

weiter.vorn

Das Fraunhofer-Magazin

2/16

Produzieren 4.0



Life Sciences

Stammzellen aus der Fabrik

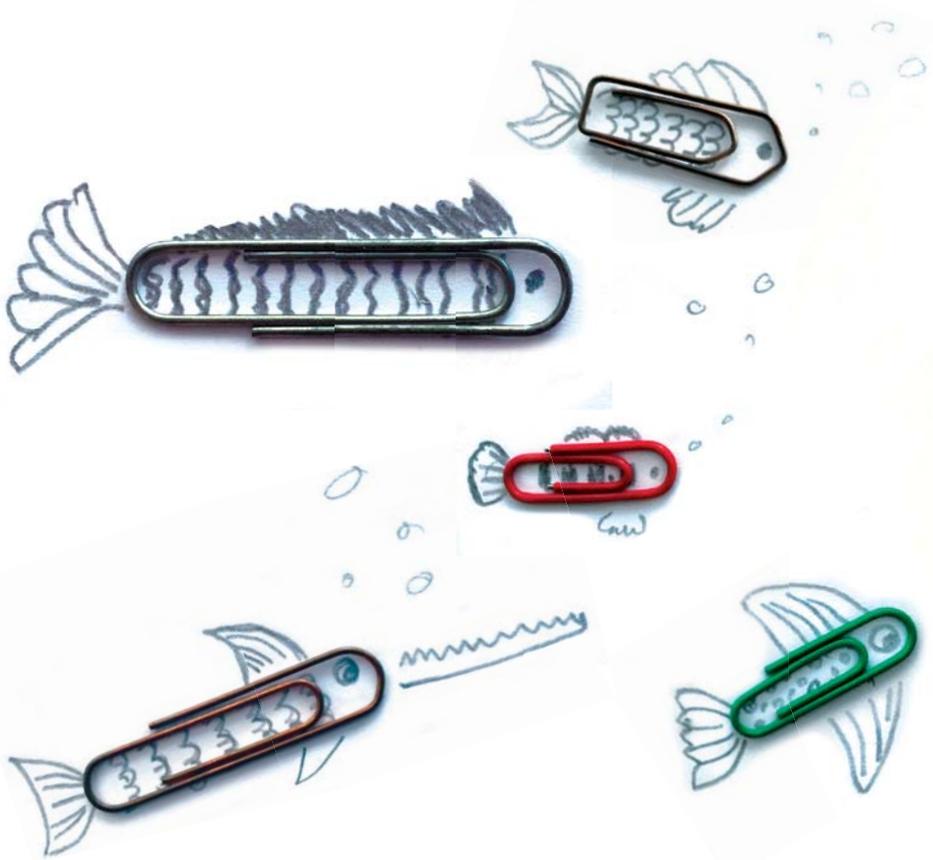
Mobilität

Fahren oder gefahren werden

Nachhaltigkeit

Energiewende ist machbar

Welches Ziel haben Sie vor Augen?



WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

- Innovation erleben
- Berufsbegleitend qualifizieren
- Wissensvorsprung sichern

 **Fraunhofer**
ACADEMY

www.academy.fraunhofer.de

Digitalisierung aktiv gestalten



Prof. Dr. Reimund Neugebauer. © Stefanie Aumiller

Deutschland gehört seit Jahrzehnten zu den erfolgreichsten Industrienationen der Welt. Laut des Statistikportals Statista betrug der Anteil des produzierenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung in Deutschland im Jahr 2015 knapp 26 Prozent. Damit ist die industrielle Fertigung ein entscheidender Garant für Innovation, Wachstum, Wohlstand und soziale Stabilität in unserem Land. Umso wichtiger ist es, dass die digitale Transformation der Fertigung, der Übergang zur Industrie 4.0, gelingt.

