

# Aus der Fraunhofer- Forschung

---

- Fraunhofer-Weltrekorde
- Projekte und Ergebnisse
- Auszeichnungen
- Menschen in der Forschung
- Ausgewählte Transferaktivitäten
- Initiativen

# Fraunhofer-Weltrekorde



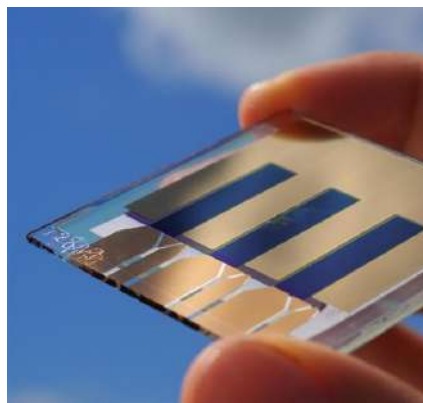
Setzt weltweit Maßstäbe für Wärmepumpensysteme

## Leistungselektronik für neuartige Wärmepumpen

Fraunhofer-Forschende arbeiteten seit 2019 im Leitprojekt ElKaWe an der Entwicklung hocheffizienter elektrokalorischer Wärmepumpen als Alternative zur derzeit vorherrschenden Kompressor-Technologie mit Kältemitteln. Im Juli 2023 konnte am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF eine ultraeffiziente Schaltungstopologie für Spannungswandler basierend auf Galliumnitrid(GaN)-Transistoren mit 99,74 Prozent elektrischem Wirkungsgrad realisiert werden. Der GaN-basierte Multilevel-DC/DC-Wandler setzt weltweit Maßstäbe. Die gesteigerte elektrische Effizienz führt direkt zu einer höheren Leistungszahl des gesamten Wärmepumpen-Systems und ist damit ein Meilenstein auf dem Weg zu effizienteren Wärmepumpen. Essenziell für die Realisierung einer hohen Leistungszahl elektrokalorischer Wärmepumpen ist eine sehr hohe Effizienz bei den Materialien, der Elektronik und dem Wärmeübertrag. Es besteht noch Forschungsbedarf, aber zukünftig könnten elektrokalorische Wärmepumpen eine effizientere und vollständig emissionsfreie Lösung zum Heizen und Kühlen werden.

## Organische Solarzelle mit 15,8 Prozent Wirkungsgrad

Am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und am Materialforschungszentrum der Universität Freiburg konnte im Juli 2023 der letzte Rekord des Teams vom September 2020 für eine 1 Quadratzentimeter große, organische Solarzelle verbessert werden. Die neue Solarzelle stellt mit einem Wirkungsgrad von 15,8 Prozent erneut den Weltrekord in dieser Kategorie auf. Die Verbesserung bei der Rekord-Solarzelle wurde wesentlich durch den Einsatz einer Anti-Reflexionsbeschichtung erreicht, wodurch mehr Licht in der photoaktiven Schicht der Zelle absorbiert und somit ein höherer Strom generiert wird. Das für die Beschichtung notwendige Dünnschichtsystem – abgeschieden mittels Sputterverfahren – wurde ebenfalls am Fraunhofer ISE entwickelt. Organische Photovoltaik könnte der Solarenergie dank ihrer umweltfreundlichen und günstigen Herstellung sowie ihrer Flexibilität und Möglichkeit der Transparenz neue Anwendungsgebiete erschließen.



Mit Anti-Reflexionsbeschichtung zu höherer Effizienz



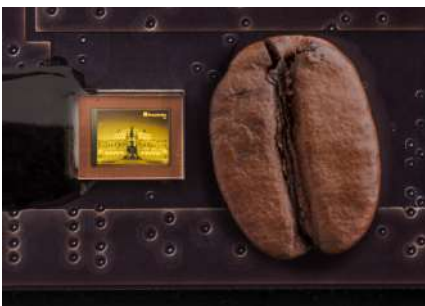
Kryogener Antriebsumrichter für elektrische Antriebe in der Luftfahrt

## Antriebsumrichter für elektrisches Fliegen

Für die zukünftige elektrische Luftfahrt sind kompakte und leichte E-Antriebe essenziell. Eine adäquate Lösung wären supraleitende Systeme, in denen der elektrische Strom praktisch widerstandsfrei fließt und kaum Verluste anfallen. Das ermöglicht höchsten Wirkungsgrad, Gewicht und Bauraum. Viele elektrische Leiter sind erst bei kryogenen Temperaturen supraleitend. Darum müssen alle Antriebskomponenten – inkl. des komplexen Umrichters – für derartige Bedingungen ausgelegt sein. Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen demonstrierte erstmalig einen kryotauglichen 500-kW-Antriebsumrichter. Dieser wird mit flüssigem Stickstoff bei 77 Kelvin (K) gekühlt, das entspricht  $-196\text{ °C}$ . Der kryogene Umrichter ist das Ergebnis einer Kooperation mit Airbus UpNext. In seinem ASCEND-Programm baut Airbus jetzt den Prototyp eines durchgehend kryogenen elektrischen Flugzeugantriebs auf. Das ist mit dem Antriebsumrichter des Fraunhofer IISB in der 500-kW-Leistungsklasse erstmals möglich.

## Unerreichte Pixeldichte in OLED-Mikrodisplays

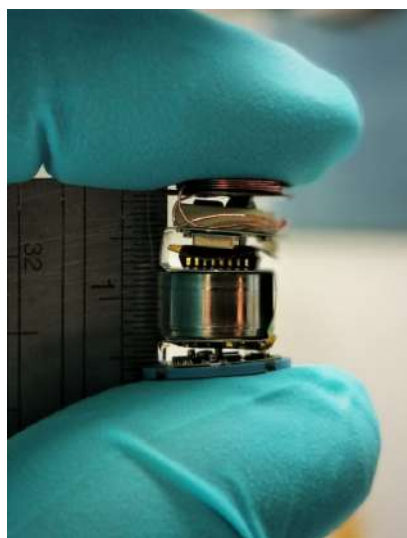
Bisher sind OLED-Mikrodisplays in ihrer Pixelanzahl und -größe beschränkt, das Maximum der Pixeldichte betrug bislang etwa 8000 dpi (dots per inch). Höhere Pixeldichten sind bei der üblichen Fertigung mit konventionellen CMOS-Technologien auf 200-Millimeter-Wafern nicht möglich. OLED-Mikrodisplays mit einer bisher unerreichten Pixeldichte von 10000 dpi präsentierte das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP erstmals auf der SID Display Week in Los Angeles, USA, im Mai 2023. Das erste OLED-Mikrodisplay mit 10000 dpi hat winzige, 2,5 Mikrometer kleine Pixel bei einer Displaydiagonale von 0,18 Zoll. Entworfen und produziert wurde die CMOS Backplane in Small-node-Technologie in einem 28-Nanometer-CMOS-Backplane-Prozess auf 300-Millimeter-Wafern. Die neuen Backplane-Technologien erlauben zudem Ansteuerungskonzepte, mit denen sich die Stromaufnahme bei mobilen Applikationen reduzieren lässt. Die Forschungsarbeiten wurden im interdisziplinären Projekt »Backplane« vom Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr gefördert. Das Geschäftsfeld Mikrodisplays & Sensorik des Fraunhofer FEP wurde rückwirkend zum 1. Januar 2024 in das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS integriert.



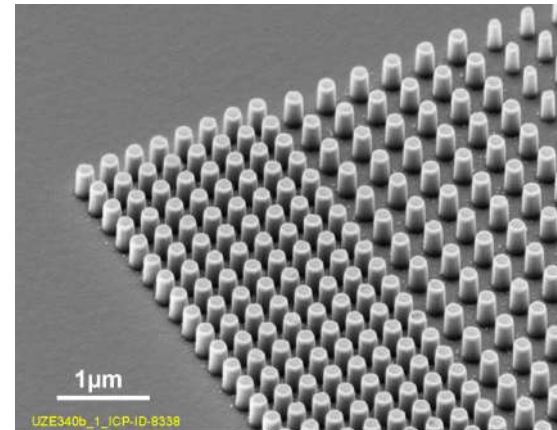
*OLED-Mikrodisplay mit den weltweit kleinsten Pixeln*

## Weltkleinstes Impedanzspektroskopie-System

Mit 11 x 16 Quadratmillimetern entwickelte das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM mit den Partnern Micro Systems Technologies (MST) und Sensry GmbH das weltkleinste System zur Impedanzspektroskopie. Der Sensor besteht aus einem bioverträglichen, wasserdichten Polymer. Neben zwei Elektroden zur Erstellung eines Frequenzspektrums von einem Medium wurden sechs Sensoren untergebracht. Mehrfach bewältigte die Entwicklergruppe die Herausforderung der extremen Verkleinerung: etwa beim Spulendurchmesser für das drahtlose Laden (10 Millimeter) oder beim IoT-System. Dieses liegt in einem sechslagigen Interposer, die Elektroden für die Impedanzspektroskopie wurden in einer 0,5 Millimeter dünnen Keramikplatte von MST platziert. Das ausgeklügelte Ausbaudesign lieferte die Sensry GmbH. Die flexible und biokompatible Leiterplatte mit über 70 Komponenten aus Flüssigkristallpolymer wurde von MST vierlagig gefertigt. Die elektrochemische Impedanzspektroskopie erlaubt grundsätzlich Diagnoseoptionen für verschiedenste Anwendungen – etwa für Materialuntersuchungen oder für Magen-/Darmspiegelungen.



*Extrem verkleinerte Spektroskopie-Kapsel für vielfältige Diagnoseoptionen*



*Elektronenstrahlmikroskopische Aufnahme des Metagitters*

## 30 Zentimeter Metaoberfläche

Sogenannte Metaoberflächen könnten eine Alternative für Linsen und Spiegel darstellen: Bisher wird die Funktion einer Linse oder eines Spiegels durch makroskopische Geometrie definiert, weswegen diese dick und krumm sind. Metaoberflächen hingegen konzentrieren ihre komplette optische Funktion in einer nanostrukturierten Oberfläche. Damit lassen sich Metaoberflächen theoretisch sehr viel dünner herstellen als Linsen. Allerdings ließen sich bisher für Wissenschaft und Forschung nur Flächen von wenigen Quadratmillimetern produzieren – noch nicht ausreichend für viele industrielle Anwendungen. Forschenden am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF gelang es im Frühjahr 2023 weltweit erstmals, eine Metaoberfläche mit einem Durchmesser von fast 30 Zentimetern herzustellen. Dafür nutzen sie eine spezielle Schreibstrategie bei der Belichtung der Nanostrukturen mit Elektronenstrahl-lithographie. Bei dieser sogenannten Character Projection werden komplexe Muster parallelisiert mit hoher Präzision und Effizienz und vergleichsweise hoher Geschwindigkeit vom Elektronenstrahl nacheinander auf einer Oberfläche erzeugt. Ihre Methode haben die Wissenschaftler im »Journal of Micro/Nano-patterning, Materials, and Metrology« veröffentlicht.

# Projekte und Ergebnisse

---

**Fünf gesamtgesellschaftliche Ziele  
für eine lebenswerte Zukunft**

DIGITALE  
WERTSCHÖPFUNG

1

GANZHEITLICHE  
KREISLAUF-  
WIRTSCHAFT

2

VOLLENDETE  
ENERGIEWENDE

3

BEZAHLBARE  
GESUNDHEIT

4

SICHERHEIT  
UND RESILIENTE  
GESELLSCHAFT

5

## Digitale Wertschöpfung



Reale Produktionsmaschine (l.) im Metaverse

### Industrial Metaverse zum Anfassen

Unter »Metaverse« versteht man interaktive, immersive 3D-Umgebungen. Extended-Reality-Technologien (XR) wie Datenbrillen und Gesteneingabe ermöglichen die nahtlose Interaktion zwischen realer und digitaler Welt. Das »Industrial Metaverse« fokussiert auf professionelle Anwendungen in Wirtschaft und Gesellschaft wie Verkehr, Anlagen- und Städtebau oder Medizin. Man kann es als die nächste Stufe der Digitalisierung nach Industrie 4.0 bezeichnen. Zentrale technische Bausteine von Metaversen sind Digitale Zwillinge, Simulationen, XR-Technologien, Künstliche Intelligenz (KI), Blockchains und Datenräume. Der Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie widmet dem Thema »Industrial Metaverse« aufgrund des hohen technologischen Potenzials eine eigene strategische Roadmap in seinem Forschungsportfolio. Die 20 Institute agieren dabei als Technologielieferanten und Berater zur Planung und Umsetzung von Use Cases mit den Technologien des Industrial Metaverse.

Im Bundesförderprojekt »5G Troisdorf IndustrieStadtspark« wurden Metaverse-Anwendungen für Fernwartung und Training im Maschinenbau und in der Produktion realisiert. Ein Technologie-Demonstrator wurde auf der Hannover Messe 2023 und beim Tag der offenen Tür der Bundesregierung 2023 vorgestellt. Die technologische Basis umfasst ein 5G-Internet, Remote Rendering von CAD-Daten sowie mobile Mixed-Reality- und Virtual-Reality-Datenbrillen. Für die Produktionsmaschine des Projektpartners ZWi Technologies, eingesetzt auf der Produktionsstraße des Projektpartners Kuraray Europe, wurde ein Digitaler Zwilling entwickelt. Die digitalen Konstruktionsdaten der Maschine werden passgenau in das Sichtfeld der Benutzenden auf den Datenbrillen eingeblendet und mit Informationen angereichert. Die Kommunikation der räumlich entfernten Benutzenden wird durch Avatare, Zeigegesten, direkte Manipulation sowie Audio- und Video-Kommunikation unterstützt. Dies ermöglicht beispielsweise verteilte Lernszenarien für die Bedienung und Wartung der Maschine inkl. eines aktiven Austauschs im virtuellen Raum. Projektkoordinator ist das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT.



Energieeffizienteres heterogenes Hochleistungsrechnen

### Strom sparen bei digitalen Hochleistungen

Die Digitalisierung eröffnet vielversprechende Möglichkeiten, die dahinterliegenden Systeme allerdings müssen energieeffizienter werden. Dies ist das Ziel des Verbundprojekts NAAICE. Dabei werden netzwerkgekoppelte Beschleuniger für energieeffizientes heterogenes High-Performance Computing (HPC) entwickelt.

HPC wird beispielsweise in der Klimamodellierung, in der Astrophysik oder in der Biologie eingesetzt. Die dafür nötigen hohen Rechenleistungen erfordern viel Energie. Das Konsortium von NAAICE arbeitet daran, Kapazitäten in HPC-Rechenzentren effizienter einzusetzen. Herkömmliche Rechenzentren verwenden meist Rechner, die auf einheitlichen Standardkomponenten aufgebaut sind und für vielerlei Abläufe eingesetzt werden. Für HPC-Anwendungen nutzen sie meist nur spezielle Teile eines Standard-Computers – viel Kapazität geht verloren. Hingegen bauen die Partner von NAAICE eine heterogene Systemarchitektur auf, bei der die Computer für Spezialanwendungen flexibel ausgestattet werden. Dafür arbeitet das Team mit speziellen integrierten Schaltkreisen, sogenannten Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), die kontinuierlich mit neuen Funktionen ausgestattet werden können. Kerntechnologie des Projekts ist das neuartige, auf FPGAs basierende Konzept des Network-Attached Accelerators (NAAs). Es wurde am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI entwickelt. Während in bisherigen Konzepten FPGAs in Rechenzentren eingebunden werden, sind NAAs von den Serverprozessoren entkoppelt und stattdessen dynamisch nutzbar per Netzwerk angebunden. So bieten sie mehr Flexibilität und sorgen gleichzeitig für einen geringeren Energieverbrauch durch eine bessere Auslastung. Die Partner entwickeln u. a. Software, um NAAs in HPC-Rechenzentren zu integrieren.

NAAICE startete 2022 als Förderprojekt der Linie »Green HPC« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Neben dem Fraunhofer HHI sind die Universität Potsdam, das Zuse-Institut Berlin, das Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ und die PERFACCT GmbH beteiligt. Die Ergebnisse werden bei Projektende als Open Source Software zur Verfügung gestellt.

## Digitale Wertschöpfung



*Flexible Produktionsarchitektur hilft bei gestörten Lieferketten*

### Produktionsarchitektur für die Fabrik der Zukunft

Die produzierende Industrie steht vor vielen Herausforderungen. Dazu gehören etwa volatile Märkte, Lieferkrisen und steigende Energiepreise. Deshalb haben Forschende im 2020 gestarteten Fraunhofer-Leitprojekt SWAP eine modulare und flexible Produktionsarchitektur entwickelt. Die statischen Strukturen und schematischen Abläufe klassischer Produktionsstätten werden aufgebrochen und die Abarbeitung der Arbeitsschritte dynamisiert. Eingebunden werden das herzustellende Endprodukt und auch die zur Herstellung nötige Maschinenteknik, einschließlich Robotern und autonomen Transportsystemen. Dafür entwickelten die Forschenden eine einheitliche und semantisch vereinfachte Beschreibungssprache für Maschinen, Prozesse und Produkte – die sogenannte PFDL (Production Flow Description Language). Diese dient dazu, vor dem Start der Fertigung das jeweilige Endprodukt oder Bauteil zu definieren, damit im Anschluss die gewünschten speziellen Merkmale ergänzt werden können. Die formulierten Aufträge werden dann durch Maschinen oder Roboter autonom bearbeitet.

Im Ergebnis entsteht eine intelligent agierende und anpassungsfähige Produktionsumgebung. So wird jeder Auftrag passend zu den Vorgaben individuell und zugleich effizient ausgeführt. Bei der klassischen Fertigung mit ihren standardisierten Arbeitsstationen ist diese Fall-zu-Fall-Flexibilität nicht erreichbar. Nun können Hersteller die Abläufe in der Fabrikhalle flexibel an ihre Zielvorgaben anzupassen. In Projektkonsortium wurden bereits Optiken aus poliertem Metall – nicht aus Glas – für ein Laserteleskop nach dem Prinzip der entstandenen Produktionsarchitektur SWAP-IT gefertigt. Nicht nur für Weltraumteleskope im New Space bietet das neuartige Produktionsverfahren Optionen für eine günstigere Produktion als auf Basis herkömmlicher Verfahren.

SWAP versteht sich als Fortführung von Megatrends der Industrie 4.0 mit Technologien wie Sensorik, Vernetzung oder Digitaler Zwilling. Die Forschenden arbeiten derzeit an einem praxisnahen Vorgehensmodell zur Implementierung, um den Unternehmen die Umstellung auf die neuartigen Produktionsarchitektur zu erleichtern.



