

weiter.vorn

Das Fraunhofer-Magazin

1/17

Denkende Maschinen



① **Informationstechnologie**
Sichere Drehscheibe für Daten

1 **Energie**
Doppelte Ernte

7 **Produktion**
Bauteil mit Verantwortung

DENKEN SIE WEITER.



ALS HEFT ODER DIGITAL

3 Ausgaben Technology Review mit 34% Rabatt testen und Geschenk erhalten.

IHRE VORTEILE ALS ABONNENT:

- **VORSPRUNG GENIESSEN.**
Früher bei Ihnen als im Handel erhältlich.
- **PREISVORTEIL SICHERN.**
Mehr als 34 % Ersparnis im Vergleich zum Einzelkauf während des Testzeitraums.

WÄHLEN SIE IHR GESCHENK!

Zum Beispiel:
4-teiliges Reisetaschenset

Praktische Begleiter für unterwegs: Mit dem Reisetaschenset bestehend aus Trolley, Reisetasche, Dokumententasche und Kulturtasche sind Sie perfekt ausgestattet für den nächsten Urlaub.



GRATIS



JETZT AUCH KOMPLETT DIGITAL:

- Bequem auf Ihrem Tablet oder Smartphone
- Für Android, iOS oder Kindle Fire

Jetzt bestellen und von allen Vorteilen profitieren:

WWW.TRVORTEIL.DE

Sicher in die Zukunft



Prof. Dr. Reimund Neugebauer.
© Stefanie Aumiller / Fraunhofer

Die deutsche Wirtschaft steht vor einem grundlegenden Strukturwandel. Durch die Digitalisierung werden sich sämtliche Stufen der industriellen Wertschöpfungskette verändern. Gleichzeitig beobachten wir, wie sich Biologie und Technik immer enger verzahnen, sodass man von einer Biologisierung der Industrie sprechen kann.

Eine entscheidende Rolle in der Transformation der Wirtschaft werden kognitive Maschinen spielen. Diese technischen Systeme sind lernfähig und in der Lage, das Erlernte auf neue Situationen zu übertragen. Sie können Prozesse planen, Prognosen treffen und sogar mit Menschen interagieren. Die International Data Corporation rechnet mit weltweiten Ausgaben für kognitive Lösungen in Höhe von 40 Milliarden US-Dollar bis zum Jahr 2020.

Welche Schlüsseltechnologien die Fraunhofer-Gesellschaft auf dem Gebiet der kognitiven Systeme entwickelt, beschreibt die Titelgeschichte dieser Ausgabe von weiter.vorn. Sie spannt den Bogen von Service-Roboter Paul, der als Einkaufsassistent auf die Emotionen von Kunden eingehen kann, über maschinelle Lernverfahren für die Erforschung von Demenzerkrankungen bis hin zu künstlichen neuronalen Netzen nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns (Seite 8).

Die künstlichen neuronalen Netze sind nur ein Beispiel für die Biologisierung der Technik, die durch das immer tiefere Verständnis biologischer Prinzipien getrieben wird. Wir können von der Natur viel lernen und die besonderen Fähigkeiten nutzen, die die Lebewesen im Laufe der Evolution entwickelt haben, wie etwa die Überlebensstrategien, mit denen Algen selbst extremen Bedingungen im Weltall trotzen (Seite 54).

Dass die Digitalisierung nicht nur Chancen eröffnet, sondern auch Risiken birgt, hat die Fraunhofer-Gesellschaft schon früh erkannt. Mit dem Industrial Data Space haben wir einen sicheren Datenraum geschaffen, in dem sich Unternehmen über standardisierte Schnittstellen sicher miteinander vernetzen können und dabei die absolute Souveränität über

ihre Daten behalten. Der Industrial Data Space Verein, in dem rund 50 Mitglieder aus Industrie und Handel zusammenarbeiten, entwickelt derzeit Szenarien für die Praxis, eines davon für die Lkw-Abfertigung (Seite 20).

Mit dem Lernlabor Cybersicherheit setzen wir neue Maßstäbe bei der Weiterbildung in Sachen IT-Sicherheit. Fach- und Führungskräfte aus Industrie und öffentlicher Verwaltung erhalten eine kompakte Qualifizierung in hochwertigen Laboren mit aktueller IT-Infrastruktur. Sie stellen dort reale Bedrohungsszenarien nach, lernen deren Konsequenzen zu erkennen und studieren praxisnah geeignete Lösungskonzepte. Einen Einblick in die Arbeit eines IT-Sicherheitslabors finden Sie auf Seite 18.

Besonders freue ich mich über die Zusage von Bund und Ländern, die Grundfinanzierung der Fraunhofer-Gesellschaft ab diesem Jahr zu erhöhen. Die Gelder sollen insbesondere für strategisches Wachstum, die Förderung von Kooperationen sowie zielgerichtete Vorlaufforschung eingesetzt werden. Durch die zusätzlichen Mittel für die Vorlaufforschung kann Fraunhofer die deutsche Wirtschaft noch intensiver dabei unterstützen, den durch Digitalisierung und Biologisierung ausgelösten Strukturwandel zu gestalten.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen.

Ihr



08

Titelthema

Denkende Maschinen

Kognitive Systeme können aus Erfahrungen lernen, eigene Entscheidungen treffen und mit Menschen kommunizieren – ein Milliardenmarkt mit großer Zukunft.



22

Digitalisierung der Arbeitswelt

Im Future Work Lab in Stuttgart erfahren Unternehmen, wie sie ihre Produktion optimieren können.



28

Zur Videokonferenz beamen

Bisher war es Science-Fiction – jetzt wird es Realität.



38

Neue Entspiegelung verringert Falschlichter und Reflexionen

Von perfekt entspiegelten Linsen profitieren innovative optische Technologien wie die Virtual Reality.



54

Algen, die unterschätzten Lebenskünstler

An der Außenwand der Raumstation ISS waren Algen den Bedingungen im Weltraum ausgesetzt.



56

Neue Konzepte gegen Lungenfibrose

Erkenntnisse aus der Klinik helfen bei der Suche nach wirkungsvollen Therapien.

Inhalt

06 Spektrum

25 Kompakt

49 International

60 Gründerwelt

61 Fraunhofer inside

62 Panorama

63 Personalien

63 Impressum

Titelthema

- 08 Denkende Maschinen**
Maschinelle Lernverfahren ermöglichen Computern und Robotern das Denken.

Informationstechnologie

- 14 Datenpotenziale sicher nutzen**
Ein Kontrollsystem regelt, welche Daten zu welchem Zweck verwendet werden dürfen.
- 16 IT-Schutz leicht gemacht**
Benutzerfreundliche Anwendung im Fokus der Forschung
- 18 Mehr Sicherheit für Industrie 4.0**
Wirksame Strategien gegen Cyberattacken
- 20 Sichere Drehscheibe für Daten**
Der Industrial Data Space bewährt sich in der Praxis – zum Beispiel bei der Lkw-Abfertigung.
- 22 Digitalisierung der Arbeitswelt**
Das neue Future Work Lab zeigt Technologien für die Fabrik von morgen.

Mikroelektronik

- 26 Vorstoß in die Quantentechnologie**
Neue Wege für die Miniaturisierung elektronischer Bauteile
- 28 Zur Videokonferenz beamen**
Das virtuelle Abbild eines Menschen – in voller Größe und dreidimensional im Raum
- 30 Mensch, wie geht es dir?**
Eine Software warnt Fluglotsen, wenn ihre Leistungsfähigkeit sinkt.

Fotopreis

- 32 Forschung im Bild**
Die Sieger im Wettbewerb »deutscher preis für wissenschaftsfotografie«

Produktion

- 34 Bauteil mit Verantwortung**
Das »Smart Manufacturing Network« erlaubt eine flexible Produktion.
- 36 Ultraleicht und extrem stabil**
Elektronenstrahlschmelzen – ein neues Verfahren zur additiven Fertigung
- 37 Erdbebensichere Gebäude**
Was Häuser zusammenhalten kann.
- 38 Neue Entspiegelung verringert Falschlichter und Reflexionen**
Nanostrukturierte Schichten machen Linsensysteme leistungsfähiger.

Energie

- 40 Doppelte Ernte**
Nahrungsmittel und Energie auf demselben Feld produzieren.
- 42 Grüne Energie für nachhaltige Chemie**
Elektrochemische Verfahren ermöglichen klimafreundliche Produktion.
- 44 Speicher unter Wasser**
Erfolgreicher Modellversuch am Bodensee
- 46 Energie im Container**
Langfristiger Speicher für Sonnenstrom
- 50 Jungbrunnen für alte Häuser**
Das Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege

Life Sciences

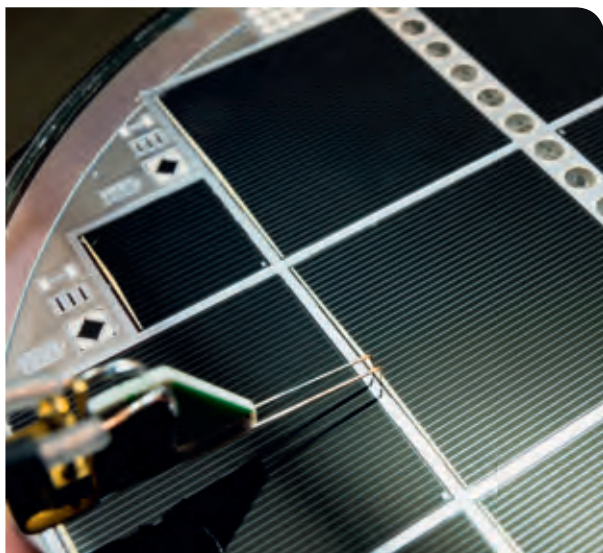
- 52 Schatzsuche im Reich der Insekten**
Insekten als Quelle für neue Antibiotika und Pflanzenschutzmittel
- 54 Algen, die unterschätzten Lebenskünstler**
Topfit nach 16 Monaten im Weltraum
- 56 Neue Konzepte gegen Lungenfibrose**
Auf der Suche nach den Ursachen der tödlichen Erkrankung
- 58 Mit Kollege Roboter im OP**
Technische Unterstützung für sichere Biopsien

Rekord für Silicium-Mehrfachsolarzelle

Die Forscher am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE haben einen Meilenstein erreicht: Sie entwickelten eine Mehrfachsolazelle auf Siliciumbasis, die eine Effizienz von 30,2 Prozent aufweist. Das heißt: 30,2 Prozent des einfallenden Lichts werden in der Solarzelle mit nur zwei Kontakten in elektrische Energie umgewandelt. Theoretisch ist dies für reine Siliciumsolarzellen gar nicht möglich: Deren Wirkungsgradgrenze liegt bei 29,4 Prozent, mehr ist nicht zu erreichen. Bislang gaben die praktischen Erfahrungen diesen Berechnungen recht – die höchste Effizienz einer reinen Siliciumsolazelle lag bei 26,3 Prozent. Also mussten sich die Experten einen besonderen Trick einfallen lassen, um die Grenze zu durchstoßen.

Worin liegt der Schlüssel zu diesem unerwarteten Erfolg? Sie verbanden eine Siliciumsolarzelle mit einer III-V-Mehrfachsolazelle. Das Entscheidende war dabei die Entwicklung einer Prozesskette, die eine solche Verbindung ermöglicht. Denn zum einen muss die Siliciumoberfläche ausreichend glatt und partikelfrei sein, zum anderen müssen die unterschiedlichen Bedürfnisse von Silicium und III-V-Halbleitern berücksichtigt werden.

In der Solarzelle mit nur zwei Kontakten werden 30,2 Prozent des einfallenden Lichts in elektrische Energie umgewandelt. © Fraunhofer ISE

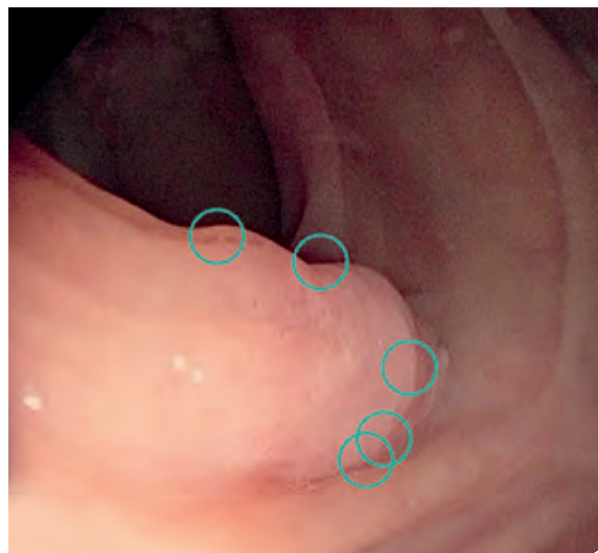


Automatisch Polypen im Darm erkennen

Darmkrebs ist in Deutschland eine der häufigsten Todesursachen. Ausgelöst wird er fast immer durch Darmpolypen. Das Vertrackte: Die Darmpolypen verursachen üblicherweise keine Beschwerden und werden nur durch Vorsorgeuntersuchungen wie die Darmspiegelung erkannt, bei der Dick- und Enddarm mit einem Endoskop untersucht werden. Wie effektiv diese Untersuchung ist, hängt stark von der Erfahrung und Aufmerksamkeit des Arztes ab. 12 bis 24 Prozent der Polypen werden übersehen, wie verschiedene Studien belegen.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS entwickelten in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt »KoloPol« eine Software, die Areale mit möglichen Polypen findet und markiert. Ziel ist, damit Darmkrebsuntersuchungen schneller, intelligenter und effizienter zu machen. Auffällige Gewebeareale detektiert das Programm automatisch und hebt sie farblich hervor. Auf diese Weise könnte KoloPol die Quote der erkannten Polypen deutlich erhöhen. Von Juli bis Oktober 2016 wurde das System am Münchner Klinikum Rechts der Isar technisch an 58 Patienten validiert, wobei von der KoloPol Software circa 75 Prozent der vom Arzt gefundenen Polypen detektiert wurden.

Eine Software hilft dabei, Polypen im Darm schneller und effizienter aufzuspüren. © Fraunhofer IIS



Eine offene Plattform für Industrie 4.0

Der Industrie steht eine Revolution bevor – hin zur Industrie 4.0. Die Produktion wird flexibler, die Herstellung von Einzelstücken, also Losgröße 1, wird wirtschaftlich. Um eine solch anpassungsfähige Produktion zu unterstützen, entwickeln Forscherinnen und Forscher im Projekt »Basissystem Industrie 4.0 – BaSys 4.0« eine offene Plattform für Fertigungsanlagen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert das Vorhaben mit 12 Millionen Euro, Koordinator ist das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, insgesamt sind 15 Partner an dem Verbundprojekt beteiligt.

Damit sich die Fertigungsprozesse mit der Plattform BaSys4.0 in Echtzeit planen und anpassen lassen, erarbeiten die Projektpartner zunächst ein ganzheitliches Prozessabbild, das sämtliche Daten über eine gemeinsame Schnittstelle transferiert. Alle Dienste und Daten des Prozesses müssen in einem einheitlichen Format vorliegen, das jederzeit um weitere Dienste und Daten erweitert werden kann.

Eine offene Plattform für Fertigungsanlagen unterstützt die anpassungsfähige Produktion. © Fotolia



**High Energy
Discharge Capacitors
up to 2,2kJ/ltr.
up to 75kV=**

**Pulse Forming
Networks**



Denkende Maschinen

Assistenzroboter, datengetriebene Prozessoptimierung, autonome Fahrzeuge und personalisierte Medizin – kognitive Systeme erobern immer mehr Einsatzbereiche und helfen Menschen, bessere Entscheidungen zu treffen.

Fraunhofer entwickelt mit der Industrie unterschiedlichste Technologien für diesen Milliardenmarkt.

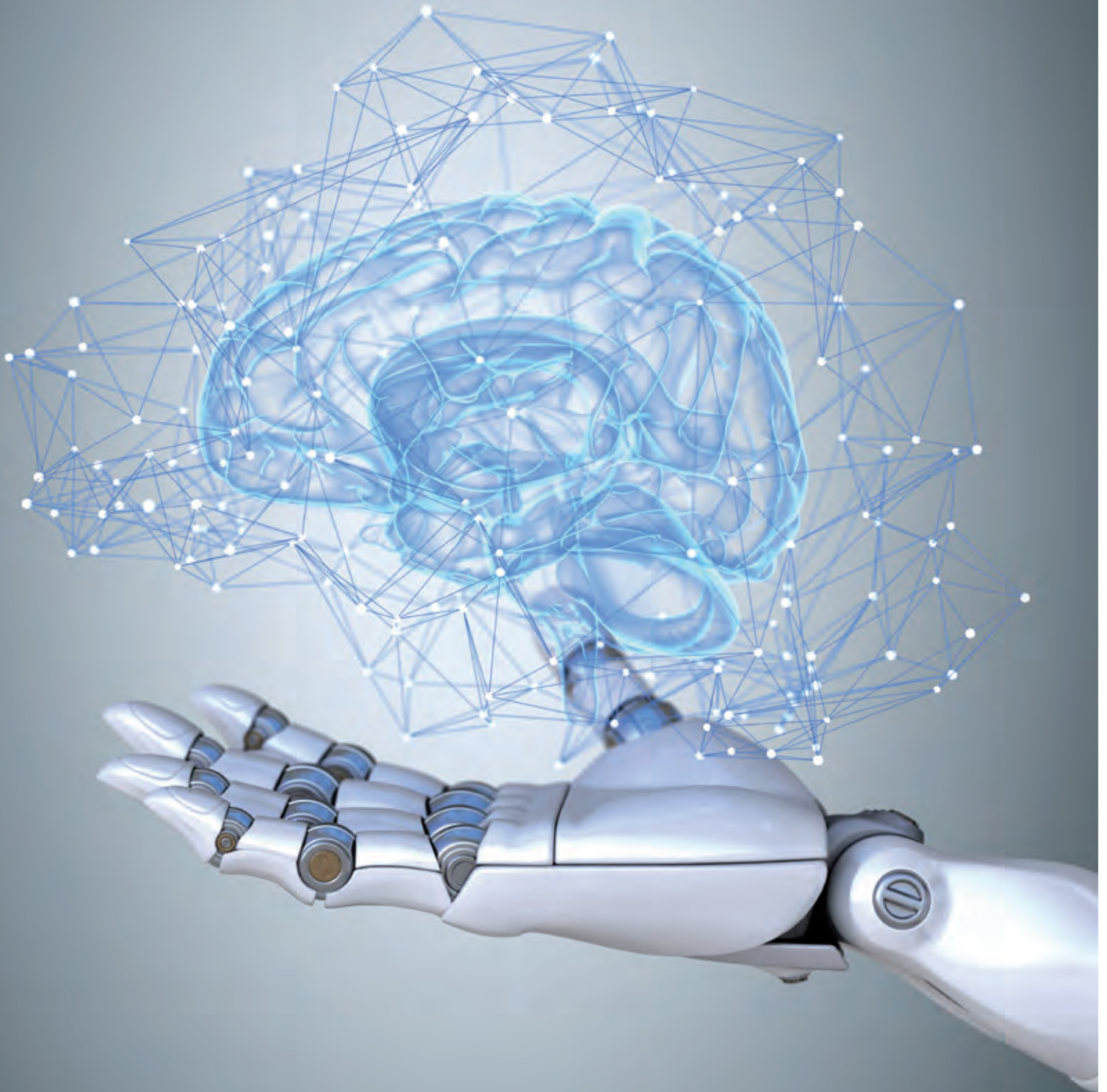
Text: Ines Bruckschen

Umgebungen verstehen, Handlungen planen, auf Hindernisse reagieren, mit Menschen kommunizieren – diese Herausforderungen meistern kognitive Systeme mit Methoden des Maschinellen Lernens. Dabei lernen Maschinen, auf Basis von Beispieldaten eine Aufgabe zu lösen und das Erlernete auf neue Situationen zu übertragen. So können sie Prozesse planen und optimieren, Prognosen treffen, Muster oder Auffälligkeiten erkennen oder Bild- und Sprachsignale analysieren – und bilden die Grundlage für Zukunftstechnologien wie automatisiertes Fahren oder autonome Roboter.

Die International Data Corporation (IDC) rechnet weltweit mit Ausgaben in Höhe von über 40 Milliarden Dollar für kognitive Lösungen bis zum Jahr 2020 sowie einer Steigerung der Investitionen von jährlich rund 55 Prozent in den nächsten vier Jahren. Das größte Engagement wird in den Bereichen Einzelhandel, industrielle Produktion, Medizin und Finanzen erwartet. »Alle dafür notwendigen Disziplinen und Kompetenzen sind bei Fraunhofer in hoher Qualität vorhanden«, erklärt Professor Jürgen Beyerer, Institutsleiter

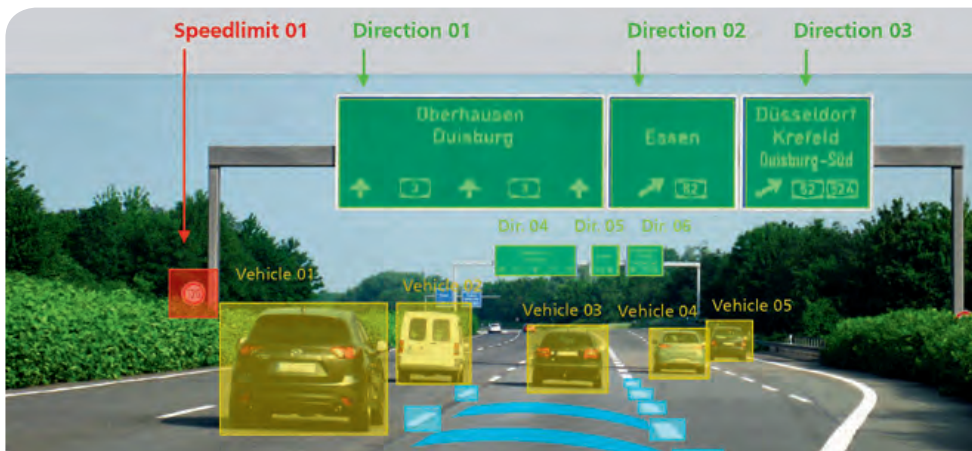
am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB.

Zum Beispiel im Einzelhandel: Bei Saturn in Ingolstadt begrüßt neuerdings Serviceroboter Paul als Einkaufsassistent die Kunden, fragt nach ihren Produktwünschen und begleitet sie zum entsprechenden Regal. Auf dem Weg plaudert er übers Wetter und stellt schließlich ein paar Feedback-Fragen, ob man mit seiner Leistung zufrieden sei. »Er agiert in einer dynamischen Alltagsumgebung, in der er Objekte oder Personen erkennt und darauf reagiert«, erklärt Martin Hägele, Abteilungsleiter Roboter- und Assistenzsysteme am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Über Sensoren nimmt er Informationen über seine Umwelt auf, um jederzeit verlässlich zu navigieren und Personen für die Dialogführung zu orten. In Paul steckt die Roboterplattform Care-O-Bot®4, die vom IPA ursprünglich zur aktiven Unterstützung des Menschen in Haushalt, Hotel, Pflegeheim oder Krankenhaus entwickelt wurde. Künftig soll sie zunehmend in Unternehmen eingesetzt werden.





Einkaufsassistent Paul fragt die Kunden nach ihren Wünschen und begleitet sie zum entsprechenden Regal. © Saturn



Das RODOS®-System erspart Fahrzeugentwicklern Prototypen-Tests unter realen Bedingungen. Hier zu sehen: interaktive Fahrsimulation mit Pkw-Chassis. © Fraunhofer ITWM

Eine Software erkennt Verkehrsinfos und bietet so eine Voraussetzung für das automatisierte Fahren. © Fraunhofer IAIS

Dass Einkaufsassistent Paul sogar die Laune seines Gegenübers erkennen und eigene Gemütszustände zum Ausdruck bringen kann, verdankt er der am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS entwickelten Software SHORE und »Affective Computing«. Hier werden in der Mimik wahrnehmbare Emotionen maschinell erkannt und Biosignale wie Puls, Stimme, Gestik oder Bewegung analysiert. So lassen sich Stresslevel von Autofahrern oder Fabrikarbeitern ebenso ermitteln wie Kundenwünsche oder -bedürfnisse. »Analysen halten Affective Computing für den kommerziell am schnellsten wachsenden Markt im Themenfeld Maschinelles

Lernen«, erläutert Jens-Uwe Garbas, Gruppenleiter Intelligente Systeme am IIS.

Bauteile optimieren

Doch auch ohne Roboter erzielen lernende Systeme in vielen Industriebereichen immer mehr Wirkung. So können maschinelle Lernverfahren auch bei der Untersuchung von komplexen Situationen unter realen Bedingungen genutzt werden, was beispielsweise aufwendige Prototypen-Tests ersetzen kann. Am Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissen-

schaftliches Rechnen SCAI erforscht das Team um Professor Jochen Garcke, Abteilungsleiter für numerische datenbasierte Vorhersage, wie sich die verschiedenen Methoden an konkrete technische Aufgaben anpassen lassen. In der Fahrzeugentwicklung etwa werden numerische Crash-Simulationen genutzt, um Bauteile und Blechdicken bereits während der Entwicklungsphase laufend zu optimieren. »Unsere Verfahren helfen dabei, die große Menge komplexer Daten zu strukturieren«, erklärt Garcke. »Welche Daten sind ähnlich, welche unterschiedlich? Bei 50 verschiedenen Verformungen ist das nicht so einfach zu sehen.« So entstanden innovative Methoden für Entwicklungsingenieure in der Automobilindustrie, die nun Daten vieler Simulationen gleichzeitig und vergleichend analysieren können.

Diese Simulationswerkzeuge verwenden häufig Greybox-Modelle. Während Blackbox-Modelle das physikalische Modell der zu lernenden Problemstellung nicht berücksichtigen, wird es in Whitebox-Algorithmen so genau wie möglich hergeleitet und mitverwendet. Greybox kombiniert die beiden Ansätze: Hier wird ein Daten-Analyse-Modell mit physikalischem Wissen angereichert, um bessere Analysen zu erzielen.

Verkehr simulieren

Mit Systemsimulationen zur virtuellen Fahrzeugentwicklung und -absicherung arbeitet auch das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM. »Zwischen vollständig menschgeführt und autonom gibt es heute verschiedene Level von Assistenzsituationen, es kommen immer mehr Informationssysteme zum Einsatz«, erklärt Klaus Dreßler, Abteilungsleiter Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit am ITWM. Wie Fahrer und ihre Assistenzsysteme auf äußere Umstände reagieren, untersucht er mithilfe von RODOS®, dem ersten interaktiven Bewegungssimulator auf Basis eines Industrieroboters, der weit über die Möglichkeiten eines Standard-Simulators hinausgeht. Im RODOS-Umfeld sollen künftig Absicherungskonzepte für den Mischverkehr ermöglicht werden. »Wir fordern die autonomen Fahrzeuge in ihrer Intelligenz und beobachten, wie sie reagieren, wenn sie etwa von einem menschgesteuerten Auto geschnitten werden.«

Eine weitere Herausforderung im Straßenverkehr sind Baustellen: Fahrer verhalten sich häufig unsicher, und automatisierte Fahrzeuge haben Probleme, komplexe Verkehrsführung mit unterschiedlichen Informationen zu Geschwindigkeit oder Spurenverlauf zu verstehen. Anfang Dezember 2016 startete das vom Wirtschaftsministerium mit knapp zwei Millionen Euro geförderte Projekt »AutoConstruct«, in dem eine echtzeitfähige Umfelderkennung von Baustellen über serientaugliche und kostenoptimierte Kamera-Sensorik für das hoch- und vollautomatisierte Fahren entwickelt werden soll. Maßgeblich beteiligt ist das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, das die Aufgabe der Bilderkennung und -verarbeitung übernimmt. »Mit Deep Learning

– einer Schlüsseltechnologie für die Zukunft der Automotive-Branche – bringen wir der Software bei, die klassischen Muster schneller und effizienter zu erkennen«, erklärt Stefan Eickeler, zuständig für das Thema Objekterkennung am IAIS.

Medizin individualisieren

Deep Learning bezeichnet mehrschichtige künstliche neuronale Netze, die sich in abstrakter Form an den Informationsverarbeitungsprozessen im menschlichen Gehirn orientieren und für die Analyse hochkomplexer Daten eingesetzt werden. Allerdings wissen heute nicht einmal Wissenschaftler genau, wie neuronale Netze zu bestimmten Ergebnissen kommen. Man füttert gewissermaßen eine Blackbox mit Werten und erhält »überraschend« gut verwendbare Ergebnisse. Das Team um Wojciech Samek, Leiter der Forschungsgruppe für Maschinelles Lernen am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI, hat mit der Technischen Universität Berlin eine Software entwickelt, mit der man einem neuronalen Netz beim Denken zuschauen kann. Speist man beispielsweise Erbgut-Daten von Patienten in ein solches Netz ein, kann es analysieren, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Patient eine bestimmte genetische Erkrankung hat. »Noch interessanter wäre es aber zu wissen, an welchen Merkmalen das Programm seine Entscheidungen festmacht«, sagt Samek. Das könnte ein bestimmter Gendefekt sein, der Hinweise für eine individuell auf den Patienten zugeschnittene Krebstherapie liefert.

Auch über Visual-Computing-Verfahren können Mediziner herausfinden, mit welcher Behandlungsform sich etwa das individuelle Krebsleiden eines Patienten am besten bekämpfen lässt. Am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt entstehen Visual-Analytics-Lösungen, mit denen sich große Datenbanken radiologischer Untersuchungen klassifizieren lassen. So wird eine Vielzahl an Parametern gewonnen, welche wiederum mit den allgemeinen Patientendaten wie Alter und sonstiger Verfassung verknüpft und zielführend visualisiert werden. Am Ende hat ein Arzt den Überblick über die Daten mehrerer Tausend Patienten und bekommt so ein statistisch wesentlich signifikanteres Bild auf bestimmte Krankheitsverläufe, als es bisher möglich war.