Aber was bedeutet Industrie 4.0? Künftig ist die Produktion noch stärker mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik verzahnt. Werkstücke, Maschinen und Anlagen sind nicht nur mit Rechnern, Sensoren und Aktoren ausgestattet, sondern auch miteinander vernetzt. So können sie selbständig Informationen austauschen und untereinander sowie mit den Menschen interagieren. Damit kann ein Unternehmen seine Produktion nicht nur wesentlich effizienter gestalten und deutlich flexibler auf die Bedürfnisse des Marktes ausrichten. Die digitale Transformation wird jedoch etablierte Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsprozesse grundlegend verändern.

Dieser Wandel stellt die deutsche Industrie nicht nur vor Herausforderungen, sondern eröffnet auch große Chancen. Allein für die sechs Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, Automobilbau, chemische Industrie, Landwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie wird bis 2025 ein zusätzliches jährliches Wachstum von 1,7 Prozent durch Industrie 4.0-Technologien erwartet. Das hat die Studie »Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland« ergeben, die das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO im Jahr 2014 für den Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. BITKOM erstellte. Damit die digitale Transformation jedoch ein Erfolg wird, müssen jetzt die Weichen gestellt werden. Fraunhofer engagiert sich deswegen gemeinsam mit Vertretern von Verbänden, Gewerkschaften und Politik in der »Plattform Industrie 4.0«. Darüber hinaus

arbeitet Fraunhofer gemeinsam mit der Industrie an Lösungen für die Fertigung der Zukunft. Einige aktuelle Projekte stellen wir Ihnen in der Titelgeschichte vor.

In der Fabrik der Zukunft wird der Mensch eine entscheidende Rolle innehaben. Er ist der regulierende Entscheider innerhalb der vernetzten und dezentralen Produktions- und Logistiksysteme. Damit er diese Position einnehmen kann, stellen Smart Devices wie Smart Phones, Tablets oder Smart Glases den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern künftig die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereit. Die Unterstützung der kognitiven Fähigkeiten sowie der körperlichen Möglichkeiten einer immer älter werdenden Belegschaft ist ein entscheidender Mehrwert der Industrie 4.0-Konzepte. Wie der Mensch in der Fabrik der Zukunft eingebunden ist, erfahren Sie in der Titelgeschichte sowie in dem Artikel »Produzieren ohne starre Pläne« (s. S. 16).

Lösungen für die Bedürfnisse der Menschen wie Gesundheit, Sicherheit, Mobilität, Arbeit, intakte Umwelt oder Energie zu entwickeln, ist ein Schwerpunkt der Fraunhofer-Forschung. Unter dem Motto »Der Mensch im Mittelpunkt« rückt das Fraunhofer-Themenjahr 2016 die vielfältigen Arbeiten hierzu nun stärker in den Fokus. In dieser Ausgabe finden Sie eine kleine Auswahl aktueller Projekte. So arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an neuen Therapien zur Behandlung chronischer Wunden (s. S. 24), entwickeln Konzepte für das autonome Fahren (s. S. 44) oder untersuchen, wie unsere Energieversorgung künftig mit Strom und Wärme aus erneuerbaren Quellen erfolgen kann (s. S. 50).



08

Titelthema

Produzieren 4.0

In der Fabrik der Zukunft wandeln sich Produktionsanlagen zu komplexen cyber-physischen Systemen, die mechanische Objekte mit eingebetteter Software über das Internet vernetzen.



18

Infektionen an Zahnimplantaten vermeiden

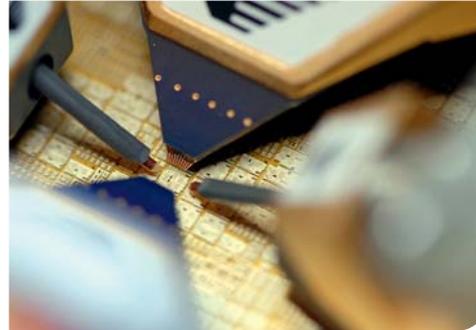
Eine angewachsene Zelle auf einem Zahnimplantat.



