

# weiter.vorn

Das Fraunhofer-Magazin

1/18

## Arbeitswelt 2025

### Energie

Das größte Windrad der Welt

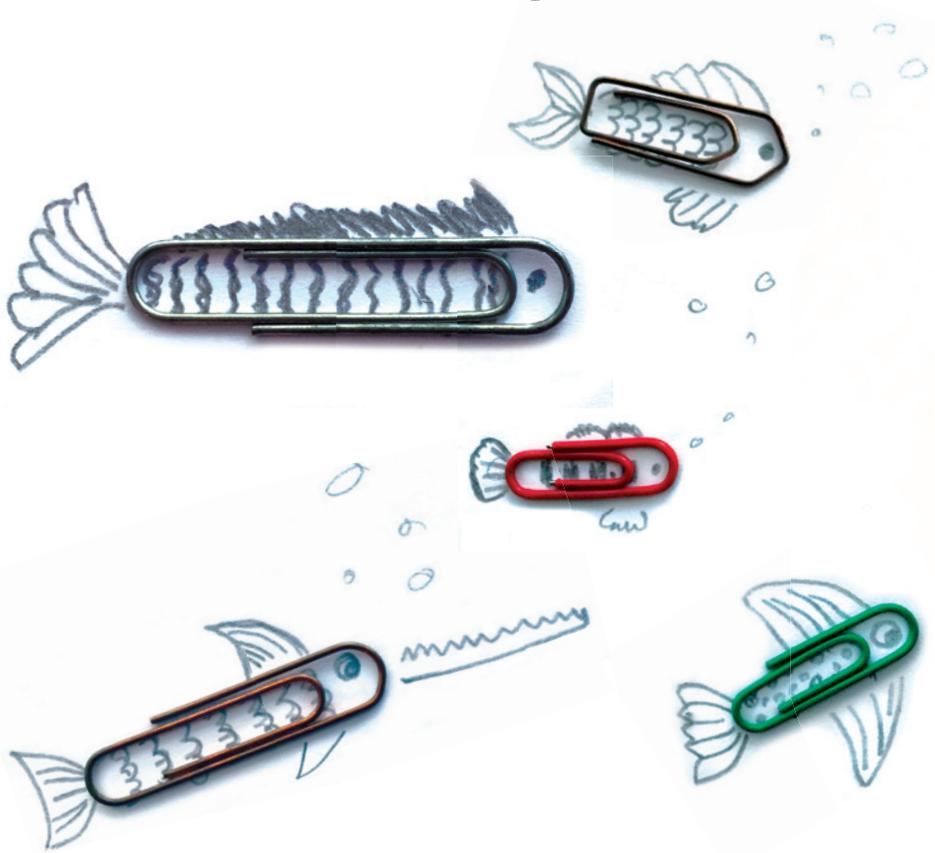
### Digitalisierung

Blockchain-Technologie

### Life Sciences

Die Allergie-Detektive

# Welches Ziel haben Sie vor Augen?



## WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

- Innovation erleben
- Berufsbegleitend qualifizieren
- Wissensvorsprung sichern

 **Fraunhofer**  
ACADEMY

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

# Mit Zuversicht in die »Arbeitswelten der Zukunft«



Prof. Reimund Neugebauer  
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Überall sind sie mittlerweile gegenwärtig, die Begriffe Digitalisierung, Industrie 4.0 oder auch das Internet der Dinge. Sie stehen für unterschiedliche Themen, sind jedoch synonym für den Paradigmenwechsel in Wirtschaft und Gesellschaft. Der Hintergrund: die zunehmende Vernetzung und Automatisierung von Geräten, Maschinen und Produkten. So schätzt das Marktforschungs- und Beratungsunternehmen International Data Corporation (IDC), dass 2020 32 Milliarden Objekte mit dem Internet verbunden sein werden, die Unternehmensberatung Gartner geht von einem ähnlichen Wert aus.

Aus den damit einhergehenden neuen Möglichkeiten erwachsen auch neue Erwartungen: Adjektive wie »sicher«, »flexibel« und »intuitiv« beschreiben sehr gut, wie sich Unternehmen beispielsweise die Produktion der Zukunft wünschen. In der Konsequenz hat die digitale Transformation auf die aktuelle und weitere Entwicklung der Technik eine enorm antreibende Wirkung. Und damit ist auch unser gesamtes Arbeits- und Lebensumfeld im Umbruch: Die individualisierte Produktion bis hin zur Losgröße 1 ist davon ebenso betroffen wie das vernetzte Konsumieren, Arbeiten, Kommunizieren und Partizipieren. Die Anwendungsfelder der Technologien wachsen ebenso rasch: Von der Produktion über die Energieversorgung bis hin zur Medizin werden digitale Lösungen über alle Branchen hinweg bereits angewandt. Das beeinflusst bestehende Geschäftsmodelle und verändert etablierte Marktstrukturen. Dabei ist der volkswirtschaftliche Impact der Digitalisierung signifikant: Durch Industrie 4.0 sind allein in sechs volkswirtschaftlich wichtigen Branchen wie etwa der Automobilbranche bis zum Jahr 2025 Produktivitätssteigerungen in Höhe von rund 78 Milliarden Euro möglich – zu diesem Ergebnis kommt eine aktuelle Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und des Digitalverbands Bitkom.

Was wir jedoch nicht vergessen dürfen: Auch der Mensch spielt weiter eine entscheidende Rolle in den Arbeitswelten der Zukunft. Er programmiert und bedient intelligente Maschinen, und er wird durch digitale Assistenzsysteme unterstützt – so entstehen neue Formen der Mensch-Maschine-

Interaktion. Cyberphysische Systeme nehmen Sensordaten auf, mit deren Hilfe sie Material-, Güter- und Informationsflüsse regeln. Starre Fabrikstraßen werden zu modularen und effizienten Systemen und schonen dabei Ressourcen. Nicht umsonst ist »Arbeitswelten der Zukunft« auch das Motto des Wissenschaftsjahres 2018. Fraunhofer liefert für eine Vielzahl der anstehenden Herausforderungen, denen sich Unternehmen im Kontext der Industrie 4.0 widmen, Lösungen – und erforscht, welche Auswirkungen der aktuelle Wandel auf die Arbeitsumgebungen der Menschen hat.

Die Titelgeschichte dieser Ausgabe der weiter.vorn entwirft eine spannende Vision, wie Arbeitswelten der Zukunft nicht nur in der Science-Fiction, sondern ganz konkret aussehen können (Seite 8). Die Gestaltung der Zukunft wird auch maßgeblich geprägt von der Weiterentwicklung der Computertechnologie – niemals zuvor kannte die Geschichte eine derart rasante Multiplikation an Rechnerleistung wie auch an schierer Datenfülle. Wie die Quantentechnologie eine abhörsichere Kommunikation erlaubt, erfahren Sie ebenfalls in diesem Magazin (Seite 44). Ein weiterer wichtiger Zukunftsfaktor für Wirtschaft, Gesellschaft und unsere Umwelt bleiben die eng verknüpften Sektoren Energie und Mobilität – wir berichten, welche Rolle das größte Windrad der Welt (Seite 22) und neuartige Siliziumsolarzellen (Seite 26) dabei spielen. Auch MERLIN passt hier ins Bild: So lautet der Name des deutsch-französischen Klimasatelliten, mit dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler künftig dem Treibhausgas Methan weiter auf die Spur kommen wollen (Seite 59).

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr

Reimund Neugebauer



## 08

Titelthema

**Wo die Zukunft der Arbeit beginnt**

Bepflanzte Wände im Büro, ein Touch-Screen als Schreibtisch und keine festen Arbeitszeiten. So könnte die Arbeitswelt von morgen aussehen.



## 32

**Energie im Tank**

In den mit Vanadiumlösung gefüllten Tanks wird Energie elektrochemisch gespeichert.



## 38

**Feste Fasern aus Florfliegenseide**

Die Seidenfäden, an die Florfliegen ihre Eier hängen, sind Vorbild für ein neues Hochleistungsmaterial.



## 40

**Einfach, schnell und effizient – dank Blockchain**

Eine dezentrale Datenbank beschleunigt den Warenumschlag in den Containerhäfen.



## 52

**Legasthenie schon bei Vorschulkindern erkennen**

Genetiker und Hirnforscher legen die wissenschaftliche Basis für einen Frühtest.



## 56

**Tödliche Gefahr: Weltraumschrott im Orbit**

Die Radaranlage in Wachtberg bei Bonn liefert hoch aufgelöste Bilder aus dem All.

# Inhalt

06 Spektrum

29 Kompakt

45 International

60 Gründerwelt

61 Fraunhofer inside

62 Panorama

63 Personalien

63 Impressum

## Titelthema

- 08 Wo die Zukunft der Arbeit beginnt**  
Wie prägen die Innovationen von heute die Arbeitswelt im Jahr 2025?

## Wissenschaftspreise

- 16 Ausweg aus dem Chrom-Verbot**  
Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen als wirtschaftliche Alternative.
- 17 Holographische Messtechnik**  
Qualitätsprüfung im Sekundentakt.
- 18 Abwasser effektiv reinigen**  
Keramische Membranen mit ultrafeinen Poren für optimale mechanische Reinigung.
- 19 Telefonieren mit glasklarem Klang**  
So nah und natürlich wie im direkten Gespräch.
- 20 Auch im Alter sicher leben – in den eigenen vier Wänden**  
Preis »Technik für den Menschen«.

## Energie

- 22 Gigant mit drei Blättern**  
Das größte Windrad der Welt steht jetzt in Bremerhaven.
- 25 Strom aus Elastomerfolien**  
Energiegewinnung in kleinen Flüssen
- 26 Solarzellen – im Tandem in neue Dimensionen**  
Höhere Effizienz durch Kombination von Silizium mit anderen Materialien.
- 30 Energiewende – zweite Phase**  
Eine Studie analysiert den Weg zu einem integrierten Energiesystem.
- 32 Energie im Tank**  
Leistungsfähiger Pufferspeicher für die Energiewende.

## Material Sciences

- 34 Programmierbare Materialien**  
Durch Strukturierung erhalten etablierte Werkstoffe intelligente Funktionen.
- 36 Alternative für das Ur-Kilogramm**  
Beschichtete Siliziumkugel als neuer Kalibrierstandard.

- 38 Feste Fasern aus Florfliegenseide**  
Hochleistungsmaterial nach dem Vorbild der Natur.

## Digitalisierung

- 40 Einfach, schnell und effizient – dank Blockchain**  
Innovative Technologie für sichere Transaktionen im Welthandel.
- 42 Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland gestartet**  
Einzigartige Kooperation von 13 Instituten.
- 44 Abhörsicher kommunizieren mit verschränkten Photonen**  
Neues Verschlüsselungsverfahren über Satelliten.
- 46 Hammerklavier im CT**  
Blick in das Innere von historischen Musikinstrumenten.

## Life Sciences

- 48 Die Allergie-Detektive**  
Suche nach Wegen, um Allergene in Lebensmitteln zu reduzieren.
- 50 Den Krebs im Fokus**  
Multispektrale Bildtechnik erlaubt präzise Entfernung von Tumoren.
- 51 Mit Smartphone-Apps gegen den Krebs**  
iManageCancer unterstützt Patienten beim Leben mit ihrer Krankheit.
- 52 Legasthenie schon bei Vorschulkindern erkennen**  
Genetische und hirnpfysiologische Untersuchungen als Basis für Frühtests.

## Weltraum

- 54 Mikrowellenverstärker verbessern die Wettervorhersage**  
Herzstück der Messgeräte für eine neue Generation von Wettersatelliten.
- 56 Tödliche Gefahr: Weltraumschrott im Orbit**  
Das Hochleistungsradar TIRA und Faserlaser spüren selbst kleine Partikel auf.
- 59 Klimawächter im All**  
Satellit MERLIN ist ab 2021 dem Treibhausgas Methan auf der Spur.

## Schutz vor Drohnen

Drohnen eröffnen Kriminellen und Terroristen neue Angriffsmöglichkeiten. Die Sicherheitskräfte benötigen daher Techniken zur Erkennung und Abwehr gefährlicher »unbemannter Flugsysteme«. Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft entwickeln in verschiedenen Projekten innovative Lösungen.

Experten am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB koordinieren das von der Bundesregierung geförderte Verbundvorhaben »ARGUS«. Ziel des Forschungsprojekts ist es, ein Einsatzassistenzsystem zu entwickeln, das gefährliche Drohnen durch kombinierte Sensorik frühzeitig erkennt und den beteiligten Einsatzkräften eine detaillierte Bedrohungsanalyse liefert.

Drohnen nicht nur erkennen und melden, sondern auch abwehren wollen Forscher vom Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE, die mit dem Austrian Institute of Technology AIT im Verbundprojekt »AMBOS« zusammenarbeiten.

In beiden Projekten sollen nicht nur Technologien erarbeitet, sondern auch gesellschaftliche, ethische und rechtliche Aspekte untersucht werden.

Das Drohnen-Abwehrprojekt »ARGUS« verhindert Attacken durch Drohnen.  
© Fraunhofer IOSB



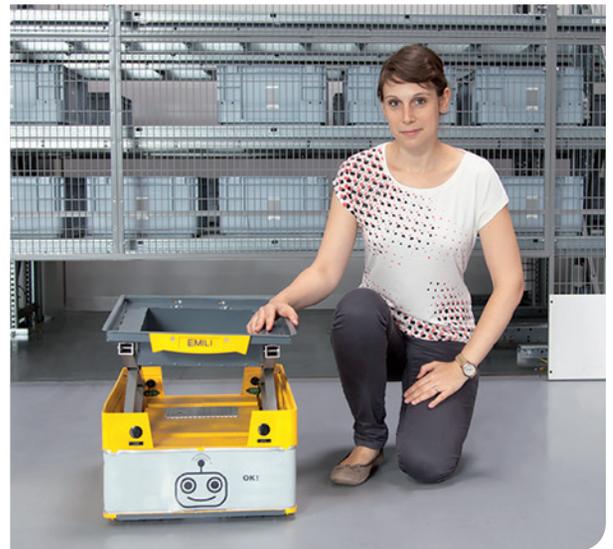
## Kiste auf Rädern für die Social Networked Industry

In Zukunft werden Menschen und Maschinen nicht nur zusammenarbeiten, sondern auch über soziale Netzwerke Informationen teilen und miteinander kommunizieren. Experten am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML haben jetzt das erste wirklich interaktive fahrerlose Transportfahrzeug für diese Social Networked Industry entwickelt.

Auf den ersten Blick sieht Emili – der ergonomische, mobile, interaktive Ladungsträger für die Intralogistik – aus wie ein kleiner Behälter auf Rädern. Der autonome Transporter hat jedoch einige ungewöhnliche Eigenschaften: Er lässt sich mit Gesten steuern, heranwinken und fortschicken. Das funktioniert über Wearables, kleine Computersysteme, die der Mitarbeiter an sich trägt, etwa in Form eines intelligenten Armbands. Diese übermitteln die Gesteninformationen per Funk an Emili. Alternativ lässt sich das Fahrzeug auch über Smartphone, Tablet oder Smart Glasses ansteuern. Emili kann dabei sogar Informationen übermitteln: Ein Smiley auf ihrem energiesparenden Display zeigt an, dass im Lager alles in Ordnung ist.

Auf Wunsch fungiert das interaktive fahrerlose Transportfahrzeug auch als Behälter: Emili hat exakt die Außenmaße eines Kleinladungsträgers. Sie lässt sich problemlos in ein klassisches Kleinteilelager integrieren und stapeln.

Der smarte Ladungsträger Emili folgt seiner Erfinderin Jana Jost aufs Wort.  
© Fraunhofer IML



## Kraftwerk an Bord

Ein Elektroauto, das seinen Strom selbst erzeugt, haben Forscher vom Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF entwickelt: Das generator-elektrische Versuchsfahrzeug GEV/one ist mit einem hocheffizienten Einzylinder-Erdgasmotor und einem Generator ausgestattet. Für Leistungsspitzen sowie für die Bremsenergieerückgewinnung steht ein 10-kWh-Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator zur Verfügung.

Weil beim GEV/one der Strom an Bord erzeugt wird, ist das Fahrzeug unabhängig von einer Lade-Infrastruktur für Elektrofahrzeuge. Betanken lässt sich GEV/one mit regenerativem Treibstoff wie zum Beispiel Biomethangas.

Den Prototyp haben die Fraunhofer-Forscher auf dem 57. Hessentag in Rüsselsheim am Gemeinschaftsstand der Aktion »Hessen schafft Wissen« präsentiert. Mit der neuen Technik wurde die Voraussetzung geschaffen für den Bau eines echten Nullemissionsfahrzeugs.

Das GEV/one ist dabei Teil eines völlig neuen, nachhaltigen Mobilitätskonzepts. Forscher vom LBF entwickeln im hessischen Verbundforschungsprojekt »DieMo RheinMain« auch ein Prognosemodell, mit dem Nutzer von Elektrofahrzeugen in Zukunft schon vor Beginn der Reise über ihren Verbrauch oder ihre Reichweite erhalten können.

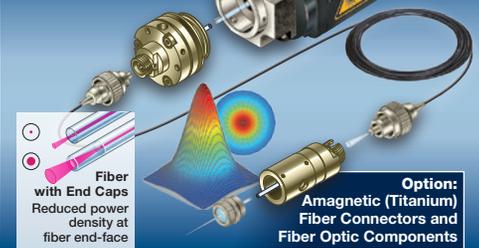
Nullemission: Das generator-elektrische Fahrzeug GEV/one produziert Strom während der Fahrt. © Fraunhofer LBF



## Fiber Optic Components and Fiber Coupled Laser Sources

polarization maintaining for wavelengths 360 – 1800 nm

### Laser Beam Coupler 60SMS



Fiber with End Caps  
Reduced power density at fiber end-face

Option:  
Amagnetic (Titanium)  
Fiber Connectors and  
Fiber Optic Components

Measurement System:

### Polarization Analyzer Series SK010PA-...

Multiple Wavelength Ranges 350 – 1600 nm



Sample Application

Measurement of Polarization Extinction Ratio

Polarization Alignment



Operated via  
USB Interface

**SPIE.**  
PHOTONICS  
WEST

SAN FRANCISCO, CALIFORNIA  
JANUARY 30 - FEBRUARY 1, 2018

Visit us in North Hall, Booth 4962

### USB 3.0 Line Scan Cameras

Monochrome or color from 512 to 8160 pixels.

- USB 3.0 SuperSpeed
- Ruggedized connector
- No external power supply

Also available:

Gigabit  
ETHERNET

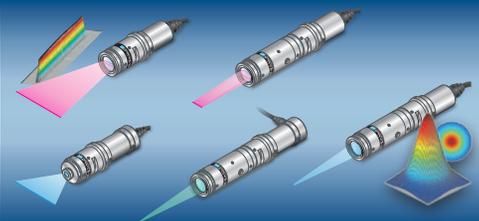
GIG  
VISION™

CAMERA  
LINK



### Laser Line, Micro Focus, Laser Pattern Generators

Wavelengths 405 – 2050 nm



**Schäfter + Kirchhoff**

info@SukHamburg.de

www.SukHamburg.com

Schäfter+Kirchhoff develop and manufacture laser sources, line scan camera systems and fiber optic products for worldwide distribution and use.

# Wo die Zukunft der Arbeit beginnt





In der neuen Microsoft-Deutschland-Zentrale in München sind die offenen Arbeitslandschaften der Zukunft schon heute Realität. Konzipiert wurden sie vom Fraunhofer IAO.  
© Microsoft Deutschland

Die Innovationen, die die Arbeitswelt von morgen prägen, entstehen jetzt. Wir haben Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher gefragt, wie ihre Entwicklungen den Arbeitsalltag eines Ingenieurs in den nächsten Jahren verändern könnten. Ihre Antworten und Zukunftsszenarien bilden die Basis für die fiktive Geschichte von Jens Kowalski. Sie spielt im Jahr 2025 in der Arbeitswelt einer Forschungs- und Entwicklungsabteilung der deutschen Industrie.

Text: Christine Broll

## Die neuen Arbeitswelten

Die Technologien, die in Zukunft unsere Arbeitswelt prägen, werden jetzt entwickelt. Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher tragen mit einer breiten Palette an Projekten dazu bei.

### Arbeitsumgebung

**Workspace Innovation Lab** | Die Bürowelt des Zentrums für Virtuelles Engineering ZVE des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO dient als Experimentierraum, um die Wirkungen innovativer Arbeitsumgebungen zu erforschen. | <http://s.fhg.de/wv1>

### Visualisierungs-Technologien

**Multi-Biometrische Gesichtserkennung** | Durch die Nutzung von 3D- und 2D-Gesichtserkennung können Personen besser identifiziert werden. Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, BiometrieLab <http://s.fhg.de/wv2>

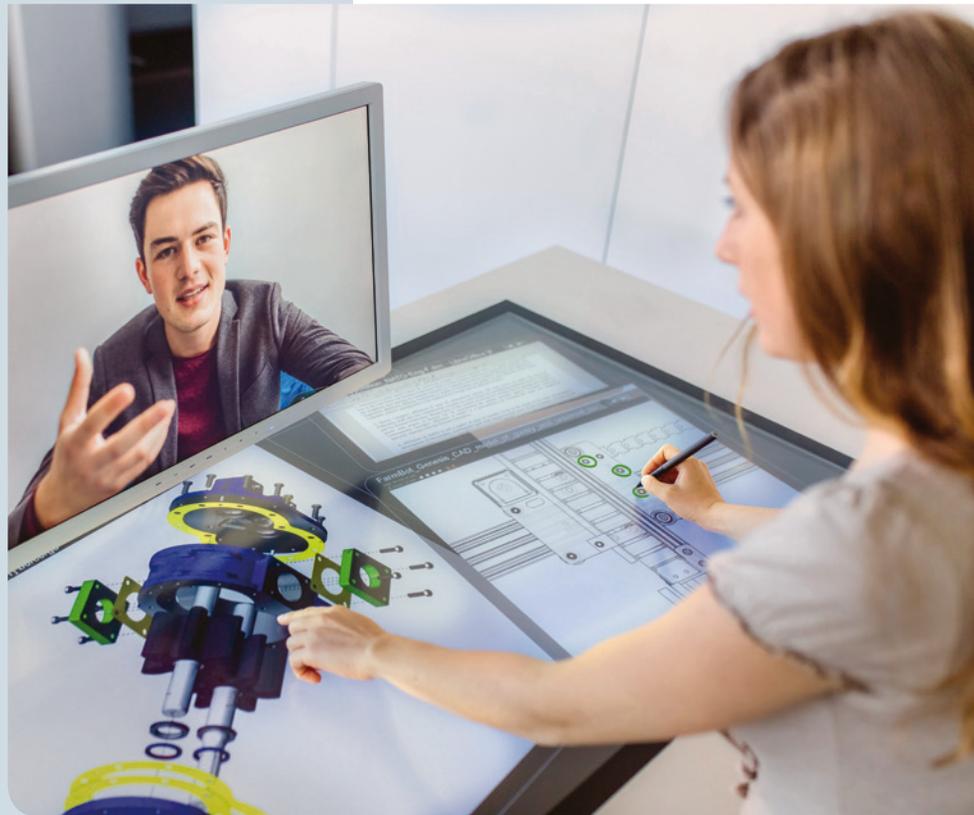
**Extended Workdesk** | Die gesamte Oberfläche des Schreibtischs ist ein Oled-Multi-Touch-Bildschirm, auf dem 2D-Anwendungsfenster und 3D-Objekte frei angeordnet werden können. Fraunhofer IAO, Visual Technologies Lab | <http://s.fhg.de/wv4>

**ProTable** | Durch hochauflösende Aufprojektion wird ein normaler Konferenztisch zu einer interaktiven Oberfläche, auf der 3D-Objekte dargestellt werden, als ob sie auf dem Tisch stünden. Fraunhofer IAO, Visual Technologies Lab | <http://s.fhg.de/wv7>

**Immersive Video Communication** | Spezielle Kamerasysteme und komplexe Algorithmen ermöglichen es, dass das virtuelle Abbild eines Menschen in voller Größe und dreidimensional in einem Raum erscheint. Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI | <http://s.fhg.de/wv8>

### Additive Fertigung

**Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung** | Die Allianz koordiniert die Fraunhofer-Aktivitäten auf dem Gebiet der generativen Fertigung, die auch als additive Fertigung oder vereinfacht als 3D-Druck bezeichnet wird. Der Allianz gehören 17 Fraunhofer-Institute an. Sie bildet die gesamte Prozesskette ab. Dies umfasst die Entwicklung, Anwendung und Umsetzung generativer Fertigungsverfahren und Prozesse sowie die dazugehörigen Materialien. | <http://s.fhg.de/wv9>



Diskussion mit dem Crowd-Worker am Extended Workdesk. Die gesamte Oberfläche des Schreibtischs ist ein Multi-Touch-Bildschirm. © Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak

Durch additive Fertigung lassen sich ultraleichte und extrem stabile Bauteile herstellen, wie dieses Getriebeteil eines Helikopters. © Fraunhofer IFAM

\* Namen von der Redaktion geändert

München, 7. Februar 2025. Nach der Mittagspause geht Jens Kowalski\* in die lichtdurchflutete Lounge des neuen Bürogebäudes. Seit die Einzelbüros von einer offenen Arbeitslandschaft abgelöst wurden, checkt er seine Nachrichten am liebsten in den bequemen Entspannungssesseln in der Nähe der Cafeteria. Ein Serviceroboter begrüßt ihn: »Hallo Jens, möchtest du wie immer einen doppelten Espresso?« Jens bejaht und der Roboter fährt zum Kaffeeautomaten, um ihm das gewünschte Getränk zu holen. Dann legt der Ingenieur die Füße hoch und klappt das Touch-Display aus der Armlehne des Sessels. Genau wie der Serviceroboter arbeitet auch das IT-System mit Gesichtserkennung und zeigt Jens gleich seine neuesten Nachrichten an. Mit Spannung öffnet er die Mail des Flugzeugherstellers, für den seine Projektgruppe mehrere Bauteile entwickelt hat. Enttäuscht lässt er das Display sinken. Es gibt schlechte Nachrichten.

Einzelbüros werden abgelöst von offenen Arbeitslandschaften.

Mitja Jurecic, Fraunhofer IAO

Jens' Firma hatte den Auftrag, für den Flugzeughersteller die Türrahmen und die Sitzhalterungen für ein neues Flugzeugmodell zu entwickeln. Mit den Türrahmen ist der Kunde zufrieden, mit der Sitzhalterung allerdings nicht. Der Prototyp hat bei der äußerst strengen Qualitätsprüfung nicht alle Anforderungen bestanden. Wo die Schwachstelle liegt, sieht Jens in den animierten Grafiken.

Die Firma, bei der der 45-Jährige seit zwölf Jahren arbeitet, begann als kleines Start-up für additive Fertigung, bei der Bauteile durch einen schichtweisen, dreidimensionalen Auftrag von Werkstoffen hergestellt werden. Im Gegensatz zu Konkurrenzunternehmen, die nur auf additive Fertigung setzen, hat die Firma additive Fertigungsverfahren mit konventionellen Technologien kombiniert und damit den Durchbruch geschafft. Mit der hybriden Bauweise kann sie Leichtbauteile äußerst kostengünstig produzieren.

Nach dem Lesen der schlimmen Nachricht ist die mittägliche Entspannung dahin. Jens geht in eines der kleinen Büros, die für konzentrierte Arbeiten zur Verfügung stehen. In der neuen Arbeitslandschaft zieht er sich eigentlich nur noch selten in ein abgeschlossenes Büro zurück. Er schätzt die Möglich-

Gute biometrische Erkennungssysteme können zukünftig viele Passwörter ersetzen.

Dr. Andreas Braun, Fraunhofer IGD

keiten zur zwanglosen Kommunikation, die ihm die offenen Bereiche bieten. Doch jetzt braucht er erst einmal Ruhe und ruft die Daten des Projekts auf. Seit Langem arbeitet er nicht mehr an dem klassischen Desktop-Arbeitsplatz mit Monitor, Tastatur und Maus, der über Jahrzehnte die Bürowelt prägte. Ihm steht ein Extended Workdesk zur Verfügung. Die gesamte Schreibtischoberfläche ist ein Touchscreen, auf dem er gleichzeitig an Texten, Grafiken und Tabellen arbeitet. Zusätzlich stehen auf dem Schreibtisch zwei Monitore, mit denen er 3D-Objekte visualisieren kann.

Jens' Firma hatte den Auftrag, für den Flugzeughersteller die Türrahmen und die Sitzhalterungen für ein neues Flugzeugmodell zu entwickeln. Mit den Türrahmen ist der Kunde zufrieden, mit der Sitz-

halterung allerdings nicht. Der Prototyp hat bei der äußerst strengen Qualitätsprüfung nicht alle Anforderungen bestanden. Wo die Schwachstelle liegt, sieht Jens in den animierten Grafiken.

Die Firma, bei der der 45-Jährige seit zwölf Jahren arbeitet, begann als kleines Start-up für additive Fertigung, bei der Bauteile durch einen schichtweisen, dreidimensionalen Auftrag von Werkstoffen hergestellt werden. Im Gegensatz zu Konkurrenzunternehmen, die nur auf additive Fertigung setzen, hat die Firma additive Fertigungsverfahren mit konventionellen Technologien kombiniert und damit den Durchbruch geschafft. Mit der hybriden Bauweise kann sie Leichtbauteile äußerst kostengünstig produzieren.

Nach dem Lesen der schlimmen Nachricht ist die mittägliche Entspannung dahin. Jens geht in eines der kleinen Büros, die für konzentrierte Arbeiten zur Verfügung stehen. In der neuen Arbeitslandschaft zieht er sich eigentlich nur noch selten in ein abgeschlossenes Büro zurück. Er schätzt die Möglich-

keiten zur zwanglosen Kommunikation, die ihm die offenen Bereiche bieten. Doch jetzt braucht er erst einmal Ruhe und ruft die Daten des Projekts auf. Seit Langem arbeitet er nicht mehr an dem klassischen Desktop-Arbeitsplatz mit Monitor, Tastatur und Maus, der über Jahr-

Für die Sitzhalterung hatte Jens eine hybride Struktur entwickelt. Die Bodenplatte, die am Flugzeugrumpf festgeschraubt wird, ist im Spritzgussverfahren hergestellt. Die Befestigungselemente für die Sitze hat er nach dem Vorbild eines menschlichen Knochens konstruiert – als feines und trotzdem äußerst stabiles Gerüst, das optimal auf Druck- und Zugbewegungen reagiert. Produziert wird dieses bionische Element in additiver Fertigung aus einer leichten Titanlegierung. Gerade bei den Sitzen – rund 500 werden in ein Flugzeug eingebaut – zählt jedes Gramm Gewichtseinsparung, um den Treibstoffverbrauch zu reduzieren.

Noch am gleichen Nachmittag trifft sich Jens Kowalski mit Martin Kramer\* und Laura Schneider\* aus seinem Team zur Besprechung an dem Projection Table. Durch ein spezielles Projektionssystem an der Decke können sie das Bauteil auf dem Tisch als virtuelles Modell so darstellen, als ob es tatsächlich dort stünde. Es lässt sich sogar drehen und damit von allen Seiten betrachten. Gemeinsam spielen die drei eini-ge Optimierungen durch und lassen an dem Modell gleich die Simulationen laufen. Doch eine zündende Idee haben sie nicht. Daher beschließen sie, die Konstruktion der Sitzhalterung auf einer Crowd-Engineering-Plattform im Internet auszuschreiben.

In den letzten Jahren haben sich die Crowd-Working-Plattformen als wichtiger Wirtschaftsfaktor etabliert. Dort bieten Unternehmen Arbeitsaufträge an – vom Erstellen einfacher Kurztexte bis hin zu anspruchsvollen Engineering-Aufgaben. Möglich wurde diese Art der Arbeitsteilung durch die Digitalisierung, mit der sich Wertschöpfungsprozesse in kleine Schritte zerlegen und auslagern lassen.

Den ausgeschriebenen Aufträgen steht ein immer größer werdendes Heer von Solo-Selbstständigen gegenüber, die sich für die Arbeitspakete bewerben und auf den Plattformen bewertet werden. Sie arbeiten ohne Mindestlohn und ohne soziale Absicherung. Forderungen der Gewerkschaften, die Crowd-Worker in die gesetzliche Kranken- und Rentenversicherung einzubeziehen, werden seit Langem diskutiert – bislang aber ohne Erfolg.

Jens' Firma hat durch das Crowd-Engineering schon Kontakt zu äußerst kreativen Köpfen gefunden – und damit auch Geld für die Finanzierung der eigenen Entwicklungsabteilung gespart. Für das Projekt mit der Sitzhalterung haben sich Hanna Keller\* und Lukas Schweizer\* mit guten Ideen beworben.

Interaktive Flächen werden den klassischen Bildschirmarbeitsplatz verdrängen.

Dr. Matthias Bues, Fraunhofer IAO

Dr. Matthias Bues, Fraunhofer IAO

Additive Fertigung wird mit konventionellen Technologien wie Gießen oder Fräsen kombiniert.

Dr. Kristian Arntz, Fraunhofer IPT

In der digitalen Wirtschaft werden immer mehr Arbeitsschritte ausgelagert.