*Infrastruktur für die Entwicklung neuartiger Computer*

### Testlinien für die nächste Rechnergeneration

Bei rechenintensiven Technologien wie Künstlicher Intelligenz (KI) oder Edge-Datenverarbeitung kommen klassische Digitalrechner an ihre Leistungsgrenzen. Für neuartige Rechentechnologien der nächsten Generation (Next Generation Computing) bieten Quantencomputing (QC) und neuromorphes Computing (NC) fundamentale Chancen, ohne die zukünftig viele wettbewerbs- und sicherheitskritische Anwendungen nicht realisiert werden können.

Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) unterstützt mit ihrer Infrastruktur und ihrem wissenschaftlichen Know-how das entstehende Ökosystem des Next Generation Computing: Insbesondere im Rahmen der Förderlinie »Modul Quanten- und neuromorphes Computing – module qnc« sollen zukünftig neueste Hardware-Entwicklungen ermöglicht werden. Ziel des Projekts FMD-QNC ist es, dass Partner aus Forschung, Entwicklung und Innovation sowie Unternehmen ihre in den Laboren gewonnenen Erkenntnisse schnell in Prototypen und Kleinserien umsetzen können. Dies wird durch die im Projekt FMD-QNC erweiterten Prozessmöglichkeiten realisiert. Der Deep Tech Accelerator QNC Space, als Teil von FMD-QNC, bot im Herbst 2023 für Forschungsgruppen, Gründerinnen und Gründer, Start-ups sowie KMU erstmals einen niederschweligen Zugang zur Infrastruktur der FMD-QNC-Partner an.

Auf europäischer Ebene wird das Förderprojekt FMD-QNC des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durch das Förderprojekt PREVAIL ergänzt. Die Forschungsorganisationen CEA-Leti (Frankreich), Fraunhofer (Deutschland), imec (Belgien) und VTT (Finnland) wollen eine vernetzte 300-Millimeter-Technologie-Plattform schaffen, mit der Chip-Prototypen für KI oder neuromorphes Computing möglich werden. Die Projektaktivitäten innerhalb von PREVAIL und FMD-QNC werden vernetzt und sind wichtige Vorbereitungen für das technologische Fundament des »European Chips Act«.

## Ganzheitliche Kreislaufwirtschaft



*Entwicklung von Biokunststoffen aus Polybutylensuccinat*

### Mehr Typen des Biokunststoffs PBS

Recyclingfähige und biologisch abbaubare Kunststoffe, die statt aus Erdöl aus regional verfügbaren pflanzlichen Reststoffen hergestellt werden: Dieses Ziel verfolgen 18 Partner im Förderprojekt RUBIO des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP und für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS. Das Fraunhofer IAP entwickelt dabei neue Typen des Biokunststoffs Polybutylensuccinat (PBS), die mehr Einsatzmöglichkeiten erlauben als bisher. Mit der POLIFILM EXTRUSION GmbH in Sachsen-Anhalt entwickelte das Fraunhofer IAP eine PBS-Folie, die für Versandtaschen geeignet ist. Das deutsche Unternehmen produziert Kunststofffolien für die Bau-, Agrar- und Automobilbranche und andere Bereiche. In Zusammenarbeit von angewandter Forschung und Unternehmen wurde die Herstellung auf gängigen Extrusionsanlagen realisiert, was eine industriennahe Weiterentwicklung ermöglicht. Die Polymerfachleute am Fraunhofer IAP unterstützen nicht nur bei den Syntheseverfahren für neue Biokunststofftypen, sondern überführen im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ ihre Ergebnisse aus Labor und Technik in den industrienahen Pilotmaßstab. Im Verarbeitungstechnikum Biopolymere Schwarzeide werden neu entwickelte PBS-Typen und -mischungen auf zahlreiche Kriterien untersucht, etwa auf thermoplastische Verarbeitung, Bioabbaubarkeit, Recyclingfähigkeit und Bedruckbarkeit.

Noch wagen wenige Kunststoffverarbeiter den Wechsel hin zu den Biokunststoffen: Probleme bei der Versorgungssicherheit, höhere Kosten, eine zu geringe Auswahl an verschiedenen Typen von Biokunststoffen und die fragliche Eignung für bestimmte Anwendungen sind hohe Hürden. Auch Recycling lohnt sich erst für Kunststoffe, die in großen Mengen im Abfall vorhanden sind. Deswegen entwickelt das RUBIO-Projekt-konsortium den Biokunststoff PBS noch weiter: Künftig sollen dessen Rohstoffe aus regionalen Resten und Abfällen stammen – aus Biogasanlagen, landwirtschaftlichen Betrieben oder der Papierproduktion. Kürzere Transportwege könnten dann sogar die Preise senken.



*Fingerorthesen aus vollständig kompostierbarem Kunststoff*

### Wenn Industrie 4.0 biologisch wird

Wie geht nachhaltige Produktion in der Automobilproduktion? Unter der Gesamtleitung des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK entwickelte ein Konsortium im Förderprojekt »BioFusion 4.0« (Bundesministerium für Bildung und Forschung) Pilotprozesse einer nachhaltigen Wertschöpfung. Beteiligt waren u. a. die Mercedes-Benz AG, das Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e. V. und die Technische Universität Berlin. Die insgesamt 13 Partner erarbeiteten beispielsweise Lösungen für die Unterstützung von Werkerinnen und Werkern durch biointelligente Assistenzsysteme sowie für die Verwendung von biogenen Materialien.

So wurde eine Orthese für die Bauteilmontage in der Automobilproduktion entwickelt: Mittels intelligenter Algorithmen werden individuelle 3D-Orthesen aus Biokunststoff für die Hände der Werkerinnen und Werker gefertigt. Der Biokunststoff wird aus Speisefetten produziert und ist daher zu 100 Prozent kompostierbar. Entworfen wurde auch ein Multiagentensystem, mit dem sich die Verteilung von Produktionsaufträgen automatisiert steuern lässt: Auf einem Dashboard können die Werkerinnen und Werker den Prozessfortschritt eingegangener Aufträge verfolgen, den Ausfall von Arbeitsstationen nachbilden und sich Unterstützung holen bei der automatischen Anpassung von Produktionsschritten. Eine solche selbstorganisierte Prozesssteuerung erlaubt es Fertigungsunternehmen, flexibler und resilienter zu agieren.

Auch die produktindividuelle Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks eines Produkts entlang des Lebenszyklus wird berechnet. Diese Daten sollen über das Fraunhofer-Netzwerk in den Verein Catena-X mit einfließen. Bei diesem kollaborativen, offenen Datenökosystem handelt es sich um das größte Vorhaben der Automobilbranche bezogen auf zukünftige Produktionskonzepte: den vertrauensvollen Datenaustausch zwischen allen Akteuren der Automobilindustrie – von der ersten Zulieferstufe bis zum OEM. Der Austausch basiert auf den Software-Diensten der International Data Spaces (IDS) und Gaia-X.



## Ganzheitliche Kreislaufwirtschaft



Projektteam bei der Besichtigung eines Schadensfalls

### »Ewigkeitschemikalien« reduzieren

Eine der gravierendsten vom Menschen verursachte Umweltbelastung ist die Verschmutzung von Böden und Gewässern mit per- und polyfluorierten Alkylverbindungen, kurz PFAS. Zu finden sind sie in Zahnseide, Outdoor-Kleidung oder in Lösch- und Pflanzenschutzmitteln und in vielen anderen Produkten. Die teils gesundheitsschädlichen PFAS werden auch »Ewigkeitschemikalien« genannt, da sie außerordentlich stabil sind. Sie zu entfernen ist aufwendig. Bei einer Filterung durch Aktivkohle beispielsweise wird PFAS zwar gebunden, aber nicht beseitigt, sodass die Überreste im Sondermüll entsorgt bzw. gelagert werden müssen.

Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB gelang es, ein Plasmaverfahren zu entwickeln, mit dem PFAS energieeffizient aus kontaminiertem Wasser entfernt werden können. Dabei wird das Plasma durch Anlegen einer Hochspannung zwischen den Elektroden eines zylinderförmigen, kombinierten Glas-Edelstahl-Zylinders erzeugt, das kontaminierte Wasser fließt dann auf der Außenseite der (Edelstahl-)Elektrode entlang. Durch die energiereiche Plasmaatmosphäre werden die PFAS-Molekülketten aufgebrochen und damit verkürzt. In einem geschlossenen Kreislauf wird der Vorgang mehrere Male wiederholt, wobei die Molekülketten bei jedem Durchlauf verkürzt werden, bis sie vollständig abgebaut sind. Das Verbundprojekt AtWaPlas (kurz für Atmosphären-Wasserplasma-Behandlung) wurde mit dem Industriepartner HYDR.O. aus Aachen durchgeführt. Von dem Spezialisten für Altlastensanierung stammten die Wasserproben. Mit dem gleichen Aufbau lässt sich die Plasma-Methode auch zur Aufreinigung anderer Wasserverschmutzungen einsetzen, etwa von Medikamentenrückständen, weiteren Industriechemikalien oder Pflanzenschutzmitteln. In einem nächsten Entwicklungsschritt könnten entsprechende Anlagen auch als eigenständige Reinigungsstufe in Klärwerken aufgestellt werden oder in transportablen Containern auf kontaminierten Freilandflächen zum Einsatz kommen.

AtWaPlas wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in der Initiative Wasser: N gefördert.



Lithiumcarbonat, wie es in Südamerika gewonnen wird

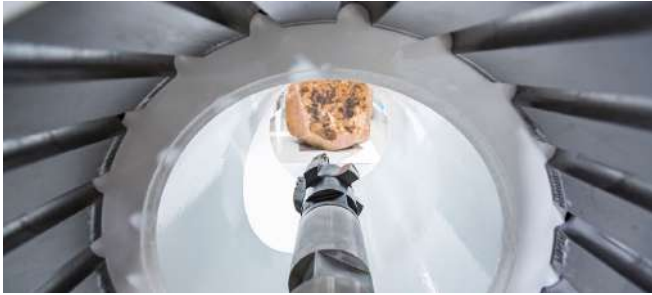
### Heimisches Lithium aus Geothermie?

Lithium ist der Schlüsselrohstoff für die Energiewende, insbesondere für die Batterien der Elektromobilität. Bis heute ist Deutschland auf Zulieferung angewiesen – überwiegend aus Australien und Südamerika, abgebaut unter umweltbelastenden Bedingungen. Lithium kommt aber auch in Deutschland vor – am Oberrheingraben, im Erzgebirge oder im Norddeutschen Becken.

Auslöser jüngster Forschungsarbeiten war eine Studie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), die als »Outstanding Paper 2022« gewürdigt wurde. Die KIT-Forschenden wiesen nach, dass Thermalwasser in einigen Kilometern Tiefe eine hohe Konzentration von Lithium-Ionen enthält. Seither beschäftigen sich mehrere Initiativen damit, wie sich das wertvolle Metall mit der hydrothermalen Geothermie verbinden lässt. Beteiligt sind u. a. EnBW AG, Vulcan Energie Ressourcen GmbH sowie die Fraunhofer-Institute für Chemische Technologie ICT und für Physikalische Messtechnik IPM.

Zunächst müssen die Lithium-Ionen per Adsorption angelagert und mit Desorptionslösungen wieder gelöst werden. Das so gewonnene Lithiumchlorid kann durch Elektrolyse in Lithiumhydroxid umgewandelt und in dieser Form als Lithium gehandelt werden. Unter Federführung des KIT wurde ein erstes Lithium-Ionen-Sieb hergestellt. Es basiert auf einem Lithium-Mangan-Oxid mit einer speziellen, als Spinell bezeichneten Kristallstruktur und wurde mittels hydrothormaler Synthese hergestellt. Das Konsortium arbeitet an einer Verfeinerung des Siebs und an einer verbesserten Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Dabei hilft ein optischer Sensor, der spektrale Materialanalysen in laufenden Prozessen ermöglicht. Diese Entwicklung des Fraunhofer IPM soll die aufwendigen Labormessungen erübrigen, die bisher nötig waren, um den Zeitpunkt für die Änderung der Durchflussrichtung im Ad- und Desorptionsprozess der Lithium-Ionen exakt zu steuern. Demnächst soll der Sensor an einem Geothermiestandort im realen Betrieb getestet werden.

## Vollendete Energiewende



Bohrungen zum Erschließen von Geothermie

### Bohrungen für die Nutzung von Geothermie

Grubenwasser aus aufgegebenen Bergbauzechen kann wesentlich zum kommunalen Wärme- und Kältebedarf beitragen. Über »kalte Nahwärmenetze« kann Wärme in umliegenden Gebäuden verteilt werden. Dort können Wärmepumpen sehr effizient Temperaturen auf Brauchwasser-Niveau bereitstellen, denn sie versorgen bereits bei geringer Arbeitstemperatur Wärmepumpen in umliegenden Gebäuden. Im Ruhrgebiet bieten die aufgelassenen Kohlebergwerke an vielen Standorten ein großes Reservoir an Grubenwasser. Das Projekt »D2Grids« auf einer ehemaligen Opel-Werksfläche in Bochum stellt eine Blaupause für netzgebundene Niedertemperaturwärme- und Kältelösungen in Nordwesteuropa dar: Mit dem warmen und kalten Grubenwasser der ehemaligen Steinkohlezeche Dannenbaum soll das entstehende Stadtquartier auf dem ehemaligen Opel-Gelände (ca. 70 Hektar) klimafreundlich versorgt werden. Die Pumptests im Frühjahr 2023 bestätigten ein ausreichendes geothermisches Potenzial. Damit startet die Errichtung einer Energiezentrale: Für die Wärmeversorgung wird zukünftig das 27–28 °C warme Grubenwasser aus 807 Meter Tiefe über Wärmepumpen auf ca. 48 °C erwärmt und in das Netz eingespeist. Für die Kälteversorgung wird ca. 17 °C »kaltes« Grubenwasser aus einer Tiefe von etwa 340 Metern gefördert. Rund 75 Prozent der Bedarfe lassen sich so decken.

Die unterirdischen Aktivitäten wie Bohrungen durch einen Untergrund, der mit alten Bergwerksteilen eng durchsetzt ist, oder die Logistik der umfangreichen Pumptests verantwortete die Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG. Sie berät zudem die Stadtwerke Bochum beim energetischen Gesamtkonzept, einschließlich Geothermie, Wärmenetzen, Untergrundspeichern und Großwärmepumpen. Dank der Nutzung des Grubenwassers als Energiequelle wird im entstehenden Quartier eine Einsparung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von rund 3200 Tonnen pro Jahr erwartet – im Vergleich zu einer konventionellen Versorgung durch Erdgas und elektrische Kompressionskältemaschinen.

D2Grids wird durch das Interreg-Programm für Nordwesteuropa und das Förderprogramm »Wärmenetze 4.0« unterstützt.



Modellierung für den Ausbau des Stromnetzes

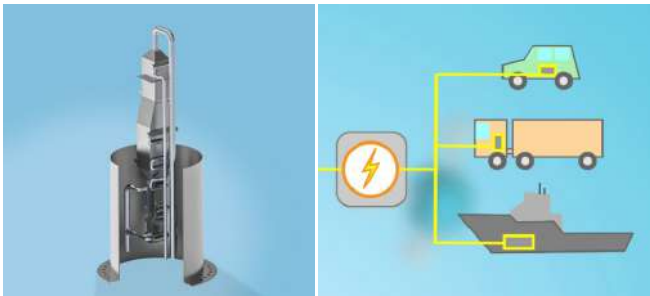
### Netzentwicklungsplan Strom – postleitzahtgenau

Die Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz, Amprion, TenneT und TransnetBW übergaben im Frühjahr 2023 den ersten Entwurf des Netzentwicklungsplans (NEP) Strom 2037/2045 an die Bundesnetzagentur. Der NEP beschreibt erstmals ein Stromnetz, mit dem Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden kann. Dafür modellierte das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE die Regionalisierung der erneuerbaren Energien mit konkreten Karten für den Ausbau der Windkraft- und Photovoltaik-(PV-)Anlagen.

Der NEP rechnet mit einer Verdopplung des heutigen Stromverbrauchs auf über 1000 Terawattstunden. Dafür ist etwa eine Verfünffachung der installierten Leistung aus Erneuerbaren auf bis zu etwa 700 Gigawatt im Jahr 2045 erforderlich. Um diese hohe Leistung in das Stromnetz zu integrieren und gleichzeitig dessen sicheren Betrieb zu gewährleisten, ist ein beschleunigter Netzausbau nötig. Die Regionalisierungsstudie des Fraunhofer IEE modelliert postleitzahtgenau, wie sich der Zubau von Windkraft- und PV-Anlagen zukünftig auf der Fläche Deutschlands verteilt. Getrennt für Windenergie an Land sowie für Freiflächen- und Dachflächen-PV wurden auf Basis verschiedener Datenquellen vorhandene und geplante Anlagen verortet und deren Leistung mit den Leistungsvorgaben je Bundesland, die der NEP nennt, in Bezug gesetzt. Bereits bekannte Potenziale sowie in Potenzialanalysen ermittelte Flächen wurden anhand verschiedener Parameter wie Verfügbarkeit, Eignung, Bodengüte oder Konfliktträchtigkeit gewichtet und als Annahme mit Anlagen bebaut, bis die jeweiligen Leistungsvorgaben erreicht waren.

Die Ergebnisse sind in Karten zusammengefasst, jeweils für den Bestand 2022 und die beiden dem NEP zugrunde liegenden Szenarien 2037 und 2045. Damit liefert die Studie des Fraunhofer IEE den Übertragungsnetzbetreibern eine detaillierte Grundlage, um das Netz vorausschauend zu entwickeln und die erneuerbaren Energien in die Fläche zu bringen.

## Vollendete Energiewende



Aus Ammoniak CO<sub>2</sub>-freies Gas verbrennen

### Ammoniak als Hoffnungsträger der Energiewende

Grüner Wasserstoff ist ein vielversprechender klimaneutraler Energieträger. Noch zu lösen ist der Aufwand für dessen Transport und Speicherung. Dabei könnte Ammoniak, bekannt als Ausgangsstoff für Düngemittel, als Speichermedium für Wasserstoff eine weitere Karriere machen: Es lässt sich bereits bei einer moderaten Temperatur von  $-33\text{ °C}$  verflüssigen und kann mehr Wasserstoff bei weniger Volumen binden als bei 700 bar komprimierter Wasserstoff. Verflüssigtes Ammoniak lässt sich im Vergleich zu Wasserstoff einfacher transportieren. Deshalb entstehen am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM Systeme auf Basis von Ammoniak, die Infrastruktur, Verkehr und Industrie mobil mit sauberer Energie versorgen können.