32

Stammzellen aus der Fabrik

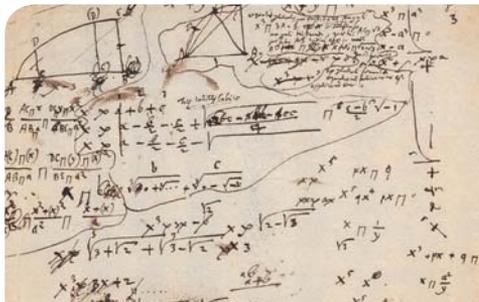
In der »StemCellFactory« werden Stammzellen automatisiert hergestellt.



36

Effiziente Elektronik für Mobilfunk

Hocheffiziente Leistungsverstärker aus dem Halbleitermaterial Galliumnitrid.



38

Ein Gedankengebäude aus Papierschnipseln

Universalgenie Gottfried Wilhelm Leibniz notierte seine Gedanken auf handgeschöpftem Papier.



42

Autos im Zwiegespräch

Beim hochautomatisierten Fahren hält das Auto selbst die Spur.

Inhalt

06 Spektrum

48 Fraunhofer visuell

54 Fraunhofer inside

55 Kompakt

56 Panorama

57 Personalien

57 Impressum

58 Gründerwelt

Titelthema

08 Produzieren 4.0

Individuelle Produkte schnell, flexibel und nachhaltig fertigen – Industrie 4.0 soll es möglich machen.

Produktion

14 Vernetzt zum Ziel

Forscherinnen und Forscher nehmen intelligente Presshärtelinie in Betrieb.

16 Produzieren ohne starre Pläne

Auch in der Fertigung der Zukunft spielt der Mensch eine entscheidende Rolle.

Werkstoffe

18 Infektionen an Zahnimplantaten vermeiden

Eine Plasma-Implantatbeschichtung mit Silberionen tötet Erreger ab.

20 In der Wärme liegt die Kraft!

Erwärmt man Formgedächtnislegierungen, kehren sie in ihre Ausgangsform zurück.

22 Meeresbewuchs giftfrei bekämpfen

Umweltfreundliche Schichten verhindern die Anlagerung von Seepocken und Muscheln.

Life Sciences

24 Haut heilen

Forscher entwickeln neue Therapieansätze für die Behandlung chronischer Wunden.

26 Schnelle Bilder aus der Röhre

Mit einer neuen Methode lassen sich MRT-Bilder vom schlagenden Herzen aufnehmen.

28 Pollen verschlimmern Neurodermitis

Der Gräserpollenflug hat einen Einfluss auf Neurodermitis.

30 Mikroben schneller bestimmen

Mit DNA-Sequenzierungstechnologien lassen sich Mikroorganismen schnell identifizieren.

32 Stammzellen aus der Fabrik

Experten entwickeln eine Anlage, mit der sich Stammzellen automatisiert herstellen lassen.

Kommunikation

36 Effiziente Elektronik für Mobilfunk

Fraunhofer-Forscher entwickelt hocheffiziente Leistungsverstärker.

38 Ein Gedankengebäude aus Papierschnipseln

Ein Assistenzsystem soll helfen, die zerissenen Notizen des Wissenschaftlers Gottfried Wilhelm Leibniz zu rekonstruieren.

40 Stadtplanung wird smart

Virtuelle 3D-Modelle erleichtern die Stadtplanung und Bürgerbeteiligung.

Mobilität

42 Autos im Zwiegespräch

Kraftfahrzeuge sollen künftig miteinander kommunizieren und ihr Verhalten abstimmen.

44 Fahren oder gefahren werden

Industrie und Forschung arbeiten an selbstfahrenden Autos.

Innovationsforum

47 Wissenschaft und Wirtschaft online vernetzt

Fraunhofer startet ein Portal für Wirtschaft und Industrie.

Nachhaltigkeit

50 Energiewende ist machbar

Experten haben berechnet, wie teuer der Umstieg auf nachwachsende Ressourcen wird.

53 LEDs wirtschaftlich recyceln

Eine neue Methode ermöglicht es, Komponenten von LEDs zu trennen.

