren – und so die gespeicherten Informationen preisgeben. Eine Kamera beobachtet diese Impulse und gibt sie an einen Steuercomputer weiter.

Zu den zentralen Herausforderungen gehört es bei alledem, die Ionen – also die Qubits – stabil zu halten. Jede Störung durch Wärme oder elektrische Felder zerstört ihren Quantenzustand und macht die Rechenoperation unbrauchbar. Im Vergleich zu Quantencomputern, die beispielsweise auf Supraleitern basieren, so Steffen Kurth, seien die Quanteninformationen in der Ionenfalle allerdings erstaunlich lange stabil. Eine weitere Hürde stellt die Skalierung der Anzahl der gefangenen Ionen dar. »Der Quantencomputer der Zukunft sollte in der Lage sein, mit mehreren Hundert Ionen parallele Rechenoperationen auszuführen«, erklärt Steffen Kurth. Doch bis dahin ist es noch ein weiter Weg.

Derzeit beschäftigt sich das Forschenden-Team damit, die einzelnen Bestandteile der Ionenfalle – wie zum Beispiel Elektroden für das Einfangen und Transportieren, Photodetektoren, Mikromagnete, Lichtpfade für verschiedene Laser, Mikrowellenantennen und eine ganze Reihe von elektronischen Chips – in einen komplexen Ionenfallen-Chip zu integrieren, der nur ein paar Millimeter groß und dreidimensional aufgebaut ist.

Dabei greifen die Expertinnen und Experten des Instituts auf ihr langjähriges Know-how im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien zurück. Dieses Know-how liegt insbesondere in der Entwicklung von Technologien für das Verbinden von

Wafern und Chips, dem sogenannten Bonden, bei dem dreidimensionale Mikrobaulemente durch eine schichtweise Verschmelzung entstehen. In den vergangenen Jahren konzentrierten sich die Forschungsarbeiten am Fraunhofer ENAS insbesondere auf elektrische und optische Verbindungen zwischen den einzelnen Ebenen und optischen Metaflächen. »Diese Ergebnisse nutzen wir nun für den Bau von Ionenfallen«, so der Wissenschaftler.

Steffen Kurth ist optimistisch, dass dieses Kunststück in drei bis vier Jahren gelingen kann. »Allein würden wir das allerdings nicht schaffen. Für unsere Arbeit ist es unerlässlich, dass wir uns auf unsere Partner aus der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) verlassen können.«

Hinzu kommt, dass es schon heute Unternehmen und Start-ups gibt, die die Arbeit der Quantenforschenden anwenden. So stellte der Halbleiterhersteller NXP im Frühjahr 2024 einen industrietauglichen Quantencomputer in Hamburg vor, der auf der Ionenfalle basiert und ausschließlich in Deutschland hergestellt wurde. »Das ist ein echter Meilenstein«, sagt Steffen Kurth. Zugleich sei klar: »Die Ära des Quantencomputing hat gerade erst begonnen.« Ein Umstand, der sich im Übrigen auch auf die Jobperspektiven in diesem Bereich auswirke. »Junge Menschen, die heute in diesen Bereich einsteigen, haben die seltene Chance, die Entwicklung einer Technologie mitzugestalten, die es so bisher nicht gegeben hat. Gerade die globale Hightechindustrie wird künftig vielfältige attraktive Jobperspektiven in diesem Bereich bieten.«

Innovationstreiber für Spitzentechnologie

Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) bündelt im Projekt »Module Quanten- und neuromorphes Computing« (FMD-QNC) die technologischen Fähigkeiten von 19 führenden Forschungseinrichtungen der Bereiche Elektronik, Optik und Lasertechnik. Die beteiligten Institute teilen sich Reinräume und Wissen und stellen damit eine zentrale Anlaufstelle für Partner sowie Kunden aus Wissenschaft und Wirtschaft dar. Außerdem wird der Verbund durch Hochschulen gestärkt, die eine zentrale Rolle im Mikroelektronik-Innovationssystem spielen. Aktuell arbeiten mehr als 5 000 Menschen an den Instituten der FMD, darunter mehr als 3 000 Forschende.

07

Thema Parylenebasiertes Packaging und Ultraschallwandler

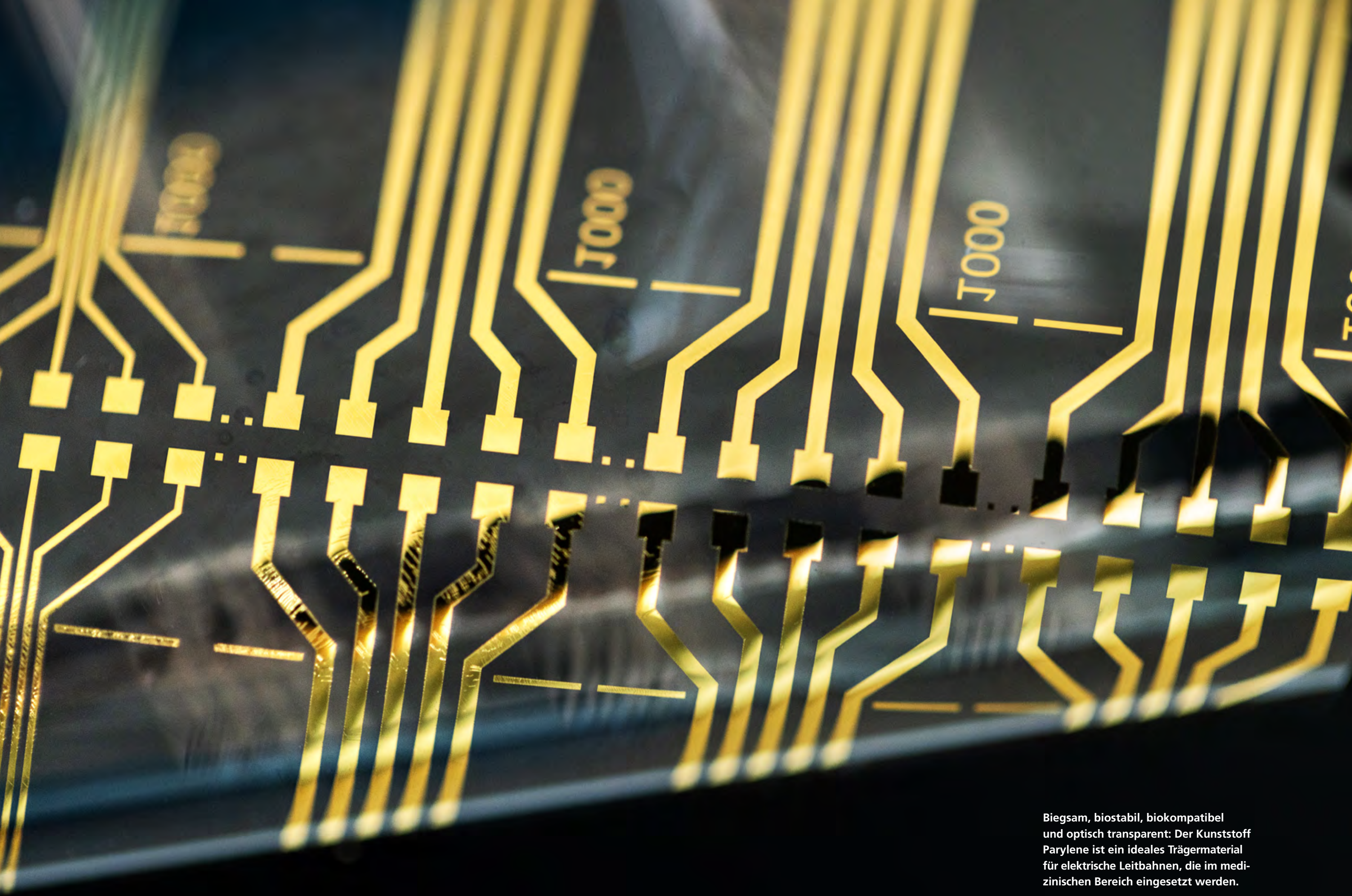


Dr. Maik Wiemer
Leiter der Abteilung »System Packaging«

Telefon +49 371 45001-233
maik.wiemer@enas.fraunhofer.de

»Wir ebnen der Medizin von morgen den Weg.«

Ein außergewöhnliches Trägermaterial für flexible Leiterplatten und miniaturisierte Ultraschallwandler: Am Fraunhofer ENAS stellt Dr. Maik Wiemer zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen die Weichen für revolutionäre medizinische Anwendungen.



Biegsam, biostabil, biokompatibel
und optisch transparent: Der Kunststoff
Parylene ist ein ideales Trägermaterial
für elektrische Leitbahnen, die im medi-
zinischen Bereich eingesetzt werden.

Multitalent für die Mikrosystemtechnik

Der Kunststoff Parylene eröffnet der Mikrosystemtechnik völlig neue Anwendungsfelder. Am Fraunhofer ENAS werden mit seiner Hilfe Leiterplatten entwickelt, die dünner sind als alle bisher dagewesenen.

Smarte medizintechnische Systeme kommen immer häufiger zur Überwachung von Vitalparametern zum Einsatz. Aus gutem Grund: Blutdrucksensoren, Herzschrittmacher oder Insulinpumpen helfen, die Gesundheit von chronisch Kranken zu erhalten und sogar Leben zu retten. Je kleiner zum Beispiel aktive Implantate sind und je autarker sie arbeiten, umso angenehmer ist das für die Trägerinnen und Träger. Derzeit eingesetzte konventionelle Metallgehäuse können diese beiden Eigenschaften aber kaum erfüllen, weil sie insbesondere drahtlose Energie- und Datenübertragung nur eingeschränkt zulassen.