Technologien für eine Nutzung von Ammoniak zur Energieerzeugung gibt es allerdings noch wenige. Auch dafür fanden die Forschenden mit dem AMMONPAKTOR-Reaktor eine Lösung: In einem Spaltreaktor wird Ammoniak in Stickstoff und Wasserstoff gespalten. Dabei entsteht ein Spaltgas als brennbarer Energieträger. Mit Ammoniak aus grünem Wasserstoff wurde mit einem Industriepartner bereits eine komplett CO<sub>2</sub>-freie Ziegelherstellung demonstriert. Dieser Energieträger lässt sich auch für mobile Brennstoffzellenanwendungen wie Land- oder maritime Fahrzeugen nutzen: Ein am Fraunhofer IMM entwickelter Crackreaktor spaltet mit einer nachgeschalteten Reinigungsstufe reinen Wasserstoff aus Ammoniak, das direkt in PEM-Brennstoffzellen von Fahrzeugen eingespeist werden kann.

Der AMMONPAKTOR-Reaktor erreicht beim Rückverwandlungsprozess von Ammoniak zu Wasserstoff einen Wirkungsgrad von 90 Prozent im Vergleich zu 70 Prozent bei herkömmlichen Technologien. Gegenüber konventionellen Reaktoren wurde eine Größenreduzierung um 90 Prozent erzielt. Der Crackreaktor der zweiten Generation für 25 kg/h Ammoniakzufuhr produziert 70 Kilogramm gereinigten Wasserstoff pro Tag und ist derzeit im Herstellungsprozess. Der Reaktor wird in das Fraunhofer-Leitprojekt AMMONVEKTOR eingebunden. Dort wird eine Gesamtstrategie von der dezentralen Erzeugung, über den Transport bis zur Nutzung von Ammoniak entwickelt.



Power auf statt unter der Haube

### Solarzellen auf Motorhaube und Dach

Eine Motorhaube, überzogen mit einer farblich angepassten Folie aus integrierten Solarzellen: Dieses Exponat des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE entwickelte sich zu einem Besuchsmagneten der IAA Mobility 2023. »Power auf der Haube« schrieb der VDI Verlag auf seinem Portal »ingenieur.de«, »Forschende produzieren Solarstrom mit einer Motorhaube« stand in der Onlineausgabe von »Auto Bild«.

Die Herausforderungen, um die Solarzellen in die Motorhaube zu integrieren, waren die Fläche, die gebogene Form und der Untergrund aus Blech statt einer klassischen Rückseite aus Folie oder Glas. Die Forschungsteams des Fraunhofer ISE testeten verschiedene Solarzellen-Typen mit unterschiedlichen Materialkombinationen, um die vorhandene Fläche auf der Motorhaube möglichst gut zu nutzen und die Haftungseigenschaften zu prüfen. Danach wurden Prototypen mit unterschiedlichen Zell- und Verschaltungstechnologien intensiv im Labor getestet, um die elektrische Leistung, die Zuverlässigkeit und Haltbarkeit der Photovoltaik-(PV-)Motorhauben-Demonstratoren sicherzustellen. Die Laminierung der Oberfläche mit Folie führt zu einer texturierten Oberflächenstruktur, die farblich durch die am Fraunhofer ISE entwickelte Technologie MorphoColor® an die Fahrzeugfarbe angepasst werden kann. Die auf der IAA MOBILITY ausgestellte Motorhaube mit einer Nennleistung von 115 Watt verfügt über 120 PERC-Schindel-Solarzellen und ist in der Farbe MorphoColor® Grau gehalten.

Die Technologie kann auch auf Metalldächern von Autos aufgebracht werden und wäre zudem leichter als PV-Autodächer aus Glas. Dach und Motorhaube zusammengenommen, könnte die Solarreichweite eines E-Autos in einer sonnenreichen Stadt wie Freiburg 4000 Kilometer im Jahr erreichen. Bereits 2017 wurde in einer Studie des Fraunhofer ISE in Kooperation mit Speditionen ermittelt, dass ein Lkw-Dach in Europa 5000 bis 7000 Kilowattstunden jährliches Stromerzeugungspotenzial hätte. Die Technologie der auf Folie integrierten Solarzellen ist sowohl für E-Fahrzeuge als auch für Verbrenner geeignet.

## Bezahlbare Gesundheit



Arztbriefe verfassen mit Natural Language Processing (NLP)

### Beim Arztbrief soll KI helfen

Rund 150 Millionen Arztbriefe werden pro Jahr in Deutschland unter hohem Zeitaufwand geschrieben. Dabei liegt ein Großteil der medizinischen Daten bereits in Textform vor. Die mühsame Auswertung und Weiterverarbeitung wird künftig durch Natural Language Processing (NLP), einer Kombination aus Algorithmen und Künstlicher Intelligenz (KI), erledigt. Das Verfahren extrahiert dafür Informationen aus Texten und stellt diese strukturiert zur Verfügung. Prozesse wie Qualitätssicherung, das Erstellen von Statistiken, klinische Entscheidungsunterstützungen und Abrechnungen lassen sich so einfach und schnell gestalten. Mit RightCoding (RICO) ist bereits eine Software des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS im Einsatz, die den Codierungs- und Abrechnungsprozess in vielen Krankenhäusern erheblich erleichtert. Auch der Arztbrief wird bald durch einen »Arztbrief-Generator« erzeugt. Schon 2024 will ein Team des Fraunhofer IAIS einen entsprechenden Prototyp für Entlassungsbriefe an der Universitätsmedizin Essen testen. Das Vorhaben ist Teil des Flagship-Projekts SmartHospital. NRW im Rahmen der Kompetenzplattform KI.NRW. Erforscht werden insbesondere Technologien der Text-, Sprach- und Signalverarbeitung.

Welche Möglichkeiten sich insgesamt für den medizinischen Bereich durch NLP ergeben, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer IAIS im Whitepaper »Natural Language Processing in der Medizin« zusammengefasst. Aufgezeigt werden aktuelle Entwicklungen und Einsatzmöglichkeiten von KI in dokumentenbasierten Prozessen im medizinischen Bereich. Gesundheitsdaten zählen zu den derzeit am stärksten wachsenden Datenmengen. Gleichzeitig steht das Gesundheitswesen vor zahlreichen Herausforderungen wie Personalmangel, Kostendruck und einem »Information Overload«. Das aus der KI-basierten Automatisierung entstehende Potenzial gilt es nun gemeinsam mit den Institutionen des Gesundheitswesens auszuschöpfen – mit besonderem Blick auf das Wohl der Patientinnen und Patienten sowie auf die Entlastung von Arzt- und Pflegepersonal.



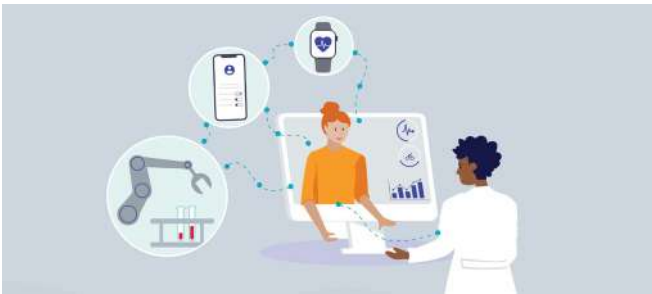
Mit KI gegen Abrechnungsbetrug im Pflegedienst

### Abrechnungsbetrug bei der Pflege mit KI aufdecken

Abrechnungsbetrug im Gesundheitswesen verursacht jährlich Schäden von mehreren Milliarden Euro. Durch die Digitalisierung von Prozessen ergeben sich neue Möglichkeiten, Betrug systematisch zu entdecken – sei es in der Pflege, in Krankenhäusern oder der öffentlichen Verwaltung. Im Projekt PflegeForensik gingen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern gemeinsam mit der Generalstaatsanwaltschaft Dresden und dem Kommissariat für Wirtschaftskriminalität der Polizeidirektion Leipzig gegen Abrechnungsbetrug im Pflegedienst vor. Die Partner schufen eine Softwarelösung, die mit Künstlicher Intelligenz (KI) bei den Ermittlungen unterstützt. Zunächst wurden mithilfe von Bildverarbeitung Algorithmen zum automatischen Einlesen und intelligenten Auswerten der Papierberge entwickelt. Diese können beispielsweise Unterschriften finden und den richtigen Personen zuordnen. Ein Vergleich der Touren- und Dienstpläne von Pflegediensten mit Abrechnungsdaten kann Hinweise auf Betrugsfälle liefern.

Um diese und weitere Auffälligkeiten zu finden und digital auszuwerten, haben die Forschenden gemeinsam mit den Anwendenden typische Ermittlungen in mathematische Modelle übersetzt. Zum Trainieren der KI-Algorithmen wurden mehrere Hundert Dokumente zunächst anonymisiert, und dann mit Eigenschaften manuell markiert. Auf dieser Datenbasis können dann KI-Algorithmen problembezogene Muster lernen. Die Lösung wurde so entwickelt, dass sie sich auch an neue Daten anpassen lässt bzw. nachgebessert werden kann. Einen Software-Demonstrator konnten Vertreterinnen und Vertreter von Strafverfolgungsbehörden, Justiz und Krankenkassen bei einem Workshop zum Projektabschluss 2023 ausprobieren. Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm »Forschung für die zivile Sicherheit« gefördert. Die Partner wollen das Projekt fortführen und idealerweise eine Produktivsoftware schaffen, die möglichst einfach zu bedienen ist und gleichzeitig gerichtsfeste Ergebnisse liefert.

## Bezahlbare Gesundheit



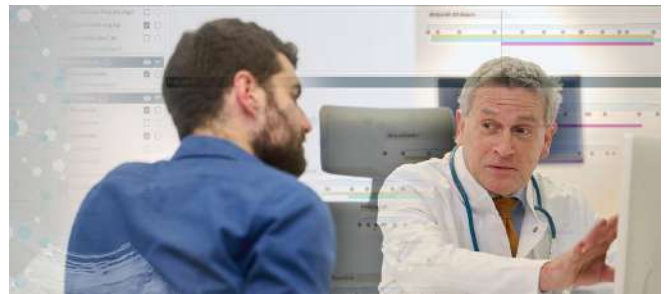
*Ein Digitales Ökosystem vernetzt viele Komponenten*

### Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum

Im ländlichen Raum muss die ärztliche Versorgung neu gestaltet werden: Laut einer Studie der Robert-Bosch-Stiftung werden in Deutschland bis 2035 etwa 11 000 Hausarztstellen unbesetzt sein, fast 40 Prozent der Landkreise droht die hausärztliche Unterversorgung. Deswegen entwickelt das Fraunhofer-Zentrum für Digitale Diagnostik ZDD mit mehreren Fraunhofer-Instituten im Projekt Neighborhood Diagnostics ein digitales Ökosystem zur patientennahen Diagnostik und Unterstützung von Behandlungen im ländlichen Raum. Damit sollen Ärzte und Fachpersonal entlastet und frühzeitige Diagnosen mit einer guten Patientenversorgung ohne weite Anfahrtswege gewährleistet werden.

Alle medizinischen Daten sollen in einer digitalen Plattform zusammenfließen. Zu den Bestandteilen zählen Home Monitoring Devices, die z. B. den Blutdruck oder Blutzuckerspiegel messen, und Wearables – kleine Computersysteme wie Smart Watches, die direkt am Körper getragen werden. Diese Geräte übertragen ihre Messdaten mittels einer Neighborhood Diagnostics App auf die Plattform. Bei auffälligen Messwerten erfolgt eine Warnung. Mit solchen Applikationen wird das Ökosystem künftig in der Lage sein, Daten zu interpretieren, Diagnosen abzuleiten und Empfehlungen zu geben für Medikamente, Physiotherapien und weitere medizinische Leistungen.

Vollautomatisierte Gesundheitsstationen bilden eine wesentliche Säule des digitalen Ökosystems und übernehmen weitere Aufgaben von Arztpraxen und Gesundheitslaboren. Registrierte Patientinnen und Patienten erhalten unterschiedliche Testkits, z. B. für Nasen- oder Rachenabstrich oder für Kapillarblut und geben diese wieder ab. Die Tests in den Diagnosegeräten werden in der Station durch ausgeklügelte Robotik autonom durchgeführt und – sofern erforderlich – gekühlt gelagert. Je nach Krankheitsfall und Diagnose könnten die Ergebnisse direkt vor Ort, via App oder über den Arzt an Patientinnen und Patienten übermittelt werden. Die Erprobungsphase startet zunächst in der Modellregion Brandenburg mit dem Fokus auf der Versorgung chronisch Erkrankter. Das Konzept soll sukzessive auf ländliche Gegenden aller Bundesländer ausgeweitet werden.



*Patientenmodelle helfen dem Gesundheitssystem*

### Damit Therapien optimal wirken

Per Klick zur richtigen Prävention, Diagnose und Therapie: Ein im Fraunhofer-Leitprojekt MED<sup>2</sup>ICIN entwickeltes System zur Entscheidungsunterstützung eröffnet neue Möglichkeiten für die Gesundheitswirtschaft.

Bisher liegen Patientendaten oft in unterschiedlichsten Systemen zeitlich und räumlich getrennt voneinander vor. Mit MED<sup>2</sup>ICIN entwickelte das Konsortium des gleichnamigen Fraunhofer-Leitprojekts ein System, das die Daten zusammenführt und Medizinerinnen und Mediziner in ihrer Entscheidungsfindung unterstützt. In Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Frankfurt am Main ließen die beteiligten Fraunhofer-Institute auch die Erfahrungen von praktizierenden Ärztinnen und Ärzten einfließen. Eine Online-Umfrage unter knapp 50 Gastroenterologinnen und Gastroenterologen aus Krankenhäusern und Praxen zeigt: Das Patientenmodell erfüllt die gesetzten Ziele. So sei zu erwarten, mit einem solchen System 23 Prozent der Kosten und 35 Prozent der Zeit bei der Behandlung einzusparen. Eine wirksame Begrenzung der Gesundheitsausgaben ist aufgrund der demographischen Entwicklung und des enormen Fachkräftemangels dringend notwendig. Nutzende können im digitalen Patientenmodell auf KI-basierte Analysen wie medizinische Fachpublikationen zugreifen und die Leitlinien für die Behandlung sowie die entstehenden Kosten der Behandlungsoptionen einsehen. Im Kohortenmodul werden die individuellen Patienteninformationen in Bezug zu Daten von ähnlichen Krankheitsverläufen gesetzt. So können Behandelnde identifizieren, in welchen Fällen welche Therapien optimal wirken. Sämtliche Informationen sind in einem übersichtlichen Dashboard dargestellt. Gegenwärtig treiben die Forschenden das Projekt auf europäischer Ebene mit finnischen Partnern voran. Auf Basis von 10 000 Patientendaten entwickeln sie das Modell so weiter, dass es in kommerziell genutzte Systeme eingebunden und im medizinischen Alltag genutzt werden kann.

## Sicherheit und resiliente Gesellschaft



Für Notfälle wurden zentrale Bargeldbezugspunkte errechnet

### Bargeldversorgung im Krisenfall

Die globale Polykrise der vergangenen Jahre hat deutlich gemacht, dass man auf einen plötzlichen Notfall wie einen umfassenden Stromausfall oder auch den Ausfall des IT- und Kommunikationsnetzes vorbereitet sein sollte – auch bei elektronischen Zahlungssystemen, die dann in der Regel nicht mehr funktionieren. Anfang 2023 veröffentlichte ein Verbund aus Wissenschaft und den wichtigsten Akteuren im Bargeldkreislauf ein Sicherheitskonzept mit Empfehlungen, wie der Bargeldkreislauf widerstandsfähiger gestaltet werden kann. Das Projekt »Resilienz der Bargeldversorgung – Sicherheitskonzepte für Not- und Krisenfälle (BASIC)« wurde durch das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit (BIGS) koordiniert. Forschende der Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer-IIS haben einen Optimierungsalgorithmus entwickelt, um zentrale Bargeldbezugspunkte in Deutschland zu bestimmen.

Die Forschenden bestimmten für gewisse Szenarien mit mathematischer Optimierung die optimale Bargeldbelieferung an Bezugspunkte, die im Krisenfall noch aufrechterhalten werden sollen. Beispielsweise sollten diese Bankautomaten oder -filialen mit Notstromaggregaten krisensicher ausgestattet werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts lag darauf, die jeweiligen Not- und Krisenpläne aller Akteure des Bargeldkreislaufs zu harmonisieren und die Arbeitsprozesse, vor allem die der Geld- und Wertdienstleister, weiter abzusichern.

Projektpartner waren das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH (BIGS), die Bundesvereinigung Deutscher Geld- und Wertdienste e. V. (BDGW), die Cash Logistik Security AG sowie die Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS. Das Konsortialprojekt erhielt eine dreijährige Förderung durch das Programm »Forschung für Zivile Sicherheit« der Bundesregierung sowie durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.



Infrarotimager im Kleinsatelliten ERNST

### Kleinsatellit detektiert Hyperschall-Flugkörper

Die erste Kleinsatellitenmission für die Bundeswehr soll im Juni 2024 in den erdnahen Orbit starten. Der Auftrag: den Start ballistischer Raketen oder hypersonischer Flugkörper im erdnahen Orbit früh zu erkennen.

Dafür entwickelten mehrere Fraunhofer-Institute unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, den Nanosatelliten ERNST. Eine kryogen gekühlte Infrarotkamera ist das Herzstück des Kleinsatelliten von der Größe eines Bierkastens. Für eine effektive Frühwarnung zur Ermöglichung von Abfangmaßnahmen wird die Erdoberfläche in verschiedenen kurz- und mittelwelligen Infrarotbereichen beobachtet. Das vom Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB entwickelte Detektionskonzept kombiniert verschiedene Spektralbereiche, um die sich während ihrer Flugphasen ändernde Infrarotsignatur einer Rakete zu erkennen und nachzuverfolgen.

Für ERNST und seine Mission kombinierte und modifizierte das Fraunhofer EMI verfügbare Produkte aus dem »New Space« und dem wehrtechnischen Bereich mit Eigenentwicklungen. Eine Besonderheit ist die generativ gefertigte, bionisch anmutende optische Bank, auf der die Kamerakomponenten platziert sind. Unter anderem wurde ein dreidimensional strukturierter Radiator integriert, der die Hitze auf einer sehr viel kleineren Grundfläche ableitet als übliche Radiatorflächen. Für eine seiner Aufgaben ist der Kleinsatellit mit einer visuellen Kamera für die Georeferenzierung und einem vom Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT entwickelten Strahlungsmonitor ausgestattet. Dieser misst die Gesamtdosis der vom Satelliten empfangenen energetischen Strahlung sowie den Einfluss von Protonen und Neutronen durch unterschiedlich abgeschirmte Detektorelemente.