Dr. Simone Kimpeler, Fraunhofer ISI



Durch Aufprojektion wird ein normaler Konferenz-tisch zur interaktiven Fläche. Eine Spezialbrille ermöglicht die Arbeit mit 3D-Objekten. © U. Völ-ker, Fotoagentur FOX

Über eine Gehirn-Computer-Schnittstelle kommuniziert der Werker direkt mit dem Roboter, der sich dadurch sensibel auf seinen menschlichen Kollegen einstellen kann. © Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyuk



### **Aachen Center for Additive Manufacturing ACAM |**

In dem Zentrum für additive Fertigung arbeiten das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie zusammen. Ziel ist es, produzierende Unternehmen in die Lage zu versetzen, diese Technologie sinnvoll und gewinnbringend für ihre Produktionsprozesse einzusetzen. | <http://s.fhg.de/wv10>

**AGENT-3D |** Das Konsortium formiert eine strategische Allianz für Forschung, Innovation und Wachstum im Bereich der additiv-generativen Fertigung mit über 120 Partnern aus Forschung und Industrie. Ziel ist es, Deutschland die Technologieführerschaft in den zentralen Bereichen der additiv-generativen Fertigung zu sichern. Die Leitung liegt bei der Fraunhofer-Gesellschaft. | <http://s.fhg.de/wv11>

### **Arbeitsorganisation und sozialer Wandel**

**Zukunftsstudie 2027, #ICHINZEHNJAHREN |** Wie aktuelle Technologien und Entwicklungen unsere Lebenswelten verändern, untersuchte das Fraunhofer IAO in einer Online-Befragung von rund 3000 Menschen. Ein Ergebnis: Der typische Acht-Stunden-Tag gehört 2027 der Vergangenheit an. Arbeit und Freizeit werden verschmelzen, es kommt zum Work-Life-Blending. | <http://s.fhg.de/wv12>

**Foresight-Studie zum digitalen Wandel der Arbeitswelt |** Die Studie für die Vodafone Stiftung ergab unter anderem, dass die Unternehmen zukünftig immer mehr Arbeitsschritte auslagern. Um die Aufträge müssen sich Click- und Crowd-Worker auf Internet-Plattformen jedes Mal wieder neu bewerben. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI | <http://s.fhg.de/wv13>

**Mobile Arbeit |** Eine Befragung von ca. 680.000 Beschäftigten des verarbeitenden Gewerbes ergab, dass örtlich flexible Arbeit zu ausufernden Arbeitszeiten führen kann. Die positiven Wirkungen der mobilen Arbeit auf die Work-Life-Balance scheinen diesen Nachteil allerdings zu kompensieren. Fraunhofer IAO | <http://s.fhg.de/wv14>

**SANDRA – intelligentes betriebliches Erreichbarkeitsmanagement |** Ein digitaler Erreichbarkeitsassistent klassifiziert E-Mails nach ihrer Wichtigkeit. Der Nutzer entscheidet, welche Priorität Mails haben müssen, damit sie ihm auch nach Feierabend oder am Wochenende zu-gestellt werden. Fraunhofer IAO | <http://s.fhg.de/wv15>

**Zukunftsfähige Führung |** In der Studie für die Bertelsmann Stiftung wird deutlich, dass Hierarchien an Bedeutung verlieren. Die Projektarbeit rückt in den Vordergrund, die Führungskraft orchestriert die Projektteams, sucht Synergien und Kompetenzen. Fraunhofer IAO | <http://s.fhg.de/wv16>  
Weitere Publikationen zum Thema »Führung in der grenzenlosen Arbeitswelt«: <http://s.fhg.de/wv17>

Hanna Keller, 25, ist seit dem Ingenieurstudium als digitale Nomadin auf Weltreise und arbeitet unterwegs gemeinsam mit Webdesignern, Journalisten oder Architekten in Co-Working Spaces. Vor zehn Jahren waren die digitalen Nomaden noch eine exotische Minderheit, heute nutzen viele diese Möglichkeit, um nach dem Studium oder während eines Sabbaticals Geld zu verdienen.

Mit dem Crowd-Engineering werden Firmen die dynamische SchwachmIntelligenz von Entwicklern weltweit nutzen.

Michael Hertwig, Fraunhofer IAO

intensiv an ihrem digitalen Profil arbeitet, schätzt Lukas die an Exhibitionismus grenzende Selbstvermarktung auf den Crowd-Working-Portalen nicht und nimmt dafür in Kauf, weniger Aufträge zu erhalten. Er kann sich damit gerade so über Wasser halten.

Auch in den Unternehmen ist die Arbeit flexibler geworden. Hierarchien verlieren an Bedeutung. Es zählt der Erfolg in der Projektarbeit. Die Mitarbeitenden sind in wechselnden Projektteams organisiert und werden von den jeweiligen Projektleitern geführt. Die disziplinarischen Vorgesetzten sind meist nur noch für das Mitarbeitergespräch und die berufliche Weiterentwicklung zuständig. Für die meisten Angestellten ist es nicht mehr erstrebenswert, in der Hierarchie eines Unternehmens aufzusteigen.

Vor zehn Jahren musste Jens noch einen schriftlichen Antrag stellen, wenn er einen Tag pro Woche im Homeoffice oder unterwegs arbeiten wollte. Heute kann er seine Arbeitszeit weitgehend flexibel gestalten. Der klassische Acht-Stunden-Tag gehört bei Wissensarbeitern wie ihm der Vergangenheit an. Und damit auch das früher sehr beliebte Gleitzeitkonto. Für die 35 Arbeitsstunden, die er dem Arbeitgeber wöchentlich schuldet, gilt die Vertrauensarbeitszeit. Das heißt: Die Arbeitszeit wird nicht mehr durch ein System erfasst.

Die hierarchische Stellung verliert an Bedeutung. Was zählt, ist der Erfolg in der Projektarbeit.

Dr. Josephine Hofmann, Fraunhofer IAO

schätzung für persönliche Treffen, was der Meeting-Kultur in den Unternehmen sehr gutgetan hat. Jens nutzt die Freiheit und arbeitet gerne abends zu Hause. So kann er nachmittags auch mal joggen oder sich um seinen Sohn kümmern. Aus der Work-Life-Balance, in der Arbeit und Freizeit strikt

Lukas Schweizer, 36, war bis vor fünf Jahren mit einem Zeitvertrag in Jens' Unternehmen beschäftigt. Nachdem der Vertrag nicht verlängert wurde, konnte er sich die Miete in München nicht mehr leisten und zog nach Niederbayern. Im Gegensatz zu Hanna, die

intensiv an ihrem digitalen Profil arbeitet, schätzt Lukas die an Exhibitionismus grenzende Selbstvermarktung auf den Crowd-Working-Portalen nicht und nimmt dafür in Kauf, weniger Aufträge zu erhalten. Er kann sich damit gerade so über Wasser halten.

Auch in den Unternehmen ist die Arbeit flexibler geworden. Hierarchien verlieren an Bedeutung. Es zählt der Erfolg in der Projektarbeit. Die Mitarbeitenden sind in wechselnden Projektteams organisiert und werden von den jeweiligen Projektleitern geführt. Die disziplinarischen Vorgesetzten sind meist nur noch für das Mitarbeitergespräch und die berufliche Weiterentwicklung zuständig. Für die meisten Angestellten ist es nicht mehr erstrebenswert, in der Hierarchie eines Unternehmens aufzusteigen.

Vor zehn Jahren musste Jens noch einen schriftlichen Antrag stellen, wenn er einen Tag pro Woche im Homeoffice oder unterwegs arbeiten wollte. Heute kann er seine Arbeitszeit weitgehend flexibel gestalten. Der klassische Acht-Stunden-Tag gehört bei Wissensarbeitern wie ihm der Vergangenheit an. Und damit auch das früher sehr beliebte Gleitzeitkonto. Für die 35 Arbeitsstunden, die er dem Arbeitgeber wöchentlich schuldet, gilt die Vertrauensarbeitszeit. Das heißt: Die Arbeitszeit wird nicht mehr durch ein System erfasst.

Führungskräften und Projektleitungen macht die neue flexible Arbeitswelt allerdings das Leben schwer. Sie können nicht mehr davon ausgehen, dass der Mitarbeitende vor Ort ist, um sich ad hoc abzustimmen. Mit der örtlichen Unabhängigkeit wuchs aber gleichzeitig auch die Wert-

voneinander getrennt und gut ausbalanciert waren, ist das Work-Life-Blending geworden. Dieses Verschmelzen von Arbeit und Privatleben geht Jens in stressigen Zeiten aber auch an die Substanz. Dann arbeitet er wesentlich mehr als die vereinbarten 35 Stunden und wälzt Probleme aus der Arbeit auch nachts im Bett.

Um an seinen freien Tagen auch mal abschalten zu können, benutzt Jens seit Kurzem einen Erreichbarkeitsassistenten. Das intelligente Programm kann mithilfe einer speziellen Textverarbeitung, dem Natural Language Processing, feststellen, wie wichtig eine Mail für ihn ist, und sie nach Prioritäten ordnen. Jens kann festlegen, zu welchen Zeiten ihn Nachrichten mit welcher Priorität erreichen.

Nachdem Hanna und Lukas ihre ersten Entwürfe am Wochenende geschickt haben, optimiert Jens mit ihnen in einem virtuellen Workspace die Sitzhalterung. Um den Kraftfluss in diesem bionischen Bauteil zu berechnen, sind komplexe Simulationen notwendig, die hohe Anforderungen an die Digital-Engineering-Software stellen. In einem wiederholten Austauschprozess finden sie eine Lösung: Die poröse, einem Knochen nachempfundene Struktur ist nun stabiler – bei gleichem Gewicht.

Alle Schritte des iterativen Prozesses sind in der Datenbank festgehalten, damit sie später nachvollziehbar sind, um etwa Fragen aus der Fertigung zu klären. Früher gab es für die einzelnen Anwendungen in der Entwicklung und Fertigung jeweils unterschiedliche Datensilos. Durch die Digital-Engineering-Software sind alle Daten des Bauteils von der Idee bis zu dessen Wartung in einer Plattform verfügbar.

Um sich in die neue Software für das Digital Engineering einzuarbeiten, nutzt Jens ein Tutorial. Bevor er das Programm startet, setzt er ein Stirnband mit einer neuronalen Schnittstelle auf, über die sein Gehirn direkt mit dem Computer kommuniziert. Im Stirnband sind elektrische Sensoren, die wie bei der Elektroenzephalographie EEG die elektrischen Potenzialveränderungen des Gehirns registrieren. Zusätzlich wird über Nahinfrarotspektroskopie gemessen, welche Hirnareale gerade besonders aktiv sind. Beide Informationen werden über einen Algorithmus verarbeitet und geben zum Beispiel Auskunft darüber, wie konzentriert Jens gerade ist. Das Lernprogramm passt aufgrund der Messwerte selbstständig Schnelligkeit und Schwierigkeitsgrad der Aufgaben seiner individuellen Tagesform an.

Über Gehirn-Computer-Schnittstellen werden Menschen direkt mit Maschinen kommunizieren.

Dr. Mathias Vukelic, Fraunhofer IAO

Auch in der Produktionshalle tragen viele Werker solche Sensoren. Über die Gehirn-Computer-Schnittstellen können die Werker während der Montage direkt mit den Robotern kommunizieren, mit denen sie gerade zusammenarbeiten. So kann sich der kollaborative Roboter immer feinfühlicher

## Digital Engineering

**Smart Factory** | Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und Automatisierung IFF ist Technologiepartner bei der Umsetzung der Smart Factory. Wichtiger Schritt ist das Digital Engineering, mit dem die digitalen Konstruktionsdaten eines Produkts auf allen Stufen seines Entwicklungs- und Produktionsprozesses genutzt werden können.

<http://s.fhg.de/wv18>

**Engineering Collaboration Lab (E-Co-Lab)** | Im E-Co-Lab erhalten Unternehmen einen unkomplizierten Testzugang für eine durchgängige Engineering-Lösung und können am Beispiel eines eigenen Projekts den Nutzen verschiedener Anwendungen für die eigene Entwicklungsarbeit testen und validieren. Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM | <http://s.fhg.de/wv19>

**Digital Engineering Lab** | In dem »lebenden Labor« wird die Prozesskette von der Idee für ein neues Produkt bis hin zur Planung der Fertigung und Montage erlebbar gemacht. Fraunhofer IAO <http://s.fhg.de/wv20>

**Digitaler Zwilling** | Die reale Produktionsstätte wird vollständig auf digitaler Ebene nachgebildet. Es entsteht ein virtueller Zwilling, der den Ablauf der Fertigung in Echtzeit wiedergibt. Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK | <http://s.fhg.de/wv21>

## Mensch-Roboter-Kollaboration

**Care-O-bot 4** | Der mobile Roboterassistent verfügt nicht nur über beste soziale Umgangsformen. Mit seiner mobilen Plattform und seinen zwei Roboterarmen kann er auch als Kellner, für Hol- und Bringdienste oder als Lotse in öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA <http://s.fhg.de/wv22>

**NeuroLab** | Für eine Gehirn-Computer-Schnittstelle werden Hirnsignale mittels EEG (Elektroenzephalographie) und Nahinfrarotspektroskopie abgeleitet und in Echtzeit von einem Algorithmus analysiert. Die Daten geben Auskunft über die Konzentration oder die Emotionen einer Person und können für die Steuerung eines Roboters oder Computers genutzt werden. Fraunhofer IAO | <http://s.fhg.de/wv23>

auf seinen menschlichen Kollegen einstellen, indem er sensibel auf dessen Nutzerabsichten, Emotionen und seine Aufmerksamkeit reagiert, die ihm über die Gehirn-Computer-Schnittstelle mitgeteilt werden.

Die Digital-Engineering-Software unterstützt Jens auch bei der Erstellung der Daten für die Fertigung der Sitzhalterungen. Die Software hat berechnet, wie die möglichen Fertigungsverfahren bei der Herstellung kombiniert werden. Auf die untere Platte, die im Spritzgussverfahren produziert wird, werden die bionischen Strukturen aufgedruckt, bevor sie im letzten Schritt noch mechanisch nachbearbeitet werden.

Reale und virtuelle Produktion werden zu einem intelligenten Gesamtsystem verschmelzen.

Prof. Rainer Stark, Fraunhofer IPK

Den gesamten Produktionsablauf kann Jens vorab simulieren. Denn die reale Produktionstechnik ist vollständig auf digitaler Ebene nachgebildet – in einem digitalen Zwilling. Läuft die Produktion, geben zahlreiche Sensoren den

Betriebsstatus der einzelnen Arbeitsstationen kontinuierlich an das System weiter. Durch die Verschmelzung von realer und digitaler Produktion ist ein Gesamtsystem entstanden, das sich im laufenden Betrieb selbst überwacht, steuert und korrigiert.

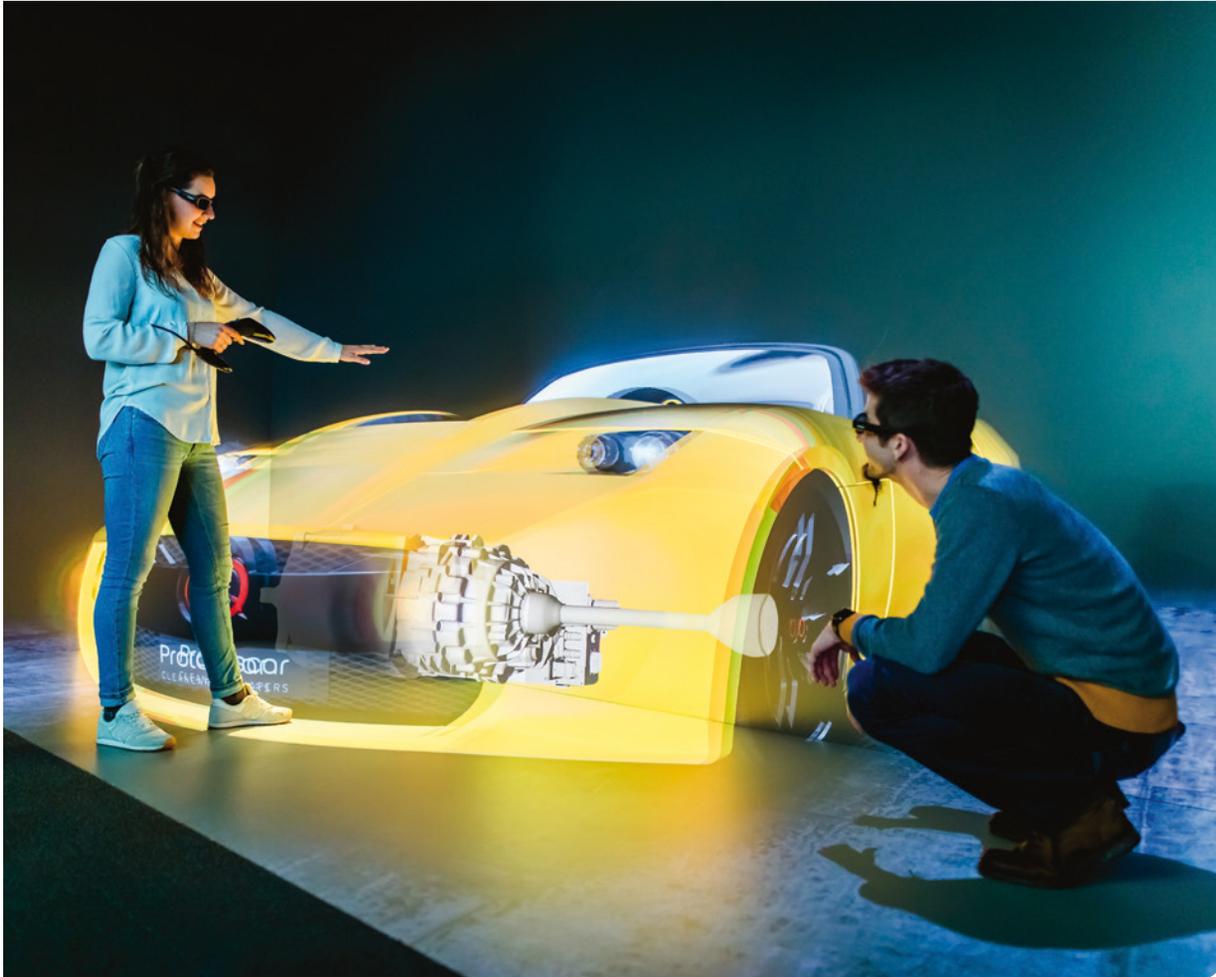
Doch bevor die Produktionsplanung anläuft, lässt Jens erst einmal wenige Prototypen fertigen. Zur Begutachtung lädt er die Ingenieure des Kunden persönlich ein. Um zu zeigen, wie die Sitzhalterungen und die Türrahmen in die Gesamtkonstruktion des Flugzeugs eingebettet sind, geht Jens mit dem Kunden in einen Präsentationsraum für virtuelle 3D-Modelle. Nachdem alle ihre 3D-Brillen aufgesetzt haben, erscheint vor ihnen das maßstabsgetreue dreidimensionale Abbild des Sitzes mit seiner Verankerung am Flugzeugrumpf. Die Ingenieure können die Konstruktion von allen Seiten betrachten, Teile virtuell abmontieren und sich beliebige Querschnitte ansehen. Von der Geometrie der Bauteile sind die Besucher nun überzeugt. Jetzt müssen die Prototypen nur noch die Belastungsprüfung im Qualitätslabor des Flugzeugherstellers bestehen.

Es ist wieder Mittagspause, als Jens die Videobotschaft des Flugzeugherstellers sieht. Die Arbeit hat sich gelohnt. Die Konstruktion der Sitzhalterungen ist akzeptiert. Jens ruft die Kolleginnen und Kollegen des Projektteams in der Cafeteria zusammen. Hier steht schon der

Serviceroboter für seinen nächsten Auftrag bereit. Er erkennt die erfreuten Gesichter und weiß, was in so einem Fall gewünscht wird: Er bietet an, aus der Cafeteria drei Gläser Sekt zum Anstoßen zu bringen. ■

Mobile Serviceroboter müssen komplexe Alltagssituationen erfassen und konkrete physische Unterstützung anbieten können.

Dr.-Ing. Birgit Graf, Fraunhofer IPA



Im Immersive Engineering Lab des Fraunhofer IAO lassen sich virtuelle 3D-Modelle maßstabsgetreu darstellen. © Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak



Stets zu Diensten und immer höflich – der Serviceroboter Care-O-bot.  
© Fraunhofer IPA

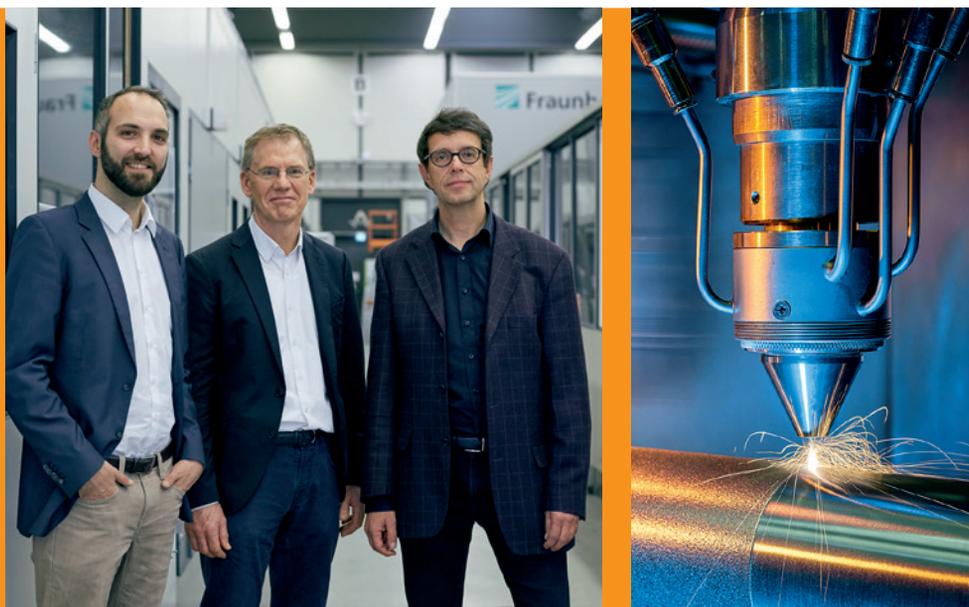


Offen und lichtdurchflutet sind die Bürogebäude der Zukunft. Vorreiter ist das Zentrum für Virtuelles Engineering ZVE des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.  
© Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak

# Ausweg aus dem Chrom-Verbot

Chromschichten sollen Bauteile vor Korrosion und Verschleiß bewahren. Seit September 2017 ist damit jedoch Schluss: Aus Gründen des Umweltschutzes darf hexavalentes Chrom dann nur noch in Ausnahmefällen verwendet werden. Das von Fraunhofer- und RWTH-Forschern entwickelte extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen, kurz EHLA, bietet erstmals eine wirtschaftliche Alternative.

Text: Janine van Ackeren



Die Preisträger: Thomas Schopphoven, Gerhard Maria Backes und Andres Gasser (v.l.n.r.) © Fraunhofer, Piotr Banczerowski

Mit EHLA lassen sich Metallschutzschichten mit extremer Hochgeschwindigkeit aufbringen. © Fraunhofer ILT, Volker Lannert

Sei es in der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau oder der Luft- und Raumfahrt – zahlreiche metallische Bauteile müssen vor Korrosion und Verschleiß geschützt werden. Eine gängige Methode dafür ist das Hartverchromen. Dieses Verfahren hat jedoch gravierende Nachteile: Es verbraucht nicht nur viel Energie, sondern schädigt durch das dabei eingesetzte Chrom auch die Umwelt. Seit September 2017 darf es daher nur noch in Ausnahmefällen verwendet werden. Dieses Verbot stellt die Industrie vor enorme Herausforderungen.

Dr.-Ing. Andres Gasser und Dipl.-Ing. Thomas Schopphoven vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und Dipl.-Ing. Gerhard Maria Backes vom Lehrstuhl für Digital Additive Production der RWTH Aachen haben nun erstmals eine wirtschaftliche Alternative zur Chrombeschichtung entwickelt: das extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen, kurz EHLA. Für diese Entwicklung wurden sie mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet.

## Nachhaltig, umweltfreundlich und arbeitsplatzsichernd

Das Verfahren bietet Unternehmen nicht nur einen Ausweg aus dem Verbots-Dilemma, sondern bringt weitere Vorteile: Weil keinerlei Chemikalien eingesetzt werden, ist es sehr umweltfreundlich. Die entstehenden Schichten sind dicht – Poren und Risse, wie sie bei den Chromschichten vorkommen, sind passé. Zudem ist die Beschichtung stoffschlüssig mit dem Grundwerkstoff verbunden, sodass sie, anders als bei der Hartverchromung, nicht abplatzen kann. Statt Chrom(VI) setzen die Forscher dabei Eisen-, Nickel- und Kobalt-Basis-Legierungen ein.

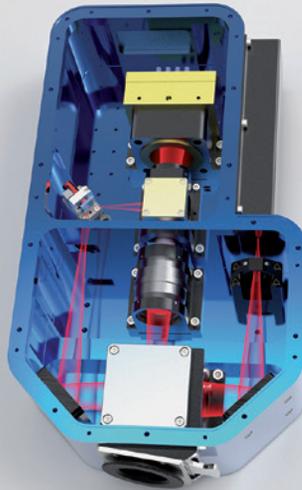
»Mit dem EHLA-Verfahren können wir erstmalig dünne Schichten im Zehntel-Millimeter-Bereich auf große Flächen in kurzer Zeit ressourceneffizient auftragen«, fasst Andres Gasser zusammen, der die Gruppe Laserauftragschweißen am ILT leitet. Gerhard Maria Backes vom Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP der RWTH Aachen erklärt den Unterschied zum Laserauftragschweißen so: »Man kann das mit einem zugefrorenen See vergleichen: Beim bisherigen Verfahren schmilzt man die See-Oberfläche lokal auf und lässt Hagelkörner hineinfallen. Bei EHLA sind es dagegen flüssige Wassertropfen.« Das Ergebnis: Das Bauteil lässt sich mit einer bis zu 250-mal höheren Geschwindigkeit beschichten, zudem heizt es sich kaum auf. Da sich Grund- und Zusatzwerkstoff nur noch in einem sehr kleinen Bereich mischen, ist die entstehende Schicht reiner und schützt besser vor Korrosion. Das neue Verfahren ermöglicht auch, hitzeempfindliche Komponenten zu beschichten, bei denen dies bislang nicht möglich war. Dadurch werden gänzlich neue Materialkombinationen möglich, etwa Beschichtungen auf Aluminium- oder schwer schweißbaren Gusseisenlegierungen.

Bei einigen Unternehmen ist das neue Verfahren bereits im Einsatz. So etwa bei der niederländischen Firma IHC Vremac Cylinders B.V.: Das Unternehmen beschichtet damit seine bis zu zehn Meter langen Hydraulik-Zylinder für Offshore-Anwendungen. Thomas Schopphoven, Wissenschaftler am ILT, sieht großes Potenzial für die neue Beschichtungstechnik: »Mit EHLA könnten wir künftig serienmäßig Bauteile beschichten, die bisher unbeschichtet eingesetzt wurden. Das ermöglicht neue Komponenten, die nicht mehr verschleifen. Zudem könnte EHLA die Beschichtungstechnik, die derzeit verstärkt in Niedriglohnländer abwandert, hier in Europa halten.« ■

# Holographische Messtechnik

Null Fehler verlangen immer mehr Automobilhersteller von ihren Zulieferern. Mit Sichtkontrolle ist das nicht zu leisten, aber mit digitaler Holographie. Allerdings musste sie erst produktionstauglich gemacht werden. Dr. Markus Fratz, Dr. Alexander Bertz und Dr. Tobias Beckmann vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM lösten diese anspruchsvolle Aufgabe und wurden dafür mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet.

Text: Janine van Ackeren



Manchmal zählt jeder tausendstel Millimeter – etwa bei Bauteilen für die Automobil- oder Luftfahrtindustrie. Die digitale Holographie wäre geeignet zu prüfen, ob ein Bauteil fehlerfrei und maßhaltig ist. Denn sie kann Gegenstände flächig auf Mikrometer genau vermessen. Allerdings hatte diese Methode bisher einige entscheidende Haken: Raue Objekte ließen sich nicht vermessen. Jede minimale Erschütterung stört. Zudem dauerte es mehrere Minuten. Kurzum: Die Methode war nicht für Produktionsumgebungen geeignet – und schon gar nicht für linienintegrierte Messungen während der Fertigung.

## Digitale Holographie im Produktionstakt

Drei Forscher des Fraunhofer IPM – Dr. Markus Fratz, Dr. Alexander Bertz und Dr. Tobias Beckmann – haben das Verfahren der digitalen Holographie nun aus dem Labor in die Produktion gebracht. »Wir konnten alle Nachteile beseitigen und haben damit erstmals ein System entwickelt, das eine Hundertprozent-Kontrolle in der Produktion erlaubt«, freut sich Beckmann, der das Projekt gemeinsam mit Fratz leitet. »Unser System kann zentimetergroße raue Objekte in Sekundenbruchteilen mikrometergenau erfassen und kompensiert dabei Störeinflüsse wie Erschütterungen.« Es ermöglicht somit erstmalig Messungen während der laufenden Produktion. Statt also wie bisher nur Stichproben zu nehmen, lässt sich nun jedes einzelne Teil auf Maßhaltigkeit und gleichzeitig auf winzigste Fehler überprüfen. Die Aufgabe, die die drei Forscher dabei lösten, war alles andere als einfach. »Die Fehlersuche ist in etwa so, als wolle man aus 300 Metern Höhe die 3D-Form eines 25 Meter hohen Fußballstadions so genau

vermessen, dass man den Fußabdruck eines Babys im Rasen findet – und das in Sekundenbruchteilen und auch dann, wenn das Stadion durch ein leichtes Erdbeben erschüttert wird«, verdeutlicht Fratz.

Dazu belichten die Forscher die Bauteile mit Laserwellen verschiedener Wellenlängen und verrechnen die Bilder mit intelligenten Algorithmen so schnell, dass die Teile innerhalb von Sekundenbruchteilen auf den Mikrometer genau vermessen werden können. »Für hochgenaue dreidimensionale Messungen ist unser System das weltweit schnellste, das am Markt verfügbar ist«, freut sich Bertz, Gruppenleiter am Fraunhofer IPM. Diese Schnelligkeit wiederum macht das System robust und vergleichsweise unempfindlich gegen Störeinflüsse wie Erschütterungen. Das ist ähnlich wie beim Fotografieren: Je kürzer die Belichtungszeit, desto weniger verwackelt das Bild.

Für die Werner Gießler GmbH – einen Mittelständler, der Komponenten für Dieseleinspritzanlagen herstellt – war das Verfahren eine Rettung. Das Unternehmen bekam von seinem Kunden Bosch den Auftrag, statt 6,5 Millionen Bauteilen pro Jahr künftig 10 Millionen zu liefern, und zwar ohne ein einziges fehlerhaftes Teil. Mit der bisherigen Sichtprüfung war das ein Ding der Unmöglichkeit. Doch mithilfe der digitalen Holographie konnte der Mittelständler das Problem lösen und den Auftrag annehmen. »Ich bin nicht risikofreudig genug, um auf diese Technologie zu verzichten«, fasst Geschäftsführer Thomas Gießler zusammen. »Denn Firmen, die nicht gelernt haben, die Qualität ihrer Teile zu prüfen, gibt es bald nicht mehr.« ■

Das System kann zentimetergroße raue Objekte in Sekundenbruchteilen mikrometergenau erfassen.  
© Fraunhofer

Die Preisträger: Markus Fratz, Alexander Bertz und Tobias Beckmann (v.l.n.r.)  
© Fraunhofer, Piotr Banczerowski

# Abwasser effektiv reinigen

Mit keramischen Membranen können Abwässer effektiv gereinigt und aufbereitet werden. Dr. Ingolf Voigt, Dr.-Ing. Hannes Richter und Dipl.-Chem. Petra Puhlfürß vom Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Hermsdorf konnten die Trenngrenze dieser Membranen deutlich herabsetzen. Für die Entwicklung und industrielle Umsetzung der keramischen Nano-filtrationsmembran erhielten sie den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Text: Janine van Ackeren



Die Preisträger: Hannes Richter, Petra Puhlfürß und Ingolf Voigt (v.l.n.r.)  
© Fraunhofer, Piotr Banczerowski

Die keramischen Membranen erreichen erstmals eine molekulare Trenngrenze von 200 Dalton. Dadurch lassen sich Abwässer noch effizienter reinigen.  
© Fraunhofer IKTS

Die wachsende Weltbevölkerung und die zunehmende Industrialisierung treiben den Wasserverbrauch in die Höhe. In vielen Produktionsprozessen dient Wasser als Löse-, Reinigungs- und Kühlmittel oder zum Übertragen von Wärme. Es wird daher immer wichtiger, Abwässer aufzubereiten und wiederzuverwenden. Eine besonders effiziente Reinigung bieten keramische Membranen, da sie unerwünschte Stoffe nicht auf thermische, sondern auf mechanische Art und Weise – also ähnlich wie Kaffeefilter – abtrennen. Doch auch mit extrem feinporigen Membranen konnten bisher nur Moleküle zurückgehalten werden, die größer als 450 Dalton waren.