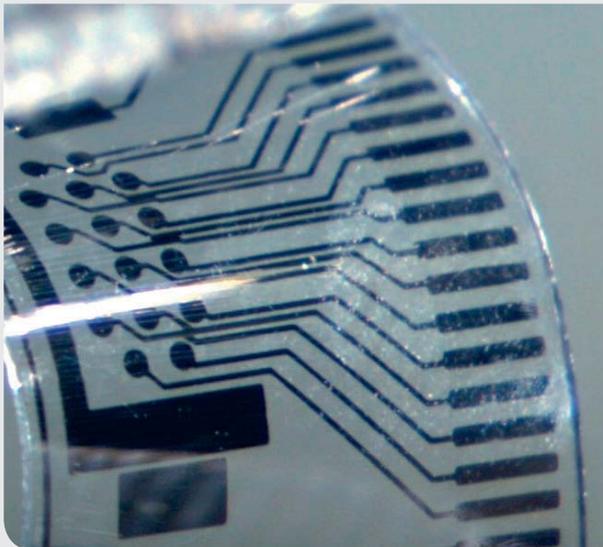
Biosensoren vom Band

Smartwatches und Fitnessarmbänder sind beliebt. Die Wearables messen zurückgelegte Distanzen oder zählen Kalorien. Verfügen die mobilen Geräte über Biosensoren, können sie auch Körperfunktionen überwachen. Die Fraunhofer-Institute für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP und für Siliziumtechnologie ISIT arbeiten an einem flexiblen elektrochemischen Biosensor, der sich in Wearables integrieren lässt.

Der Sensor ist $8 \times 10 \text{ mm}^2$ groß und enthält ein Array dünner, metallischer Elektroden für biologische Immuntests. Das Besondere: Der Sensor ist nur etwa ein Zehntel Millimeter dünn, da er komplett auf metallbeschichteter, biegsamer Folie hergestellt wurde. Die Experten des FEP wollen ihre Expertise im hochproduktiven Rolle-zu-Rolle-Verfahren nutzen, um künftig flexible Biosensoren günstig fertigen zu können.

Die beiden Institute arbeiten bereits an konkreten Anwendungen wie einem folienbasierten Laktatsensor für Fitnessarmbänder. Darüber ließe sich dann über die Laktatkonzentration im Schweiß die muskulöse Ermüdung des Trägers, zum Beispiel nach sportlicher Betätigung, bestimmen.

Mithilfe eines flexiblen Biosensors lässt sich zum Beispiel der Laktatwert bestimmen. © Fraunhofer ISIT