Und wie lässt sich für die biotechnologische und pharmazeutische Industrie der Weg von der Wissensgenerierung in die klinische Anwendung beschleunigen? Darauf fokussiert sich im Bereich Demenzforschung die Abteilung Bioinformatik am SCAI. Hier müssen sehr unterschiedliche Daten und verteiltes Wissen miteinander kombiniert werden. Das gelingt über Krankheitsmodelle, deren Generierung eine Spezialität der Abteilung ist. »Maschinelle Lernverfahren helfen uns dabei, sowohl Daten als auch Wissen aus der Literatur in einer Größenordnung zu extrahieren, die weit über die kognitiven Fähigkeiten einzelner Wissenschaftler hinausgeht«, betont Professor Martin Hofmann-Apitius, Abteilungsleiter für Bioinformatik. »Mithilfe der Maschinen generieren wir Modelle

der Welt, die jenseits menschlicher Leistungsfähigkeit neue Einsichten in die Wirkungsmechanismen von Demenzerkrankungen erlauben.«

Auch in Medienhäusern, Unternehmen, Archiven und Bibliotheken fallen riesige Datenmengen von Videos, Bildern, Audiodateien oder Texten an. Um diese zu analysieren und gezielt nach nutzerrelevantem Content zu suchen, werden am IAIS Methoden der Signalverarbeitung und Mustererkennung sowie Deep Learning entwickelt. So werden seit April 2015 für die ARD Mediathek täglich die Audio- und Videodaten von rund 2000 Beiträgen analysiert. »Sobald der Computer gelernt hat, die gesprochene Sprache zu verstehen, erlaubt das System ohne menschliche Eingriffe eine Transkription der Inhalte, die für die Verschlagwortung genutzt wird«, erläutert Joachim Köhler, Abteilungsleiter für Content Technologies & Services. Verwendet wird dabei eine in Deutschland einzigartige akustische Trainingsdatenbank, die inzwischen über einen Wortschatz von mehr als 500 000 Wörtern verfügt.

Prozesse optimieren

Ebenfalls immer größere Datenbestände erzeugt in Zeiten von Industrie 4.0 und Internet of Things die industrielle Produktion. »Um die Normalität eines Prozesses zu überwachen und Fehler zu erkennen, setzen wir schon seit 2009 unüberwachte, datengetriebene Lernverfahren ein«, erklärt Christian Frey, Abteilungsleiter Mess-, Regelungs- und Diagnosesysteme am IOSB. »Jetzt können wir die Prozesse zudem noch optimieren.« Dabei sucht das System in den Daten nach Key Performance Indices und bildet diese wiederum auf Qualitäten, Ressourceneffizienz, Material- oder Energieverbräuche und Ähnliches ab. Konkret eingesetzt wird beispielsweise bei der Bayer AG ein universelles Tool zur Überwachung komplexer chemischer Prozesse, das bereits konzernweit zum Einsatz kommt, etwa bei der Produktion von Kunstdünger oder Pflanzenschutzmitteln.

Auch die Betriebskosten von großen energieintensiven Industrien lassen sich mithilfe maschineller Lernmethoden senken. Am Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS legt man den Schwerpunkt auf die Nutzung zeitvariabler Strompreise in stromintensiven Prozessen sowie auf »Predictive Maintenance«, die vorausschauende Wartung für verteilte Anlagen und für das Infrastruktur-Management von Smart Cities. »Wir erstellen beispielsweise Prognosen für das »Load Shifting«, den Lastenausgleich«, erläutert Florin Popescu, Projektleiter IT4Energy-Zentrum am FOKUS. Das Load Shifting soll Energiespitzen in der Produktion verhindern und von zeitvariablen Energietarifen profitieren. Diese Prognose basiert sowohl auf Algorithmen als auch auf der Integration von Big Data und führt dazu, dass die Planung kontinuierlich angepasst werden muss. »Wir schätzen, dass bei einer sorgfältigen Prognose die Betriebskosten um fünf bis zehn Prozent gesenkt werden können«, so Popescu. »Noch mehr Einsparpotenzial gibt es bei Windparks und anderen fest stehenden Anlagen.«

Kollege Roboter

Und wenn in der industriellen Produktion Mensch und Maschine direkt nebeneinander arbeiten und miteinander kooperieren sollen? Mobile Assistenzroboter müssen auch die Bewegungen des Werkers erkennen und entsprechend ausweichen können. Und selbstständig entscheiden, welche Aktion notwendig ist, um vielfältige Aufgaben im Umfeld mit dem Menschen durchzuführen. Forscher vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF entwickeln den mobilen Assistenzroboter ANNIE sowie das komplexe Softwareframework und die Sensordatenverarbeitung, um Aufgaben wie Schrauben, Bohren, Schweißen oder Kleben flexibel ausführen zu können. »Mobile Assistenzroboter müssen fehlertolerantes Verhalten aufweisen, um auch in unvorhersehbaren Situationen handlungsfähig zu bleiben«, sagt Christoph Walter vom IFF, der die Forschungsthemen zur mobilen Assistenzrobotik am IFF koordiniert und leitet.

Eine besondere Herausforderung ist es für Roboter, sich ihren Weg durch unbekanntes Terrain zu bahnen. Das IOSB entwickelt hierfür probabilistische Verfahren, die Aussagen nicht nur als »richtig« oder »falsch«, sondern mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit bewerten, die den Unsicherheitsgrad der Aussagen angibt. »Die Technik ist hochkomplex, spielt aber eine entscheidende Rolle, um alle möglichen Unsicherheiten zu beherrschen«, erklärt Professor Jürgen Beyerer. So konstruiert der Roboter durch die Beobachtung der realen Welt für sich eine Art »Weltmodell« und kommt über Assoziation, Interpretation neuer Informationen und das Lernen neuer Konzepte zu angepassten Schlussfolgerungen. Diese »mächtige Gedächtnisstruktur« ermöglicht sogar den Einsatz von Robotern in Gefahrenzonen, wie das IOSB am Beispiel des vollständig autonomen Fahrzeugs »IOSB.amp Q1« gezeigt hat. Es ist in der Lage, auch besonders unwegsames Gelände selbstständig zu erkunden. Eine anspruchsvolle Aufgabe, die sich rein logikbasiert nicht lösen ließe.

Den wohl höchsten Autonomiegrad benötigen Unterwasserroboter, die in Tiefen operieren, in die keinerlei Lichtsignale oder Funkwellen mehr vordringen. Sie gleiten kabellos durch die Tiefe, sammeln Beobachtungsdaten und kehren selbstständig zum Forschungsschiff zurück. Der Wettbewerb Shell Ocean Discovery XPRIZE fordert Teams weltweit auf, sich an der großflächigen Kartierung des Meeresbodens in Tiefen von bis zu 4000 Metern zu beteiligen. Einziges deutsches Team im Feld sind die ARGGOonauts vom IOSB, den Siegern winken Preisgelder in Höhe von sieben Millionen US-Dollar.

Die zukunftsweisende Milliardenindustrie der kognitiven Systeme weckt global großes Interesse in Forschung und Entwicklung und zieht hohe Investitionen an. Die größte Konkurrenz im Robotik-Bereich kommt aus den USA, aus Japan, Südkorea und China. Die Fraunhofer-Institute verfügen über die wichtigen Kernkompetenzen als Systemanbieter und entwickeln gemeinsam mit Partnern tragfähige Lösungen für die Industrie. ■



Das vollständig autonome Fahrzeug »IOSB.amp Q1« kann auch unwegsames Gelände selbstständig erkunden. © Fraunhofer IOSB



Der mobile Assistenzroboter ANNIE erlaubt eine direkte Kooperation von Mensch und Maschine. © Fraunhofer IFF



Das Team der ARGGONauts vom Fraunhofer IOSB ist einziger deutscher Teilnehmer bei dem hochdotierten Wettbewerb XPRIZE, bei dem es um die Kartierung des Meeresbodens mithilfe von Unterwasserrobotern geht. © karakter Design Studio

© Fotolia

A futuristic city street at night, illuminated by vibrant yellow and blue lights. The scene is overlaid with glowing binary code (0s and 1s) and light trails from moving vehicles, creating a sense of digital motion and data flow. The background shows modern skyscrapers and a clear night sky.

Datenpotenziale sicher nutzen

Der richtige Umgang mit Daten wird immer stärker zum Wettbewerbsfaktor. Doch wie hebt man dieses Potenzial richtig? Chancen nutzen, ohne die Risiken außer Acht zu lassen – mit dem Security-Framework IND²UCE zur Datennutzungskontrolle schaffen Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher den goldenen Mittelweg.

Text: Claudia Reis, Christian Jung und Michael Ochs

Informationssysteme, mobile Endgeräte und eingebettete Systeme wachsen immer enger zusammen. Hinzu kommt die Integration einer schnell zunehmenden Zahl von Diensten, Prozessen und Objekten. Dadurch steigt der Grad der Vernetzung enorm, und die Menge an verfügbaren und für Geschäftszwecke nutzbaren Daten wird unüberschaubar. Denn es werden immer mehr Informationen gesammelt und ausgetauscht. Dies wiederum erzeugt eine steigende Nachfrage nach Datenanalytik. Gleichzeitig gewinnen Datenschutz und Schutz der Privatsphäre an Bedeutung.

Schwarz oder Weiß? Wie nutze ich Daten richtig?

Es gibt zwei grundsätzliche Vorgehensweisen: Beim »Fort Knox«-Ansatz schotten sich Unternehmen ab, Daten und Informationen werden mit erheblichem Aufwand geschützt. Die »Schwarzdenker« sehen in der Herausgabe von Daten in erster Linie Gefahren. Der andere Ansatz handelt nach dem Motto »Ich teile alles«: Unternehmen und Nutzer von Diensten geben Daten bereitwillig heraus, obwohl sie damit die Kontrolle über diese verlieren. Sie sehen mehr Chancen als Risiken, weshalb man sie auch als »Weißdenker« bezeichnet. Datenzentrierte Unternehmen können ihr Potenzial bei diesem Ansatz besser ausschöpfen – aber mit welchem Risiko? Der Datenschutz bleibt auf der Strecke. Beide Einstellungen können sich nachteilig auf das Geschäft auswirken. Datennutzungskontrolle bietet den goldenen Mittelweg.

Richtlinien für Datennutzung

Zur Kontrolle der Datennutzung haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern das Security-Framework »Integrated Distributed Data Usage Control Enforcement«, kurz IND²UCE, entwickelt. Die Idee: Der Dateneigentümer erhält Möglichkeiten, die Art der Nutzung seiner Daten durch Dritte zu kontrollieren. Sicherheitsrichtlinien regeln, welcher Umgang mit den Daten erlaubt ist und welcher nicht. Der Besitzer kann so definieren, welche Daten zu welchem Zweck verwendet werden dürfen. Er kann beispielsweise

se auch bestimmen, wie oft eine übermittelte Datei oder Information angesehen und an wen diese weitergegeben werden darf. Die Sicherheitsrichtlinien können in Abhängigkeit zur jeweiligen Situation festgelegt werden. So sind sensible Informationen nur auf Smartphones lesbar, wenn sich die mobilen Endgeräte innerhalb des geschützten Firmengeländes befinden, außerhalb wird die Darstellung eingeschränkt oder der Zugriff verhindert. Ein weiteres Szenario ist die zeitliche Einschränkung der Datennutzung. Der Eigentümer der Informationen kann festlegen, dass die Daten nach einer bestimmten Anzahl von Tagen gelöscht werden, sogar, wenn sie auf fremden Endgeräten gespeichert wurden. »Share your data, but keep it under control!« lautet die Devise.

Praxisbeispiele

Prototypisch hat das Fraunhofer IESE das IND²UCE-Framework bereits in diversen Forschungsprojekten eingesetzt. Eine Anwendung stammt aus dem Finanzwesen. In einem Proof of Concept wurde die Technologie mit dem Finanzdienstleister vwd Vereinigte Wirtschaftsdienste GmbH für dessen mobile Portfoliomanagement-Lösung umgesetzt, um sensible Kundendaten auf mobilen Endgeräten zu schützen. Beispielsweise kann der Berater im Bankgebäude über sein Tablet sämtliche für ihn freigegebenen Kundendaten abrufen und Wertpapierportfolios einsehen und analysieren. Verlässt er diesen geschützten Raum, so werden je nach Kundenpräferenz bestimmte Informationen des Kundendepots nicht mehr angezeigt. Auch bei der Beratung des Kunden zu Hause reagiert das System: Gerne nehmen Kunden das Tablet mit der Applikation selbst in die Hand, um Einblicke in die Entwicklung ihres Depots und in tiefere Analysen zu erhalten. Übergibt der Berater das Gerät, erkennt IND²UCE die Veränderung und reagiert darauf. Das User Interface der Applikation passt die Funktionalität an: Kundensuche und Depotinformationen anderer Kunden werden abgeschaltet.

Ein weiterer Anwendungsfall ist die Cloud. Die Nutzung von Cloud-Technologien geht mit einem gewissen Kontrollverlust für Unterneh-

EARTO Innovationspreis

Bereits 2014 wurde IND²UCE mit dem EARTO Innovationspreis (European Association of Research and Technology Organizations) ausgezeichnet. Die Technologie wird 2017 Technology Readiness Level 8 erreichen und kann dann verlässlich in Systeme integriert werden.

men einher. IND²UCE stellt dem Cloud-Nutzer Werkzeuge zum Überwachen und Steuern der Datenflüsse zur Verfügung. Für die Datenspeicherung spielt der juristische Rechtsraum eine wichtige Rolle. Es stellt sich oftmals die Frage: An welchem Ort werden Daten gespeichert? In dem von der EU geförderten Projekt »SECCRICT Secure Cloud Computing for Critical Infrastructure IT« untersuchten Forscherinnen und Forscher mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft Maßnahmen zur Verbesserung der Kontrollmöglichkeiten des Nutzers.

Sie haben Lösungen erarbeitet, die das Auslagern von Daten außerhalb eines definierten Rechtsraums erkennen und den Dateneigentümer darüber informieren. Bisher konnten solche Vorgaben lediglich durch schriftliche Garantien des Cloud-Betreibers abgesichert werden, die Nutzer mussten auf deren Einhaltung vertrauen. Nun kann eine beim Cloud-Anbieter eingerichtete Security-Schnittstelle den Anwender direkt über eine Verletzung von Vorgaben informieren und automatisch Gegenmaßnahmen einleiten. Eine lückenlose Kontrolle über die Verwendung der Daten schafft Transparenz und Vertrauen zwischen Anbieter und Anwender.

Die Beispiele zeigen, dass das Thema Sicherheit neu überdacht und organisiert werden muss. Unternehmen müssen sich entscheiden, inwieweit sie von datenzentrierten Geschäftsmodellen profitieren möchten. Denn erfolgreich werden am Ende nur diejenigen sein, die ihre Datenpotenziale ausschöpfen – aber nicht um jeden Preis. Schwarz oder Weiß? Für die Grauzone dazwischen bietet IND²UCE einen goldenen Mittelweg. ■

IT-Schutz leicht gemacht



© shutterstock

IT-Schutz ist wichtig, keine Frage. Im Alltag allerdings mogelt man sich vielfach um die komplizierte Installation der Sicherheitssoftware herum und hebt damit die Abwehr aus. Soll der IT-Schutz funktionieren, muss er sich intuitiver anwenden lassen und mehr am Menschen orientieren.

Text: Janine van Ackeren

Klar, man sollte sein Smartphone und seinen Computer schützen und sicherstellen, dass die darauf gespeicherten Daten nicht in falsche Hände fallen. Aber mal ehrlich: Meist hat man weder Lust noch Zeit, sich durch die unverständlichen Informationen zu wühlen – und vertraut darauf, dass schon nichts passieren wird. Innerlich redet man sich damit heraus, dass man ja schließlich nichts Interessantes zu verbergen habe. Doch wie steht es um die Kontonummer und die Zugangsdaten zum Online-Banking? Die Passwörter zu Online-Shops und zum Steuerportal? Oder die Codenummer, mittels der man per Internet auf die Kamera im Kinderzimmer zugreifen kann? Die meisten User dürften sich hier einig sein: Diese Daten sind durchaus schützenswert.

Am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE arbeiten Forscherinnen und Forscher daran, dieses Dilemma aufzulösen – und die IT-Sicherheit benutzbarer zu machen. Man spricht dabei auch von »Usable Security«. Doch was meinen sie damit? »Ein Großteil der Sicherheitsforschung beschränkt sich auf die technologische Seite. Wenn der Mensch Fehler bei der Anwendung macht, dann war der Mensch nicht gut genug«, erläutert Professor Matthew Smith, Abteilungsleiter am FKIE. »Wir wählen den entgegengesetzten Ansatz: Macht der Mensch Fehler, war die Technologie nicht gut genug.«

Dazu gilt es zunächst einmal herauszufinden, wo die Stolperfallen genau liegen – schließlich ist der Mensch das schwächste Glied in der Sicherheitskette. Die Wissenschaftler holen dazu Menschen in ihr Labor und beobachten sie dabei, wie sie mit der entsprechenden Technik arbeiten. Welche Probleme treten auf? Wo hakt es bei der Bedienung? Auch die Wünsche der Nutzer haben sie im Blick: Sie führen Interviews durch und generieren Wunschlisten. Ein gänzlich anderer Ansatz als bisher – denn bislang werden die Anwenderinnen und Anwender meist nicht gefragt, es wird einfach nach bestem Wissen und Gewissen entwickelt. Dabei geht das Ergebnis mitunter an den Anforderungen im Alltag vorbei. Gut gemeinte Erweiterungen machen den Nutzern das Leben oftmals sogar schwerer.

Komplexität nehmen - etwa durch Automatisierung

Soll der IT-Schutz benutzerfreundlicher werden, hat ein Faktor oberste Priorität: Die Komplexität der IT-Sicherheitslösungen muss reduziert werden. Ein Stück weit gelingt dies über Automatisierung. Hier gilt allerdings: Viel hilft nicht immer viel. Die Forscher müssen vielmehr genau abwägen: »Eine Automatisierung ist nicht immer wünschenswert. Denn um Vertrauen aufzubauen, muss der Nutzer mitunter erkennen, dass ein Schutz existiert – das gilt vor allem in Bereichen, in denen wir Bewusstsein schaffen wollen«, konkretisiert Smith. So werden beispielsweise die Mitteilungen beim Nachrichtendienst iMessage verschlüsselt, ohne dass man es merkt. Die entsprechende Technologie läuft unsichtbar im Hintergrund. Das heißt aber auch: Die Menschen wissen gar nicht, dass ihre Nachrichten

geschützt sind. Macht man sie hingegen darauf aufmerksam – etwa über Pop-ups –, kann es die Nutzer stören. Es ist also Fingerspitzengefühl gefragt, um die Wünsche der Anwender zu treffen. Beispiel E-Mail-Verschlüsselung: Die Verschlüsselungsfunktion im E-Mail-Programm selbst ist einfach, allerdings ist es kompliziert, die kryptografischen Schlüssel zu installieren. Die Forscher vom Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT haben deshalb mit der »Volksverschlüsselung« eine Software entwickelt, mit der auch User ohne Kenntnisse in Kryptologie in wenigen Klicks ihren Rechner verschlüsselungsfähig haben. Dabei laufen viele Prozesse automatisiert ab. Die Nutzer werden jedoch immer darüber informiert, was passiert.

Usable Security unterstützt Nutzer und Experten

Wie Nutzer konkret von Usable Security profitieren, lässt sich am besten mit einem Beispiel erläutern, etwa über Apps auf dem Smartphone. Diese können zum Teil auf Adressbuch und Bilder zugreifen, den Aufenthaltsort des Geräts bestimmen und vieles mehr. Üblicherweise hat man nicht im Blick, welche Informationen für die App freigeschaltet werden. Und will man es doch herausfinden, sind die Informationen dazu so komplex, dass man schnell wieder aufgibt. Die Forscher am FKIE haben daher für Android ein System entwickelt, das mit konkreten Beispielen arbeitet. Anstatt nur zu schreiben: »Diese App kann auf deine Bilder zugreifen und sie löschen«, zeigen die Forscher ein konkretes Bild vom Nutzer und schreiben: »Diese App kann zum Beispiel auf dieses Bild zugreifen und es löschen.« Eine Studie zeigte: Personen, die diese Technologie verwenden, installieren deutlich häufiger sichere Apps als eine Vergleichsgruppe, der diese Technologie nicht zur Verfügung steht. Sprich: Die Anwender entwickeln ein besseres Gefühl dafür, welche Apps auf welche Daten zugreifen – und können entsprechend reagieren.

Während die klassische Usable Security den Nutzer im Blick hat, holen die Forscher des FKIE seit einiger Zeit auch die Experten ins Boot. Denn auch die Fachleute sind nicht vor Fehlern gefeit – allerdings sind ihre Fehler weitaus gravierender als die der Nutzer. »Dieser Ansatz trägt unglaublich viele Früchte«, freut sich Smith.

Ein Beispiel: Die Entwickler verschlüsseln die Kommunikation ihrer Apps und fühlen sich so gegen Angriffe gewappnet. Eine der Studien von Professor Smith hat jedoch gezeigt, dass dieser Schutz bei fast jeder fünften vermeintlich sicheren App fehlerhaft war – somit könnte ein Angreifer Kreditkartennummern oder Bankdaten abgreifen. In einer Studie mit den Entwicklern haben die Wissenschaftler die Hintergründe der Fehlerquellen sowie Wünsche erfragt und eine entsprechende Lösung entwickelt. In dieser ist der Entwicklungsprozess deutlich vereinfacht, die gängigen Fehler können somit nicht mehr auftreten. Google hat den Ansatz bereits in Android-N integriert. Auch Studien mit Experten, die sich auf Schadsoftware konzentrieren, beweisen: Die Nutzbarkeit – sowohl für Anwender als auch für Experten – ist ein unglaublich wichtiges Thema.

Die Sicherheit bei der App-Entwicklung ist jedoch nicht die einzige Herausforderung für Sicherheitsexperten. So bleiben beispielsweise Angriffe häufig lange unentdeckt. Der Grund ist in den Logdaten zu suchen – einer langen Liste von Meldungen, die im IT-Netzwerk erfasst werden. Die meisten Unternehmen haben einen Sicherheitsbeauftragten, der sich Tag für Tag diese Log-Meldungen anschaut und aus den 20 000 unwichtigen Nachrichten die eine wichtige herausfiltern soll, die zum Beispiel anzeigt, dass das System gehackt wurde. Pro Minute rattern 100 Nachrichten oder mehr in diese Liste. »Logdaten sind eines der Hauptprobleme nutzbarer Cybersecurity«, sagt Professor Jörn Kohlhammer, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD. »Wir arbeiten daran, diese Daten visuell zu verdichten, die relevanten Informationen herauszuziehen und Angriffe somit schneller aufzudecken.«

Auch die Forscher am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO widmen sich dem Thema Usable Security mit dem Fokus auf Wirtschaftlichkeit und Marktakzeptanz von Security. Im »Labor für tragfähige IT-Sicherheit« entwickeln sie branchenübergreifend IT-Sicherheitskonzepte, analysieren sicherheitsrelevante Fragen und integrieren Anforderungen von Mitarbeitern, Kunden und Partnern. Schließlich kann Usable Security vieles verbessern, weil sie den Menschen als gleichwertigen Partner betrachtet. ■

Mehr Sicherheit für Industrie 4.0



So sicher wie im Schließfach eines Safes sind Daten nur selten. © AdobeStock



Das Öffnen vormals abgeschlossener Produktionsumgebungen durch Industrie-4.0-Anwendungen birgt Gefahren durch Cyberattacken. Mit diesem Gefährdungspotenzial setzen sich die Experten des IT-Sicherheitslabors am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe auseinander. Wie sie für mehr Sicherheit sorgen wollen, erklärt Dipl.-Inform. Gerhard Sutschet im Interview.

Das Interview führte Max Alexandrin vom Fraunhofer-Verbund IUUK-Technologie

links: Das speziell für Produktions- und Automatisierungstechnik ausgestattete IT-Sicherheitslabor bietet eine gesicherte Umgebung, um die gesamte hierarchische IT-Infrastruktur einer Fabrik nachzubilden. © IOSB Fraunhofer

rechts: Studenten testen im Rahmen des Praktikums Elektrotechnik und Informationstechnik den Aufbau eines Stromchiffres. Mit ihm ist es möglich, ein digitalisiertes Audiosignal symmetrisch zu verschlüsseln bzw. zu entschlüsseln. © Andreas Heddergott | TU München

Herr Sutschet, welche Schäden können durch Cyberangriffe in der heutigen industriellen Produktion entstehen?

Das Eindringen eines externen Angreifers in das interne Produktionsnetz eines Unternehmens ist eine Gefahr, die in der Vergangenheit nicht besonders hoch war, da diese Netze immer stark abgeschirmt waren. Durch die neuen Möglichkeiten von Industrie 4.0 in der Produktion muss nun auch erhöhte Aufmerksamkeit auf die IT-Sicherheit gelegt werden, da die Produktionsnetze immer weiter geöffnet werden – entweder entlang einer Supply Chain oder wenn innerhalb eines Unternehmens verschiedene Standorte miteinander vernetzt werden.

Hat ein Angreifer Lücken in diesen neuen Strukturen gefunden und ist ins Netz eingedrungen, kann er bestehende Schwächen der industriellen Kommunikation ausnutzen, etwa schlecht gesicherte speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), nicht oder schwach gesicherte industrielle Produktionsprotokolle und vieles mehr. Darüber kann er die Arbeitsweise der Produktionssteuerung beeinflussen.

Wie läuft so ein Angriff ab?

Ein Angriff beginnt mit einer üblichen Hackerattacke, mit dem Ausspionieren von Unternehmensdaten, die während der Produktion anfallen. So kann der Eindringling erfahren, welche Konfiguration von Maschinen und Anlagen das entsprechende Unternehmen hat oder wie viel und zu welchen Zeiten produziert wird. Das kann bis zu einer Sabotage der verwendeten IT-Systeme führen, letztlich bis zu einer physischen Zerstörung von Maschinen und Anlagen.

Das eigentlich Erschreckende an diesem Szenario ist, dass sich ein solch destruktiver Angriff auch in unserem IT-Sicherheitslabor mit relativ geringem Aufwand beispielhaft durchführen lässt. So konnten wir zum Beispiel relativ schnell nachweisen, dass man einen Drehteller einer Produktionsmaschine durch einen Cyberangriff auch physisch zerstören kann. Diese Security-Lücken könnten auch zu einer Einschränkung der Produktionssicherheit führen und Menschen und Umwelt bedrohen. Ein berühmtes Beispiel

ist der weltbekannte interne Angriff mit dem Stuxnet-Virus, welcher gezielt zur Spionage und Manipulation von Industrieanlagen im Iran eingesetzt wurde. Ich bin der Meinung, dass man Angriffe, die mit solch enormem Aufwand betrieben werden, nicht komplett verhindern kann, aber zumindest sollte man die Schwelle der erkennbaren Angriffe möglichst hoch setzen.

Wo liegt der Fokus Ihrer Forschungen und mit welchen Innovationen arbeiten Sie?

Wir in Karlsruhe beschäftigen uns vor allem mit Netzwerkstrukturen und Kommunikationsprotokollen in der industriellen Produktion und deren Zusammenspiel mit den Office-Netzen der entsprechenden Unternehmen, also der industriellen Kommunikation der SPS bis zum Manufacturing-Execution-System-Umfeld.

Im Sicherheitslabor können wir Tests durchführen, ohne auf das »lebende« Objekt zugreifen zu müssen. Die Produktionsleitung eines Unternehmens würde es niemals zulassen, dass wir das reale Produktionsnetz eines Unternehmens auf Schwachstellen untersuchen und angreifen. Deshalb wurde unser Sicherheitslabor so aufgebaut, dass es die Möglichkeit bietet, sowohl mit physischen Komponenten, also realen SPSen, als auch mit Firewalls, Switches und Netzen zu experimentieren.

Andererseits haben wir die Möglichkeit, dieses Labor virtuell zu vergrößern, indem wir viele weitere »soft«-SPSen simulieren und über Software Defined Networks größere Netzwerkstrukturen realer Unternehmen nachstellen können. Momentan arbeiten wir außerdem an Sicherheitsarchitekturen, die ein Eindringen der Angreifer von außen erschweren sollen. Hinzu kommen Intrusion Detection-Systeme, das sind Erkennungs-, Signalisierungs- und Abwehrmechanismen, die automatisch wirksam werden, wenn ein Angreifer es schon bis ins System geschafft hat.

Wie analysieren Sie die Sicherheit eines Produktionsnetzwerks?

Im Prinzip ist eine physische Trennung in Produktions- und Office-Netze heute nicht mehr

möglich, da die Bereiche anders als früher zusammenspielen. Um eine kundenspezifische Lösung anbieten zu können, sind mehrere Schritte nötig: Zum einen erfolgt die Analyse der real vorhandenen Netzwerkinfrastrukturen und der eingesetzten Hard- und Software.

Im Anschluss erfolgt in einem weiteren Schritt – zusammen mit dem Unternehmen – die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen oder einer Sicherheitsarchitektur, welche bei vielen Unternehmen noch fehlt. Als letzter Punkt steht dann die Umsetzung des Sicherheitskonzepts durch das Unternehmen an, wobei wir natürlich auch immer beratend mit zur Seite stehen. Im Rahmen von praxisnahen Schulungen vermitteln wir Unternehmen zudem branchen-, themen- und funktionspezifisch die notwendigen Kompetenzen in der IT-Sicherheit. Gemeinsam mit der Fraunhofer Academy und weiteren Partnern haben wir die Initiative Lernlabor Cybersicherheit gestartet, die bundesweit entsprechende Qualifizierungen anbietet.

Seit wann wird das Labor genutzt?

Für Besucher zugänglich ist das Labor schon seit der Hannover Messe 2015. Nachdem wir auf der Hannover Messe 2016 konkrete Angebote an die Unternehmen gemacht hatten, entstanden einige Vorprojekte und Studien. Im Oktober 2016 ist zudem der Startschuss für die Initiative Weiterbildung im Lernlabor Cybersicherheit gefallen. Ideengeber und Initiator für das Sicherheitslabor ist Prof. Jürgen Beyerer, der Institutsleiter des Fraunhofer IOSB.

Die Idee resultierte daraus, dass wir am Institut zwei Kernkompetenzen haben, die sich kombinieren ließen: Zum einen in der industriellen Kommunikation, den Produktionsleitsystemen und MES, also auf Seiten der Automatisierung. Zum anderen haben wir eine langjährige Kernkompetenz in der Office-IT-Sicherheit bis hin zu Sicherung von Webauftritten, des E-Mail-Verkehres und vielem anderem. ■

Weitere Infos zum Thema Cybersicherheit:

 <http://s.fhg.de/tYH>
<http://s.fhg.de/innovisions-cs>

Sichere Drehscheibe für Daten

Zwölf Fraunhofer-Institute arbeiten an einer sicheren Datenplattform für die deutsche Industrie: dem Industrial Data Space. Den Nutzen zeigt ein Beispielszenario zur effizienteren Lkw-Abfertigung.

Text: Bernd Müller

Ein Unfall auf der A9. Vollsperrung und mindestens noch zwei Stunden Wartezeit. Bis zum geplanten Laden der Stahlteile beim Kunden in München wird es Trucker Heinz S. nicht mehr schaffen, denn der Termin ist schon in einer Stunde. Früher hätte er hektisch mit dem Disponenten der Spedition telefoniert, der dann das Lager beim Kunden verständigt hätte.