Dr. Ingolf Voigt, Dr.-Ing. Hannes Richter und Dipl.-Chem. Petra Puhlfürß vom Fraunhofer IKTS ist es gelungen, diese Grenze zu unterschreiten. »Mit unseren keramischen Membranen erreichen wir erstmals eine molekulare Trenngrenze von 200 Dalton – und erzielen damit eine ganz neue Qualität«, freut sich Ingolf Voigt, stellvertretender Institutsleiter des IKTS und Standortleiter in Hermsdorf.

Bisher galt es als unmöglich, Membranen mit so winzigen Poren herzustellen. »Über eine Weiterentwicklung der Sol-Gel-Technik ist uns dies gelungen«, sagt Hannes Richter, Abteilungsleiter am IKTS. »Die Poren unserer 50 Nanometer dicken Membran, die wir über das Sol-Gel-Verfahren herstellen, haben nahezu keine Größenverteilung.« Die zweite Hürde lag darin, solche Membranschichten defektfrei über größere Flächen herzustellen. »Während üblicherweise nur wenige Quadratzentimeter große Flächen beschichtet werden, haben wir eine Pilotanlage mit einer Membranfläche von 234 Qua-

dratmetern ausgerüstet – unsere Membran ist also mehrere Größenordnungen größer«, verdeutlicht Petra Puhlfürß, Wissenschaftlerin am IKTS. Ein Technologietransfer zur Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, einem weltweit führenden Hersteller von keramischen Membranen, ist geplant.

## Pilotanlage reinigt Abwasser bei der Ölförderung

Eine Pilotanlage für den Ölkonzern Shell reinigt seit 2016 Abwasser im kanadischen Alberta. Gebaut wurde sie von der Firma Andreas Junghans – Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG in Frankenberg. Bei der Ölgewinnung schmilzt heißes Wasser das im Sand enthaltene Bitumen – eine teerartige Masse. Heraus kommt ein Wasser-Öl-Gemisch, von dem sich das Öl größtenteils abtrennen lässt. Ein kleiner Ölrest jedoch verbleibt im Wasser. Mit der neuartigen Membran lässt sich dieses Abwasser nun effizient reinigen und wiederverwenden. »Die Pilotanlage verdeutlicht, dass ein Scale-up möglich ist und der schrittweise Transfer vom Labor in die Praxis gelungen ist«, sagt Ingolf Voigt, der gerade eine Produktionsanlage mit einer Membranfläche von mehr als 5000 Quadratmetern plant.

Da die Membrananlagen modular aufgebaut sind, können sie auch direkt in der industriellen Produktion eingesetzt werden. Abwasserströme lassen sich direkt im Prozess filtrieren und zurückführen. Der große Vorteil dabei: Man spart nicht nur Wasser, sondern auch Energie, wenn das Wasser nicht wieder aufgeheizt werden muss. ■

# Telefonieren mit glasklarem Klang

Smartphones sind wahre Alleskönner. Eines ist jedoch nach wie vor recht dürftig: die Sprachqualität beim Telefonieren. Ein neuer Codec, an dessen Entwicklung Forscher des Fraunhofer IIS maßgeblich beteiligt waren, soll dies nun ändern. Er hebt die Sprachqualität auf eine neue Stufe – die Worte des Telefonpartners klingen so natürlich, als würde er neben einem stehen.

Text: Janine van Ackeren



Blechern dröhnt die Musik der Warteschleife aus dem Lautsprecher des Smartphones. Und hat man endlich einen menschlichen Gesprächspartner an der Strippe, klingt die Stimme dumpf und verzerrt. Während die meisten Anwendungen des Smartphones große Entwicklungssprünge gemacht haben, verharrt die Sprachübertragung seit Jahren auf dem gleichen Stand.

## Klar und natürlich statt dumpf und verzerrt

Der neue Standard Enhanced Voice Services, kurz EVS, soll das künftig ändern: Statt dumpf und verzerrt, hört man die Stimme des Telefonpartners so klar und natürlich wie im direkten Gespräch. Angestoßen und entwickelt wurde der Codec vom internationalen Gremium für Mobilfunkstandardisierung 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Daran maßgeblich beteiligt war ein Team von über 50 Wissenschaftlern und Ingenieuren des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. Stellvertretend für das Team erhielten Dipl.-Ing. Markus Multrus, Dr. Guillaume Fuchs und Dipl.-Ing. Stefan Döhla den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Die Anforderungen an einen solchen Standard sind hoch. »Die Grundvoraussetzung besteht zunächst einmal darin, Sprache in guter Qualität zu übertragen – und zwar bei niedrigen Datenraten, sodass die Übertragung wirtschaftlich bleibt«, sagt Markus Multrus, der am IIS die Software-Entwicklung für den Codec koordiniert hat. Zudem sollte der Codec robust gegenüber Fehlern bei der Übertragung sein.

Und schließlich sollte der Codec auch andere Signale wie etwa Musik in guter Klangqualität übertragen. Das ist jedoch alles andere als einfach, schließlich sind Sprach- und Audio-codierung zwei verschiedene Welten.

## Erstmals wird das gesamte hörbare Frequenzspektrum übertragen

»Das menschliche Ohr nimmt Frequenzen bis etwa 20 Kilohertz wahr«, erläutert Guillaume Fuchs, der die wissenschaftliche Entwicklung von EVS vorangetrieben hat. »Der Codec, über den in Deutschland momentan die meisten Telefongespräche im Mobilfunknetz laufen, übermittelt nur Tonsignale bis 3,4 Kilohertz – der Bereich zwischen 3,4 und 20 Kilohertz wird schlichtweg abgeschnitten. Daher klingt die Stimme dumpf. Der neue Codec überträgt je nach Bitrate Frequenzen bis 16 beziehungsweise bis 20 Kilohertz.« Damit wird das komplette hörbare Frequenzspektrum übertragen.

Bevor ein neuer Codec jedoch als Standard gesetzt werden kann, muss er in weltweiten Hörtests mit mehreren Tausend Testpersonen bestehen. Das Ergebnis: Die Hörer beurteilten EVS als signifikant besser als die bisherigen Verfahren. Inzwischen ist der neue Codec in 3GPP standardisiert. Damit können ihn Chiphersteller auf die Mobilfunkchips übertragen und Geräteanbieter in ihre neuen Produkte integrieren. »In Japan, Korea, den USA und Deutschland wird EVS bereits kommerziell eingesetzt«, freut sich Stefan Döhla, der das IIS im Gremium vertritt. »Schätzungen zufolge sind bereits 50 bis 100 Millionen Geräte mit EVS ausgerüstet.« ■

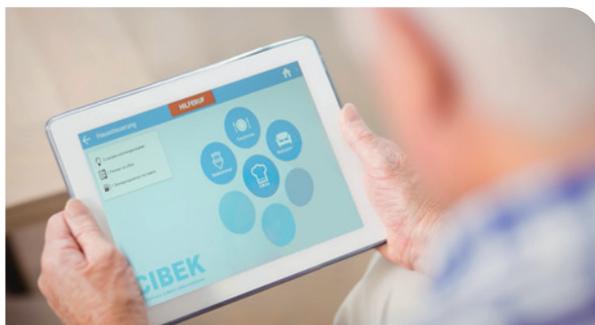
Die Preisträger: Markus Multrus, Guillaume Fuchs und Stefan Döhla (v.l.n.r.)  
© Fraunhofer, Piotr Banczerowski

Der EVS-Codec überträgt Sprache in glasklarer Qualität, damit hört sich ein Telefonat so an wie ein Gespräch im selben Raum.  
© Fraunhofer IIS

# Auch im Alter sicher leben – in den eigenen vier Wänden

Was tun, wenn man in seiner Wohnung stürzt? Viele ältere Menschen stellen sich diese und ähnliche Fragen, wünschen sich Sicherheit, ohne jedoch die eigenen vier Wände aufgeben zu müssen. Ein neues Technologiekonzept, das am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern entwickelt wurde, macht dies nun möglich – und wahrt zudem die Privatsphäre. Ein Kommunikationstool bindet Pflegeberatung mit ein und sorgt für soziale Integration.

Text: Janine van Ackeren



Über ein spezielles Video-Kommunikationstool können ältere Menschen direkt mit dem Pflegedienst und Angehörigen kommunizieren. © istock



Sicherheit? Auf jeden Fall – das gilt vor allem auch für ältere Menschen, die alleine in ihrer Wohnung leben. Doch Überwachung, nein. Kaum jemand möchte sich tagein, tagaus von Kameras beobachten lassen, auch wenn es nur die lieben Verwandten sind, die ständig in die Privatsphäre eindringen. Was also tun, wenn man in den eigenen vier Wänden bleiben möchte, andererseits aber auch sicher sein möchte, dass im Notfall schnellstens Hilfe herbeieilt?

Das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE hat gemeinsam mit dem Deutschen Institut für angewandte Pflegeforschung e.V. sowie der CIBEK technology + trading GmbH das System SUSI TD entwickelt, das Sicherheit und Privatsphäre miteinander kombiniert. Kameras und Co. sucht man in den damit ausgestatteten Wohnungen vergeblich. Die Personen werden weder beobachtet noch belauscht. »Unser System basiert auf nicht-invasiven Sensoren, vor allem auf Bewegungsmeldern, wie man sie auch von Lampen oder Alarmanlagen kennt, sowie auf Berührungssensoren an oft benutzten Schubladen oder am Kühlschrank«, erläutert Rolf van Lengen, Abteilungsleiter am IESE. Aus den Sensordaten zieht das System Rückschlüsse, was die Person gerade tut: Macht sie sich beispielsweise Frühstück? Das System kann also nicht nur erkennen, ob die Person Hilfe braucht, sondern es lernt auch, die wiederkehrenden Handlungen zu identifi-

zieren. Wandert jemand nachts in der Küche herum, könnte dies ein erster Hinweis auf eine Demenz sein; werden die Wege langsamer, kann unter Umständen eine Parkinson-Erkrankung dahinterstecken.

Schutz der Privatsphäre steht an oberster Stelle: Die Daten bleiben in der Wohnung und werden auch dort ausgewertet. Weicht das Verhalten des Menschen von seinem üblichen ab – steht er etwa nicht wie gewohnt um acht Uhr auf –, schickt das System eine entsprechende Meldung an die Pflegedienststelle oder den Pflegestützpunkt. Details enthalten diese Meldungen nicht, auch werden keine Namen genannt, sondern nur Identitätsnummern. Geht eine solche Meldung bei der Pflegedienststelle ein, schauen die Mitarbeiter nach, wer sich hinter der Identitätsnummer verbirgt und fragen bei der entsprechenden Person nach, ob alles in Ordnung ist.

### Direkter Draht zu Angeboten der Pflegestützpunkte

Die Sicherheit ist allerdings nur eine Aufgabe, die SUSI TD erfüllt. Ebenso wichtig ist es, die selbstständige Lebensführung sowie die soziale Integration der älteren Menschen zu fördern – durch Beratung: Was können sie für ihre Gesundheit und einen gelungenen Alltag tun? Welcher Ansprechpartner steht bei solchen Problemen zur Verfügung? Der persönliche Kontakt liegt Anne Gebert vom Deutschen Institut für angewandte Pflegeforschung e.V. besonders am Herzen. »Über ein Video-Kommunikationstool können die Personen via Touchscreen direkt mit den Beratern der Pflegestützpunkte sprechen. Die Berater können die Menschen somit noch besser begleiten, als dies alleine durch gelegentliche Hausbesuche möglich ist«, sagt sie. Und nicht nur das: Über das Kommunikationstool können sie auch Freunde und Familienangehörige kontaktieren, Spiele miteinander spielen oder Fotos und Bilder austauschen.

Ein zentraler Leitgedanke bei der Entwicklung des Konzeptes lag darin, keine neuen oder Doppelstrukturen zu schaffen, sondern mit den Akteuren, die bereits vor Ort tätig sind, zusammenzuarbeiten – also mit den Pflegestützpunkten und ambulanten Dienstleistern.

### Enge Rückkopplung mit Testpersonen

Essenziell für die Entwicklung eines solchen Systems ist es, die Bedürfnisse der Nutzer im Blick zu haben – und nicht an ihren Wünschen vorbeizuplanen. Die Forscher haben daher zunächst 18 Wohnungen im Raum Trier mit den Sensoren ausgestattet, die betroffenen Menschen immer wieder besucht und ihre Geschichten, Wünsche und Bedürfnisse abgefragt und einbezogen.

Für die Entwicklung von SUSI TD erhielten Cornelius Moucha, Mario Schmitt und Rolf van Lengen vom Fraunhofer-Institut

für Experimentelles Software Engineering IESE, Anne Gebert vom Deutschen Institut für angewandte Pflegeforschung e.V. und Bernd Klein von der CIBEK technology + trading GmbH den diesjährigen Joseph-von-Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen«. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit »dem besonderen Wert, der neben der technischen Umsetzung auf die ethischen Gesichtspunkte gelegt wurde«.

Die Erkenntnisse von SUSI TD werden nun im Modellprojekt STuDi »Smart Home Technik und Dienstleistung für ein unabhängiges Leben zu Hause« in die Fläche getragen. Es wird vom gleichen Projektteam in Trier und Umgebung durchgeführt und, wie bereits SUSI TD, vom Ministerium für Soziales, Arbeit, Gesundheit und Demografie des Landes Rheinland-Pfalz gefördert. »100 Haushalte werden wir in Trier und Umgebung mit dem STuDi-System ausstatten«, kündigte



Entwickelt wurde das System von Cornelius Moucha, Rolf van Lengen, Anne Gebert, Bernd Klein und Mario Schmitt (v.l.n.r.)  
© Fraunhofer, Piotr Banczerowski

der Gesamtprojektleiter Konstantin Holl an. Ziel ist es, das zu ermöglichen, was sich die meisten älteren Menschen wünschen: so lange wie möglich in der eigenen Wohnung unabhängig zu leben. Dazu kombiniert STuDi eine Smart-Home-Plattform mit einem präventiven Beratungsangebot.

Während der Erprobung wird die Anbindung an die vorhandene Hilfe- und Pflegeinfrastruktur geschaffen. Damit wird der Grundstein für eine langfristige Zusammenarbeit mit Technikpartnern, Kostenträgern und regionalen Akteuren gelegt. Gleichzeitig werden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer von erfahrenen Pflegeberaterinnen und -beratern individuell und persönlich betreut und während der Projektlaufzeit begleitet. ■

# Gigant mit drei Blättern



Seit Kurzem steht in Bremerhaven das größte Windrad der Welt. Der Prototyp, betrieben vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, wird wichtige Messdaten liefern, um die Offshore-Windparks der Zukunft wirtschaftlicher und zuverlässiger zu bauen.

Text: Frank Grotelüschen

Gleichmäßig drehen sich die drei Rotorblätter im Wind. Immer dann, wenn eines von ihnen senkrecht nach oben zeigt, streckt sich die Windenergieanlage auf 205 Meter – fast 50 Meter höher als der Kölner Dom. »Es ist die größte rotierende Maschine, die die Menschheit je gebaut hat«, sagt Prof. Andreas Reuter, Leiter des Fraunhofer IWES. »Die Gondel hat die Ausmaße eines Mehrfamilienhauses, und in die Rotorblätter kann man 50 Meter weit hineinlaufen, ohne den Kopf einziehen zu müssen.«

Der Riese namens »Adwen AD 8-180« ist das jüngste Großprojekt des Fraunhofer IWES. Seit Juli steht er auf dem ehemaligen Flugplatz von Bremerhaven und liefert Strom. Mit seiner Leistung von acht Megawatt kann er bei gutem Wind rund 15 000 Haushalte mit Strom versorgen. Die Firma Adwen hat den Prototyp gebaut, das Bundeswirtschaftsministerium hat die Einrichtung eines Testfeldes mit 18,5 Millionen Euro unterstützt. Mit seinem Rotordurchmesser von 180 Metern – etwa der doppelten Spannweite eines Airbus 380 – ist der Prototyp das derzeit größte Windrad der Welt, beachtliche 16 Meter größer als der bisherige Rekordhalter. Nach der Instrumentierung mit zahlreichen Sensoren wird die Anlage den Fraunhofer-Forschern wichtige Daten liefern: Wie lassen sich solche Giganten am effektivsten betreiben, wie gestaltet sich ihr Wechselspiel mit dem Stromnetz?

Windenergieanlagen wie die AD 8-180 sind für den Einsatz auf hoher See konzipiert. »Offshore sind die Riesen besonders wirtschaftlich«, sagt Reuter. »Denn der Aufwand für Transport, Montage und Netzanbindung ist für große Turbinen kaum größer als für kleine, und durch ihre höhere Leistung bringen sie mehr Ertrag.« Der Trend weist stetig aufwärts: Hatten die ersten Offshore-Turbinen Anfang der 2000er-Jahre

noch eine Nennleistung von zwei Megawatt, schaffen die aktuellen Modelle fünf bis sechs. Nun wagen die Hersteller den Schritt zur nächsten Generation – Anlagen im Leistungsbereich von acht Megawatt.

Für diese Generation ist die AD 8-180 ein wichtiger Prototyp. Um die Anlage leicht zugänglich zu halten, wurde sie, wie in der Branche üblich, nicht auf hoher See platziert. Stattdessen steht sie an Land in Bremerhaven, nur wenige hundert Meter entfernt von einer anderen IWES-Einrichtung, dem Gondelprüfstand DyNaLab. Hier hatten die Ingenieure den Antriebsstrang der AD 8-180 zuvor auf Herz und Nieren getestet. Ein Jahr lang hatten wuchtige Elektromotoren und Hydraulikstempel an der 777 Tonnen schweren Struktur gedrückt und gedreht – und manche Extremsituation simuliert, zum Beispiel heftige Stöße durch Sturmböen.

Jetzt steht die Anlage auf einem 1700-Kubikmeter-Betonfundament im Fischereihafen und lässt sich unter realen Bedingungen testen – bei lauen Lüftchen ebenso wie bei starkem Wind. »Die Resultate dieses Feldtests wollen wir detailliert mit den Ergebnissen vergleichen, die vorher im Prüfstand herausgekommen sind«, erläutert Reuter. »Dadurch können wir die Qualität der DyNaLab-Tests checken und verbessern.« Je realitätsgetreuer die Resultate aus dem Prüfstand sind, umso besser können sie langwierige und kostspielige Feldtests ergänzen oder sogar ersetzen. Das hat für Hersteller den Vorteil, dass sie die für die Zertifizierung erforderlichen Tests schneller und besser planbar durchlaufen können. Dadurch erreichen neue Anlagentypen früher die Marktreife – ein entscheidender Vorteil angesichts des hohen Innovationsdrucks der globalisierten Windenergieindustrie.

### Wie reagiert der Riese auf Starkwind?

Um möglichst viele Daten aus der AD 8-180 herauszuholen, wird der Prototyp von oben bis unten mit Sensoren bestückt. Ein IWES-Expertenteam für akkreditierte Feldmessungen nach internationalen Vorgaben ermittelt damit mechanische Spannungen und Dehnungen in Turm, Generator und Rotorblättern, aber auch Temperaturen und Schwingungen, elektrische Spannungen und Ströme. Außerdem wird vor der Anlage ein Messmast aufgebaut, ausgestattet mit verschiedenen Windmessgeräten, zum Teil auf Laserbasis. Sie können präzise erfassen, wie viel Wind in jedem Augenblick auf die Anlage einwirkt. Simultan misst die Sensorik des Prototyps, wie er auf die jeweilige Situation reagiert – auf heftige Böen ebenso wie auf stetigen Starkwind.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt: die Netzverträglichkeit. »Gerade große Windenergieanlagen können einen massiven Einfluss aufs Stromnetz haben«, sagt Andreas Reuter. »Und je mehr Windstrom eingespeist wird, umso besser muss man verstehen, wie er sich aufs Netz auswirkt.« Um die Netzver-

Mit einer Höhe von über 200 Metern bis zur Blattspitze prägt der Prototyp des Windrads die Skyline von Bremerhaven. © Adwen



Um gute Zugänglichkeit zu gewährleisten, steht die für den Offshore-Einsatz konzipierte Forschungsanlage an Land.  
© Adwen

träglichkeit detailliert zu untersuchen, führt eine Stromleitung vom neuen Riesenwindrad zum DyNaLab. Dadurch sind beide in einem gemeinsamen virtuellen Netz miteinander verbunden. In den letzten Jahren haben die Fraunhofer-Experten bereits neue Methoden entwickelt, mit denen sich die Netzverträglichkeit im Prüfstand schneller untersuchen lässt. Diese Laborverfahren wollen die Fachleute nun mit den Daten der AD 8-180 abgleichen – und dadurch die mehrere Monate dauernden Tests noch aussagekräftiger machen.

#### Forschungsplattform für neue Konzepte

Umgekehrt reagieren auch die Windturbinen auf Schwankungen und Fehler im Netz, im Extremfall können unvermittelte Netzschwankungen sogar Bauteile in der Anlage beschädigen. Um diese Gefahren auszuloten, provozieren die Fachleute künstliche Netzfehler und schauen nach, wie der Prototyp darauf reagiert. »In einem öffentlichen Netz lassen sich solche Tests nur schlecht machen«, erläutert Reuter. »Dagegen können wir in unserem virtuellen Netz Fehler simulieren, ohne dass in der Nachbarschaft die Rechner abstürzen.«

Auf lange Sicht soll die AD 8-180 auch als Forschungsplattform dienen, um innovative Betriebskonzepte zu erproben.

Vorbereitung des Abtransports einer Großkomponente zum Baufeld. © Adwen



Beim Test im Fraunhofer Dynamic Nacelle Testing Laboratory werden die Lasten von der Rotorseite wie auch Netzschwankungen simuliert. © Adwen

Insbesondere Zulieferer interessieren sich für Kooperationsprojekte. Die Erkenntnisse sollen helfen, Offshore-Windenergieanlagen noch wirtschaftlicher betreiben zu können und das Design weiter zu verbessern.

Noch ist der Gigant aus Bremerhaven die derzeit größte Windenergieanlage der Welt. Aber: »Ich gehe davon aus, dass dieser Rekord nicht lange hält«, meint Andreas Reuter. Denn der Trend geht zu noch größeren und leistungstärkeren Turbinen. Die Hersteller von Offshore-Windenergieanlagen tüfteln bereits an Modellen in der Leistungsklasse zwischen zehn und zwölf Megawatt mit Rotordurchmessern von mehr als 200 Metern. Erste Prototypen werden in ein bis zwei Jahren erwartet.

Danach aber könnten die Grenzen des Größenwachstums erreicht sein. Bereits bei den kommenden Riesen bewegt sich die Branche am Limit des technologisch Machbaren und an den Belastungsgrenzen der Materialien. »Anlagen mit einer Leistung von 15 Megawatt dürften zwar noch kommen«, glaubt Reuter. »Doch ich kann mir kaum vorstellen, dass man in absehbarer Zeit Rotorblätter baut, die deutlich länger sind als 100 Meter.« Die nämlich drohen schlicht unter ihrem Eigengewicht zusammenzubrechen. ■

# Strom aus Elastomerfolien

Wasser ist ein bedeutender erneuerbarer Energieträger. Fraunhofer-Forscher entwickeln neuartige Elastomermaterialien, die die mechanische Energie von Wasserströmungen in kleinen Flüssen direkt in elektrische Energie umwandeln – eine umweltschonende Alternative zu konventionellen Kleinstwasserkraftwerken.

Text: Britta Widmann

Einen innovativen Ansatz zur regenerativen Stromerzeugung verfolgt das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC im Projekt DEGREEEN, kurz für »Dielektrische Elastomergeneratoren für regenerative Energien«, und setzt dabei auf Wasserkraft: Die Würzburger Forscher nutzen extrem dehnbare, hauchdünne Elastomerfolien, die wie ein Kondensator funktionieren. Die Folien aus Silikon sind beidseitig mit einer elastischen leitfähigen Schicht sowie einer isolierenden Schutzschicht versehen. In kleinen Flüssen und Bächen installiert, wird durch einen Wechselzyklus aus Dehnung und Entspannung die mechanische Bewegungsenergie des Wassers direkt in elektrische Energie umgewandelt.

Doch wie gelingt die periodische Dehnung der Folien? Hierfür haben Dr. Bernhard Brunner, Projektleiter am ISC, und sein Team ein pfiffiges mechanisches Anregungskonzept umgesetzt: Strömt Wasser durch ein verengtes Rohr, entsteht in diesem ein Luftunterdruck – auch Venturi-Effekt genannt –, durch den die Elastomerfolie gedehnt wird. Der Unterdruck wird durch Öffnen eines Belüftungsventils ausgeglichen, was die Elastomerfolie wieder in den ungedehnten Zustand versetzt. Der Clou: Das Ventil ist selbststeuernd, es öffnet und schließt sich selbsttätig ohne den Einfluss von Elektronik und Strom.

Die weiche Folie wird in gedehntem Zustand durch das Anlegen einer elektrischen Spannung geladen. Anschließend fällt sie wieder in den ursprünglichen, entspannten Zustand zurück. »In diesem Zustand ist jetzt eine höhere elektrische Energie aufgebracht, die wir über eine Schaltung quasi absaugen. Dieser Kreisprozess aus Spannung und Entspannung erfolgt einmal pro Sekunde«, erläutert Brunner.



Feldversuch mit DEGREEEN-Generatoren in einem Fließgewässer. Die Anregung der Silikonmembranen erfolgt über den Unterdruck in den wasserdurchströmten Venturi-Rohren unter dem Floß.  
© Fraunhofer ISC

»Legen wir eine Spannung von 4000 Volt an, können wir bei jeder Dehnung eine elektrische Leistung von 100 Milliwatt pro Folie erzeugen.«

## Idealer Standort: Bäche und kleine Flüsse

Durch Ändern des Foliendurchmessers können die Forscher den Druck variieren. Dadurch kann der Generator an die Strömungsgeschwindigkeiten der Gewässer angepasst werden. Das komplette System ist modular aufgebaut, auch der Rohrdurchmesser lässt sich verändern. Ein großer Vorteil des Konzepts besteht darin, dass die Fließenergie des Wassers genutzt wird. So ist man nicht auf große Wassertiefen angewiesen. Die Elastomergeneratoren eignen sich vor allem für kleine Flüsse und funktionieren schon bei Wassergeschwindigkeiten ab 0,5 Metern pro Sekunde und bei Wassertiefen von 0,5 Metern.

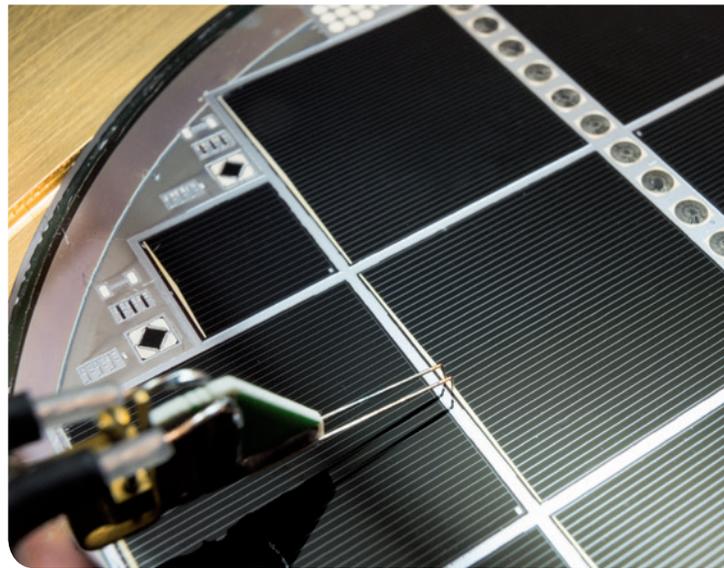
»In Bayern gibt es kleinste Flüsse mit einer Gesamtlänge von 30 000 Kilometern, in denen sich unser von Wind und Sonne unabhängiges System optimal einsetzen ließe. Würden wir 1000 unserer Anlagen installieren, könnten wir die Energiewende in Bayern entscheidend unterstützen«, sagt Brunner. Eine Gesamtleistung von 876 MWh pro Jahr könnte in das Netz eingespeist werden. Auch Österreich und die Schweiz mit ihren kleinen Gebirgswasserläufen sowie Entwicklungsländer würden von dem neuartigen mechanischen Anregungskonzept profitieren.

Die Elastomergeneratoren sind so ausgelegt, dass sie in flachen und kleinen Gewässern ohne Querbauwerke geräuschlos betrieben werden können. Sie eignen sich beispielsweise für die dezentrale Stromversorgung von Campingplätzen oder abgelegenen Siedlungen, die direkt an Gewässern liegen. ■

# Solarzellen – im Tandem in neue Dimensionen

Die Photovoltaik ist technisch und wirtschaftlich weltweit auf dem Siegeszug. Zusammen mit der Windenergie wird sie ein Grundpfeiler der klimafreundlichen Energieversorgung der Zukunft sein. In der Forschung baut Deutschland seine Spitzenposition aus. Ziel ist es, mit einer neuen Technologiegeneration auch die Produktion wieder nach Europa zurückzuholen.

Text: Franz Müller



Tandemsolarzelle auf Siliziumbasis mit 31,3 Prozent Rekord-Wirkungsgrad.  
© Fraunhofer ISE, A. Wekkeli

Weltweit boomt der Photovoltaikmarkt, und auch in Deutschland werden nach dem Rückgang in den vergangenen Jahren endlich wieder mehr Solaranlagen installiert. In den vergangenen 15 Jahren wuchs der weltweite Photovoltaikmarkt um jährlich mehr als 30 Prozent. Gleichzeitig gingen die Kosten für PV-Module um mehr als 80 Prozent zurück. »Durch den technischen Fortschritt und die Skaleneffekte in der Massenproduktion hat die Photovoltaik in den letzten Jahren eine nicht für möglich gehaltene Kostenreduktion bei den Stromgestehungskosten erreicht«, betont Dr. Andreas Bett, seit Juli 2017 gemeinsam mit Prof. Hans-Martin Henning Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg.

Deutschland war einst der Vorreiter, heute ist China nicht nur der größte Hersteller, sondern auch der größte Markt für Photovoltaik. In den vergangenen Jahren haben die chinesischen Hersteller den Weltmarkt mit Modulen zu Dumpingpreisen überflutet, sodass auch der letzte große deutsche Hersteller in die Insolvenz

gezwungen wurde. Das scheint noch erklärbar, dass aber die Nachfrage in Deutschland so einbrach, ist schwer zu verstehen. »Es ist die große Ironie der solaren Erfolgsgeschichte in Deutschland, dass sie just in dem Moment zu Ende ging, als die Photovoltaik die Grid Parity unterschritt, also in den Gestehungskosten ohne jede Förderung billiger war als der Strompreis beim End- und vielen Gewerbekunden. Photovoltaik hat sich in Deutschland immer gelohnt und lohnt sich gerade wieder ganz besonders, denn Solarstrom ist so billig wie nie zuvor«, rechnet Andreas Bett vor. »Kraftwerke in der Freifläche erreichen heute in Deutschland Gestehungskosten unter 6 Eurocent/kWh. Das ist vergleichbar mit neuen Kohlekraftwerken. Endkunden können bei Aufdachanlagen mit 8 bis 12 Eurocent/kWh rechnen.«

## Kosten senken, Wirkungsgrad steigern

Und er ist sich sicher, dass das Potenzial für weitere Kostensenkungen noch längst nicht aus-

geschöpft ist. Denn es gelingt, den Wirkungsgrad kontinuierlich zu steigern und innovative Technologien in die industrielle Fertigung zu überführen. Das ISE unterstreicht seine weltweite Spitzenposition in der Photovoltaik stets von Neuem durch Weltrekordwirkungsgrade bei verschiedenen Zelltypen. Jetzt schraubte es den Rekord für multikristalline Siliziumsolarzellen auf 22,3 Prozent.

Das zeigt, die Siliziumtechnologie ermöglicht – trotz der bereits kostengünstigen industriellen Produktion – immer noch deutliche Fortschritte. So gelingt es, die Kosten der PV-generierten Kilowattstunde kontinuierlich zu senken.

Nach wie vor dominiert kristallines Silizium mit einem Anteil von über 90 Prozent den weltweiten Photovoltaikmarkt. Multikristallines Silizium hat derzeit mit rund 57 Prozent Marktanteil den größten Anteil an der Solarmodulproduktion weltweit und ist damit das Arbeitspferd der Branche. Mit dem etwas teureren monokristallinen Silizium sind höhere Wirkungsgrade



Dr. Andreas Bett und Prof. Dr. Hans-Martin Henning leiten seit Juli 2017 das größte europäische Solarforschungsinstitut. © Fraunhofer ISE

erreichbar als mit dem multikristallinen Material. In diesem Jahr hat das japanische Unternehmen KANEKA Corporation den Labor-Wirkungsgrad für eine monokristalline Siliziumsolarzelle auf den Weltrekord von 26,7 Prozent gesteigert. Das ISE liegt hier mit 25,8 Prozent dicht dahinter. Durch die Steigerungen bei monokristallinen Zellen wurde der Effizienznachteil des multikristallinen Siliziums immer größer.