Und auch dem zuverlässigsten elektronischen Implantat geht mal die Puste aus. Alle paar Jahre sind seine Energiereserven erschöpft. Dann steht ein chirurgischer Eingriff an, bei dem das gesamte Gerät ausgetauscht wird. Wäre es nicht großartig, wenn ein solcher Eingriff künftig vermieden werden könnte? Wenn das gesamte Gerät, statt es mitsamt seiner Energiequelle regelmäßig auszutauschen, einfach aufgeladen werden könnte – ohne OP, von außen, ganz ähnlich, wie es heute schon bei Smartphones und E-Autos möglich ist? Genau das ist keine ferne Zukunftsvision: Das Fraunhofer ENAS forscht seit vielen Jahren an und mit einem Material, das hilft, medizintechnische Systeme zu miniaturisieren und stromautark zu machen. Es heißt »Parylene«.

Dieser Kunststoff ist ein wahres Multitalent. In verschiedenen Projekten des Fraunhofer ENAS werden neue Anwendungsgebiete für die vielfältigen Eigenschaften dieses Polymers erschlossen. Zu den »Talenten« von Parylene – dessen vollständiger chemischer Name Poly(paraxylylene) lautet – zählt, dass es sich als dünnes Beschichtungsmaterial verwenden lässt, das wie eine Barriere zuverlässig vor dem Eindringen von Gasen und Wasser, aber auch allen gängigen Säuren und Basen schützt.

»Das Material zeichnet sich durch ganz besondere Eigenschaften aus, sodass es sich in den vergangenen Jahren in verschiedensten Bereichen durchgesetzt hat«, sagt Dr. Maik Wiemer, Leiter der Abteilung »System Packaging« am Fraunhofer ENAS. »Wir haben, ausgehend von seinen hervorragenden Barriere-Eigenschaften, inzwischen die unterschiedlichsten Anwendungsfelder erschlossen.« Parylene sei biostabil und biokompatibel: Bei seinem Einsatz in lebendigen Organismen komme es also zu keinerlei negativen Wechselwirkungen, was es insbesondere aus Sicht der Medizin zu einem vielversprechenden Material mache, so der Wissenschaftler.

Parylene erstmals als Trägermaterial im Einsatz Neben der biokompatiblen Verkapselung und Miniaturisierung ermöglicht Parylene auch das induktive Aufladen von Akkus in smarten medizinischen Anwendungen, wie etwa Implantaten. Das Material erlaubt eine extrem dünne Ummantelung, die den Ladeprozess nicht durch abschirmende Effekte stört. Forschende am Fraunhofer ENAS haben bereits gezeigt, dass das Aufladen von außen möglich ist. Zusätzlich ist Parylene transparent und kann daher auch für die Verkapselung von optischen Bauelementen, wie Leuchtdioden, verwendet werden.

»Parylene ist biostabil und biokompatibel, was es vor allem für medizinische Anwendungen interessant macht.«



Flexibel einsetzbar: Hier wurde eine ultraflexible Leiterplatte auf dem runden Kopf einer Schraube fixiert.

Jüngst haben die Forschenden, neben seiner bisherigen Nutzung als Membran oder Barrierschicht, zwei neue Anwendungsbereiche für Parylene entwickelt. Zum einen wird Parylene als Adhäsiv, also Haftmittel, für die Herstellung von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) eingesetzt. Damit können verschiedene Funktionalitäten von Chips übereinandergestapelt werden, da Parylene zur Verbindung unterschiedlicher Materialkombinationen geeignet ist. Außerdem bietet Parylene im Vergleich zu herkömmlichen Materialien neben seiner Biokompatibilität und Transparenz auch Vorteile hinsichtlich Größe und Temperaturstabilität.

Parylene wird inzwischen zudem auch als Substrat, also als Trägermaterial, für die Herstel-

lung von ultradünnen und je nach Bedarf flexiblen Leiterplatten eingesetzt. Ein klassisches Trägermaterial für die Produktion von flexiblen Leiterplatten ist unter anderem der Kunststoff Polyimid. Kommerziell verfügbare Leiterplatten auf dieser Basis haben in der Regel eine Dicke von mindestens 200 Mikrometern, also 0,2 Millimetern.

Am Fraunhofer ENAS ist es nun erstmals gelungen, Parylene als Trägermaterial zum Einsatz zu bringen und auf diese Weise ultradünne Leiterplatten herzustellen, die lediglich 20 Mikrometer dick und dabei deutlich flexibler sowie biokompatibel sind. Sie lassen sich wesentlich besser falten, in kleinen Hohlräumen unterbringen und stehen für Anwendungen zur Verfügung, für die starre Leiterplatten keine Option sind. Als denkbare Einsatzgebiete nennt Maik Wiemer kleine Systeme mit eingeschränktem Bauraum, bei

denen eine hohe Flexibilität der Leiterplatte erforderlich ist.

Franz Selbmann, der die Entwicklung der neuartigen Parylene-Anwendungen am Fraunhofer ENAS im Rahmen seiner Promotion maßgeblich vorantreibt, nennt drei weitere wichtige Einsatzfelder: die Überwachung von Leichtbaustrukturen, intelligente Klebebänder und Wearables, also vernetzte Kleincomputer, die am Körper getragen werden. »Überall hier wird dank flexibler Elektronik auf Parylene-Basis eine bessere Performance erreicht«, so der Wissenschaftler.

Wearables, die beispielsweise die Körpertemperatur, den Puls oder den Blutzuckerspiegel im Blick behalten, werden leichter und flexibler; sie lassen sich nahezu unsichtbar in Armbanduhr oder Kleidungsstücke integrieren. Ähnliche Vorteile ergeben sich bei intelligenten Klebebändern, die beispielsweise per Dehnungssensor die Ausdehnung von Fugen in Gebäuden überwachen können. Als mögliches Anwendungsgebiet in Leichtbaustrukturen nennt Franz Selbmann Sensoren, die die Ermüdung von mechanisch bewegten Fahrzeugteilen analysieren: »Parylenebasierte Detektoren, die direkt in diese Bauteile laminiert sind, werden noch genauere Daten liefern können als bisher gängige Systeme.«

Nachdem das Fraunhofer ENAS Parylene in dreierlei Hinsicht nutzbar gemacht hat – als Ummantelung, als Adhäsiv zum Fügen und als Substrat für ultradünne Elektronik –, liegt ein Fokus von Franz Selbmann und seinen Kolleginnen und Kollegen nun darauf, alle drei Dimensionen miteinander zu verknüpfen und sie zukünftig in industrietaugliche Prozesse zu übersetzen. Die Zusammenarbeit mit ersten Partnern aus der Wirtschaft ist bereits angelaufen.

Ultraschall 2.0

Ultraschall wird mithilfe des Piezoeffekts erzeugt. Bisher. Am Fraunhofer ENAS wurde nun eine neue Technologie entwickelt, die den Ultraschallbereich gleich in mehrfacher Hinsicht umkrempelt.

Ultraschallwandler sind aus der modernen Welt nicht mehr wegzudenken. Sie kommen in unterschiedlichsten Bereichen zum Einsatz: von der Einparkhilfe im Auto über das Sonar fürs Orten von Fischschwärmen in der Hochseefischerei bis hin zur Ultraschalluntersuchung von ungeborenen Babys während der Schwangerschaft.

All diese Anwendungen basieren auf demselben Grundprinzip: Es werden Schwingungen erzeugt, durch die Ultraschallwellen ausgesandt werden. Aus dem Echo dieser Wellen können anschließend die für die jeweilige Anwendung wichtigen Informationen ausgelesen werden.

Die Schwingungen werden mithilfe des sogenannten Piezoeffekts erzeugt: Piezoelektrische Kristalle verformen sich, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird – und beginnen zu vibrieren. Die so erzeugten Ultraschallwellen gehen dann auf die Reise.

Am Fraunhofer ENAS wurden neuartige Ultraschallwandler entwickelt, die mit dieser Tradition brechen: »kapazitive mikro-

Forschungsstark: Nooshin Saeidi aus dem Team um Maik Wiemer entwickelt am Fraunhofer ENAS mikromechanische Ultraschallwandler, um der medizinischen Bildgebung, aber auch neuen therapeutischen Anwendungen den Weg zu ebnen.



mechanische Ultraschallwandler« (CMUTs). Statt auf den Piezoeffekt wie in der herkömmlichen Ultraschalltechnik, setzen CMUTs für das Erzeugen der Schwingungen auf eine Mini-Membran. Diese wird, wie auch Computerchips, auf Basis von Silizium hergestellt. Durch die Verwendung dieser neuen Technologie ist den Fraunhofer-Forschenden eine disruptive Innovation gelungen, die den Ultraschallbereich gleich in mehrfacher Hinsicht auf eine neue Stufe hebt.