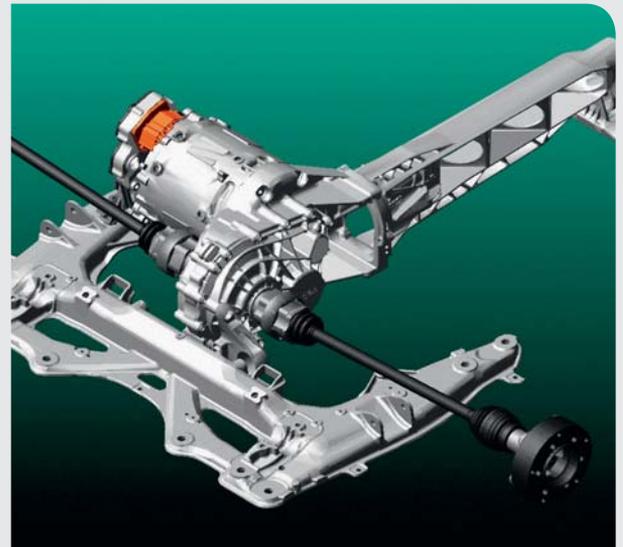


E-Antriebsstränge simulieren

Auch wenn man es den meisten derzeit auf dem Markt befindlichen Modellen nicht ansieht: Elektrofahrzeuge unterscheiden sich deutlich von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Nicht nur die Art der Antriebsmaschine ist anders, sie haben auch kompaktere Getriebe und ihr Antriebsstrang verfügt über eine andere Trägheit und Steifigkeit. Folglich ändert sich auch ihr Schwingverhalten. Da der Markt für Elektrofahrzeuge noch sehr jung ist, verfügt man in der Entwicklung bislang über wenige Erfahrungen zu diesem Thema. Entscheidend für die erfolgreiche Entwicklung dieser Systeme sind passende Simulationsmodelle und Prototypentests.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Projekt »e-Generation« entwickelte das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF Modelle und Werkzeuge für die Simulation und die experimentelle Prüfung von elektrischen Antriebssträngen, um das Schwingverhalten und die resultierenden Betriebslasten zu untersuchen.

Mehrkörpersimulationsmodell eines elektrischen Antriebsstrangs. © Fraunhofer LBF

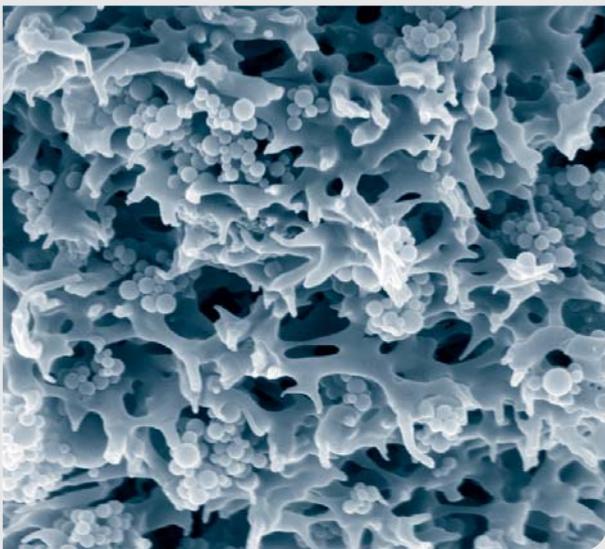


Rohstoffe aus Industriewässern

Da Ressourcen immer knapper und teurer werden, gewinnt das Recycling von Rohstoffen an Bedeutung. Industrielle Prozess- und Abwasserströme enthalten oft beträchtliche Mengen metallischer Rohstoffe wie Edelmetalle oder Seltene Erden. Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart arbeiten an Membran-Adsorbentien, mit denen sich Schad- und Wertstoffe aus Wasser selektiv abtrennen lassen. Dazu integrieren sie in den Mikroporen der Membranen spezifische Partikel, welche die im Wasser gelösten Stoffe adsorptiv binden. Auf diese Weise entstehen Mixed-Matrix-Membranen, die Wasser nicht nur durch die Zurückhaltung von Stoffen filtern, sondern die enthaltenen Wertstoffe gezielt festhalten können.

Die neuartigen Adsorbentien lassen sich gezielt funktionalisieren, je nachdem welcher Wertstoff gewonnen werden soll. »Schwefelharnstoff-Membran-Adsorbentien binden zum Beispiel 0,9 Gramm Silber pro Quadratmeter Membranfläche«, beschreibt Dr. Thomas Schiestel vom IGB. Zudem ist es möglich, verschiedene Partikel in einer einzigen Membran zu kombinieren, um mehrere unterschiedliche Stoffe gleichzeitig zu binden. Die Membran-Adsorbentien lassen sich durch die Variation der Partikeloberfläche und die Kombination unterschiedlicher Partikel flexibel für Anwendungen in den Bereichen Trinkwasser, Prozesswasser und Abwasser anpassen.

In der porösen Trägerstruktur der Membranadsorbentien sind winzige Polymerpartikel eingebettet, die Wertstoffe aus dem Wasser binden.
© Fraunhofer IGB



Roboter testen Touchscreens und Tastaturen

Dank Tastaturen oder Touchscreens lassen sich Geräte leicht und intuitiv bedienen. Doch die kontinuierliche Benutzung fordert das Material. Gerätehersteller können jetzt mithilfe eines Robotersystems des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA gezielt diese Beanspruchung nachstellen lassen und so ermitteln, wie haltbar ihre Geräte sind.