Mit der neuen App auf seinem Smartphone bleibt Heinz S. entspannt. Er meldet seine Position, den Stau und seine voraussichtliche Ankunftszeit. Der Disponent ist mit den anderen Fahrern der Flotte ebenfalls per App verbunden. In wenigen Minuten ist ein neues Zeitfenster zum Beladen eines anderen Lkw gefunden und das Problem gelöst, denn auch die Disponenten des Kunden haben Zugriff auf die Daten des Logistikdienstleisters.

Die schnelle Logistikplanung ist keine Zukunftsmusik, sondern ein realer Anwendungsfall zum Thema Logistik und Lieferkette, den das Industrial Data Space-Konsortium derzeit als ein Beispielszenario erforscht und umsetzt. Das Vorhaben, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, ist im Oktober 2015 gestartet, zwölf Fraunhofer-Institute sind daran beteiligt. Ziel ist ein gemeinsamer Datenraum, in dem sich Unternehmen über standardisierte Schnittstellen sicher miteinander vernetzen können und dabei absolute Souveränität über ihre Daten behalten.

In einem 2016 gegründeten Anwenderverein, der »Industrial Data Space Association«, arbeiten derzeit rund 60 Mitglieder aus Industrie und Handel zusammen. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist ebenfalls beteiligt. In dem Verein definieren die Mitglieder die Referenzarchitektur und erproben diese durch Anwendungsfälle. Umgesetzt werden sie dann von den Unternehmen, um die praktischen Einsatzmöglichkeiten des

Industrial Data Space zu demonstrieren. Derzeit tüfteln die Vereinsmitglieder an 16 Anwendungsfällen, die häufige Geschäftsprozesse aus den unterschiedlichsten Branchen abbilden. Neben der Logistik gehören dazu auch Themen aus Produktion und Kundenprozessen.

Vertrauen als Basis

Es haben sich schnell viele Mitglieder für den Verein gefunden, da die Unternehmen überzeugt sind, dass das Thema Datensouveränität im Industrial Data Space großgeschrieben wird. Deutsche Unternehmen haben kein großes Vertrauen in internationale Cloud-Dienstleister und wollen nicht, dass ihre Daten deutschen Boden verlassen. »Die Unternehmen suchen neue und moderne Wege, um Daten miteinander auszutauschen und dabei immer die Souveränität über ihre Daten zu behalten«, sagt Professor Boris Otto, Forschungschef des Industrial Data Space. Otto ist gleichzeitig Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST in Dortmund, das gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML die Umsetzung eines beispielhaften Anwendungsfalls für die Logistik leitet.

Der Industrial Data Space bietet nicht nur Souveränität über die eigenen Daten. Er ist auch die Basis für neue Geschäftsmodelle durch Digitalisierung. Der Industrial Data Space soll ein riesiger Marktplatz werden, auf dem Unternehmen Daten anbieten können. Das Angebot kann öffentlich sein oder sich geschützt nur an ausgewählte Partner richten, etwa an Zulieferer. Wer welche Daten sehen oder nicht sehen darf und ob und wieviel er dafür bezahlen muss, ist die Entscheidung jedes Dateneigentümers.

Die Verbindung zwischen den Unternehmen und der Plattform übernimmt ein Konnektor, den Forscherinnen und Forscher von Fraunhofer

Ein Stau auf der Autobahn kann die Lkw-Abfertigung in einem Unternehmen durcheinanderbringen. Durch die sichere Datendrehscheibe sind Lkw-Fahrer und Disponenten verbunden und können kurzfristig reagieren. © Fotolia




entwickeln. Die diesem Konnektor zugrunde liegenden Sicherheitstechnologien liefert beispielsweise das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC. Der Konnektor dient als Schnittstelle zwischen den Unternehmen und unterstützt viele Protokolle – zum Beispiel von Webdiensten und für das Internet der Dinge. Er verknüpft die Daten des Unternehmens und verteilt sie auf Wunsch im Industrial Data Space. Umgekehrt leitet er Anfragen von dort an die Systeme im Unternehmen weiter.

Die Konnektoren können um Apps ergänzt werden, die Daten filtern, transformieren und Geschäftsprozesse bereitstellen. Im Projekt wollen die Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler einige Konnektoren und Apps für die Referenzarchitektur prototypisch entwickeln und anhand von drei beispielhaften Anwendungsfällen deren Nutzung darstellen. Diese Anwendungsfälle können die Unternehmen verwenden oder ihre eigenen Konnektoren und Apps entwickeln. »Es wird verschiedene Varianten geben, die aber alle zusammenarbei-

ten. Dies gewährleistet die Referenzarchitektur samt Zertifizierungsprozess«, sagt Boris Otto. Im Rahmen eines Logistik Use Case planen die Fraunhofer-Forscher schon, über den Konnektor auch Daten von Temperatur-, Erschütterungs- oder Lichtsensoren zu übermitteln. Das ist unter anderem für empfindliche Waren wie Lebensmittel interessant. Eine Supermarktkette kann dann zum Beispiel überwachen, ob ein Container mit frischen Lebensmitteln geöffnet wurde oder ob die Ware verdorben ist – und automatisch neue nachliefern. ■

Initiative Industrial Data Space

Die Initiative zum Industrial Data Space wurde Ende 2014 von Wirtschaft, Politik und Forschung in Deutschland mit dem Ziel ins Leben gerufen, sowohl den Entwurf des Industrial Data Space als auch seine anschließende Nutzung auf internationaler Ebene zu etablieren. Die Initiative umfasst ein Forschungsprojekt und einen Anwenderverein. Das Forschungsprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft wird als vorwettbewerbliche Vorbereitung des Aufbaus des Industrial Data Space vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Ergänzend hierzu wurde im Januar 2016 die Industrial Data Space Association ins Leben gerufen, um die Anwenderinteressen und die Standardisierung der Ergebnisse des Forschungsprojekts zu bündeln. Mit inzwischen 58 Mitgliedsunternehmen aus acht verschiedenen Ländern wächst der Verein auch international weiterhin stark. Neben Bayer, Volkswagen oder Bosch sind so auch Unternehmen wie innovalia und tecnalia aus Spanien oder die Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO im Verein vertreten.

 [http://s.fhg.de/
industrialdataspace](http://s.fhg.de/industrialdataspace)



Digitalisierung der Arbeitswelt

Unser Alltag ist längst durch moderne Informations- und Kommunikationstechniken geprägt. Künftig werden digitale Technologien die Produktionsarbeit revolutionieren. Wie die Fabrik von morgen aussehen und welche Rolle darin den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zukommen könnte, demonstriert das Future Work Lab, ein Zentrum für Arbeit, Mensch und Technik in Stuttgart.

Text: Monika Offenberger

Das Future Work Lab besteht aus drei Säulen: der Demonstratorenwelt, der Lernwelt und der Ideenwelt. © Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak



Industrie 4.0 ist zum Synonym für die Digitalisierung der Arbeitswelt geworden. Digitale Lösungen sollen die Produktion zeitlich und räumlich flexibler machen und für die Anforderungen volatiler Märkte rüsten. Doch was bedeutet das konkret? »Hier besteht noch ein enormer Informationsbedarf«, sagt Dr.-Ing. Moritz Hämmerle vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart und erklärt: »Große Firmen wie Bosch, Siemens oder Daimler setzen Industrie 4.0 zunehmend um.

Aber für einen klassischen Mittelständler ist das alles noch recht theoretisch. Der will vor allem wissen: Was passiert eigentlich durch die Digitalisierung mit meinem Unternehmen und meinen Produkten, die ich heute schon erfolgreich in die ganze Welt verkaufe? Wie sehen Prozesse und Arbeitsplätze in meinem Betrieb aus, wenn sie in Zukunft mit digitalen Lösungen der Industrie 4.0 ausgestattet werden? Welche technischen Möglichkeiten gibt es heute schon, was leisten diese – und wie bringe ich meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dazu, diesen Transformationsprozess aktiv mitzutragen und in einer digital angereicherten Arbeitswelt zurechtzukommen?« Antworten auf diese Fragen bietet ein neues

Zentrum für Arbeit, Mensch und Technik, das Future Work Lab. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, entsteht dieses Zukunftslabor als Gemeinschaftsprojekt des IAO und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sowie der beiden zugehörigen Forschungseinrichtungen an der Universität Stuttgart.

Moritz Hämmerle leitet das Future Work Lab. Um das Potenzial digitaler Lösungen zu demonstrieren, zieht der Maschinenbau-Ingenieur Parallelen zum Rennsport: »Wenn ich die Formel 1 verfolge, dann staune ich immer, wie die wohl den richtigen Zeitpunkt für einen Tankstopp oder einen Reifenwechsel ausrechnen.« Tatsächlich orientiert sich das Team an digitalen Echtzeitdaten, die über Sensoren am Rennwagen gemessen und ausgewertet werden. Diese Telemetriedaten geben Auskunft darüber, was der Wagen zu welchem Zeitpunkt auf der Strecke macht. Das aktuelle Fahrverhalten wird verglichen mit dem, was maximal herauszuholen wäre. So erfährt der Fahrer, in welcher Kurve er stärker einschlagen, wo er höherschalten, später bremsen oder mehr Gas geben kann, um damit die entscheidenden Sekunden für

den Sieg herauszuholen. »Ähnlich geht es den Mitarbeitenden in komplexen Branchen wie dem Maschinen- und Anlagenbau, wo möglichst effektiv Zigtausende unterschiedlicher Produktvarianten gefertigt werden«, erklärt Hämmerle: »Da bleibt – ohne exakte Daten, genau wie auf dem Rennkurs, vieles undurchsichtig. Der Mensch sieht nur seine vielen Aufträge und weiß vielleicht noch, welche Materialien dazu gebraucht werden. Aber er kann nur schwer abschätzen, in welcher Reihenfolge optimal abgearbeitet wird oder welche Maschinen wann stärker ausgelastet werden können. Vieles bleibt erfahrungsbasiert und läuft damit nicht optimal. Und nun stelle ich mir das Szenario in fünf oder zehn Jahren vor und male mir aus, wie man mit Unterstützung eines digitalen Assistenzsystems viele dieser Prozesse besser durchschauen und effektiver organisieren kann.«

 www.futureworklab.de

Das klingt nach Zukunftsmusik. Doch wie schnell aus cleveren Ideen erfolgreiche Anwendungen der Industrie 4.0 werden, zeigt das Projekt KapaflexCy. Dabei handelt es sich um eine Art Abstimmungs-App für Fabrikarbeiter: Sie können



Das Stuttgart Exo-Jacket unterstützt Mitarbeitende bei Hebetätigkeiten und Überkopfarbeiten.
© Fraunhofer IPA, Ludmilla Parsyak



damit über ihr Smartphone ihre Schichtpläne und Arbeitskonten einsehen, reguläre Einsätze und Sonderschichten planen sowie freie Zeiten flexibel mit Kollegen abstimmen – und das alles im Rahmen der gesetzlichen Richtlinien und Betriebsvereinbarungen. Die digitale Planungs-App wurde am IAO gemeinsam mit Partnern entwickelt und beispielsweise beim Automobilzulieferer BorgWarner in Ludwigsburg installiert. Der Betriebsrat war von Anfang an in das Projekt eingebunden. Zunächst reagierten die Arbeitnehmer skeptisch; heute wollen sie die App nicht mehr missen. Denn sie ermöglicht eine weitgehend selbstbestimmte Planung von Arbeit, Familien- und Freizeitaktivitäten. Auch das Unternehmen profitiert durch hochflexible Produktionskapazitäten – eine Win-win-Situation für beide Seiten.

KapaflexCy ist ein Paradebeispiel für eine 4.0-Technologie. Und ist doch nur ein Beispiel unter vielen. Was es schon alles gibt und künftig geben könnte, lässt sich im Future Work Lab auf dem Forschungscampus in Stuttgart-Vaihingen besichtigen. Seit Februar 2017 sind in den Räumen des Fraunhofer-Campus unterschiedliche Demonstratoren aufgebaut, die künftige

Arbeitsplätze erlebbar machen. Wenn das Labor im Mai in die ARENA2036 umzieht, sollen dort auf bis zu 1000 Quadratmetern über 60 Demonstratoren präsentiert werden. »Wir stellen sowohl Eigenentwicklungen als auch Technologien und Visionen anderer Anbieter vor. Da ist alles dabei, von digitalen Assistenten wie Apps oder Datenbrillen über Laser- und Sägemaschinen bis hin zu großen Industrierobotern«, sagt Thilo Zimmermann, der das Future Work Lab für das IPA koordiniert: »Wir wollen drei Szenarien zeigen: Erstens das Nonplusultra an Digitaltechnologien, das einige der ganz großen Unternehmen heute schon haben, aber kleinere und mittelständische Betriebe noch nicht. Zum anderen unseren Parcours 2025+ mit zwei Varianten: Damit zeigen und diskutieren wir eine Arbeitswelt der Zukunft, in der einmal der Mensch und einmal die Technik eine führende Rolle einnimmt – abhängig vom Anwendungsfall und von der Zielstellung, die Unternehmen in ihren Prozessen installieren wollen. Zu sehen sind dort Prototypen und Messedemonstratoren, die in den nächsten zehn Jahren Standard im modernen Mittelstand sein könnten.« Dazu gehört auch das Stuttgart Exo-Jacket, das am IPA entwickelt wurde. Es kann einen Werker bei

schweren Hebetätigkeiten entlasten und den körperlichen Verschleiß reduzieren.

Das Future Work Lab bietet mehr als Demonstratoren

Mit seiner Vielfalt an Demonstratoren wirkt das Future Work Lab wie ein riesiger Showroom einer digitalisierten Fabrik. Doch das Labor bietet weit mehr als interessantes Anschauungsmaterial. »Wir verstehen uns als Ideenbörse für digitale Lösungen und laden alle Interessenten ein, die zukunftsfähige Konzepte anbieten oder nach solchen suchen. Dort haben sie die Möglichkeit, mit potenziellen Partnern in Kontakt zu treten und von deren Erfahrung zu profitieren«, erklärt Zimmermann. Dabei gehe es nicht nur um neue Maschinen, Technologien und Anwendungen, sondern insbesondere auch um die erforderlichen organisatorischen und qualifikatorischen Prozesse für eine erfolgreiche Industriearbeit der Zukunft, betont sein Kollege Hämmerle. Entscheidend sei, dass es häufig sehr unterschiedliche Lösungen für die digitale Anreicherung von Arbeitstätigkeiten gibt: »Man kann einen Arbeitsprozess extrem technisch aufrüsten oder sehr am Menschen orientiert abbilden. Was am

Digitale Werkzeuge können bestehende Arbeitsabläufe verbessern. © Fraunhofer IPA, Rainer Bez



Optische 3D-Sensoren und moderne Industrie-4.0-Technologien ermöglichen die automatische Analyse der Szenarien am Arbeitsplatz und helfen so, Unfälle zu erkennen. Die Daten werden direkt in der Sensorbox ausgewertet. © Fraunhofer IPA, Rainer Bez



besten passt, kommt auf die Rahmenbedingungen im Betrieb an. Jedoch gilt es, unterschiedliche Lösungen für eine Veränderung zu kennen und – fernab eines Produktgesprächs – neutral aufzuzeigen, welche Möglichkeiten es gibt und mit welchen Unternehmen und Instituten man heute schon zusammenarbeiten kann.«

Auf Veränderungen vorbereitet

Somit dient das Demonstrationszentrum mit seinen drei Parcours zunächst als Einstieg, um mögliche Szenarien kennenzulernen und sich mit konkreten Fragestellungen auseinanderzusetzen. Die nächsten Schritte auf dem Weg zur digitalisierten Fabrik beschreibt Laborleiter Hämmerle so: »Wenn sich ein Betrieb dazu entscheidet, neue Technologien einzusetzen, dann gibt es zwei Arten von Veränderungsprozessen. Der eine ist inhaltlicher Natur: Wenn man zum Beispiel einen neuen Industrieroboter kollaborativ, also in der direkten Zusammenarbeit mit dem Menschen einsetzen will, dann müssen die Mitarbeiter geschult werden, ihn zu programmieren und entsprechend mit ihm umzugehen. Der andere Veränderungsprozess zielt darauf ab, die Menschen grundsätzlich zu

öffnen für Veränderungen, damit sie die Digitalisierung und intelligente Automatisierung als Chance sehen und nicht etwa als Bedrohung.« Auf diese Fragen fokussiert sich das Kompetenz- und Beratungszentrum im Future Work Lab. So können sich Mitarbeitende produzierender Unternehmen dort in Seminaren und Workshops informieren und weiterbilden; Expertinnen und Experten des Zentrums entwickeln gemeinsam mit Unternehmenspartnern gezielt individuelle Schulungskonzepte für die Industrie 4.0.

Die dritte Säule des Zukunftslabors ist das Ideenzentrum für Arbeitsforschung. Es versteht sich als Plattform für den wissenschaftlichen Dialog rund um die zukünftige Industriearbeit und dient als Nährboden für neue Forschungsvorhaben; zugleich soll es die Fraunhofer-Institute noch enger mit anderen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern vernetzen und den Transfer innovativer Ideen in die Umsetzung vorantreiben. »Als Forschungsinstitute denken wir natürlich laufend über neue Themen nach und tragen sie an Firmen heran«, erläutert Moritz Hämmerle. »Aber manche Aspekte kommen auch von den Unternehmen selbst, zum Beispiel das Thema Change Management: Da geht es

um die Frage, wie man beispielsweise auch den Betriebsrat von einer digitalen Lösung überzeugen kann. Im Kern wollen wir nicht nur die Unternehmer ansprechen, sondern vor allem auch die Brücke spannen zwischen der Unternehmensleitung, den Betriebsräten und den Mitarbeitenden, die letztlich von der Digitalisierung betroffen sind.« Deshalb pflegt das Future Work Lab enge Kooperationen sowohl mit Unternehmen als auch mit großen Verbänden wie Südwestmetall als Arbeitgeberverband und der IG Metall als Arbeitnehmervertretung.

Wie sieht das Zukunftslabor seiner eigenen Zukunft entgegen? »Wir bauen hier ein großes Labor auf, das auch nach dem Ende der Projektlaufzeit genutzt und weiterentwickelt werden soll. Wir möchten einen öffentlichen Raum, ein aktiv belebtes Labor schaffen«, sagt Hämmerle: »Dafür können sich diejenigen, die das spannend finden, engagieren und es schließlich auch gemeinsam weiterführen – und so der Industrie nachhaltig neue Impulse zur Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit geben.« ■

 [YouTube
http://s.fhg.de/wv11703](http://s.fhg.de/wv11703)



Das Buch gibt Einblick in aktuelle Projekte und Initiativen der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich der Effizienztechnologien.
© Springer Verlag

Buch »Ressourceneffizienz«

Um unseren Anspruch an Lebensqualität, Sicherheit und Gesundheit erfüllen zu können, müssen wir hoch entwickelte Technologien anwenden und viele Ressourcen nutzen: Energie, Rohstoffe, Umwelt, Wissen und menschliche Arbeit. Ressourcen sind aber limitiert, weil sie nicht in beliebiger Menge verfügbar gemacht werden können, oder nur begrenzt einsetzbar, weil ihre Nutzung sich auf Umwelt und Klima auswirkt. Ein effizienter Umgang damit liegt im Interesse aller Menschen. Bei Unternehmen, die Technologien professionell anwenden, spielt die Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle.

Effizienztechnologien weiterzuentwickeln stellt daher eine wichtige Anforderung der Wirtschaft an die angewandte Forschung dar.

Das neue Buch »Ressourceneffizienz« gibt Einblick in die wichtigsten aktuellen Projekte und Initiativen der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich der Effizienztechnologien. Es ist der erste Band einer Buchreihe mit dem Titel »Fraunhofer-Forschungsfokus – Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft«, die von Fraunhofer-Präsident Professor Reimund Neugebauer in Kooperation mit Springer Vieweg herausgegeben wird.

Energie sparen

Kontakt: anne-catherine.jung@isi.fraunhofer.de

Unternehmen müssen stets ihre Wettbewerbsfähigkeit im Blick behalten. Daher gilt es, die Kosten für Produktion und Dienstleistungen niedrig zu halten. Doch damit nicht genug: Eine immer wichtigere Rolle als bedeutender Wettbewerbsfaktor erhält der Energieverbrauch. Wo können Betriebe Energie einsparen? Und auf welche Weise? Um solche und ähnliche Fragen zum Energieverbrauch beantworten zu können, haben Forscher des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI ein Energie-Benchmarking-Modul entwickelt, das Unternehmen seit Juni 2016 zur Verfügung steht. (www.industriebenchmarking.eu/energie)

Ziel ist es, das Wissen der Unternehmen beim Thema Energiesparen zu verbessern, ihr Bewusstsein hierfür zu schärfen und konkrete Einsparbereiche aufzuzeigen. Zudem können sich die Betriebe anhand von unterschiedlichen Betriebsgrößen oder der Seriengröße in der Produktion selbst in Vergleichsgruppen einteilen und sich so gezielt mit Wettbewerbern messen.

Benzin-Zusatzstoffe aus Zucker

Kontakt: claudia.vorbeck@igb.fraunhofer.de

Ottomotoren werden mit einem Benzin-Luftgemisch betrieben. Dieses darf sich jedoch nicht frühzeitig selbst entzünden, daher setzt man dem Benzin entsprechende Additive aus Erdöl zu. Zwei dieser Zusatzstoffe, Isooktan und Ethyl-tert-butylether ETBE, stellt das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna nun erstmals aus rein erneuerbaren Rohstoffen her – im Auftrag des französisch-deutschen Unternehmens Global Bioenergies. Die Forscher des CBP entwickeln dafür die entsprechenden chemischen Verfahren, validieren sie und übertragen sie in industrierelevanten Technikumsmaßstab.

Ausgangsstoff für beide Produkte ist Bio-Isobuten, das fermentativ aus Zucker gewonnen wird. Seit Ende 2016 ist dafür eine 5000 Liter große Fermentationsanlage in Betrieb, die Global Bioenergies am CBP installiert hat. Damit steht in Leuna die weltweit erste Anlage dieser Größenordnung, in der Isobuten in einem rein biotechnischen Verfahren aus Zuckern produziert wird. Die Zucker können wiederum aus verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden, etwa landwirtschaftlicher Biomasse oder forstwirtschaftlichen Reststoffen – ebenfalls Themen des Forschungszentrums.

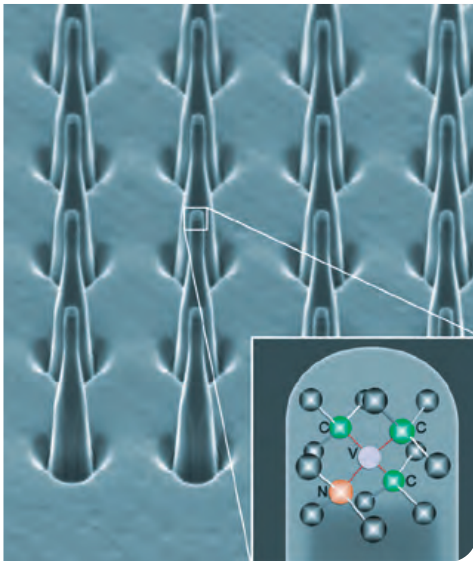


In der Pilotanlage des Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna werden Kraftstoffadditive aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt.
© Norbert Michalke

Vorstoß in die Quantentechnologie

Elektronische Bauteile werden immer winziger. Die Quantentechnologie eröffnet neue Wege in die Miniaturisierung.

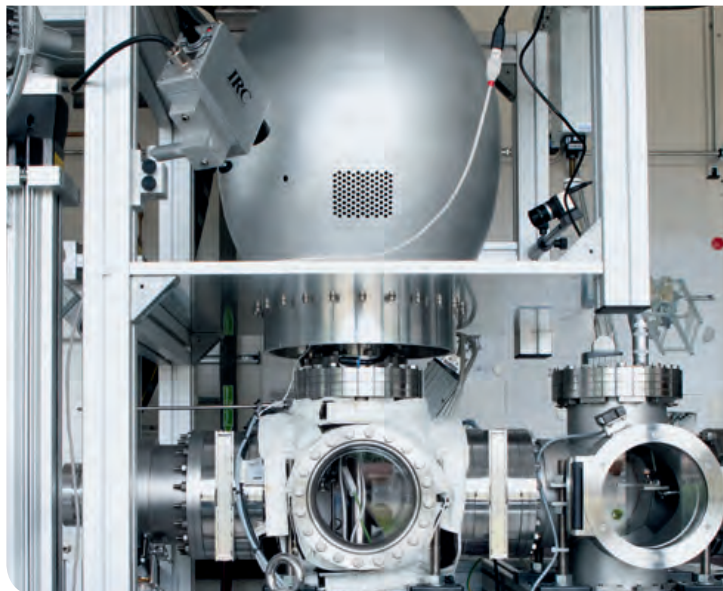
Text: Klaus Jacob



Diamant-Nadel-Anordnung mit integrierten Sensoren (NV-Zentren), schematisch dargestellt. © Fraunhofer IAF

Der US-Amerikaner Gordon Moore, Mitgründer der Firma Intel, sagte schon 1965 voraus, dass sich die Komplexität von integrierten Schaltkreisen alle ein bis zwei Jahre verdoppeln würde. Tatsächlich enthält ein moderner Pentiumprozessor inzwischen rund 30 Millionen Transistoren. Und die magnetischen Strukturen auf Festplatten messen gerade noch 10 bis 20 Nanometer. Sie sind damit kleiner als ein Grippevirus, der rund 100 Nanometer Durchmesser hat. Die Abmessungen geraten somit bald in Größenordnungen, bei denen die Quantenphysik greift. Forscherinnen und Forscher am Freiburger Fraunhofer-Institut für Angewandte

Am IAF hergestellter ultrareiner Diamant für quantenphysikalische Anwendungen.
© Fraunhofer IAF



Die besondere Ellipsoid-Form des am IAF entwickelten Plasma-Reaktors ermöglicht das großflächige Abscheiden von Diamant.
© Fraunhofer IAF, Iselin

Festkörperphysik IAF stellen sich bereits heute den Herausforderungen der Quantentechnologie von morgen. Zusammen mit ihren Kolleginnen und Kollegen des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung entwickeln sie einen Quantensensor, der winzige Magnetfelder, wie sie etwa auf künftigen Festplatten verwendet werden sollen, exakt vermessen kann. Als Trägersubstanz dient ein künstlicher Diamant. Der eigentliche Sensor ist nicht viel größer als ein Stickstoff-Atom.

Sensor in der Größe eines Stickstoff-Atoms

Es war ein langer Weg bis zu diesem Highlight. Das Institut forscht seit mehr als 25 Jahren an der Herstellung von Diamanten. In den Anfängen war kaum absehbar, welche Rolle Diamant in der Elektronik einmal spielen könnte. Damals galt der Halbleiter Galliumnitrid als Hoffnungsträger. Inzwischen zeichnet sich ab: Die GaN-Leistungselektronik wird wohl auch morgen noch den Ton angeben, aber übermorgen könnte Diamant eine Führungsrolle übernehmen. Denn Diamant hat neben seiner großen mechanischen und chemischen Stabilität viele Vorteile. So kann man Fremdatome einschleusen, etwa Bor oder Phosphor, und die Kristalle auf diese Weise zu Halbleitern machen. Diamant eignet sich auch hervorragend für optische Schaltkreise. Vor allem aber besticht dieses Material durch seine enorme Wärmeleitfähigkeit. Die hohen Bindungskräfte der Kohlenstoffatome sorgen dafür, dass die Wärme rasch abgeführt wird.

Diamanten herstellen

Allerdings ist es nicht ganz einfach, Diamanten entsprechend den jeweiligen Anforderungen herzustellen. Das IAF hat hier in den letzten Jahrzehnten das nötige Know-how erworben und optimierte Anlagen zur Produktion von Diamant entwickelt. Der Prozess für die Maßanfertigung findet in einem Plasmareaktor statt, der wegen seiner elliptischen Form im Institut gerne »Diamant-Ei« genannt wird. In Freiburg stehen mehrere dieser silberglänzenden Reaktoren, die je nach Anforderung zwischen eineinhalb und zweieinhalb Meter hoch sind. Die elliptische Form sorgt dafür, dass die Mikrowellen, die für die nötige Hitze sorgen, an den Aluminiumwänden reflektiert und dort gebündelt werden, wo man sie braucht. Im Fokus zündet ein Plasma, sodass bei Temperaturen von 800 bis 900 Grad

Celsius aus einströmendem Gas auf quadratischen Substraten Diamantschichten wachsen können. Die Kristalle mit Kantenlängen zwischen drei und acht Millimetern werden später mit einem Laser vom Substrat getrennt und schließlich poliert.

Für die Herstellung des innovativen Quantensensors ist ein besonders reiner Kristall nötig, was weitere Verbesserungen angestoßen hat: Für das Wachstum von ultrasauberen Diamantschichten wird das Methan, das den Kohlenstoff für den Diamanten liefert, mithilfe eines Zirkonium-Filters vorgereinigt. Zudem muss das Gas isotenrein sein, denn nur ^{12}C hat keinen Kernspin – eine notwendige Voraussetzung für den späteren Magnetsensor. Auch der Wasserstoff durchläuft eine Reinigungsstufe. Der so entstandene hochreine monokristalline Diamant muss nun für die Aufgabe als Magnetdetektor präpariert werden. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder man implantiert in die hauchfeine Spitze ein einzelnes Stickstoffatom, oder man gibt in der letzten Wachstumsphase der Diamantherstellung Stickstoff hinzu. Die Diamantspitze wird dann im institutseigenen Reinraum durch ein Ätzverfahren im Sauerstoff-Plasma herausgearbeitet. Das Resultat ist jeweils eine hauchfeine Diamantspitze, die der eines Rasterkraftmikroskops ähnelt. Der Clou ist das eingeschleuste Stickstoffatom samt einer benachbarten Leerstelle im Kristallgitter, einer Vakanz.

Quantensensoren prüfen Festplatten

Dieses Stickstoff-Vakanz-Zentrum ist der ganze Sensor. Er sendet Licht aus, wenn man ihn mit Laser und Mikrowellen bestrahlt. Auf einen Magneten in seiner Nähe reagiert er mit einer Variation seiner Lichtemission. Experten sprechen von Elektronenspin-Resonanzspektroskopie. Man kann damit ein Magnetfeld nicht nur nanometergenau aufspüren, sondern auch in seiner Stärke bestimmen. Das macht erstaunliche Anwendungen möglich. Die winzigen Diamantnadeln eignen sich zum Beispiel dazu, die Qualität von Festplatten zu kontrollieren. Auf den dicht gepackten Datenspeichern kommt es immer wieder zu kleinen Fehlern. Der Quantensensor kann die defekten Datensegmente aufspüren. Sie bleiben dann beim Schreib- und Lesevorgang ausgeschlossen. Das reduziert den Ausschuss, der bei zunehmender Miniaturisierung rasant steigt. Außerdem lassen sich so die Produktionskosten senken.