Wenn der Start von ERNST im Juni 2024 glückt, soll der Kleinsatellit nach erfolgreicher dreijähriger Mission auf die Erde zurückkehren, indem ein Bremssegel entfaltet wird. Damit soll eine nachhaltige Nutzung der Weltraumumgebung demonstriert werden.

## Sicherheit und resiliente Gesellschaft



Hilfe bei der Bildauswertung von Drohnen

### Automatisierte Bildauswertung für Drohnen

Unbemannte Luftfahrzeuge wie Drohnen spielen im Sicherheitsbereich, bei Rettungsmissionen und im Verteidigungsfall eine zunehmend wichtige Rolle. Für die Drohne LUNA, seit Jahren erfolgreich bei der Bundeswehr im Einsatz, realisiert das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB seit 2005 mit dem System ABUL ein modulares Videoauswertesystem. Es wird kontinuierlich weiterentwickelt – auf Basis von Einsatzerfordernissen und mit aktuellen Forschungsergebnissen.

Die von den Drohnen aufgenommenen Videodaten werden über verschiedene Datenbindungstypen an die Bodenstationen gesendet und dort vom Einsatzpersonal ausgewertet. Für dessen Unterstützung, etwa bei mehrstündigen Beobachtungs- und Auswertungsaufgaben, wurde ABUL entwickelt. Das System verfügt über optimierte Echtzeitfunktionen wie Bildstabilisierung für die Onlineaufklärung. Mittlerweile wurden Funktionen auf der Basis von Künstlicher Intelligenz (KI) zur Detektion, Klassifikation und zum Tracking von Fahrzeugen, Personen und weiteren Objektklassen integriert. Funktionalitäten für Offline-Erkundungsmissionen wurden bereitgestellt, Bildmosaik ermöglichen eine verbesserte Weitergabe von Resultaten. Das Grundkonzept von ABUL besteht aus einem dualen Bildschirmsystem mit anpassbarer Benutzeroberfläche (GUI) für verschiedene Sensorsysteme. Auf dem ersten Bildschirm wird ein Fenster mit den Video-Streams aller Sensoren angezeigt. Es stellt zudem Steuerelemente für eine effiziente Navigation und Bildverarbeitung durch das Personal bereit. Der zweite Bildschirm zeigt ein Kartenfenster mit Auswertungsfunktionen. Neben der Multistream-Auswertung wird auch die kooperative Auswertung mehrerer Arbeitsplätze realisiert.

Neben der LUNA-Drohne der Bundeswehr ist das System ABUL bei der Schweizer Luftwaffe mit der neuen Aufklärungsdrohne ADS 15 im Einsatz. Zurzeit wird das System für den neuen Anwendungsbereich »Schutz von Infrastrukturen mit mastbasierten Kamerasystemen« optimiert.



Verdachtsfälle gegen Geldwäsche gezielt identifizieren

### KI soll helfen, Geldwäsche effizienter zu identifizieren

Im Kampf gegen Geldwäsche werden Analyseverfahren eingesetzt, um Finanztransaktionen zu prüfen. Dabei werden in der Regel sehr viele Verdachtshinweise generiert, die alle individuell von speziell geschulten Analysten geprüft werden und an die zuständige Behörde, die Financial Intelligence Unit (FIU), gemeldet werden müssen. Die FIU erhielt 2022 und 2021 jährlich rund 300 000 Meldungen. Das Projekt MaLeFiz soll dies ändern und mit Methoden der KI und des Maschinellen Lernens die Geldwäshedetektion effizienter gestalten. Weniger fälschliche Verdachtshinweise entlasten in erster Linie die Analysten bei den Finanzinstituten. FIU und Strafverfolgungsbehörden profitieren indirekt von einem geringeren Meldeaufkommen.

Für eine gerichtliche Verwertbarkeit der Resultate von solchen KI-basierten Werkzeugen müssen diese bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Insbesondere müssen die Entscheidungen einer KI nachvollziehbar sein (keine »Blackbox«-Entscheidungen) und die Grundlagen, warum eine Transaktion als verdächtig markiert wurde, transparent offengelegt werden. Entsprechend erforscht das Projektteam rechtliche und ethische Fragestellungen. Zum Beispiel entsteht ein Katalog mit Mindestanforderungen für KI-basierte Werkzeuge, die in grundrechtssensiblen Bereichen eingesetzt werden. Die Mindestanforderungen sollen u. a. sicherstellen, dass der rechtskonforme und vertrauenswürdige Einsatz von KI-basierten Werkzeugen im Rahmen einer Auditierung geprüft werden kann. Um die KI möglichst anwendungsnah zu realisieren und die Bedürfnisse der Anwendenden weitgehend zu berücksichtigen, führen die Projektpartner Interviews, Workshops und Tests mit Nutzerinnen und Nutzern durch. Die Ergebnisse fließen in einen Demonstrator ein, der vor allem in Banken getestet werden wird. Zum geplanten Projektabschluss im Herbst 2025 werden der Katalog mit Mindestanforderungen und weitere Projektergebnisse veröffentlicht. Beteiligt sind die Deloitte GmbH, das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT, die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, die Universität Leipzig und das Zentrum Technik und Gesellschaft der TU Berlin. Das Projekt MaLeFiz wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert.

# Auszeichnungen

## Fraunhofer-Forschungspreise

### Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt«

Diesen Preis vergeben die Fraunhofer-Gesellschaft, die Fraunhofer-Zukunftsstiftung sowie die ehemaligen Vorstände, Institutsleitungen sowie diesen verbundene Fördernde der Fraunhofer-Gesellschaft. Er wird alle zwei Jahre an Forschungs- und Entwicklungsleistungen vergeben, die die Lebensqualität von Menschen verbessern oder für eine nachhaltigere Umwelt sorgen. 2023 beteiligte sich erstmals die Fraunhofer-Zukunftsstiftung an der Finanzierung dieser Auszeichnung, die mit 50 000 € dotiert ist. Die Fraunhofer-Zukunftsstiftung fördert Forschungsprojekte der Fraunhofer-Gesellschaft, die die Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweise erleichtern und beschleunigen. Dabei orientiert sie sich an den Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen (SDGs).

### Joseph-von-Fraunhofer-Preis

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft jährlich den Joseph-von-Fraunhofer-Preis für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeitenden, die anwendungsnahe Probleme lösen. Kriterien für die Auszeichnung mit dem Forschungspreis sind u. a. die Neuartigkeit des wissenschaftlich-methodischen Ansatzes, der Erkenntnisfortschritt und die Umsetzung der wissenschaftlichen Ergebnisse in die Anwendung. 2023 wurden drei Joseph-von-Fraunhofer-Preise mit jeweils 50 000 € vergeben.

### Hugo-Geiger-Preis

Mit dem Hugo-Geiger-Preis zeichnet das Bayerische Wirtschaftsministerium hervorragende Promotionsarbeiten aus, die in Kooperation mit Fraunhofer-Instituten entstanden sind. Benannt ist der Preis nach dem Staatssekretär Hugo Geiger, der als Schirmherr der Gründungsversammlung der Fraunhofer-Gesellschaft am 26. März 1949 fungierte.

Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt« 2023

### Satellitentechnologie: Nachhaltiger Wassereinsatz in der Landwirtschaft

Pflanzen zielgerichtet nach Bedarf zu bewässern, wird möglich dank einer neuartigen Satellitentechnologie. Sie detektiert aus dem Orbit Wärmestrahlung und misst die Landtemperatur. Damit lassen sich Rückschlüsse auf den Bewässerungszustand der Pflanzen ziehen. Geleitet durch die Gründungsidee der constellr GmbH entwickelten Forschende der Fraunhofer-Institute für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI und für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF sowie der Unternehmen constellr GmbH und SPACEOPTIX GmbH – beides Ausgründungen dieser Institute – die Infrarotkamera »LisR«, kurz für »Longwave infrared sensing demonstratoR«. LisR wurde 2022 erfolgreich auf der Internationalen Raumstation (ISS) getestet. Mit diesen Erkenntnissen plant constellr, eigene Satelliten in den Orbit zu bringen. Mithilfe der Satellitenkonstellation wäre es möglich, ab 2026 jährlich 180 Milliarden Tonnen Wasser und 94 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einzusparen und die globale Ernte um bis zu vier Prozent zu steigern.



Cassi Welling, Dr. Henrik von Lukowicz,  
Dr. Matthias Beier und Clemens Horch (v.l.)



Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2023

### Mikrolautsprecher: Energieeffizienz für In-Ear-Kopfhörer

Künftig könnten intelligente In-Ear-Kopfhörer mit direkter Internetschnittstelle viele Smartphone-Funktionen ersetzen. Die Basis dafür legte ein Forschungsteam vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS: Die dort entwickelten Lautsprecher bestehen gänzlich aus Silizium, lassen sich kostengünstig über Mikroelektroniktechnologien herstellen und erreichen die geforderte Lautheit von 120 Dezibel ohne hohen Energiebedarf der Verstärkerschaltung. Möglich wird dies u. a. durch ein gänzlich neues Design des Lautsprechers. Die schallverdrängenden Elemente befinden sich erstmals senkrecht im Volumen des Siliziumchips. Zur Vermarktung der Lautsprecher wurde 2019 die Arioso Systems GmbH als Spin-off des Fraunhofer IPMS und der Forschungsarbeiten an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg gegründet. Die Ausgründung wurde im Sommer 2022 von der Bosch Sensortec GmbH übernommen, um Spitzenprodukte für den globalen Massenmarkt zu entwickeln.

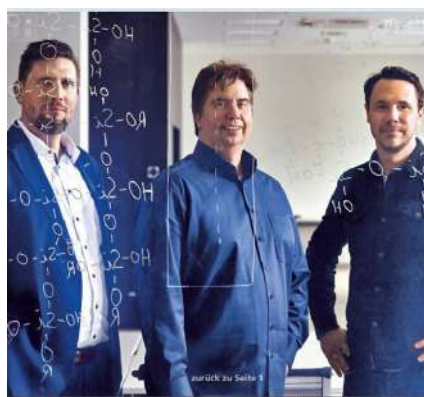


Dr. Sergiu Langa, Dr. Bert Kaiser und Dr. Holger Conrad (v.l.)

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2023, EARTO Innovation Award

### Gebäudedämmung: Nachhaltig und kostengünstig mit Aerogelen

Gebäudedämmung kann wesentlich zum Einsparen von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen. Herkömmliche Dämmstoffe wie Styropor basieren jedoch auf petrochemischen Quellen. Nils Mölders und Andreas Sengespeick vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT sowie Christoph Dworatzky von der PROCERAM GmbH & Co. KG gelang die massentaugliche Produktion eines nachhaltigen und kostengünstigen mineralischen Dämmstoffs auf Basis von Aerogelen. Innerhalb von nur sechs Jahren entwickelte das Team ein neuartiges Produktionsverfahren für Aerogele, das vollständig ohne umweltgefährdende Chemikalien auskommt – vom Labor bis in den vorindustriellen Maßstab. Die Herstellungskosten der Aerogele sanken um 70 Prozent, die Produktionszeit von mehr als zehn Stunden auf 4 Stunden. Im Oktober 2023 wurde das Projekt zudem mit dem Innovation Award der European Association of Research and Technology Organisations (EARTO) in der Kategorie »Impact Expected« ausgezeichnet.



Christoph Dworatzky, Andreas Sengespeick und Nils Mölders (v. l.)

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2023

### Audiotechnologie: Personalisierbare Hörerlebnisse in 3D

Ein Team des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS entwickelt ein Gesamtsystem, das von der Tonproduktion über die Übertragung bis hin zur Wiedergabe die gesamte Kette abdeckt. MPEG-H Audio umfasst Produktionswerkzeuge, Datei- und Übertragungsformate und neuartige Wiedergabeverfahren sowie Softwarelösungen für Integratoren. Ein Beispiel der zahlreichen Entwicklungen rund um MPEG-H Audio ist das immersive, objektbasierte Musikformat 360 Reality Audio des Elektronikonzerns Sony. Es findet sich schon heute bei vielen Streamingdiensten. Ein mit dieser Technologie produziertes Album erhielt 2023 sogar den Grammy für das beste immersive Album. Das MPEG-H Audio-System bringt die dreidimensionale Klangwelt auf immer mehr Wiedergabegeräte. Der dafür nötige Prozess unterscheidet die Technologie aus dem Fraunhofer IIS deutlich von anderen 3D-Soundsystemen: Statt ausschließlich klassische Tonspuren zu verwenden, wird in der Produktion mit Audioobjekten gearbeitet.



Adrian Murtaza, Harald Fuchs und Dr. Achim Kuntz (v. l.)

Hugo-Geiger-Preis 2023  
Platz 1

### Neues Material für Halbleiterspeicher

Dr. Maximilian Lederer entwickelte in seiner Dissertation mit dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS Verfahren für die Fertigung von Hafniumoxid. Damit lassen sich schnellere, energiesparende und sichere Arbeits- oder USB-Speicher und neuronale Netze für Künstliche Intelligenz realisieren. Da die ferroelektrischen Fähigkeiten des in der Halbleitertechnik verwendeten Materials Hafniumoxid ( $\text{HfO}_2$ ) bisher nicht vollständig verstanden wurden, ließ es sich kaum zuverlässig in nichtflüchtigen Halbleiterspeichern (FeRAM) verwenden. Lederer untersuchte die kristalline Mikrostruktur des Materials mit neuen Methoden und fand heraus, welche Auswirkungen kleinste physikalische Prozesse, Abscheide- und Prozessbedingungen auf das ferroelektrische Schaltverhalten von  $\text{HfO}_2$  haben. Auf dieser Grundlage entwickelte er neue Herstellungsprozesse, die Wachstum oder Zusammensetzung des Materials optimieren, wie die von ihm erstmals gezeigte feldinduzierte Kristallisation durch elektrische Spannung. Derzeit testet der Dresdner Chiphersteller Globalfoundries ferroelektrische Speicherbauelemente in einer Forschungs- und Entwicklungslinie.



Dr. Maximilian Lederer

Hugo-Geiger-Preis 2023  
Platz 2

### Effizientes 3D-Audio in bester Klangqualität

Dr. Sascha Dick leistet mit seiner Dissertation mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS einen Beitrag zur qualitativen und effizienten Übertragung und Verarbeitung von 3D-Audiosignalen. Nach zahlreichen Hörtest-Experimenten fand der Forscher heraus, dass sich die Genauigkeit der Lokalisierung von räumlich verteilten Schallquellen auch datenanalytisch bestimmen lässt. Sein daraus entwickeltes psychoakustisches Modell beschreibt, wie die räumliche Verteilung der Lautstärke von verschiedenen Schallquellen wahrgenommen wird. Auf dieser Basis können Quellen, die man nicht unterscheiden kann, zusammengefasst und um den Faktor zehn reduziert werden – bei weiterhin exzellenter Klangqualität. Dies erlaubt die Entwicklung effizienter Algorithmen zur 3D-Audio-codierung, die nicht nur die qualitative Konvertierung von Kinofilmen fürs Heimkino ermöglichen, sondern dank deutlich reduzierter Datenraten auch Echtzeitanwendungen im Virtual-Reality- und Gaming-Bereich. Durch ein intelligentes Zusammenfassen der Schallquellen lässt sich zudem die Sprachverständlichkeit und damit die akustische Barrierefreiheit verbessern.



Dr. Sascha Dick

Hugo-Geiger-Preis 2023  
Platz 3

### Neuer Ansatz für die Krebsfrüherkennung

Dr. Susann Allelein legte in ihrer Promotion mit dem Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI die Grundlagen für einfachere Flüssigbiopsien zur schnelleren Diagnostik von Krebs durch extrazelluläre Vesikel. Dank Partikeln, die lange als Zellmüll galten, könnten Flüssigbiopsien aus Blut oder Urin künftig nachteilige Gewebebiopsien ablösen. Über die extrazellulären Vesikel in Körperflüssigkeiten tauschen Zellen Informationen über ihre Beschaffenheit und Bestandteile miteinander aus. Die Forscherin untersuchte in ihrer wegweisenden Dissertation, wie sie sich für die Früherkennung von Prostatakrebs nutzen lassen. Darin entwickelte sie neue Verfahren, um die etwa virengroßen Vesikel effizient zu charakterisieren und die relevanten darunter aus der Fülle aller Zellinformationspakete zu isolieren. Obwohl das untersuchte Prostatakrebs-spezifische Protein sich als ungeeigneter Marker herausstellte, schuf die Wissenschaftlerin wichtige Voraussetzungen für die weitere Forschung mit extrazellulären Vesikeln, deren Potenzial über die Krebsdiagnostik hinaus bis zur präzisen Therapieüberwachung und Entwicklung von Impfstoffen reicht.



Dr. Susann Allelein

## Forschungswettbewerbe – national und international

### Deutscher Logistik-Preis

Zusammen mit Dachser erhielt das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML den Deutschen Logistik-Preis der Bundesvereinigung Logistik (BVL) für die Entwicklung des Digitalen Zwillinges @ILO (Advanced Indoor Localization and Operations). Spezielle KI-basierte Algorithmen der @ILO-Software interpretieren die im Sekundentakt von Hunderten optischen Scaneinheiten an der Hallendecke erfassten Daten, um so alle Packstücke automatisch und unmittelbar zu identifizieren, zu lokalisieren und in Zukunft auch zu vermessen. Dabei wird mittels eines Digitalen Zwillinges ein komplettes, jederzeit aktuelles Abbild des Lagers und seiner Prozesse erstellt. Mitarbeitende erhalten diese Informationen übersichtlich auf mobilen Geräten und Displays angezeigt. Einzelne Prozessabläufe zwischen Wareneingang

und -ausgang beschleunigen sich zwischen 15 und 35 Prozent. So entfällt beispielsweise das händische Scannen von Barcodes oder die tägliche manuelle Inventur von Packstücken. Nahverkehrsfahrzeuge können z. B. morgens schneller mit der Warenauslieferung starten – das bringt den Fahrerinnen und Fahrern wertvolle Zeit im Berufsverkehr. Die Technologie wurde gemeinsam im Dachser Enterprise Lab entwickelt und

bereits in den Niederlassungen Unterschleißheim bei München und Öhringen bei Heilbronn implementiert. 2024 soll der Roll-out der neuen Technologie im ersten Schritt beginnen und dann sukzessive in den europäischen Niederlassungen erfolgen.