Ob Tastennutzung, die Eingabe von Informationen und Aktionen mit den Fingern oder einem Stift zum Beispiel für ein Unterschriftenpad – das Robotersystem kann typische Anwendungsfälle für Mensch-Maschine-Schnittstellen nachstellen und testen, wie lange das verwendete Material funktionsfähig bleibt. »Für Gerätehersteller hat die Testautomatisierung den Vorteil, dass die Bedingungen immer gleich und die Ergebnisse reproduzierbar und somit vergleichbar sind. Weil das Robotersystem die ausgeführte Aufgabe exakt dokumentiert, ist der Testverlauf vollständig nachvollziehbar und nachstellbar«, erklärt Milad Geravand, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPA. Die Gerätehersteller erhalten einen ausführlichen Bericht über die durchgeführten Tests und Ergebnisse sowie eine Kurzzusammenfassung, die auch als Referenz für Kunden verwendet werden kann.

Das entwickelte Robotersystem kann typische Anwendungsszenarien von Nutzern auf beliebigen Geräten mit Mensch-Maschine-Schnittstelle, bspw. Touchscreens, tausendfach nachstellen. © Fraunhofer IP



Produzieren 4.0

Die Industrie steht vor großen Herausforderungen: Die Kunden verlangen neue, individuelle, qualitativ hochwertige und dennoch preisgünstige Produkte in immer kürzeren Zeitabständen. Gleichzeitig müssen Waren mit knapper werdenden Ressourcen gefertigt werden und das möglichst nachhaltig. Um diese Anforderungen zu meistern, setzen Forschung und Wirtschaft auf die Digitalisierung der Fertigung, in der die reale und virtuelle Welt zu einem Internet der Dinge, Dienste und Daten zusammenwachsen.

Text: Birgit Niesing

Benziner, Dieselfahrzeug oder Hybrid-Antrieb? Limousine, Kombi oder Cabrio? 75, 100 oder 125 PS? Mit Einparkhilfe, Tempomat, Regensensor, Mittelarmlehne oder Alufelgen? Wenn Kunden vom Muster der Sitzpolster bis zur Auslegung des Fahrwerks eigene Wünsche verwirklichen können, kommt man bei manchen Automodellen theoretisch auf bis zu 10^{25} unterschiedliche Varianten. Aber nicht nur beim Autokauf, auch in vielen anderen Bereichen können Käuferinnen und Käufer Produkte nach ihren eigenen Wünschen und Bedürfnissen zusammenstellen – vom Computer bis zum Sportschuh. Die Losgröße 1, die völlig individuelle Produktion nach Kundenwunsch, spielt in der Fertigung eine immer größere Rolle. Dieser Trend stellt die Produzenten vor große Herausforderungen: Denn wenn sich unterschiedlichste Ausstattungsmerkmale individuell kombinieren lassen, dann muss auch der Produktionsprozess flexibel sein.