Neue Szenarios für die Tumorthherapie

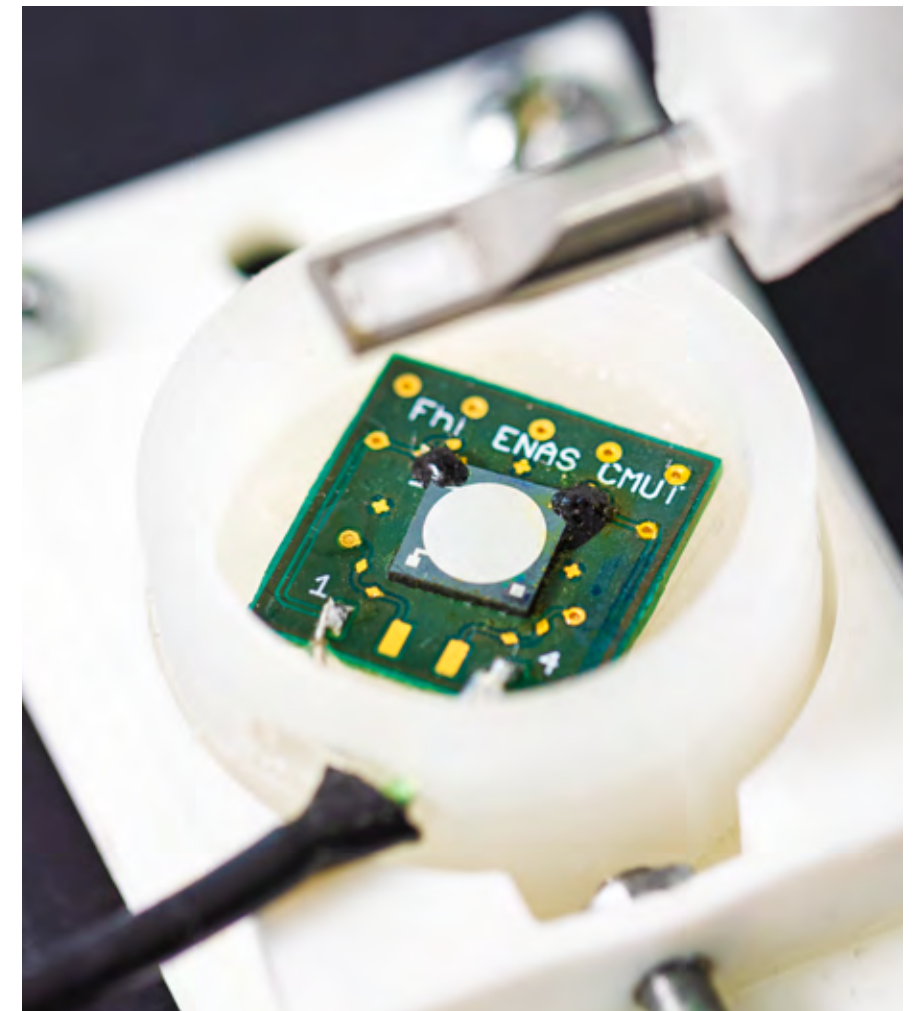
Zum einen wurde eine deutliche Miniaturisierung der Ultraschalltechnik erreicht, sagt Dr. Nooshin Saeidi, Leiterin der Gruppe »Micro Acoustic Systems« am Fraunhofer ENAS. »Die kleinsten medizinischen Ultraschallsonden, die bislang im Einsatz sind, messen einige Millimeter. Durch die Nutzung der von uns entwickelten neuen Technik werden nun Komponenten für Ultraschalluntersuchungen möglich, deren Größe weit unter einem Millimeter liegt. Der Miniaturisierung sind damit kaum noch Grenzen gesetzt«, erläutert die Wissenschaftlerin. Künftig wird es machbar sein, endoskopische Instrumente zu entwickeln, die so filigran sind, dass sie minimal-

»Ein einzelnes CMUT kann mehrere teure Geräte ersetzen.«

invasiv in Blutgefäße eingeführt werden können, um diese von innen zu untersuchen. Einsatzszenarios ergeben sich unter anderem auch für die Tumorthherapie: Die Untersuchung und Behandlung kleinster Krebszellen mittels Ultraschall könnte zum Beispiel noch deutlich zielgenauer erfolgen, so Nooshin Saeidi.

Die zweite bedeutende Neuerung besteht darin, dass die CMUTs echtes Multitasking beherrschen. Um beim Beispiel Medizin zu bleiben: Bislang kommen je nach Untersuchungsgegenstand unterschiedliche Ultraschallgeräte zum Einsatz – eines für die Leber, ein anderes für den Bauchraum und wieder ein anderes für die Haut. »Mit unseren neuen Ultraschallwandlern ist das nicht mehr nötig«, erklärt die Forscherin. »Ein einzelnes CMUT kann mehrere Frequenzen erzeugen und dadurch mehrere teure Geräte ersetzen.«

Ein großer Preisvorteil geht auch mit dem dritten Innovationssprung einher: Die Herstellung traditioneller Ultraschallwandler ist aufwendig, da jeder Wandler manuelle Arbeitsschritte erfordert. Das kostet Zeit und Geld. »Mit unserer neuen Siliziumtechnologie gehört das der Vergangenheit an«, unterstreicht die Wissenschaftlerin. »Wir können Ultraschallwandler chargenweise herstellen und damit Hunderte CMUTs innerhalb kürzester Zeit produzieren. Mehr noch: Wir bieten unseren Kunden dabei gleich alles aus einer Hand:



Ausgeklügelte Technologie: Kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler überzeugen durch ihren hohen Miniaturisierungsgrad und ihre Leistungsfähigkeit.

von der Idee, über das Design bis hin zur Entwicklung einzelner Komponenten und der Integration unserer Wandler in Systeme – das ist ein echter Mehrwert.«

Expertise bündeln, Synergien nutzen

Ein weiterer Vorteil von CMUTs ist, dass sie unempfindlich gegenüber hohen Temperaturen sind. Eine Eigenschaft, die sie beispielsweise zu geothermischen Erkundungen in tiefen Gesteinsschichten mit Temperaturen von 200 °C und mehr befähigt, um dort nach Bodenschätzen zu suchen.

Dies, so Nooshin Saeidi, sei keine Zukunftsmusik: »In einem Leuchtturm-Projekt, an dem insgesamt acht Partner aus Forschung und Industrie beteiligt waren,

wurde bereits ein einsatzfähiger Hochtemperatur-Ultraschallwandler für genau solche Einsatzgebiete entwickelt.« Mit dem Ziel, Expertise zu bündeln und Synergien zu nutzen, engagiert sich das Fraunhofer ENAS gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS und dem Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT in der Fraunhofer-Kooperationsplattform für mikromechanische Ultraschallwandler. »Das ermöglicht es uns, CMUTs gemeinschaftlich zu optimieren und weiterzuentwickeln. Dadurch können wir technische Fragestellungen, zum Beispiel für Anwendungen in der medizinischen Diagnostik, zukünftig noch besser beantworten«, so die Wissenschaftlerin.

08

Thema Neuromorphes Computing



Dr. Sven Zimmermann
Leiter der Gruppe »Nano Devices/PVD«

Telefon +49 371 45001-279
sven.zimmermann@enas.fraunhofer.de

»Wir haben die kleinsten Teile einer großen Revolution im Blick.«

Es verbindet höchste Rechenleistung mit einem vergleichsweise niedrigen Energieverbrauch: An »Neuromorphes Computing« knüpfen sich derzeit viele Hoffnungen. Das Team von Dr. Sven Zimmermann am Fraunhofer ENAS forscht an der revolutionären Rechnertechnologie, die Funktionsweisen des menschlichen Gehirns nachahmt.

Sparsame Superrechner

Bald könnte Künstliche Intelligenz (KI) mehr Strom verbrauchen, als weltweit zur Verfügung steht. Am Fraunhofer ENAS wird deshalb schon jetzt an einer Lösung gearbeitet: dem »Neuromorphen Computing«. Einblicke in eine faszinierende – und sparsame – Zukunftstechnologie.

»Wir müssen Technologien entwickeln, die viel weniger Energie benötigen.«

Der Wafer, der die Welt verändern soll, misst 20 Zentimeter im Durchmesser und funkelt grünlich im Schein der Beleuchtung im Reinraum am Fraunhofer ENAS. Shan Song, wissenschaftliche Mitarbeiterin, trägt einen hellblauen Overall und Mundschutz, als sie den runden Siliziumwafer mit einem Roboterarm aus einer weißen Box in eine Konstruktion aus Edelstahl, so groß wie eine Waschmaschine, manövriert. Die Anlage, in die sie den Wafer einschleust, ist ein Gasphasenabscheider (PVD), der Ort, an dem dieser nach und nach mit Titan, Platin, Titanoxid oder Bismut-Eisen-Oxid und Gold beschichtet wird. Am Ende einer Prozesskette, die viele weitere Arbeitsschritte umfasst und mehrere Monate dauern kann, hält Shan Song einen Halbleiterwafer in der Hand, der einen Traum der Wissenschaft ein Stück näher rücken lässt: den Nachbau des menschlichen Gehirns.

»Neuromorphes Computing« nennen Forscherinnen und Forscher den Versuch, einen Rechner zu entwickeln, der in

seiner Funktionsweise Ähnlichkeiten mit dem aufweist, was im menschlichen Gehirn passiert. Der Schlüssel zu dieser neuen Technologie ist ein Bauelement, das Shan Song im Reinraum herstellt. Es nennt sich »Memristor« – ein Kunstwort aus den englischen Begriffen für »Memory« (Speicher) und »Resistor« (Widerstand). Er ist der Grund, warum sich der Chip, an dem die Wissenschaftlerin arbeitet, fundamental von aktuellen, digitalen Chips unterscheiden wird. Denn der Memristor kann Informationen nicht nur verarbeiten. Er kann sie auch speichern. Es ist diese Doppelfunktion, die den menschlichen Synapsen nachempfunden ist.

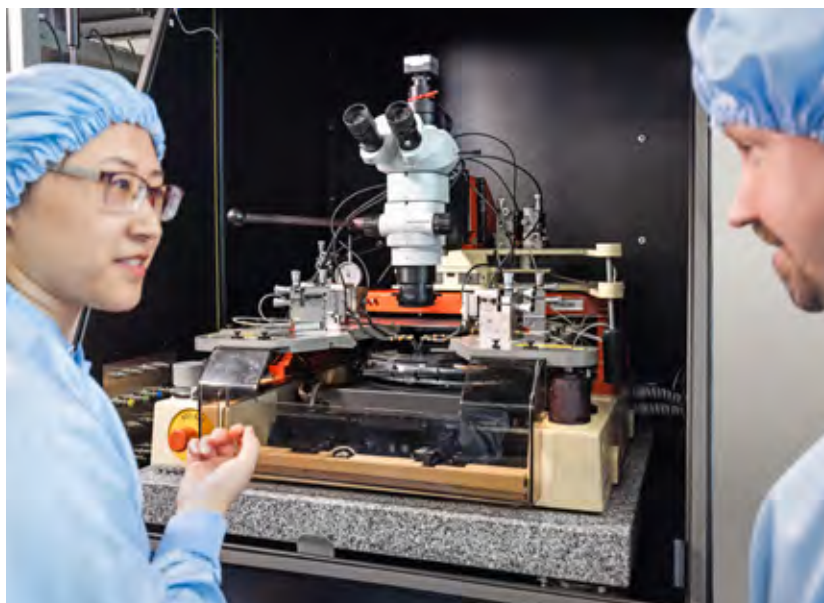
Zentrale Eigenschaften:
Schnelligkeit und Sparsamkeit
An die neuen Computer, Expertinnen und Experten sprechen von »Hardware-Beschleunigern

Nahaufnahme: Im sogenannten Waferprober werden »memristive Bauteile«, die es für die revolutionären Rechner braucht, analysiert.