*Stellvertretend für die FuE-Teams von Dachser und Fraunhofer freuen sich die Gewinner 2023*



### Technology Award

Das Förderprojekt secureAR gewann den Technology Award bei der Abschlusskonferenz des Programms »Zukunft der Wertschöpfung«, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. An der Entwicklung beteiligt ist das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP. Das Konsortium schuf eine branchenübergreifende, cloudbasierte Serviceplattform mit offenen Industrieschnittstellen. Dazu gehört ein Assistenzsystem mit einer Datenbrille, deren OLED-Mikrodisplay am Fraunhofer FEP

entwickelt wurde. Die Ergebnisse basieren auf neuesten Forschungsergebnissen aus Computer Vision, Machine Learning und Datensicherheit. Die Serviceplattform erfasst Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Planung über die Produktionsprozesse bis zur Wartung der Anlagen und ermöglicht eine orts- und situationsbezogene Bereitstellung und Visualisierung der Daten über das neuartige AR-Assistenzsystem. Als Beispielszenarien dienten industrielle Fertigungen bei Airbus und Siemens. Dazu wurde das AR-System in Schutzrüstungen integriert.



*AR-Assistenzsystem, ausgestattet mit stromsparenden 720p OLED-Mikrodisplays*



Prof. Dr. Karl Mandel (Fraunhofer ISC) und Dr. Oliver Höhn (Fraunhofer ISE) (v. l.)

### Consolidator Grant des europäischen Forschungsrats

Der europäische Forschungsrat (European Research Council, ERC) vergibt mit den »Consolidator Grants« Förderungen von bis zu 2 Mio. € für 5 Jahre an vielversprechende Postdoc-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler. Zwei Fraunhofer-Wissenschaftler können ab 2024 ihre Vorhaben intensivieren: Prof. Dr. Karl Mandel, Universität Erlangen und Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, will mit dem Projekt »SmartRust« Objekte in Materie verwandeln, die Umgebungseinflüsse wahrnehmen und mitteilen kann. Ziele von Mandel sind u. a., die Produktsicherheit und -zuverlässigkeit von Materialien zu gewährleisten, eine vorausschauende Wartung zu ermöglichen und komplexe Recycling-Zustände

von Materialien transparent zu machen. Dr. Oliver Höhn, Universität Freiburg und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, wird im Projekt »PHASE« seine Forschung zu ressourcenschonenden, ultradünnen und höchsteffizienten Solarzellen vorantreiben. Unter anderem wird eine Plasmaätzanlage für Halbleitermaterialien der chemischen Hauptgruppen III und V finanziert. Bei PHASE soll das Konzept ultradünner Einfachsolarzellen auf Tandem-Solarzellen erweitert werden und der Materialaufwand für den ressourcenintensiven Halbleiterteil um eine Größenordnung reduziert werden. Für die aktuelle Ausschreibungsrunde des ERC hatten sich europaweit 2130 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beworben, knapp über 300 Consolidator Grants wurden vergeben.



Prof. Dr. Kathrin Adlkofer gründete Cellbox

### Accelerator Award der EU-Kommission für Cellbox

Mit der Idee, biologisches Material erstmals lebend zu verschicken, wurde 2016 das Spin-off Cellbox aus der heutigen Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE ausgegründet.

Die dort entwickelte Lösung, Zellen oder organoide Systeme lebend bei Außentemperatur und nicht wie bisher gefroren zu befördern, gewinnt an Relevanz: beispielsweise für die Behandlung von schwer Erkrankten mit Zelltherapien (CAR-T- oder ATMP-Therapien) oder für Alternativen zu toxikologischen Tiertests in der Medikamentenentwicklung. Für den Transport, etwa von der Klinik ins Labor oder von Biotechnologie- zu Pharmafirmen mussten die Zellen bzw. das Gewebe bislang in flüssigem Stickstoff eingefroren werden. Dies kann die empfindlichen Zellen schädigen. Mit Cellbox steht erstmals ein Transport-System für eine Konservierung ohne Einfrieren zur Verfügung. Das

derzeit 15-köpfige Team von Cellbox verkauft den transportablen Zellinkubator weltweit, die Kunden kommen aus Deutschland, Europa, den USA und Asien mit Schwerpunkt China. 2023 wurde die Fraunhofer-Ausgründung mit dem »Accelerator Award« des European Innovation Council, einer Fördersäule des EU-Rahmenprogramms Horizon Europe, ausgezeichnet: Enthalten sind 2,5 Mio. € Basisfinanzierung. Darüber hinaus besteht die Option, die Summe in den nächsten Jahren 10 Mio. € Eigenkapital zu spiegeln. Das Spin-off will zusammen mit einer Reihe weiterer Fraunhofer-Institute die Cellbox u. a. für den Markt der therapeutischen Zelltherapien (ATMP) weiterentwickeln.

### EIT Digital Challenge 2023

Ein Beispiel für den Transfer von Digitalisierungstechnologien in den breiten Markt ist die Ausgründung Threedy des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD. Threedy hatte bereits 2022 den Fraunhofer-Gründerpreis erhalten. 2023 wurde es beim Wettbewerb »Digital Challenge 2023« des Europäischen Innovations- und Technologieinstituts (EIT) unter die europaweit zehn spannendsten Scale-up-Ausgründungen gewählt. Dies sind Gründungen mit einem besonders schnellen Wachstum. Das Produkt von Threedy, instant3Dhub, ist eine Plattform für Visual Computing in industriellen Prozessen. Die Idee zur Ausgründung kam der Forschungsgruppe 2015 mit

dem Auftrag eines deutschen Automobilkonzerns. Die Kunden von Threedy sind meist Unternehmen aus der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau. Mit instant3hub stellt sie allen beteiligten Bereichen in jedem Prozessschritt unkompliziert und in Echtzeit 3D-Daten zur Verfügung. Dies vereinfacht Prozesse, spart signifikant Zeit und hebt das Qualitäts- und Fehlermanagement auf ein neues Level.

Neben den zentralen Unterstützungsangeboten für gründungsinteressierte Mitarbeitende fördert das Fraunhofer IGD Ausgründungen zusätzlich. Ziel ist es, den Transfer von der Forschung in die Praxis und von Anwendenden zurück in die Forschung zu intensivieren.

*Christian Stein, Dr. Johannes Behr, Maik Thöner und Sascha Räsch gründeten Threedy (v. r.)*



### Otto von Guericke-Preis

Für ihre Lösungsansätze zur Lackiertechnik erhielten Franz Balluff und Thomas Hess vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA den Otto von Guericke-Preis 2023. Die Ingenieure untersuchten hochpräzise und selektive Lackierprozesse zum neuartigen Verfahren des »Digital Painting«. Dabei werden Einzeltropfen genutzt, um Komplettbeschichtungen zu realisieren und um Linien, Flächen oder Logos

randscharf und nahezu oversprayfrei zu erzeugen. Das Team untersuchte Lackeigenschaften zur Tropfenerzeugung und erarbeitete Vorgaben für Lacke und Düsen bei Mehrfarbenlackierungen, verbunden mit selektivem Korrosionsschutz und vollständiger Overspray-Vermeidung. Eine Toolbox für Lackhersteller und Lackierbetriebe fasst die Erkenntnisse zusammen. Digital Painting könnte in der Anwendung zu enormer Ressourcenschonung und Kostenersparnissen

führen, da weniger Abklebe- und Säuberungsarbeiten notwendig werden. Der mit 10 000 € dotierte Wissenschaftspreis wird seit 1997 von der AiFArbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. verliehen. Ausgezeichnet werden besondere Innovationsleistungen der vorwettbewerblichen Industriellen Gemeinschaftsforschung, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit öffentlichen Mitteln gefördert werden.



Thomas Hess und Franz Balluff vom Fraunhofer IPA (3. und 4. v. l.), erhielten die Auszeichnung für nachhaltige Lackierprozesse

### Sustainable Award in Automotive

Die Unternehmensberatung Arthur D. Little verlieh in Kooperation mit den Fachzeitschriften für Automobil- und Motortechnik des Springer-Verlags 2023 zum dritten Mal den »Sustainability Award in Automotive«. In der Kategorie »Technology: Full Vehicle« wurde die EDAG Engineering GmbH für ein modulares Fahrzeugkonzept ausgezeichnet. Das Konzept geht auf eine Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU zurück. Ziel des gemeinsamen Projekts war die Entwicklung einer Fahrzeugplattform für E-Autos, die langlebig ist und Schutz beim Aufprall bietet. Durch die Konzeption eines modularen Fahrzeugkonzepts können einzelne Fahrzeugkomponenten ausgetauscht und andere mehrfach wiederverwendet werden. Die Jury hob hervor, dass damit die Lebensdauer des Fahrzeugs erhöht werde.

### Wissenschaftspreis für Operations Research

Alle zwei Jahre vergibt die Gesellschaft für Operations Research (GOR) einen Wissenschaftspreis. 2023 ging die Auszeichnung an Prof. Dr. Anita Schöbel, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und Professorin an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau. Das Spezialgebiet Operations Research liefert mathematische Modelle für Entscheidungsfindungen. Schöbel betonte, sie wolle die Methoden in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft noch bekannter machen. Die Verteilung von Energie oder die Planung von Mobilität seien Herausforderungen, zu denen Operations Research beitragen könne.



Prof. Dr. Anita Schöbel



Prof. Dr.-Ing. Peter Liggesmeyer

### Deutscher Preis für Software-Qualität

Der Deutsche Preis für Software-Qualität 2023 (DPSQ23) wurde im Juni an Prof. Dr.-Ing. Peter Liggesmeyer verliehen. Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE und Inhaber des Lehrstuhls für Software Engineering am Fachbereich Informatik der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau beschäftigt sich mit den Themen Safety, Security, Reliability und Availability, insbesondere im Bereich autonomer Systeme. Der Deutsche Preis für Software-Qualität wurde bereits zum dritten Mal vom Arbeitskreis Software-Qualität und -Fortbildung (ASQF), einer Fachgruppe der Gesellschaft für Informatik (GI-TAV), sowie vom German Testing Board (GTB) verliehen.

### Beste eingereichte Idee der »INNOspace Masters«

2023 wurde die Technologie der vibroakustischen Metamaterialien (VAMM-Technologie) des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigung und Systemzuverlässigkeit LBF als beste Idee einer Forschungsorganisation seit Bestehen des »INNOspace Masters«-Wettbewerbs 2015 ausgezeichnet. Mehrfach konnte sich das Fraunhofer LBF im Lauf der Jahre unter den drei bestplatzierten Teams behaupten. Zum Beispiel bauten die Fraunhofer-Forschenden seit 2017/18 mit den Projektpartnern MT Aerospace und OHB-System AG drei Weltraumdemonstratoren. Dabei wurden die Belastungen beim Start von Trägerraketen berücksichtigt und die Weltraumtauglichkeit

der Materialien aufgezeigt. Die Forschungsergebnisse des Projekts »Silent Running« zeigten, dass der Einsatz von VAMM im Weltraum realisierbar ist und dass die Technologie neue Möglichkeiten für Leichtbau und Schwingungsreduktion bietet. VAMM tragen nicht nur zu Leichtbaulösungen in der kostenintensiven Raumfahrt bei. Sie helfen auch dabei, dass optische Aggregate nicht von Mikroschwingungen beeinträchtigt werden und störungsfrei funktionieren können. Mit Metamaterialien wird ein in der Natur nicht auftretendes Materialverhalten erzeugt. Neben optischen und elektromagnetischen Metamaterialien können solche Werkstoffe auch zur Lärm- und Schwingungsminderung eingesetzt werden.



Vibroakustische Metamaterialien bewirken ein deutlich verbessertes Schwingungsverhalten und sind vielseitig einsetzbar

### Rising Digital Award für Spin-off Logistikbude

Zum zweiten Mal zeichnete das Dortmunder IT-Unternehmen Conciso Start-ups aus, die mit Digitalisierung neue Benefits erzeugen. Dabei konnte sich die Ausgründung Logistikbude des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML gegen viele hochkarätige Start-ups durchsetzen. Das Unternehmen organisiert für Unternehmen deren Management von Paletten, Behältern und diversen weiteren Mehrweg-Objekten. Auf Basis einer webbasierten Lösung und von Schnittstellen wird so Transparenz über Bestände und Ströme geschaffen und Abstimmungsprozesse werden automatisiert. Durch diese Digitalisierung des Mehrweg-Managements sind enorme Ressourceneinsparungen möglich: laut Angaben von Logistikbude bis zu 80 Prozent beim Personal, bis zu 40 Prozent beim Nachkauf und bis zu 20000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das junge Unternehmen erhält 30000 € Preisgeld und wurde für einige Monate beim Geschäftsausbau durch Mentoring unterstützt.



Das Gründerteam: Jan Möller, Dr. Philipp Hüning, Patrik Elfert und Michael Koscharnyj (v.l.)



Bundesverkehrsminister Volker Wissing verlieh den Deutschen Mobilitätspreis an Dr. Claus Doll (Fraunhofer ISI), Nina Rösner (takomat GmbH) und Michael König (KIT) (v.l.)

### Deutscher Mobilitätspreis

Das Forschungsprojekt MobileCityGame mit dem Simulator MobileCity-App wurde in der Rubrik »Digital Transformation & Data Driven Mobility« des Deutschen Mobilitätspreises gewürdigt. Die App macht komplexe Zusammenhänge in Verkehrssystemen spielerisch verständlich und dient als Anschauungsobjekt für Mobilitätsmodelle, etwa in der Lehre oder für Beteiligungsprozesse. Darüber hinaus entstand ein professionelles Simulationstool für Forschung und für die kommunale Mobilitätsplanung, um nachhaltige und finanziell tragfähige Mobilitätssysteme zu entwickeln. Die App basiert auf unterschiedlichen Simulations- und Analysemodellen,

Expertenwissen und Daten der Stadt Karlsruhe. Sie ist die weltweit einzige App, bei der ein vollständiges Verkehrsmodell lokal auf digitalen Endgeräten läuft. Im Folgeprojekt CarGoNE-City will das Konsortium die Simulation auf die urbane Logistik erweitern und auf drei europäische Städte übertragen. Seit dem Wintersemester 2023/24 wird die App in einem Seminar am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) genutzt. Das 30-köpfige Projektteam bestand aus Forschenden der Fraunhofer-Institute für System- und Innovationsforschung ISI, für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, dem KIT und der takomat GmbH. Der Mobilitätspreis wird jährlich vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr verliehen.

# Menschen in der Forschung

---



**»Die Transformation des Energiesystems wird sich in den nächsten zwei Jahrzehnten im Wesentlichen auf heute weitgehend bekannte Technologien stützen.«**



## Prof. Dr. Mario Ragwitz

Co-Leitung der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG |  
 Professor für Integrierte Energieinfrastrukturen an der BTU Cottbus-Senftenberg |  
 Teilzeit-Professor am Robert Schuman Centre for Advanced Studies, Europäisches Hoch-  
 schulinstitut der EU | Honorarprofessor an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

### Technologien für die Transformation

Das Lob könnte größer kaum ausfallen: »Dass ich Mario Ragwitz eingestellt habe, war die beste Tat, die ich für Fraunhofer vollbringen konnte«, urteilt sein erster Chef am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Prof. Harald Bradtke. 2002 wechselte Dr. Mario Ragwitz vom Max-Planck-Institut für die Physik komplexer Systeme ans Fraunhofer ISI. Damit brachte er die neuesten Erkenntnisse der mathematischen Chaostheorie zur Modellierung von klimaneutralen Energiesystemen. Heute ist Ragwitz einer der Energiesystemexperten Deutschlands. Was treibt ihn an?

»Für unsere Überlebensfähigkeit müssen wir die Auswirkungen des Klimawandels reduzieren. Deshalb ist die Transformation des Energiesystems unumgänglich.« Als sich der Physiker für eine Bewerbung bei Fraunhofer entschied, war es ihm wichtig, dass seine Forschung Wirkung erzeugen kann und umgesetzt wird – angewandte Forschung eben. 2023, 21 Jahre später, leitet Prof. Mario Ragwitz gemeinsam mit Prof. Rolf Bracke die Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG. Seit 2020 ist er Sprecher des Fraunhofer-Wasserstoff-Netzwerks, seit 2019 koordiniert er das Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems CINES. Neben der deutschen Bundesregierung berät er die Europäische Kommission und das Parlament der EU, den Deutschen Bundestag, die Weltbank, Regierungen anderer Staaten und natürlich Unternehmen.

Ein wichtiger Schritt für den wissenschaftlichen Erfolg und das Vertrauen in die Verlässlichkeit und Robustheit seiner Modellierungen sei eine Studie von 2004 für die EU-Kommission gewesen, erzählt Ragwitz. In »FORRES 2020: Analysis of

the Renewable Energy Sources' Evolution up to 2020« wurde bereits analysiert, dass die EU es ohne weitere Anstrengungen nicht schaffen werde, ihr Ziel beim Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2020 zu erreichen. In der Folge trug der Physiker u. a. dazu bei, die EU-Ziele für erneuerbare Energien für 2020 und 2030 abzuleiten, er war auch beteiligt an der Evaluierung und Weiterentwicklung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in Deutschland.

Von welchen Technologien hängt es ab, dass Deutschland die energetische Transformation schnell und auch sicher schafft? Vom Ausbau eines flexiblen Energienetzes über die Sektoren Strom, Gas, Wärme und Mobilität hinweg? Vom Aufbau der Wasserstoffwirtschaft, einschließlich Elektrolyseuren und Umrüstung der Gasleitungen? Von Speichertechnologien wie Erdbecken-Wärmespeicher und von der Hochskalierung der Wärmepumpen auf Megawattstunden-Kapazität? Oder vom Ausbau der Geothermie, in der Tiefe und oberflächennah, je nach Eignung? Fragen über Fragen, und die klingen nach viel zu vielen Unbekannten. Mario Ragwitz kontert: »Die Transformation des Energiesystems wird sich in den nächsten zwei Jahrzehnten im Wesentlichen auf heute weitgehend bekannte Technologien stützen, die ihre grundsätzliche Funktionstüchtigkeit erwiesen haben.« Wer das sehen will, kann es sich an den Standorten der Fraunhofer IEG, gelegen in den (ehemaligen) Braunkohlerevierern, zeigen lassen. Ragwitz geht davon aus, dass für Deutschland bei einer Verdoppelung des Strombedarfs bis 2035 ein Anteil von 90 Prozent aus erneuerbaren Energieträgern erreichbar ist – zu vertretbaren Kosten. »Ich bin zuversichtlich, dass wir binnen eines Jahrzehnts ein Preisniveau stabilisieren können, das unter Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Emissionsabgaben Wettbewerbsfähigkeit erlaubt.«

## Prof. Dr. Liliana da Silva Ferreira

Informatikerin | Vorstandsmitglied der Associação Fraunhofer Portugal Research |  
Leiterin des Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication  
Solutions AICOS in Porto | eingeladene ordentliche Professorin an der Faculdade de  
Engenharia da Universidade do Porto

### Rückkehr zu exzellenten Forschungsbedingungen

Sie war von 2017 bis Ende November 2023 die Chefin der inzwischen größten selbstständigen Fraunhofer-Auslandsgesellschaft in Europa: der Associação Fraunhofer Portugal Research oder kurz Fraunhofer Portugal. Seit 2008 wurde unter dem Dach des neu gegründeten Vereins Fraunhofer Portugal das erste Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS in ihrer Geburtsstadt Porto aufgebaut, schon 2011 kam die Informatikerin als »Senior Scientist« dazu. Liliana da Silva Ferreras Promotion über automatisierte Informationsextraktion für medizinische Berichte passte sehr gut in die Thematik der neuen Einrichtung. Damals wie heute ist das Thema hochaktuell. Die Verarbeitung natürlicher Sprache (Natural Language Processing, NLP) ist ein Teilbereich der Künstlichen Intelligenz (KI). Während sich NLP auf die Analyse von natürlicher Sprache durch Computer bezieht, können inzwischen mit generativer KI wie ChatGPT menschenähnliche Inhalte erzeugt werden.