Die Einsatzmöglichkeiten für den Winzling sind vielfältig, denn schwache magnetische Felder findet man überall, sogar im Gehirn. »Immer wenn Elektronen wandern, entsteht ein Magnetfeld«, sagt IAF-Experte Christoph Nebel. Wenn wir also denken oder fühlen, verursachen die Gehirnströme Magnetfelder. Man möchte diese Aktivitäten lokalisieren, um diejenigen Areale im Gehirn aufzuspüren, die bei bestimmten Tätigkeiten oder Gefühlen aktiv sind. Dafür kann man die Ströme mit Elektroden direkt messen, erhält aber sehr ungenaue Daten. Bessere Ergebnisse liefern Magnetfeldmessungen. Die heute dafür benutzten Sensoren müssen allerdings mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Die neue Technologie mit dem extrem wärmeleitenden Diamanten arbeitet dagegen bei Raumtemperatur, ganz ohne Kühlung. Für diesen Einsatz würde man keine feinen Nadeln verwenden, sondern Plättchen, auf denen zahlreiche Stickstoff-Vakanz-Zentren eingebaut sind. Jedes Zentrum erzeugt einen Bildpunkt, sodass insgesamt ein detailscharfes Foto entsteht. Das Plättchen ähnelt somit der alten Fotoplatte.

Eine weitere Anwendung könnte Biologen bei der Untersuchung von Proteinen helfen. Diese Makromoleküle sind vielfach gefaltet und verschlungen, ihre räumliche Struktur ist für die jeweiligen Eigenschaften verantwortlich. Die Analyse der Proteinstruktur ist unerlässlich, um die Arbeit dieser Bausteine im Körper zu verstehen. Bisher werden die Proteine kristallisiert und anschließend geröntgt. Der Nachteil: Die Proteinstruktur kann sich beim Kristallisationsvorgang ändern. Zudem kann man Proteine nicht in Aktion verfolgen, sondern lediglich in einem eingefrorenen Zustand. Eleganter geht es mit der bildgebenden Kernspin-Resonanzspektroskopie: Auf ein entsprechendes Diamantplättchen gelegt, kann man Proteine bei der Arbeit beobachten.

Derzeit geht es in Freiburg aber vorwiegend noch um die Erforschung von Materialien, wie sie zum Beispiel in einem Lesekopf für zukünftige Datenspeicher gebraucht wird. Der Quantensensor ist dabei ein vielversprechender Anfang. Wenn man den IAF-Experten Nebel auf die ferne Zukunft anspricht, denkt er freilich schon einen Schritt weiter: an eine Quanten-Festplatte. Die würde die Miniaturisierung weiter vorantreiben. Die Daten würden dabei als einzelner Kernspin abgelegt. Bis ein solches Gerät Realität wird, ist es aber noch ein weiter Weg. ■

Zur Videokonferenz beamen



Wenn ein weit entfernter Kommunikationspartner einfach als virtuelle Gestalt mitten im Raum auftaucht – in voller Größe und dreidimensional – dann konnte es sich bis vor Kurzem eigentlich nur um Science-Fiction handeln. Jetzt ist für Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher diese Vision zum Greifen nahe.

Text: Tim Schröder

Mit einer Virtual Reality Brille mitten im Geschehen sein: Ein neues Kamerasystem stellt Menschen natürlich und realitätsnah virtuell dar.
© Fraunhofer HHI

Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI in Berlin haben eine Methode entwickelt, mit der man das realistische Abbild eines Menschen in eine virtuelle Welt übertragen kann: Wie in Science-Fiction-Filmen erscheint es in voller Größe und dreidimensional im Raum. Man kann es aus allen Richtungen betrachten und – wie im Film – sogar um es herumgehen. Bisher war das nicht möglich, denn noch stößt die Virtuelle Realität (VR) an ihre Grenzen. Noch werden Personen durch künstliche dreidimensionale Modelle, sogenannte Avatare, dargestellt, die man sieht, wenn man eine VR-Datenbrille aufsetzt. Allerdings mangelt es diesen künstlichen Figuren an naturgetreuem Aussehen und natürlicher Bewegung. Eine andere Möglichkeit ist es, das Videobild einer Person in frontaler Ansicht in die VR-Datenbrille zu spielen. Um sie herumgehen kann man aber nicht. Dadurch wirkt die ganze Szene künstlich, wenn man sich durch die virtuelle Welt bewegt. Die Person dreht einem stets ihre zweidimensionale Front zu.

20 Stereokameras

Die HHI-Forscher aber machen den dreidimensionalen Eindruck perfekt. Dafür haben sie ein Kamerasystem entwickelt, mit dem sie die Person filmen. Kern dieses Systems ist eine Stereokamera: Wie der Mensch mit seinen zwei Augen nimmt sie die Person mit zwei Objektiven auf. Dieses stereoskopische Sehen führt dazu, dass sich Entfernungen gut abschätzen lassen, weil beide Augen aus einem etwas anderen Winkel auf ein Objekt blicken. Dadurch ergibt sich der dreidimensionale Eindruck. Um eine Person aus allen Richtungen im Detail aufzunehmen, benötigt man mehr als eine Kamera. »Wir setzen derzeit mehr als 20 Stereokameras ein, um einen Menschen abzubilden«, sagt Oliver Schreer, der am Fraunhofer HHI die Arbeitsgruppe »Immersive Media & Communication« leitet. Jede Kamera nimmt nur einen Teil der Person auf. Die Herausforderung besteht also darin, die einzel-

nen Kamerabilder so miteinander zu fusionieren, dass ein realistisches Gesamtbild entsteht.

Zu dem System gehört mehr als nur die Kameratechnik. So haben die Forscher Algorithmen entwickelt, die aus den stereoskopischen Kamerabildern sehr schnell Tiefeninformation extrahieren können. Diese sind nötig, um die 3D-Gestalt einer aufgenommenen Person zu berechnen. Letztlich erzeugt der Computer aus den Kamerabildern ein virtuelles Modell des Menschen, das dann in die Szene übertragen wird. Die generierte 3D-Oberflächenstruktur der Person weist dabei viele Details auf. So können beispielsweise Falten in der Kleidung oder Details im Gesicht wahrgenommen werden. Dadurch wirkt dieses Modell in Aussehen und Bewegung natürlich und realitätsnah.

»Wir haben bei der Entwicklung der Algorithmen darauf geachtet, dass diese sehr effizient und damit schnell arbeiten, damit die Bewegungen der Gesprächspartner sehr schnell in ein dynamisches Modell überführt werden«, sagt Schreer, denn nur dadurch wirken die Bewegungen natürlich. Die Bilder eines einzelnen Kamerapaares können die Algorithmen in Echtzeit verarbeiten.

Das Fusionieren der 3D-Information aus den verschiedenen Kamerabildern dauert einige Sekunden. Dennoch ist die Illusion schon jetzt perfekt. Das System überträgt das dreidimensionale dynamische Modell einer Person zügig in die Virtuelle Realität. Ein Mensch kann sich bei der Aufnahme in dem dafür vorgesehenen Bereich frei bewegen. Das virtuelle Ebenbild stellt jede Geste und Bewegung realistisch dar. »Unser Ziel ist es, dass ein realistisches Abbild eines Menschen zukünftig direkt mit der virtuellen Welt interagieren kann – zum Beispiel, indem es virtuelle Objekte greift«, sagt Schreer.

Das neue Kamerasystem aus dem Fraunhofer HHI soll zukünftig aber auch für andere An-

wendungsgebiete genutzt werden. So arbeiten die Forscher beispielsweise auch an virtuellen Videokonferenzen. Es ließe sich aber auch im Infotainment-Bereich einsetzen. Anstelle eines passiven, frontalen Fernseherlebnisses könnte ein Fernsehzuschauer mittels VR-Brille direkt Teil der Spielfilmszene sein. Er würde nicht nur ein dreidimensionales Bild der Fernsehszene sehen, sondern auch in ihr virtuell umhergehen können und zum Beispiel Teil der Abenteuer seiner Science-Fiction-Helden werden.

Alternative zu Motion Tracking

»Wir können uns auch vorstellen, das Kamerasystem an verschiedenen Orten in kleinen Studios aufzubauen«, sagt Schreer. »Filmproduzenten könnten es nutzen, um die Bewegung von Schauspielern einfacher als bisher in Filmszenen zu übertragen.« Denn das ist bislang ausgesprochen aufwendig. Für gewöhnlich werden die Bewegungen von den Darstellern mit Motion-Tracking-Verfahren eingefangen. Das Gesicht und der Körper werden dafür mit kleinen Punkten markiert. Der Computer verfolgt die Bewegung der Punkte und überträgt diese auf das computergenerierte künstliche Abbild – beispielsweise eines Actionsschauspielers, der von Hochhaus zu Hochhaus springt. Doch mit einzelnen Marker-Punkten können Motion-Tracking-Verfahren Bewegungen und vor allem die feine Mimik nur sehr ungenau oder mit sehr hohem technischen Aufwand erfassen. Für die Computergrafik-Abteilung bedeutet das viel Nacharbeit, bis die Szene realistisch wirkt. »Mit unserem Kamerasystem hingegen möchten wir zukünftig die Person und deren Bewegungen sehr viel feiner auflösen und darstellen«, sagt Schreer.

Derzeit optimieren die Forscher ihr Kamerasystem und die dazugehörige Analysesoftware. Ob sie beides künftig als Dienstleistung zur Verfügung stellen oder an Produktionsfirmen lizenzieren, steht noch nicht fest. ■

Mensch, wie geht es dir?



© iStock

Maschinen übernehmen immer mehr Aufgaben. Idealerweise sollten sie auch in der Lage sein, den Menschen bei Fehlverhalten zu unterstützen. Voraussetzung dafür ist, dass die Maschine versteht, wie es dem Menschen geht, der sie bedient. Ein innovatives Diagnose-Verfahren erkennt den Zustand des Nutzers in Echtzeit und teilt das Ergebnis der Maschine mit.

Text: Tobias Steinhäuser

Die Kamera hat die Augen des Fahrers fest im Blick. Sind sie länger als eine Sekunde geschlossen, wird Alarm ausgelöst. Die Technik verhindert den gefährlichen Sekundenschlaf hinterm Steuer. »Nicht immer ist der Zustand, in dem sich ein Mensch befindet, von einer Maschine so einfach zu erkennen wie hier«, sagt Jessica Schwarz vom Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE in Wachtberg südlich von Bonn.

Ganzheitliches Modell speist Echtzeit-Diagnose

Die Diplom-Psychologin ist in ihrer Doktorarbeit der Frage nachgegangen, wie sich Nutzerzustände sehr genau ermitteln lassen, welchen Einfluss diese auf mögliches Fehlverhalten

haben und wie automatisierte Systeme diese Information nutzen können. »Bei komplexen Anwendungen reicht es nicht aus, sich auf einen Einflussfaktor zu konzentrieren«, sagt die Wissenschaftlerin. Beispielsweise bedeutet eine gestiegene Herzrate nicht automatisch, dass ein Mensch gestresst ist. Das kann vielfältige Ursachen haben. Schwarz untersuchte daher, welche Faktoren konkret Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Menschen nehmen, und konzipierte ein ganzheitliches Modell, das Nutzerzustände und deren Ursachen umfassend abbildet.

In ihrem Modell unterscheidet sie zwischen sechs Dimensionen des Nutzerzustands, die Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Menschen haben: Beanspruchung, Motivation, Situationsbewusstsein, Aufmerksamkeit, Müdigkeit und

den emotionalen Zustand. Mit physiologischen und verhaltensbasierten Messmethoden erfasst sie das Verhalten. Diese Daten kombiniert sie mit äußeren Faktoren wie Aufgabenstellung, Umgebungsbedingungen, Automationsgrad und Tageszeit sowie individuellen Angaben zur Person – zum Beispiel deren Erfahrung. »Auf diese Weise ist es möglich, den Nutzerzustand exakter zu erfassen und auch Ursachen für kritische Zustände zu identifizieren«, erläutert Schwarz.

Experimente mit Fluglotsen- Simulation

Die theoretischen Erkenntnisse überprüfte die Doktorandin in Experimenten, in denen sie Probanden vor folgende Aufgabe stellte: Sie

Für Fluglotsen ist es besonders wichtig, dass Mensch und Maschine gut interagieren. Eine Software des FKIE erkennt, wie leistungsfähig der Mensch ist, und gibt die Information an den Computer weiter. © Fraunhofer FKIE



mussten sich in Fluglotsen hineinversetzen und in einer Computersimulation Flugzeuge sicher durch einen virtuellen Luftraum steuern. Dabei wurden als Stressfaktoren die Anzahl der Flugzeuge erhöht, Anweisungen der »Lotsen« nicht erwidert und Hintergrundlärm eingespielt. Individuelle Faktoren wie Erfahrungsgrad, Fähigkeiten und Befinden hatte Schwarz zuvor erfasst. EEG-Sensoren auf dem Kopf, ein Eyetracker und ein EKG-Brustgurt zeichneten die Körperdaten der Probanden auf.

»Zuvor hatten wir intensive Gespräche mit echten Fluglotsen geführt, um deren Herausforderungen mit Mensch-Maschine-Schnittstellen so genau wie möglich nachstellen zu können«, erzählt Schwarz.

Es entstand eine Diagnoseschnittstelle, die in Echtzeit erkennt, wann einzelne Einflussfaktoren kritische Werte erreichen, und das der Maschine mitteilt. »Automatisierte Systeme erhalten so sehr genaue Informationen über die aktuelle Leistungsfähigkeit des Nutzers und können darauf reagieren«, beschreibt Schwarz den Mehrwert ihrer Software.

Nah an der Anwendung

In Kürze will das FKIE das Forschungsprojekt abschließen. »Die Technologie ist bereits sehr nah an der Anwendung. Das Know-how ist da, um für individuelle Einzelfälle konkrete Produkte zu entwickeln«, sagt Schwarz. Mögliche Einsatzgebiete finden sich bei allen hochautomatisierten Aufgaben, in denen kritische

Nutzerzustände ein Sicherheitsrisiko darstellen, beispielsweise monotone Überwachungsaufgaben in Leitwarten oder Trainingssysteme für Piloten, die mit der Technologie optimiert werden können.

»Maschinen spielen eine immer wichtigere Rolle, werden aber auch zunehmend komplexer. Das birgt neue Anforderungen an die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine. Adaptive Systeme – die unterschiedliche Situationen erkennen und sich daran anpassen – können bekannte Probleme in der Automation lösen. Grundlegende Voraussetzung dafür ist es, dass nicht nur der Anwender die Maschine kennt, sondern auch die Maschine weiß, wie es dem Nutzer geht«, resümiert die Forscherin. ■

Forschung im Bild

Zum elften Mal vergaben die Zeitschrift »bild der wissenschaft« und das Düsseldorfer Pressebüro Brendel den »deutschen preis für wissenschaftsfotografie«. Der Wettbewerb richtet sich an Fotografen, die aktuelle Forschung und Technologie ansprechend und ungewöhnlich in Szene setzen.



© Welwitschia Hospital,
Walvis Bay, Namibia/
Siemens Healthcare/
Volker Steger

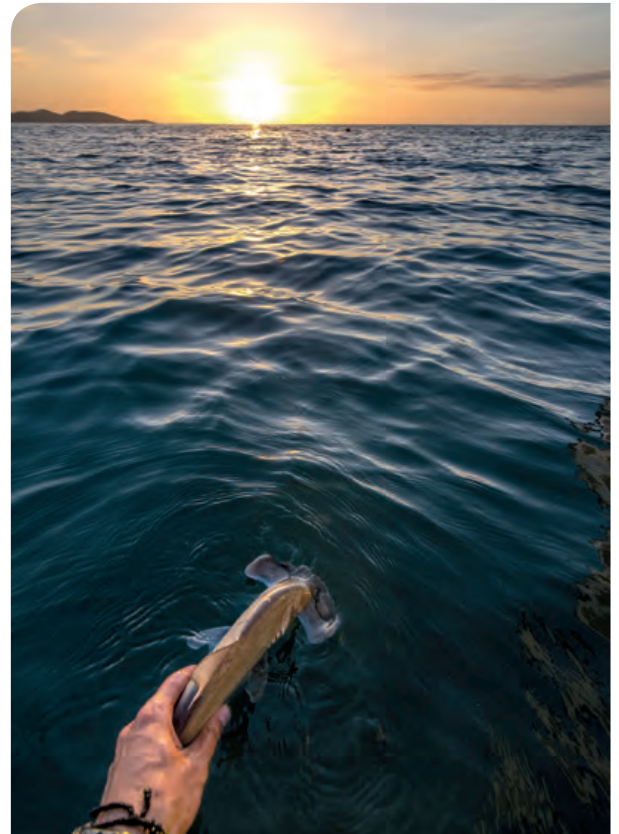
»Reales Licht für bessere Diagnostik«

Fotograf: Volker Steger
Preis Einzelfoto

Hier trifft eine Technik aus der Welt des Films und der Videospiele auf medizinische Bilddaten. Der halbierte Schädel mit Blick über den See ist die gekonnte Visualisierung modernster Diagnostik in der Medizin. Ein medizinischer Datensatz aus dem Computertomografen und 40 Einzelfotos vom Babine Lake in British Columbia, Kanada, waren für dieses Bild nötig. Fotograf Volker Steger hat für ein Siemens-Forschungsprojekt sogenannte »Lightmaps« aufgenommen. Sie bestehen aus mehreren Fotos eines Ortes, die unterschiedliche Lichtverhältnisse einfangen und zu einem Panoramabild zusammengefügt werden. Der Lichteindruck aus

der Montage wird digital extrahiert und in die Beleuchtungssoftware für CT-Bilder eingebaut. Damit lassen sich medizinische Daten so differenziert ausleuchten, dass selbst feinste Strukturen sichtbar werden. Die Computertomografie ist hier in die Lightmap vom Babine Lake integriert. Der Schädel wird so beleuchtet, als wäre er real im Licht des kanadischen Sees. In der praktischen Anwendung wird der Radiologe in der Regel das Hintergrundbild allerdings ausblenden.

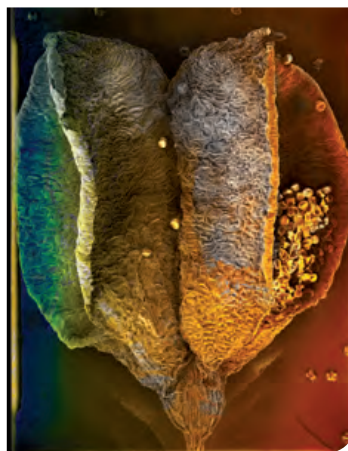
Der medizinische Datensatz wurde vom Welwitschia Hospital in Walvis Bay, Namibia, zur Verfügung gestellt.



»Kinderstube der Haie«

Fotograf: Tom Vierus
Preis Reportage

Bilder oben: In seiner Masterarbeit beobachtete Tom Vierus eine Kinderstube von Haien vor den Fidchi-Inseln. Sieben Monate lebte er dort, markierte junge Haie, vermaß sie und versah sie mit Sendern. Die beeindruckende Dokumentation seiner Arbeit reichte er als Fotoserie ein – und gewann damit den Preis in der Kategorie Reportage. Das Bild oben rechts zeigt, wie ein junger, mit einem Sender markierter Hammerhai freigelassen wird.



»Pollenkunst«

Fotografin: Anita Reinsch
Preis Mikro-/Makrofotografie

Bild links: Wie von alten Meistern gemalt: eine Bildergalerie in der Anmutung klassischer Stillleben. Entstanden sind diese Bilder alle unter dem Rasterelektronenmikroskop. Anita Reinsch ist es gelungen, der Mikroskopie eine überraschende Optik zu verleihen. Sie hat damit auf höchst ungewöhnliche Weise hochmoderne Technik mit alter Kunst verbunden. Die Bilder wurden am Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin aufgenommen.

Bauteil mit Verantwortung

Die industrielle Fertigung folgt meist starr programmierten Prozessen, in denen einzelne Arbeitsschritte und Maschinen fest eingeplant sind. Mit Hilfe einer neuen Software teilt jedes Bauteil selbst den Maschinen mit, was zu tun ist.

Text: Tim Schröder

In der Fertigung wird heute ein Bauteil, zum Beispiel ein Motorblock, in verketteten Prozessen von mehreren Maschinen bearbeitet. Die Systeme drehen und fräsen das Bauteil und vermessen es zwischendurch immer wieder automatisch. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte und die dafür benötigten Maschinen und Geräte sind in einer Art Fahrplan genau festgelegt. Doch ein solcher Plan arbeitet die einzelnen Schritte starr nacheinander ab. Fallen Maschinen aus oder müssen Bauteile aufgrund von Kundenwünschen priorisiert werden, muss der Unternehmer die Produktion mit hohem Aufwand umplanen oder den Maschinenpark umrüsten. Das kostet Zeit und Geld.

Jedes Bauteil ein Individuum

Am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen konzipieren die Forscherinnen und Forscher der Arbeitsgruppe »Digitalisierung und Vernetzung« so etwas wie das Gehirn für die flexible Fertigung der Zukunft – ein umfassendes Softwaresystem, mit dessen Hilfe Produkte ihren Weg durch die Fabrik finden sollen. »Serviceorientierte Software für die adaptive und vernetzte Produktion« nennen sie ihre Entwicklung. Michael Kulik, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Projekt beteiligt ist, erklärt die Idee: »Die Software behandelt jedes Bauteil wie ein Individuum. So wird zu jedem Bauteil die Information gespeichert, die vorgibt, was mit ihm in der Produktion geschehen soll.«

Wie der Käufer an der Supermarktkasse nach der kürzesten Schlange sucht, findet das Produkt

Das »Smart Manufacturing Network« schafft Flexibilität in der Fertigung.
© Heidi Peters

auf fahrerlosen Transportschritten von selbst den Weg zur nächsten freien Montageinsel oder Bearbeitungsstation. Es umfährt sogar Stationen, die es nicht braucht – in der Automobilproduktion zum Beispiel die Montage der Sitzheizungen, wenn der Kunde diese nicht bestellt hat.

Entscheidend ist, dass darüber hinaus bei jedem Produktionsschritt gespeichert wird, welche

Aufgabe mit welchen Parametern durchgeführt wurde. »Loch ist gebohrt mit Maschinenparameter A und Werkzeug X« oder »Kante ist geschliffen mit Maschinenparameter B und Werkzeug Y«. So entsteht zu jedem Werkstück eine eigene Fertigungshistorie. Damit das Teil eindeutig erkannt werden kann, trägt es eine individuelle Kennzeichnung. Alle seine Prozessdaten sollen dafür in Form eines digitalen Zwillings, des





das nicht passieren. Da im Digital Twin gespeichert ist, welche Schritte noch folgen, kann das Bauteil flexibel zu einer anderen Maschine umgeleitet werden, die den nächsten Arbeitsschritt anbietet.

Da die Software für jedes Produkt im Digital Twin alle Fertigungsschritte und Maschinenparameter dokumentiert, kann man später für ein schadhaftes Stück genau bestimmen, wann und wo in der Fertigung ein Fehler aufgetreten ist. »Damit muss man bei fehlerhaften Produkten künftig keine ganze Charge mehr zurückrufen«, verdeutlicht Kulik.

Module für verschiedene Branchen

»Eine Stärke des Smart Manufacturing Networks und der serviceorientierten Software ist auch, dass beides sich einfach an ganz verschiedene Branchen und Produktionssysteme anpassen lässt«, sagt Dr. Thomas Bobek, Koordinator des Aachener Fraunhofer-Leistungszentrums »Vernetzte, adaptive Produktion«. Ziel ist es, dass Anwender aus unterschiedlichen Bereichen der Produktion einzelne Arbeitsschritte per Drag-and-Drop wie Bausteine zur gewünschten Prozesskette zusammenbauen können und damit einen bisher ungekannten Grad an Flexibilität ihrer Produktion erreichen.

Eine wichtige Voraussetzung für die flexible Produktion ist dabei, dass Maschinen verschiedener Hersteller leicht in das intelligente Netzwerk eingebunden werden können. Am IPT entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dafür ein Integration-Framework – eine Software, die die Betriebsdaten ganz verschiedener Maschinen lesen und so einzelne Dienste der unterschiedlichen Systeme im Sinne eines »Plug and Produce« in einem einheitlichen Informationsmodell miteinander verknüpfen kann.

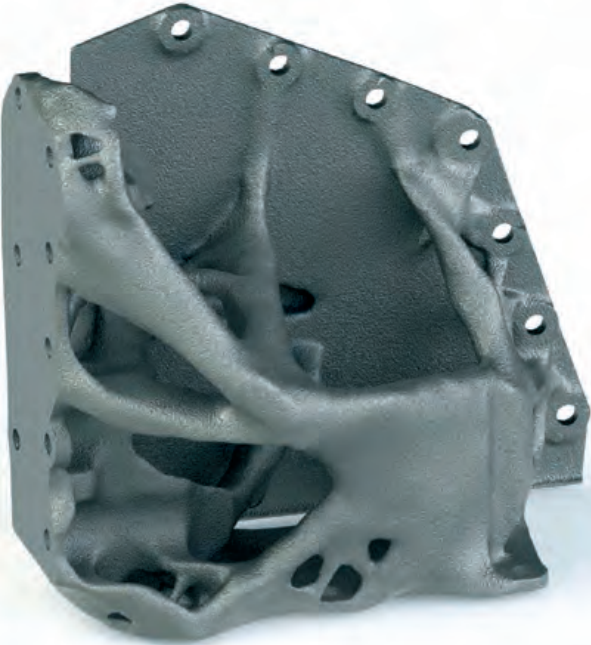
In diesem Jahr startet das Kooperationsprojekt »freeMoVe«, bei dem das IPT-Team mit Industriepartnern eine flexiblere Montage realisieren möchte. Mit dabei sind Hersteller aus dem Maschinenbau und der Elektroindustrie, die Produkte auf Kundenwunsch fertigen – unter anderem ein Hersteller, der individuell konfigurierte Steckerleisten für Schaltschränke produziert. Auch bei ihm kann die serviceorientierte Software zu einer schnelleren und agileren Montage führen. ■

Fraunhofer-Leistungszentrum »Vernetzte, adaptive Produktion«

Das Fraunhofer-Leistungszentrum »Vernetzte, adaptive Produktion« ist eine Initiative des Landes Nordrhein-Westfalen und der Fraunhofer-Gesellschaft, die Ende 2016 in Aachen gestartet wurde. Die drei Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT, für Lasertechnik ILT und für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME entwickeln hier gemeinsam mit der RWTH Aachen und namhaften Industriepartnern Produktionssysteme und Wertschöpfungsketten im Sinne der Industrie 4.0 und validieren diese anhand praxisnaher Pilotlinien. Der Leitgedanke besteht im »Smart Manufacturing Network«, auf dessen Basis alle beteiligten Maschinen, Produktionssysteme, Datenbanken und Simulationssysteme miteinander kommunizieren. Durch die Arbeiten im Leistungszentrum soll es gelingen, die Herstellung technischer und sogar biologischer Produkte deutlich flexibler und effizienter zu gestalten. Interessierte Unternehmen mit konkreten Fragestellungen können sich dem Aachener Leistungszentrum jederzeit noch anschließen.

Digital Twin, bauteilspezifisch in einem »Smart Manufacturing Network« bereitgestellt werden. Diese Strategie ist zum Beispiel für Unternehmen wichtig, in deren Maschinenpark Chargen unterschiedlicher Bauteile gefertigt werden. Von Vorteil ist die serviceorientierte Software auch, wenn eine Maschine ausfällt. Das klassische Fließband kommt im ungünstigsten Fall komplett zum Stehen. Mit der IPT-Lösung soll

Ein komplexes Getriebeteil eines Helikopters, das »MG Bracket rear«, wurde als Demonstrator gefertigt. © Fraunhofer IFAM



Ultraleicht und extrem stabil

Elektronenstrahlschmelzen ist als additive Fertigungsmethode noch nicht sehr verbreitet. Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher wollen das ändern und zeigen, wie die Luftfahrtindustrie von dem Verfahren profitieren kann.

Text: Chris Löwer

Wenn es schlecht läuft, werden fast 95 Prozent eines Metallblocks, aus dem komplexe Flugzeugteile gefräst werden, zum Entsorgungsfall. Noch gibt es kaum Alternativen zu dieser Materialverschwendung. Doch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fraunhofer-Institute für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden und für Lasertechnik ILT in Aachen arbeiten im Projekt GenFLY daran, Metalllegierungen und Prozesse zu optimieren, um derart anspruchsvolle Teile additiv und sparsam fertigen zu können.

Wichtig ist dabei unter anderem, die Materialien so zu verarbeiten, dass sich kaum Poren bilden, was auf Kosten der Festigkeit ginge. Es ist bereits gelungen, ein Demonstratorbauteil für einen Helikopter aus Titanpulver zu fertigen: Das sicherheitsrelevante, hochbelastete und geometrisch äußerst komplexe Getriebeteil, das »MG Bracket rear«, wurde mit selektivem Elektronenstrahlschmelzen (EBM) hergestellt. Durch das generative Fertigungsverfahren können sehr gut Metalle verarbeitet werden, die man nur bei hohen Temperaturen schmelzen kann, um so aus ihrem Pulver Schicht für Schicht Teile aufzubauen. Das Verfahren schont nicht nur Ressourcen, es bietet weitere Vorteile: »Uns gelang es durch eine verbesserte Geometrie, das Gewicht um 40 Prozent zu verringern«, erklärt Dr. Alexander

Kirchner, Projektverantwortlicher am IFAM. Im Vergleich zum üblichen Verfahren des Selektiven Laserstrahlschmelzens (SLM) zeichne sich Elektronenstrahlschmelzen durch seine hohe Energiedichte und Geschwindigkeit aus, woraus sich höhere Bauraten ergeben. Kirchner ergänzt: »Weiterhin wird bei hohen Temperaturen produziert, sodass die Bauteile nahezu frei von Spannungen sind.« Überdies läuft der Prozess im Vakuum ab, was für hochreaktive Materialien wie Titan Vorteile bietet.