Daher war es den Freiburger Forschern ein wichtiges Anliegen, ihren erst vor wenigen Monaten aufgestellten Weltrekordwirkungsgrad für multikristallines Silizium noch einmal auf jetzt 22,3 Prozent zu steigern und so die Wirkungsgradlücke zum monokristallinen Silizium wieder zu verkleinern. Ermöglicht wurde der Erfolg durch die Verwendung von hochreinem Silizium des Projektpartners Wacker, die Modifizierung der Oberfläche durch eine optimierte Plasmatextur sowie eine neuartige Technologie der Rückseitenkontaktierung. Bei der am ISE entwickelten »Tunnel Oxide Passivated Contact«-Technologie (TOPCon) werden

die elektrischen Kontakte strukturierungsfrei auf einer leitfähig passivierten Oberfläche der Solarzelle angebracht. Dadurch lassen sich Ladungsverluste reduzieren und Strom deutlich effizienter gewinnen.

Und das Potenzial der Siliziumsolarzellen ist noch nicht ausgereizt. Erst bei 29,4 Prozent ist die physikalische Grenze erreicht. Um darüber hinauszukommen, muss die Siliziumzelle mit anderen Zellen kombiniert werden, die weitere Bereiche des Sonnenlichts umwandeln. Das ISE hat kürzlich den Rekordwert für eine siliziumbasierte Mehrfachsolarzelle auf jetzt 31,3 Prozent Wirkungsgrad verbessert.

Das ISE hält auch den absoluten Weltrekord für die Konversion von Sonnenenergie in elektrische Energie. Mit einer Vierfachzelle auf Basis der III-V-Halbleiter erreichten die Forscher einen Wirkungsgrad von 46,1 Prozent. Derartige höchsteffiziente Mehrfachsolarzellen werden im Weltraum oder in Konzentratorsystemen eingesetzt.

### Tandemsolarzellen auf Siliziumbasis

Das ISE hat langjährige Erfahrung sowohl mit den III-IV-Halbleitern wie auch mit der Siliziumtechnologie. Deshalb ist es auch führend in der Technologie, beide Zellkonzepte miteinander zu kombinieren. Bereichsleiter Prof. Stefan Glunz ist überzeugt, »mit Tandemsolarzellen in neue Dimensionen vorstoßen zu können. Mit den gut etablierten III-V-Halbleitern können bereits heute sehr effiziente Tandemsolarzellen hergestellt werden und wir haben Wirkungsgrade über 30 Prozent erreicht. Perowskit-Silizium-Tandemzellen könnten bei einer erfolgreichen Umsetzung den Vorteil niedrigerer Herstellungskosten haben.«

Perowskit-Solarzellen sind die Überraschung der vergangenen Jahre. Der Wirkungsgrad konnte innerhalb kürzester Zeit auf 21 Prozent gesteigert werden. Es gibt bisher kein anderes Photovoltaik-Material, das solch schnelle Fortschritte erzielen konnte. Perowskit wäre eine

ideale Ergänzung zum Silizium, denn es wandelt die Wellenlängenbereiche des Lichts in Strom um, die Silizium wenig nutzen kann. Ein weiterer Vorteil ist: Das Material kann wie Dünnschichtzellen aufgedampft oder wie organische Solarzellen aus einer Lösung heraus mit einfachen Druckverfahren aufgetragen werden. »Bei den Perowskiten kann man sich gut vorstellen, dass es sehr, sehr kostengünstig wird, aber vor einer industriellen Produktion muss noch eine ganze Reihe von Problemen gelöst werden«, gibt Stefan Glunz zu bedenken. Das sind vor allem Probleme der Langzeitstabilität und des Ersatzes von Blei, das im Kristallgitter enthalten ist. Die Verwendung des giftigen Schwermetalls in Solarzellen ist in Europa nämlich verboten.

»Beide Entwicklungen sind für uns sehr wichtig, da siliziumbasierte Tandemzellen die Chance bieten, die bisher sehr erfolgreiche Entwicklung der Silizium-Photovoltaik auch in Zukunft weiterzuführen«, sagt Stefan Glunz. Für ihn ist damit auch die Frage geklärt, was auf die Siliziumzelle folgt: Es ist die siliziumbasierte Tandemzelle mit höheren Wirkungsgraden.

»Kein Institut weltweit hat bessere Voraussetzungen, diese Herausforderungen anzugehen«, ist Andreas Bett überzeugt. »Daher investieren wir und bauen ein neues Zentrum für hochsteffiziente Solarzellen mit optimierter Reinraumausstattung. Es bietet uns die Möglichkeit, in der Effizienz- und Kostenoptimierung noch weiter zu kommen. Die erfolgreichen Ergebnisse bei der Steigerung der Solarzelleneffizienz zeigen nämlich nicht nur unsere Stärke in der Forschung, sondern weisen auch den Weg für den Einstieg Europas in eine Weltmarkt-relevante Produktion der nächsten Technologiegeneration.«

### Produktion auch in Europa wirtschaftlich

Denn das ist die gute Nachricht: »Photovoltaik kann wegen ihres hohen Automatisierungsgrads in Deutschland und Europa zu ähnlichen Kosten produziert werden wie in China, wenn die Einkaufspreise für das Material gleich sind. Und die hängen von der Menge ab«, sagt Andreas Bett, der allerdings weiß, wie schwierig es – ohne politischen Rückhalt – derzeit ist, einen Investor für eine Produktion von ein bis zwei Gigawatt zu finden.



Beidseitig kontaktierte Siliziumsolarzelle mit TOPCon-Technologie, 25,1 Prozent Weltrekord-Wirkungsgrad. © Fraunhofer ISE

Mit einer solchen Fabrik könnte Europa seine Rolle als Technologiemoor zurückgewinnen: Noch kommen die meisten Maschinen- und Anlagen sowie viele Materialien für die Photovoltaik aus Deutschland. »Der Weltmarkt wächst weiter so rasant, dass mittelfristig neue Fabriken mit der modernsten Technologie benötigt werden«, sagt Andreas Bett. »Wir könnten jetzt die Fertigung mit Technologien von morgen aufbauen und dann wieder stark auf dem Weltmarkt sein, wenn die heute führenden Produktionsanlagen alt geworden sind – spätestens in fünf Jahren!«

Deutschland wird nicht an dem Ausbau der Photovoltaik vorbeikommen, wenn es die Ziele der Klimaverbindungen und der Energiewende erreichen will. »Die Ergebnisse unserer Energiesystemanalysen mit Blick auf eine kostenoptimierte Umsetzung der Energiewende zeigen deutlich, dass die Photovoltaik zusammen mit der Windenergie die tragende Säule unserer künftigen Energieversorgung sein wird,« sagt Prof. Hans-Martin Henning. Daher ist die technologische Weiterentwicklung der Photovoltaik unerlässlich.

»Die Transformation unseres Energiesystems tritt nun in eine neue Phase, die nur mit einer umfassenden Systemintegration der erneuerbaren Energien und deren Nutzung in allen Verbrauchssektoren gelingen wird«, gibt Hans-Martin Henning zu bedenken. Er war federführend bei der Entwicklung von Rechenmodellen zur Simulation komplexer Energiesysteme und richtungsweisenden Untersuchungen zur zukünftigen Energieversorgung Deutschlands beteiligt.

Seine Forschungsschwerpunkte ergänzen sich in idealer Weise mit der Solarzellenforschung, denn »in Zukunft gewinnen systemische Fragen eine noch stärkere Bedeutung«. Dazu zählt er neben Effizienztechnologien und der Systemintegration auch die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr – das umfasst auch Speichertechniken, Wasserstofftechnologie, Solarthermie, Gebäudeenergie-technik und Leistungselektronik. All diese Bausteine müssen für ein funktionierendes Energiesystem der Zukunft entwickelt werden. ■

## Mehr Sicherheit bei Pedelecs

Ansprechpartner: marco.jackel@lbf.fraunhofer.de

Jedes siebte verkaufte Rad ist mittlerweile ein Pedelec. Aber entsprechen deren Prüfkriterien tatsächlich den harten Anforderungen des Alltags? Um der Frage auf den Grund zu gehen, startete die Zweirad Einkaufsgenossenschaft (ZEG) das Forschungs- und Entwicklungsprojekt »Qualitätsinitiative E-Bikes«. Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF ist wissenschaftlicher Partner.

Ergebnis: Die geltenden Normen zur Prüfung der Festigkeit und Fahrsicherheit sind wissenschaftlich nicht immer belastbar. So werden beispielsweise Lauflistung oder zulässiges Gesamtgewicht, außer bei der Bremsprüfung, nicht berücksichtigt. Fahrdynamische Effekte wie das Lenkerflattern werden auch nicht beachtet. »Für Hersteller bieten die aktuell geltenden Normen und Richtlinien keine ausreichende Vorgabe, um Pedelecs nach dem Stand von Wissenschaft und Technik mechanisch zu prüfen. Die Normen können den Herstellern als Leitfaden dienen, jedoch zweifeln wir an, dass die dort beschriebenen Prüfungen eine anspruchsvolle Nutzung durch den Kunden ausreichend abdecken«, betont Marco Jackel vom Fraunhofer LBF.

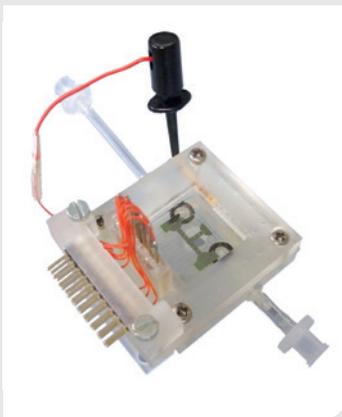
Um herauszufinden, wie hoch die Belastung von Pedelecs in der Praxis ist, haben die Forscher im Projektteam zusammen mit der ZEG Nutzertypen definiert und deren Fahrgewohnheiten untersucht. In einer umfangreichen Messkampagne und darauf basierenden Nutzungssimulationen wurden Vorschläge zur Anpassung der bestehenden Pedelec Prüfnormen erarbeitet. Außerdem führten die Forscher Untersuchungen durch, wie das Lenkerflattern auf einem Prüfstand simuliert und bewertet werden kann.

Die Messgeräte am MTB-Pedelec erfassen die Betriebslasten an Sattel, Lenker, Gabel, Pedalen und Bremsen.  
© Fraunhofer LBF



## Die Interaktion von Wirkstoffen besser verstehen

Ansprechpartner: Lorenz Sparrenberg, lorenz.sparrenberg@fit.fraunhofer.de



Das EWOD besteht aus mehreren Elektroden, mit denen sich die Tröpfchen steuern lassen. © Fraunhofer FIT

In der Pharmazie ist es wichtig zu begreifen, wie ein Wirkstoff mit körpereigenen Stoffen reagiert. Doch bisher sind nur Messungen nach Ablauf der Reaktion möglich – wie die Interaktion genau vonstattengeht, ist unklar. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT haben eine Technik entwickelt, mit der sich chemische Reaktionen von Anfang bis Ende auf Einzelmolekülniveau beobachten lassen.

Das innovative »Elektrowetting-on-Dielectric-System EWOD« basiert auf dem physikalischen Prinzip der Elektrobenetzung: Ein elektrisches Feld wirkt auf die elektrischen Ladungen in den Probenröpfchen

der Wirkstoffe. So können die Tropfen gezielt gehandhabt und mithilfe eines konfokalen Mikroskops genau untersucht werden.

Herkömmliche Laboruntersuchungen liefern nicht nur weniger Informationen, sie benötigen auch wesentlich größere Probenmengen und dauern länger. EWOD ist prädestiniert für den Einsatz in der Point-of-Care-Diagnostik, also für diagnostische Untersuchungen, die nicht in einem Zentrallabor, sondern vor Ort am Klinikbett oder in der Arztpraxis durchgeführt werden. Als eine Art Westentaschenlabor »Lab-on-a-Chip« könnte es schnell und unkompliziert Ergebnisse von Blut- oder Urinproben liefern.



## Digitalisierung

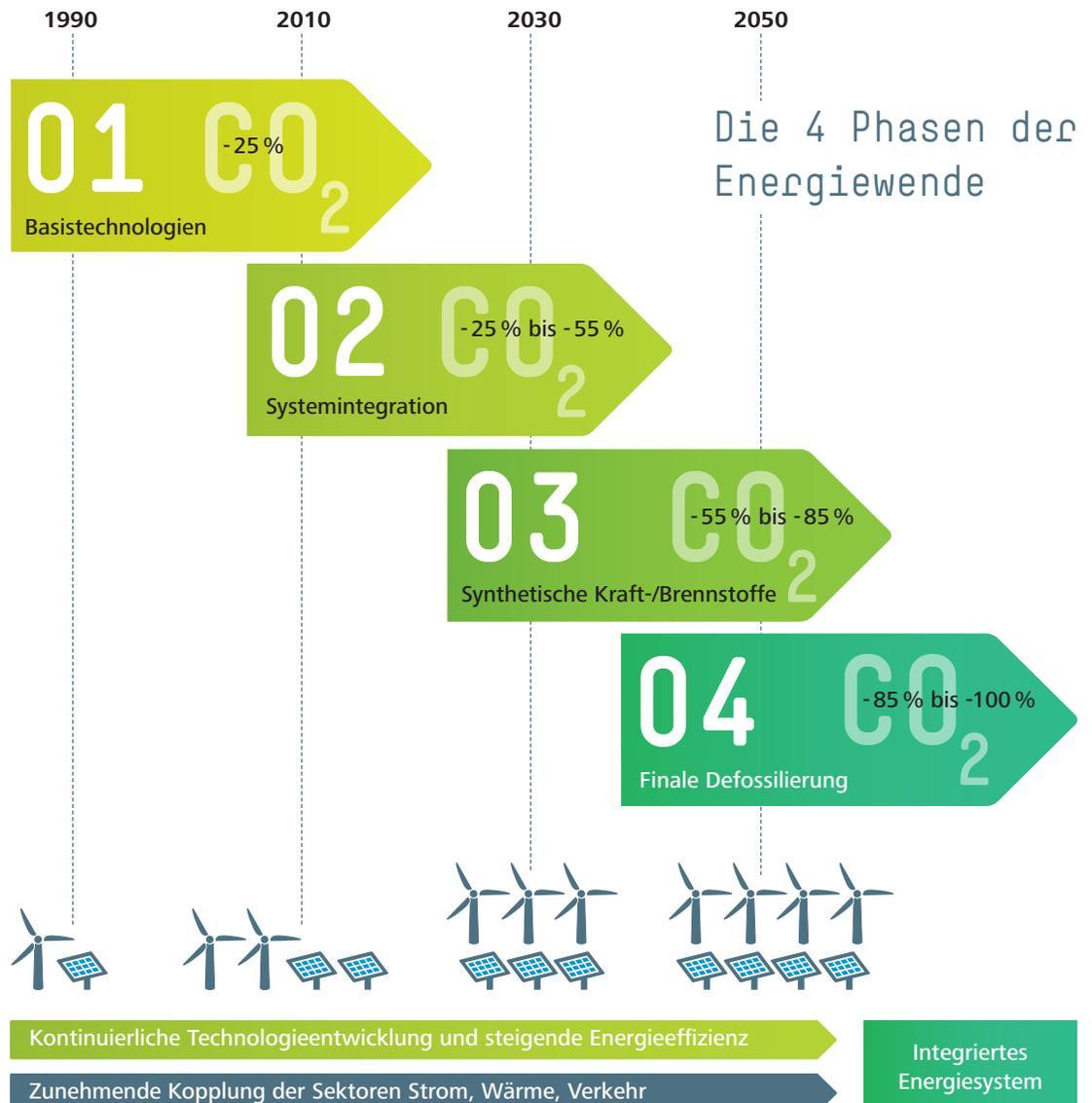
Digitaltechnik ist die Basis fast aller Kommunikations- und Informationswege, die wir heute nutzen. Darüber hinaus werden damit Bereiche gesteuert, die für Wirtschaft, Wissenschaft und öffentliches sowie privates Leben essenziell sind: Medien und Information, Arbeit und Produktion, Sicherheit und Versorgung. Die Vorteile moderner Datentechnik sind so immens, dass wir diese Entwicklung mit aller Energie vorantreiben müssen, um im internationalen Wettbewerb weiterhin eine maßgebliche Rolle spielen zu können. Die Sicherheit ist dabei von entscheidender Bedeutung, denn je mehr Bereiche wir der Datentechnik anvertrauen, desto wichtiger wird deren Zuverlässigkeit.

Digitale Systeme weiterzuentwickeln und dafür zu sorgen, dass sie im Interesse der Menschen funktionieren, ist ein Ziel der Forschung, wie sie von Fraunhofer verfolgt wird. Das Buch »Digitalisierung« gibt Einblick in aktuelle Projekte und Initiativen der Fraunhofer-Gesellschaft in diesem Bereich. Es ist der zweite Band einer Serie mit dem Titel »Fraunhofer-Forschungsfokus – Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft«, die von Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer in Kooperation mit Springer Vieweg herausgegeben wird.

# Energiewende – zweite Phase

Deutschland kann die vereinbarten Klimaziele nur mit einem klaren Kurswechsel erreichen. Das ist das Ergebnis einer gemeinsamen Stellungnahme der Wissenschaftsakademien acatech, Leopoldina und Akademienunion zur Zukunft des deutschen Energiesystems, die auf Modellrechnungen des Fraunhofer ISE basiert. Die Wissenschaftler fordern eine stärkere Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und einen erheblichen Ausbau von Windkraft und Photovoltaik. Langfristig wird Strom aus regenerativen Quellen zum dominierenden Energieträger – auch im Verkehr und der Wärmeversorgung.

Text: Franz Müller



## Akademienprojekt »Energiesysteme der Zukunft«

Die Stellungnahme »Sektor-kopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende« ist im Akademienprojekt »Energiesysteme der Zukunft ESYS« entstanden. Die Arbeitsgruppe wurde von dem Leiter des Fraunhofer ISE Prof. Hans-Martin Henning und acatech-Präsidiumsmitglied Prof. Eberhard Umbach geleitet. In dieser Initiative der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Union der deutschen Akademien erarbeiten rund 100 Fachleute aus Wissenschaft und Forschung Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung.

Die Energiewende steckt fest und die Klimaziele von Paris werden immer unerreichbarer, denn seit 2009 konnten in Deutschland die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht mehr gesenkt werden. Um Lösungswege aus der Sackgasse aufzuzeigen, arbeiten seit mehreren Jahren über 100 Experten aus den Wissenschaftsakademien in der Initiative »Energiesysteme der Zukunft ESYS« zusammen. Im November stellten sie ihre Ergebnisse in der Stellungnahme »Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende« vor. Ziel ist, im Einklang mit den Klimazielen die Energieversorgung bis zum Jahr 2050 flexibel, technologieoffen und zukunftssicher zu gestalten.

»Deutschland tritt in eine neue Phase der Energiewende ein. Nachdem in den vergangenen 25 bis 30 Jahren Windkraft- und Photovoltaikanlagen, aber auch Biomassetechnologien entwickelt, ausgebaut und die Kosten signifikant gesenkt wurden, stehen nun die Basistechnologien für eine umfassende Systemintegration zur Verfügung. Von nun an geht es darum, Technologien der Sektorkopplung zu fördern und umzusetzen«, erklärte Prof. Hans-Martin Henning vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE bei der Vorstellung der Studie. Er leitete gemeinsam mit acatech-Präsidiumsmitglied Prof. Eberhard Umbach die Arbeitsgruppe, die basierend auf Expertendiskussionen, einem Vergleich relevanter Energieszenarien und eigenen Modellrechnungen die Schlüsselstellen der künftigen Energieversorgung ermittelt und daraus Optionen für Deutschland abgeleitet hat. Die Berechnungen wurden mit dem Simulations- und Optimierungsmodell REMoD-D des Fraunhofer ISE durchgeführt. Das Modell ermittelt – bei vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Minderungszielen – den kostenoptimierten Transformationspfad des Energiesystems von heute bis 2050 unter Einbeziehung aller Sektoren und Energieträger.

### Die Energiewende ist mehr als eine Stromwende

Die umfangreichen Modellrechnungen und Analysen haben ergeben, so Hans-Martin Henning, dass nur eine ganzheitliche, alle Sektoren übergreifende Herangehensweise die Perspektiven dafür bietet, die Energieversorgung insge-

samt schrittweise auf überwiegend erneuerbare Energien umzustellen und somit eine drastische Reduktion des Einsatzes fossiler Energiequellen zu erreichen. Die Energiewende müsse mehr sein als eine Stromwende und alle drei Sektoren miteinander verknüpfen. »Obwohl Windkraft und Photovoltaik in den vergangenen Jahren stark ausgebaut wurden, basiert die Energieversorgung in Deutschland noch zu etwa 80 Prozent auf fossilen Energieträgern. Vor allem im Gebäude- und Verkehrssektor dominieren fossile Brennstoffe«, ergänzt Eberhard Umbach.

Die Wissenschaftler erwarten, dass Strom aus regenerativen Quellen langfristig zum dominierenden Energieträger wird. Allerdings könnte sich der Stromverbrauch bis 2050 durch die neuen Anwendungen im Verkehrs- und Wärmebereich fast verdoppeln. Als Folge müssten die Kapazitäten der Windkraft- und Photovoltaikanlagen auf das Fünf- bis Siebenfache anwachsen – ein höchst ambitioniertes Unterfangen. Effizienztechnologien und der gezielte Einsatz von Bioenergie, Solarthermie und Geothermie können dazu beitragen, den Ausbau an Windkraft und Photovoltaik zu begrenzen und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende zu sichern.

Regenerativ erzeugter Strom ist auch im Verkehrs- und Gebäudebereich der Schlüssel zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. »Technologien wie Elektroautos und Wärmepumpen, die Strom direkt und effizient nutzen, werden in Zukunft immer wichtiger. Wir müssen jetzt damit beginnen, sie stärker in den Markt zu bringen«, betont Hans-Martin Henning.

Die schwankende Stromerzeugung aus Wind und Sonne (siehe Seite 30) müsse durch Kurz- und Langzeitspeicher sowie flexible Stromnutzungsmodelle ausgeglichen werden. Da Batterien und Pumpspeicher nicht ausreichen, werden flexible Elektrolyseanlagen benötigt, um aus Strom Wasserstoff zu erzeugen, für die Nutzung in der Industrie, in der Mobilität oder als Speicher im großen Maßstab.

»Damit das System langfristig versorgungssicher bleibt, sollte es durch Wasserstoff und synthetische Brenn- und Kraftstoffe ergänzt werden, etwa für den Schiffs- oder Flugverkehr sowie

zum Ausgleich saisonaler wetterbedingter Engpässe«, beschrieb Hans-Martin Henning die Zukunftsaufgaben, für deren Lösung noch viel Forschung nötig ist.

### Synthetische Kraftstoffe werden unverzichtbar

Synthetische Brenn- und Kraftstoffe werden zu einem unverzichtbaren Pfeiler des Energiesystems, weil sie gut speicherbar und überall da einsetzbar sind, wo rein elektrische Lösungen nur schwer oder gar nicht möglich sind – also im Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr. Wasserstoff werde, so die Studie, die dritte Phase der Energiewende maßgeblich prägen, weil er vielfältig einsetzbar ist: in Industrieprozessen, zur Wärmeversorgung in Gebäuden, als Kraftstoff im Verkehr, für die zeitversetzte Stromerzeugung. Umgewandelt in Methan oder flüssige Kraftstoffe kann er problemlos gespeichert und transportiert werden. Das Erdgasnetz bietet sich als Langzeitspeicher an. Überhaupt wird Gas – natürliches Erdgas, Biogas und synthetische Gase – eine wachsende Rolle spielen, denn es ist emissionsarm und vielseitig einsetzbar.

Dennoch werden Reservekapazitäten benötigt, um die Versorgung in allen Wetterlagen und zu allen Jahreszeiten zu sichern. Dafür eignen sich Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, emissionsarme Gaskraftwerke oder Brennstoffzellen, die mit Wasserstoff, Erdgas oder synthetischem Methan betrieben werden.

Der Umbau des Energiesystems führt zu beträchtlichen Kosten. Die ESYS-Experten schätzen die jährlichen Mehrkosten auf ein bis zwei Prozent des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Als zentrales Steuerelement schlagen sie einen einheitlichen, wirksamen CO<sub>2</sub>-Preis vor. Nur dann könne sich regenerativ erzeugter Strom auch am Markt gegen fossile Energieträger durchsetzen. Eine andere wichtige Voraussetzung für die Investition in klimaschonende Technologien sei Planungssicherheit. Deshalb müsse sich die Politik zur Verbindlichkeit der Klimaschutzziele verpflichten. Folgt man den Experten, steht im Jahr 2050 ein integriertes Energiesystem – ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen und dennoch bezahlbar und versorgungssicher. ■

# Energie im Tank



Die Sonne steht hoch am Herbsthimmel und der Rotor dreht sich zügig auf dem Hummelberg bei Pfinztal, als das Fraunhofer ICT Ende September das neue Applikationszentrum aus Windrad und Redox-Flow-Batterie einweiht. Perfekte Bedingungen für die offizielle Eröffnung dieses zukunftssträchtigen Forschungsprojekts, das ein großes Problem der Energiewende lösen oder zumindest abfedern soll: Die Stromerzeugung der Erneuerbaren Energien schwankt stark und braucht daher Pufferspeicher.

In der Vanadiumlösung in diesen Tanks können bis zu 20 MWh gespeichert werden. © Fraunhofer ICT

Text: Laura Rottensteiner

Auf das Navi sollte man sich nicht verlassen, wenn man das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal besuchen möchte. Die komfortable neue Zufahrtsstraße besteht zwar schon seit ein paar Jahren, ist aber den meisten Geräten noch unbekannt. Doch seit März 2017 sieht man schon aus einiger Entfernung, wo das Institut liegt, denn auf dem Gipfel des Hummelbergs dreht sich ein großes Windrad.

Der Erfolg des Erneuerbare-Energien-Gesetzes machte Deutschland schon früh zum Vorreiter

einer Energiewende, die den Übergang der Nutzung fossiler Brennstoffe und der Kernenergie zu einer nachhaltigen Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen vorantreibt. Der Regierungsbeschluss zum endgültigen Ausstieg aus der Atomenergie bis 2022 verleiht dem Ausbau der Erneuerbaren Energien eine noch größere Dringlichkeit. Die Ausbauziele der Bundesregierung sind ambitioniert, bis zum Jahr 2050 soll der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland auf 80 Prozent gesteigert werden. 2016 deckten

die Erneuerbaren Energien mit 191 Terawattstunden immerhin 32 Prozent ab.

## Das Problem: Wind weht nicht immer

Doch die Spitzenlastzeiten von Wind- und Solarenergie decken sich oft nicht mit den Hauptbedarfszeiten der Stromverbraucher. Außerdem ist die Energiegewinnung aus regenerativen Quellen nur bis zu einem gewissen Grad plan- und steuerbar. Um den Strommix zu

stabilisieren, müssen andere Kraftwerke ab- oder zugeschaltet oder Strom exportiert beziehungsweise importiert werden. Das Hauptproblem der Erneuerbaren Energien ist also nicht ihre Menge, sondern die große Schwankungsbreite der Erzeugung. Und das Problem wird mit höherem Anteil immer größer.

### Die Lösung: Vom Windrad in den Speicher

Der Lösung dieses Problems widmet sich seit rund fünf Jahren das Batterie-Forschungsprojekt »Redox Wind« des Fraunhofer ICT in Pfinztal bei Karlsruhe. Fraunhofer ist in allen Forschungsfeldern der Batterietechnik aktiv. 19 Mio Euro fließen allein in das Redox-Wind-Projekt, davon 16 Mio von Bund und Land, aber auch Fraunhofer selbst hat 3 Mio investiert. »Die dezentrale netzintegrierte Speicherung fluktuierender Erneuerbarer Energie ist eine Schlüsseltechnologie bei der nachhaltigen Energieversorgung der Zukunft«, fasst Baden-Württembergs Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut auf der Einweihung des Applikationszentrums zusammen. »Besonders bei Großanwendungen ist die Speicherung elektrischer Energie zu einer der großen Herausforderungen der Energietechnik geworden.« Und dieser Bedarf wird immer dringlicher. »Ziel unseres Forschungsprojektes ist es, auf effiziente Art möglichst viel dezentral erzeugte Energie für die lokale Anwendung zu nutzen«, erklärt Prof. Dr. Jens Tübke, Produktbereichsleiter für Angewandte Elektrochemie am ICT. »Durch solche Puffer werden auch die Netze entlastet und der nötige Ausbau eingedämmt.«

Das Forschungsteam hat eine Redox-Flow-Batterie entwickelt, die sukzessive zur größten in ganz Deutschland ausgebaut werden soll. Die Batterie speichert den Strom elektrochemisch in einem flüssigen Medium. Das System ist insbesondere für stationäre Energiespeicherung interessant. Aufgrund der Speicherung der Energie in einem externen Tank ist die Batterieleistung unabhängig von der Kapazität skalierbar: Die Elektrolytmenge bestimmt die Batteriekapazität und die Fläche und Anzahl der Stacks – jeweils sechs miteinander verschaltete Zellstapel – die Batterieleistung. Redox-Flow-Batterien haben eine etwas geringere Energiedichte als Bleiakkus, ihre Lebensdauer ist jedoch fast zehnmal so hoch und die Kosten liegen durch die Trennung

von Energiemenge und Systemleistung deutlich unter den Kosten vergleichbarer Lithium-Ionen-Systeme. »Ein weiterer schöner Aspekt: Mit Ausnahme des Vanadiums – der Basis der Speicherlösung – sind alle nötigen Grundstoffe in Deutschland verfügbar«, so Tübke. Zwar gibt es die Technologie schon seit 1948. »Bisher gab es aber einfach wenig Bedarf an Speichern in dieser Größenordnung«, erklärt Tübke. »Das hat sich inzwischen geändert.«

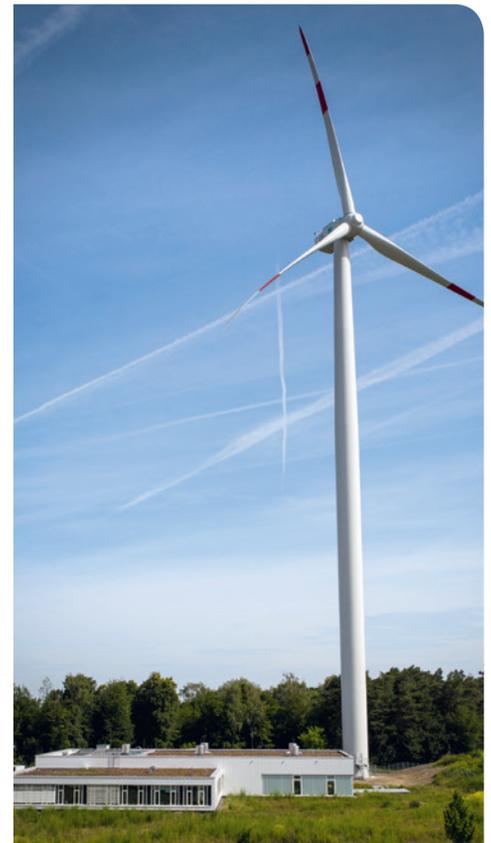
»Grob gesprochen lässt sich der Redox-Wind-Aufbau auf drei Hauptkomponenten reduzieren«, erklärt Dr. Peter Fischer, Gruppenleiter Redox-Flow-Batterien beim ICT. Die Windenergieanlage mit einer Gesamthöhe von 141 Metern und einer Nennleistung von 2 MW kann an dem



Standort knapp 2,5 GWh Grünstrom pro Jahr liefern. »Die Windenergieanlage wurde als Prototyp von dem Anlagenhersteller Qreon extra für uns angefertigt und ermöglicht die direkte Kopplung der Batterie an den Gleichspannungszwischenkreis«, erklärt Fischer. »So kann der Netzwechselrichter der Windenergieanlage gleichzeitig als Batterie-lade- und -entladegerät eingesetzt werden.«

### Riesige Speichertanks mit Vanadiumlösung

Das eigentliche Herz des Projekts, die Redox-Flow-Batterie, besteht aus zwei Komponenten. Einerseits die miteinander verschalteten Stacks, in denen die chemische Energie der Elektrolyte über die im Stack verbauten Elektroden in elektrische Energie umgewandelt werden kann. 540 Stück sind insgesamt geplant. Die bisherige Maximalleistung eines Stacks liegt dabei bei ca. 5 kW. Die zweite Komponente bilden die Speichertanks im Untergeschoss des Applikationszentrums. Menschen wirken klein neben



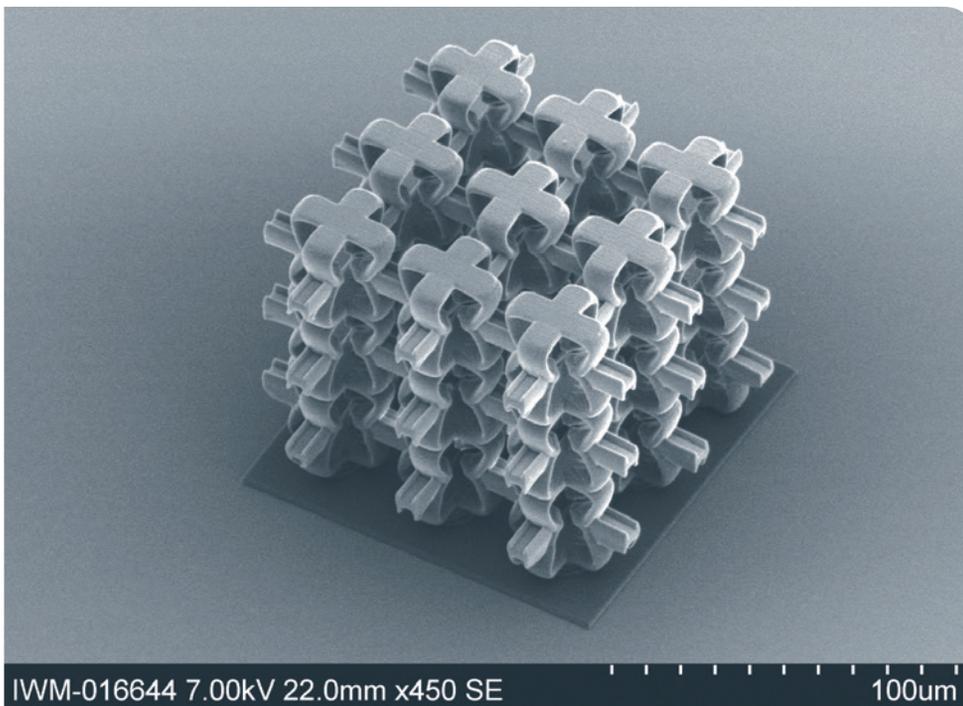
Die Batterie setzt sich zusammen aus den Stacks im Erdgeschoss und den Elektrolyt-Tanks im Untergeschoss. © Fraunhofer ICT

den mächtigen grünen Gefäßen mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 660 000 Litern Vanadiumlösung zur Speicherung der Energie in Elektrolyten. Es gibt acht große Tanks, acht mittelgroße Tanks und einen Reservetank. »Im Stillstand der Anlage findet so gut wie keine Selbstentladung statt«, so Fischer. 20 Megawattstunden soll die Redox-Flow-Batterie nach dem fertigen Ausbau Ende 2018 speichern können. Genug, um den Strombedarf einer kleinen Ortschaft für zehn Stunden abzudecken. In der Forschungsphase will das ICT erst einmal den eigenen Campus autark versorgen. »Wir haben hier sozusagen einen Nucleus geschaffen, an den wir nun weitere Projekte anbinden können«, sagt Fischer. »Denn planbaren und konstanten Strombezug aus regenerativen Quellen – genau das braucht die Energiewende.« ■

# Programmierbare Materialien

Forscher vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM nutzen Verfahren, mit denen sie Polymere und später auch Metalle und Keramiken gezielt mit bestimmten Strukturmustern herstellen können. Diese Muster verleihen den klassischen Werkstoffen neue Fähigkeiten, weshalb sie als »Programmierbare Materialien« bezeichnet werden. Damit lassen sich ganz neue Einsatzgebiete erschließen.