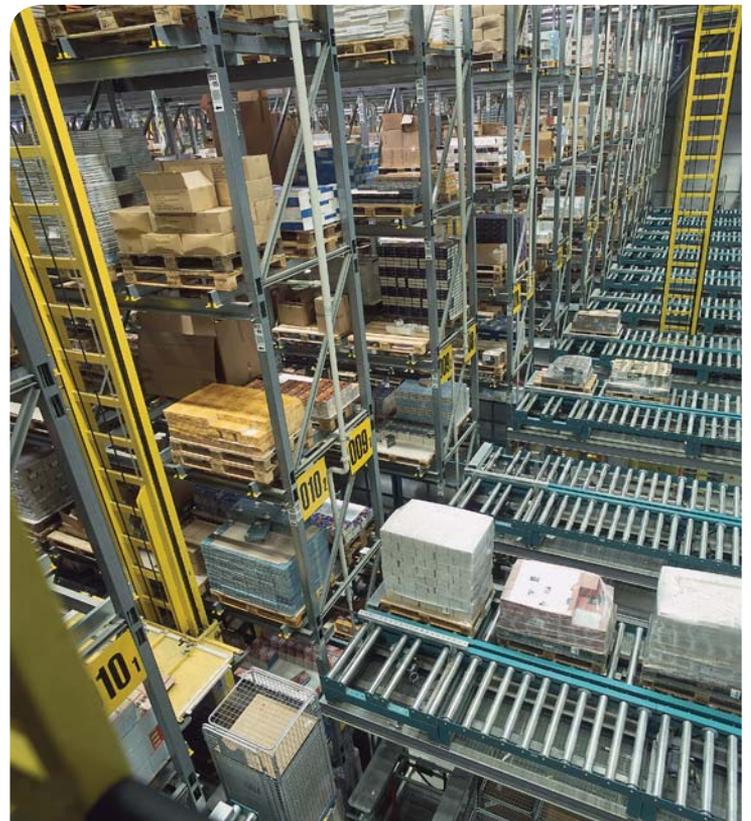
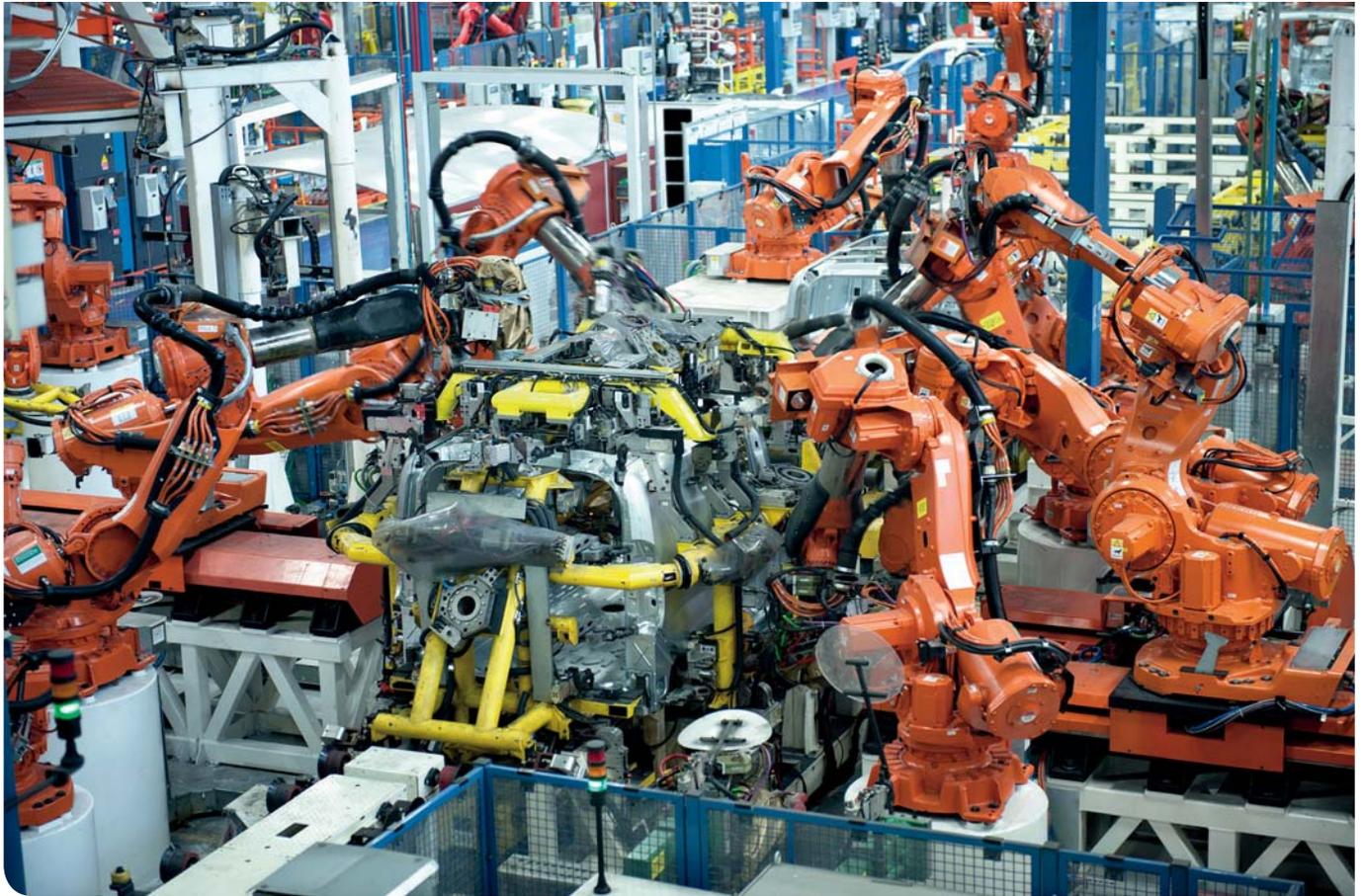
Um diese Anforderungen zu meistern, setzen Forschung und Industrie auf eine intelligente, vernetzte und wandelbare Fertigung. Dabei sind Maschinen, Werkstücke, Transportmittel und Waren mit eingebetteten Systemen, sprich winzigen Rechnern, sowie Sensoren und Aktoren versehen und miteinander verbunden. Das ermöglicht den nächsten Sprung in der Produktion, die Industrie 4.0.