Qualitätsanforderungen übertraffen

Im Projekt GenFLY, an dem die Industriepartner Airbus und Liebherr beteiligt sind, wurden die Prozesse optimiert und die Werkstoffeigenschaften des Titan-Aluminium-Pulvers »Ti-6Al-4V« charakterisiert. »Unser Bauteil übertraf in Bezug auf statische und dynamische Festigkeiten die Anforderungen der Luftfahrtindustrie«, berichtet Kirchner. Gleichwohl gilt es noch Hürden zu nehmen, um das Verfahren industrietauglich zu machen: Die Fertigungsdauer ist mit 30 Stunden bei dem Demonstratorbauteil noch recht lang und Elektronenstrahlschmelzen für die meisten Serienbauteile noch zu teuer. »Langfristig wird sich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens jedoch erhöhen«, ist sich Kirchner sicher. »Viele wich-

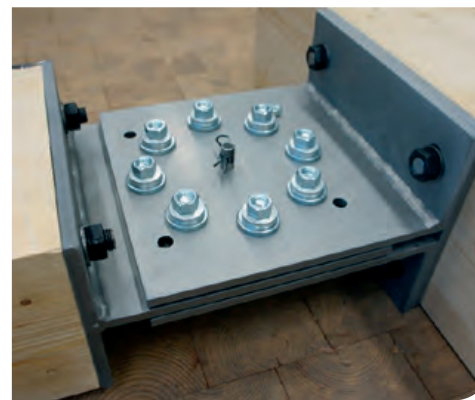
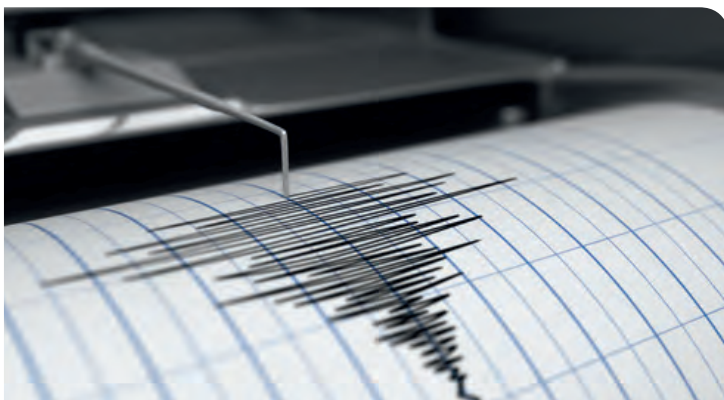
tige kostentreibende Faktoren wie Pulverpreis, Produktivität der Anlagen und Automatisierung sind derzeit in Bewegung.« Nicht zu vergessen ist die ausgezeichnete Ressourceneffizienz. Zwar können derzeit noch recht wenige Materialien für EBM verwendet werden, doch die Forscher arbeiten daran, diese Palette zu erweitern, unter anderem um Nickelwerkstoffe und Stähle.

Experten sind sich sicher, dass das derzeit noch wenig verbreitete EBM-Verfahren seinen Platz in der additiven Fertigung finden wird, da seine Stärken in hohen Bauraten liegen und schwer verarbeitbare Werkstoffe verwendet werden können. Das Dresdner Fraunhofer-Institut möchte aufgrund seiner langen Erfahrung in der Pulvertechnologie zu einem Treiber des Verfahrens in der industriellen Produktion werden. Dazu wird in den kommenden Jahren am Standort Dresden ein Anwenderzentrum Elektronenstrahlschmelzen aufgebaut. Schon jetzt können sich Kirchner und sein Team hoher Aufmerksamkeit sicher sein: »Die Luftfahrtindustrie ist trotz ihrer scharfen Qualitätsanforderungen an geometrisch hoch optimierten, festen und damit leichten Bauteilen sehr interessiert.« Aber auch Automobilhersteller, Maschinenbauer, Sportgerätehersteller und Medizintechnikanbieter können künftig bei der Herstellung komplexer Teile von dem Verfahren profitieren. ■

Erdbebensichere Gebäude

Indonesien, Neuseeland, Italien – das sind nur drei Länder, in denen in den vergangenen Monaten die Erde bebte. Eigentlich bebte die Erde ständig irgendwo. Mehr als zwei Milliarden Menschen leben in gefährdeten Gebieten. Viele von ihnen bewohnen Gebäude, die alles andere als erdbebensicher sind – und bezahlen dafür nicht selten mit ihrem Leben. Dabei gäbe es Materialien und Bauweisen, die Tausende Leben schützen könnten.

Text: Gabriele Winter



links: Wenn die Erde bebte, lassen sich die Bodenerschütterungen mit einem Seismograf aufzeichnen. © Shutterstock

rechts: Sensor kontrollierte Verbindungen aus Stahl können ein Haus bei einem Erdbeben zusammenhalten. © Fraunhofer WKI, Norbert Rüter

Das Zentrum für leichte und umweltgerechte Bauten des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, widmet sich zusammen mit dem Fachgebiet Organische Baustoffe und Holzwerkstoffe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig unter anderem dieser Aufgabe. Zusammen mit Partnern aus der Wirtschaft, wie der Firma Pitzl Metallbau aus Altheim, entwickeln die Forscherinnen und Forscher Lösungen für die Baubranche. Aktuell arbeiten die Ingenieure des WKI an ultrahochleistungsfähigen Momentenverbindungen, die auch hohe Bauten erdbebensicher machen. Diese sensor kontrollierten Verbindungen aus Stahl bringen eine hohe Steifigkeit mit und sind gleichzeitig elastisch genug, um ein Haus bei einem Erdbeben zusammenzuhalten.

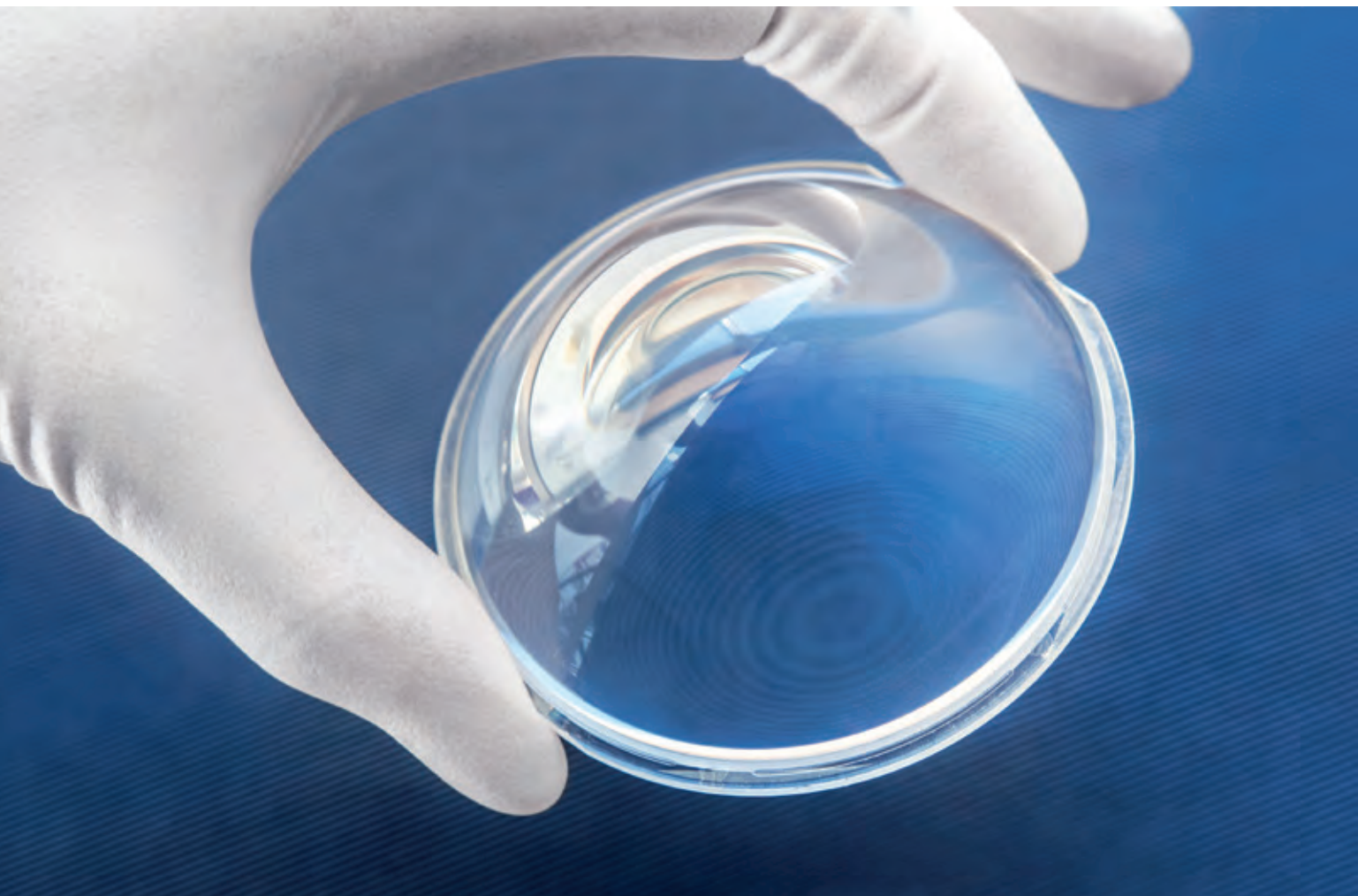
Bei Beanspruchungen durch Wind und schwache Beben müssen die Verbindungen steif genug sein, um Verformungen gering zu halten. Bei starken Erdbeben sind weiche Verbindungen notwendig. Werden Verformungen ermöglicht, können sich keine kritischen Spann-

gen aufbauen – das Gebäude schwingt zwar, kollabiert aber nicht. Die am WKI entwickelten Momentenverbinder sind so konzipiert, dass die Eigenschaften den tatsächlichen Erfordernissen entsprechend eingestellt werden können, etwa durch die Art, wie die Schrauben angebracht und angespannt werden. Zusätzlich kann man die Geometrie des Verbinders auf das Gesamtbauwerk und die verwendeten Materialien abstimmen. Die Montage der wartungsfreien Konstruktionen ist relativ einfach.

Die Verbinder ermöglichen, dass die Materialien bei einem Erdbeben übereinandergleiten: Die Bewegungsenergie wandelt sich in Reibungsenergie um. Dadurch stürzen Gebäude nicht ein. Außerdem ist eine Schädigung im Materialgefüge ausgeschlossen, weil diese Verbindungen plastische Verformungen in den Materialien und Bauteilen vermeiden. Die Konstruktion hat also selbst nach starken Erdbeben wieder die gleichen Eigenschaften wie zuvor. Sie kann alle Kräfte aufnehmen, die im mehrgeschossigen Hochbau auftreten. So überstehen die Häuser auch mehrere Erschütterungen, ohne größere

Schäden zu erleiden. Sie reiten gewissermaßen auf Erdbebenwellen.

Norbert Rüter, Projektleiter vom WKI, betont: »Die hochleistungsfähigen Momentenverbindungen sind mit beliebigen Baustoffen wie Beton, Stahl, Ziegel und Holz kompatibel.« Er plädiert dafür, künftig auch höhere Gebäude aus Holz zu bauen. »Das Material hat eine sehr hohe Festigkeit, ist leicht und dennoch sehr stabil, ideal bei Erdbeben. Seine mechanischen Eigenschaften sind durchaus vergleichbar mit hochfesten Kompositen – bei wesentlich geringeren Materialkosten.« Die meisten Länder stehen der Holzbauweise bisher eher skeptisch gegenüber und argumentieren mit Brandschutzaspekten. Doch dafür gibt es bereits gute Lösungen. So haben massive Holzelemente mit großen Querschnitten eine hohe Feuerwiderstandsdauer und können selbst über Stunden Brandbeanspruchung noch tragfähig sein. Das Braunschweiger Zentrum für leichte und umweltgerechte Bauten entwickelt mit Herstellern der Baubranche eine Fülle weiterer Ideen für innovative Materialien und Bauteile. ■



Neue Entspiegelung verringert Falschlichter und Reflexionen

Den Effekt der nanostrukturierten Entspiegelungsschicht demonstriert diese optische Linse aus transparentem Kunststoff. Die beschichtete rechte Hälfte zeigt den Effekt des Antireflexionssystems. Die nicht beschichtete linke Hälfte reflektiert das Licht. © Fraunhofer IOF

Optische Linsen aus transparentem Kunststoff lassen sich günstig und in beliebigen Formen herstellen. Doch sie reflektieren Licht genauso stark wie Glas. Nun haben Forscherinnen und Forscher eine Entspiegelung entwickelt, die Falschlichter und Reflexionen von Kunststofflinsen deutlich reduziert. Das macht nicht nur Kameras und Autoscheinwerfer leistungsfähiger, auch optische Technologien für Virtual Reality und Industrie 4.0 profitieren davon.

Text: Tobias Steinhäuber

Optische Linsen haben die Aufgabe, Licht zu bündeln. Kameras erzeugen dadurch scharfe Bilder, LED-Autoscheinwerfer strahlen hell und lassen sich flexibel steuern. Um den Weg der Lichtstrahlen optimal zu leiten, sind komplexe Linsensysteme notwendig. Sie bestehen aus mehreren Linsen in unterschiedlichen Formen. Bevorzugtes Material der Linsen ist mittlerweile transparenter Kunststoff. Mit kostengünstigen Spritzgussverfahren können beliebige Formen hergestellt werden. Ein Problem bleibt: die Lichtreflexion an der Oberfläche der Linsen. Die Brechzahl – ein Maß dafür, wie stark Licht reflektiert wird – liegt für Kunststoff bei etwa 1,5. Zum Vergleich: Luft hat die Brechzahl 1, sodass eine Kunststofflinse rund acht Prozent des einfallenden Lichts reflektiert. »Gekrümmte Oberflächen verstärken diesen Effekt, wenn das Licht in schrägem Einfallswinkel auftrifft«, erklärt Dr. Ulrike Schulz aus der Abteilung »Optische Schichten« des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena.

Brechzahl deutlich reduziert

Jetzt stellten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Thüringen eine neuartige Entspiegelungsschicht für gekrümmte Kunststofflinsen vor. Sie reduziert die Brechzahl an den Oberflächen der Kunststoffoptiken auf fast 1,1 und bietet damit einen nahezu perfekten Übergang zur Luft. Das Jenaer Fraunhofer-Institut hat in enger Kooperation mit Industriepartnern bereits Prototypen der Schicht auf verschiedenen Linsensystemen getestet. Das Ergebnis: Die Technologie reduziert sogenanntes Falschlicht deutlich. Falschlichter sind Reflexionen, die zum Beispiel in Linsensystemen von Kameras herumgeistern und das Bündeln der Lichtstrahlen stören.

Außerdem konnten die Forscher in ihren Versuchen nachweisen: Linsen, die mit der IOF-

Entspiegelung beschichtet sind, lassen deutlich mehr Licht durch als herkömmliche Linsen. Von der neuen Technologie profitieren auch Wachstumsfelder wie Virtual Reality oder gesteuerte Maschinen für die Industrie 4.0. »Die Bedeutung von optischen Systemen zur Erfassung von Informationen nimmt weiter zu. Dafür werden immer leistungsstärkere Linsensysteme benötigt«, prognostiziert Dr. Schulz.

Neues mehrlagiges Nanomaterial

Das Antireflexionssystem der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kombiniert mehrere neue nanostrukturierte Schichten mit bisher üblichen homogenen Oxidschichten – in Lagen übereinandergestapelt. Mit jeder Schicht verdünnen die Forscher den Kunststoff stärker mit Luft, so lange, bis die Brechzahl der Oberfläche fast der der Luft entspricht. Das gelingt ihnen, indem sie neue Nanomaterialien verwenden, die sie auf komplex geformte Linsen aufbringen können. Das Stapeln mehrerer Lagen ermöglicht es, die Entspiegelungsschicht im Vergleich zu bisherigen Lösungen doppelt so dick zu gestalten.

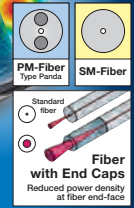
Herkömmliche Entspiegelungsschichten lassen sich nur ungleichmäßig auf gekrümmten Linsen verteilen: Am Rand wird die Schicht dünner als in der gewölbten Mitte. »Physikalisch dünn heißt auch optisch dünn: Die dünne Schicht entspiegelt nur kurzwelliges Licht. Mehrere Lagen von nanostrukturierten Schichten decken einen breiteren Wellenlängenbereich ab. Gleichzeitig sinkt auch die Reflexion bei schräger Beleuchtung«, erklärt Dr. Schulz. Besonders Kunststoffoptiken sind gut für diesen Prozess geeignet. Die unterste Schicht der Entspiegelung lässt sich direkt durch Plasmaätzen in den Kunststoff einarbeiten. »Wir können so unterschiedlichste Kunststoffarten entspiegeln«, ergänzt die Forscherin. ■

Fiber Optic Components and Fiber Coupled Laser Sources

polarization maintaining for wavelengths 360 – 1800 nm

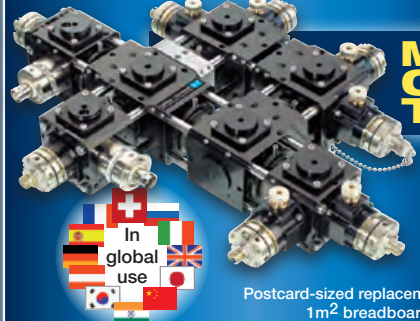
Laser Beam Coupler 60SMS

Option: Amagnetic (Titanium) fiber connectors and fiber optic components



Fiber Port Clusters for

Magneto optical traps



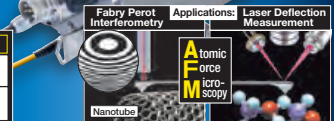
Postcard-sized replacement of a 1m² breadboard setup.

LOW NOISE
LOW COHERENCE and REDUCED SPECKLE

Fiber Coupled Laser Sources

51nanoFL-... / 51nanoFCM-...
with singlemode and polarization-maintaining fiber cables

51nanoFL-...
Power Control
Faraday Isolator



Polarization Analyzer Series SK010PA-...

Multiple Wavelength Ranges 375 – 1600 nm
Interface 2.0

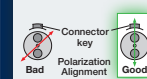


Adjustment of Quarter-wave plates

Adjustment of left-handed and right-handed circular polarization.



Measurement of Polarization Extinction Ratio



Schäfer+Kirchhoff

info@SukHamburg.de

www.SukHamburg.com

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

Doppelte Ernte

Flächen mehrfach nutzen: Nahrungsmittel- und Energieproduktion auf demselben Feld.

Text: Andrea Bischoff



Agrophotovoltaik-Pilotanlage auf dem Gelände der Demeter-Hofgemeinschaft in Heggelbach.
© Fraunhofer ISE

Auf gefrorenen Erdschollen glitzert der Schnee. Thomas Schmid blickt zufrieden über seinen neuen Acker unter den bläulich schimmernden Solarmodulen. Im Herbst hat er den Winterweizen ausgesät, doch schon jetzt kann er Strom von seinem Feld ernten. 365 Tage im Jahr. Am 18. September 2016 wurde auf seinem Hof in Heggelbach am Bodensee Deutschlands größte Agrophotovoltaik-Forschungsanlage eröffnet. »Unter der Anlage bauen wir Gemüse und Getreide an«, berichtet der Landwirt, »und mit den Solarpaneelen gewinnen wir Strom.«

Die Idee für Agrophotovoltaik, kurz APV, stammt von Professor Adolf Goetzberger, dem Gründer des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg. Bereits 1981 veröffentlichte er – noch mit der Schreibmaschine getippt – einen Aufsatz, dass die Zukunft der Photovoltaik in einer revolutionären Nutzung landwirtschaftlicher Flächen liege. Damals als Utopist belächelt, wird Goetzberger heute als Visionär der Ener-

gievende gefeiert. Bis 2022 muss Deutschland den Ausstieg aus der Atomenergie bewältigen – doch der Platz für die Gewinnung erneuerbarer Energien wird immer knapper: Eine Fläche von hundert Fußballplätzen wird täglich in Deutschland zugebaut für Wohnungen, Gewerbeflächen und Straßen. Bereits heute beanspruchen Biogas und Agrosprit etwa 20 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche und der rasante Zubau von Photovoltaik-Kraftwerken verbraucht weiteren Boden. Landwirte kommen zunehmend in Bedrängnis: Sollen sie ihr Land für die Produktion von Nahrungsmitteln oder von Energie nutzen?

Um diesen Flächennutzungskonflikt zu entschärfen, haben Forscherinnen und Forscher Goetzbergers Idee wieder aufgegriffen. Der 88-jährige Institutsgründer sieht mit Stolz, wie sein Konzept jetzt in einem geförderten Pilotprojekt umgesetzt wird. »Wer Kartoffeln anbaut, braucht ein Stück Land. Und wer Solarstrom erzeugt, braucht ein Stück Land«, erklärt der 34-jährige

Ökonom Stephan Schindele, der das Projekt leitet. »Mit Hybridanlagen wie dieser lässt sich beides kombinieren, sodass unterm Strich der Nutzen einer Fläche, also die Landnutzungseffizienz, um 70 Prozent steigt.«

 www.agrophotovoltaik.de

So zeigt es das patentierte Simulationsmodell. Die große Kunst bei APV ist das Lichtmanagement. Niedrig aufgestellt werfen die Solarmodule zu starke Schatten. »Aber wenn wir damit höher als vier Meter gehen, schaffen wir das«, weiß Schindele. »Dann wird der Schatten diffuser. Richten wir außerdem die Module statt nach Süden nach Südwesten oder Südosten aus, wandert der Schatten im Laufe des Tages genau so übers Feld, dass alle Pflanzen gleich viel Licht abbekommen und gleichzeitig erntereif werden.« Damit die Bauern beim Pflügen, Säen, Düngen und Ernten mit ihren Maschinen unter der APV-Anlage durchfahren können, hängen

die zusammenmontierten Paneele in fünf Meter Höhe über dem Feld.

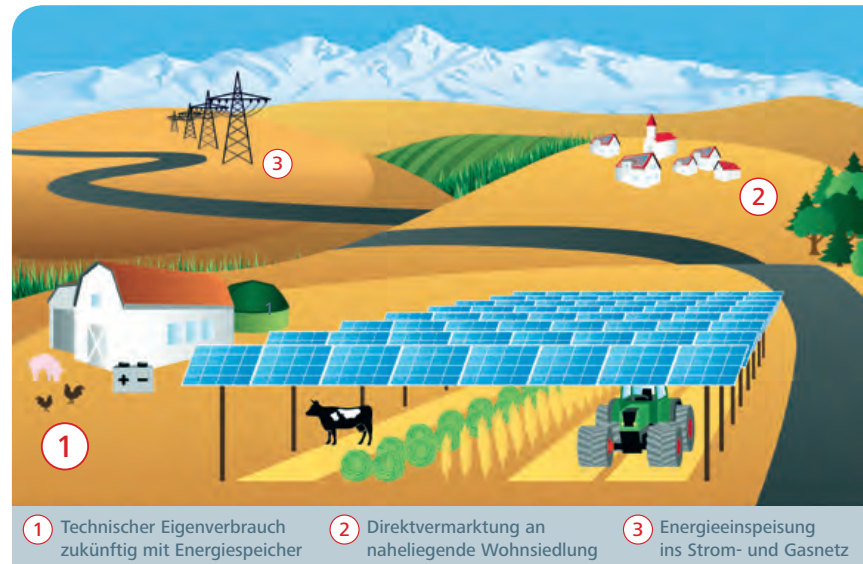
»Ganz wichtig ist für uns auch, dass sich die Menschen beim Anblick dieser Anlagen wohlfühlen«, sagt Stephan Schindele. »Darum führen wir durch das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse ITAS Bürgerwerkstätten durch.« Das Ergebnis: Während sich viele Bürger am Anblick mehrerer Windkraftträder stören und dies als »Verspargelung der Landschaft« empfinden, werden APV-Anlagen gut akzeptiert. Sie sind deutlich niedriger als der Wald und fügen sich – insbesondere an Waldrändern – so harmonisch in die Landschaft ein, dass das APV-Projekt 2016 sogar unter dem Motto »NachbarSchaftInnovation« mit dem Preis »Land der Ideen« ausgezeichnet wurde.

Im Praxistest

Im Vorfeld zeigte sich, dass Pflanzen unterschiedlich auf die Beschattung reagieren: Mais verübelt es, wenn ihm Sonne genommen wird. Salat und alle Nachtschattengewächse wie Kartoffeln, Tomaten oder Hopfen dagegen profitieren vom geringeren Hitzestress. Auch Beeren, Sellerie und Zwiebeln scheinen unterm Solar-dach prächtig zu gedeihen. Für die Forschung haben Thomas Schmid und seine Kollegen von der Hofgemeinschaft Heggelbach 2,5 Hektar Land zur Verfügung gestellt. 20 bis 25 Jahre soll die Pilotanlage auf dem Heggelbach-Hof stehen. »Wir haben uns gedacht, wenn wir da mitmachen, gehen wir keine faulen Kompromisse ein«, sagt Schmid. »Wir sind ein Demeter-Betrieb. Das heißt, wir machen weiterhin unsere siebengliedrige Fruchtfolge. Und wenn der Klee an der Reihe ist, müssen auf dem Feld auch mal Kühe weiden können.«

Die biodynamische Anbauweise macht die Hofgemeinschaft Heggelbach für das ISE zum idealen Kooperationspartner, weil weder Kunstdünger noch Pestizide die Forschungen beeinflussen. Die Universität Hohenheim begleitet das Projekt agrarwissenschaftlich, um herauszufinden, wie sich die 140 auf 30 Meter große Photovoltaikanlage auf die Inhaltsstoffe der Pflanzen und den Boden auswirkt. Neben Proteinen, Mineralstoffen und der Zusammensetzung von Aminosäuren werden auch Bodenorganismen sowie die Besiedelung mit Schädlingen und Pilzsporen unter die Lupe genommen und ausgezählt.

Konzept einer Agrophotovoltaik-Anlage. © Fraunhofer ISE



- 1 Technischer Eigenverbrauch zukünftig mit Energiespeicher 2 Direktvermarktung an nahegelegene Wohnsiedlung 3 Energieeinspeisung ins Strom- und Gasnetz

Um wetterbedingte Einflüsse von denen der Anlage unterscheiden zu können, wird nebenan ein gleich großes Referenzfeld identisch bewirtschaftet. Das Heggelbach-Team baut vier Kulturen gleichzeitig an: Weizen, Kartoffeln, Sellerie und Klee gras sollen zeigen, mit welchen Pflanzen sich der Doppelnutzen besonders effizient ausschöpfen lässt. Für den optimalen Energieertrag sorgen die bifacialen Photovoltaik-Module, die auch über die Rückseite Licht aufnehmen. Das zahlt sich besonders im Winter durch den reflektierenden Schnee aus.

Doch ganz ohne Nachteile ist die Solaranlage nicht zu bauen. Das stellte Thomas Schmid beim Ausbringen des Winterweizens fest: »Wenn alle 19 Meter ein Stützpfiler rumsteht, kannst du nicht einfach geradeaus fahren und dann wenden«, berichtet der Bauer. Knifflig wird es im Herbst bei der Kartoffelernte. »Dann fahren wir im Kreis herum und da sind die Pfosten natürlich im Weg.«

Er ist dennoch überzeugt, dass sich der Mehraufwand lohnt: Energieautarkie steht in der Hofgemeinschaft ganz oben auf der Agenda. Schon vor Jahren installierten die Bauern Photovoltaik-Anlagen auf ihren Dächern, außerdem zerkleinern sie Holz in einer Hackschnitzelanlage und produzieren im hofeigenen Blockheizkraftwerk ihre Wärme. Dadurch ist die Hofgemeinschaft von Energieversorgern nicht nur unabhängig, sondern verkauft überschüssigen Strom. Mit der APV-Anlage kann sie zusätzlich rund 62 Vierpersonenhaushalte mit Strom versorgen. »Unser

nächstes Ziel ist es, in absehbarer Zukunft auch unsere Fahrzeuge mit selbst erzeugtem Strom zu betanken«, berichtet Schmid.

Berufsbild Land- und Energiewirt

Besonders reizvoll finden die APV-Pioniere, dass sie Energiewirte werden und trotzdem ihrem angestammten Beruf treu bleiben. Sie bauen nicht Energiepflanzen, sondern weiterhin Nahrungsmittel an. Auch lassen sich im Schatten der Solarmodule Nutztiere halten, insbesondere für die Hühnerhaltung eignet sich APV ideal.

Gleichzeitig für den Tank und den Teller zu produzieren, steigert die Einkünfte und eröffnet Landwirten ganz neue Möglichkeiten: Sie können sich zu Energiegenossenschaften zusammenschließen, Arbeitsplätze schaffen und so die Wirtschaft – gerade in den unterentwickelten, ländlichen Räumen – stärken. Außerdem können Höfe, indem sie langfristig auf Elektromobilität umsteigen, vollkommen energieautark werden.

Wäre es nicht effektiver, solche Projekte in sonnigeren Ländern zu starten? »Nein«, findet Professor Goetzberger. »Wenn wir andere überzeugen wollen, müssen wir erst einmal zu Hause zeigen, dass das funktioniert.« Auch mit 88 Jahren hat der Visionär noch Zukunftsideen: Meerwasser mit Solarstrom entsalzen und im Schatten von Agrophotovoltaik-Anlagen die Wüste begrünen. »Wir müssen es doch schaffen, die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren.« ■

Grüne Energie für nachhaltige Chemie



Die Herstellung vieler Chemikalien ist energieintensiv und verursacht hohe CO₂-Emissionen. Eine Alternative bieten innovative elektrochemische Verfahren. Sie nutzen Strom aus regenerativen Quellen als Rohstoff und ermöglichen eine klimafreundliche Produktion.

Text: Frank Grotelüschen

Der Edelstahlzylinder steckt in einem massiven Metallgestell, diverse Schläuche führen in ihn hinein. Mit seinem Durchmesser von 20 Zentimetern wirkt er ziemlich wuchtig. Sein Innenvolumen jedoch ist überraschend klein – nicht größer als eine Coladose. Der Grund für das Missverhältnis: Der Zylinder besitzt überaus dicke Stahlwände, die einem Druck von 150 bar trotzen können, 150-fachem Atmosphärendruck.

Der Prototyp steht am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Er soll aus CO₂ und Wasser Alkohole wie Ethanol herstellen – wichtige Basischemikalien für die Industrie. Das Besondere: Angetrieben wird der Prozess nicht durch fossil erzeugte Prozesswärme, sondern durch grünen, also regenerativ gewonnenen Strom.