»Ich denke, dass wir in zehn bis zwölf Jahren funktionierende Chips entwickelt haben.«

Teamwork: Nanotechnologin Shan Song und Sven Zimmermann entwickeln einen Neurocomputer am Fraunhofer ENAS.



für tiefe neuronale Netze«, knüpfen sich zwei zentrale Hoffnungen. Da ist zum einen ihre Schnelligkeit: Durch die Fähigkeit, Daten vollständig parallel zu verarbeiten, hat das Neuromorphe Computing einen entscheidenden Vorteil gegenüber digitalen Computern, in denen Prozessor und Speicher getrennt voneinander arbeiten. Hier wird die Leitung, durch die Daten und Befehle von einem Ort zum anderen fließen, zwangsläufig zum Flaschenhals, der die Arbeitsgeschwindigkeit begrenzt. Computer mit Memristoren hingegen verarbeiten und speichern Daten gewissermaßen in ein und derselben Struktur. Im Ergebnis benötigen sie für komplexe Rechenoperationen nur einen Bruchteil der Zeit, den aktuelle Computer erfordern.

Das ist von Vorteil bei Anwendungen, die in Echtzeit ablaufen, wie dem autonomen Fahren. Läuft etwa ein Kind vor ein Auto, muss das Fahrzeug unmittelbar eine Vollbremsung einleiten. Eine Sekunde der Reaktionsverzögerung kann in einer solchen Situation über Leben und Tod entscheiden. Moderne Grafikprozessoren weisen zwar

diese Rechengeschwindigkeit auf. Doch sie benötigen viel Strom: 400 bis 500 Watt verbraucht eine Grafikkarte der neuesten Generation. Unser Gehirn, das neben dem Autofahren über ungezählte weitere Fähigkeiten verfügt, braucht lediglich 20 Watt.

Und genau das ist die zweite wichtige Eigenschaft der Neurocomputer. Sie verbrauchen deutlich weniger Energie als herkömmliche Computer. Angesichts des rasanten Wachstums von Speicherkapazitäten und Rechnerleistung, ist ihre Sparsamkeit ein mindestens ebenso gewichtiges Argument für die Neurocomputer.

Es braucht sparsame Rechentechnologien

Schon heute verbrauchen Rechenzentren bis zu fünf Prozent der weltweit verfügbaren Energie. Vor allem der KI-Boom wird diesen Wert steigen lassen. Berechnungen gehen von bis zu 30 Prozent aus. Die Folge: Schon in 20 Jahren könnte weltweit nicht mehr genügend Energie produziert werden, um dem Bedarf der Künstlichen Intelligenz gerecht zu werden, sagt Dr. Sven Zimmermann, Leiter der Gruppe »Nano Devices / PVD« am Fraunhofer ENAS. Immer mehr Energie zu produzieren, reiche angesichts dieses Szenarios als Lösung nicht aus. »Wir müssen Technologien entwickeln, die viel weniger Energie benötigen.« Eine Lösung des Problems könnte, da sind sich viele Forscherinnen und Forscher sicher, das Neuromorphe Computing sein.

Um zu verstehen, wie ein Neurocomputer funktioniert, lohnt es sich, einen Blick ins menschliche Gehirn zu werfen. Hier leiten die Axone oder Nervenenden elektrische Signale von einer Nervenzelle zur nächsten, dieser Effekt wird »Spiking«

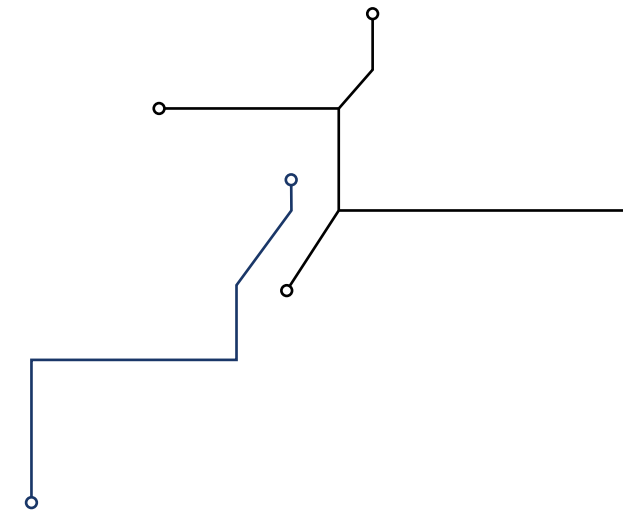
genannt. Am Ende eines Axons befindet sich die Synapse, welche die Reizübergabe zwischen den verbundenen Nervenzellen beeinflusst. Die Intensität einer Synapse verändert sich je nachdem, wie oft die zugehörige Nervenbahn eine Impulsfolge weitergeleitet hat. Auf diese Weise lernt das Gehirn. Das Besondere ist: Die Nervenzelle sendet Signale nur, wenn sie ausreichend Reize vom Zellkörper und seinen Fortsätzen erhalten hat.

Genauso verhält sich der Memristor. Je öfter Strom durch ihn fließt, desto stärker verändert sich sein Widerstand. Diesen Effekt nennen die Forscherinnen und Forscher »Intrinsische Plastizität«. Die Größe des Widerstands dient dann als analoge Speichereinheit. Da spezielle Memristoren auch weitere Funktionalitäten wie ein Schwellwertschalten und eine Selbstoszillation bereitstellen können, kann mit diesen Bauelementen gewissermaßen das Gehirn in Hardware nachgebaut werden.

Eines Tages sollen die neuromorphen Chips, an denen Shan Song und Sven Zimmermann gemeinsam mit ihrem Team arbeiten, in der Liga unseres Gehirns spielen. Bislang befinden sie sich noch im Forschungsstadium. Neben dem PVD-Verfahren setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch auf den Lithografie-Prozess, um den Chip zu bauen. »Das kann man sich wie in der Dunkelkammer der analogen Fotografie vorstellen«, sagt Shan Song. Der Wafer werde mit einem speziellen Lack beschichtet und dann über eine Maske mit Licht bestrahlt, um die richtige Struktur zu erhalten. Anschließend kommen Ätzprozesse zum Einsatz, um die Maskierung letztlich in funktionale Bauelemente zu überführen. Eine langwierige und knifflige Aufgabe zugleich, denn die Rechnungen des Chips müssen in Zukunft noch genauer werden. Darüber hinaus liegt die Leistungsfähigkeit eines Neurocomputers derzeit noch viele Größenordnungen unter der des menschlichen Gehirns.

Das Ziel: möglichst viele Memristoren auf einen Chip zu bannen

Die Herausforderung für Shan Song und Sven Zimmermann besteht nun darin, möglichst viele Memristoren auf einen Chip zu bannen. Aktuell sind es 10 mal 10 Memristoren, die die Forscherinnen und Forscher in einer Crossbar-Array-Struktur angeordnet haben. Es sollen einmal mehrere 1 000 oder gar 10 000 werden. Und dafür müssen sie die Größe eines Memristors von 20 Mikrometer auf 600 Nanometer verringern. Forscherin Shan Song sieht das Fraunhofer ENAS auf dem richtigen Weg: »Ich denke, dass wir in zehn bis zwölf Jahren funktionierende Chips entwickelt haben.«



Langzeitprojekt Gehirn-Nachbau

Das menschliche Gehirn ist das komplizierteste Organ, das die Natur je hervorgebracht hat. Es besteht aus 86 Milliarden Nervenzellen, in etwa so vielen Zellen, wie es Sterne in der Milchstraße gibt. Die Nervenzellen kommunizieren über ein Vielfaches an Kontaktpunkten (den Synapsen) miteinander. Sie verleihen dem Menschen Fähigkeiten, an die bis heute kein Supercomputer heranreicht.

Die Idee, das menschliche Gehirn nachzubauen, gab es schon in den 1950er-Jahren. Der Psychologe Frank Rosenblatt konstruierte an der Cornell University eine Maschine, die nachstellte, wie Nervenzellen in unserem Gehirn miteinander kommunizieren. Die Maschine konnte Bilder erkennen, zum Beispiel einen Hund von einer Katze unterscheiden. Die Grundlage für die Bilderkennung war schon damals ein neuronales Netz, das allerdings mit wenigen und damals noch mechanisch funktionierenden Neuronen arbeitete.

Ein Durchbruch gelang im Jahr 2008, als Forscherinnen und Forscher den Memristor (die Synapse) erfanden. Nun arbeitet die Wissenschaft an der Integration von Memristoren auf einem Chip. Eine Herausforderung auf dem Weg zum Neuromorphen Computer muss allerdings noch überwunden werden: die Entwicklung künstlicher Neuronen, deren Komplexität an die menschliche Nervenzelle heranreicht. Doch auch hier sind tragfähige Lösungen in Sicht.

09

Thema Wasserstoff



Prof. Dr. Ralf Zichner
Leiter der Abteilung »Printed
Functionalities«

Telefon +49 371 45001-441
ralf.zichner@enas.fraunhofer.de

**»Wir helfen, die
Kraft von Sonne und
Wind zu speichern.«**

Wer erneuerbare Energien in vollem Umfang nutzen will, muss Wind- und Sonnenenergie kostengünstig in transportfähigen Wasserstoff umwandeln. Eine dafür notwendige Technologie – ein neuartiges Druckverfahren – wird derzeit von Prof. Dr. Ralf Zichner und seinem Team am Fraunhofer ENAS entwickelt.