Text: Tim Schröder



Der »Auxetic Cube« ist so strukturiert, dass er auf unterschiedliche Belastungen intelligent reagiert. Bei leichtem Druck gibt er nach, ab einer bestimmten Stärke bleibt er steif.

Durch die besondere Struktur der Oberfläche ist das Material besonders wasserabweisend (Lotus-Effekt). © Fraunhofer IWM



Glas ist fest und spröde, Keramik glatt und korrosionsbeständig, Kunststoffe können biegsam wie eine Turnschuhsohle oder hart wie eine CD sein. Aus der Fülle von Werkstoffen kann man je nach dem Zweck, den ein Produkt erfüllen soll, das passende Material auswählen. Allerdings gibt es Grenzen. Denn viele Werkstoffe, die in normalen Umgebungen geeignet sind, versagen in besonderen Einsatzgebieten – so sind zum Beispiel viele Kunststoffe nicht für hohe Temperaturen und manche Stähle nicht für aggressive Umgebungen geeignet. Natürlich kann man durch kluges Materialdesign, durch eine Änderung der Produktionsverfahren oder den Austausch von Atomen in Metallmischungen, den Legierungen, die Eigenschaften beeinflussen und bis zu einem gewissen Grad nach den eigenen Wünschen verändern. Dennoch ist jeder Werkstoff in seinen Anwendungsmöglichkeiten beschränkt.

Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg wollen diese Grenzen künftig ein Stück weit verschieben – und klassischen Werkstoffen neue Fähigkeiten verleihen. Und zwar nicht, indem sie das Material selbst verändern, sondern dessen Struktur. »Wir nutzen etablierte Werkstoffe, bauen diese aber anders auf«, sagt Christoph Eberl, Mikromechanik-Experte und stellvertretender Leiter des IWM. »Kunststoffe etwa werden in der Regel in einem Stück gegossen, wir hingegen bauen daraus genau kalkulierte Gitterstrukturen auf, durch die sich das Material anders verhält.« Zusammen mit seinen Kollegen Matthew Berwind, Hamideh Jafarpoorchehab und Felix Schiebel lässt Eberl beispielsweise Kunststoffe zu Polymergittern mit Mikrostrukturen wachsen. Entstanden ist dabei unter anderem ein Polymer, das so geformt ist, dass die kleinen Wände des Gitters in einer bestimmten Richtung nachgeben, wenn man mit einer gewissen Kraft auf den Kunststoff drückt. Die Bewegung setzt sich von Gitterzelle zu Gitterzelle fort, sodass sich der Kunststoff genau definiert eindrücken lässt.

### Kunststoff mit Systemfunktion

Natürlich sind elastische Kunststoffe schon seit Jahrzehnten auf dem Markt. Eberl aber geht einen großen Schritt weiter: »Mit unserem Ver-

fahren kann man ein Werkstück aus Kunststoff kleinräumig und gezielt an bestimmten Stellen strukturieren und verändern.« Er denkt zum Beispiel an neue Arten von Armaturenbrettern in Autos, die überall steif, an manchen Punkten aber dank der Mikrostrukturierung nachgiebig sind. Solche Stellen könnte man als Schalter nutzen. Der Vorteil: Für andere Schalter, etwa auf Basis von Piezokeramiken, die elektrische Impulse erzeugen, benötigt man ein ganzes Schaltsystem aus Empfänger, Leiter und Aktuator, um eine Bewegung auszulösen. Eberl: »Bei uns aber soll der Kunststoff selbst zum Schalter werden.« Das Material erfüllt damit eine Systemfunktion.

Eine andere Anwendung, die die Forscher derzeit im Blick haben, sind Beschichtungen für die Innenseite von Prothesen. Zu diesem Zweck strukturiert das Team Kunststoffe, die unter normaler Belastung weich sind, bei hoher Belastung aber verhärtet. »Auch so etwas können wir durch Mikrostrukturierung des Polymers realisieren«, sagt Eberl. »Prothesen etwa sollten weich gepolstert sein, um den Arm- oder Beinrumpf zu schützen. Hebt der Träger eine schwere Last, ist es aber sinnvoll, dass der Kunststoff ein wenig verhärtet, damit der Rumpf nicht gegen das harte Prothesenmaterial gepresst wird.« Auch für die Dämpfung von Exoskeletten wären solche Kunststoffe geeignet. Diese Roboteranzüge helfen gehbehinderten Menschen beim Laufen oder können Arbeiter künftig dabei unterstützen, schwere Gegenstände zu heben.

### Der 3D-Nanodrucker baut Werkstoffe auf

Da Christoph Eberl etablierten Werkstoffen durch die Strukturierung sehr gezielt neue Funktionen einpflanzt, spricht er von »programmierbaren Materialien«. Ein wichtiges Werkzeug für die Herstellung dieser programmierbaren Materialien ist ein 3D-Nanodrucker, mit dem sich Werkstoffe auf wenige Hundert Nanometer genau aufbauen oder bearbeiten lassen. Der Drucker wurde am Karlsruher Institut für Technologie entwickelt. »Das Gerät ergänzt unsere Mikrostrukturierungsexpertise geradezu ideal«, sagt Eberl. »Wir können damit 3D-Strukturen aufwachsen lassen oder Strukturen in Polymer-schichten brennen.«

Die Präzision, mit der die Forscher arbeiten, ist verblüffend. Vor Kurzem haben sie ein 40 Mikrometer breites Polymer-Dämpfungselement entwickelt, das sich unter Druck in verschiedene Richtungen unterschiedlich ausdehnt. Lässt der Druck nach, federt das Bauteil elastisch in seine ursprüngliche Gestalt zurück. Damit wird es möglich, Druckinformationen in bestimmte Richtungen weiterzugeben. »Es dürfte etliche Anwendungsmöglichkeiten dafür geben«, sagt Christoph Eberl. So könnten etwa Mikro-Gelenke hergestellt werden.

### Ein ganzer Baukasten voller Strukturen

Wo genau dieses oder andere Bauteile künftig zum Einsatz kommen, ist für den Forscher noch zweitrangig. »Mit unserer Methode stellen wir die Entwicklung auf den Kopf. Für gewöhnlich definiert man ein Ziel und überlegt dann, mit welchen Werkstoffen es sich erreichen lässt. Wir hingegen werden in den kommenden Jahren eine Menge an programmierbaren Materialien bieten, einen ganzen Baukasten an Strukturen entwickeln, die Systemfunktionen übernehmen und mit denen man völlig neue Produktideen finden kann«, sagt Eberl – so wie das Armaturenbrett mit integrierter Knopffunktion.

### Eine riesige Spielwiese

Die Freiburger denken nicht nur an mikrostrukturierte Bauteile. Denn Materialien können auch in größeren Dimensionen intelligent strukturiert werden. »Für manche Anwendungen kann es reichen, dass die einzelnen Zellen einer Gitterstruktur einen oder mehrere Zentimeter groß sind«, sagt Eberl. »Wir wollen herausfinden, inwieweit man Strukturen hochskalieren kann, beziehungsweise in welcher Dimension bestimmte Effekte auftreten, und diese zur Funktionsintegration nutzen.« Aktuell arbeiten die IWM-Experten vor allem mit Polymeren, künftig sollen Keramiken und Metalle hinzukommen. »Insgesamt haben wir mehrere Schrauben, an denen wir drehen können: das Material, die Struktur und die Skala«, sagt Eberl. Das sei eine riesige Spielwiese, auf der man mit etablierten Materialien neue Funktionen kreieren kann. »Ich bin gespannt, welche vielversprechenden Anwendungen es künftig geben wird.« ■



Die zu beschichtende Siliziumkugel muss wie ein rohes Ei behandelt werden. Rechts im Bild: eine der Dreipunktauflagen.  
© Fraunhofer IST, Falko Oldenburg

## Alternative für das Ur-Kilogramm

Das Ur-Kilogramm, auf das alle Waagen kalibriert sind, verliert an Gewicht. Weltweit suchen Forscher nach Alternativen. Geplant ist, das Kilogramm neu zu definieren.

Text: Britta Widmann

Ein Kilo ist nicht mehr 1000 Gramm schwer. Denn das Maß der Gewichte, das Ur-Kilogramm, wird immer leichter, es hat im Laufe der letzten hundert Jahre um 50 Mikrogramm abgenommen. Die Ursache dafür ist unbekannt. Um von dem Zylinder aus Platin-Iridium, der in Paris in einem Tresor gelagert wird, unabhängig zu werden, gibt es internationale Bestrebungen, die Basiseinheit der Masse neu zu definieren

und künftig auf Naturkonstanten zu beziehen. Ein vielversprechender Ansatz benutzt dafür die Avogadro-Konstante, die angibt, wie viel Teilchen in einer Stoffmenge enthalten sind. Als Material eignet sich höchstreines Silizium, das zur Kugel geformt wird. Forschern des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig ist die homogene Beschichtung der Kugeloberfläche gelungen – unter anderem lässt sich dadurch die Messunsicherheit auf einen Bereich von unter zehn Mikrogramm begrenzen.

### Atome zählen

Ein Team der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) führt Experimente mit Kugeln aus isotopenangereichertem Silizium durch, die als neuer Kalibrierstandard verwendet werden könnten. »Wir errechnen die Anzahl der Atome in einer Kugel und erhalten über mathematische Gleichungen die Zahl der Atome pro Mol. Vereinfacht gesagt finden wir heraus, was ein Silizium-Atom wiegt und können im Umkehrschluss berechnen, wie viele Silizium-Atome für ein Kilogramm erforderlich sind«, erläutert Dr. Ingo Busch, Physiker an der PTB in Braunschweig.

Beim Herstellen der Kugeln bildet sich eine natürliche Oxidschicht aus Siliziumdioxid,  $\text{SiO}_2$ . Diese hat ebenfalls Einfluss auf Masse und Volumen der Siliziumkugeln. Das Problem: Die native Schicht wächst langsam und zum Teil ungleichmäßig. Dadurch lässt sich das tatsächliche Gewicht sowohl der Oxidschicht als auch der Kugel sehr schwer messen. Gefragt war daher eine alternative, homogene Beschichtung, um Messunsicherheiten zu verringern und Volumen und Masse der Kugel präzise bestimmen zu können.

### Defektfreie Schichten für Siliziumkugeln

Forschern des Fraunhofer IST, den Nachbarn der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, ist es gelungen, eine Siliziumkugel mit einer solchen alternativen  $\text{SiO}_2$ -Oberfläche zu beschichten, deren Beschaffenheit höchsten Anforderungen genügt. »Mit unserem Verfahren können wir eine  $\text{SiO}_2$ -Schicht mit definierter Rauheit und einstellbarer Schichtdicke auf die Kugel aufbringen. Die Schicht ist darüber hinaus stöchiometrisch. Dies bedeutet, dass das Verhältnis der einzelnen Atome untereinander beziehungsweise das Verhältnis zwischen Silizium und Sauerstoff

konstant ist«, sagt Tobias Graumann, Wissenschaftler am Fraunhofer IST.

### Ein Fingerabdruck wiegt mehr

Als Beschichtungsverfahren wählten die IST-Forscher die Atomlagenabscheidung ALD, kurz für Atomic Layer Deposition. Der Vorteil der Methode: Eine reproduzierbare, extrem dünne Oxidschicht mit homogener Dicke kann auf der Kugel aufgebracht werden. Potenzielle Verunreinigungen wie Kohlenstoff oder Stickstoff liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Rauheit der Schichten bleibt unter einem Nanometer. »Die Rauheit der Kugel wird durch die Beschichtung nicht nennenswert erhöht. Dies ist ein Faktor, damit die Messunsicherheit 10 Mikrogramm nicht überschreitet. Ein Fingerabdruck wiegt bereits mehr«, sagt Graumann. Auch der Zeitfaktor spielt eine wichtige Rolle. Der Fertigungsprozess der Kugeln lässt sich durch den Auftrag der alternativen  $\text{SiO}_2$ -Oberfläche beschleunigen – das Wachstum der nativen Oxidschicht würde mehrere Monate dauern.

Inzwischen ist die Beschichtung der Siliziumkugel abgeschlossen, aktuell finden die Messungen an der PTB statt. Die Ergebnisse sollen auf der Konferenz für Maß und Gewicht im Herbst 2018 vorgestellt werden. Spätestens dann soll das Ur-Kilogramm als Standard abgelöst werden. Auf dem metrologischen Treffen wird über die Neudefinition des Kilogramms entschieden.

Die Forscher vom Fraunhofer IST und ihre Kollegen von der PTB hoffen, dass sich die Siliziumkugeln als neuer Kalibrierstandard durchsetzen werden. Metrologieinstitute und Kalibrierlaboratorien sollen künftig die Möglichkeit erhalten, Kopien der Kugeln zu erwerben. ■



### Atomlagenabscheidung ALD

Will man einzelne Atomlagen mit extremer Präzision auf ein Trägermaterial aufbringen, ist die Atomic Layer Deposition (ALD) das Mittel der Wahl. Die Beschichtung wird schrittweise aufgetragen, die Schichten werden quasi auf der Oberfläche gestapelt. Der Prozess ist langwierig, zahlreiche Beschichtungszyklen sind erforderlich.

Die Schichtbildung erfolgt über die chemische Reaktion zweier Ausgangsstoffe, die nacheinander in die Reaktionskammer eingelassen werden. Diesem Prinzip folgt auch der Beschichtungsprozess am Fraunhofer IST: Um die  $\text{SiO}_2$ -Schicht zu erzeugen, verwenden Tobias Graumann und sein Team im einfachsten Fall zwei Chemikalien, die in getrennten Schritten in Gasform in die Beschichtungskammer geleitet werden. Es kommt zu zwei aufeinanderfolgenden, sich begrenzenden Oberflächenreaktionen. Im ersten Schritt wird die Oberfläche in der Kammer reaktiven Molekülen in der Gasphase ausgesetzt. Beim Reagieren mit der Oberfläche bildet sich zunächst nur ein Zwischenprodukt – eine erste Monolage. Die überschüssigen Moleküle und entstandenen Nebenprodukte spülen die Forscher mit Stickstoff aus der Kammer – so lässt sich eine Überdosierung vermeiden, die Reaktionen werden voneinander getrennt. Die zweite Chemikalie wird in die Kammer eingelassen und reagiert mit dem Zwischenprodukt. Dabei bleibt das gewünschte Beschichtungsprodukt auf der Oberfläche zurück. Ist diese Reaktion auf der ganzen Oberfläche erfolgt, können weitere Chemikalien nicht mehr an der chemisch gesättigten Oberfläche anhaften. Experten sprechen daher von einem selbst kontrollierten, leicht steuerbaren Wachstum, das die ALD auszeichnet. Dieser Reaktionszyklus kann beliebig oft wiederholt werden, um so die gewünschte Schichtdicke einzustellen.

Im Innern der ALD-Beschichtungsanlage am Fraunhofer IST: die Beschichtungskammer für dreidimensionale Objekte.  
© Fraunhofer IST, Jan Benz

# Feste Fasern aus Florfliegenseide



Charakteristisch für die Florfliegen sind ihre feinen, leicht schillernden Flügel.  
© pixabay

Fraunhofer-Forscherinnen und Forscher arbeiten daran, äußerst biegesteife und stabile Florfliegenseide synthetisch in großem Stil herzustellen. Durch das innovative Hochleistungsmaterial werden neuartige Leichtbaukunststoffe, aber auch bioverträgliche Implantate möglich.

Text: Chris Löwer

Lange Fühler, frischgrüner schlanker Körper und gestreckte netzartige Flügel: Die Florfliege ist für viele ein harmloser Mitbewohner, der kaum beachtet wird. Doch das Insekt produziert ein wahres Wundermaterial: ungeheuer belastbare Seidenfäden, die zu stabilen Stielen aushärten, um die Eier zu tragen.

Zum Schutz des Nachwuchses vor bodennahen Fressfeinden legen Florfliegen ihre Eier an Blättern ab. Allerdings nicht direkt auf die Blattunterseite, sondern an stabilen Seidenfäden, die vom Blatt herabhängen. Dazu sondert die Florfliege auf dem Blatt ein Proteinssekret ab. Dann legt sie das Ei in den Tropfen und zieht es heraus. Dabei entsteht ein Seidenfaden, der an der Luft zum »Eistiel« aushärtet. Er ist nur etwa 15 Mikrometer dick und bis zu 10 Millimeter lang, trägt aber mühelos das Gewicht des Eis. »Im Unterschied zu den meisten anderen Seiden-

## Das Fraunhofer IAP

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam-Golm ist spezialisiert auf Forschung und Entwicklung von Polymeranwendungen. Es unterstützt Unternehmen und Partner bei der maßgeschneiderten Entwicklung und Optimierung von innovativen und nachhaltigen Materialien, Prozesshilfsmitteln und Verfahren. Neben der umweltschonenden, wirtschaftlichen Herstellung und Verarbeitung von Polymeren im Labor- und Pilotanlagenmaßstab bietet das Institut auch die Charakterisierung von Polymeren an. Synthetische Polymere auf Erdölbasis stehen ebenso im Fokus der Arbeiten wie Biopolymere und biobasierte Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Anwendungsfelder sind vielfältig: Sie reichen von Biotechnologie, Medizin, Pharmazie und Kosmetik über Elektronik und Optik bis hin zu Anwendungen in der Verpackungs-, Umwelt- und Abwassertechnik oder der Automobil-, Papier-, Bau- und Lackindustrie.

arten weist der Eistiel der Florfliege eine spezielle Struktur mit faszinierenden mechanischen Eigenschaften auf: Die Florfliegenseide ist äußerst biegesteif und stabil«, erklärt Projektleiter Dr. Martin Schmidt, Biotechnologe am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP.

## Eier am Stiel

Dafür verantwortlich ist das Seidenprotein, das durch seine schleifenartig gefaltete Aminosäurekette (»Cross-Beta-Struktur«) ungewöhnlich stabil wird. Forscher des Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm arbeiten gemeinsam mit der Firma AMSilk GmbH aus Martinsried bei München daran, die spezielle Seide synthetisch herzustellen, um ihre Eigenschaften für industriell einsetzbare Biofasern nutzbar zu machen. Gefördert wird die Forschung durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR, einem Projekt-



Florfliegen hängen ihre Eier an stabilen Seidenfäden an die Unterseite von Blättern.  
© iStock

### AMSilk GmbH

Die AMSilk GmbH mit Sitz in Planegg bei München ist der weltweit erste industrielle Hersteller synthetischer Seiden-Biopolymere. Die mit einem patentierten biotechnologischen Verfahren nachhaltig produzierten AMSilk-Hochleistungsbiopolymere besitzen die einzigartigen funktionalen Eigenschaften des natürlichen Vorbilds. Das organische Hochleistungsmaterial ist flexibel einsetzbar – sowohl als medizinischer oder technischer Werkstoff als auch als kosmetischer Inhaltsstoff. AMSilk-Hochleistungsbiopolymere verleihen herkömmlichen Produkten wertvolle Alleinstellungsmerkmale. Sie sind unter anderem biokompatibel, atmungsaktiv sowie besonders robust.

AMSilk-Hochleistungsbiopolymere werden in Form von Silkbeads (Mikropartikel), Silkgel (Hydrogel) oder als Biosteel® (Faser) vertrieben und gegenwärtig zur Beschichtung von Medizintechnik-Produkten, in der Textilindustrie sowie als Inhaltsstoff für Körperpflegeprodukte eingesetzt.

träger des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. »Das Material könnte künftig unter anderem in Leichtbaukunststoffen für Verkehrsträger eingesetzt werden. Denkbar sind auch Anwendungen in der Medizintechnik, etwa bei biokompatiblen Seidenbeschichtungen für Implantate«, erklärt Martin Schmidt. Wenn da nicht das Mengenproblem wäre. Florfliegenweibchen legen 100 bis 900 ihrer Eier an Pflanzen in der Nähe von Blattlauskolonien ab und spinnen dafür Eistiele von 10 Millimeter Länge. Genug für die bereits erwähnten Forschungszwecke. Viel zu wenig, um die Fäden auch nur ansatzweise für den Menschen nutzbar zu machen. Der Stoff muss synthetisch hergestellt werden, was eine knifflige Angelegenheit ist. »Bisher war es nicht möglich, derartige Seidenproteine in ausreichender Menge und Reinheit herzustellen«, berichtet Schmidt. Er und sein Team versuchen daher mit einem innovativen

biotechnologischen Prozess, der von Escherichia coli-Bakterien angestoßen wird, das bislang Unmögliche möglich zu machen.

### Biofasern stabilisieren Windräder

Die molekularbiologischen Grundlagen für die künstliche Herstellung des Seidenproteins legte das Team um Prof. Dr. Thomas Scheibel vom Lehrstuhl Biomaterialien der Universität Bayreuth: Die Forschergruppe konstruierte eine spezielle Gensequenz, mit der die Bakterien in einem Bioreaktor befähigt werden, das Seidenprotein herzustellen. Am IAP wurde das Herstellungsverfahren so optimiert, dass es robust läuft. Damit kann das Seidenprotein künftig kostengünstig hergestellt werden. Noch geschieht dies im Labor, doch mit dem Industriemaßstab würde eine Dimension erreicht, die den Weg für viele neue Werkstoffe freimacht. Denkbar ist vieles: von

neuartigen Leichtbaukarosserieteilen im Automobilbau über biomedizinische 3D-Strukturen für das Zellwachstum bis hin zu Faserverstärkungen für Windräder, wo bislang Glasfasern eingesetzt werden, die jedoch schlecht zu recyceln sind. Die Biovariante wäre umweltfreundlicher. »Florfliegen-seide ist als Verstärkungs-faser für den Leichtbau geradezu prädestiniert«, sagt Schmidt. Ein Gebiet, auf dem sich die Forscher des IAP bestens auskennen. Schon seit 25 Jahren entwickeln und charakterisieren sie Fasern und faserverstärkte Composite für den Leichtbau sowie biobasierte Polymere. Im institutseigenen Spinn-technikum können technische Fasern entweder aus einer Lösung oder aus einer Schmelze in industri-nahen Größenordnungen hergestellt werden. »Die Kombination von Biotechnologie und Polymerforschung unter einem Dach bietet beste Voraussetzungen für die Herstellung von Fasern aus Florfliegen-seide«, betont Schmidt. ■



# Einfach, schnell und effizient – dank Blockchain



T-Shirts aus Bangladesch, Kaffee aus Kolumbien, Computer aus China – der weltweite Warenhandel hat in den letzten drei Jahrzehnten rasant zugenommen. Doch noch immer sind Geschäfte über Landesgrenzen hinweg erstaunlich aufwändig und mit viel Papierkram verbunden. Mithilfe der Blockchain-Technologie könnte der Außenhandel bedeutend vereinfacht und beschleunigt werden.

Text: Dr. Sonja Endres

Wenn ein deutsches Unternehmen Tablets in China bestellt, wird das Geschäft in der Regel mittels eines Akkreditivs abgesichert: Zwei Banken, je eine auf Seiten des Exporteurs und Importeurs, überwachen als neutrale Instanzen den Handel. Sie garantieren, dass der Exporteur bei vertragsgemäßer Lieferung sein Geld bekommt und der Importeur erst zahlen muss, wenn die Ware fristgerecht in vereinbarter Menge und Qualität auf dem Weg zu ihm ist. Der Exporteur muss den vertragsgerechten Ablauf des Geschäfts anhand zahlreicher Dokumente belegen, beispielsweise mithilfe von diversen Lade- und Transportpapieren und der Packliste. Diese Dokumente werden heute immer noch auf dem Postweg versandt – einen Austausch per E-Mail lehnen Banken und Handelspartner wegen der Manipulationsanfälligkeit ab.

»Der Papierkram verursacht in manchen Fällen mehr Kosten als die eigentliche Warenliefe-

rung«, sagt Prof. Gilbert Fridgen vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, der Vertreter aus Wirtschaft und Industrie in Workshops mit der Blockchain-Technologie vertraut macht. Zusammen mit Experten der Norddeutschen Landesbank haben Fridgen und sein Team vom Fraunhofer-Blockchain-Lab einen Prototyp für die Abwicklung des weltweiten Warenhandels entwickelt, der Papier überflüssig macht. Denn mithilfe von Blockchain kann jeder Schritt des internationalen Geschäfts sicher, transparent und nachvollziehbar dokumentiert werden – von der Auftragserteilung bis hin zur Warenlieferung.

## Dezentrale Datenbank

Eine Blockchain ist eine Art dezentrale Datenbank. Jeder Blockchain-Teilnehmer speichert den vollständigen Datensatz in Form von Blöcken, die miteinander kryptografisch verknüpft sind.

Werden neue Daten hinzugefügt, wird die Blockchain bei allen Teilnehmern über ein Abstimmungsverfahren aktualisiert. »Dieses dezentrale Abstimmungsverfahren sorgt in Verbindung mit der kryptografischen Verknüpfung der Blöcke dafür, dass die Daten in einer Blockchain nicht manipulierbar sind«, erklärt Prof. Wolfgang Prinz, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer FIT. Würde jemand versuchen, Inhalte der Blockchain zu ändern, würde dies sofort von allen anderen Teilnehmern erkannt.

In einer Blockchain lässt sich jeder Schritt eines Prozesses mit allen dazugehörigen Daten und Dokumenten sicher und irreversibel festhalten – ideal für den internationalen Warenhandel, aber auch für zahlreiche andere Anwendungen wie die unternehmensinterne Dokumentation. »Revisionen könnten wesentlich schneller, einfacher und kostengünstiger vorstattengehen, wenn alle prüfungsrelevanten Dokumente in

Der Containerhafen von Shanghai ist einer der modernsten der Welt.  
© istock



eine Blockchain eingeschrieben würden«, sagt Fridgen. Denn aus ihr ginge zweifelsfrei hervor, wer was wann wie getan habe. »Hier haben eigentlich alle unsere Workshop-Teilnehmer aufgehört. Vor allem in stark regulierten Branchen geht der Aufwand für Revisionen häufig in die Millionen.«

Blockchain ist für alle Unternehmen interessant, deren Geschäftsmodelle auf Vertrauenspositionen basieren. »Ersetzen kann Blockchain Banken, Notare oder Wirtschaftsprüfer noch nicht. Die Technologie bietet aber in diesen Bereichen sehr viel Potenzial«, sagt Prinz. Blockchain kann Arbeitsabläufe einfacher, schneller, sicherer und effizienter machen. Das lässt sich nicht nur für das Außenhandelsgeschäft gewinnbringend nutzen, sondern auch für andere Zug-um-Zug-Geschäfte, wo die Vertragsparteien heute immer noch Formulare ausfüllen, ausdrucken und auf Sicherheiten warten müssen.

Eine weitere Stärke von Blockchain: In Verbindung mit speziell programmierten Software-Mechanismen, den Smart Contracts, können Vertragskonditionen automatisch ausgeführt werden, sobald die hinterlegten Bedingungen eintreten. So könnte die Autotür des Leasing-Wagens verschlossen bleiben, wenn die Zahlung der

vereinbarten Rate in der Blockchain nicht verifiziert werden kann. Diese automatisierte Leistung und Gegenleistung würde Gerichte zur Durchsetzung von Ansprüchen überflüssig machen, da ein Vertragsbruch technisch unmöglich wird.

Auch für Anbieter von Online-Handelsplattformen ist Blockchain eine Herausforderung. Denn mit der neuen Technologie ließen sich sichere Transaktionen zwischen Käufer und Verkäufer direkt abwickeln – ohne zusätzlichen Schutz durch den Plattformbetreiber. »Mit der Blockchain-Technologie könnte man eine neue Generation des Internets begründen. Zum Internet der Dinge, von dem wir zurzeit sprechen, kommt ein Internet des Vertrauens und der Werte hinzu«, glaubt Prinz.

### Sicherer Herkunftsnachweis

Für die Logistik-Branche ist Blockchain weniger bedrohlich als attraktiv: Eine Transportkette ließe sich lückenlos dokumentieren und so die Echtheit des versendeten Objekts garantieren. »Für Diamantentransporte gibt es bereits eine Blockchain-Lösung«, so Prinz. Mithilfe von Blockchain ließe sich auch die Herkunft von Medikamenten oder Lebensmitteln sicher nachweisen und überprüfen, ob beispielsweise

die Kühlung während des gesamten Transports gewährleistet war.

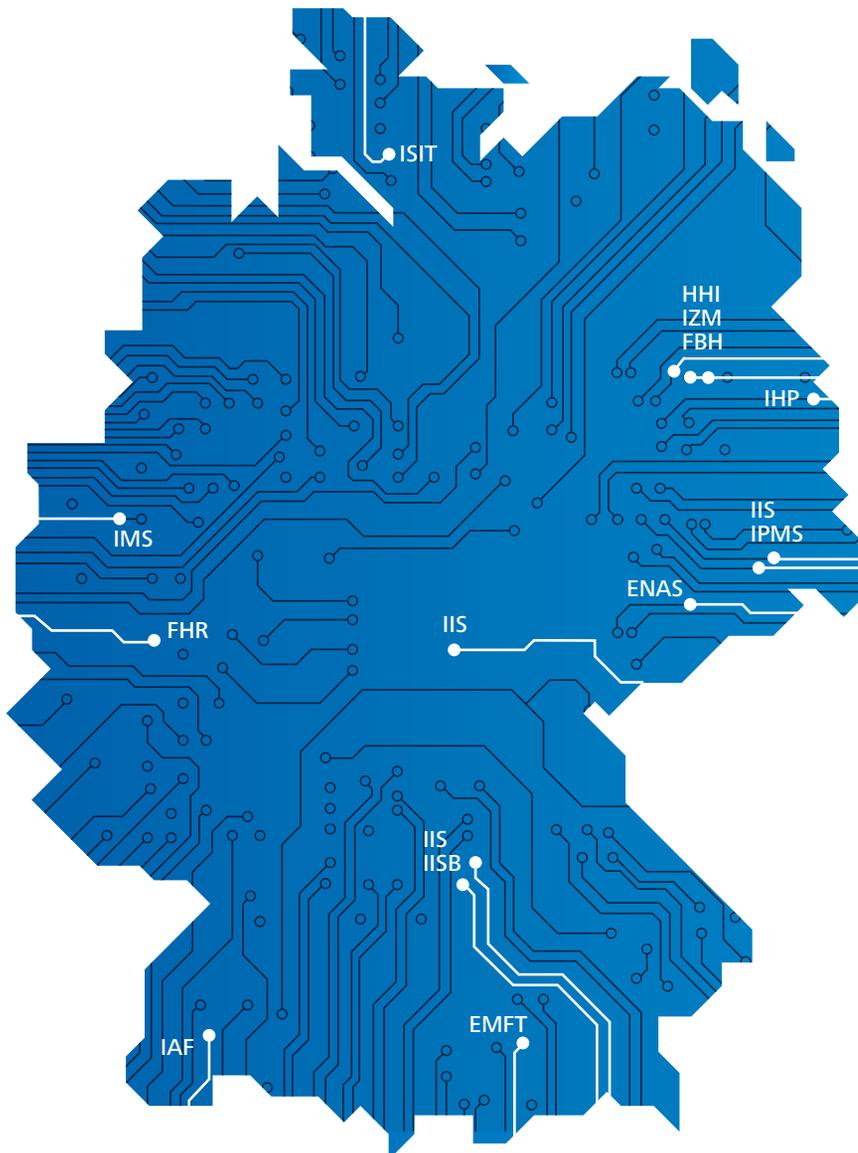
Im Fraunhofer-Blockchain-Lab arbeiten Prinz und Fridgen zusammen mit ihren Kollegen Prof. Thomas Rose, Prof. Nils Urbach und ihren Teams an den verschiedensten Anwendungen. Entwickelt wurde unter anderem eine Musikbox, die die Abstimmung der Musikwünsche innerhalb einer Gruppe mittels Blockchain umsetzt – ein unterhaltsamer Einstieg in die Blockchain-Welt, der den Interessenten aus Wirtschaft und Industrie die Grundfunktionen der Technologie näherbringt. In einem weiteren Projekt wird die von FIT und OrbiTeam entwickelte Groupware-Plattform BSCW als Blockchain-Lösung programmiert, wodurch eine Registrierung von Dokumenten und Kooperationsprozessen möglich wird. So kann deren Zustand irreversibel festgehalten und nachträglich geprüft werden.