Das Hochdruckverfahren ist Teil des Fraunhofer-Leitprojekts »Strom als Rohstoff«. »Spricht man über die Energiewende, denkt man zunächst an die Elektromobilität«, sagt Projektkoordinator Dr.-Ing. Hartmut Pflaum, Business Developer des Geschäftsfelds Chemie am UMSICHT. »Doch

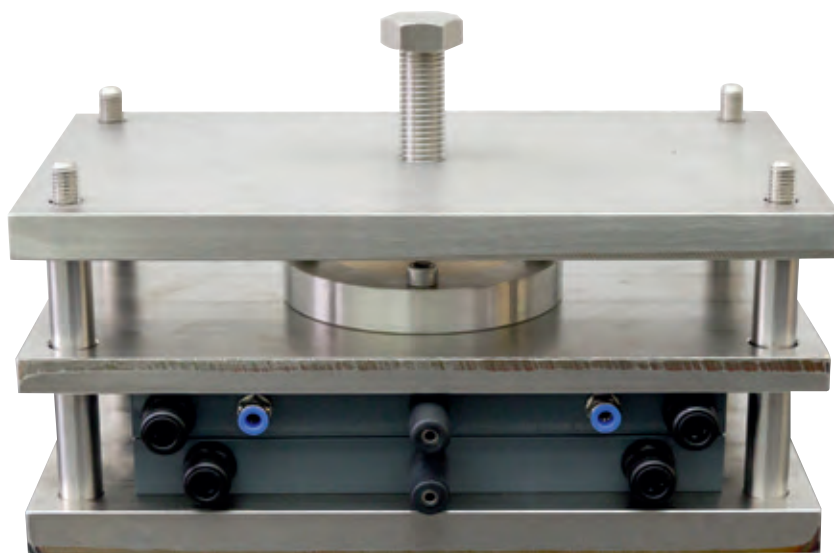
ebenso wichtig ist es, den CO₂-Ausstoß der Industrie zu verringern.« In dem Leitprojekt arbeiten Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher daher an Verfahren, mit denen sich Chemikalien künftig klimaschonend produzieren lassen – und zwar mit grünem Strom.

Bereits heute werden rund 30 Prozent unseres Stroms regenerativ erzeugt. Allerdings schwankt die Produktion: Bei Sonnenschein und kräftigem Wind liefern Windräder und Solarzellen zum Teil mehr Strom, als akut im Netz benötigt wird. »Strombasierte Herstellungsverfahren können dazu beitragen, Angebots- und damit Preisfluktuationen im Stromnetz intelligent zu nutzen und fossil betriebene Verfahren teilweise langfristig zu ersetzen«, erläutert Pflaum.

Elektrochemie als Schlüsseltechnologie

Möglich macht das die Elektrochemie, bei der chemische Reaktionen durch Strom in Gang gesetzt werden. Grundsätzlich sind elektrochemische Verfahren in der Industrie etabliert, etwa

Elektrochemischer Reaktor
mit Gasdiffusionselektrode
zur Herstellung von Ethen
aus CO₂. © Fraunhofer IGB



Die Fraunhofer-Leitprojekte

Mit ihren Leitprojekten setzt die Fraunhofer-Gesellschaft strategische Schwerpunkte, um wissenschaftliche Ideen rasch in marktfähige Produkte und konkrete Lösungen für die Industrie umzusetzen. Die beteiligten Fraunhofer-Institute bringen ihre Kompetenzen mit und binden frühzeitig Industriepartner ein.

Im Leitprojekt »Strom als Rohstoff« haben sich unter Federführung des Fraunhofer UMSICHT zehn Institute zusammengeschlossen. Das Projekt begann am 1. August 2015 und soll am 31. Juli 2018 abgeschlossen sein.



<http://s.fhg.de/strom-als-rohstoff>

bei der Chlor- und Wasserstoffherzeugung per Chloralkali-Elektrolyse. Allerdings wurden sie in den letzten Jahrzehnten nicht forciert weiterentwickelt. Diese Forschungslücke soll das Fraunhofer-Leitprojekt »Strom als Rohstoff« schließen. Konkret widmen sich die Fachleute der Entwicklung zweier verschiedener Prozesse: Zum einen wollen sie Wasserstoffperoxid einfach und zuverlässig mittels Strom herstellen. Zum anderen versuchen sie, aus Elektrizität und CO₂ wertvolle Grundstoffe für die chemische Industrie zu erzeugen.

Bleichmittel für die Papierindustrie

Wasserstoffperoxid gilt als umweltfreundliches Bleichmittel, es enthält weder Fluor noch Chlor. Bei der Papierherstellung wird es im großen Stil genutzt, um den Zellstoff zu bleichen. Bislang produziert die Industrie Wasserstoffperoxid mit einem Verfahren, das nicht nur organische Lösungsmittel, sondern auch jede Menge Energie benötigt. Deshalb tüfteln die Fraunhofer-Expertinnen und -Experten an einer elektro-

chemischen Alternative. Das Prinzip: Ähnlich wie bei einer Batterie enthält der Reaktor einen Minus- und einen Plus-Pol. Gelingt es, optimale Strom- und Spannungswerte einzustellen und den richtigen Katalysator einzusetzen, entsteht aus Wasserstoff und Sauerstoff das gewünschte Wasserstoffperoxid.

Zwei Varianten des Verfahrens stehen zurzeit auf dem Prüfstand. Ziel ist, beide Methoden in die Nähe der Praxisreife zu bringen. Nach Projektende könnte in Zusammenarbeit mit einem Zellstoffhersteller der Bau einer Technikumsanlage folgen. Mit ihr ließe sich das Verfahren im größeren Maßstab testen. Die Vision: Auf dem Firmengelände produzieren elektrochemische Reaktoren – womöglich mit dem Strom eines benachbarten Windparks – stets so viel Bleichmittel, wie der Papierhersteller gerade benötigt: Wasserstoffperoxid-Produktion on demand.

CO₂ als Grundstoff

Deutlich ehrgeiziger gestaltet sich der andere Zweig des Leitprojekts: Hier wollen die Fachleute

versuchen, aus Strom und CO₂ wichtige Basis-Chemikalien zu produzieren, die konventionell aus Erdöl gewonnen werden. Das Problem: Zwar gibt es CO₂ im Überfluss, jedoch ist es reaktionsträge und geht nur ungern Verbindungen ein. »Damit es chemisch reagiert, müssen wir es aktivieren«, erklärt Pflaum. »Im Rahmen unseres Leitprojekts entwickeln wir verschiedene Verfahren, die CO₂ elektrochemisch umsetzen.« Drei wichtige Produkte stehen im Fokus: Ethen als zentraler Ausgangsstoff für die Herstellung des Standardkunststoffs Polyethylen, kurzkettinge Alkohole wie Ethanol und Propanol, die als wichtige Reaktionspartner in der organischen Chemie dienen und auch als Treibstoff in Frage kommen, langkettige Alkohole, die unter anderem als Weichmacher, Tenside und Kraftstoffadditive fungieren.

»Gelingt es uns, die Machbarkeit dieser Verfahren zu zeigen, sind das attraktive Alternativen für die chemische Industrie«, glaubt Pflaum. Dann ließen sich die neuen, klimaschonenden Methoden gemeinsam mit der Industrie zu Pilotanlagen weiterentwickeln. ■

Abladen des Kugelspeichers im Fährhafen
in Konstanz für den Modellversuch im
Maßstab 1:10. © Fraunhofer IWES/
Energiesystemtechnik



Speicher unter Wasser

Am Grund der Weltmeere herrscht ein gewaltiger Wasserdruck. Fraunhofer-Forscher wollen diese Kräfte jetzt nutzen, um Windstrom zu speichern: Sie haben einen Kugelspeicher entwickelt, der das Prinzip der Pumpspeicherkraftwerke unter Wasser anwendet. Ein Modellversuch im Bodensee hat gezeigt, dass dieses Konzept funktioniert.

Text: Ralph Diermann

Spiegelglatt liegt der nordwestliche Ausläufer des Bodensees an diesem Novembertag da. Ein kleiner Schlepper verlässt den Hafen von Wallhausen mit ungewöhnlicher Fracht: Das Schiff zieht eine drei Meter große hohle Betonkugel hinter sich her. Luftsäcke halten die Betonmassen an der Oberfläche. Kurz vor Überlingen stoppt der Motor. Vorsichtig lässt die Besatzung die Luft aus den Schwimmkörpern. Die Kugel gleitet langsam hinab, geführt von einer Seilwinde. Rund hundert Meter tief ist das Wasser hier. Matthias Puchta und seine Teamkollegen, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel, tauschen gespannte Blicke: Wird die Kugel wohlbehalten auf dem Seegrund aufsetzen? Am folgenden Morgen haben die Forscher Gewissheit – der Betonball ruht sicher in der Tiefe. Das Experiment kann beginnen.

Ziel ist, eine der wichtigsten Fragen beim Ausbau der erneuerbaren Energien zu beantworten: Wohin mit dem Strom, wenn der Wind so stark weht oder die Sonne so intensiv scheint, dass die Netze ihn nicht mehr aufnehmen können? Die Forscher des IWES nutzen den Wasserdruck des Meeres, um diese Aufgabe zu lösen – die gewaltigen Kräfte in der Tiefe sollen helfen, überschüssige Energie zu speichern.

Laden mit der Pumpe

Dazu haben die Wissenschaftler ein Speicherkraftwerk entwickelt, welches das Prinzip der Pumpspeicherkraftwerke an Land auf den Meeresgrund überträgt. Projektleiter Puchta erläutert dessen Funktionsweise: »Die Kugel

hat einen Auslass, in den ein Zylinder mit einer Pumperturbine integriert ist. Öffnet man ein Ventil an der Kugel, strömt Wasser hinein. Es treibt die Turbine an, sodass Strom fließt. Damit wird der Speicher entladen.« Ein Unterwasserkabel schafft dabei die Verbindung zum Stromnetz an Land. Soll dagegen Energie gespeichert werden, presst die Pumpe das Wasser gegen den Druck der Wassersäule wieder aus der Kugel. Damit ist der Speicher geladen. Anschließend kann der Zyklus erneut beginnen.

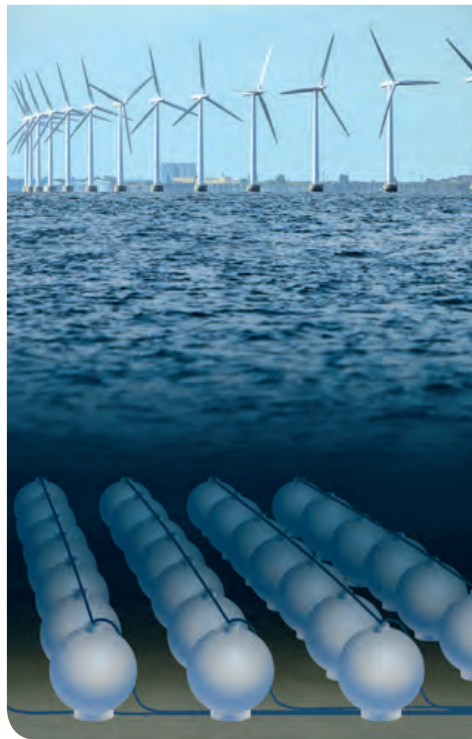
Das Konzept des Unterwasserspeichers stammt ursprünglich von Professor Horst Schmidt-Böcking von der Universität Frankfurt und Dr. Gerhard Luther von der Universität Saarbrücken. Der Speicherhohlkörper aus Beton wurde von der HOCHTIEF Solutions AG konzipiert und gebaut. Ähnlich wie konventionelle Pumpspeicherkraftwerke sollen die Kugeln nicht als Langzeitspeicher dienen, sondern Strom für einige Stunden puffern.

Konzept in die Praxis übertragen

Mit dem vierwöchigen Testlauf im Bodensee haben die Fraunhofer-Forscher das Konzept von Schmidt-Böcking und Luther nun zum ersten Mal in der Praxis erprobt. Ihr besonderes Augenmerk lag dabei auf einer Frage, die für die Wirtschaftlichkeit des Systems große Bedeutung hat: Kommt die Pumptechnik damit zurecht, dass die Druckverhältnisse im Leerraum der Kugel während des Pumpvorgangs variieren? Oder muss zusätzlich eine Druckausgleichsleitung installiert werden, die im Innern des Speichers für einen konstanten Druck sorgt? »Das wäre sehr teuer. Denn eine solche Leitung müsste auf den Außendruck ausgelegt werden, der in der Tiefe ja extrem groß ist«, erläutert Puchta.

Doch das Experiment gibt Entwarnung. »Die Auswertung der Testdaten ist zwar noch nicht abgeschlossen, aber wir können schon jetzt sagen, dass das Konzept auch ohne Druckausgleichsleitung funktioniert«, sagt der Wissenschaftler zuversichtlich. Genauso zufrieden zeigt sich Puchta mit der Logistik – die zweite große Frage, die der Versuch beantworten sollte. »Der Transport und vor allem die Installation der Kugel am Seegrund haben im Großen und Ganzen so funktioniert, wie wir das vorher geplant haben.« Kein Wunder also, dass das Fazit der Forscher sehr positiv ausfällt. »Solch ein Spei-

Konzept für ein Meeres-Pumpspeicherkraftwerk mit vielen Kugelspeichern. © Fraunhofer



chersystem ist viel mehr als die Summe seiner Einzelkomponenten. Sie zum Zusammenspiel zu bringen – das ist eine komplexe, anspruchsvolle Aufgabe. Mit dem Testlauf im Bodensee haben wir bewiesen, dass dieses Zusammenspiel möglich ist«, freut sich Matthias Puchta.

Viel Druck, großer Speicher

In den nächsten Monaten wird sich das IWES-Team vor allem mit der weiteren Analyse der Daten aus dem Experiment beschäftigen. Dabei haben sie bereits ihr nächstes Ziel im Kopf: ein Testlauf im Meer mit einer Kugel, die mit einem Durchmesser von 30 Metern zehn Mal so groß ist wie die jetzt erprobte. Warum so groß? Weil die Speicherkapazität vom Volumen der Kugel abhängt. Und das wiederum steigt mit der dritten Potenz des Durchmessers.

Allerdings wird die Logistik mit zunehmender Größe immer komplizierter. Zwar schwebt den Forschern vor, die Kugeln in einem Trockendock direkt am Meer zu gießen und sie dann, wie im Bodensee, mithilfe von Schwimmkörpern auf See zu schleppen. Doch auch auf diese Weise würde der Aufwand ab 30 Metern Durchmesser zu groß. Die Speicherkapazität hängt jedoch

nicht nur von der Größe ab, sondern auch von der Wassersäule, die auf der Kugel lastet. Aus wirtschaftlicher Perspektive ideal seien Wassertiefen von 600 bis 800 Metern, haben die Forscher errechnet. In diesem Bereich stünden Parameter wie der Druck, das nötige Gewicht und die erforderliche Wandstärke der Kugel in optimalem Verhältnis zueinander. Und es gibt noch weitere Argumente für diese Tiefe: »Hier kann man noch mit konventionellen Pumperturbinen arbeiten. Sie müssen lediglich den dort herrschenden Bedingungen angepasst werden«, erklärt Puchta. Zudem brauche man dort auch noch keinen hochfesten Spezialbeton.

Speicherpark senkt die Kosten

Eine in 700 Metern Tiefe installierte 30-Meter-Kugel könnte etwa 20 Megawattstunden Strom speichern. Wird sie im Verbund mit anderen Kugeln installiert, liegen ihre Kosten je nach Zahl der Anlagen bei etwa acht bis zehn Millionen Euro. Bei drei Speicherzyklen am Tag entspricht das Kosten von 1,6 bis 2 Cent pro Kilowattstunde – vergleichbar mit denen eines Pumpspeicherkraftwerks an Land. Der Meeresspeicher hat aber den Vorteil, dass er für die Menschen nicht sichtbar ist.

Mögliche Standorte für die Kugelspeicher gibt es mehr als genug, wie eine weltweite, detaillierte Geoinformationsanalyse der küstennahen Meeresgebiete mit Blick auf Bodenneigung, Strömung, Sedimentverschiebung oder Entfernung zu Städten zeigt. Vor Norwegen, Spanien, den USA oder Japan zum Beispiel könnten die Kugelspeicher in großer Zahl installiert werden. Das globale Speicherpotenzial liegt nach Berechnungen der Fraunhofer-Forscher bei insgesamt 817 000 Gigawattstunden. Zum Vergleich: Die Kapazität der deutschen Pumpspeicherkraftwerke an Land beträgt gerade einmal 40 Gigawattstunden.

Das Potenzial der neuen Kugelspeicher könnte bereits im kommenden Jahrzehnt erschlossen werden: Rund fünf Jahre, so Puchta, würde es dauern, die erste 30-Meter-Kugel im Meer zu installieren, sobald die Entscheidung für einen Großversuch gefallen sei. Für den weiteren Ausbau der Windenergie im Meer und an der Küste stünde damit wohl schon in absehbarer Zukunft eine kostengünstige, zuverlässige Speichertechnologie zur Verfügung. ■

In dem prall mit Technik gefüllten Container lässt sich Sonnenenergie über Monate speichern. © Fraunhofer IISB/ Kurt Fuchs

Energie im Container



In Erlangen wird ein innovativer Wasserstoffspeicher mit Anbindung an ein lokales Gleichstromnetz aufgebaut. Im Leistungszentrum Elektroniksysteme LZE arbeiten hierbei zwei Fraunhofer-Institute, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Industriepartner effizient zusammen.

Text: Bernd Müller

Auf dem Rasen vor dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen glänzt ein weißer Container in der Sonne. Johannes Geiling, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IISB, steigt die Stufen hinauf und öffnet eine Stahltür. Zum Vorschein kommen Behälter, Rohre und jede Menge Elektronik, alles akkurat eingebaut in die Stahlkonstruktion. Seit Mai 2016 bauen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IISB das System im Container auf, im Sommer 2017 soll es in Betrieb gehen. Dann wandelt es Strom in Wasserstoff um und wieder zurück.

Herz der Anlage ist ein Flüssigspeicher für Wasserstoff – unter dem Kürzel LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) bekannt. Die LOHC-Technologie, eine Spezialität der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, ermöglicht die kompakte Speicherung von Wasserstoff unter Umgebungsbedingungen mit einer Energie-

dichte, die an kaltverflüssigten Wasserstoff heranreicht. Angeschlossen wird der Container an das Gleichstromnetz im Institutsgebäude. Netztechnik für Gleichstrom wird am IISB intensiv erforscht und ständig weiterentwickelt. Solche Netze ermöglichen das sehr effiziente Nutzen und Speichern von selbst erzeugter erneuerbarer Energie.

Regionaler Forschungsschwerpunkt Leistungselektronik

»DC-Backbone mit Strom-Gas-Kopplung« heißt das Vorhaben, eines von vier Pilotprojekten, die derzeit am Leistungszentrum Elektroniksysteme LZE in Erlangen laufen. Das LZE beschäftigt sich besonders mit dem Thema Leistungselektronik, also mit Elektronik zum Schalten und Wandeln elektrischer Energie. »Leistungszentren« sind regionale Kooperationen, mit denen die Fraunhofer-Gesellschaft – im Schulterchluss

mit Universitäten und Industriepartnern – Forschungsschwerpunkte entwickelt. Alle Leistungszentren verfolgen eine langfristige Strategie mit gemeinsamen Initiativen in Forschung und Lehre, in Aus- und Weiterbildung sowie in Transfer und Verwertung. So plant das LZE in Erlangen unter anderem gemeinsame Labore mit Industriepartnern, um diese direkt bei Forschung und Entwicklung beraten zu können.

In puncto Vernetzung geht das LOHC-Projekt mit gutem Beispiel voran. Mit von der Partie sind neben dem IISB und dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sowie mehrere regionale Industriepartner. Fraunhofer-Institute und Universität entwickeln das Konzept, bei dem mit Strom Wasserstoff erzeugt und gespeichert wird. Der Reaktor bindet das Gas an eine ölartige Flüssigkeit – in diesem Fall Dibenzyltoluol –, die sich in Tanks speichert



Ein IISB-Techniker bereitet einen Schaltschrank für den Einbau hocheffizienter und ultrakompakter Gleichstromwandler vor.
© Fraunhofer IISB/ Kurt Fuchs



Im Inneren des neuartigen LOHC-Containers ermöglichen ein Elektrolyseur (rechts) und eine Brennstoffzelle (links) die effiziente Produktion und Verstromung von Wasserstoff. © Fraunhofer IISB/ Kurt Fuchs



Für die Einspeisung von Sonnenstrom wird das modular aufgebaute Leistungsverteilsystem für Gleichstromnetze genutzt. Integriert ist ein innovativer Energieflusskontrollier zur Stabilisierung und Spannungsregelung.
© Fraunhofer IISB/Kurt Fuchs

lässt. Das hat viele Vorteile: Die Speicherkapazität ist nur durch das Fassungsvermögen des Tanks begrenzt und lässt sich beliebig erweitern. Gebunden an die Flüssigkeit ist der Wasserstoff ungefährlicher als ein Tank voll Diesel, er lässt sich auch in Tankwagen transportieren. Eine Selbstentladung des Wasserstoffs findet nicht statt.

Sonnenstrom speichern

Das eröffnet neuartige Anwendungsszenarien: So könnte der Speicher im Sommer überschüssigen Sonnenstrom sammeln und im Winter abgeben. Das ist überall dort interessant, wo es keine Stromversorgung gibt, zum Beispiel in Entwicklungsländern, auf Inseln, aber auch mitten in Deutschland, etwa wo Sendemasten von Mobilfunknetzen energieautark arbeiten sollen. Weil sich der Wasserstoff auf diese Art einfach und sicher transportieren lässt, kann man das LOHC-Prinzip auch für Wasserstofftankstellen einsetzen. Die Speicherung erfolgt dort bisher in Drucktanks mit mehreren Hundert Bar oder in Flüssigtanks bei unter minus 250 Grad Celsius. Beide Möglichkeiten stellen hohe Anforderungen an Lagerung und Transport des Wasserstoffs. Als Stromspeicher fürs öffentliche Stromnetz sei das LOHC-Prinzip aber derzeit nicht gedacht, sagt Bernd Wunder, Gruppenleiter Gleichstromnetze am IISB. »Dazu sind die Kosten einfach noch zu hoch.«

Der LOHC-Reaktor wird demnächst in den 20-Fuß-Container eingebaut. Die anderen Komponenten, darunter ein Elektrolyseur zum

Erzeugen des Wasserstoffs aus Strom und eine Brennstoffzelle zum Rückwandeln des Wasserstoffs in Strom, sind bereits vorhanden. Angebunden werden auch hocheffiziente Gleichspannungs-Wandler des IISB. Der Reaktor wird vom Lehrstuhl für Chemische Reaktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt und gebaut. Er ist eine echte Innovation und patentgeschützt: Den Wissenschaftlern um Professor Peter Wasserscheid ist es erstmals gelungen, das Laden und Entladen des Speichers in einem einzigen Reaktor unterzubringen, bisher waren dafür zwei Reaktoren nötig.

Die Kolleginnen und Kollegen vom IIS unterstützen beim Aufbau der Kommunikationsinfrastruktur. Das IISB ist im Projekt für die Gleichspannungstechnik, für den Gesamtsystemaufbau inklusive Sicherheitstechnik, die Systemsteuerung und für die Betriebsstrategien zuständig. Insbesondere geht es dabei um die Frage, wie man das komplexe System betreiben muss, damit man bestimmte Betriebszenarien abdecken kann – mehr als hundert Prozessvariablen gilt es sinnvoll auszubalancieren.

Der Betrieb als Spritlieferant für eine Wasserstofftankstelle erfordert beispielsweise eine andere Lade-/Entlade-Strategie als der Betrieb als Sommer-/Winter-Puffer zur Stromversorgung einer Fabrik. Wieder anders ist der Einsatz als Notstromversorgung, wo es wichtig ist, dass die Energie in Sekundenbruchteilen bereitsteht. Diese schnelle Reaktionsfähigkeit fehlt dem LOHC-System, das seine Stärken eher bei der Energie-

versorgung mit kleinen und mittleren Leistungen hat. So arbeiten im Prototyp ein Elektrolyseur und eine Brennstoffzelle mit jeweils 25 Kilowatt Leistung. Der Tank fasst Wasserstoff mit einer Energie von 600 Kilowattstunden und damit ausreichend für etwa 25 Stunden gleichmäßige Beladung unter Volllast des Elektrolyseurs. Doch das ist nur eine Option von vielen. »Die Lade- und Beladeleistung wird über die Leistung von Elektrolyseur und Brennstoffzelle festgelegt, der Energieinhalt lässt sich über die Größe der LOHC-Tanks sehr einfach nach oben skalieren«, verspricht Johannes Gelling.

Modell für mittlere Unternehmen

Um kurze Lastspitzen besser abdecken zu können, ist im Projekt auch die zusätzliche Einbindung leistungsfähiger Lithium-Ionen-Batterien vorgesehen. Das ist unter anderem interessant für Notstromaggregate. So eine gemischte Betriebsweise testen die Forscher, wenn der Container im Sommer an das Gleichstromnetz des IISB angeschlossen wird. Dort speisen heute schon Photovoltaikmodule Energie ein, Batterien balancieren Einspeisung und Verbrauch, aber eben nur kurzfristig. Ist der Himmel über Erlangen tagelang wolkenverhangen, geht den Lithium-Ionen-Batterien schnell die Puste aus. Der LOHC-Container dehnt die Speicherkapazität auf Wochen und Monate aus. Wunder: »So machen wir das Institut unabhängiger vom öffentlichen Stromnetz. Das Institut ist ein gutes Modell für mittlere Unternehmen oder große Gebäude wie Krankenhäuser oder Bürokomplexe.« ■



Industrie 4.0 in Tirol

Fraunhofer Austria forscht demnächst auch in Tirol zur digitalen Zukunft der Industrie. Gelingen soll das in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Wirtschaft, Forschung und Hochschulen vor Ort. In der Werkstätte Wattens ist dafür das Fraunhofer-Innovationszentrum »Digitale Transformation der Industrie« gegründet worden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysieren, wie Tiroler Unternehmen im Kontext von Industrie 4.0 aufgestellt sind und wo ihre individuellen Potenziale liegen.

Die öffentlich geförderten sowie die Auftragsforschungs-Projekte orientieren sich am lokalen Industriebedarf. Insbesondere am Zentrum für schnelle Prototypenfertigung der Werkstätte Wattens entstehen neue Kooperationsmöglichkeiten mit Fraunhofer. Durch die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse rund um Industrie 4.0 in Innovationen soll die Wettbewerbsfähigkeit der Tiroler Industrie nachhaltig gesteigert werden.

Die Basisfinanzierung erfolgt durch das Land Tirol und die Fraunhofer-Gesellschaft sowie durch Rahmenvereinbarungen mit Tiroler Industrieunternehmen. »Damit ist erfreulicherweise der Einstieg in das angestrebte Grundfinanzierungsmodell in Österreich gelungen«, so Prof. Dr. Georg Rosenfeld, Vorstand Technologiemarketing und Geschäftsmodelle der Fraunhofer-Gesellschaft.



Zentrum für Lkw-Antrieb

Schweden ist weltweit eines der führenden Länder bei der Fertigung von Antriebssträngen für Lkw und Nutzfahrzeuge. Um diese Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, hat sich ein Konsortium unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Forschungsplattform »Powertrain Manufacturing for Heavy Vehicles Application Lab« zusammenschlossen.

Zu den Partnern gehören die Königlich Technische Hochschule (KTH) in Stockholm, die Technische Hochschule Chalmers, zwei Institute des schwedischen Forschungsnetzwerks RISE, die Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT, für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM sowie die Unternehmen Scania, Volvo Trucks und Sandvik Coromant. Beteiligt ist auch das Fraunhofer-Chalmers Centre for Industrial Mathematics FCC in Göteborg, das das erste Standbein von Fraunhofer in Schweden war.

Neben der Koordinierung und Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist das Lab auch für den Wissenstransfer der Forschung hin zu den Industriepartnern zuständig. Deren Mitarbeitende werden in Kursen und Seminaren geschult. Studenten und Doktoranden haben die Möglichkeit, aktiv an Projekten mitzuarbeiten.

Die beteiligten Fraunhofer-Institute wollen sich durch die Kooperation stärker mit der schwedischen Fahrzeugindustrie vernetzen und damit einen der wichtigsten Märkte für Lkw erschließen.

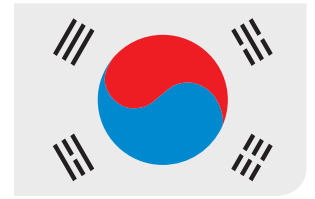


Food4Future

Das Europäische Innovations- und Technologieinstitut EIT hat mit »FoodConnects« den europaweiten Wettbewerb Food4Future gewonnen. Beteiligt an FoodConnects sind namhafte Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstitutionen wie die Fraunhofer-Gesellschaft, deren Aktivitäten hier durch das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV koordiniert werden.

FoodConnects zielt darauf ab, die Lebensmittel-Wertschöpfungskette vom Rohstoff zum Verbraucher nachhaltig zu gestalten. Die Partner möchten gemeinsam die Art und Weise verändern, wie wir gegenwärtig unsere Lebensmittel produzieren, verteilen und konsumieren, um so auch in Zukunft die Versorgung mit sicheren und gesunden Lebensmitteln gewährleisten zu können. Die vier Innovationsprogramme von EIT Food fokussieren sich auf individuelle, gesunde Ernährung, Digitalisierung des Ernährungssystems, Entwicklung verbraucherorientierter Lieferketten und Einführung neuer Technologien in der Landwirtschaft, in der Verarbeitung und im Einzelhandel sowie die Entwicklung ressourceneffizienter Prozesse.

In den kommenden sieben Jahren werden die Partner nahezu 1,2 Milliarden Euro investieren. Die groß angelegte Initiative mit Sitz in Brüssel wird durch fünf gemeinsame Zentren in Europa unterstützt. Eines davon ist in Freising an der Technischen Universität München angesiedelt und wird im Frühjahr 2017 die Arbeit aufnehmen.



Leichte Werkstoffe

In der Industrie werden leichte Materialien immer populärer. Die Autoindustrie kann damit beispielsweise den Treibstoffverbrauch vieler Modelle senken. Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT und das koreanische Ulsan National Institute of Science and Technology UNIST planen dafür eine langfristige Zusammenarbeit. Hierzu wurde im Mai 2017 das Fraunhofer Project Center for Composites Research FPC@UNIST gegründet.

Der Fokus liegt dabei auf interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Verfahrenstechnik und Werkstoffwissenschaften. Das FPC soll eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung schlagen und die Überführung von Leichtbaulösungen für die Großserie ermöglichen.

Während UNIST in den Materialwissenschaften federführend ist, bringt das ICT Kompetenzen in der Prozesstechnologie für Leichtbau ein. Durch das FPC@UNIST erhält das ICT Zugang zu einem innovativen Wachstumszentrum der Automobilindustrie in Asien.

Obwohl der Fokus des FPC auf der Automobilindustrie liegen wird, ist auch die Entwicklung neuer Faserverbundwerkstoffe und Verarbeitungsverfahren für weitere Branchen wie Luftfahrt, Energie, Bau, Verteidigung und Medizintechnik von Interesse.