2016 nahm die Sprachmodelliererin das Angebot eines Industriekonzerns an und zog mit ihrer Familie und den damals kleinen Kindern in die Niederlande. Bei ihrem Engagement auf der anderen Seite des Entwicklungs- und Transfergeschehens ist ihr bewusst geworden: »Erst als ich aufseiten der Industrie in der Entwicklung gearbeitet habe, ist mir klar geworden, dass wir am Fraunhofer AICOS bereits auf wissenschaftlich höchstem internationalem Niveau und gemeinsam mit Top Playern der Industrie unterwegs waren.« Diese Erkenntnis treibe sie bis heute an. 2017 kehrte sie mit ihrer Familie zurück – nach Porto und zu Fraunhofer. Anlass waren die Pläne des portugiesischen Forschungsministeriums, ein weiteres Fraunhofer Center aufzubauen. Themen sollten Wasser- und Ressourcenmanagement sein. In Portugal wie in ganz Südeuropa bleibt wenig Zeit, um Lösungen zu finden, denn Bevölkerung wie Wirtschaft leiden hier bereits enorm unter den Folgen des Klimawandels: Eine Ministerialbeamtin, mit der Liliana da Silva Ferreira über den

portugiesischen Grundfinanzierungsanteil verhandelte, hatte im Dezember 2017 – eigentlich eine Jahreszeit, um die zahlreichen portugiesischen Speicherseen aufzufüllen – mehrere Wochen lang kein fließendes Wasser in ihrem Haus. Für den Ausbau des zweiten Fraunhofer Portugal Center holte Liliana da Silva Ferreira einige Partner an Bord, vor allem die »National Foundation of Science and Technology« in Portugal sowie die Universitäten Évora und Trás-os-Montes e Alto Douro. Zudem galt es, Mittel für Ausstattung und Infrastruktur für das Center for Advanced Water, Energy and Resource Management aufzubringen.

Mit dem Schritt zur Vorstandsvorsitzenden der Associação Fraunhofer Portugal Research wechselte Liliana da Silva Ferreira 2017 endgültig von der Wissenschaft ins Forschungsmanagement. Bei der erfolgreichen Evaluation von Fraunhofer AICOS im Oktober 2023 konnte sie überzeugende Zahlen präsentieren: Die externen Projekterträge wuchsen von 1,91 Mio. € im Jahr 2018 auf für 2023 prognostizierte 3,84 Mio. €. Das Fraunhofer AICOS war seit seiner Gründung an 19 EU-Projekten beteiligt, unterhält Partnerschaften mit über 400 Organisationen in 37 Ländern und erhielt 18 Patente von bislang 38 Patentanmeldungen. Für ihr langjähriges Engagement in verschiedenen Positionen wurde die Chefin von Fraunhofer Portugal 2023 beim internen »International Day« mit dem Fraunhofer-Taler ausgezeichnet.

Ende 2023 gab Liliana da Silva Ferreira das Amt als Vorsitzende des Vorstands ab, sie bleibt Vorstandsmitglied und kümmert sich künftig wieder verstärkt als Leiterin um die Belange von Fraunhofer AICOS. Den Vorstandsvorsitz der Associação Fraunhofer Portugal Research übernahm ihr Nachfolger Pedro Almeida. Liliana da Silva Ferreira kehrt gern in ihr früheres Aufgabenspektrum zurück. Denn dort kann sie als Informatikerin mit ihrem Team digitale Anwendungen realisieren, die der Menschheit nützen. Getreu dem Motto: »Proposing Futures. Impacting Lives.«

»Erst als ich aufseiten der Industrie in der Entwicklung gearbeitet habe, ist mir klar geworden, dass wir am Fraunhofer AICOS bereits auf wissenschaftlich höchstem internationalem Niveau und gemeinsam mit Top Playern der Industrie unterwegs waren. Diese Erkenntnis treibt mich bis heute an.«





»Mit transdisziplinärer Forschung wird es nicht nur gelingen, eine Nachhaltigkeitstransformation in der Gesellschaft zu erreichen, sondern auch zukünftig mehr junge Menschen für Ingenieurstudien mit sozialwissenschaftlichen Inhalten zu gewinnen.«

## Dr. rer. sust. Dominik Spancken

Schlosser | Dipl.-Ing. Maschinenbau | Kunststofftechnik M. Eng.

### Der erste »Dr. rer. sust.«

Premiere in Deutschland: Erstmals wurde der Titel »Dr. rer. sust.« verliehen. Und der erste »Doctor rerum sustinentium« ist Dominik Spancken, Teamleiter für Ressourceneffiziente Composite am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF. Bundesweit ist die Hochschule Darmstadt bisher die Einzige, die den Dokortitel der Nachhaltigkeitswissenschaften verleiht. Spancken verteidigte seine Dissertation im Juli 2023, im November erschien die Veröffentlichung. Der Ingenieur untersuchte, wie sich konventionelle Kunststoffe in sogenannter Weißer Ware, z. B. in Geschirrspül- oder Waschmaschinen, durch Recycling-Kunststoffe ersetzen lassen. Als Demonstrator wählte er den Basisträger solcher Maschinen – Bauteile, die für die Endverbraucherinnen und -verbraucher hinter den Verkleidungen nicht sichtbar sind, die aber stark beansprucht werden. Die Potenziale sind beeindruckend: Wenn der ganze Basisträger mit seinem Gewicht von zwei Kilo aus Rezyklat-Kunststoff statt aus neu produziertem Kunststoff hergestellt wird, könnten bei einer Produktion von rund drei Millionen Spülmaschinen jährlich 2500 Tonnen Rohöl oder 7800 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden. Außer den Möglichkeiten analysierte Spancken auch die Hemmnisse für die Industrie, auf nachhaltigere Kunststoffe umzusteigen. Hierzu zählen derzeit teils noch leicht höhere Kosten für Recycling-Kunststoffe auf der einen, die zurzeit noch bessere und verlässlichere Verfügbarkeit konventioneller Kunststoffe auf der anderen Seite. Doch Spancken ist überzeugt, dass ein Umdenken möglich ist: »Mit transdisziplinärer Forschung wird es nicht nur gelingen, eine Nachhaltigkeits-transformation in der Gesellschaft zu erreichen, sondern auch zukünftig mehr junge Menschen für Ingenieurstudien mit sozialwissenschaftlichen Inhalten zu gewinnen.«

Sich eigene Wege zu erschließen, hat Dominik Spancken früh gelernt. Sein Weg zum »Dr. rer. sust.« begann mit der Schlosserlehre, führte übers Fachabitur zum Maschinenbau-Studium. Die lange Strecke kennt er gut vom Marathon-Training. Unterstützt hat ihn sein berufliches Netzwerk. Prof. Dr. Andreas Büter, Abteilungsleiter am Fraunhofer LBF mit Lehraufträgen an der Hochschule Darmstadt und an der RWTH Aachen University, hatte Spancken zunächst als Student, ab 2011 als Wissenschaftler für das Fraunhofer LBF gewonnen – und betreute die Promotion. Mit dem Kunden BSH – Bosch Siemens Haushaltsgeräte wurden 2020 mehrere Anwendungsbezüge erwogen. Der Durchbruch war sportlich: »Freitags entwickelten wir die Idee mit den Rezyklaten in Weißer Ware. Montags standen Plan und Konzept – dienstags ging's los!« Die Robert Bosch GmbH und BSH stellten 150 000 € für Materialuntersuchungen im Rahmen der Promotion zur Verfügung. Derzeit arbeitet Dominik Spancken im Auftrag der Robert Bosch GmbH an Materialdatenbanken, um Produktentwicklungen effizienter und zuverlässiger zu gestalten.

Wie sieht der Marathonläufer sein Ziel? Langfristig möchte Spancken selbst Ingenieurwissenschaften enger mit den Sozial- und Kulturwissenschaften verknüpfen und dies in der Lehre vermitteln. Wirtschaft und Konsumierende müssten ein Bewusstsein für verbrauchte Ressourcen entwickeln, davon ist der Kunststoff-Experte überzeugt, und dazu gehörten auch Fragen nach wirklichen Bedürfnissen, Kosten oder Makellosigkeit. Rückenwind auf Spanckens Weg gibt es: Der Verordnungsentwurf der EU-Kommission sieht vor, dass ab 2030 im Automobil 25 Prozent Rezyklate eingesetzt werden sollen.

## Katrin Klug

Data Scientist | Business Analytics M. Sc. | International Business B. A. |  
Marketing and Commercial Distribution B. Sc.

### Einstieg zur generativen KI

Von den Wirtschaftswissenschaften in der Luftfahrt an einen Hotspot der Generativen Künstlichen Intelligenz: Katrin Klug arbeitete bis 2020 als Data Scientist bei Germanwings & Eurowings und bei der International Air Transport Association in Montreal. Mit Anwendungen und Lösungen rund um Datenanalyse beschäftigte sie sich bereits in ihrer Masterarbeit an der Hochschule Düsseldorf. Hier entwickelte sie für die Eurowings Technik GmbH ein KI-Prognosemodell, das Verspätungen und Flugausfälle vorhersagt und damit das Flottenmanagement effektiv unterstützt. Es hat sich gelohnt: Katrin Klug erhielt 2020 dafür einen Sonderpreis. Der Verein der Förderer des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Düsseldorf e. V. lobte die herausragende Relevanz bei der praktischen Umsetzung.

Im gleichen Jahr bewarb sich die Datenwissenschaftlerin am Fraunhofer IAIS. Dort bestand Klugs erste Aufgabe darin, den Wissens- und Technologietransfer für Künstliche Intelligenz (KI) voranzubringen. Dafür baute sie einen Blog zu Maschinellen Lernen (ML) und Künstlicher Intelligenz (KI) auf: Im »ML-Blog« schreiben Forschende der Fraunhofer-Institute für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS und für Materialfluss und Logistik IML sowie der Universität Bonn und der Technischen Universität Dortmund unter dem gemeinsamen Dach des Lamarr-Instituts. Für die Öffentlichkeit und für Unternehmen erläutern sie das Innovationspotenzial von KI in der Robotik und illustrieren, was sich hinter generativer Künstlicher Intelligenz (GenAI) verbirgt oder wie man diese nutzen kann. So anschaulich, dass u. a. »heise« darüber berichtete.

Mittlerweile begleitet Katrin Klug Unternehmen beim Einstieg in die KI – vom Erproben von Forschungsergebnissen bis hin zum erfolgreichen Einsatz. Dafür entwickelte sie das

Kooperationsformat »GenAI Campus« am Fraunhofer IAIS. Mitarbeitende aus Unternehmen arbeiten hier mehrere Tage lang eng mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zusammen. Gemeinsam tauchen sie tief ein in Grundlagenwissen und Anwendungspotenziale von generativer KI. Ziel ist es, konkrete Use Cases mit den Unternehmen zu entwickeln und verschiedene Foundation-Modelle oder KI-Sprachmodelle direkt zu testen. Am Ende steht dann ein Proof of Concept. Im besten Fall schließt sich daran eine gemeinsame Technologieentwicklung an. Diskutiert werden im GenAI Campus darüber hinaus Fragen rund um die Vertrauenswürdigkeit von KI – Stichwort Black Box – bis hin zu Limitationen der KI – Stichwort Halluzinieren.

»Wir zeigen, wie gut Künstliche Intelligenz den Alltag erleichtern kann. Mit unserer Unterstützung können die Unternehmen sehr schnell in die neuen Technologien eintauchen, sie ausprobieren und ihren Nutzen und die Tauglichkeit für ihre Anwendungsfälle einschätzen. Sei es ein Formularassistent für die Verwaltung, ein Analysetool für die Finanzbranche oder ein intelligentes Beschaffungs- und Angebotsmanagement«, sagt die KI-Expertin, Projektleiterin und Dozentin im Schulungsprogramm der Fraunhofer-Allianz Big Data AI.

Zurzeit arbeitet Katrin Klug im KI.NRW Flagship-Projekt Smart-Hospital.NRW mit an der automatisierten Erstellung von Arztbriefen mittels generativer KI (siehe S. 12). Rund 150 Millionen Arztbriefe werden pro Jahr in Deutschland geschrieben. Das kostet Zeit, die an anderer Stelle fehlt. »Studien gehen davon aus«, sagt Katrin Klug, »dass das ärztliche Personal in Krankenhäusern drei Stunden täglich für administrative Tätigkeiten aufbringen muss. Drei Stunden, die für Patientinnen und Patienten genutzt werden könnten und in denen die generative KI übernehmen kann.«



»Wir zeigen, wie gut Künstliche Intelligenz den Alltag erleichtern kann und wie viele Potenziale sich damit freisetzen lassen. Dies gemeinsam mit Unternehmen zu entdecken, macht mir sehr viel Spaß.«

»Die Herausforderung, das verschmolzene radioaktive Material in Tschernobyl sicher zu zerkleinern, um es für eine Zwischenlagerung zu sammeln, wurde bisher noch von niemandem gelöst.«





## Oleksandr Proskurin M. Eng.

Oleksandr Proskurin kam Anfang 2023 von Kiew nach Dresden. Sechs Monate verbrachte der Roboterexperte am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS. Unterstützt wurde sein Aufenthalt als Pilotvorhaben des neuen Förderprogramms »Rebuilding Ukraine« der Fraunhofer-Zukunftsstiftung.

### Kompetenzen bündeln für den AKW-Rückbau

Wie viele Mitglieder seiner Familie stammt Oleksandr Proskurin aus dem stark zerstörten Cherson. Während seines Studiums am Kyiv Polytechnic Institute spezialisierte er sich auf das Fachgebiet Dynamik und Maschinenfestigkeit. In dieser Zeit absolvierte er Praktika u. a. im Konstruktionsbüro des ukrainischen Flugzeugherstellers Antonov und beim chinesischen Konzern Xianchu. Seit seinem Masterabschluss 2015 forscht Proskurin am Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants – ISPNPP an Roboteranwendungen unter nuklearen Bedingungen. Das Institut gehört zur National Academy of Sciences of Ukraine.

Zu seinem Gastgeber-Team in Dresden kam Proskurin durch Dr.-Ing. Andreas Wetzig. Der Technologiefeldleiter für Trennen und Fügen am Fraunhofer IWS knüpft seit 2016 Kontakte zu Unternehmen und Organisationen im Sektor AKW-Rückbau. Wetzig und sein Team sehen hier großes Potenzial für den Lasereinsatz. Denn beim Zerlegen von kontaminierten Materialien verursacht das Laserschneiden im Vergleich zu anderen Technologien nur minimales Staubaufkommen. Restlos alle Werkstoffe müssen neben dem radioaktiv verseuchten Bau- und Nuklearmaterial ebenfalls aufgefangen werden, um dann in Zwischenlagern abzuklingen. Jedenfalls, das wissen nicht nur Wetzig und Proskurin, sollte die Weltgemeinschaft in weniger als 100 Jahren eine Lösung gefunden haben: Denn dann wird der zweite Sarkophag, der 2016 auf Schienen über die Atomruine in Tschernobyl gefahren wurde, die radioaktive Strahlung des zu Lava verbackenen Kernbrennstoffs nicht länger abschirmen können. Das gemeinsame Ziel von Roboter- und Laserforschenden: per Fernsteuerung von Laserrobotern das verbackene radioaktive Material zerkleinern und für eine Zwischenlagerung vorbereiten. Getestet wurde in den Laserlaboren des Fraunhofer IWS das Schneiden von Basalt – als

Ersatzsubstanz für das verschmolzene radioaktive Material. »Die Herausforderung, das verschmolzene radioaktive Material in Tschernobyl sicher zu zerkleinern, um es für eine Zwischenlagerung zu sammeln, wurde bisher noch von niemandem gelöst«, sagt der Roboterexperte und wünscht sich, dass die Kooperation fortgesetzt werden kann.

Seit Juli 2023 ist Oleksandr Proskurin zurück an seinem Lebens- und Arbeitsort Kiew. Vom Krieg und den häufigen Luftangriffen versucht er sich abzulenken – durch sein Hobby rund um das Thema »do it yourself« und durch Sport, von (Tisch-)Tennis bis hin zu Fahrradtouren. Im August 2023 besuchte er ein Seminar für Strahlensicherheit in Slavutich, einer Satellitenstadt von Tschernobyl. Sie gilt als weltweiter Forschungsstandort für Sicherheits- und Rückbaufragen rund um Atomenergie.

### Rebuilding Ukraine

Die neue Förderlinie der Fraunhofer-Zukunftsstiftung unterstützt Kooperationen zur Anwendung von Fraunhofer-Technologie in der Ukraine. Ziel ist es, bereits jetzt die Beseitigung der Kriegsschäden in der Ukraine zu planen und den Wiederaufbau mit klima- und umweltfreundlichen Technologien vorzubereiten. Oleksandr Proskurin war der erste Gastwissenschaftler, dessen Aufenthalt als Pilotprojekt von »Rebuilding Ukraine« mitfinanziert wurde.