Grüne Energie mithilfe von Drucktechnologie

Ein Team am Fraunhofer ENAS arbeitet an einem Druckverfahren, mit dem grüner Wasserstoff in Zukunft schneller und effizienter hergestellt werden kann.

Fast 60 Prozent des in Deutschland erzeugten Stroms werden inzwischen »erneuerbar« gewonnen: Sonne, Wind und Wasser liefern so viel Energie wie nie zuvor. Doch es gibt einen Haken: Bläst in den Offshore-Windparks in der Nordsee zu viel Wind, reichen die Netzkapazitäten oft nicht aus, um den erzeugten Strom etwa in den Süden zu transportieren. Dann müssen die Betreiber die Windräder abschalten. Genau in dem Moment also, in dem diese am effizientesten arbeiten könnten. Mehr als 10 000 Gigawattstunden grünen Stroms gingen dadurch laut der Bundesnetzagentur 2024 verloren – eine Menge, mit der ganz Frankfurt länger als ein Jahr versorgt werden könnte.

Eine Lösung für dieses Problem heißt Wasserstoff. Mittels Elektrolyse könnte die überschüssige Energie direkt am Windrad genutzt werden, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. So ließe sich das gewonnene Gas komprimiert und per Lkw oder Pipeline zu Fabriken und Kommunen im ganzen Land liefern. Hier könnte der Wasserstoff in einer

Brennstoffzelle wieder in Strom umgewandelt werden. Der grüne Strom aus den Windrädern wäre also nicht verloren, sondern ließe sich einfach zeitversetzt verbrauchen. Nur: Die Technik für dieses Verfahren ist heute noch extrem teuer. Die Herstellung eines Elektrolyseurs erfolgt größtenteils in Handarbeit, so belaufen sich die Investitionskosten aktuell auf 690 bis 1 000 Euro pro Kilowatt elektrischer Leistung.

Damit die Anlagen so schnell wie möglich günstiger werden und weniger grüner Strom verloren geht, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Hunderte Millionen

»Wir möchten einen Beitrag dazu leisten, dass der Energieträger Wasserstoff flächendeckend in die Anwendung kommt.«

Euro schwere Forschungsinitiative »H2Giga« aufgesetzt. 130 Partner aus Wissenschaft und Industrie treiben mit dieser Initiative gemeinsam die serienmäßige Herstellung von Elektrolyseuren voran. In einem Teilprojekt dieses Megavorhabens haben sich fünf Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen, um neue Produktionsverfahren zu entwickeln – darunter das Fraunhofer ENAS. »Wir möchten einen Beitrag dazu leisten, dass der Energieträger Wasserstoff endlich flächendeckend in die Anwendung kommt«, sagt Prof. Dr. Ralf Zichner, der am Fraunhofer ENAS die Abteilung »Printed Functionalities« leitet.

Sein Team und er fokussieren sich auf eine entscheidende Schlüsselkomponente des Elektrolyseurs, die zu einem der größten Kostentreiber zählt: die katalysatorbeschichtete Membran (CCM). Diese lässt sich mit einer Frischhaltefolie aus der Küche vergleichen, sie besteht aus Nafion, einem speziellen Kunststoff mit ähnlichen Eigenschaften wie Teflon. Auf dieser Folie befinden sich im Elektrolyseur eine Anode aus Iridiumdioxid und eine Kathode aus kohlenstoffgeträgtem



Weltweit einzigartig ist die Tinte, die Ralf Zichner mit seinem Team entwickelt hat. Dank ihr können Anode und Kathode jetzt per Inkjet-Verfahren auf eine Folie aus Nafion gedruckt werden. So entsteht das Herzstück des Elektrolyseurs.

Platin. Hier werden Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff umgewandelt. »Die katalysatorbeschichtete Membran ist das Herzstück des Elektrolyseurs«, sagt Ralf Zichner.

Eine weltweit einzigartige Tinte

Damit die Folie ihre Wirkung entfalten kann, müssen die Iridiumdioxid- und Platin-Partikel vor der Anwendung in zwei separate Tinten gemischt und anschließend verdrukt werden. Bislang wird dafür meist ein Verfahren angewandt, das »Slot Die« heißt. Dabei wird die Tinte mit einer Schlitzdüse flächig auf ein Zwischensubstrat aufgebracht und somit nicht direkt auf die Membran. »Diese Methode ist wenig ökonomisch, aufwendig und teuer«, erklärt Ralf Zichner. Deshalb forscht er gemeinsam mit seinem Team an einem innovativen Verfahren, mit dem sich dieser Prozess beschleunigen, präzisieren und vergünstigen lässt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen die Anode und Kathode im Inkjet-Verfahren direkt auf die Membran drucken. »Das hört sich in der Theorie sehr einfach an, ist aber extrem schwierig umzusetzen«, so Ralf Zichner.

Erst einmal mussten sie eine spezielle und weltweit einzigartige Tinte entwickeln, die auf der Membran haften bleibt. Dann passten sie das Druckverfahren an die neuartige Tinte an. Und nun, im Projekt »H2Giga«, versuchen die Forschenden den

gesamten Prozess so weit zu optimieren, dass er industriell umgesetzt werden kann. »Wir müssen gewährleisten, dass die Düsen nicht ausfallen, sodass der Prozess über lange Zeit verlässlich läuft – das ist die größte Herausforderung in der gesamten Entwicklung«, sagt Ralf Zichner. Ihr Ziel ist es, bis Ende 2025 finale Ergebnisse präsentieren zu können.

Gelingt ihnen die Umsetzung, könnten sie die Kosten der katalysatorbeschichteten Membran um fast ein Drittel senken. Allein dadurch, schätzt Ralf Zichner vorsichtig, würde der Elektrolyseur mindestens zehn Prozent günstiger werden. Das wäre ein gewaltiger Schritt nach vorn, denn diese Einsparung könnte entscheidend dazu beitragen, dass sich Wasserstoff als Energieträger der Zukunft durchsetzt.

Neben dem technologischen Beitrag zur Reduzierung der Herstellungskosten von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen übernimmt das Fraunhofer ENAS auch Verantwortung im Bereich Sicherheit. Dies schließt zum Beispiel die Leckage-Detektion von Wasserstofftanks ein, welche mit neuen Sensoren des Fraunhofer ENAS bestückt werden sollen. Diese Sensoren sind hochpräzise und sensibel. Sie können außerdem zu Überwachungszwecken eingesetzt werden, um beispielsweise den sicheren Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff für Flugzeuge zu gewährleisten – der die Luftfahrt revolutionieren könnte.

10

Thema Medizintechnische Applikationen



Dr. Mario Baum
Leiter der Abteilung »Health Systems«

Telefon +49 371 45001-261
mario.baum@enas.fraunhofer.de

**»Wir schreiben
das nächste Kapitel
der Biosensorik.«**

Dr. Mario Baum und seine Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer ENAS entwickeln Sensorsysteme, die neuartige Lebensmitteltests ermöglichen und helfen können, biomedizinische Parameter schnell und zuverlässig zu ermitteln.

Das Mini-Labor

Ein neues Schnelltestverfahren, das vom Fraunhofer ENAS mitentwickelt wurde, soll helfen, Verunreinigungen in Lebensmitteln aufzuspüren.

Nahrungsmittel sind ein empfindliches Gut. Der letzte größere Lebensmittelkandal ist zwar einige Zeit her, doch das heißt nicht, dass Nahrungsmittelproduzenten nicht laufend mit Verunreinigungen zu kämpfen hätten. Unerwünschte Stoffe können über unterschiedliche Wege in ein Produkt gelangen. Um Qualität und Sicherheit zu gewährleisten, sind daher gute Kontrollsysteme nötig. Für Kleinerezeuger ist eine engmaschige Kontrolle aber schwierig umzusetzen. Anders als Großbetriebe haben sie keine Labore, in denen sie eigene Tests durchführen können.

Was sie bräuchten, wäre eine unkomplizierte und schnelle Lösung zur Testung vor Ort. Genau da setzte »h-ALO« an, ein von der EU gefördertes Projekt¹, an dem zehn Partner aus fünf EU-Ländern beteiligt waren, darunter das Fraunhofer ENAS. Das Konsortium aus Forschungsinstituten, Biotech- und IT-Unternehmen sowie Lebensmittelherstellern entwickelte von Anfang 2021 bis Mitte 2024 unter der Leitung des Nationalen Forschungsrats Italiens (CNR) ein neuartiges Testsystem, das es Erzeugern ermöglichen soll, ihre Ware schnell und direkt vor Ort auf häufige Kontaminationen zu überprüfen: Antibiotika, Pestizide, Schwermetalle und Krankheitserreger.

Einige Projektpartner kooperierten schon in einem Vorgängerprojekt – auch Forschende des



Pathogenen auf der Spur: Mario Baum und Andreas Morschhauser arbeiten an einem Analyse-Algorithmus eines neuartigen Lebensmitteltests.

Fraunhofer ENAS waren damals wegen ihrer Kenntnisse im Bereich der Mikrofluidik mit an Bord. Im Projekt »Moloko«² hatte man erfolgreich Qualitätsparameter in Milch analysiert. Im Projekt »h-ALO« wurde diese Idee weiterentwickelt.

»Bei der Mikrofluidik geht es im Grunde darum, kleinste Flüssigkeitsmengen zu prozessieren,

»Wir miniaturisieren einen Laborvorgang, für den man sonst Pipette, Heizplatte und vieles mehr bräuchte.«

meist im Mikrolitermaßstab«, sagt Andreas Morschhauser, Experte für fluidische Systeme und Technologien am Fraunhofer ENAS. »Wir miniaturisieren einen Laborvorgang, für den man sonst Pipette, Heizplatte und vieles mehr bräuchte, und bringen ihn in eine scheckkartengroße Kartusche, wo er automatisiert abläuft. Im Idealfall hat man ein Gerät, bei dem man nur eine Probe auf ein Testfeld träufelt, und innerhalb von zwanzig Minuten liegt ein Ergebnis vor.«

Hinter der simpel anmutenden Anwendung steckt eine hochkomplexe Technologie.