Jungbrunnen für alte Häuser

Das Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege hat in der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern einen würdigen Wohnsitz gefunden. Zahlreiche Förderer und Projektpartner aus Bauindustrie und Handwerk haben mitgeholfen, den schwierigen Sanierungsfall in ein Schmuckstück zu verwandeln.

Text: Helga Eisch-Hagenauer



links: Das Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege in der sanierten Alten Schäferei. © Fraunhofer IBP, Katja Breitenfelder

unten links: Im Obergeschoss der Alten Schäferei wurden im Projekt »Innendämmung« an den Wänden zehn verschiedene Dämmmaterialien angebracht. © Fraunhofer IBP, Paavo Blafjeld

unten rechts: Die Farbmatrix in der Bauteilöffnung erlaubt Rückschlüsse auf den Erhaltungszustand historischer Wandmalerei nach Abnahme der unterschiedlichen reversiblen Dämmsysteme. Links im Bild: Professor Ralf Kilian vom Fraunhofer IBP. © Fraunhofer IBP



Nach sechsjähriger Renovierungszeit öffnete das historische Gebäude im November 2016 seine Tore. Jahrzehntelang führte das über 250 Jahre alte Handwerkerhaus ein Schattendasein am südwestlichen Rand des Klostergeländes. Die Folge: marode Balken, bröckelnder Putz, undichtes Dach. Der Renovierungsaufwand war zu hoch, zu teuer, zu kompliziert. Sogar der Abriss war schon im Gespräch – bis Forscherinnen und Forscher die Idee hatten, ein Fraunhofer-Zentrum dort einzurichten. Die Initiatoren dieser neuen Einrichtung – das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und das Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB – wollten einen geeigneten Raum schaffen, um Materialien und Methoden in der Altbausanierung bauphysikalisch zu testen und das daraus gewonnene Wissen der Fachwelt und der Öffentlichkeit zu vermitteln. Partner des Zentrums sind Unternehmen aus der Bauindustrie und aus den Bereichen Denkmalpflege, Architektur und Handwerk.

Herausforderung Altbausanierung

Bei der energetischen Sanierung von Altbauten und erst recht bei denkmalgeschützten Gebäuden gibt es keine Standardlösungen. Für Neubauten übliche Verfahren und Materialien können nicht eins zu eins auf historische Gebäude übertragen werden. Fehler bei der Auswahl von Material und Methoden können Schäden an der Bausubstanz verursachen, etwa Schimmelpilzbefall aufgrund falscher Dämmung.

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

»Das Fraunhofer-Zentrum schließt eine Lücke auf dem Sektor Altbausanierung und Denkmalpflege«, sagt Professor Klaus Sedlbauer, Institutsleiter des IBP: »Unser Ziel ist es, Forschung, Demonstration von Lösungsmöglichkeiten, Wissenssammlung und deren Vermittlung im Bereich der energetischen und denkmalgerechten Instandsetzung optimal zu verbinden und für die Öffentlichkeit verständlich aufzubereiten.« Damit Gebäudesanierung den Ansprüchen an ein behagliches und gesundes Raumklima bei höchstmöglicher Energieeffizienz gerecht werden kann, sind differenzierte, ganzheitliche Sanierungskonzepte gefragt, anstelle kurzfristig gedachter Teilsanierungen. »Es geht nicht darum, aus jedem historischen Gebäude energetisch ein Plus-Energie-Haus zu machen, sondern

darum, dass man passende Lösungen und Möglichkeiten aufzeigt«, erklärt Professor Ralf Kilian, der Forschungskordinator am IBP.

Das Fraunhofer-Zentrum soll zum Hotspot für interessierte Zielgruppen werden mit Ausstellungen, Workshops und Veranstaltungen. Die Ergebnisse aus Forschung und Praxis sollen hier einen Wissens- und Know-how-Transfer für Architekten, Ingenieure, Hauseigentümer und die interessierte Bevölkerung erfahren. Christine Milch, am IBP zuständig für die Koordination des Zentrums, betont den innovativen Geist dieser neuen Einrichtung: »Wir sind ein offener Kreis, wir nehmen sehr gerne Partner auf, weil wir immer ein lebendiges Zentrum bleiben werden, auch wenn die Grundinstandsetzung nun abgeschlossen ist. Wir werden weiter forschen, Teilbereiche wieder verändern und mit neuen Materialien neu belegen.«

Kooperationspartner aus der Praxis

Der Baustoff-Hersteller HASIT Trockenmörtel GmbH ist eines der Partnerunternehmen. Um seine Dämmputzsysteme energetisch zu untersuchen, beteiligte sich HASIT am Forschungsprojekt »ENOB – Energetische Untersuchung und Optimierung von Innendämmungen«. Dabei wurde eine Testfläche von 15 Quadratmetern Außenwand innenseitig mit einem »HASIT Hochleistungsdämmputzsystem« verputzt. Das Hauptaugenmerk lag dabei vor allem auf der Reversibilität des Putzsystems, das heißt, es kann wieder entfernt werden, ohne die Bausubstanz zu beschädigen. Die Fraunhofer-Forscher brachten zuvor Farbfelder auf den vorhandenen Putzuntergrund auf, die anschließend durch eine von Restauratoren speziell entwickelte, reversible Schicht geschützt wurden. Darauf wurde das mineralische kalkbasierende Hochleistungsdämmputzsystem aufgebracht, das aus verschiedenen Schichten Aerogel-Hochleistungsdämmputz, Spezialeinbettmörtel mit Armierungsgewebe sowie Kalk-Oberputz und Kalkfarbe bestand.

Innerhalb dieses Teilprojekts brachten die Forscher an die Wände des über 200 Quadratmeter großen Obergeschosses zehn unterschiedliche Materialien an, die sehr dünn und hochwärmendämmend sind oder aus nachwachsenden Rohstoffen und recyceltem Material bestehen.

Begleitet wurden die Dämmmaßnahmen von Messungen und rechnerischen Untersuchungen, um die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Systeme zu erforschen.

Das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern leistet produktneutrale Beratung. Gerade deshalb schätzen Unternehmen die Möglichkeit, in diesem Forschungsumfeld auf umfangreiche Fachexpertise zurückgreifen zu können. »Im Fraunhofer-Zentrum in Benediktbeuern haben wir nun die einmalige Gelegenheit, uns als Partner in der Altbausanierung und der energetischen Sanierung unter Beweis zu stellen«, so der Geschäftsführer der HASIT Trockenmörtel GmbH, Erich Seufert.

Altbausanierung hat großes Marktpotenzial

Der Sanierungsmarkt hat großes Potenzial. Laut dem Bundesministerium für Wirtschaft gibt es in Deutschland rund 19 Millionen Wohngebäude mit etwa 40 Millionen Wohnungen. Davon stehen in den nächsten 20 Jahren rund die Hälfte zur Sanierung an, was jährlich etwa einer Million zu sanierender Wohnungen entspricht. Etwa drei Prozent der bis 1978 errichteten Altbauten sind ganz oder teilweise denkmalgeschützt.

Nachhaltigkeit spielt bei der Altbausanierung eine große Rolle. Durch energetische Sanierungsmaßnahmen kann der Energieverbrauch zum Beheizen von Wohnungen und damit der CO₂-Ausstoß signifikant gesenkt werden. Auch aus städtebaulicher Sicht ist es sinnvoller, Wohnraum in den Innenstädten zu erhalten, als Trabanten-Siedlungen auf der grünen Wiese zu errichten. So können Innenstädte belebt werden und bleiben als Wohnstätte attraktiv. Der Erhalt wertvoller Bestandsbauten ist eine Zukunftsaufgabe, da sie das Gesicht einer Stadt prägen und kulturelle Identität stiften.

 <http://s.fhg.de/wv11704>

Das gemeinsame, interdisziplinäre Vorgehen beim Konzept des Fraunhofer-Zentrums überzeugte die Jury des Wettbewerbs »Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen«. Sie zeichnete es als eines von 100 besten Vorhaben unter dem Motto »NachbarschaftInnovation« aus. ■

Schatzsuche im Reich der Insekten

Insekten sind Überlebenskünstler. Forscherinnen und Forscher in Gießen wollen diese Talente für den Menschen nutzbar machen. Daher untersuchen sie Insekten mit ungewöhnlichen Fähigkeiten – wie Totengräber und asiatische Marienkäfer.

Text: Christine Broll

Wenn Philipp Heise neue Totengräber-Käfer für seine Forschungen braucht, geht er in den Wald. Dort vergräbt er einige Joghurtbecher und legt ein Stück Aas darauf. Durch den Verwesungsgeruch werden Totengräber angelockt, die das Fleisch als Vorrat für ihre Jungen konservieren möchten. Sobald ein Käfer beginnt, das Aas mit seinem Speichel einzubalsamieren, fällt er in den Becher und landet schließlich im Labor der Fraunhofer-Projektgruppe Bioressourcen des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME.

Dort ist der Totengräber der Gattung *Nicrophorus* in bester Gesellschaft anderer Insekten, die wie er über außergewöhnliche Fähigkeiten verfügen und daher prädestiniert sind als Forschungsobjekt für die Insektenbiotechnologie – einem innovativen Forschungsgebiet, das von Professor Andreas Vilcinskas geprägt wurde. Vilcinskas ist Professor für Angewandte Entomologie an der Universität Gießen und Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe Bioressourcen. Die Projektgruppe ist Teil des LOEWE-Zentrums für Insektenbiotechnologie und Bioressourcen, das Vilcinskas mithilfe des hessischen Forschungsförderprogramms LOEWE aufgebaut hat und heute leitet.

Suche nach neuen Antibiotika

»Durch die enge Anbindung an die Universität können wir das akademische Netzwerk nutzen und bei Fraunhofer Produkte entwickeln, die wir mit der Industrie auf den Markt bringen«, betont Vilcinskas. Momentan sind die rund 85 Mitarbeitenden der Projektgruppe noch auf fünf Standorte verteilt. In zwei Jahren werden sie das

LOEWE Zentrum für Insektenbiotechnologie und Bioressourcen

Partner: Justus-Liebig-Universität Gießen, Technische Hochschule Mittelhessen, Projektgruppe Bioressourcen des Fraunhofer IME

Förderung: LOEWE Forschungsförderprogramm des Landes Hessen

Eckdaten: Rund 120 Mitarbeitende, fünf Standorte in Gießen, ein Standort in Frankfurt



YouTube
<http://s.fhg.de/wv11705>

neue Forschungsgebäude beziehen können, das zurzeit in Gießen gebaut wird.

Philipp Heise hat den Totengräber als Studienobjekt gewählt, da er biologische Höchstleistungen vollbringt. Zum einen verfügt der zwei Zentimeter kleine, orange-schwarz gestreifte Käfer über spezielle Konservierungsstoffe, mit denen er eine ganze Maus vor der Verwesung schützen kann. Zum zweiten kann er mit seinen Verdauungssäften den mumifizierten Mäusekadaver verflüssigen und so an seine Jungen verfüttern. »Die Sekrete, die der Käfer ausscheidet, werden von Bakterien und Pilzen in seinem Darm produziert«, hat Heise beobachtet. Der Doktorand konnte bereits über 250 solcher Mikroorganismen nachweisen, rund 100 davon ließen sich auch kultivieren.

Einer davon ist die Hefe *Yarrowia lipolytica*. Sie ist in der Lage, das Kadaverin, das für den Verwe-



sungsgeruch verantwortlich ist, abzubauen. »Die Hefe oder aus ihr gewonnene Enzyme könnten in Tierkörperbeseitigungsanstalten genutzt werden, um die Geruchsbelästigung zu reduzieren«, meint Heise.

Wichtigstes Ziel des Projekts ist allerdings die Suche nach Antibiotika gegen multiresistente Krankenhauskeime. Dazu werden Extrakte aus den von Philipp Heise isolierten Mikroorganismen in der Frankfurter Niederlassung des französischen Pharmakonzerns Sanofi im Hochdurchsatzverfahren getestet.

Sanofi ist ein wichtiger Partner von Andreas Vilcinskas. Als das Unternehmen die Naturstoffforschung schließen und seine mikrobiologische Stammsammlung auflösen wollte, hatte Vilcinskas eine innovative Idee: Fraunhofer übernimmt die einzigartige Naturbibliothek und bringt verschiedene Partner zusammen, die sie für

Doktorand Phillip Heise isoliert und kultiviert an der Sterilbank Bakterien aus dem Darm des Totengräber-Käfers.
© Fraunhofer IME, Piotr Banczerowski



unterschiedliche Anwendungen nutzen. Für die Suche nach neuen Pflanzenschutzmitteln holte Vilcinkas den amerikanischen Konzern Dow AgroSciences mit ins Boot.

Jens Grotmann betreut die Versuche des Kooperationsprojekts mit Dow, bei dem die Extrakte aus der Sanofi Stammsammlung auf ihre Wirkung gegen Blattläuse getestet werden. Dazu sät der Techniker Radieschen in breiten Reagenzgläsern auf einem gelartigen Nährmedium aus. Sobald die Radieschen einige Zentimeter groß sind, beträufelt er sie mit einem Extrakt, setzt Blattläuse darauf und stellt die Gläser in einen Klimaschrank, wo sie unter definierten Bedingungen weiter wachsen. In den nächsten Tagen beobachtet Jens Grotmann, wie die Blattläuse auf den Extrakt reagieren. Findet er interessante Reaktionen, werden die Forschungen bei Dow in den USA weiterverfolgt.

Gelbe Biotechnologie als Zukunftschance

Wenn Andreas Vilcinkas vom Potenzial der Insektenbiotechnologie spricht, sprüht er vor Ideen. Er sieht das Forschungsfeld als neuen Zweig neben der roten, grünen und weißen Biotechnologie. So schuf er den Begriff der »gelben Biotechnologie« – angelehnt an die gelbe Farbe des Insektenbluts, der Hämolymphe. »Ich bin überzeugt, dass die Natur die besten Antibiotika

erfunden hat. Wir müssen sie nur finden«, meint der Wissenschaftler.

Eines der ersten und spannendsten Forschungsobjekte der Biotechnologen im LOEWE-Zentrum ist der asiatische Marienkäfer *Harmonia axyridis*. Er breitet sich seit Jahren in Europa aus und verdrängt dabei nach und nach die heimischen Marienkäferarten. Das macht ihn für die Forschung interessant. Auf der Suche nach dem Erfolgsgeheimnis des asiatischen Marienkäfers entdeckte Vilcinkas Team in der Hämolymphe, dem Blut des Käfers, eine antimikrobiell wirksame Substanz. Angelehnt an den Artnamen des Marienkäfers wurde die Substanz Harmonin genannt. Um seine Wirkung auf menschliche Krankheitserreger testen zu können, wurde es synthetisch hergestellt. Tobias Gegner klärt jetzt in seiner Doktorarbeit den Stoffwechselweg des Harmonins auf.

In Labortests hat die Substanz bereits ihre Wirksamkeit gegen verschiedene Krankheitserreger bewiesen. »In Kooperation mit dem Paul-Ehrlich-Institut in Frankfurt untersuchen wir, ob sich Harmonin als Basis für die Entwicklung eines Medikaments gegen Leishmaniose eignet«, berichtet Vilcinkas. »Die von Sandmücken übertragene Erkrankung verursacht jährlich rund zwei Millionen Infektionen und breitet sich durch die Klimaerwärmung von den Tropen Richtung Norden aus.« ■



Professor Andreas Vilcinkas ist Direktor des Instituts für Insektenbiotechnologie an der Universität Gießen und Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe Bioressourcen.



Der Totengräber-Käfer besitzt einzigartige Fähigkeiten, die ihn zu einer möglichen Quelle für neue Antibiotika machen.



Der Doktorand Tobias Gegner füttert asiatische Marienkäfer mit Blattläusen, die auf Bohnenpflanzen gezüchtet wurden.

Algen, die unterschätzten Lebenskünstler

Algen gehören zu den widerstandsfähigsten Organismen. Weder Hitze noch Kälte können ihnen etwas anhaben. Ein Test auf der ISS sollte zeigen, ob sie sogar die extremen Bedingungen im Weltall überstehen.

Text: Mehmet Toprak

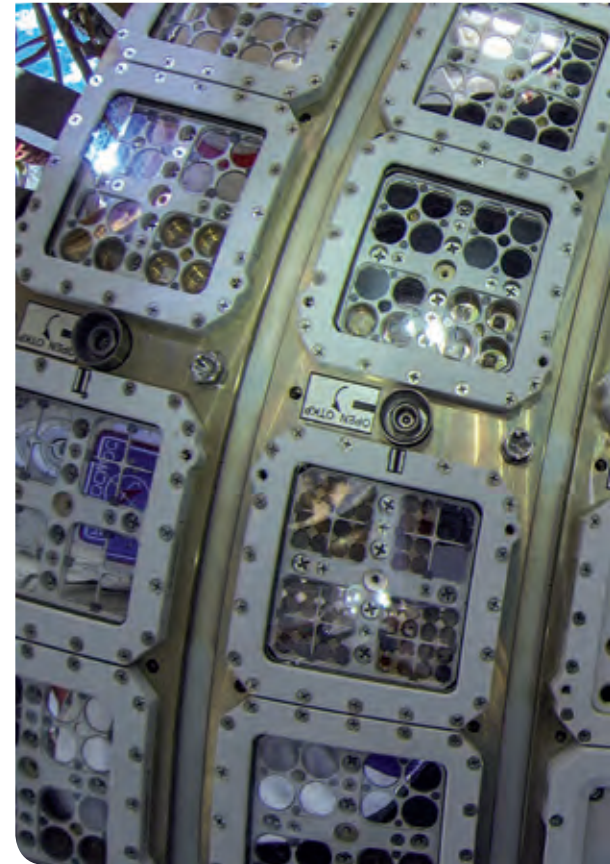
Sie sehen nicht sehr spektakulär aus und werden gerne unterschätzt. Dabei verfügen Algen über erstaunliche Fähigkeiten, denn sie gehören zu den widerstandsfähigsten Organismen auf der Erde. Sie vertragen tägliche Temperaturwechsel zwischen Minus- und Plusgraden, überleben im Vakuum, fühlen sich in eisiger Kälte wohl, und auch Hitze oder Trockenheit können ihnen wenig anhaben. Sie passen sich an nahezu jede Umgebung an.

Wo die Grenzen der Widerstandsfähigkeit liegen und ob diese Überlebenskünstler vielleicht sogar die extremen Bedingungen im Weltall überstehen, wollten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI in Potsdam wissen. Zusammen mit nationalen und internationalen Partnern schickten sie zwei Algenstämme in den Weltraum, genauer gesagt, zur internationalen Raumstation ISS. Im erdnahen Orbit mussten eine Blau- und eine Grünalge 16 Monate lang an der Außenhaut der ISS ausharren. Sie waren

dabei extremen Temperaturschwankungen zwischen minus 20 und plus 50 Grad ausgesetzt. Hinzu kamen das Vakuum, die kosmische Strahlung sowie UV-A-, UV-B- und UV-C-Strahlung. Nur ein Neutralfilter dämpfte den Ansturm der UV-Strahlen ein wenig.

Die Ergebnisse des Experiments sind auch für erfahrene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler überraschend. Sowohl die Blau- als auch die Grünalge haben den Aufenthalt im All weitgehend unbeschadet überstanden. »Besonders verblüfft waren wir, dass die Algen der extrem schädlichen UV-C-Strahlung standgehalten haben«, meint Fraunhofer-Experte Dr. Thomas Leya. Die lang andauernde Trockenheit konnte den Organismen ebenfalls wenig anhaben. Leya sagt: »Das ist besonders bei der Grünalge erstaunlich. Sie muss zuerst spezielle Dauerstadien ausbilden, um so trockenresistent zu sein wie die Blaualge.«

Thomas Leya leitet die Arbeitsgruppe Extremophilenforschung & Biobank CCCryo (Culture

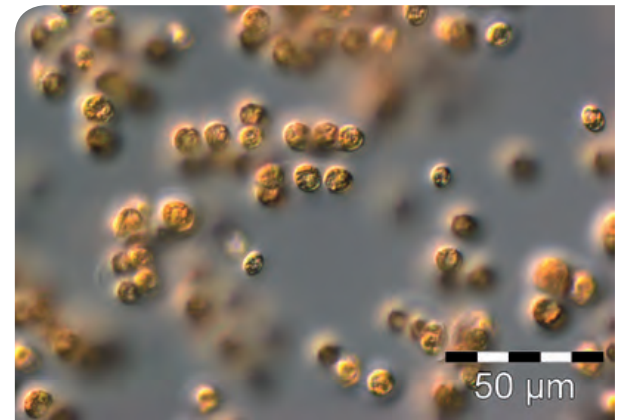


Collection of Cryophilic Algae) im Potsdamer Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse IZI-BB. Seit 18 Jahren beschäftigt sich das Team mit Überlebensstrategien kryophiler Organismen. Neben bestimmten Algenstämmen gehören dazu auch Moose, Pilze und Bakterien, vornehmlich aus polaren Regionen.

Auf vielen Expeditionen hat Leya bisher fast 500 Algen selbst gesammelt. Für den Flug ins All wählte er eine Blaualge aus der Antarktis (Cyanobakterium *Nostoc* sp. oder CCCryo 231-06) sowie eine Grünalge aus Spitzbergen (*Sphaerocystis* sp. oder CCCryo 101-99). Der Raumtransporter Progress hatte die Algen im Juli 2014 zur ISS gebracht. Den Rücktransport übernahm eine Sojus-Kapsel. Seit Juni sind die Algen wieder auf der Erde.

Analyse der Bio-Signatur

Das Experiment ist Teil des groß angelegten Projekts BIOMEX (Biology and Mars Experiment). Koordiniert wird BIOMEX von Dr. Jean-Pierre de



Durch Carotinoide rot gefärbte Dauerstadien der Grünalge *Sphaerocystis* sp. vor der Präparation für die Versuche auf der ISS. © ESA/Thomas Leya

In diesen Halterungen an der Außenseite der Weltraumstation ISS wurden verschiedene Organismen über eineinhalb Jahre den Bedingungen im Weltraum ausgesetzt. © ESA/ROSCOSMOS

Vera am Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum DLR in Berlin-Adlershof. Dass die Algen das Experiment überlebt haben, ist dabei nur ein Aspekt des Projekts. »Wir versuchen auch zu verstehen, wie die Biosignaturen von Organismen, wie zum Beispiel Carotinoide oder die DNA, sich im All verändern«, erklärt Fraunhofer-Experte Leya. Derzeit wird am DLR in Berlin mit speziellen Spektroskopieverfahren untersucht, ob sich Carotinoide, die vor UV-Strahlung schützen, nach dem Aufenthalt auf der ISS verändert haben. Und zusammen mit der TU-Berlin analysieren die Forscher, ob in der DNA einzelne Bereiche durch die mutagene UV-B- und UV-C-Strahlung geschädigt wurden. Diese Tests sind wichtig, weil UV-Strahlen auch die DNA des Menschen beschädigen können.

Die Schutzmechanismen der Algen gegen UV-Strahlung werden möglicherweise schon bald für praktische Anwendungen genutzt. Kosmetikfirmen könnten UV-Schutzcremes auf Algen-Basis herstellen. Für die Lebensmittelindustrie

sind die Algen wegen des hohen Gehalts an Omega-3-Fettsäuren ein ideales Nahrungsergänzungsmittel.

Der Blick der Forscher richtet sich jedoch noch weiter in die Zukunft. Wenn Menschen eines Tages zum Mars fliegen und den Roten Planeten besiedeln, dann wird die Produktion von Nahrungsmitteln ein entscheidender Faktor. Hier sind Algen vielversprechende Kandidaten, denn sie enthalten Nährstoffe wie Proteine, Mineralstoffe und Vitamine. Nicht umsonst stehen sie in asiatischen Ländern wie Japan, China oder Korea regelmäßig auf dem Speiseplan, etwa in Form von Seetang. Auch der beim Sushi beliebte »Nori« basiert auf getrockneten Algen.

Speiseplan auf dem Mars

Besonders robuste Algenstämme könnten für Menschen auf dem Mars eine Nahrungsgrundlage bieten oder den Speisezettel zumindest bereichern. Dazu wäre im Prinzip nur der Bau

von Kulturhäusern oder halbtransparenten Zelten erforderlich, die den kosmischen Strahlenanstrom dämpfen.

Die Algen-Experimente sind aber nicht nur für praktische Anwendungen in der Zukunft bedeutsam. Auch für die Erforschung der Entstehung des Lebens ergeben sich bemerkenswerte Schlussfolgerungen. Gespannt sind hier vor allem die Anhänger der sogenannten Panspermie. Die Theorie besagt, dass Meteoriten, die vor einigen Milliarden Jahren auf der Erde aufgeschlagen sind, Mikroorganismen mitgebracht haben. Erst die haben dann die biologische Evolution des Lebens auf der Erde in Gang gesetzt. Der Überlebensstest auf der ISS könnte der Theorie nun neuen Auftrieb geben. Mehr als 100 000 verschiedene Algenarten gibt es. Nur ein Bruchteil davon ist erforscht. Für Wissenschaftler wie Thomas Leya dürften sich auch in Zukunft viele neue Fragen stellen. Nach dem erfolgreichen Trip ins All steht zumindest eine Antwort schon fest: Algen sind echte Überlebenskünstler. ■

Neue Konzepte gegen Lungenfibrose

Die Diagnose Lungenfibrose ist für die Betroffenen ein ähnlicher Schicksalsschlag wie die Diagnose Krebs. Professor Antje Prasse arbeitet intensiv an neuen Ansätzen für die Therapie – als Oberärztin an der Medizinischen Hochschule Hannover und als Leiterin einer Attract-Forschungsgruppe am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM.

Text: Christine Broll

Das Sprechen fällt Franz S. schwer. Von seiner Nase führen zwei transparente dünne Schläuche zu einem Sauerstoffbehälter. »Trotz Sauerstoff bekomme ich vor allem beim Gehen schlecht Luft«, sagt der 61-Jährige, als er im Behandlungsraum des Clinical Research Center Hannover untersucht wird. »Ich bin sehr froh, dass ich hier an einer klinischen Studie mit neuen Medikamenten teilnehmen kann.« Seine behandelnde Ärztin, Professor Antje Prasse, hat heute eine Nachricht für ihn, die ihm weitere Hoffnung gibt: »Wir haben Sie auf die Warteliste für eine Lungentransplantation gesetzt.«

Vor zwei Jahren wurde bei Franz S. eine idiopathische pulmonale Fibrose, kurz IPF, diagnostiziert. Im Gegensatz zu vielen anderen Lungenfibrosen kennt man bei der IPF die Ursache nicht. Fest steht, dass sich das Bindegewebe, das die Lungenbläschen umgibt, unkontrolliert vermehrt und verhärtet. Dadurch gelangt nicht mehr genügend Sauerstoff ins Blut, die Patienten leiden unter zunehmender Atemnot, die schließlich zum Tod führt. Das Durchschnittsalter der Patienten liegt bei 68 Jahren, wichtiger Risikofaktor ist das Rauchen. Mit zwei neuen Medikamenten kann die Lebenserwartung von ursprünglich drei auf rund fünf Jahre verlängert werden. Letzter Ausweg ist eine Lungentransplantation, die für viele Patienten wegen ihres hohen Alters aber nicht infrage kommt.

In der Lungenfibrose-Ambulanz, die Antje Prasse als Oberärztin an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) aufgebaut hat, werden Patienten mit Lungenfibrose betreut. Damit ergänzt sie

das umfangreiche Behandlungsangebot der auf Lungenerkrankungen spezialisierten Klinik, die genau wie das ITEM zum Deutschen Zentrum für Lungenforschung gehört.

Über 600 Patienten aus ganz Norddeutschland kommen regelmäßig in die Lungenfibrose-Sprechstunden, um sich von dem Spezialistenteam untersuchen und behandeln zu lassen. Die Diagnostik ist sehr umfangreich: Lungenfunktionsprüfung, Blutgasanalyse, Bronchoskopie. Besonders aufschlussreich ist die Computertomographie. Denn bei IPF-Patienten sieht man im Lungengewebe charakteristische Strukturen, die an Bienenwaben erinnern: die Honigwabenzyklen. Da diese Gebilde so typisch für die Erkrankung sind, bilden sie auch einen wichtigen Schwerpunkt der Forschungen von Antje Prasse und ihrem Team am ITEM.

Forschung an Patientenproben

Jedes Mal, wenn die Oberärztin eine Bronchoskopie (Lungenspiegelung) macht, geht ihr Mitarbeiter Dr. Benedikt Jäger den kurzen Weg von den ITEM-Labors in die Klinik, um die bei der Untersuchung gewonnenen Proben zu holen. Ein Teil der Proben wird für die Diagnostik benötigt, ein anderer dient der Forschung.

Die Biobank der Arbeitsgruppe enthält Proben von Patienten mit Lungenfibrose. Victoria Wirtz sortiert die Proben auf Trockeneis und verwaltet die Datenbank. © Ralf Mohr

Benedikt Jäger schrieb bei Antje Prasse seine Doktorarbeit, als sie noch an der Universitätsklinik in Freiburg arbeitete. »Meine Oma hatte Lungenfibrose«, offenbart er, während er an der Sterilbank Proben aufarbeitet. »Manchmal bekam sie so starke Hustenanfälle, dass ich dachte, sie erstickt. Das motiviert mich, in dem Bereich zu forschen.« Jäger folgte Antje Prasse als Postdoc, als sie 2014 nach Hannover wechselte, und baute dort die neuen Labors mit auf.

Aus den Patientenproben isoliert der Diplom-Biologe verschiedene Zelltypen. Die Stammzellen, die im unteren Teil der Lunge vorkommen, bettet er in ein Gel ein und lässt sie im Brut-



schränk wachsen. Nach drei Wochen sind die meisten Zellen zu einem kugeligen Gebilde, einen Sphäroid, herangewachsen. Kultiviert man sie weiter, werden sie in der Mitte hohl und bilden eine Röhre. Diese Strukturen lassen sich hervorragend auf den Bildern erkennen, die Jägers Kollegin Victoria Wirtz mithilfe eines speziellen Lasermikroskops von den Sphäroiden anfertigt. »Wir vermuten, dass bei IPF-Patienten die Sphäroidbildung in der Lunge stattfindet und zu den Honigwabenzysten führt«, erklärt Jäger die Arbeitshypothese. Stammzellen von gesunden Probanden bilden nämlich keine Sphäroide.

Aber auch Bindegewebszellen, sogenannte Fibroblasten, scheinen eine Rolle im Krankheitsgeschehen zu spielen. Wenn Benedikt Jäger Fibroblasten aus der Lunge von IPF-Patienten zu Stammzellen von gesunden Probanden gibt, bilden sich ebenfalls Sphäroide. Ziel der Forscher ist, den Signalweg aufzuklären, der zum Sphäroidwachstum führt. Denn dann könnten Medikamente entwickelt werden, die den Prozess stoppen.