## Dr. rer. nat. Eva Ehrentreich-Förster

Chemikerin | stellvertretende Leiterin am Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse in Potsdam-Golm des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI | Leiterin der Abteilung Molekulare und Zelluläre Bioanalytik

### Diagnostik als Spezialfall der Analytik

Ihr Diplomzeugnis über den erfolgreichen Abschluss des Chemiestudiums an der Bergakademie Freiberg erhielt Eva Ehrentreich-Förster am 9. November 1989. Es war der Tag, an dem die DDR ihre Grenzen öffnete. Zwar wurde die Chemikerin nicht mehr am Tag des Mauerfalls zur Grenzgängerin, denn damals war sie froh, im Chaos des öffentlichen Verkehrs nach der Diplomfeier nach Hause zu kommen. Doch in den folgenden Jahrzehnten als Forscherin sollte sie noch öfter zur Vermittlerin zwischen Welten werden: zwischen verschiedenen Disziplinen als Projektleiterin für Lab-on-a-Chip-Systeme, zwischen Instituts- und Vorstandssicht als gewählte Vertreterin des Wissenschaftlich-Technischen Rats bei Fraunhofer und bis vor Kurzem als kommissarische Institutsleiterin. Seit August 2023 ist mit Prof. Antje Bäumner eine reguläre Institutsleitung für die Leitung des Brandenburger Teils des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI an Bord. Ehrentreich-Förster kehrt gern in die stellvertretende Institutsleitung und in die Abteilungsleitung zurück. »Je anspruchsvoller meine Aufgaben auf dem Weg von der Nachwuchswissenschaftlerin bis zur kommissarischen Leiterin wurde, desto mehr bin ich Laufen gegangen«, sagt die ehemalige Siebenkämpferin, die immer noch Langstrecke trainiert.

Eva Ehrentreich-Försters Forschungsgebiet sind Mikroarrays, bioanalytische Plattformen für Diagnosezwecke – sei es für Lebensmittel, Umwelt oder den Menschen. »Das Wissen um Sensorik, der Nachweis eines Bindungsereignisses, hat mich seit dem Diplom begleitet«, stellt sie fest. Nach dem Abitur arbeitete sie zunächst im Labor des Forschungszentrums Produkttoxikologie Graupa, für das Chemiestudium wurde sie von ihrem Chef empfohlen. Nach dem Diplom absolvierte sie ein Postgradualstudium der Toxikologie an der Uni Leipzig und ging während der Promotion mit einem DAAD-Stipendium an die Universität Córdoba. Als wissenschaftliche Mitarbeiterin war sie zunächst am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin und an der Uni Potsdam, bevor sie mit

ihrer Nachwuchsgruppe im Rahmen eines BMBF-Wettbewerbs zu Fraunhofer kam, zunächst in einer Außenstelle. »Ich war damals massiv stolz«, erinnert sie sich. Auch daran, dass die ersten Jahre hart waren: »Dieses Denken, wie eine wissenschaftliche Firma zu forschen, muss man sich erst aneignen. Das bekommt man nicht mitgeliefert von der Uni.« Auch an die Kultur hätte sie sich gewöhnen müssen: einerseits die Leitplanken des öffentlichen Dienstes, andererseits die Freiheit bei der Gestaltung des eigenen Forschungsthemas.

Ehrentreich-Förster leitete Fraunhofer-interne interdisziplinäre Förderprojekte zur In-vitro-Diagnostik-Plattform und war maßgeblich beteiligt, als 2014 das erste »Taschentuchlabor« für die Infektionsdiagnose als Resultat eines BMBF-Förderprojekts präsentiert wurde. Forschungsergebnisse wie diese flossen und fließen ein in das 2021 gegründete Fraunhofer-Zentrum für Digitale Diagnostik ZDD in Potsdam. Dabei arbeiten die Fraunhofer-Institute für Zelltherapie und Immunologie IZI und für Experimentelles Software Engineering IESE unter der Führung des Institutsteils Bioanalytik und Bioprozesse des Fraunhofer IZI zusammen, um die medizinisch-diagnostische Versorgung in ländlich geprägten Räumen wie Brandenburg voranzubringen. Ziel ist es, Patientinnen und Patienten auch in Zukunft medizinisch gut zu versorgen – trotz des Mangels an Hausarztpraxen und des Kostendrucks im Gesundheitssystem. Allerdings müssen dafür die regulatorischen Hürden im Medizinbereich bewältigt werden: Zulassung der Geräte und Lösungen für den Datenschutz. Seit mehr als 30 Jahren arbeitet Eva Ehrentreich-Förster bereits an Plattformen, die Analytik – und sofern die Zulassung klappt – auch die Diagnostik automatisieren können. Sie kennt die Faktoren Kosten und Bezahlbarkeit. Und fragt sich, ob für bestimmte Fragen nicht dennoch viel mehr Mittel aufgebracht werden müssen: »Alle wissen, es gibt Resistenzen gegen Antibiotika, und alle wissen auch, dass weltweit nur noch wenig Forschung in diesem Bereich finanziert wird. Gesundheit muss ein Allgemeingut sein!«

# »Gesundheit muss ein Allgemeingut sein!«



# Ausgewählte Transferaktivitäten



*Kunden von Fraunhofer bringen mehr Neuheiten auf den Markt und erhöhen ihren Umsatz und ihre Rendite. Fraunhofer-Aktivitäten schaffen nachweislich Arbeitsplätze in Deutschland, generieren Investitionseffekte in der Wirtschaft und erhöhen die Staatseinnahmen.*

 Wirkung von Fraunhofer-Forschung

# Forschen für die Praxis: Ergebnisse, die in Wirtschaft und Gesellschaft ankommen

Der Beitrag, den die außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Deutschland zur Stärkung von Wirtschaft und Gesellschaft leisten, wird entlang von 7 Transferpfaden ermittelt. Für die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihrer Mission der Anwendungsorientierung ist die entscheidende Messlatte, dass die Forschungsergebnisse in der Praxis aufgegriffen werden und welchen ökonomischen, ökologischen und sozialen Impact diese erzeugen.

## 1. Vertragsforschung

### Kennzahl 2023

679 Mio. € aus Aufträgen der Industrie (national und international, ohne Lizenzerträge)

### Prüfpräparate für Krebsbehandlung mit lebenden Zellen

Alle innovativen Medikamente werden in Europa vor ihrer breiten Anwendung zunächst in klinischen Studien an ausgewählten Erkrankten geprüft. Diese Prüfpräparate müssen nach den hohen pharmazeutischen Qualitätsstandards (Good Manufacturing Practice, GMP) produziert werden. Ein komplexes Unterfangen für innovative Zell- und Gentherapeutika wie die chimären Antigenrezeptor-T-Zellen (CAR-T-Zelltherapie) zur innovativen Krebsbehandlung, denn sie basieren auf lebenden Zellen von Patientinnen und Patienten. Diese sind nicht standardisierbar, zudem ist der Zustand der Zellen abhängig von Krankheitsverlauf und bisherigen Therapien. Um Anforderungen und Ausgangsbasis für den GMP-Standard miteinander in Einklang zu bringen, müssen Prozesse und Technologien entwickelt werden. Die Abteilung GMP Zell- und Gentherapie des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI ist auf solche Aufgaben spezialisiert. In den GMP-Anlagen des Instituts werden seit über zehn Jahren u. a. CAR-T-Zelltherapeutika hergestellt, die in klinischen Studien untersucht und bis zur Zulassung begleitet werden. 2023 erhielt das Fraunhofer IZI den Auftrag eines internationalen Pharmazieunternehmens für den Technologietransfer und die Validierung des Herstellungsprozesses für ein neues CAR-T-Zelltherapeutikum. Dabei sind sämtliche Prozessschritte inkl. der Qualitätskontrolle auf die hohen europäischen Qualitätsstandards abzustimmen, um die Herstellungserlaubnis gemäß § 13 des deutschen Arzneimittelgesetzes zu erlangen. Anschließend erfolgt in den Reinräumen des Fraunhofer IZI die Herstellung sämtlicher Prüfpräparate für die Studie, an der zahlreiche europäische Kliniken beteiligt sind.

## 2. Ausgründungen

### Kennzahl 2023

23 Ausgründungen  
1 Beteiligung

### Im Zeichen der Sonnenblume

Wie lassen sich für eine nachhaltige Ernährung Lebensmittelproteine aus Sonnenblumenkernen gewinnen? In 20 Jahren entwickelten Fachleute am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV ein Verfahren, bei dem aus geschälten Sonnenblumenkernen eine hochwertige Protein-zutat hergestellt wird. Zunächst wird durch mechanische Entölung der Proteingehalt gegenüber reinen Sonnenblumenkernen weiter erhöht, ohne das Protein z. B. durch zu hohe Temperaturen zu schädigen. Danach wird das restliche Öl mittels Lösemittelextraktion schonend entfernt. Das üblicherweise verwendete erdölbasierte Hexan konnte das Forschungsteam durch Ethanol ersetzen. Ethanol ist ökologisch und kann aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Nach Patentierung des Produkts und des Verfahrens wurde 2017 die Sunbloom Proteins GmbH als Spin-off des Fraunhofer IVV gegründet. 2019 konnte Zentis als Investor gewonnen werden, wenig später stieg die Molkerei Ehrmann mit ein. Gemeinsam mit diesen Partnern wurde 2022 ein eigenes Werk in Ungarn in Betrieb genommen. In Drégelypalánk kann das ernährungsphysiologisch und funktionell besonders hochwertige Proteinkonzentrat für Lebensmittel im industriellen Maßstab produziert werden. 2023 wurde die Sunbloom Proteins GmbH an die französische Avril-Gruppe verkauft. Das Fraunhofer-Spin-off stärkt nun mit seiner Nachhaltigkeitstechnologie das Kompetenz-Portfolio von einem der wichtigsten industriellen und finanziellen Akteure im Sektor Pflanzenöle und Proteine.

## 3. Geistiges Eigentum

### Kennzahl 2023

158 Mio. € Lizenzerträge  
506 Erfindungsmeldungen  
7068 aktive Patentfamilien  
406 Patentanmeldungen

### Gamechanger DRYtraec® für Batteriezellenproduktion

Bisherige Produktionsverfahren von Batteriezellen sind energie- und kostenintensiv. Bei der Herstellung der Batterieelektroden werden dünne Metallfolien mit einer nassen Paste aus Aktivmaterial, Leitrußen, Bindern und teilweise toxischen Lösungsmitteln beschichtet. Für die anschließende Trocknung der Elektroden-schicht ist ein hoher Energie- und auch Platzbedarf nötig.

Die vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS entwickelte Trockenbeschichtungstechnologie DRYtraec® hingegen kommt ohne toxische Lösungsmittel aus. In einer speziellen Walzenvorrichtung werden Partikel des Aktivmaterials und des Leitrußes durch Fibrillierung des Bindemittels mechanisch verankert. Die Elektroden-schicht wird also komplett trocken erzeugt, die energieaufwendige Trocknung entfällt und zudem lassen sich beide Seiten der Elektrode gleichzeitig beschichten. Der Prozess wurde zunächst für Elektroden von Lithium-Ionen-Batterien realisiert und inzwischen angepasst für Lithium-Schwefel- und für Feststoffbatterien. Mit deutschen Anlagenbauern wurde eine weltweit einzigartige Prototypanlage entwickelt. Seit 2020 betreibt das Fraunhofer IWS eine umfassende Technologieplattform zur Trockenbeschichtung mit hohem technologischem Reifegrad. Gegenwärtig plant das Fraunhofer IWS gemeinsam mit der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batterie-zelle FFB eine skalierte Pilotanlage auf Basis des DRYtraec®-Verfahrens zur Installation in Münster. Für die Elektrifizierung der deutschen Automobilbranche ist eine hochwertige und kostengünstige Produktion von Batteriespeichern entscheidend. Produktionskapazitäten von Batteriezellen befinden sich in Europa allerdings noch im Aufbau, die Abhängigkeit von asiatischen Technologiekonzernen ist hoch. Die patentierte DRYtraec®-Technologie des Fraunhofer IWS (EP 3625018, IWS – 2017F59214, Patente in Europa, Japan und Korea erteilt) kann künftig einen entscheidenden Beitrag zu einer kosteneffizienteren und umweltfreundlicheren Zellfertigung leisten. Mitte 2023 wurde ein Lizenzvertrag mit einem führenden deutschen Unternehmen der Automobilbranche geschlossen.

## 4. Normung und Standardisierung

### Kennzahl 2023

1366 Standardisierungs- und Normierungsaktivitäten

### Weg frei für den 5G-Mobilfunkstandard

Mit der fünften Generation (5G) hat sich der Mobilfunk von der Sprachtelefonie über das mobile Internet hin zu einem universellen Kommunikationsstandard für die Vernetzung von Sensoren, Geräten und Maschinen entwickelt. Die technischen Spezifikationen für diesen globalen Standard werden bei 3GPP (3rd Generation Partnership Project) entwickelt, verabschiedet und von den Standardisierungsorganen der jeweiligen Regionen als Spezifikation umgesetzt. Im Zeitraum zwischen der Definition neuer Funktionen im Mobilfunkstandard und deren Marktverfügbarkeit ist das Erproben zukünftiger Anwendungen ohne passende Testumgebungen und Detailkenntnisse aus der fortlaufenden Standardisierung kaum möglich. Diese Lücken zwischen Forschung, Standardisierung und Anwendung zu schließen, ist daher entscheidend für einen schnellen Markteintritt. Seit 2015 bei 3GPP die Arbeiten an den 5G-Spezifikationen starteten, sind das Fraunhofer-Institut

für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI und das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS an der Definition und Weiterentwicklung dieser wichtigen Funktechnologie beteiligt. Zwischen 2015 und 2023 leisteten sie über 900 Beiträge zum 5G-Standard. Durch die parallele Teilnahme in relevanten Industriegremien wie NGMN, 5GAA oder 5G-ACIA wird die heimische Industrie dabei unterstützt, wichtige Anforderungen und Funktionen im Standard zu verankern, was wiederum eine Voraussetzung für die Umsetzung im Mobilfunknetz und in den Endgeräten darstellt. Der Fokus liegt auf der Funkzugangstechnologie (Radio Access Network, RAN). Die Institute haben sich dabei auf professionelle Anwendungen in den Bereichen Internet der Dinge (IoT), Satellitenintegration in Mobilfunknetze, Produktionsautomatisierung und vernetzte Fahrzeuge (V2X) konzentriert.

## 5. Transfer über Köpfe

### 5.1 Weiterbildung externer Fach- und Führungskräfte

#### Kennzahl 2023

Über 10 Mio. € Einnahmen aus Weiterbildungskursen der Fraunhofer Academy

Ca. 6600 Teilnehmende in 600 Kursangeboten

#### Maßgeschneiderte Schulungen für Unternehmen

Seit 2018 unterstützt das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML die Interroll Holding GmbH dabei, ihre Mitarbeitenden beim Wissenstransfer zu logistischen Fragestellungen mitzunehmen. Der Anbieter von Förder-technik ist ein internationales, börsennotiertes Unternehmen mit ca. 2500 Beschäftigten. Dessen Kunden stammen aus der Anlagenherstellung, sie sind in Ingenieurbüros oder als Systemintegratoren tätig. Mit Consultative Selling setzt das Unternehmen auf einen neuen Vertriebsschwerpunkt. Dafür müssen Mitarbeitende in Vertrieb und Marketing wissen, wie sich Innovationen im (Intra-)Logistikbereich auf die Prozessgestaltung beim Endkunden auswirken, um mit diesen neue Projekte erschließen zu können. Der Kurs »Process Management« vermittelt deshalb aktuelle Kenntnisse des Intralogistik-Markts, zukünftige Trends und branchenspezifisches Know-how. Die Fachleute des Fraunhofer IML steuern insbesondere ihr Wissen zum Intralogistik-Markt einschließlich neuester Planungstools bei. Der mittlerweile 8. Durchgang besteht aus einem Blended-Learning-Konzept mit kurzen Webinaren sowie betreuten Gruppenarbeiten. Theoretische Basisinhalte werden mit praktischen Planspielen und Vor-Ort-Besuchen bei Endkunden verbunden. Für eine Festigung des vermittelten Systemverständnisses wurden zusätzlich Pre-Learnings sowie kontextspezifische Follow-ups in das Gesamtkonzept integriert.

## 5.2 Köpfe und Karriere

### Kennzahl 2023

Rund 2200 Menschen verließen Fraunhofer, um ihre Karriere weiterzuführen – in der Wirtschaft, in der Wissenschaft oder mit einem selbstständigen Unternehmen.

### Qualifizierung für verantwortungsvolle Positionen

Ein wichtiger Aspekt der Fraunhofer-Mission ist die Qualifizierungsphase vor allem des wissenschaftlichen Personals während der Beschäftigungszeit bei Fraunhofer. Im Wissenschaftsbereich liegt die Fluktuationsquote bei rund 9,9 Prozent. Im Rahmen der Exit-Befragung von ausscheidenden Mitarbeitenden wird erfasst, welche Anschlusskarrieren diese planen. Demnach streben ca. 70 Prozent der ausscheidenden Mitarbeitenden einen Wechsel in die Wirtschaft an.

 *Jobs und Karriere bei Fraunhofer*

## 6. Infrastrukturdienstleistungen

### Kennzahl 2023

Hier sind (noch) keine Kennzahlen erfassbar. Diese bilden sich momentan in anderen Transferpfaden ab.

### Intelligente Sensorik für die Energiewende

Das Leistungszentrum »Intelligente Signalanalyse- und Assistenzsysteme – InSignA« wurde 2021 als eines der jüngeren Leistungszentren in Ilmenau initiiert. Beteiligt sind 5 Fraunhofer-Institute, die TU Ilmenau und das Thüringer IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme. Eine Kernexpertise von InSignA ist der Aufbau von Sensornetzwerken mit großer Reichweite, sogenannte Low Power Wide Area Networks (LPWAN). Im Vergleich zu Technologien wie 5G ermöglicht der maßgeblich vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) entwickelte LPWAN-Standard mioty® den Aufbau sehr viel kostengünstigerer Netzwerke mit Batterielaufzeiten von über einem Jahrzehnt. Zudem wird praktisch keine Infrastruktur benötigt, sodass mioty® auch in Gebieten ohne ausreichende Mobilfunkabdeckung einsetzbar ist. Gemeinsam bauten die Partner des Leistungszentrums in Ilmenau ein Testbed für LPWAN auf, das verschiedene Übertragungssysteme unterstützt. Im Rahmen einer Studie mit den Stadtwerken Ilmenau ging es beispielsweise um die Unterstützung der Energiewende: Kann eine Photovoltaikanlage, eine Ladesäule oder eine Wärmepumpe beim Hausbau oder der Gebäudesanierung noch an das Stromnetz angeschlossen werden oder wird dadurch bereits eine Netzüberlastung verursacht? Zusammen mit den Stadtwerken konnte das Leistungszentrum InSignA zeigen, dass mit mioty® sehr günstige und sehr leicht zu installierende Retrofit-Sensoren entwickelt werden können. Beim Retrofitting werden neue Sensoren nachträglich in Bestandsgeräte eingebaut, um sie fit für die Anforderungen

der Digitalisierung und Industrie 4.0 zu machen. Mit dem LPWAN-Testbed können die Stadtwerke Ilmenau bei Genehmigungsverfahren neuer Stromquellen oder Stromabnehmer eine drohende Überlastung des Stromnetzes rechtzeitig erkennen. Damit konnte in Ilmenau für viele Beteiligte der Energiewende ein erheblicher Mehrwert generiert werden: für Privatpersonen, Kommune und Hersteller entsprechender Geräte.