Kern des Ganzen ist ein neuartiger nanoplasmonischer Biosensor. Der Biosensor hat die Größe einer Briefmarke und enthält mehrere Lichtquellen, eine dünne nanoplasmonische Gitterstruktur aus Gold und mehrere Fotodioden. Eine Biofunktionalisierung macht das nanoplasmonische Gitter empfindlich auf Schwermetalle, Bio-Moleküle und Bakterien. Für die Analyse einer Lebensmittelprobe wird diese erst aufbereitet, gefiltert und schließlich auf den Sensor gegeben, wo die jeweiligen Verunreinigungen, etwa Bakterien, an die zuvor aufgetragenen Antikörper andocken können.

Den Biosensor selbst hat ein Team italienischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickelt und hergestellt. Damit er aber funktioniert, braucht er eine entsprechende Umgebung. Die Integration in die Kartusche war eine der Hauptaufgaben für die Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer ENAS. Die andere war das technische Management. »Im Projekt waren sehr verschiedene Disziplinen vertreten, die Photonik, die Mikrofluidik, die Elektronik und die Biotechnologie. Diese galt es zu koordinieren. Da die Mikrofluidik an der Schnittstelle zu allen Technologien steht, haben wir das übernommen, gemeinsam mit dem CNR«, sagt Andreas Morschhauser.

An der Entwicklung des »h-ALO«-Systems war auch das Aquaponik-Unternehmen The Circle aus Italien beteiligt, stellvertretend für viele Endnutzer. Aquaponik ist ein geschlossenes System, in dem Fischzucht und der Anbau von Pflanzen in Hydrokultur kombiniert wird. Verunreinigungen durch externe Futter- oder Düngemittel sind hier aufgrund des gemeinsamen Wasser- und Nährstoffkreislaufs besonders gravierend und stören das Gleichgewicht zwischen Fischen und Pflanzen. Daneben wurden drei weitere Flüssigkeiten untersucht: Honig, Milch und Craft Beer.

Für Produzenten ist das »h-ALO«-System ein vielversprechender Ansatz, denn im Fall einer festgestellten Verunreinigung könnten sie schnell reagieren. Die Daten werden über eine Cloud-Lösung bereitgestellt, und auf dieser Basis könnten sie entscheiden, wie sie auf die Kontamination reagieren: ob sie etwa die Produktion anpassen oder eine Charge entsorgen müssen. Die Sicherheit für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie die Qualität ihrer Erzeugnisse würde das steigern.

Bis sie aber ein solches Gerät in den Händen halten, ist es noch ein weiter Weg. Das Projekt endete im Juni 2024, nun müssen Hersteller für das Testsystem gefunden werden. Vorerst wurden wichtige Grundlagen geschaffen, die auch auf andere Anwendungsbereiche übertragen werden sollen.

Der Stress-Monitor

Neue Sensoren sollen helfen, Krankheiten früh zu erkennen.

Die Idee ist spannend: Kleine, auf der Haut angebrachte intelligente elektronische Pflaster überwachen bestimmte biomedizinische Parameter und schlagen Alarm, sobald der Körper erste Anzeichen eines gesundheitlichen Problems aufweist. »Was futuristisch anmutet, ist durchaus umsetzbar«, sagt Sven Lobner.

Die Schlüsseltechnologie dafür sei die integrierte Mikrofluidik. Seit Juni 2024 ist der junge Forscher wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ENAS und gleichzeitig Doktorand an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. In seiner Promotion widmet er sich diesem Thema. »Das Ziel ist, neben Vitaldaten weitere Biomarker in die Messung zu integrieren, die bisher nur invasiv gemessen werden, und sie mit etablierten Sensoren und anderen ermittelten Daten zu kombinieren«, sagt der Nachwuchswissenschaftler. »Das Konzept ist Point-of-Care-Diagnostik. Diese Parameter müssen dann nicht mehr aufwendig im Labor bestimmt, sondern können regelmäßig vor Ort gemessen und in Echtzeit analysiert werden.« Seine Arbeit mit dem Titel »KI-basierte Datenfusion für physiologische Multisensorik auf Wearables« wird von der Sächsischen Aufbaubank im Rahmen einer ESF-Plus-Industriepromotion gefördert. Ergebnisse sind in vier Jahren zu erwarten.



Fingerübung: Sensoren messen die elektrodermale Aktivität (EDA) der Haut, die unter anderem im Stressmonitoring eine Rolle spielen kann.

1: GA 101016706

2: GA 780839

Gut aufgestellt für die Zukunft

Ein umfassender Change-Prozess soll das Fraunhofer ENAS fit für die Zukunft machen. Institutsleiter Prof. Dr. Harald Kuhn und Verwaltungsleiterin Dr. Tina Kießling über intelligente Strukturen und offene Kommunikation.

Herr Kuhn, im September 2020 haben Sie die Leitung des Fraunhofer ENAS übernommen. Mit welchen Zielen haben Sie Ihr Amt angetreten?

HK: Als ich die Institutsleitung übernahm, befanden wir uns mitten in der Corona-Pandemie. Das war keine leichte Zeit, und trotzdem haben wir als Institut diese Herausforderung gemeistert. Vor allem hat uns die Corona-Pandemie einmal mehr gezeigt, welch enormes Potenzial in den am Fraunhofer ENAS entwickelten Technologien steckt: Denn Themen wie erneuerbare Energien, grüne Mobilität oder Künstliche Intelligenz (KI) haben seitdem weltweit stark an Bedeutung gewonnen, und für all diese Innovationen sind Mikro- und Nanotechnologien als »Enabler« elementar. Ein motiviertes, engagiertes und hochprofessionelles Team ist eine unabdingbare Voraussetzung, um den technologischen Fortschritt in diesen Feldern mitzugestalten, an den Zukunftstechnologien von morgen teilzuhaben und im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Ganz gleich ob in Wissenschaft oder Verwaltung, ob als Forscher oder Auszubildender – jeder einzelne Mitarbeitende macht unser Institut mit seiner Leidenschaft, fachlichen Expertise und seinem Teamgeist zu dem, was es ist: einzigartig und leistungsstark. Nur gemeinsam können wir unsere Innovationsfähigkeit für die Zukunft sichern, neuen Schlüsseltechnologien den Weg ebnen und als Institut weiter wachsen. Auf das, was wir in den vergangenen Jahren geschafft haben, können wir stolz sein: Unser Haushalt ist von 18 Millionen Euro in 2020 auf über 30 Millionen Euro gewachsen. Und auch die Zahl unserer Mitarbeitenden, die aus 20 verschiedenen Nationen stammen, hat sich von 161 in 2020 auf mehr als 240 gesteigert.

Was haben Sie unternommen, um das Wachstum des Instituts anzukurbeln?

HK: Wir haben beispielsweise im Jahr 2021 das Team »Data-based Methods« vor dem Hintergrund, dass KI nicht nur aus unserem persönlichen Alltag, sondern auch aus der Industrie nicht mehr wegzudenken ist und für einen enormen Innovationschub sorgt, neu geschaffen. Durch den Einsatz von modernen, digitalen Algorithmen und Expertenwissen sind wir in der Lage, Halbleiterprozesse zu optimieren. Dank dieser Verknüpfung der realen mit der digitalen Welt können wir einen echten Mehrwert anbieten. Heute, vier Jahre später, gehören wir mit unserer KI-Expertise in Bezug auf Halbleiterprozesse zu einem der führenden Institute weltweit. Ein weiterer wichtiger Schritt war die Neustrukturierung des Instituts: Wir haben unsere Stärken, entlang der gesamten Wertschöpfungskette intelligenter Systeme, in drei Business Units gebündelt: »Process, Device and Packaging Technologies«, »Smart Systems« und »Test and Reliability Solutions«. So können wir bisher getrennte Kompetenzen geschickt zusammenführen und damit viel schneller und effizienter auf Markterfordernisse und Kundenbedürfnisse reagieren. Insgesamt gilt es, die Forschungs- und Entwicklungsexpertise des Instituts sowie seine exzellente Reputation weiter auszubauen.

Frau Kießling, wie würden Sie den Wandel des Fraunhofer ENAS beschreiben? Was bedeuten die Veränderungen für die Organisation des Instituts?

TK: Wir befinden uns noch immer mitten im Change-Prozess. Er betrifft zum einen die neue Struktur, die wir mit den drei Business Units etabliert haben. Darüber hinaus haben wir die

Dialog auf Augenhöhe:
Harald Kuhn und Tina
Kießling im Gespräch auf der
Dachterrasse des Instituts.



Stabsbereiche »Marketing«, »Corporate Strategy«, »International Sales«, »Infrastruktur« und »FAB-Management« geschaffen. Sie agieren allesamt über die Grenzen der einzelnen Business Units hinweg und haben das Ziel, diese effizient zu unterstützen. Das FAB-Management, das sich um Forschungsequipment und insbesondere unsere Reinräume kümmert, wirkt beispielsweise aktiv bei Entscheidungen über zu tätige Investitionen in Hochtechnologien mit. Durch diese zentrale Steuerung können solche Entscheidungen mit einem ganzheitlichen Blick auf das Institut – über die Grenzen einzelner Business Units hinweg – getroffen werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass wir auf diese Weise zentral und viel transparenter darstellen können, wie wir unsere Mittel einsetzen. Als Fraunhofer-Institut arbeiten wir mit öffentlichen Fördermitteln, über deren Verwendung wir detailliert Rechenschaft ablegen müssen. Das ist nun deutlich einfacher. Die Herausforderung ist allerdings, dass am Institut verschiedene Parteien miteinander kommunizieren müssen: die Institutsleitung, Forschende sowie diverse Verwaltungs- und Stabsbereiche. Das erhöht die Komplexität der gesamten Organisation. **HK:** So entstehen auch neue Spannungsfelder. Diese lassen sich gut am Beispiel der Stabsbereiche verdeutlichen, da sie mehrere Rollen gleichzeitig erfüllen müssen. Einerseits dienen sie als Servicebereiche für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Benötigen unsere Forschenden zum Beispiel neue technische Ausstattung, ist der zuständige Stabsbereich – in diesem Fall das FAB-Management – ihr erster Ansprechpartner.