Testsysteme für die Industrie

Gleichzeitig entwickelt Prasses Attract-Gruppe mehrere Zellkultursysteme, an denen Pharmafirmen neue Wirkstoffe testen können. Basis dafür ist eine umfangreiche Biobank, die ein breites Spektrum von Patientenproben enthält, zum Beispiel Serum, Plasma und bronchiale Stammzellen. Gepflegt wird die Datenbank, in der alle Informationen zu den Proben katalogisiert sind, von Victoria Wirtz. Die Biologielaborantin kümmert sich auch um die sachgerechte und übersichtliche Lagerung des kostbaren Probenmaterials, das in Minus-80-Grad-Truhen im Keller des ITEM aufbewahrt wird. »Für die Pharmafirmen ist unsere Biobank deshalb so interessant, weil wir zu den jeweiligen Proben auch den klinischen Befund kennen«, erklärt ihre Teamleiterin.

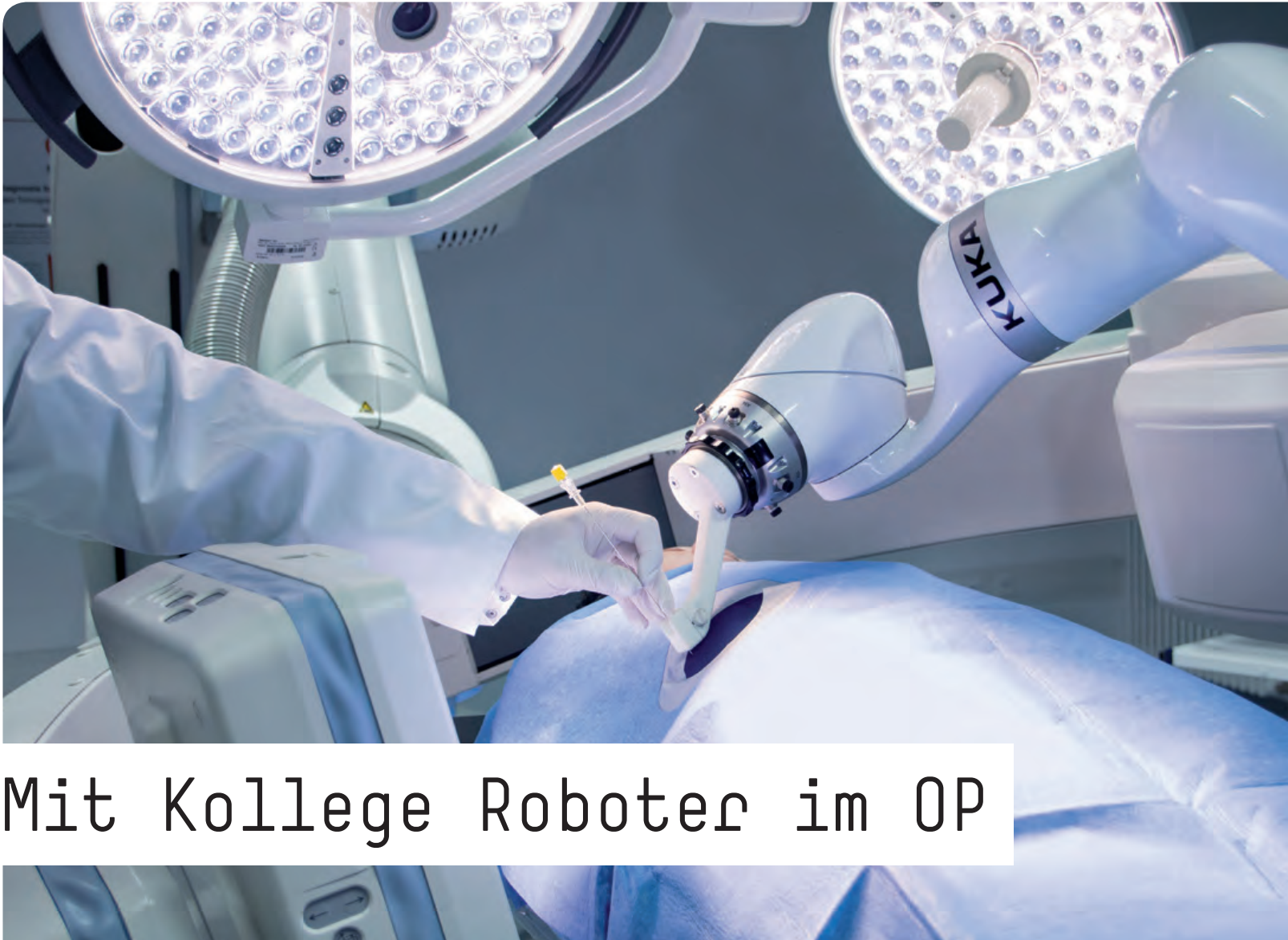
Mit mehreren pharmazeutischen Unternehmen arbeitet Antje Prasse bereits seit vielen Jahren als Leiterin klinischer Studien zusammen. Die ausgedehnten Studien der Phase III, die für die

Zulassung relevant sind und an denen jeweils mehrere hundert Probanden teilnehmen, laufen an der MHH. Für die frühen Phasen der klinischen Studien steht das Clinical Research Center zur Verfügung. Das 2014 eröffnete Zentrum wird gemeinsam vom Fraunhofer ITEM, der MHH und dem Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung betrieben. Es bietet modernste diagnostische Möglichkeiten, um die Wirksamkeit und Verträglichkeit neuer Medikamente zu untersuchen sowie neue Therapiekonzepte zu testen.

An einer dieser Studien nimmt auch Franz S. teil. Dabei wird die Kombination des bereits zur Behandlung der IPF zugelassenen Wirkstoffs Pirfenidon mit einem anderen Medikament getestet. Der Hersteller hofft, damit die Verhärtung des Lungengewebes aufzuhalten. Diese Hoffnung teilt auch Franz S. ■

Professor Antje Prasse (r.) entnimmt einem gesunden Probanden durch Bronchoskopie Probenmaterial für ihre Forschungen zur Lungenfibrose. © Ralf Mohr





Mit Kollege Roboter im OP

Roboter im Krankenhaus? Das ist längst keine Science-Fiction mehr. Die Wissenschaft tüfelt an einem Assistenten für den Operationsaal. Der soll einmal Ärztinnen und Ärzten helfen, Interventionsnadeln bei einer Biopsie optimal zu positionieren. Der einarmige Roboter spielt auch eine Hauptrolle im »Operationsraum der Zukunft« M²OLIE, den zahlreiche Forschungseinrichtungen in Mannheim entwickeln.

Text: Andrea Schwendemann

Ein Roboter-Arm hält eine Nadelführung an ein Phantom. Durch diese Führung sticht ein Forscher eine Biopsienadel ein.
© Vanessa Stachel, Fraunhofer IPA

Fast täglich steigt Andreas Rothfuss, ein kräftiger Mann mit strahlend blauen Augen, die 18 Treppenstufen von seinem Büro in den Keller des Cubex⁴¹ auf dem Gelände des Universitätsklinikums Mannheim hinab, um im Operationssaal zu arbeiten. Doch Andreas Rothfuss ist kein Arzt oder Pfleger. Rothfuss ist Wissenschaftler bei der Fraunhofer-Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie PAMB des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Der Job des 30-Jährigen: Er soll einem Roboter-Arm, den er liebevoll »Robbie« nennt und der im Experimental-OP mit Endoskopietürmen, OP-Tischen und dem bildgebenden Hightech-Röntgensystem Artis zeego steht, etwas beibringen: das Platzieren von Interventionsnadeln bei einer Biopsie.

Der 40 Kilogramm schwere Leichtbauroboter der Firma Kuka ist auf einer mobilen Plattform montiert und kann seinen Arm ähnlich wie ein Mensch bewegen. Solche Roboter-Arme werden schon lange in der Industrie eingesetzt, jetzt werden sie von Rothfuss und Kollegen für medizinische Zwecke weiterentwickelt.

 <http://pamb.ipa.fraunhofer.de>

Nehmen wir an, bei einem Patienten wurde ein Schatten auf der Leber festgestellt. Ein Tumor? Um dies zu verifizieren, hilft meist nur eine Biopsie. Dabei entnimmt der Arzt oder die Ärztin mit einer langen Nadel ein Stück des verdächtigen Gewebes und lässt es im Labor untersuchen.

Die Nadel für diese Entnahme präzise zu platzieren ist schwierig und zeitaufwendig. Zum einen gilt es sicherzustellen, dass der Mediziner den Tumor erwischt und nicht das gesunde Gewebe einige Millimeter daneben. Zum anderen darf die Nadel Adern, Nervenbahnen und andere Organe nicht verletzen. Ein erfahrener Arzt braucht etwa 30 Minuten, um solch einen Eingriff durchzuführen. Mit dem Roboterassistenten schafft er es in fünf. »Während Menschen sich mit dem Platzieren einer solchen Nadel schwertun, sind Roboter mit entsprechender Intelligenz dabei kaum zu schlagen«, sagt Rothfuss. »Unser System nimmt dem Arzt die Schwierigkeiten ab, wie zum Beispiel die optimale Platzierung an der Einstichstelle und die Bestimmung des Eintrittswinkels, den Vorschub der Nadel hingegen überlässt es weiterhin dem Arzt.«

Der Leichtbauroboter und die »zweite Meinung«

Rothfuss schreibt die Programme für den Roboter-Arm in seinem Büro und testet sie anschließend im OP-Saal an Nachbildungen von menschlichen Körpern, an »Phantomen«, wie er diese Modelle nennt. »Robbie« ist pro Tag bis zu zehn Mal im Einsatz und rechnet mithilfe moderner Bildgebungs- und -verarbeitungsverfahren die Einstichstelle aus. Rothfuss selbst sticht dann zu, um zu kontrollieren, ob der Roboter ihn an die richtige Stelle geführt hat.

Die Idee für »Robbie« hatte Professor Jan Stallkamp, der die Fraunhofer-Projektgruppe PAMB in Mannheim leitet. »Dass der Arzt die Nadel selbst vorschiebt, ist gewollt«, erklärt Stallkamp. »Denn der Mensch hat ein Gefühl dafür, ob er ein Gefäß oder eine Ader trifft. Aber der Roboter ist für den Mediziner eine zusätzliche Sicherheit im OP, eine Art zweite Meinung.«

Geringere Strahlenbelastung für Arzt und Patient

Der Roboter-Arm soll die Arbeit im OP-Saal bald nicht nur effizienter, sondern auch sicherer machen für den Arzt. Denn der orientiert sich an aktuellen Röntgenbildern, während er die Nadel ins Gewebe schiebt. Da er bisher die Nadel festhalten musste, verdeckte seine Hand einen Teil der Aufnahme – und war somit den Röntgenstrahlen ausgesetzt. Nun hält der Roboter die Nadel mit seiner Führung fest – dem Assistenten aus Metall macht die Strahlenbelastung nichts aus. Auch für den Patienten wird die Strahlenbelastung geringer: Da der Mediziner die Nadel durch die Nadelführung schiebt, kann sie nicht verrutschen. Daher sind weniger Kontrollaufnahmen nötig. Wenn alles gut läuft, so hoffen die Fraunhofer-Forscher, könnte »Robbie« bereits in drei Jahren den Forschungs-OP von Rothfuss verlassen und echten Ärzten assistieren.

»Robbie« spielt auch bei M²OLIE eine Hauptrolle

Der Roboter-Arm »Robbie« ist auch das Herzstück des Forschungscampus M²OLIE (Mannheim Molecular Intervention Environment) (siehe Kasten), an dem insgesamt 17 Partner arbeiten, darunter auch das IPA. Ziel von M²OLIE

Forschungscampus M²OLIE

Beteiligte Forschungseinrichtungen und Unternehmen

- Universität Heidelberg
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- Klinikum Mannheim GmbH
- QIT Systeme GmbH & Co. KG
- Universität Mannheim
- Hochschule Mannheim
- Q-bios GmbH
- Deutsches Krebsforschungszentrum
- Leica Biosystems Nussloch GmbH
- Mint Medical GmbH
- Bruker BioSpin MRI GmbH
- Maquet GmbH
- Carl Zeiss Meditec AG
- Siemens Healthcare GmbH
- KUKA Roboter GmbH
- Infomotion GmbH

ist ein »Operationsraum der Zukunft«, in dem Krebspatienten, bei denen sich schon bis zu fünf Metastasen gebildet haben, innerhalb eines Tages in einem One-Stop-Shop behandelt werden. Das sind immerhin 20 Prozent der Betroffenen. Bislang werden diese Patienten nur palliativ behandelt – ohne Aussicht auf Stabilisierung. Sie müssen zudem über Wochen oder Monate immer wieder in die Klinik. Das soll dank M²OLIE anders werden: Die Tumor-Patienten sollen in einem »Closed-Loop-Prozess« nur für einige Stunden ins Krankenhaus, die individuelle molekulare Therapie soll das Wachstum des Tumors und der Metastasen begrenzen und somit ein jahrelanges Überleben ermöglichen.

Seit 2013 forschen etwa 60 Fachleute aus Medizin, Naturwissenschaft, Informatik und Betriebswirtschaftslehre in interdisziplinären Teams an dieser hochkomplexen und visionären Aufgabe. Und »Robbie« spielt bei M²OLIE eine Hauptrolle. Er soll nicht nur Interventionsnadeln platzieren, sondern auch therapieren: etwa Bestrahlungen vornehmen oder Therapeutika spritzen. Bis es so weit ist, muss der Roboter noch viel lernen. Aber er hat ja gute »Lehrer« wie Andreas Rothfuss, der noch unzählige Male von seinem Büro die 18 Stufen in den Keller des Cubex⁴¹ auf dem Gelände des Universitätsklinikums Mannheim hinab rennen wird, um im experimentellen OP-Saal an »Robbie« zu forschen. ■

Spin-offs

Kleinste Flüssigkeitsmengen handhaben

Pharma- und Biotechunternehmen arbeiten oft mit kleinsten Flüssigkeitsmengen. Bei großen Messreihen muss das Dosieren unterschiedlichster Flüssigkeiten aus Zeit- und Kostengründen hochpräzise und extrem schnell ablaufen. Herkömmliche Technologien erfüllen die Anforderungen oft nur unzureichend, besonders beim Umgang mit kaum wahrnehmbaren Flüssigkeitsmengen im Nanolitermaßstab. »Die bislang verfügbaren Geräte haben eine zu große Fehlerhäufigkeit in diesem Volumenbereich«, weiß Harry Böltz, Geschäftsführender Gesellschafter der Dispendix GmbH in Stuttgart.

Das soll sich mit einem neuartigen Verfahren grundlegend ändern. Das Spin-off-Unternehmen Dispendix, eine Ausgründung aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, ist Lizenznehmer der »Immediate Drop on Demand Technologie«, kurz I-DOT. Das kontaktlose Dispensieren von Flüssigkeiten im Nano- bis in den Mikroliterbereich wurde am IPA entwickelt und kann Flüssigkeiten, aber auch lebende Zellen äußerst genau, sehr schnell und einfacher als bisher handhaben. Die Liquid-Handling Technologie beruht auf einem Druckimpuls, der von oben auf eine Flüssigkeitssäule gegeben wird und Tropfen von etwa fünf Nanoliter auslöst. Das System lässt sich in jedem modernen Labor als Einzelgerät betreiben und ist für den Hochdurchsatz automatisierbar.

Böltz und sein Team haben bereits fünf einsatzreife Prototypen gebaut, die bei Anwendern und in Biomarkerprojekten in Betrieb sind. Gerade werden neue Geräte produziert, die im laufenden Jahr ausgeliefert werden. Mit der I-DOT Technologie lassen sich schon heute in einem Dispensierlauf bis zu 96 Flüssigkeiten mit den unterschiedlichsten physikalischen Eigenschaften verarbeiten. »Das I-DOT-System ist das schnellste Instrument auf dem Markt, das fehlerlos meist ohne weitere technische Hilfsmittel wie Temperatur- und Feuchtekontrolle arbeitet«, versichert Bötz. Entwicklungspartner ist neben dem Fraunhofer IPA das Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI. In Zukunft wird für den Umgang mit lebenden Zellen ein spezielles Dispensiersystem zur Verfügung stehen. »Das ist für Pharmaunternehmen interessant, die aus Zellkulturen Antikörper für therapeutische Wirkstoffe produzieren«, sagt Böltz.

Harry Böltz
www.dispendix.com

dispendix 

Virtuelle Werbung für TV-Sportübertragungen

Bei Live-Übertragungen von Sport-Events nutzen Sponsoren und markenbewusste Konzerne gerne die elektronische LED-Bandenwerbung im Sportstadion. Mit Hilfe der Digital-Overlay-Technik erweitern sich die Nutzungsmöglichkeiten dieser stationären Werbeflächen jetzt enorm: »VirtualAds bietet Lösungen für individualisierte Werbung im Live-TV-Bereich an. Kundenspezifische Werbung, die bisher vorwiegend im Internet möglich war, funktioniert jetzt auch im Fernsehfeld«, sagt Markus Laub, CEO & Co-Founder der in Basel ansässigen VirtualAds Ltd.

Die digitale Overlay-Technologie ersetzt die im Stadion vorhandene Bandenwerbung mit der Werbebotschaft eines anderen Sponsors und überträgt die virtuell angepassten Bilder live auf den heimischen Fernseher. Der virtuelle Ersatz beeinträchtigt weder die TV-Produktion, noch lassen sich Unterschiede zwischen realer und virtueller Werbung erkennen. Die entscheidenden Schritte der Technologie wurden gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS entwickelt. Nach einer vierjährigen intensiven Evaluationsphase wurde VirtualAds 2015 von Swisscom Ventures und Markus Laub in der Schweiz gegründet. Im Jahr 2016 beteiligte sich die Fraunhofer-Gesellschaft an dem Unternehmen.

Um die virtuelle Werbung auf LED-Werbebanden im Fußballstadion ins richtige Bild zu setzen, nutzt das System ein patentiertes Verfahren. Die Kameras erkennen auf den Werbeflächen für das menschliche Auge nicht wahrnehmbare Informationen. Auf dieser Basis wird dann die virtuelle Werbung in Echtzeit platziert und als Stream mit dem Fernsehsignal ausgestrahlt. Für werbende Unternehmen eine attraktive Möglichkeit, Inhalte wunschgerecht auf Zielgruppen zuzuschneiden. »Die Werbeflächen eines Events können mehrfach vermarktet werden, was massiv höhere Werbeumsätze ermöglicht«, betont Markus Laub. Das digitale Advertising-System bietet VirtualAds als mietbaren Service in einem weltweit agierenden Netzwerk mit Rechteinhabern, Agenturen und LED-Produzenten an. Dieses Geschäftsmodell hält Laub für besonders geeignet, um höchste Qualität zu garantieren und gleichzeitig den Rechteinhabern hohe Basisinvestitionen zu ersparen. Auch Weiterentwicklungen stehen bereits auf der Agenda: VirtualAds plant die Portierung des Systems auf Setup-Boxen und Smartphones.

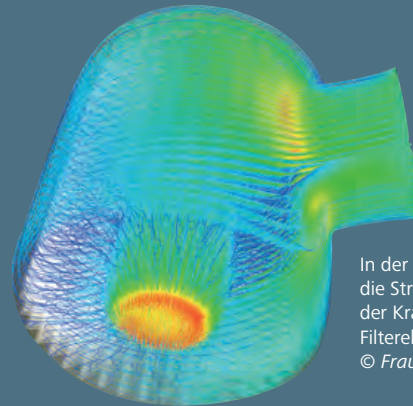
Markus Laub
www.virtualads.com

 VIRTUALADS

Virtueller Prüfstand für bessere Filter

Im Automobilbau sind Filter gegen Partikel und Schadstoffe gefragter denn je. Eine Simulationssoftware berechnet jetzt für jedes Filterdesign die damit erzielbare Reinigungsleistung und analysiert die Funktionsdauer des Gesamtsystems.

Text: Andreas Beuthner



In der Simulation zeigen die Stromlinien, wie schnell der Kraftstoff durch das Filterelement strömt.
© Fraunhofer ITWM

Moderne Fahrzeugfilter reinigen Luft oder Flüssigkeiten und nehmen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch sowie den Schadstoffausstoß von Verbrennungsmotoren. Schwer durchgängige oder beschädigte Filter sind nicht selten Ursache für Fehlfunktionen von Motor und Getriebe oder dicke Luft im Fahrzeuginnenraum. Deshalb hat sich die Filtertechnik in den vergangenen Jahren enorm weiterentwickelt: Fahrzeugfilter müssen unter rauen Umgebungsbedingungen und in kleinstem Bauraum Schmutz- und Schadstoffe aufhalten oder Einspritzsysteme vor Verunreinigung schützen. Probleme bereiten neben der Vielfalt vor allem die Fertigung geometrisch anspruchsvoller Filterelemente.

Entwicklungsingenieure, die sich mit der optimalen Auslegung von Filterelementen befassen, müssen die gefalteten Filtermedien und die Filtrationsprozesse den individuellen Anforderungen und dem verfügbaren Bauraum anpassen. Dabei geht es beispielsweise bei Kraftstofffiltern um die Aufnahmekapazität von Schmutzpartikeln ebenso wie um eine einwandfreie Filtration bei hohen und wechselnden Volumenströmen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM haben dafür die »Filter Element Simulation Toolbox« (FiltEST) entwickelt, die auf die Simulation von Filterelementen und die zugehörigen Testprozeduren spezialisiert ist. »Filterexperten erhalten ein auf ihre Bedürfnisse maßgeschneidertes Simulationswerkzeug, das viele ISO-Standards abdeckt«, sagt Dr. Ralf Kirsch, Forscher am ITWM.

Die wesentlichen Bestandteile der Simulation sind die Berechnung des Strömungsfelds im Filterbauteil und der Abscheidung

von Partikeln in oder auf den Filtermedien. Den Fraunhofer-Experten ist es gelungen, den Rechenaufwand für die Simulation erheblich zu reduzieren, ohne die Qualität der Ergebnisse zu beeinträchtigen. Das betrifft vor allem die komplexen Wechselwirkungen zwischen den zahlreichen Strömungsparametern und der davon betroffenen Partikelabscheidung. »Wir arbeiten mit Partikel-Konzentrationen und berechnen nicht mehr das Verhalten einzelner Partikel«, erläutert Kirsch.

Simulation statt Prototypen

Grundlage der Simulation ist die Modellierung des Zusammenspiels von Partikelabscheidung und Strömungswiderstand des mit Reststoffen beladenen Filtermediums. Die Toolbox enthält inzwischen ein recht weites Spektrum von Modellen, mit denen sich zuverlässig und sehr schnell feststellen lässt, welche Auswirkungen eine Änderung der Produktauslegung auf die Filterleistung nach sich zieht. Der Vorteil liegt auf der Hand: Entwickler müssen nicht erst Prototypen fertigen, um Filtervorgänge prüfen zu können.

Anstelle von Prototypenbau und aufwendigen Messreihen berechnet die Simulationssoftware sowohl den Anteil der Partikel, die das Filtermedium bei gegebener Bauform, Filterfaltung und Einbaubedingung passieren lässt, als auch den Partikelanteil, der im Filter hängen bleibt. Daraus leiten Hersteller nicht nur die spezifischen Leistungsdaten und Qualitätsanforderungen des jeweiligen Designs ab, sondern können auch entscheiden, ob eine wirtschaftliche Produktion im Einzelfall realisierbar ist. »Das bedeutet eine immense Arbeitserleichterung für die Entwickler, spart Zeit und Kosten«, betont Kirsch. ■



Traditionelle Fertigungsmethoden verknüpft mit Zukunftstechnologien und digitalen Produktionsverfahren.
© Fraunhofer ENAS

»Go Beyond 4.0«

Kleinserien und Unikate unter Massenproduktionsbedingungen herzustellen, verlangt nach neuen Fertigungsstrategien. Dieser Herausforderung stellt sich das neue Fraunhofer-Leitprojekt »Go Beyond 4.0« unter der Führung des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS. Projektleiter ist Professor Thomas Otto, kommissarischer Leiter des ENAS in Chemnitz.

Das Leitprojekt verknüpft traditionelle Fertigungsmethoden mit Zukunftstechnologien und digitalen Produktionsverfahren. Entwickelt werden digitale Druck- und Laserverfahren, die bislang kaum in der Massenproduktion eingesetzt

werden, um Produkte zu individualisieren. Dabei ließen sich mit dieser Kombination Serienprodukte ressourcenschonend und kosteneffizient bis hin zum Unikat individuell gestalten.

Anhand von drei marktrelevanten Anwendungsbereichen in den Fertigungsdomänen Automobilbau, Luftfahrt und Beleuchtungstechnik konzipieren die Forscherinnen und Forscher neue Strategien und Prozessinnovationen. So sollen etwa Material auftragende (Druck) und Material abtragende (Laser) Digitalmodule je nach Bedarf in bestehende Prozessketten integriert werden.



Das Team der Fraunhofer Academy feiert sein zehnjähriges Bestehen. © Fraunhofer

Zehn Jahre Fraunhofer Academy

Mit einer Open Conference zum Thema »#Digital ist besser« feierte die Fraunhofer Academy im Fraunhofer-Forum Berlin ihr zehnjähriges Bestehen. Sie war 2006 im Rahmen des Pakts für Forschung und Innovation für den Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie gegründet worden. Professor Georg Rosenfeld, Gründungsvater der Fraunhofer Academy und heute Fraunhofer-Vorstand, würdigte die er-

folgreiche Arbeit: »Mit der Fraunhofer Academy ist es uns gelungen, Fraunhofer als Vorreiter für den Transferpfad Technologie-orientierter Weiterbildung im deutschen Wissenschaftssystem zu positionieren.« Hervorgegangen aus fünf Gründungsinstituten und drei Partner-Universitäten, bildet die Academy heute ein Netz aus über 20 Instituten und zehn Universitäten oder Hochschulen.

Fraunhofer auf Messen

März

20. – 24. März
CeBIT, Hannover
IT-Messe
www.cebit.de

April

4. – 6. April
Medtec, Stuttgart
Fachmesse und Kongress für Design und Technologie medizinischer Ausrüstung
www.medteceurope.com

24. – 28. April
Hannover Messe
Internationale Industriemesse
www.hannovermesse.de

Mai

9. – 12. Mai
Control, Stuttgart
Internationale Messe für Qualitätssicherung
www.control-messe.de

9. – 12. Mai
Transport und Logistik, München
Internationale Messe für Logistik, Mobilität, IT und Supply Chain Management
www.transportlogistic.de

Informationen zu allen Messen:
www.fraunhofer.de/messen
www.fraunhofer.de/veranstaltungen

Franziska Kowalewski
Susanne Pichotta

franziska.kowalewski@zv.fraunhofer.de
susanne.pichotta@zv.fraunhofer.de

Personalien

Die Katholische Universität Löwen in Belgien hat **Professor Reimund Neugebauer** die Ehrendoktorwürde verliehen. Der Fraunhofer-Präsident wurde von der Fakultät für Ingenieurwesen für seine wissenschaftlichen Arbeiten in den Fachbereichen Maschinenbau und Produktionstechnik ausgezeichnet.

Ein Team aus Fraunhofer-Forschern des Centers for Research in Security and Privacy (CRISP) wurde mit dem Deutschen IT-Sicherheitspreis ausgezeichnet, der von der Horst Görtz-Stiftung verliehen wird. **Dr. Siegfried Rasthofer, Steven Arzt** und **Marc Miltenberger** (alle Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT und Technische Universität Darmstadt) sowie **Professor Eric Bodden**, Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM/Heinz Nixdorf-Institut Universität Paderborn erhielten den Preis für die Entwicklung der »Harvester«-Analysetechnik. Sie extrahiert vollautomatisch sicherheitsrelevante Informationen aus Android-Apps, auch wenn diese verschleiert wurden.

Professor Peter Liggesmeyer, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern, wird Mitglied im Landesrat Rheinland-Pfalz für digitale Entwicklung und Kultur. Ministerpräsidentin Malu Dreyer stellte den neuen Landesrat bei der Präsentation des Digital-Dialogs »Rheinland-Pfalz digital. Wir vernetzen Land und Leute« vor.

Beim Bionik-Kongress 2016 in Bremen erhielt das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT mit der RWTH Aachen und der Johannes Kepler Universität Linz den »International Bionic Award« für die beste Idee und die vorbildliche interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Produktionstechnikern und Naturwissenschaftlern. **Kai Winands** und **Mario Pothen** vom IPT hatten gemeinsam mit ihren Forschungspartnern **Dr. Philipp Comanns** von der RWTH Aachen und **Gerda Buchberger** von der Universität Linz Strukturen für den gerichteten, passiven Flüssigkeitstransport auf Oberflächen aus verschiedensten Werkstoffen entwickelt. Vorbild war die texanische Krötenechse: Mit ihrer Schuppenstruktur sammelt sie kleinste Wassermengen aus der Umgebung und benetzt ihre Haut damit, während Kapillaren in der Hautoberfläche das Wasser zum Maul transportieren.

Impressum

Fraunhofer-Magazin »weiter.vorn«:
Zeitschrift für Forschung, Technik und Innovation.
Das Magazin der Fraunhofer-Gesellschaft
erscheint dreimal pro Jahr.
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

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

Redaktion:
Janis Eitner (V.i.S.d.P.), Marion Horn (Chefredaktion), Franziska Kopold (Chefredaktion), Christine Broll, Markus Jürgens (Bild)

Redaktionelle Mitarbeit:
Janine van Ackeren, Max Alexandrin, Andreas Beuthner, Andrea Bischhoff, Ines Bruckschen, Ralph Diermann, Helga Eisch-Hagenauer, Frank Grotelüschen, Inés Gutiérrez, Klaus Jacob, Christian Jung, Chris Löwer, Bernd Müller, Michael Ochs, Monika Offenberger, Claudia Reis, Tim Schröder, Andrea Schwendemann, Tobias Steinhäuser, Mehmet Toprak, Britta Widmann, Gabriele Winter

Graphische Konzeption: BUTTER. Düsseldorf
Layout + Litho: Vierthaler & Braun, München
Titelbild: iStock
Druck: H. HEENEMANN GmbH, Berlin

Anzeigen: Heise Medien GmbH & Co. KG
Technology Review, Karl-Wiechert-Allee 10
30625 Hannover, Telefon +49 511 5352-571
www.heise.de/mediadaten

© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2017

ClimatePartner^o
klimaneutral
Druck | ID 53170-1511-1005





DIALOGPOST
Ein Service der Deutschen Post

weiter.vorn
als app,
so oder so.



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

Ab Ende März 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