## 7. Wissenschaftskommunikation

### Kennzahl 2023

10991 erfasste Beiträge laut Medienresonanzanalyse, davon 62 Prozent eigeninitiiert. Die erzielte Reichweite lag bei 6050 Millionen Kontakten.

### Mit Fraunhofer AVIATION & SPACE ins Universum

»Unser UNIVERSUM« war das Motto des Wissenschaftsjahres 2023. Fraunhofer-Forschende begleiteten die Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit zahlreichen Bürgerformaten und Exponaten. Koordiniert wurden die Aktivitäten von der Fraunhofer-Allianz AVIATION & SPACE und der zentralen Abteilung Bürgerformate und Initiativen. Im Schnitt jede zweite Mission der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) hatte in den letzten 20 Jahren Fraunhofer-Entwicklungen an Bord. Rund um das Wissenschaftsjahr waren und werden eine Reihe spektakulärer Entwicklungen an Weltraum-Missionen beteiligt (sein): Bereits 2020 übergab Fraunhofer das Radarsystem GESTRA an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), um den erdnahen Orbit besser auf Gefahren durch Weltraumschrott überwachen zu können. Beim James Webb Space Telescope stammen die Metallspiegel für das Messinstrument MIRI, das Bilder in nie da gewesener Qualität liefert, von Fraunhofer. Ebenso das bildgebende Spektrometer der EnMAP-Mission. 2023 bewährte sich das Infrarot-Kameramodul LisR an Bord der Internationalen Raumstation (ISS). 2024 ist der Start des Kleinsatelliten ERNST geplant. Highlight des Wissenschaftsjahres 2023 war für Fraunhofer die Ausstellung »Down to Earth Space Technology« Anfang Mai im Fraunhofer-Forum Berlin. In verschiedenen Formaten diskutierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Jugendlichen und interessierten Erwachsenen z. B., wie dank moderner Weltraumtechnologien Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen besser verstanden, Umweltverschmutzungen aufgedeckt, kritische Infrastrukturen geschützt oder der Wasserverbrauch in der Landwirtschaft nachhaltiger gestaltet werden können.

 **Zum Schnelleinstieg für Kunden**

Mehr Informationen rund um Kooperationsformate, auch für KMU, zu Möglichkeiten des gemeinsamen Technologietransfers sowie zu Weiterbildungsangeboten

# Initiativen

---

## Generative Künstliche Intelligenz

Die Forschung an sowie die Entwicklung und Verfügbarkeit von generativen KI-Modellen und daraus resultierende Anwendungen wie Chatbots stellen bereits heute wesentliche Wettbewerbsfaktoren dar. Es wird erwartet, dass die Nutzung dieser Modelle die digitale Transformation maßgeblich beeinflussen und künftig noch stärker zur Bruttowertschöpfung beitragen wird. Fraunhofer-Institute treiben die Entwicklungen seit Jahren auf verschiedenen Gebieten voran: So entstanden in der Initiative OpenGPT-X große europäische KI-Sprachmodelle. Seit 2023 können alle Fraunhofer-Mitarbeitenden im Intranet mit »FhGenie« ein adaptiertes internes Modell von ChatGPT 3.5 nutzen. Das KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« in Stuttgart unterstützt Firmen dabei, die wirtschaftlichen Chancen der KI, insbesondere des Maschinellen Lernens, in anwendungsnahen Forschungsprojekten für sich zu nutzen. Im Sommer 2023 veröffentlichte Fraunhofer das Konzeptpapier »Analyse und Handlungsempfehlungen zum Thema Sprachmodelle und Generative KI«. Darin wird ein Vorgehen in den Schritten Access, Adapt und Advance empfohlen. Ziel ist es, für Wirtschaft und Forschung übergreifend eine fundierte Expertise und ein passgenaues Angebot für die Nutzung generativer KI aufzubauen. Eine zentrale Voraussetzung dafür ist, dass auf große Mengen hochwertiger Trainingsdaten zugegriffen werden kann. Die Herausforderung besteht anschließend darin, Modelle mit verlässlichen Faktenchecks, Quellentreue und Datenkontrolle insbesondere für wirtschaftliche Anwendungen zu verbinden. Das Konzeptpapier enthält zudem Vorschläge zur Ausbildung von KI-Fachleuten. Gemeinsame Strategien mit deutschen und europäischen Partnern könnten dabei Vorteile bieten, insbesondere beim kostenintensiven Trainieren von Foundation-Modellen. Fraunhofer engagiert sich zudem bei der entstehenden EU-Verordnung über einen gemeinsamen Regulierungs- und Rechtsrahmen für KI, dem »Gesetz über Künstliche Intelligenz« (Artificial Intelligence Act, AIA) der EU.

## Rohstoffwende und Bioökonomie-Roadmap

Die EU setzt angesichts ihrer strategischen Rohstoffabhängigkeit zunehmend auf eine schnelle Rohstoffwende. Hierzu leisten die Forschungs- und Innovationsaktivitäten von Fraunhofer einen entscheidenden Beitrag. Fraunhofer ist Mitgründer der »Advanced Materials Initiative 2030 (AMI2030)«, die als integratives Forum für Forschung und Innovation auf dem Gebiet fortschrittlicher Materialien und Werkstoffe dient. Vorbehaltlich der Zustimmung der Mitgliedstaaten entsteht aus der Initiative voraussichtlich Anfang 2024 eine Partnerschaft innerhalb des Rahmenprogramms »Horizon Europe«, um das Thema langfristig auf der europäischen Forschungs- und Innovationsagenda zu verankern. Das neue Fraunhofer-Leitprojekt ORCHESTER leistet dabei Pionierarbeit, um funktionssichere Werkstoffe für die Energiewende entlang der gesamten Wertschöpfungskette bereitzustellen. Gleichzeitig trägt die »Fraunhofer-Roadmap zur zirkulären Bioökonomie« dazu bei, innovative Verfahren und Produkte, neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsnetzwerke für eine nachhaltige und ressourceneffiziente Wirtschaftsweise zu ermöglichen. Die Roadmap wurde im September 2023 vom Fraunhofer-EU-Büro und vom Fraunhofer Strategischen Forschungsfeld (FSF) Bioökonomie öffentlichkeitswirksam und unter Beteiligung der Europäischen Kommission vorgestellt.

## Energiepartnerschaften

Das Fraunhofer Representative Office Korea veranstaltete im Spätherbst 2023 die 4. Deutsch-Koreanische Wasserstoffkonferenz. Unterstützt wurde die Fraunhofer-Repräsentanz von den Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz sowie für Bildung und Forschung. Die Energiepartnerschaft zwischen Korea und Deutschland besteht bereits seit 2019. Mit über 230 Teilnehmenden erreichte die rein analoge Konferenz einen neuen Besuchsrekord mit einem hohen Anteil an Teilnehmenden aus der Wirtschaft und hochrangigen Regierungsvertretern beider Länder. Mehrere Fraunhofer-Institute trugen zum Programm bei. Korea ist mit künftig vier Fraunhofer Innovation Platforms und zwei ICON-Kooperationen ein besonders



nachgefragtes Zielland für internationale strategische Forschungsk Kooperationen.

Ebenfalls im Spätherbst veröffentlichten der Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems CINES und das Beratungsunternehmen GHD Advisory die Nationale Wasserstoffstrategie der Vereinigten Arabischen Emirate (VAE). Mit deren Erstellung waren Fraunhofer CINES und GHD Advisory im Rahmen der Energiepartnerschaft Deutschlands mit den VAE beauftragt worden. Bis zum Jahr 2031 streben die VAE an, einer der weltweit größten Produzenten von Wasserstoff zu werden. Die Nachfrage nach Wasserstoff wird voraussichtlich sowohl im Inland als auch im Export signifikant sein. Mit Blick auf eine defossilisierte Zukunft kommt das Autorenteam von Fraunhofer CINES und GHD Advisory zu dem Schluss, dass die kohlenstoffarme Wasserstoffproduktionskapazität der VAE bis 2040 7,5 Millionen Tonnen pro Jahr und bis 2050 fast 15 Millionen Tonnen pro Jahr erreichen könnte. Das Ziel der Strategie besteht darin, langfristige Maßnahmen basierend auf der Analyse für eine nachhaltige Energiepolitik zu entwickeln und zusätzliche Investitionen in diesen Bereich zu lenken.

### **Fusionsforschung – saubere Energiequelle der Zukunft?**

Die Erschließung neuer emissionsfreier Energiequellen beschäftigt Forschungsgruppen weltweit. Eine vielversprechende Möglichkeit liegt in der Fusion von Wasserstoffkernen zu Helium in magnetisch eingeschlossenen Fusionsplasmen. Der Stellarator Wendelstein 7-X am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik etwa zählt zu den weltweit führenden Großforschungsanlagen auf diesem Gebiet. Eine weitere Möglichkeit für eine Fusionsquelle ist die lasergetriebene Trägheitsfusion (Inertial Fusion Energy, IFE). Dazu gelang Ende 2022 in den USA am Lawrence Livermore National Laboratory ein bedeutender Durchbruch. Demonstriert wurde erstmals die physikalische Machbarkeit der Zündung eines Fusionsplasmas, einer wichtigen Voraussetzung für die Realisierung eines Fusionskraftwerks. Ähnlich wie bei der Magnetfusion gibt es auch für die Trägheitsfusion bereits Konzepte für Kraftwerke. Voraussichtlich sind dazu weitere technologische Entwicklungen über mindestens ein Jahrzehnt nötig.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gründete 2023 eine Expertenkommission. Diese wird von Prof. Dr. Constantin Häfner, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT und Fraunhofer-Beauftragter für Fusionsforschung, geleitet. In einem Memorandum skizzierte die Kommission Fragestellungen und Wege zur technischen Realisierung eines IFE-Kraftwerks. Das Memorandum wird nun im BMBF weiterverfolgt mit Blick auf nötige Schlüsseltechnologien für die Umsetzung eines Kraftwerkkonzepts. Eine Fraunhofer-Taskforce bündelt das vorhandene Fachwissen für die Fusionsforschung: Dazu gehören Hochleistungslaser, die Herstellung von hochwertigen Optiken, Technologien für

Targets und Brennstoffe sowie Technologien zur Entwicklung von Reaktorwänden. Ein zentrales Ziel der Fraunhofer-Gesellschaft besteht darin, die Industrie in die Lage zu versetzen, relevante Schlüsseltechnologien im globalen Wettbewerb zu entwickeln.

## **Startende Leitprojekte**

### **AMMONVEKTOR – Grünes Ammoniak als sektorenübergreifender Vektor der Energiewende**

Das Fraunhofer-Konsortium setzt auf Ammoniak als elementaren Baustein der Wasserstoffwirtschaft. Aufgrund seiner volumetrischen Energiedichte weist Ammoniak im Vergleich zu Wasserstoff eine höhere Effizienz bei der Speicherung und beim Transport auf. Damit eignet sich Ammoniak als kohlenstofffreier und ökonomisch sinnvoller Wasserstoffträger zur Deckung des immensen industriellen Bedarfs an Strom und Prozesswärme. Dies gilt insbesondere für mittelständische, energieintensive Unternehmen, die aufgrund der hohen Energiepreise abzuwandern drohen und perspektivisch nicht direkt an einer Wasserstoffpipeline angeschlossen sein werden. Ammoniak kann sowohl für motorische Anwendungen als auch in der Brennstoffzellen-Kraft-Wärme-Kopplung zur dezentralen Stromerzeugung genutzt werden.

Entwicklungsziele des Projekts adressieren die gesamte Wertschöpfungskette für Ammoniak als Energievektor. Hierzu gehört die Entwicklung von Reaktoren und Katalysatoren für eine flexible energieeffiziente Ammoniak-Synthese und von Technologien für eine kleinskalige Spaltung von Ammoniak, um dezentral reinen Wasserstoff verfügbar zu machen. Zudem werden Speicher- und Logistikkonzepte für eine dezentrale Nutzung von Ammoniak erstellt und technoökonomische Analysen eingesetzt, um neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Die Technologieentwicklungen adressieren die wichtigsten Hürden, um Ammoniak als Energievektor einsetzen zu können (siehe S. 11).

### **ORCHESTER – Ökosystem für eine resiliente und nachhaltige Werkstoffversorgung**

Das Forschungsteam adressiert die Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft und der Versorgungssicherheit. Im Fokus stehen Resilienz, Nachhaltigkeit und Funktionssicherheit von Werkstoffen. Ziel ist es, die Auswahl an Werkstoffen durch eine genauere Kenntnis der Wechselwirkung zwischen Chemie, Prozess, Mikrostruktur und Eigenschaften zu erhöhen. Zudem soll der Recyclinganteil gesteigert werden: Indem Verunreinigungen in Sekundärmetallen besser beherrscht werden und indem der Anteil herkunftskritischer Seltener Erden in der Rohstoffproduktion reduziert wird. Dabei soll die Werkstoffspezifikation nicht länger über die Materialzusammensetzung und Prozessroute definiert werden, sondern über

eine funktionsbasierte Spezifikation. Dies erlaubt eine schnellere Substitution kritischer Materialien und damit eine resilientere Materialversorgung.

Gezeigt werden soll dies u. a. an Bipolarplatten für Elektrolyseure und Brennstoffzellen, deren Kosten wesentlich durch den Nickelanteil bestimmt werden. Nickel zählt zu den kritischen Elementen mit einem hohen Versorgungsrisiko bei hoher wirtschaftlicher Bedeutung. In einem Krisenszenario müsste der Nickelanteil reduziert werden, ohne die wesentlichen funktionellen Eigenschaften der Bipolarplatten zu gefährden. Bei Verdichterrädern für Wasserstoffpipelines, Brennstoffzellen und Wärmepumpen soll der Sekundärmaterialanteil der Aluminium-Legierung maximiert werden, um den energetischen Fußabdruck zu minimieren. Für Anwendungen in E-Motoren und Windkraftanlagen werden die Forschenden das Recycling und die Wiederverwertung von Permanentmagneten betrachten. Der Einfluss von Materialzusammensetzungen auf deren Wirkung soll mithilfe von Simulationsmodellen und Maschinellem Lernen vorhergesagt werden. ORCHESTER nutzt für den Aufbau eines eigenen digitalen Ökosystems die Erfahrung aus bereits bestehenden Initiativen wie Gaia-X und Materials Data Space®.

## Endende Leitprojekte

### **EVOLOPRO – Evolutionäre Selbstanpassung von komplexen Produktionsprozessen und Produkten**

Über 50 Forschende aus sieben Fraunhofer-Instituten haben verschiedene evolutionsbiologische Elemente der Flexibilität und Selbstanpassung analysiert und auf die Fertigung komplexer Bauteile übertragen. Diese Elemente dienen als Grundlage für eine neue Generation von »Biological Manufacturing Systems« (BMS). BMS passen sich, wie biologische Organismen, selbstständig an neue Anforderungen und Umgebungsbedingungen an – dank Technologien und Prinzipien der Industrie 4.0 in kürzester Zeit. Dazu entwickelten die Forschenden biologieinspirierte Algorithmen und Digitale Zwillinge, die mit einer digitalen Umwelt interagieren.

Die Validierung der Konzepte erfolgte in den drei Pilotketten Aviation, Optics und Automotive. Für die Fräsbearbeitung von Blade-Integrated Disks wurde auf Basis biologisierter Algorithmen eine neuartige Simulationsumgebung errichtet, durch die der Aufwand für die Prozessplanung und den Einfahrprozess deutlich reduziert wird. Für die Fertigung komplexer Glasoptiken digitalisierte das Team die gesamte Herstellkette und entwickelte ein selbstlernendes Verfahren zur automatisierten Montage optischer Komponenten. In der Pilotkette Automotive wurde eine modellbasiert geregelte Karosseriefertigung mit vollständiger Ausnutzung von Industrie-4.0-Potenzialen etabliert.

Für die riesige Menge an Prozessdaten wurde eine cloudbasierte »Data-Lake-Architektur« geschaffen, die einheitliche Datenschnittstellen und spezifische Beschreibungsmodelle zur eindeutigen Zuordnung der hochgeladenen Daten bereithält. Aufbauend auf den Ergebnissen werden in weiteren Forschungsprojekten die Konzepte des Digitalen Zwillings und der digitalen Umwelt vertieft. Die Maßnahmen aus den Pilotketten sollen gezielt in Richtung Marktreife für den konkreten Einsatz in der Industrie weiterentwickelt werden.

 [Zum Video](#)

### **QMag – Quantenmagnetometrie**

Quantenmagnetometer sind hochempfindliche Sensoren, die kleinste Magnetfelder messen können und damit enormes Potenzial zur Optimierung industrieller Prozesse bieten. Das Konsortium des Leitprojekts QMag untersuchte und entwickelte Quantenmagnetometer. Dafür nutzten die Forschenden zwei Prinzipien: Stickstoff-Vakanz-Zentren in Diamant und optisch gepumpte Magnetometer. Die beiden Messverfahren ergänzen sich perfekt in Bezug auf höchste Ortsauflösung und extreme Empfindlichkeit.

Dem Projektteam ist es gelungen, maßgeschneiderte Messsysteme für verschiedene industrielle Anwendungen zu entwickeln. Insbesondere bei der Werkstoffcharakterisierung wurden beide Sensortypen eingesetzt, um beispielsweise Mikroschädigungen in ferromagnetischen Werkstoffen zu detektieren. In der Automobilindustrie sowie der Luft- und Raumfahrttechnik können die Messsysteme dazu beitragen, Materialien widerstandsfähiger und sicherer zu machen. Ebenso können Quantenmagnetometer in der Chipherstellung eingesetzt werden, um die magnetischen Felder elektronischer Schaltungen auf der Nanoskala abzubilden. Zudem haben die Forschenden neue Messverfahren entwickelt: z. B. die magnetometrische Durchflussmessung, die die Fließgeschwindigkeit von fluiden Medien in einem Rohr misst, und das Weitfeldmagnetometer für schnelle bildgebende Messungen großer Bereiche. Diese Messverfahren eignen sich für Anwendungen in der Qualitäts- und Prozesskontrolle bzw. in der Biomedizin.

 [Zum Video](#)

---

Weitere Beiträge zu endenden Fraunhofer-Leitprojekten auf S. 7 (Produktionsarchitektur für die Fabrik der Zukunft – SWAP) und S. 13 (Damit Therapien optimal wirken – MED<sup>2</sup>ICIN).