Andererseits übernimmt derselbe Stabsbereich aber auch eine Governance-Funktion, indem er Rahmenbedingungen und Vorgaben für eine für das Institut optimale Anschaffung festlegt. Dies führt zu komplexen Rollenkonstellationen. Die Herausforderung, einerseits die strengen Vorschriften des öffentlichen Rechts zu erfüllen und andererseits den Anforderungen des dynamischen Markts gerecht zu werden, zeigt sich vor allem bei Beschaffungsvorgängen. Das macht klar definierte Abstimmungs- und Freigabeprozesse notwendig. Unser Ziel ist es, diese Prozesse so zu gestalten, dass unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, soweit das möglich ist, entlastet werden. Auch wenn wir noch ein Stück des Wegs vor uns haben, so konnten wir bereits erste wichtige Schritte auf diesem Weg gehen, um diesem Ziel näher zu kommen.

Spüren Ihre Mitarbeitenden diese Entlastung bereits?

TK: Wir arbeiten kontinuierlich daran, dass sich unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weniger mit Verwaltungsfragen auseinandersetzen müssen. Das gelingt aber nur bedingt. Denn es kommen immer wieder neue Anforderungen hinzu, denen wir uns stellen müssen. Beispielsweise haben wir in den letzten Jahren neue gesetzlich vorgeschriebene Systeme zur Organisation und Dokumentation unserer Tätigkeiten eingeführt. Dazu gehören unter anderem ein Datenschutzsystem, ein Energiemanagementsystem oder ein Umweltmanagementsystem. Diese Managementsysteme helfen uns dabei, unsere Prozesse systematisch aufzusetzen, noch besser zu strukturieren, transparent und verständlich für alle

Mitarbeitenden zu gestalten und damit gesetzliche Vorgaben einzuhalten. Zudem arbeiten wir daran, unsere verschiedenen Managementsysteme in einem integrierten Ansatz zusammenzuführen. Das ermöglicht es uns, unsere Prozesse ganzheitlich zu betrachten, Aufwände zu reduzieren und Ressourcen optimal zu bündeln.

Die Organisationsform, die Sie beschreiben, erfordert ein wechselseitiges Verständnis von Wissenschaft, Verwaltung und Stabsbereichen. Wie lässt sich das befördern?

TK: Damit das funktioniert, braucht es gute Kommunikation auf allen Ebenen. Um diese zu fördern, haben wir einen institutsweiten Austausch zwischen Wissenschaft und Verwaltung etabliert, der einmal im Monat stattfindet. In diesem haben Mitarbeitende Gelegenheit, Verbesserungsvorschläge einzubringen und zu diskutieren. Wir nehmen die Ergebnisse dieser Gespräche sehr ernst. Zudem haben wir in übergreifenden Teams unterschiedliche Fachkompetenzen gebündelt. Diese Teams beschäftigen sich zum Beispiel mit Datenstrukturen oder Managementsystemen und erarbeiten gemeinsam tragfähige Lösungen für das gesamte Institut. Letztlich tragen der Austausch untereinander und ein besseres gegenseitiges Verständnis dazu bei, sich stetig zu verbessern und als Organisation weiter zu wachsen. **HK:** Die Frage, wie wir miteinander kommunizieren, ist zentral. Deshalb haben wir eine Reihe von Workshops durchgeführt, in denen wir uns aktiv damit

Einander zuhören: Gute Kommunikation auf allen Ebenen gehört zu den zentralen Zielen des Change-Prozesses am Institut.

»Die Frage, wie wir miteinander kommunizieren, ist zentral.«

auseinandersetzen, wie wir unsere Institutskultur gestalten wollen. Im Kern geht es darum, Ideen und Anregungen der Mitarbeitenden gezielt zu erfassen und daraus konkrete Schritte für das Institut abzuleiten. Ein Thema ist dabei eine offene positive Fehlerkultur. Fehler und Misserfolge sind wichtig, vor allem in der Wissenschaft. Nur so können wir uns weiterentwickeln und Fortschritt gestalten. Vor allem die Führungskräfte, mich selbst eingeschlossen, haben hier eine Vorbildfunktion. Wir wollen eine Kultur etablieren, in der Fehler passieren dürfen, solange offen darüber gesprochen wird – und man aus ihnen lernt.

Herr Kuhn, Sie sprachen den globalen Wettbewerbsdruck an. Was kann das Institut tun, um unter diesen Umständen erfolgreich zu sein?

HK: Wenn wir von den globalen Entwicklungen des Halbleitermarkts profitieren wollen,

müssen wir strategische Partnerschaften aufbauen. Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) ist so ein Beispiel. Unter dem Dach dieses Verbunds haben sich 13 Forschungsinstitute zusammengeschlossen, um den Bereich der Mikro- und Nanoelektronik mit großer Schlagkraft voranzubringen. So lassen sich Kompetenzen bündeln und neue Herausforderungen gemeinsam bewältigen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass wir als Institut lernen müssen, über die Grenzen unserer einzelnen Business Units hinaus zu denken, wenn wir Akquise betreiben. Das Projekt einer Business Unit kann beispielsweise zu Folgeaufträgen für eine andere Business Unit führen, da diese über Kompetenzen verfügt, die in späteren Phasen desselben Projekts benötigt werden. Damit wir solche Potenziale erkennen, arbeiten wir intensiv daran, gedanklich »raus aus den Silos« zu kommen. Wenn wir lernen, das Institut in seiner Gesamtheit und damit als Gemeinschaftsprojekt zu begreifen, sind wir für die Zukunft gut aufgestellt. Dafür haben wir schon heute wichtige Weichen gestellt und sind für die Zukunft auf gutem Wege.



Gute Gründe für Chemnitz!

Chemnitz ist der »Hidden Champion« unter den sächsischen Großstädten: bunt, dynamisch, lebenswert. Viele gute Gründe, hier zu leben, zu forschen und zu arbeiten.

25

25 Prozent der Stadtfläche sind Erholungsgebiete, was jeder Einwohnerin und jedem Einwohner etwa 200 m² Grün bietet. Nur eine Autostunde südlich der Stadt lädt das Erzgebirge mit seiner atemberaubenden Landschaft und zahlreichen Sehenswürdigkeiten zu einem Ausflug ein.

8 600

An der Technischen Universität Chemnitz erwerben etwa 8 600 Studierende aus rund 90 Ländern Studienabschlüsse in fast 100 Studiengängen auf höchstem Niveau. Die Universität ist weltoffen und international stark vernetzt.

5,50

Wohnräume im sanierten Jugendstilaltbau oder in ruhiger Randlage sind in Chemnitz noch bezahlbar. Die durchschnittliche Kaltmiete beträgt 5,50 Euro pro Quadratmeter.

10

Chemnitz belegt im Städte-Ranking des Forschungsinstituts Prognos einen hervorragenden 10. Platz von 71 Städten bundesweit. Damit zählt die Stadt zu den Spitzenreitern in puncto Lebensqualität.

50

Insgesamt 50 Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, darunter das Fraunhofer ENAS und der Smart Systems Campus, ein Netzwerk für Mikrosystemtechnik, arbeiten an zahlreichen Innovationen. Eine florierende Start-up-Szene wiederum macht die Zukunftsideen marktfähig.

4.0

Halbleiterprodukte aus einem der bedeutendsten Standorte für die Mikroelektronik mitten in Sachsen, sind zentrale Treiber der Digitalisierung und ihre Produktionsstätten Vorzeigeprojekte der Industrie 4.0. In der Region zwischen Chemnitz, Freiberg und Dresden sind heute rund 2 500 Unternehmen mit insgesamt 70 500 Beschäftigten im Bereich der Mikroelektronik tätig.

18 500

Chemnitz ist das Zentrum einer traditionsreichen Industrieregion. 1881 etwa beschrieb der Physiker und Chemiker Adolf Ferdinand Weinhold hier das Prinzip der Thermoskanne. 1885 wurde das Maschinenbauunternehmen Wanderer-Werke gegründet, das auch den Wanderer W23 entwickelte. Heute erzielen hier die rund 18 500 Handwerks- und Industrieunternehmen – vom Hidden Champion bis zum Konzern – eine jährliche Wertschöpfung von rund 9 Milliarden Euro.

2025

Chemnitz ist 2025 Kulturhauptstadt Europas unter dem Motto »C the Unseen«. Mit einem vielfältigen Programm, das zentrale Themen unserer Zeit anspricht, will die Stadt ein guter Gastgeber für Europa sein – und investiert mehr als 90 Millionen Euro in Stadtentwicklung, Infrastruktur und Tourismus. Mehr Informationen unter: www.chemnitz2025.de

251 699

Rund eine Viertelmillion Menschen leben in Chemnitz. Die Stadt ist aber auch Einzugsgebiet für mehr als 1,4 Millionen Menschen, die hier leben und arbeiten. Das Bruttoinlandsprodukt der Stadt ist von 7,5 Milliarden Euro im Jahr 2012 auf rund 10 Milliarden Euro im Jahr 2022 gestiegen.

Zukunft. Made in Saxony

Wussten Sie, dass jeder dritte in Europa produzierte Chip aus Sachsen kommt? Große Chiphersteller bilden gemeinsam mit Forschung und Entwicklung das Rückgrat des »Silicon Saxony« zwischen Chemnitz und Dresden. Im Umfeld der Chipfabriken hat sich ein erfolgreicher Mittelstand entwickelt. Teil dieses innovativen Ökosystems ist das Fraunhofer ENAS. Machen auch Sie Chemnitz zu Ihrer Stadt! Kooperationsmöglichkeiten und Karriereperspektiven finden Sie hier: www.enas.fraunhofer.de



Quellen: Stadt Chemnitz, sachsen.de, Prognos, Statista, Technische Universität Chemnitz

Ausgezeichnete Forschung

Für drei Forscher des Fraunhofer ENAS war 2024 ein besonderes und erfolgreiches Jahr. Herzlichen Glückwunsch!