»Gemeinsam mit unseren Workshop-Teilnehmern haben wir bereits zahlreiche mögliche Anwendungen identifiziert«, betont Fridgen. »Wir arbeiten zwar erst mit Prototypen, aber die Entwicklung kann sehr schnell gehen. Es ist daher wichtig, jetzt zu handeln, Geschäftsmodelle an die neue Technologie anzupassen und Prozesse mit ihrer Hilfe zu optimieren.« ■

# Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland gestartet

Seit April 2017 arbeiten 13 Forschungsinstitute mit mehr als 2000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland zusammen. Eine weltweit einzigartige Kooperation in der Mikro- und Nanoelektronik.

Text: Tobias Steinhäuser



## Die beteiligten Institute

Die Gründungsteilnehmer der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland sind:

- EMFT** Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien, München
- ENAS** Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme, Chemnitz
- FHR** Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik, Wachtberg
- HHI** Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Berlin
- IAF** Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik, Freiburg
- IIS** Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen, Dresden und Ilmenau
- IISB** Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, Erlangen
- IMS** Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg
- IPMS** Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme, Dresden
- ISIT** Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie, Itzehoe
- IZM** Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin und Moritzburg
- FBH** Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, Berlin
- IHP** Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt/Oder

## Die vier Technologieparks

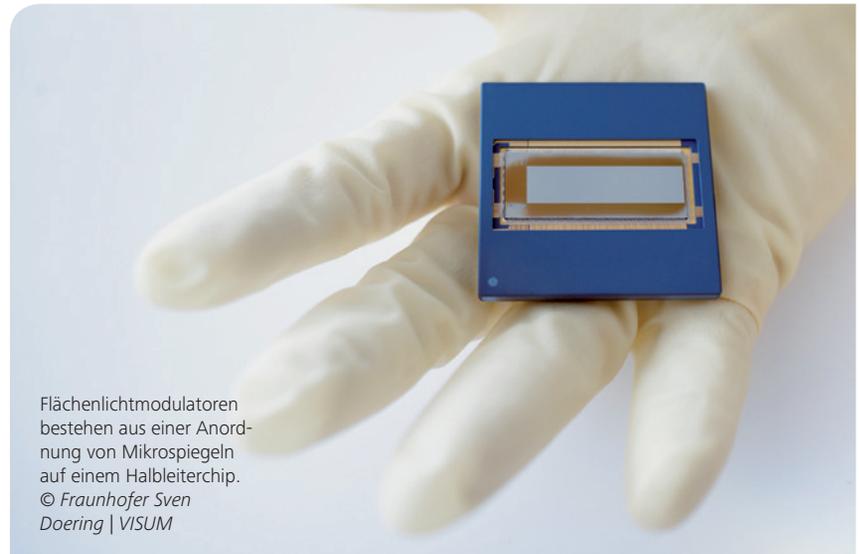
Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland ist in vier Technologieparks organisiert:

**Technologiepark 1:** Neueste »Silizium-basierte Technologien« für die Sensorik, Aktuatorik und Informationsverarbeitung

**Technologiepark 2:** »Verbindungshalbleiter« mit modernsten Materialien für Energiespar- und Kommunikationstechnik

**Technologiepark 3:** »Heterointegration« – neuartige Kombinationen von Silizium und anderen Halbleitern, z. B. für das Internet der Dinge

**Technologiepark 4:** »Design, Test und Zuverlässigkeit« für Entwurf und Entwurfsmethoden, Qualität sowie Sicherheit



Flächenlichtmodulatoren bestehen aus einer Anordnung von Mikrosiegeln auf einem Halbleiterchip.  
© Fraunhofer Sven Doering | VISUM

Elf Fraunhofer-Institute aus dem Verbund Mikroelektronik und zwei Leibniz-Institute erforschen, entwickeln und fertigen in der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland gemeinsam neue halbleiterbasierte Mikro- und Nanosysteme. Die Technologien sind wichtig für Industrie 4.0, Leistungselektronik oder Kommunikationstechnik. »Es entsteht der weltweit größte Pool für Technologien und Intellectual Property Rights auf diesem Gebiet«, schwärmt Prof. Hubert Lakner, Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF unterstützt die virtuelle Fabrik mit rund 350 Mio Euro für die nächsten dreieinhalb Jahre. Mittelfristig sollen weitere 500 hochqualifizierte Arbeitsplätze geschaffen werden. Insgesamt mehr als 2000 Forscherinnen und Forscher arbeiten daran, die gesamte Wertschöpfungskette für die Mikro- und Nanoelektronik aus einer Hand anbieten zu können. »Davon profitieren neben Industrie und Universitäten insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen«, hebt Mikroelektronik-Experte Lakner hervor.

## Vier Technologieparks

Die Forschungsfabrik ist in vier Technologieparks organisiert: Silizium-basierte Technologien, Verbindungshalbleiter, Heterointegration sowie Design, Test und Zuverlässigkeit. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln und fertigen mithilfe neuer Materialien und Prozesse Mikrosysteme für intelligente Senso-

ren, cyber-physikalische Systeme oder hardwareorientierte Industrie-4.0-Lösungen. Sie forschen an leistungsfähigen Halbleitern für Hochfrequenz-Bauelemente und -Schaltungen, untersuchen Sondersubstrate wie Siliziumcarbid und Aluminiumnitrid oder greifen neue Halbleitertechnologien wie Galliumoxid oder Diamant für die Leistungselektronik auf. Statt einzelne Komponenten zu integrieren, montiert die Industrie heute komplette Mikrosysteme (System-in-Packages – SiP) auf Wafer, Chips oder Panels: Auch für diese Fertigungsprozesse entwickeln die Forscher neue Technologien. Außerdem werden neue Messmethoden und Prüfverfahren konzipiert, um die neuen Materialien, Bauelemente, Schaltungen, Systeme und Prozesse zu testen und zu bewerten.

## Zentrale Geschäftsstelle in Berlin

Eine zentrale Geschäftsstelle in Berlin koordiniert und organisiert den Ausbau der in ganz Deutschland verteilten Forschungseinrichtungen und deren gemeinsamen Betrieb. Die bisherigen Standorte der beteiligten Institute bleiben in der Forschungsfabrik erhalten. Um die übergreifende Zusammenarbeit der vier Technologieparks kümmern sich Technologiepark- und Programm-Manager. Technologiepark-Manager betreuen die Parks inhaltlich, koordinativ und strategisch. Sie sind die zentralen Ansprechpartner für die standortübergreifende Koordination der Entwurfs- und Prozessketten sowie der Mess- und Prüftechnik. Programm-Manager

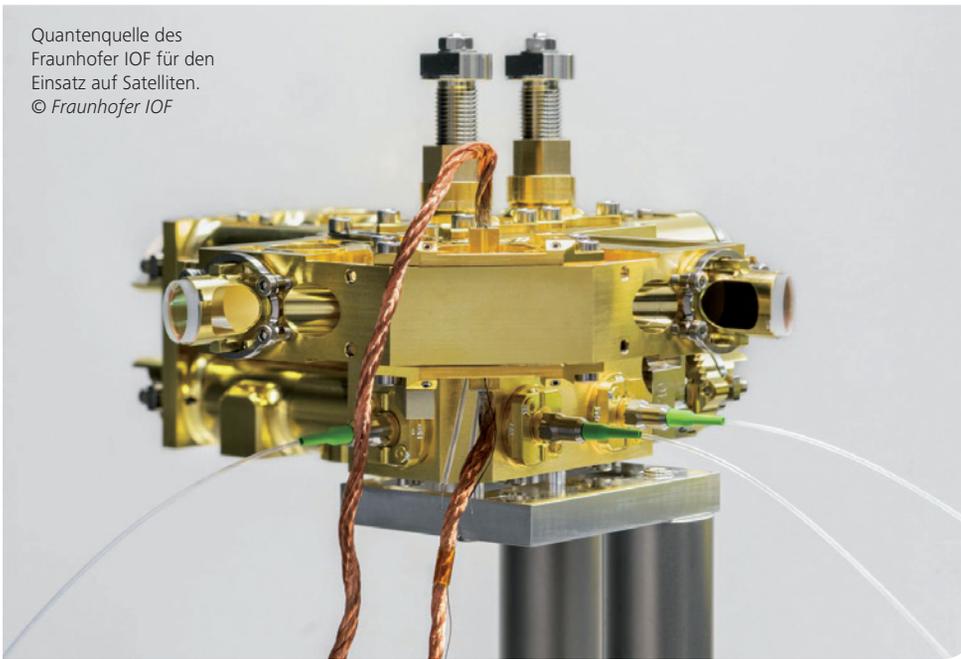
sind die zentralen Ansprechpartner für die Kunden.

## Industriekooperation Mikrospiegel

Erste Industriekooperationen haben begonnen. Ein Beispiel: Das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden und das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in Duisburg produzieren gemeinsam monolithisch integrierte Flächenlichtmodulatoren. Diese auf Halbleiterchips angebrachten Mikrospiegel kommen unter anderem bei der optischen Mikrolithographie, der Maskeninspektion und -messtechnik für die Halbleiterindustrie, in der Mikroskopie sowie in der Laserbeschriftung, -markierung und -materialbearbeitung zum Einsatz. Flächenlichtmodulatoren bestehen aus einer Anordnung von Mikrosiegeln auf einem Halbleiterchip. Die Anzahl variiert je nach Anwendung von einigen hundert bis zu mehreren Millionen Spiegeln je Chip. Die Einzelspiegel können individuell gekippt oder abgelenkt werden, sodass ein flächiges Muster entsteht, mit dessen Hilfe zum Beispiel definierte Strukturen projiziert werden. Das Fraunhofer IMS fertigt die kompletten Flächenlichtmodulatoren auf großen 200-mm-Wafern. Das Fraunhofer IPMS ist für den Bau der einzelnen Mikrospiegel verantwortlich. »Wir haben das Know-how beider Institute zusammengeführt und dadurch den Technologiesprung von den 150-mm- auf die größeren 200-mm-Wafer geschafft«, beschreibt Lakner den Mehrwert der Kooperation. ■

# Abhörsicher kommunizieren mit verschränkten Photonen

Quantenquelle des Fraunhofer IOF für den Einsatz auf Satelliten.  
© Fraunhofer IOF



Herkömmliche Verschlüsselung von Daten wird durch die rasant wachsende Rechenleistung von Computern immer unsicherer. Eine Lösung bietet die Kodierung mit verschränkten Lichtquanten. Das Fraunhofer IOF entwickelt eine Quantenquelle, die den Transport verschränkter Photonen von Satelliten aus ermöglicht. Das ist ein wichtiger Schritt in Richtung abhörsichere Kommunikation.

Text: Thomas Eck

Ob Informationen aus der Kommunikation von Banken, Regierungsorganisationen oder privaten Personen: Verschlüsselung von Daten beruht heute meist auf mathematischen Verfahren. Das Problem ist, dass durch die wachsende Rechenleistung von Computern das Decodieren verschlüsselter Nachrichten immer einfacher wird. Künftige Quantencomputer könnten aktuelle Verschlüsselungsverfahren sogar ganz aushebeln, da sie deutlich effektivere Entschlüsselungs-Algorithmen ermöglichen als herkömmliche Rechner.

Eine Lösung bietet die Verschlüsselung mithilfe eines physikalischen Prinzips: der Quantenverschränkung. Dabei werden zunächst Zwilling photons erzeugt, die miteinander verschränkt und damit voneinander abhängig sind. Statt Nullen und Einsen werden nun die verschränkten Lichtquanten übertragen. Jede Messung, wie zum Beispiel das Abhören, verändert unweigerlich das gemessene Objekt. Darauf aufbauend können Schlüssel erzeugt werden, denen Sender und Empfänger auf einen Blick ansehen können, ob Dritte versucht haben, die Informa-

tionen zu manipulieren oder abzu hören. »Das zentrale Element dabei ist die Quantenquelle, in der die Photonen verschränkt werden«, erklärt Dr.-Ing. Erik Beckert vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF aus Jena. »In einer ausgeklügelten laseroptischen Baugruppe werden die verschränkten Lichtquanten erzeugt und dann über unterschiedliche Kanäle an die beiden Parteien gesendet, die ihre Kommunikation vor Mithörern schützen möchten.«

## Photonen aus dem All

Doch wie kommen die verschränkten Photonen an ihren Bestimmungsort? Schickt man sie beispielsweise über eine Freistrahlstrecke durch die Luft oder durch eine Glasfaser, ist die Reichweite begrenzt, da die Turbulenzen der Atmosphäre beziehungsweise die Dämpfung der Glasfaser die Verschränkung stören. Die Lösung: Die Quantenquelle verteilt die verschränkten Photonen von einem Satelliten aus. Dadurch müssen die Photonen nur durch ein relativ kurzes Stück Atmosphäre

reisen, bis sie bei ihrem Empfänger sind. Um jedoch eine Quantenquelle auf einem Satelliten zu platzieren, muss diese äußerst stabil sein. Denn sie muss sowohl den Belastungen eines Raketenstarts als auch den besonderen Bedingungen im Weltall, zum Beispiel starker Temperaturschwankung und Weltraumstrahlung, widerstehen.

Forscher des Fraunhofer IOF haben eine Antwort gefunden und entwickelten eine Quantenquelle, die so stabil ist, dass die präzise Kalibrierung und die diffizilen Justierungen selbst durch die extremen Belastungen eines Raketenstarts oder die unwirtschaftlichen Bedingungen im Weltall nicht gestört werden. »Unsere Quantenquelle ist ein Beispiel optomechanischer Ingenieurskunst«, sagt Beckert. »Lasersysteme zur Verschränkung und Verteilung von Photonen sind sehr empfindlich, was die Genauigkeit angeht. Schon kleinste Veränderungen in der Justierung machen das gesamte System unbrauchbar. Ein System muss daher so robust sein, dass seine volle Performance nicht einmal durch einen Raketenstart beeinträchtigt wird.« ■



## Produktion ohne Stopp

Fehler finden, bevor die Produktion ins Stocken gerät. Das ist das Ziel des EU-Projekts SelSus. 5,4 Millionen Euro stellt die Europäische Kommission dafür zur Verfügung. Mit dabei: das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Der Ausfall von Maschinen während der laufenden Produktion verursacht nicht nur Kosten, sondern beeinträchtigt auch die Liefertreue und damit die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Um Verschleiß rechtzeitig sichtbar zu machen, zukünftige Defekte zu prognostizieren und im Ernstfall schnell eine Ursachendiagnostik durchführen zu können, entwickeln die Fraunhofer-Forscher zusammen mit einem internationalen Team aus Industrie und Forschung ein »Decision-Support-System«. Dieses besteht aus Sensornetzwerken, Datenbanken, in denen die technischen Parameter der Maschinen abgespeichert sind, sowie intelligenten Algorithmen.

Bei einer Pressen-Linie des italienischen Projektpartners Electrolux aus Pordenone wird das neue System bereits eingesetzt: Es hilft den Mitarbeitern des Unternehmens, rechtzeitig Defekte zu erkennen und zu beheben. In einem anderen Anwendungsfall der Partner Harms & Wende, Hamburg, und IEF Werner, Furtwangen, kann das SelSus-System Steuerimpulse an die Komponenten geben, damit diese beispielsweise in einem »Sicheren Modus« bis zur nächsten Wartung weiterarbeiten können. Die Fähigkeit des Systems, sich selbst zu überwachen und die Produktion zu erhalten, hat dem Projekt den Namen SelSus gegeben.



## Neue Antibiotika

Bakterien, die resistent sind gegen Antibiotika, fordern jährlich Hunderttausende von Todesopfern auf der ganzen Welt. Um Infektionskrankheiten wirksam behandeln zu können, benötigt die Medizin neuartige Therapeutika. Die Entwicklung ist jedoch aufwändig und teuer. Das größte Hindernis ist der lange Weg, der zwischen der Entdeckung neuer, potenziell heilsamer Substanzen und der klinischen Prüfung liegt.

Forscher vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM wollen jetzt zusammen mit Wissenschaftlern der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) und dem australischen Institute for Glycomics (IfG) der Griffith University die Lücke in der Arzneimittel-Entwicklungskette schließen. Im Projekt »Fraunhofer International Consortium for Anti-Infective Research«, kurz iCAIR, werden die Partner gemeinsam neue Therapeutika identifizieren und entwickeln.

Dabei bringen alle Beteiligten ihr Expertenwissen mit ein. Gemeinsam wollen die Spezialisten neue Therapieansätze erarbeiten und in ausgewählten Leitprojekten Wirkstoffe gegen die Infektionserreger *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus fumigatus*, *Neisseria meningitidis* und das Influenza-Virus identifizieren und Medikamente bis zum präklinischen Machbarkeitsnachweis entwickeln.



## Großprojekt in Kuwait

Spezialisten vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT werden in den nächsten vier Jahren einen umfassenden Abfallwirtschaftsplan für das Emirat Kuwait erstellen. Die Environment Public Authority des Emirats stellt hierfür 18 Millionen Euro zur Verfügung. Für die Fraunhofer-Gesellschaft ist das Forschungsvorhaben das bisher größte im arabischen Raum.

Ein Team von Experten hat bereits mit dem ersten Schritt begonnen: einer umfassenden Bestandsaufnahme, bei der Aufkommen, Zusammensetzung und Entsorgungswege von Siedlungs- und Industrieabfällen, Industrieabwässern und Klärschlämmen erfasst werden. Gleichzeitig wird die Zusammensetzung der Deponien sowie deren Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt untersucht. Alle Daten und Analysen fließen in ein webbasiertes Geoinformationssystem ein (Environmental Monitoring and Information System for Kuwait »eMISK«). Auf Basis der generierten Daten wird schließlich der nationale Abfallwirtschaftsplan für die kommenden 20 Jahre erstellt. Dieser sieht unter anderem Zielvorgaben zur Abfallvermeidung und -verwertung vor und umfasst Technologieempfehlungen sowie ein Sanierungskonzept für die Deponien. Ansprechpartner bei Fraunhofer UMSICHT ist Dr.-Ing. Peter Degener.

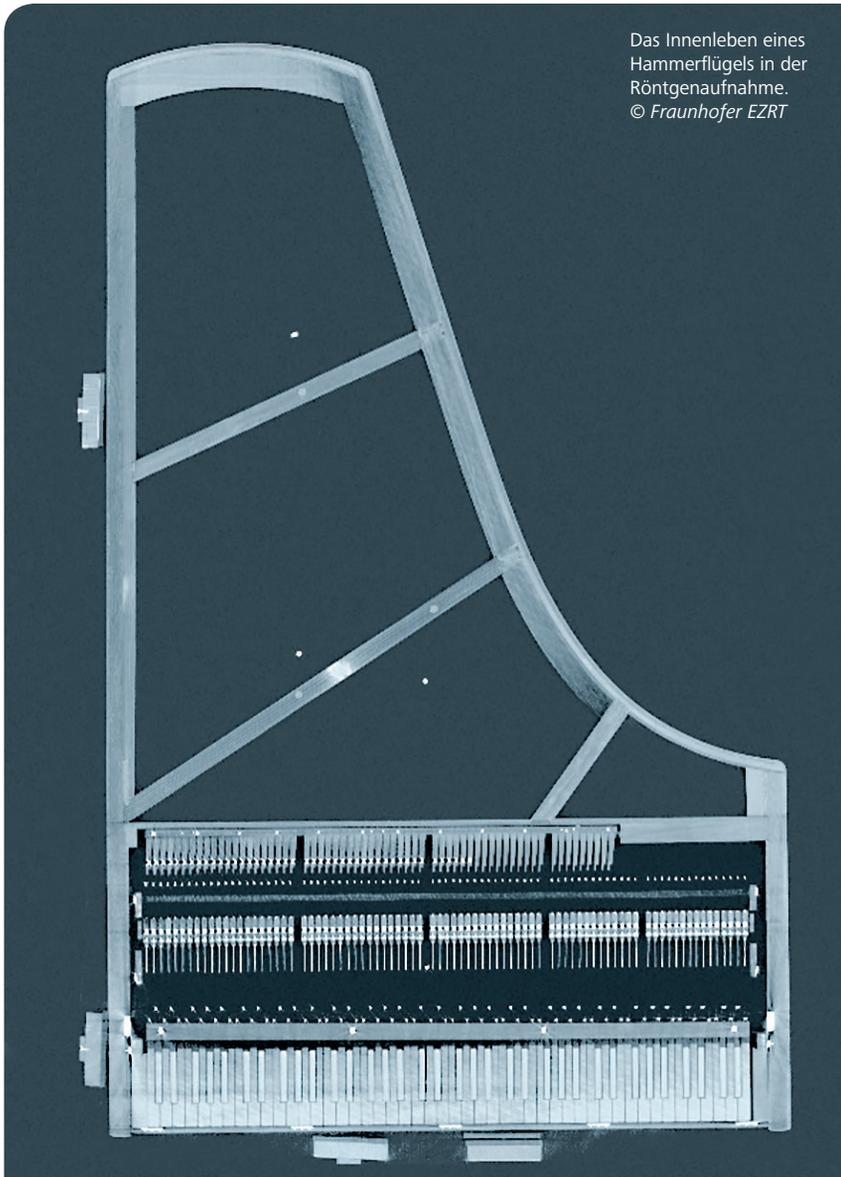


## Fraunhofer-Tochter Singapur

Das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt wagte bereits vor 20 Jahren den Schritt nach Singapur – zu einer Zeit, als Internationalisierung bei Forschungseinrichtungen noch nicht hoch im Kurs stand. Aus einer kleinen Projektgruppe, die mit der Nanyang Technological University NTU kooperierte, entstand 2010 das »Fraunhofer-Projektzentrum für Interaktive Digitale Medien«, das jetzt zur rechtlich eigenständigen Tochtergesellschaft »Fraunhofer Singapore« avanciert – der ersten in Asien.

Die rund 30 hauptamtlichen Mitarbeiter forschen vor allem in den Bereichen Industrie 4.0, individuelle Gesundheit, intelligente Stadt und Visual Computing. Seit 2017 arbeitet das Team eng mit Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT und des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS zusammen. Die Kooperationen erweitern das Portfolio um die Bereiche Cyber-Security und keramikbasierte Additive Fertigung.

»Hier ergibt sich eine Win-win-Situation. Die Partnerinstitute profitieren von unserem Netzwerk und ergänzen gleichzeitig sinnvoll unsere Forschung«, erläutert Prof. Wolfgang Müller-Wittig, der seit 2001 das Projektzentrum leitet.



Das Innere von alten Musikinstrumenten ist für Musiker, Restauratoren und Instrumentenbauer von großem Interesse. Im Projekt MUSICES durchleuchten Fraunhofer-Forscher per 3D-Computertomographie historische Musikinstrumente aus der Sammlung des Germanischen Nationalmuseums. Die digitalisierten Bestände sollen für jedermann im Internet zugänglich gemacht werden.

Text: Britta Widmann

# Hammer- klavier im CT

Es gibt kaum ein Objekt, das die Forscher am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, ein Bereich des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen, noch nicht in ihren Computertomographie-Anlagen durchleuchtet haben: Leichtbau-Gussteile, Rotorblätter und Landeklappen aus kohlefaserverstärktem Kunststoff oder Treibstofftanks für Satelliten wurden bereits einer industriellen Qualitätskontrolle unterzogen und auf mögliche Schäden wie Haarrisse zerstörungsfrei analysiert. Im Projekt MUSICES widmen sich die Fürther Wissenschaftler gemeinsam mit Spezialisten des Germanischen Nationalmuseums (GNM) in Nürnberg und dem Lehrstuhl für Röntgenmikroskopie LRM an der Universität Würzburg dem Innenleben von historischen, oftmals einmaligen Musikinstrumenten. Denn der Blick ins Innere von Geige, Hammerklavier, Bassethorn und Co. kann in hervorragender Weise Aufschluss darüber geben, in welchem Zustand das Instrument sich aufgrund seines Alters und der Lagerung befindet und ob es noch beispielbar ist. 3D-Röntgenbilder liefern beispielsweise Informationen über die Herstellungsweise, den Klangkörper, die verwendeten Materialien, verborgene Reparaturen, eventuelle Schäden wie Risse, gelöste Leimungen oder Wurmlöcher und machen Maserung, Holzdicke sowie viele andere Konstruktionsdetails sichtbar. Sie ermöglichen den Einblick in verborgene Bereiche. Für Restauratoren, Konservatoren, Musiker, Museumspädagogen und Instrumentenbauer sind die Aufnahmen von unschätzbarem Wert.

## Messstandards fehlen

Doch bislang gibt es keine Messstandards, wie alte Musikinstrumente am besten per 3D-Computertomographie untersucht werden sollen, wie man zu optimalen Aufnahmen und

Messergebnissen kommt. Hierfür entwickeln die Projektpartner nun Richtlinien, sodass Museen weltweit Instrumente unterschiedlichster Klassen mit vergleichbarer Bildqualität digitalisieren können. Trivial ist das nicht: Eine große Zahl von Parametern wie Röntgenenergie, Belichtungszeit, Messabstand, Messdauer, Aufnahme-prozedur, Zusammenstellung der CT-Anlage und Algorithmen zur Berechnung der 3D-Datensätze müssen berücksichtigt werden.

### Ausstellung im virtuellen Museum

Der Aufwand lohnt sich: »Ein Großteil der Museumssammlungen lagert in Kellern, es fehlt einfach an Ausstellungsflächen. Das Germanische Nationalmuseum hat einen Fundus von 2500 alten Instrumenten, die in unterirdischen Depots aufbewahrt werden. Durch die Digitalisierung mit Computertomographie können wir die Bestände ins Internet bringen und für jedermann zugänglich machen, quasi ein virtuelles Museum schaffen«, sagt Dr. Theobald Fuchs, Leitender Wissenschaftler am Fraunhofer EZRT und Leiter des Projekts MUSICES.

Mehr als hundert Instrumente aus vergangenen Jahrhunderten hat das Team bereits digitalisiert – von der Büchsentrompete über die Mundharmonika bis hin zum Tafelklavier. Die unterschiedlichen Größenordnungen verlangen Scans in verschiedenen Anlagen. Das Tafelklavier etwa wurde im Linearbeschleuniger durchleuchtet, dem europaweit größten Computertomographen. Die XXL-Röntgenumgebung besteht aus zwei acht Meter hohen Stahltürmen und einem drei Meter breiten Drehteller in einer 400 Quadratmeter großen Halle mit 14 Metern Deckenhöhe. Kleinere Streich- oder Blasinstrumente werden in gängigen Anlagen geröntgt. Bei allen Untersuchungen befinden sich die Objekte auf einem Drehteller zwischen der Röntgenquelle und dem Röntgendetektor. Eine eigens entwickelte Halterung fixiert die Instrumente wackelfrei. Der Röntgenstrahl durchdringt das rotierende Objekt, abhängig von Materialstärke und -dichte sind unterschiedliche Strahlendosen erforderlich. Je nach Beschaffenheit des Instruments dauert so ein Scan mehrere Stunden. Dabei erstellt der Computertomograph mehrere Tausend Einzelbilder, die zusammengesetzt ein dreidimensionales Bild ergeben.

Bis Januar 2018 wollen die Forscher ihre Ergebnisse im Internet veröffentlichen. Diese umfassen sämtliche CT-Daten, aber auch das Messver-

### Das Projekt MUSICES auf einen Blick

Im Projekt MUSICES (MUSical Instrument Computed Tomography Examination Standard) werden über hundert verschiedene historisch bedeutsame Instrumente untersucht. Wissenschaftler und Restauratoren des Germanischen Nationalmuseums erarbeiten mit dem Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT und dem Lehrstuhl für Röntgenmikroskopie LRM an der Universität in Würzburg Richtlinien und Verfahrensanweisungen zur dreidimensionalen Computertomographie von Musikinstrumenten. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG fördert das Vorhaben.

fahren inklusive aller Schritte wird detailliert und nachvollziehbar dokumentiert. Eine Datenbank stellt alle Details für die Computertomographie bereit. Die Richtlinien geben an, wie die einzelnen Instrumente gemessen werden sollten.

### Scan von Geige dauert 20 Stunden

Darüber hinaus sollen alle technischen Parameter und Metadaten am Ende des Projekts in einer am GNM entwickelten Datenbank veröffentlicht werden. »Erstrebenswert wäre es, wenn man den kompletten Bestand an historischen Instrumenten des Germanischen Nationalmuseums 3D digitalisieren und ins Internet stellen könnte. Wie das am besten zu bewerkstelligen ist, haben wir mit unserem Standard festgehalten«, so Fuchs. »Einer von vielen Faktoren, die man jetzt einschätzen kann, ist der Aufwand. Ein Beispiel: Um eine Geige komplett mit einer Auflösung von weniger als 50 Mikrometern zu röntgen, benötigt man bis zu 20 Stunden. Folglich ist man in der Lage, das für die Anzahl von x Instrumenten hochzurechnen. Dabei fällt eine bestimmte Menge an Volumendaten an, für die man spezielle Festplatten, eine bestimmte Menge an Netzwerkkapazität und besondere Software benötigt. All dies haben wir aufgelistet.« ■

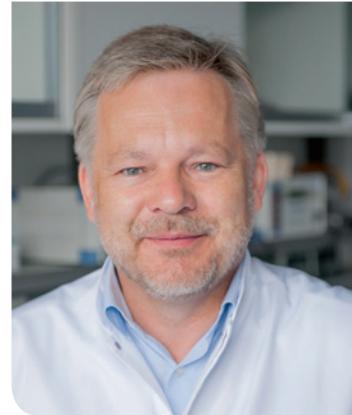


CT einer Büchsentrompete in der Außenansicht. © Fraunhofer EZRT



Per CT wird das Innenleben der äußerlich unscheinbaren Büchsentrompete sichtbar. © Fraunhofer EZRT

Herzhaft in einen Apfel beißen, genüsslich Erdnüsse knabbern, ein Sojaschnitzel essen – das alles können viele Menschen nicht, jedenfalls nicht ohne Reue! Etwa fünf Prozent der Deutschen leiden an einer Lebensmittelallergie. Bislang blieb ihnen nur ein Weg: die allergieauslösenden Lebensmittel meiden. Im Projekt »FoodAllergen« arbeiten Fraunhofer-Wissenschaftler daran, dass mit Allergien besser umgegangen werden kann. Ein Interview mit den Projektleitern Dr. Peter Eisner (Fraunhofer IVV, Freising) und Dr. Michael Szardenings (Fraunhofer IZI, Leipzig).



Projektleiter Dr. Peter Eisner (li.) vom Fraunhofer IVV, Freising. © Eisner Fraunhofer IVV

Teilprojektleiter Dr. Michael Szardenings (re.) vom Fraunhofer IZI, Leipzig. © Fraunhofer IZI

# Die Allergie-Detective

Interview: Andrea Schwendemann

Herr Dr. Eisner, Herr Dr. Szardenings, im Projekt »FoodAllergen« beschäftigen Sie sich mit Lebensmittelallergien. Was ist überhaupt eine Allergie?

**Michael Szardenings:** Der menschliche Körper kann Antikörper gegen alle fremden Substanzen bilden, also auch gegen ein harmloses Butterbrot. Diese »normalen« Antikörper vor allem vom Typ IgG lösen aber keine allergische Reaktion aus. Wenn sich hingegen ein Parasit in die Haut bohrt, kommen spezielle Antikörper vom Typ IgE zum Zuge.

**Peter Eisner:** Genau. Ein Parasit wird von den IgE-Antikörpern auf den Mastzellen der Unterhaut erkannt. Die Mastzellen setzen daraufhin Entzündungsstoffe wie etwa Histamin frei und lösen die bekannten allergischen Reaktionen aus, also von Juckreiz über Schwellungen und Ausschlag bis hin zu nur klinisch behandelbaren Reaktionen. Wenn ein Mensch eine Lebensmittelallergie entwickelt, setzt die Parasiten-Abwehrreaktion ein – ein klarer Fall von Fehlreaktion.