»Best Paper Award« für Fraunhofer ENAS-Forscher

Sie sind dünner als ein menschliches Haar, nur einen Millimeter lang – und doch stabil genug, um in die oberste Hautschicht einzudringen: Ultradünne Nadeln könnten das Messen von klinisch relevanten Vitalparametern deutlich erleichtern und den Gesundheitszustand von Patientinnen und Patienten künftig schmerzfrei überwachen. Tom Enderlein, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ENAS in der Abteilung »Health Systems« und am Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien der Technischen Universität Chemnitz tätig ist, hat nun einen Ansatz entwickelt, mit dem die Nadeln auf Polymerbasis günstig und in großer Menge gefertigt werden können. Ein Erfolg mit Strahlkraft: Seine Arbeit wurde am 17. April 2024 auf der Smart Systems Integration Conference mit dem »Best Paper Award« geehrt.

Tom Enderlein



Dr. Jan Albrecht

Zuverlässige Elektronik im Blick

Defekte elektronische Komponenten können zum Ausfall ganzer Systeme führen. Die Business Unit »Test and Reliability Solutions« und speziell die Abteilung »Micro Materials Center« am Fraunhofer ENAS gehen deshalb der Frage nach, warum elektronische Bauteile ausfallen – und wie das vermieden werden kann. Mit dieser Frage hat sich auch Dr. Jan Albrecht in seiner Dissertation beschäftigt. Gemeinsam mit einem Industriepartner entwickelte er ein Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit von dünnen Schichten auf Wafern. »Ein genaues Verständnis dieser Prozesse ist essenziell, um das einwandfreie Funktionieren von Systemen zu gewährleisten«, so Dr. Jan Albrecht, der seit 2013 am Fraunhofer ENAS tätig ist und die Arbeitsgruppe »Komponentenzuverlässigkeit« leitet. Anfang 2024 erhielt er seine Promotionsurkunde. Die Besonderheit: Das von ihm entwickelte Verfahren wird schon seit 2021 industriell eingesetzt und damit bereits vor Abschluss seiner Doktorarbeit.

Innovativer Elektronikdruck

Dass mit Inkjet-Drucktechnologien Farbe aufs Papier kommt, ist bekannt. Weniger bekannt ist, dass sich damit auch stromführende Leiter auf dreidimensionalen Objekten herstellen lassen, etwa auf Autotüren oder Flugzeugteilen. Ein solches Verfahren hat Dr. Robert Thalheim im Rahmen seiner Dissertation erforscht. Der studierte Druck- und Verpackungstechniker ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ENAS. Zu seiner Arbeit gehörte auch die Programmierung eines Roboters, der den Druckkopf in alle Raumrichtungen frei bewegen und sogar gekrümmte Objektoberflächen bedrucken kann. Anschauliche Anwendungsbeispiele waren gedruckte Heizelemente auf einem Stadionsitz, ein gedrucktes Sensorsystem auf einem Bauhelm und ein gedruckter Kabelbaum auf einer Autotür. Nach fünf Jahren intensiver Forschung konnte er seine Promotion im August 2024 abschließen – mit Bestnote.

Dr. Robert Thalheim



Forschung und Entwicklung für integrierte smarte Systeme

Das Fraunhofer ENAS ist Ihr Spezialist für smarte Systeme und deren Integration in unterschiedlichste Anwendungen. Von der Idee über den Entwurf, die Technologieentwicklung bis zum getesteten Prototyp und den Technologietransfer: Wir sind zuverlässiger Forschungs- und Entwicklungspartner für Start-ups, KMU oder Großunternehmen.

Unsere drei Business Units »Process, Device and Packaging Technologies«, »Smart Systems« sowie »Test and Reliability Solutions« sind entlang der gesamten Wertschöpfungskette intelligenter Systeme aufgestellt, um Ihnen in jeder Phase des Innovationsprozesses gezielte Unterstützung zu bieten.

Für reibungslose Abläufe, höchste Qualitätsstandards und die strategische Weiterentwicklung

unseres Instituts sorgen »Verwaltung/QM« sowie die Stabsbereiche »Infrastruktur«, »FAB-Management«, »Marketing«, »Corporate Strategy« und »International Sales«.

Das Fraunhofer ENAS ist zertifiziert nach ISO 9001:2015 (Qualitätsmanagement) sowie ISO 50001:2018 (Energiemanagement).

Sie möchten uns kennenlernen? Ihr Weg zu uns:

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

Telefon +49 371 45001-0
info@enas.fraunhofer.de
www.enas.fraunhofer.de



Das Institut in Zahlen

Haushalt

(in Mio. €)	2019	2020	2021	2022	2023
Gesamthaushalt	18,6	18,3	27,3	25,4	30,8
Betriebshaushalt	17,4	16,1	19,5	22,2	24,8
Investitionshaushalt	1,2	2,3	7,7	3,2	5,9
Wirtschaftserträge	4,8	5,0	10,7	13,3	6,7

Anzahl der Mitarbeitenden

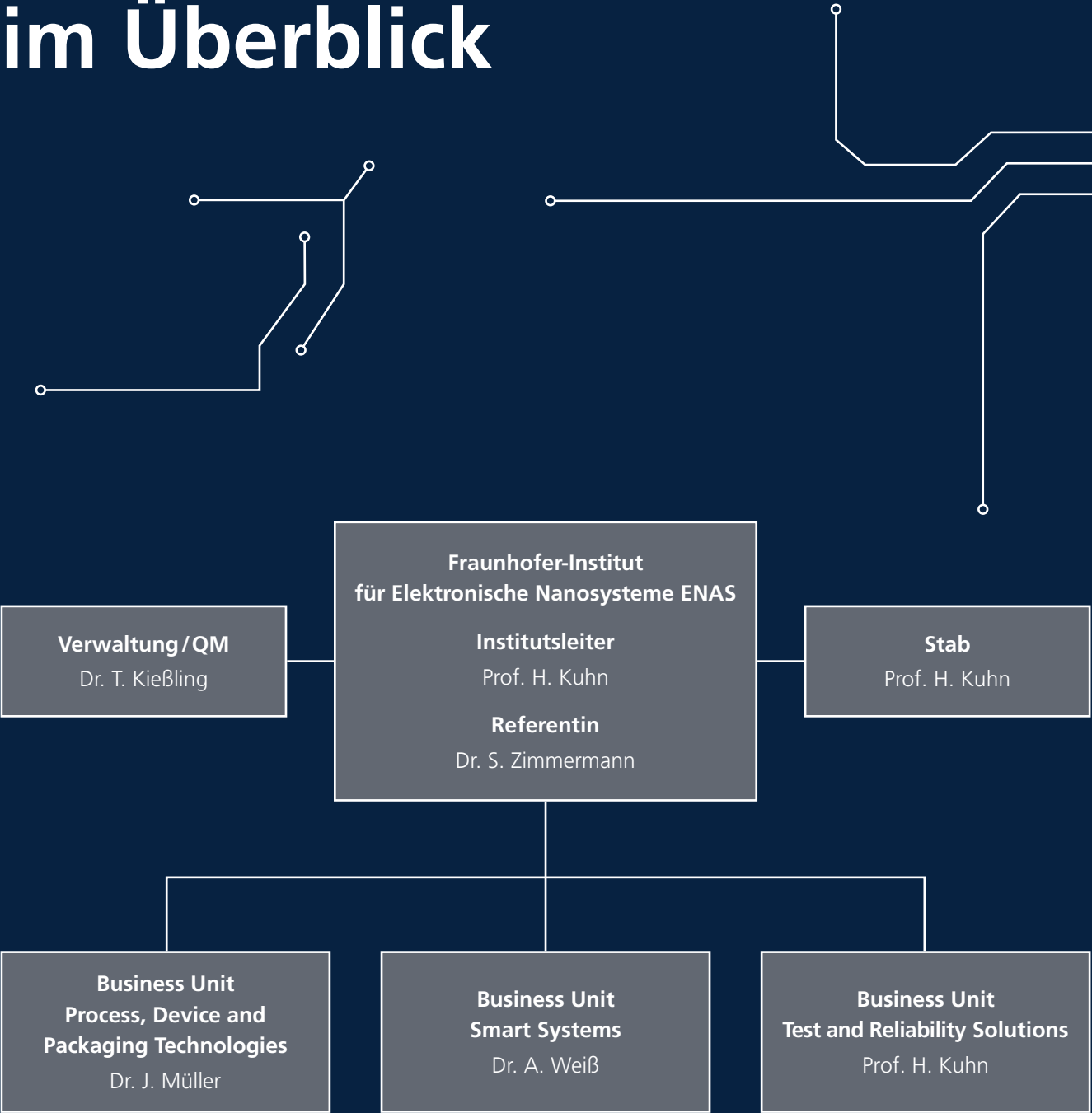
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Mitarbeitende gesamt (Chemnitz und Paderborn, ohne Studierende)	166	161	190	198	213	246
davon Fachexpertinnen und Fachexperten	79 %	77 %	79 %	78 %	76 %	79 %
Auszubildende	8	8	8	6	8	8
Wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten	37	28	47	55	59	71

Weitere Kennzahlen

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Aktive Patentfamilien gesamt	42	48	48	45	45	43
Neu erteilte Patentfamilien	7	6	3	2	1	0
Abschlussarbeiten	22	12	26	39	35	27
Dissertationen	4	6	7	3	2	5
Wissenschaftliche Veröffentlichungen	101	53	66	66	81	69

Stand: 31.12.2024

Organisationsstruktur im Überblick



**»Wer den Mut
zur Idee hat,
ebnet den Weg
in die Zukunft.«**

Und dieser Weg beginnt hier:



www.enas.fraunhofer.de



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