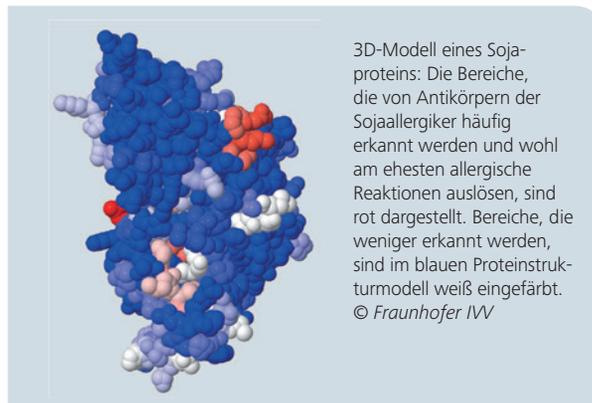
Sie haben sich sehr intensiv mit der Sojabohne beschäftigt. Warum Soja und was haben Sie über die Allergenität der Sojaproteine herausgefunden?

**Michael Szardenings:** Wir haben mit Soja angefangen, weil seine Bestandteile als Zutat in vielen Nahrungsmitteln und anderen Produkten, etwa in Hautcremes, enthalten sind. Außerdem ist die Sojaallergie weit verbreitet, an ihr leiden etwa

eine Million Menschen in Deutschland. Mit einem speziellen statistischen Big-Data-Verfahren haben wir über 300 Epitope in der Sojabohne identifiziert. Epitope sind Regionen eines Proteins, die Allergien auslösen. Inzwischen haben wir diese bereits für Haselnüsse, Sellerie und Erbsen teilweise erforscht, viele andere folgen noch.

Sie haben also die Stellen in den Proteinen identifiziert, die Allergien auslösen. Nun versuchen Sie, Lebensmittel zu modifizieren, damit sie für Allergiker besser verträglich sind. Wie machen Sie das?

**Peter Eisner:** Eine unserer Aufgaben am Fraunhofer IVV ist es, Lebensmittelproteine durch verschiedene Verfahren zu



Viele Lebensmittel lösen Allergien aus. © istock

verändern. Ein natürliches Sojaprotein sieht aus wie ein Wollknäuel. Wir verändern dieses Wollknäuel, oder genauer die Epitope, also die Abschnitte des Wollknäuels, die Allergien auslösen. Dabei wenden wir viele verschiedene Verfahren der Lebensmitteltechnologie an: Wir verformen das Protein, zerschneiden es, wir erhitzen, kochen es, geben Enzyme oder Mikroorganismen dazu, lassen es fermentieren. Ziel ist es, die Proteine so zu verändern, dass der Körper sie nicht mehr als Allergene erkennt.

**Werden Sie eines Tages Lebensmittel herstellen können, die keine Allergien auslösen? Etwa eine hypoallergene Wurst?**

**Peter Eisner:** Wir haben bereits unterschiedliche Verfahren getestet, um Proteine in Lebensmitteln zu verändern, etwa mithilfe von Enzymen oder mit Milchsäurebakterien. Dabei konnten wir zeigen, dass danach weniger allergieauslösende Bereiche im Lebensmittelprotein vorhanden sind. Wir werden die Allergenität von Lebensmitteln oder Lebensmittelzutaten in Zukunft reduzieren können, werden also in der Lage sein, die Epitopanzahl pro Gramm nachweislich zu verringern. Aber wir können nicht garantieren, dass kein einziges allergenes Epitop mehr in einem Lebensmittelprotein vorhanden ist. Der Traum von der allergiefreien Wurst liegt also noch in weiter Ferne.

**Das »FoodAllergen«-Projekt läuft noch bis 2020. Was sind Ihre Ziele?**

**Michael Szardenings:** Die Verbesserung der Patientendiagnostik. Die Abteilung von Dr. Jörg Lehmann am Fraunhofer IZI erstellt eine Biobank mit 500 Seren von Betroffenen. Darauf aufbauend wollen wir am Ende des Projekts Allergikern genau sagen können, auf was sie allergisch reagieren – mit einem Allergietest, für den man nur einen Tropfen Blut braucht und den Ärzte in ihrer Praxis ganz einfach anwenden können. Dieser Test soll zeigen, auf welche Epitope ein Patient genau reagiert. Dass er wirklich eine Sojaallergie hat, aber keine Birkenpollenallergie. Die Prick-Tests, die derzeit angewendet werden, können Kreuzreaktionen nicht auseinanderhalten.

**Peter Eisner:** Unser Ziel am Fraunhofer IVV ist es, die allergenen Proteine in Lebensmitteln wie in Soja oder in der Lupine so zu verändern, dass sie für den Menschen verträglicher werden. Vielleicht sind wir dann eines Tages in der Lage, auch Shrimps so zu verarbeiten, dass ich sie wieder mit Genuss essen kann. Ich habe nämlich leider seit dem letzten Sommer eine Allergie gegen diese Krustentiere.

**Michael Szardenings:** Bislang gibt es noch kein Verfahren, das genau bestimmen kann, welche allergenen Lebensmittelzutaten in welcher Menge in einem Produkt enthalten sind. Ein weiteres großes Ziel des Projekts ist es daher, eine Art Allergie-TÜV für Lebensmittel zu entwickeln. ■



### Das Projekt »FoodAllergen«

Das Projekt läuft noch bis 2020 und wird von der Fraunhofer-Zukunftsstiftung gefördert. Ein Business Developer begleitet die Forscherinnen und Forscher und managt die Kontakte zur Industrie.

### Worum geht es im Projekt?

- Entwickeln neuartiger Analysen von Lebensmittelallergien
- Sicherer Nachweis von Allergenen in Lebensmitteln
- Verringerung des allergenen Potenzials von Nahrungsmitteln
- Nachweisverfahren, die das allergene Potenzial exakt bestimmen

### Diese Fraunhofer-Institute sind beteiligt:

- Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
- Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME
- Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM

© Fraunhofer IPA



# Den Krebs im Fokus

Mit bloßem Auge ist es kaum möglich, gesundes Gewebe von einer Krebsgeschwulst zu unterscheiden. Für eine erfolgreiche Operation sind Chirurgen aber darauf angewiesen, die Grenzen klar zu erkennen. Fraunhofer-Experten haben nun einen Weg gefunden, unterschiedliche Gewebearten farblich zu unterscheiden. Ihre innovative Technik eignet sich sowohl für Endoskope als auch für OP-Mikroskope.

Text: Klaus Jacob

Eine Krebsoperation ist immer heikel, vor allem bei einem mikroinvasiven Eingriff: Der Chirurg will die bösartige Geschwulst vollständig entfernen, gleichzeitig aber das gesunde Gewebe schonen. Er muss seine Schnitte sehr exakt setzen. Keine leichte Aufgabe, denn im Bild, das ein Endoskop liefert, sind kaum Unterschiede zwischen krank und gesund erkennbar. Die Mediziner helfen sich mit fluoreszierenden Substanzen, die sich an die Krebszellen heften. Dank einer speziellen Optik leuchtet die befallene Region dann farbig auf. Die Sache hat nur einen Haken: Das dafür notwendige Linsensystem verdunkelt mit seinen Filtern das Bild, sodass nur die Geschwulst zu sehen ist, nicht aber das umgebende Gewebe. »Der Chirurg muss sich merken, wo er schneiden muss. Dann schaltet er auf die normale Sichtweise um, damit er sieht, was er tut. Natürlich kann er immer wieder hin und her schalten, doch letztlich bleibt er stets auf einem Auge blind«, sagt Nikolaos Deliolanis von der Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie PAMB des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Deliolanis hat nun mit seinem interdisziplinären Team einen Weg gefunden, um den Ärzten den vollen Durchblick zu verschaffen. Er überlagert beide Bilder, sodass der Chirurg sowohl das gesunde Gewebe als auch die eingefärbte Krebsgeschwulst sieht. Mehr noch: Das optische

System kann sogar mehrere unterschiedliche Fluoreszenz-Kontrastmittel erkennen und in verschiedenen Farben darstellen, natürlich in Echtzeit. Das bietet mehrere Vorteile. Zum Beispiel gibt es für manche Krebsarten mehrere Marker, die an den entarteten Zellen andocken. Sie leuchten nun gleichzeitig in verschiedenen Farben auf, was die Sicherheit der Operation zusätzlich erhöht. Außerdem lassen sich mit Kontrastmitteln nicht nur Krebszellen, sondern auch Blutbahnen oder Nerven farblich darstellen. So kann der Chirurg besser erkennen, wo er besonders vorsichtig hantieren muss.

## Die »multispektrale Bildtechnik« wird vom BMBF gefördert

Die innovative »multispektrale Bildtechnik« lässt sich sowohl für Endoskope als auch für OP-Mikroskope nutzen, wie sie bei Gehirnoperationen am offenen Schädel eingesetzt werden. Dass dieser Ansatz sehr vielversprechend ist, zeigt die große Resonanz. Deliolanis konnte sich gegen starke Konkurrenz beim »GO-Bio-Programm« durchsetzen und wird nun vom BMBF gefördert. 78 Forschergruppen hatten sich um fünf Plätze beworben. Zudem belegte er den zweiten Platz beim renommierten Hans-Jürgen Warnecke Innovationspreis im Jahr 2016. Sein System arbeitet im Labor längst zuverlässig, jetzt geht es darum, ein leicht handhabbares Gerät zu entwickeln, das für die Arbeit im OP zugelassen ist.

Der gebürtige Grieche kooperiert dabei mit den Unikliniken von Mannheim und Ulm. Die erste Hürde ist bereits genommen: Bei sechs Patienten mit einem Blasen-Karzinom hat ein Prototyp seine Zuverlässigkeit bewiesen. Die Bilder, die das Gerät lieferte, zeigen sowohl die farblich markierten Krebszellen als auch das umgebende Gewebe. Derzeit wird die Technologie allerdings nur für die Diagnose genutzt, für den Einsatz bei einer Operation fehlt noch die Zulassung. »Wir hoffen, in einem Jahr ein zugelassenes Gerät zu haben«, sagt Deliolanis. ■

Die Kamera macht mit Fluoreszenzfarbstoffen eingefärbte Strukturen sichtbar. So kann ein Arzt eine Krebsgeschwulst erkennen und mit dem Endoskop entfernen.

© Fraunhofer IPA



# Mit Smartphone-Apps gegen den Krebs

Ein ehrgeiziges EU-Projekt unterstützt Krebspatienten bei der Behandlung ihrer Krankheit. Ein Highlight dabei sind Smartphone-Apps, die an die Einnahme von Medikamenten erinnern und Vitalparameter speichern.

Text: Mehmet Toprak

Die App für iManageCancer ist vor allem unterwegs eine große Hilfe. © Fraunhofer IBMT, Bernd Müller

Wenn Ingo P. im öffentlichen Nahverkehr unterwegs ist, greift er regelmäßig zu seinem Smartphone. Wie die meisten Fahrgäste checkt er WhatsApp-Nachrichten, stöbert in Facebook oder liest News. Zusätzlich nutzt er aber eine App, die kaum jemand auf dem Handy hat. Ingo P. hat Leukämie. Mit der App iManageMyHealth überwacht er seine Medikamenteneinnahme, liest digitale Beipackzettel, führt Tagebuch über seine Erkrankung und erhält personalisierte Ratschläge zu seiner Behandlung.

Der Krebspatient Ingo P. ist erfunden, aber die App gibt es wirklich. Entwickelt wurde sie vom Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT im Rahmen des EU-Projekts iManageCancer. Es kombiniert eine IT-Plattform im Web mit Apps für Android-Handys. Insgesamt neun Partner aus fünf europäischen Ländern sind beteiligt. Neben Deutschland sind dies die Niederlande, Griechenland, England und Italien.

## Der persönliche Gesundheitsberater im Web

Basis der Gesundheitsplattform bildet dabei die persönliche Gesundheitsakte (iPHR) auf einem Webserver. Der Patient muss sich mit Benutzername und Kennwort anmelden. Dann greift er über den Webbrowser auf seine persönlichen Seiten zu. Die Gesundheitsakte speichert alle Daten und Infos zur Erkrankung des Nutzers. Über

eine semantische Suchmaschine holt er sich weitere Informationen, die auf sein persönliches Krankheitsbild zugeschnitten sind. Stephan Kiefer, der Projektkoordinator von iManageCancer am Fraunhofer IBMT, sagt: »Als Grundlage dienen ausschließlich hochwertige Informationsquellen, die von Fachärzten ausgesucht sind.«

Der ganze Nutzen der Gesundheitsakte und der Apps entfaltet sich besonders dann, wenn der Patient dem behandelnden Arzt Zugriff auf seine Daten einräumt. Der könnte dann beispielsweise Vitalparameter wie Gewicht, Blutdruck oder Temperatur einsehen. Die Werte hat der Patient in sein Smartphone eingetippt. Wenn Fieberthermometer, Waage und Blutdruckmessgerät eine Bluetooth-Schnittstelle besitzen, dann wandern die Vitalparameter direkt in das Smartphone und werden von der App gespeichert.

Die Entwickler legen Wert darauf, dass die Smartphone-App trotz der vielen Funktionen leicht bedienbar bleibt. »Wir haben zwei Workshops und eine Testphase zu Hause mit Patienten durchgeführt. Deren Feedback haben wir genutzt, um die Bedienoberfläche zu optimieren«, erklärt Stephan Kiefer.

## Spieler-App für Kinder

Auch Kinder werden von der tückischen Krankheit Krebs nicht verschont. Für sie gibt es

eine Spieler-App. Bei dem vom Geschäftspartner Promotion Software GmbH entwickelten Spiel gleiten sie im Raumschiff durch den Körper und schießen Krebszellen ab. Das Spiel soll dem Kind das Gefühl geben, dass es gegen die Krankheit kämpfen und sie besiegen kann. Auch Eltern, Geschwister oder Freunde dürfen die App nutzen und Krebszellen zerstören. Damit schicken sie dem kleinen Patienten Bonuspunkte, beispielsweise in Form von Spezialwaffen, die besonders gefährliche Krebszellen vernichten. »Das Kind erlebt so den sozialen Rückhalt durch Familie und Freunde«, erklärt Stephan Kiefer.

Wem als Erwachsenen nach Spielen zumute ist, für den bietet die Plattform ebenfalls eine passende App. Hier schlüpft man in die Rolle des Bürgermeisters einer virtuellen Stadt, der hilft, die Gesundheit der Bürger zu verbessern. Solche Spiele bieten einen konkreten Nutzen, der Patient erhält Informationen zur Krankheit und verliert die Angst vor neuen therapeutischen Maßnahmen. Studien zeigen, dass diese Spiele auch die Therapietreue verbessern.

Der Weg zum praktischen Einsatz von iManageCancer ist nicht mehr lang. Derzeit finden an zwei Kliniken in Deutschland und Italien Pilotstudien statt. Schon im Herbst 2018 könnten Krankenversicherer, onkologische Zentren oder Kliniken den Service anbieten. ■

# Legasthenie schon bei Vorschulkindern erkennen



Bei Kindern mit Lese- und Rechtschreibstörungen sind bestimmte Bereiche der Hirnrinde dünner als gewöhnlich. © iStock

Lese- und Rechtschreibstörungen lassen sich umso besser beheben, je früher sie erkannt werden. Herkömmliche Testverfahren setzen Kenntnisse im Lesen und Schreiben voraus und greifen daher erst bei Schulkindern. Mithilfe eines Frühtests ließe sich bereits vor der Einschulung klären, welche Kinder zur Legasthenie neigen und frühzeitig gefördert werden sollten. Die Grundlagen dafür haben Wissenschaftler der Fraunhofer- und der Max-Planck-Gesellschaft im Forschungsprojekt LEGASCREEN gelegt.

Text: Monika Offenberger

Biene oder Beine, Hans oder Haus, bringt oder dringt? Kleine Unterschiede im Schriftbild entscheiden über die Bedeutung von Wörtern und den Sinn ganzer Sätze. Wie man sie schnell und sicher erkennt, lernen Kinder normalerweise als Erstklässler, und sie festigen ihr Wissen mit jedem weiteren Schuljahr. Doch fünf von hundert deutschen Abc-Schützen, also jährlich etwa 35 000 Schulanfänger, scheitern an dieser Aufgabe. Weil sie in höheren Klassen immer noch zu langsam lesen und fehlerhaft schreiben, kassieren sie oft auch in Mathe oder Sachkunde schlechte Noten – selbst wenn sie in diesen Fächern ebenso fit sind wie ihre Klassenkameraden. Das Handicap dieser Kinder heißt Lese-Rechtschreibstörung (LRS) oder Legasthenie.

»Es gibt hervorragende Frühförderprogramme für Kinder ab drei Jahren, mit denen man solche

Störungen abmildern oder beheben kann. Allerdings muss man damit bereits vor der Einschulung beginnen und deshalb sehr frühzeitig herausfinden, ob ein Kind zu einer Lese- und Rechtschreibstörung neigt«, betont Dr. Arndt Wilcke, Linguist und Neurogenetiker am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. Und genau hier liegt das Problem. Im Moment wird eine Legasthenie bei den meisten Kindern erst dann erkannt, wenn sie eigentlich schon lesen und schreiben können sollten, also gegen Ende der zweiten Klasse. »Das ist viel zu spät«, erklärt Wilcke. Deshalb arbeitet der Fraunhofer-Forscher an einem Test, mit dem sich das Legasthenie-Risiko bereits bei drei- bis fünfjährigen Kindern schnell und sicher abschätzen lässt. Unterstützung erhält er von Dr. Jens Brauer und seinem Team am Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neuro-

wissenschaften (MPI CBS). In einem gemeinsamen Forschungsprojekt namens LEGASCREEN haben die Wissenschaftler fünf Jahre lang nach biologischen Auffälligkeiten gesucht, anhand derer sich die Neigung zu einer LRS schon bei Vorschulkindern zuverlässig vorhersagen lässt.

### Legasthenie ist zum großen Teil genetisch bedingt

Die Projektpartner näherten sich ihrem Ziel auf unterschiedlichen Wegen: Die IZI-Forscher suchten nach Genvarianten, die bei Legasthenikern häufiger vorkommen als in der Allgemeinbevölkerung; die Kollegen am MPI konzentrierten sich auf anatomische und funktionelle Besonderheiten im Gehirn. In aufwändigen Tests wurden Kinder im Alter von drei, fünf und zehn Jahren untersucht: Bei den Zehnjährigen ließ sich anhand bewährter Tests herausfinden, ob sie betroffen waren oder nicht. Nicht so bei den jüngeren Probanden: Hier wählte man einen Teil der Kinder danach aus, ob bei deren Eltern oder Geschwistern eine Legasthenie vorliegt. »Zahlreiche Studien haben nämlich gezeigt, dass Kinder mit familiärer Häufung von LRS auch selbst häufiger betroffen sind. Das weist auf den großen Einfluss der Erbanlagen hin«, sagt Arndt Wilcke. Man geht heute davon aus, dass 50 bis 70 Prozent der Störung durch genetische Faktoren erklärt werden können.

»Ein großer Teil der Legasthenie-Forschung findet im englischsprachigen Raum statt. Wir konnten im Rahmen von LEGASCREEN zeigen, dass manche der dort auffälligen Gene auch bei deutschen Legasthenikern eine Rolle spielen – aber eben nicht alle«, erklärt Wilcke, der schließlich 25 Genvarianten identifizierte, die sich beson-

ders gut für die Vorhersage einer LRS eignen. Je mehr dieser 25 Risiko-Varianten ein Kind in sich trägt, umso wahrscheinlicher bekommt es später Probleme beim Lesen und Schreiben.

Für eine zuverlässige Prognose ist ein Gentest allein jedoch nicht ausreichend. Deshalb suchten die LEGASCREEN-Partner am MPI CBS unter Leitung von Dr. Jens Brauer auch im Gehirn der drei- bis zehnjährigen Kinder nach Auffälligkeiten. Mit Magnetresonanztomographie (MRT) haben sie dreidimensionale Ansichten des Denkkorgans der Kinder erstellt – und Erstaunliches entdeckt: »Bei Kindern mit Legasthenie sind bestimmte Bereiche der Hirnrinde, die bei der Verarbeitung von Sprache beteiligt sind, dünner als gewöhnlich. Außerdem sind in der darunter liegenden weißen Substanz viele Nervenfaserverbindungen schwächer ausgeprägt«, sagt Brauers Kollege Dr. Michael Skeide. Bei Erwachsenen wusste man das schon länger, so der Neurowissenschaftler: »Wir haben nun aber gezeigt, dass das sogar bei kleinen Kindern sichtbar ist. Dieselben Kinder, bei denen wir als Fünfjährige im MRT hirnanatomische Auffälligkeiten gesehen haben, erwiesen sich als Erst- oder Zweitklässler beim LRS-Test als Legastheniker.«

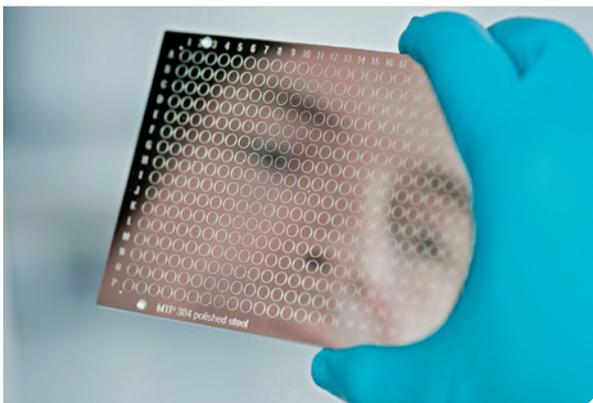
Die MRT-Untersuchungen haben wertvolle Erkenntnisse über die Ursachen von Legasthenie gebracht und mündeten, ebenso wie die genetischen Studien, in zahlreiche Publikationen in hochrangigen Fachzeitschriften. Für ein Reihenscreening von Vorschulkindern ist das Verfahren jedoch zu aufwändig. Bei dem anvisierten Frühtest setzt Jens Bauer daher auf eine bei Legasthenikern schwächer ausgeprägte Hirnreaktion, die sich auch bei Kleinkindern mit Elektroenzephalografie (EEG) sehr gut ablesen lässt.

Die Identifizierung zentraler genetischer und hirnhypophysischer LRS-Marker ist abgeschlossen. »Jetzt müssen sich die Marker an einer unabhängigen Stichprobe bewähren, also an Kindern, deren Vorgeschichte und Prognose wir nicht kennen. Erst dann können wir sicher sagen, welche Gene und welche EEG-Muster am aussagekräftigsten sind. Außerdem wollen wir den Aufwand für die Probanden minimieren und an allen Schrauben drehen, die einen künftigen Test möglichst einfach und kostengünstig machen«, betont Jens Brauer. Drei weitere Jahre veranschlagen sie für diese abschließende Studie an etwa 200 Kindergartenkindern – und suchen dringend nach Geldgebern.

### Ein Frühtest verhindert Leid und spart Kosten

Dass sich die Investition in vieler Hinsicht lohnt, davon sind Wilcke und Brauer überzeugt: »Wir geben derzeit jedes Jahr schätzungsweise drei Milliarden Euro für die Therapie von legasthenen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen aus, die durch ihr Handicap in eine Spirale aus Frustration, Schulverweigerung, Stigmatisierung und sozialen Problemen geraten. Wenn wir in der Lage wären, die betroffenen Kinder schon frühzeitig mit Förderangeboten zu unterstützen, dann wäre ihnen sehr geholfen – und die volkswirtschaftlichen Kosten wären insgesamt geringer.«

Bei den Eltern kommt der geplante Frühtest jedenfalls gut an. Das belegt eine Umfrage der LEGASCREEN-Forscher: Mehr als 80 Prozent der Befragten würden ihre eigenen Kinder im Alter zwischen drei und sieben Jahren testen lassen – mehr als die Hälfte selbst dann, wenn die Krankenkasse die Kosten nicht übernehmen würde. ■

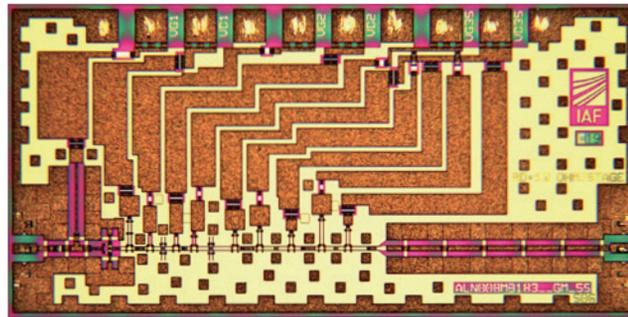
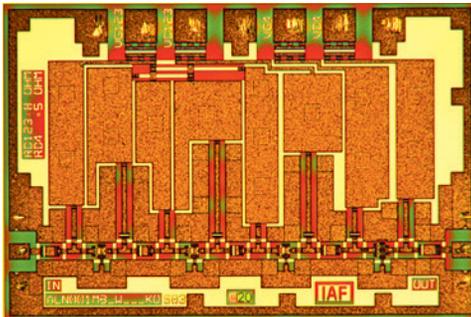


Im Labor wird aus Speichelproben von Vorschulkindern die Erbsubstanz isoliert und für die massenspektrometrische Untersuchung auf Stahlplatten aufgetragen.  
© Fraunhofer IZI

# Mikrowellenverstärker verbessern die Wettervorhersage

Die Europäische Raumfahrtagentur ESA wird in den kommenden Jahren eine Reihe neuer Wettersatelliten ins All schicken, die wichtige meteorologische Messgrößen wie Niederschlag, Wasserdampf oder Temperatur besser denn je messen können. Herz dieser Messgeräte sind extrem empfindliche Mikrowellenverstärker, die am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF entwickelt wurden. Diese können auch sehr schwache Signale aus der Atmosphäre wahrnehmen, die für genauere Wettervorhersagen wichtig sind.

Text: Tim Schröder



Die Verstärker bestehen aus dem Halbleitermaterial Indium-Gallium-Arsenid. Diese sind so empfindlich, dass sie auch sehr schwache Mikrowellensignale wahrnehmen. © Fraunhofer IAF

Anders als noch vor wenigen Jahrzehnten sind Wetterberichte heute bemerkenswert zuverlässig. Das Wetter für die kommenden zwei bis drei Tage können Meteorologen heute ziemlich genau vorhersagen. Das ist nicht zuletzt den Satelliten zu verdanken, die permanent mit empfindlichen Sensoren die Erdoberfläche und die Atmosphäre vermessen und Tausende von aktuellen Daten zur Erde funken. Die Meteorologen speisen diese in Computerprogramme ein, um in Simulationsrechnungen zu ermitteln, wie sich das Wetter höchstwahrscheinlich entwickeln wird. Doch die Vermessung der Erde aus großer Höhe ist eine Herausforderung. Die Geräte müssen sehr empfindlich sein, um aus mehreren 100 Kilometern Entfernung Werte richtig zu detektieren. Je besser die Sensoren sind, desto genauer sind die Messwerte – und damit auch die Wettervorhersagen. Die Europäische Raumfahrtagentur ESA wird deshalb in wenigen Jahren die zweite Generation ihrer MetOp-Wettersatelliten (Meteorological Operational Satellite) ins All schießen – sechs Stück insgesamt mit moderner, verbesserter Messtechnik.

An Bord der Satelliten sind dann kleine aber sehr feine technologische Komponenten des Freiburger Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF – ultraempfindliche Mikrowellenverstärker. Mikrowellen werden von jedem Körper und jeder Fläche abgegeben – so ähnlich wie ein Körper Wärme abstrahlt, die man im Infrarotbild sehen kann. Auch Wasserdampf, Regen, Nebel oder Eiskristalle, die für die Wettervorhersage besonders interessant sind, geben charakteristische Mikrowellenstrahlung ab. So lässt sich aus der Mikrowellenstrahlung die Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilung in unserer Atmosphäre von der Erdoberfläche bis in die höchsten Atmosphärenschichten bestimmen. Wichtig sind auch die aus Eiskristallen bestehenden Cirrus-Wolken weit oben in der Atmosphäre, die einen wichtigen Einfluss auf das Klima und das Wetter haben.

Nur mit den ultraempfindlichen Verstärkern aus Freiburg ist eine sehr genaue Mikrowellenmessung möglich. Denn die Mikrowellen haben es in sich. Zum einen schwingen Mikrowellen mit Fre-

quenzen im höheren Gigahertzbereich. Will man sie verstärken, müssen alle Verstärkerkomponenten besonders klein sein. Zum anderen sind die Mikrowellensignale, die von der Erde und aus der Atmosphäre ins Weltall abstrahlen, sehr schwach. Sie betragen nur wenige Nanowatt, weshalb man besonders sensitive Verstärker benötigt. »Mit unseren Verstärkern meistern wir beide Herausforderungen«, sagt Markus Rösch, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAF. »Herzstück dieser Verstärker sind Transistoren aus dem Halbleitermaterial Indium-Gallium-Arsenid, einem Material mit ganz besonderen Eigenschaften, das sehr empfindlich ist und das wir zu sehr schnellen Bauteilen verarbeiten können.« Indium-Gallium-Arsenid hat die Eigenschaft, Elektronen auf ihrem Weg durch das Material kaum zu stören. Damit können die Verstärker bereits Mikrowellen von wenigen Nanowatt erspüren, ohne dass das Signal verrauscht.

Die entscheidende Komponente der Verstärker sind die Transistoren – beziehungsweise deren Gate-Elektroden. Die Gate-Elektrode ist eine

Ab 2021 sollen die MetOp-Satelliten der zweiten Generation ins All starten. Mit an Bord: die Mikrowellenverstärker des Fraunhofer IAF. © ESA-G. Porter, CC BY-SA 3.0 IGO



Art Stromventil, das den Fluss der Elektronen durch den Transistor steuert. Die Gate-Elektrode des IAF-Transistors hat eine Länge von nur 50 Nanometern. Das ist so klein, dass der Transistor dem Auf und Ab der hochfrequenten Mikrowellen sehr gut folgen und die Wellen damit auch verstärken kann.

Die Forscher am Fraunhofer IAF arbeiten seit vielen Jahren mit dem herausfordernden Werkstoff Indium-Gallium-Arsenid und beherrschen ihn sicher. Anders als der klassische Halbleiter Silizium ist er nämlich sehr viel schwieriger zu bearbeiten. »Mit Silizium lassen sich leicht Bauteile in hohen Stückzahlen mit absolut identischen Eigenschaften produzieren«, sagt Rösch. »Indium-Gallium-Arsenid ist eigenwilliger. Man muss bei der Produktion sehr genau darauf achten, dass die Bauteile auch die gewünschten Eigenschaften haben. Und je kleiner die Komponenten sind, desto anspruchsvoller wird das.« Die IAF-Forscher haben einen hochgenauen Fertigungsprozess entwickelt, bei dem die Verstärkerschaltungen in 150 Produktionsschritten realisiert

werden. Die Elektroden als kleinste Struktur werden hierbei mithilfe eines Elektronenstrahls geformt. In dieser Präzision können das weltweit nur ganz wenige Firmen oder Institute.

Auf den MetOp-Satelliten werden die Verstärker in drei verschiedenen Mikrowellenempfängern eingesetzt, die unterschiedliche Bestandteile der Atmosphäre messen – Wasserdampf, Eiskristalle oder Sauerstoff. Jeder Luftbestandteil gibt Mikrowellenstrahlung in einem bestimmten, charakteristischen Frequenzbereich ab. Sauerstoff etwa liefert deutliche Signale um die 54 Gigahertz, Wasserdampf wiederum etwa 183 Gigahertz. Für insgesamt sechs Frequenzbänder zwischen 54 und 229 Gigahertz musste das IAF Verstärker bauen. Das Problem: Für jeden Frequenzbereich muss ein ganz neuer Verstärker mit exakt auf die Frequenz zugeschnittenen Schaltungskomponenten entworfen und gefertigt werden. »Das war eine große Herausforderung. Allein das Design eines Verstärkers dauert gut 14 Tage«, sagt Rösch. »Und für jedes Frequenzband haben wir gleich mehrere Verstärker entworfen, um ver-

gleichen und den besten aussuchen zu können.« Die anschließende Analyse und Vermessung der Verstärker, die Charakterisierung, war ebenso aufwändig.

### Mikrowellenverstärker überstehen auch einen Raketenstart

Derzeit befinden sich die Verstärker in der Qualifizierungsphase, in der die Komponenten für die Raumfahrt auf Herz und Nieren geprüft werden. Die Hersteller der MetOp-Messgeräte untersuchen, wie exakt die Transistoren gefertigt wurden, aber auch, ob sie das Rütteln beim Raketenstart überstehen. Markus Rösch ist zuversichtlich, dass die Verstärker die Qualifizierung erfolgreich bestehen werden: »Die Komponenten sind erstaunlich robust. Und Strukturen von 50 Nanometern können wir mit unserem Verfahren sehr zuverlässig herstellen.« Dennoch wird es noch ein wenig dauern, bis alle Tests abgeschlossen und die MetOp-Satelliten endlich startklar sind. Erst 2021 soll die erste Rakete abheben. ■

# Tödliche Gefahr: Weltraumschrott im Orbit

Defekte Satelliten, Metalltrümmer, verlorene Werkzeug – unzählige solcher Objekte umkreisen die Erde und stellen eine Bedrohung für kommerzielle Satelliten und Weltraummissionen dar. Fraunhofer-Forscher arbeiten daran, den fliegenden Schrott zu erfassen und seine genaue Position zu orten.

Text: Mehmet Toprak

Eigentlich sollte das kein Problem sein. Es ist ja nur Müll. Einsammeln, entsorgen und fertig. Allerdings schwebt dieser Müll in der Erdumlaufbahn, also in 1000 Kilometern Höhe oder noch höher. Er besteht aus Metallteilen, beispielsweise abgetrennten Raketenstufen, defekten Satelliten und anderen Trümmern. Sogar Schraubenzieher, die Astronauten bei der Arbeit im All verloren haben, sind darunter. Es sind mindestens 20 000 bekannte Objekte, hinzukommen unzählige kleine Teile, die im Orbit schweben. Wobei das Wort »schweben« hier nicht ganz passt, denn diese Objekte rasen mit einer Geschwindigkeit von nahezu 30 000 Stundenkilometern durchs All. Bei dieser Geschwindigkeit wird auch ein nur 1 Zentimeter kleines Metallstück zur tödlichen Gefahr. Bei einer Kollision entfaltet es eine Wucht wie ein Mittelklassewagen mit Tempo 50.

Das macht die enorme Herausforderung deutlich, die sich bei der Beseitigung des fliegenden Schrotts stellt. Der erste Schritt, diese Teile unschädlich machen zu können, besteht darin, sie erst einmal zu finden.

## Hochleistungsradar in Wachtberg

Genau das gehört zu den Aufgaben von TIRA (Tracking & Imaging Radar). Das Weltraumbeobachtungsradar in Wachtberg wird vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR betrieben und ist in Europa einzigartig. Herzstück ist eine Antenne mit einem Durchmesser von 34 Metern, geschützt durch eine kugelförmige weiße Hülle (Radom).

Die Antenne kann horizontal um 360 Grad und vertikal um 90 Grad gedreht werden. In 15 Sekunden dreht der 240 Tonnen schwere Antennen-Bolide eine komplette Runde. TIRA wurde natürlich nicht gebaut, um Müll zu beobachten. In erster Linie dient TIRA der Analyse von Objekten im All und dem Aufspüren von Asteroiden oder Meteoriten. Daneben unterstützt TIRA regelmäßig auch die Weltraummissionen von Raumfahrtorganisation aus der ganzen Welt.

Allerdings wird die Aufgabe, Schrott im Orbit aufzuspüren, immer wichtiger. Schließlich bedrohen die Trümmer auch viele Satelliten, die beispielsweise für TV-Übertragungen, die Kommunikation, die Navigation oder die Wetterbeobachtung eingesetzt werden. Unsere moderne Gesellschaft funktioniert nicht mehr ohne all die Hightech-Satelliten.

Dr. Ludger Leushacke, Abteilungsleiter Radar zur Weltraumbeobachtung in Wachtberg, ist stolz auf die Leistungsfähigkeit der Antenne: »Die Anlage erfasst Objekte von nur zwei Zentimetern Größe in einer Entfernung von 1000 Kilometern.« Solche Kleinteile kreisen nämlich zu Tausenden im Orbit. Und immer, wenn beispielsweise defekte Satelliten kollidieren, entsteht eine Vielzahl neuer, noch kleinerer Bruchstücke.

## Die besonderen Vorteile von Radar

Bei der präzisen Ortung auch sehr kleiner Objekte kommen die besonderen physikalischen Eigenschaften von Radar zum Tragen. Radar

erfasst Objekte bei jedem Wetter, bei Tag und bei Nacht. Radarstrahlen durchdringen die Wolkendecke, optische Teleskope schaffen das nicht, denn sie sind auf Licht angewiesen.

Außerdem ist die Auflösung der Radarbilder nicht von der Entfernung abhängig. Sogar aus 1000 Kilometern Entfernung ist eine hohe Detailschärfe möglich. »Um die gleiche Auflösung zu erzielen, müsste ein typisches optisches Teleskop sich dem Objekt bis auf 50 Kilometer nähern«, sagt Leushacke.

## Simulations-Software sagt Position und Eigenrotation voraus

Das System arbeitet mit einem Abbildungs- und einem Verfolgungsradar. Das Abbildungsradar erstellt detaillierte Bilder des jeweils erfassten Objekts, das Verfolgungsradar ermittelt die Umlaufbahn. Für Experten: Das schmalbandige Verfolgungsradar arbeitet auf einer Sendefrequenz im L-Band (1,333 GHz), das Abbildungsradar bewegt sich im Ku-Band (16,7 GHz). Die von der Antenne empfangenen Daten werden anschließend ausgewertet. Dafür arbeiten Leushacke und sein Team unter anderem mit dem Unternehmen Hyperschall-Technologie Göttingen (HTG) zusammen. Dessen Entwickler haben eine Software programmiert, mit der sich die Eigenbewegung von Objekten im Orbit simulieren lässt. Auf Basis der Radardaten des FHR simuliert das Programm auch sehr komplexe Taumelbewegungen. »Die Prognosen sind so zuverlässig und genau, dass man voraussagen kann, wie sich ein Objekt in ein oder zwei Jahren verhält«, erklärt Leushacke. Wichtig ist das deshalb, weil jede Weltraummission eine gewisse Vorlaufzeit benötigt und deshalb sorgfältig geplant werden muss.

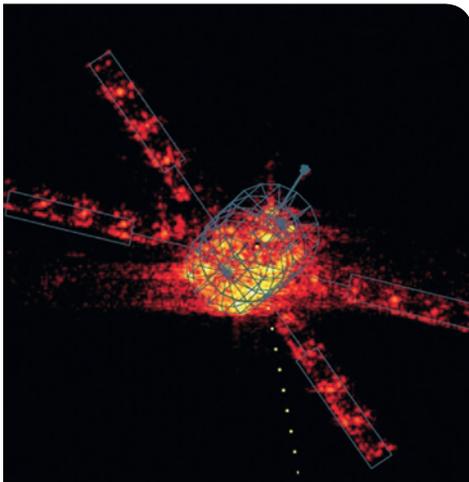
## Faserlaser im All

Einen ganz anderen Ansatz als das FHR mit seiner gigantischen Radaranlage verfolgen die Kollegen des Fraunhofer-Instituts für Ange-

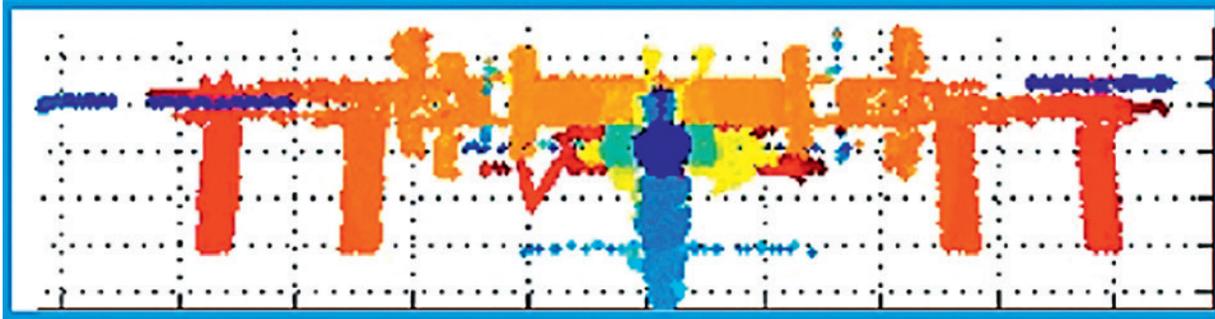
Wenn Trümmerteile mit einem Satelliten kollidieren, können sie diesen vollständig zerstören.  
© Fraunhofer FHR



Die Experten nutzen vorhandene Drahtgittermodelle der Objekte, beispielsweise eines Satelliten, zum Abgleich mit den Radarbildern. © Fraunhofer FHR



Das riesige Weltraumbeobachtungsradar in Wachtberg findet sogar Objekte, die nur zwei Zentimeter groß sind.  
© Fraunhofer FHR



So sieht der Sensor RVS 3000 der Jena-Optronik die Internationale Raumstation ISS (simuliertes Bild). Mithilfe der Sensordaten kann das Transportmodul ATV andocken. © ESA

### Was ist ein Faserlaser?

Faserlaser sind Festkörperlaser. Um den Laserstrahl bilden zu können, ist das feste Medium – die Glasfaser – mit seltenen Erden wie Erbium oder Neodym gespickt. Diese Elemente verstärken das Licht. Über die Einstrahlung von Licht und eine Rückspiegelung am Ende der Glasfaser werden sie immer wieder »aktiviert« und »aufgeladen«. Das vom ersten Erbium-Atom ausgestrahlte Licht reißt gewissermaßen das Licht aller anderen Atome mit. So entsteht ein extrem heller und fokussierter Strahl. Faserlaser haben Leistungsspitzen von mehreren Megawatt und besitzen eine wesentlich bessere Strahlqualität als CO<sub>2</sub>-Laser.



Das ATV-5-Kontrollzentrum in Toulouse. Auf dem Riesendisplay im Hintergrund ist das Transport-Modul ATV zu sehen. © ESA

wandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena. Sie haben einen extrem leistungsfähigen Faserlaser entwickelt, der im Weltraum entgegenkommende Objekte aufspürt. Der IOF-Laser ist in der Lage, extrem kurze Lichtpulse von nur wenigen Milliardstel Sekunden abzuschießen und dies 10 000 Mal pro Sekunde. Dabei benötigt er weniger als 10 Watt Eingangsleistung.

Das Unternehmen Jena-Optronik GmbH hat den Faserlaser in sein Sensorsystem RVS 3000 integriert. Das System ist nicht größer als ein Schuhkarton und reist in Raumfähren oder Transportmodulen mit. Wenn diese sich einem Objekt nähern, ermittelt der Laser dessen genaue Entfernung und Eigenrotation.

Wie funktioniert das? Das ausgesandte Lichtsignal wird über bewegliche Spiegel auf das Objekt gelenkt, beispielsweise einen defekten Satelliten. Dessen Oberfläche reflektiert das Licht, das von einem Sensor wieder detektiert wird. Aus der

Zeitdifferenz zwischen dem ausgesandten und dem empfangenen Lichtsignal errechnet sich der Abstand zum Objekt. Doch der RVS 3000 kann noch viel mehr. Denn der Laser sendet pro Sekunde mehr als 10 000 Lichtblitze aus. Gleichzeitig ändern die Spiegel ständig ihren Winkel. So tasten die Lichtblitze die Oberfläche des Objekts wie ein Scanner ab. Es entsteht eine Art Punktwolke, die sich durch bildgebende Verfahren in ein hochgenaues 3D-Bild des Objekts verwandelt. Dietmar Ratzsch, Geschäftsführer des Jenaer Hightech-Herstellers, sagt: »Die Sensoren des Systems sind extrem empfindlich, sie registrieren sogar ein Milliardstel der abgestrahlten Lichtstärke.«

Zum Einsatz kommt der RVS 3000 nicht nur bei der Analyse von Weltraumschrott. Die europäische Raumfahrtagentur ESA etwa nutzt die Technik aus Jena zum automatischen Andocken des Transportmoduls ATV an die Internationale Raumstation ISS.

Der Laser muss dabei nicht nur extrem leistungsfähig und präzise sein, er muss auch eine Menge aushalten. »Eine Herausforderung für uns war, den Laser für die extrem hohen Belastungen beim Einsatz im All fit zu machen. Die Beschleunigungskräfte beim Start, die Strahlung im All und die extremen Temperaturschwankungen setzen dem optoelektronischen Instrument mächtig zu«, erklärt Dr. Thomas Schreiber von der Gruppe Faserlaser am Fraunhofer IOF.

Könnte man den Faserlaser nutzen, den Weltraumschrott per Hitzestrahl zu vernichten? Bis zur Laserkanone aus dem Science-Fiction-Film ist es noch ein sehr langer Weg. Die beste Möglichkeit, den Weltraummüll zu entsorgen, besteht heute darin, die einzelnen Objekte aus ihrer Umlaufbahn zu schubsen, damit sie langsam aber sicher in die Atmosphäre eintauchen und dort verglühen. ■

Der französische Satellitenbus Myriade transportiert, steuert und versorgt MERLIN mit Energie. © CNES/illustration David DUCROS, 2016



# Klima-Wächter im Weltall

Hagelstürme, Dürren, später Frost – nicht nur deutsche Winzer und Bauern spüren die Folgen des Klimawandels. Überall nehmen Extremwetter zu. Der deutsch-französische Klima-Satellit MERLIN ist ab 2021 dem Treibhausgas Methan auf der Spur – dank eines neuen robusten Lasersystems mit bisher unerreichter Messgenauigkeit.

Text: Dr. Sonja Endres

Methan entsteht vor allem bei Zersetzungs- und Fäulnisprozessen und entweicht aus Klärschlamm, Kuhmägen oder Mülldeponien. Das geruchs- und farblose Gas ist auch in Kohle gebunden und wird zusammen mit Luft zu einem explosiven Gemisch, das schon zahlreiche Grubenunglücke verursachte. Im Meeresboden lagert das Gas in großen Mengen in mehr als 500 Metern Tiefe in Form von Methanhydrat als Eis. Erwärmt sich das Wasser, können die Hydrate zerfallen und das Methan freisetzen – mit fatalen Folgen für das Klima. Methan ist 25-mal klimaschädlicher als Kohlendioxid, kommt

in der Erdatmosphäre aber wesentlich seltener vor – bisher. In den vergangenen zehn Jahren ist die Methan-Konzentration überraschend stark gestiegen. Die Forscher stehen vor einem Rätsel. Um den Ursachen auf den Grund zu gehen, ist es wichtig zu messen, wo und in welcher Menge Methan in die Erdatmosphäre abgegeben wird.

Doch mit den herkömmlichen satellitengestützten Systemen ist eine weltweite Erfassung der Emissionswerte mit hoher Auflösung nicht möglich. Sie nutzen das Sonnenlicht, um Methan aufzuspüren. Die Licht-Absorption lässt Rückschlüsse auf die Moleküle zu, die in der Luft vorhanden sind. Messen kann man immer nur auf der sonnenzugewandten Seite der Erde und bei wolkenfreiem Himmel.

## Methan jederzeit und überall messen

»Unser laserbasiertes Messsystem ist vom Sonnenlicht unabhängig, daher kann man damit jederzeit und überall messen«, sagt Dr. Jens Löhning, der am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen die neue Lasertechnologie mitentwickelt. »Ziel der Mission ist, den Klimawissenschaftlern genaue globale Daten zu Methanverteilungen zu liefern, damit sie die Klimaentwicklung besser vorhersagen können.«

Dafür entwickeln die Wissenschaftler am Fraunhofer ILT einen Laser, der sehr präzise Einfrequenz-Lichtpulse auf die Erde senden kann. Auch hier zeigt die Licht-Absorption, ob und in welcher Konzentration Methan vorhanden ist – allerdings wesentlich genauer als mithilfe von Sonnenlicht. Der Laserpuls lässt sich exakt auf die Absorptionslinie von Methan bei einer vorher festgelegten Wellenlänge einstellen. »Jedes Gas hat seinen spektralen Fingerabdruck. Es absorbiert bei bestimmten Wellenlängen besonders gut oder schlecht. Dabei ist es wichtig, dass andere Gase bei dieser Wellenlänge keine Absorptionslinie haben, damit die Messung nicht verfälscht wird«, erklärt Löhning.

Damit der Laser im Weltall problemlos und wartungsfrei für die Missionsdauer von drei Jahren funktioniert, muss er Temperaturwechsel von minus 30 bis plus 50 Grad Celsius genauso unbeschadet überstehen wie starke Vibrationen. »Wir haben für den Laser optomechanische Bauteile wie Spiegel- oder Linsenhalter entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht werden und ihre sehr genaue Einstellung bewahren.«

Außerdem muss die Luft im Messgerät rein gehalten werden. »Klebstoffe führen zu einer Kontamination der Luft. Winzige Teilchen lösen sich, lagern sich auf den Spiegeln ab und zerstören die Optik«, erklärt Löhning. »Wir haben daher beim Aufbau des Lasers ausschließlich gelötet und geschraubt – eine völlig neue Technik, die das System zusätzlich robust macht und daher auch für zahlreiche Anwendungen in der Industrie interessant ist.« ■

# Spin-offs

## Die »Hörlinse«

Hörgeräte sind schon heute klein, doch künftig werden sie noch kleiner. Die Vibrosonic GmbH will in wenigen Jahren eine »Kontaktlinse fürs Ohr« auf den Markt bringen. Alle Komponenten der Hörhilfe sitzen tief im Gehörgang und sind damit für die Umwelt unsichtbar.

»Ein Hörgerät besteht aus Mikrofon, Verstärker und Lautsprecher. Bisher funktionieren Letztere elektromagnetisch. Die gewickelte Spule und der Kern lassen sich allerdings nur begrenzt verkleinern«, erklärt Dominik Kaltenbacher von Vibrosonic. Anders die mithilfe von Mikrosystemtechnik gefertigten Schallwandler von Vibrosonic, die einen Durchmesser von lediglich sechs Millimetern haben und dadurch vom Arzt direkt auf das Trommelfell gelegt werden können. Das Funktionsprinzip basiert auf einer piezoelektrischen Keramik, die auf einer passiven Trägerschicht aus Silizium sitzt. Liegt eine Spannung an, wölbt sich die Keramik wie die Kuppel eines Zirkuszelt. Durch die neue Technik ist nicht nur der Lautsprecher kleiner und deutlich leistungsfähiger. Auch Mikrofon, Batterie und elektronischer Signalverarbeitungs-Chip sind in einem winzigen Gehörgangsmodule untergebracht.

Seit 2008 beschäftigen sich Kaltenbacher und seine Kollegen mit Ärzten an der HNO-Uniklinik Tübingen mit piezoelektrischen Schallwandlern. Im Februar 2016 wurde das Spin-off Vibrosonic aus der Fraunhofer-Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie PAMB in Mannheim ausgegründet. Zurzeit arbeiten die Experten neben der Kontaktlinse fürs Ohr an einem Hybrid-Cochlea-Implantat. »Das hilft Patienten, die nur noch bestimmte Frequenzen hören und für andere bereits taub sind. Dazu wird unser Schallwandler mit der für Cochlea-Implantate gängigen Anregung der Hörnerven über Strom kombiniert«, erläutert Kaltenbacher.

Beide Produkte sind noch im Entwicklungsstadium. Aufgrund der strengen Zulassungsbedingungen wird es vermutlich bis 2020 dauern, bis die ersten »Hörlinsen« auf den Markt kommen.

Dominik Kaltenbacher  
www.vibrosonic.de



## Ausgezeichnete Prozessanalyse für die Logistik

Sind die Waren im Lager optimal angeordnet oder müssen Mitarbeiter unnötige Wege zurücklegen? Wie lassen sich Kosten sparen und was müsste dazu verändert werden? Die MotionMiners GmbH aus Dortmund analysiert mithilfe einer Machine-Learning-Lösung die Produktivität und Effizienz von Arbeitsprozessen in Logistikzentren oder Warenlagern und liefert zuverlässige Antworten.

Wenn es um flüssige Arbeitsabläufe in der Logistik geht, beobachten heute meist Mitarbeiter mit Klemmbrett oder Tablet und Stoppuhr die Kollegen. Das ist nicht nur aus Datenschutzgründen bedenklich, weiß Sascha Feldhorst, der das Spin-off MotionMiners im Herbst 2017 zusammen mit Kollegen aus dem Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML gegründet hat. Zuschauer lenken das Personal ab, das verfälscht das Ergebnis. Dazu kommt: Aus Kostengründen werden meist nur kurze Zeitabschnitte aufgezeichnet.

MotionMiners setzt auf Wearables und Minisensoren. »Die Angestellten sollen sich möglichst unbeobachtet fühlen, nur dann erhalten wir eine genaue und anonyme Analyse einzelner Arbeitsschritte, wie etwa das Holen und Greifen von Waren«, beschreibt Feldhorst die Erfahrungen aus bisherigen Feldstudien. Anschließend analysieren IT-Spezialisten die Rohdaten mithilfe von Algorithmen des Deep Learning. Das System identifiziert Bewegungsmuster zuverlässig, Logistiker erarbeiten daraus Vorschläge, wie die Wertschöpfungskette in Werkshallen und Lagern optimiert werden kann.

»Derzeit ist unser Kerngeschäft die Prozessanalyse«, erläutert Feldhorst. Doch die Technologie hilft auch dabei, die Ergonomie am Arbeitsplatz zu verbessern – so werden beispielsweise ungesunde Bewegungsabläufe wie ein Bücken über den Rücken oder langes Stehen auf der Stelle erkannt. Eine Mensch-Technik-Interaktion durch Gestensteuerung sowie das Bedienen fahrerloser Transportsysteme ist ebenfalls möglich.

Das Gründerteam hat sein Geschäftsmodell bei den FDays® (Fraunhofer Days) vorgestellt und evaluiert. Mit Erfolg. Das Geschäftsmodell und die Lösung kommen gut an: MotionMiners wurde beim »Zukunftskongress Logistik – Dortmunder Gespräche« mit dem Digital Logistics Award 2017 ausgezeichnet.

Sascha Feldhorst  
www.motionminers.com



# RFID-Technologie optimiert Automobil-Produktion

Der Optimierungsdruck in den Hallen der Automobilhersteller ist groß: Die Varianz nimmt stetig zu, die Kosten müssen im Rahmen bleiben. Fraunhofer-Forscher bringen via RFID-Technologie nun mehr Transparenz in die Logistik- und Produktionsprozesse der Automobilproduktion.

Text: Janine van Ackeren



Vernetzte Technologien sorgen für mehr Prozesssicherheit in der Fertigung. In einer Pilotphase wurden zunächst Seitenspiegel und Sitze mit RFID-Tags ausgestattet. © Fraunhofer IFF, Andreas Süß



Hohe Variantenvielfalt in der Automobilproduktion: Viele Bauteile sind äußerlich für die Werker kaum zu unterscheiden. © Fraunhofer IFF, Andreas Süß

Forscher vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg rüsten die Produktions- und Logistikprozesse der Automobilindustrie für die Digitalisierung respektive für Industrie 4.0. »RFID-Tags an den Bauteilen, kurz für Radio Frequency Identification, können die Prozesssicherheit und die Effizienz deutlich erhöhen«, sagt Marc Kujath, Wissenschaftler am Fraunhofer IFF. »Dies haben wir sowohl durch Machbarkeitsstudien als auch durch Funktests belegt, die wir gemeinsam mit Mercedes-Benz Vans im Werk Ludwigsfelde bei Berlin durchgeführt haben.« Solche RFID-Systeme bestehen zum einen aus dem RFID-Tag am Bauteil sowie einem Scanner, der die Informationen berührungslos ausliest. In einem ersten Schritt haben die Forscher untersucht, welche der zahlreichen Bauteile eines Fahrzeugs am besten geeignet sind – und bis zu 40 Teile identifiziert. Für die weiteren Entwicklungen haben sich die Experten zunächst einmal auf Spiegel und Sitze fokussiert.

## Automatische Überprüfung während der Montage

Die RFID-Tags werden dabei an jedem einzelnen Bauteil angebracht – also etwa den einzelnen Spiegeln. Auf den Tags ist eine Seriennummer gespeichert, ähnlich wie bei einem Barcode auch. Die großen Unterschiede: Während beim Barcode lediglich die Information hinterlegt

ist, um welchen Spiegeltyp es sich handelt, liefert die Nummer des RFID-Tags zahlreiche Informationen, etwa in welches Fahrzeug der Spiegel eingebaut werden soll. Während die Barcodes einer nach dem anderen manuell mit einem Handscanner ausgelesen werden müssen, lassen sich die RFID-Tags über einen Scanner alle gleichzeitig automatisiert und berührungslos erfassen – und zwar auch noch dann, wenn die Teile bereits verbaut sind. Das heißt: Über die RFID-Tags können die Informationen jederzeit in Sekundenschnelle kontaktlos abgerufen werden.

## Von der Technologie bis zur Systemintegration

Die Forscher vom Fraunhofer IFF haben sich dabei sowohl um die Technologie gekümmert als auch um das Betriebskonzept. »Dazu waren mehrere Schritte nötig, die wir gemeinsam mit unserem Partner Mercedes-Benz Vans angegangen sind. So haben wir beispielsweise die blinden Flecken in der Produktionsplanung reduziert. Das heißt: Die Projektleiter wissen nun, wo die Tücken des Prozesses liegen – und können zur richtigen Zeit die richtigen Fragen stellen. Zudem haben wir die verschiedenen Rollen durchdacht, schließlich braucht der Projektleiter andere Informationen als der Techniker«, ergänzt Kujath. In einem weiteren Schritt sollen nun Serientests bei Daimler folgen. ■



Prof. Thomas Wiegand, Leiter des Fraunhofer HHI, mit dem Technologie-Emy. © Fraunhofer HHI

## Technologie-Emy für Videokodierungsstandard

Die Auflösung von Fernsehern, Mobiltelefonen und Laptop-Displays wird immer besser. Film und Internet-Video-Daten müssen daher in höchster Qualität und gleichzeitig sehr effizient übertragen werden. Für die Mitentwicklung des HEVC-Videokodierungsstandards, der dies ermöglicht, wurde den Forschern vom Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI in Hollywood der Technology & Engineering Emmy-Award 2017 verliehen.

Der neue Standard für »High Efficiency Video Coding HEVC«, auch bekannt als H.265, den die Forscher am Fraunhofer HHI maßgeblich mitentwickelt haben, basiert auf neuen Kodierungstechniken, welche die Effizienz der

Videokompression steigern. Verglichen mit dem Vorgänger-Standard H.264/MPEG-AVC erlaubt HEVC eine Verringerung der Datenrate um 50 Prozent bei gleichbleibender Bildqualität.

Prof. Thomas Wiegand, der an der TU Berlin das Fachgebiet Medientechnik am Institut für Telekommunikationssysteme leitet und gleichzeitig einer der Leiter des HHI ist, nahm den Preis gemeinsam mit den HHI-Forschern Benjamin Bross und Dr.-Ing. Detlev Marpe entgegen.

Der Technologie-Emy, der durch die National Academy of Television Arts & Sciences verliehen wird, ist eine der bedeutendsten Fernseh-Auszeichnungen in den USA.

## Anwendungszentrum 4.0 in China

Forscher vom Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK werden chinesischen Unternehmen künftig in einem »Sino-German Intelligent Manufacturing Research Institute SGIMRI« Engineering-Dienstleistungen anbieten. Das neue Institut wird in der Provinz Jiangsu entstehen, einem Zentrum der industriellen Fertigung.

Ein Memorandum of Understanding wurde bereits im Juni 2015 unterzeichnet. Darin vereinbarten das Fraunhofer IPK und die Jiangsu Economic

and Information Technology Commission JSEIC, gemeinsame Strategien für eine Standardisierung von Industrie 4.0 zu entwickeln. Außerdem wollen sie auf dem Gebiet intelligenter Fertigungs- sowie IuK-Technologien zusammenarbeiten. Als Showcase für neueste Technologien und Anwendungsszenarien wird derzeit ein Industrie-4.0-Anwendungszentrum eingerichtet. Dort können Fraunhofer-Experten ihre chinesischen Partner bei der strategischen Geschäftsausrichtung beraten und Demonstratoren zur intelligenten Produktion für das neue Institut entwickeln.

## Fraunhofer auf Messen

### Januar, Februar

19.–28. Januar  
Grüne Woche Nature Tec, Berlin  
Fachschau für Bioökonomie

27. Februar – 1. März  
Embedded World, Nürnberg  
Embedded Technologies

### März, April

6.–8. März  
JEC, Paris, Frankreich  
Composites, Werkstoffe

10.–13. April  
Analytica, München  
Labortechnik, Analytik, Biotechnologie

23.–27. April  
Hannover Messe, Hannover  
Adaptronik, Produktionstechnik, Simulation

25.–29. April  
ILA, Berlin  
Luft und Raumfahrttechnologien

Informationen zu allen Messen:  
[www.fraunhofer.de/messen](http://www.fraunhofer.de/messen)  
[www.fraunhofer.de/veranstaltungen](http://www.fraunhofer.de/veranstaltungen)

Franziska Kowalewski  
Susanne Pichotta

[franziska.kowalewski@zv.fraunhofer.de](mailto:franziska.kowalewski@zv.fraunhofer.de)  
[susanne.pichotta@zv.fraunhofer.de](mailto:susanne.pichotta@zv.fraunhofer.de)

## Ausgezeichnete Forscherinnen und Forscher

**Alternativmethoden für Tierversuche:** Alljährlich wird die Zusammensetzung des Grippeimpfstoffs dem sich ständig verändernden Virus angepasst. Im Zuge dieser Arbeiten finden weltweit Tausende Tierversuche an Frettchen und anderen Tieren statt. In dem Projekt »FluType« wird ein Konsortium unter Leitung von Prof. F. Bier, bestehend aus der Universität Potsdam, dem Robert-Koch-Institut und dem Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie, Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse IZI-BB, ein in-vitro-Analyseverfahren entwickeln, mit dem auf Tierversuche verzichtet werden kann. Dafür erhielten die Forscherinnen und Forscher im Oktober in Berlin den Landespreis für Alternativmethoden für Tierversuche in Forschung und Lehre.

**Umweltfreundliches Ledergerbverfahren:** Heute dient bei über 90 Prozent aller weltweit gegerbten Leder Chromsalz als Gerbstoff. Diese Salze aus dem Abwasser zu recyceln ist aufwändig und kostenintensiv. Mit CLEANTAN® hat das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT ein vollkommen neuartiges Gerbverfahren entwickelt, das die eingesetzte Menge an Chromsalz sowie die Menge an kontaminiertem Abwasser deutlich reduziert. Für diese Entwicklung wurde der Leiter des Projekts, Dr. Manfred Renner, im Oktober in Brüssel mit einem Innovationspreis des Dachverbands der europäischen Organisationen für Forschung und Technologie EARTO ausgezeichnet.

**Stabiles Stromnetz für die Energiewende:** Welche technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen gibt es bei der Umstellung des europäischen Stromversorgungssystems auf erneuerbare Energien? Antworten auf diese Frage erarbeitet das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel mit Partnern aus Frankreich, Portugal und Deutschland in dem Verbundprojekt REstable. Die Energy Academy, ein interdisziplinärer Think-Tank zur Energiewende, hat das Projekt im September bei der Verleihung der Energy Awards mit dem Sonderpreis »European Energy Project« als Leuchtturmprojekt mit hohem Vorbildcharakter für ganz Europa ausgezeichnet.

**Im Dienste der Photonik:** Ausgezeichnete Führungsqualität, maßgebliche Bereicherung der Laser Community sowie entscheidende Beteiligung am technologischen Fortschritt der Photonik weltweit – dafür steht der »Peter M. Baker Leadership Award« des Laser Institute of America LIA. Im Rahmen eines internationalen Fachkongresses in Atlanta, USA, wurde Prof. Reinhart Poprawe, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, im Oktober mit diesem renommierten Preis ausgezeichnet. Poprawe übernahm die Leitung des Fraunhofer ILT im Februar 1996 und baute es zur größten Einrichtung für angewandte Forschung auf dem Gebiet der Lasertechnik in Europa aus.

### Impressum

**Fraunhofer-Magazin »weiter.vorn«:**  
Zeitschrift für Forschung, Technik und Innovation.

ISSN 1868-3428 (Printausgabe)  
ISSN 1868-3436 (Internetausgabe)

**Herausgeber:**  
Fraunhofer-Gesellschaft  
Hansastraße 27c, 80686 München  
Redaktionsanschrift wie Herausgeber  
Telefon +49 89 1205-1301  
magazin@zv.fraunhofer.de  
www.fraunhofer.de/magazin

**Kostenloses Abonnement:**  
Telefon +49 89 1205-1301  
publikationen@fraunhofer.de

**Redaktion:**  
Janis Eitner (V.i.S.d.P.), Marion Horn (Chefredaktion), Mehmet Toprak, Christine Broll

**Redaktionelle Mitarbeit:**  
Janine van Ackeren, Thomas Eck, Sonja Endres, Frank Grotelüschen, Inés Gutiérrez, Klaus Jacob, Markus Jürgens, Chris Löwer, Franz Miller, Roman Möhlmann, Monika Offenberger, Isolde Rötzer, Laura Rottensteiner, Tim Schröder, Andrea Schwendemann, Tobias Steinhäuser, Monika Weiner, Britta Widmann

**Graphische Konzeption:** BUTTER. Düsseldorf  
**Layout + Litho:** Vierthaler & Braun, München  
**Titelbild:** Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak  
**Druck:** H. HEENEMANN GmbH, Berlin

**Anzeigen:** Heise Medien GmbH & Co.KG  
Technology Review, Karl-Wiechert-Allee 10  
30625 Hannover, Telefon +49 511 5352-0  
www.heise.de/mediadaten

Bezugspreis im Mitgliedspreis enthalten.  
© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2017

ClimatePartner<sup>o</sup>  
klimaneutral  
Druck | ID 53170-1711-1006



 **Fraunhofer**

weiter.vorn  
als app,  
so oder so.



weiter.vorn präsentiert das Neueste aus Forschung,  
Technik und Innovation – für Unternehmen mit Zukunft.

Ab Mitte Dezember 2017 gibt es das Fraunhofer-Magazin  
weiter.vorn wieder als App zum kostenlosen Download –  
für das iPad und auch als Android-Version.

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