Die Bundesregierung hat schon früh die Potenziale der smarten und vernetzten Fertigung erkannt. Bereits in ihrer Hightech-Strategie setzte sie das Thema Industrie 4.0 auf die Agenda. Mit verschiedenen Programmen fördert der Bund die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur digitalen Transformation der Industrie. Außerdem unterstützt er die »Plattform Industrie 4.0«, in der sich Vertreter von Verbänden, Gewerkschaften sowie der Wissenschaft engagieren.





Die Digitalisierung verändert die Produktion der Zukunft. © Kurt Fuchs / Fraunhofer



Die Kunden verlangen nach neuen individuellen, hochwertigen und dennoch preisgünstigen Produkten. Das stellt hohe Anforderungen an die Fertigung und Logistik. Die Digitalisierung hilft, diese Herausforderungen zu meistern. © istock

Hier ist die Fraunhofer-Gesellschaft als Vertreter der Forschung aktiv.

Aber wie funktioniert die smarte Produktion der Zukunft? Künftig sind alle Maschinen, von der Fräse bis zum Schweißroboter, miteinander vernetzt. Auch jedes Werkstück verfügt über ein eingebettetes System. Dort sind etwa verschiedene Informationen wie der Auftraggeber, die gewünschte Ausstattung und der Zielort gespeichert. Die Rohlinge lassen sich eindeutig identifizieren und lokalisieren. Sie kennen nicht nur die geforderte Bearbeitung, sondern sind auch mit den Maschinen vernetzt und können sich abstimmen, wann welcher Fertigungsschritt durchlaufen wird. Fällt eine Station aus, steht in Zukunft nicht mehr die gesamte Linie still. Stattdessen planen Werkstücke und Maschinen die Reihenfolge der Bearbeitung um. So entsteht eine »sich selbst organisierende«, adaptive Produktion, in die der Mensch nicht mehr ständig eingreifen muss, aber über die er die Kontrolle hat.

Damit die smarte Produktion reibungslos laufen kann, müssen die Maschinen und Roboter kontinuierlich melden, was sie gerade tun und wie lange ggf. verschleißende Komponenten noch halten. Alles, was in der realen Fabrik abläuft, wird parallel auch im Virtuellen abgebildet. Diese Verbindung realer und virtueller Welt bezeichnen Experten als »cyberphysische System« (CPS). Von der digitalen Transformation der Industrie erhofft sich die Wirtschaft einige Vorteile: Die flexible Zukunftsfabrik ermöglicht es, nach Kundenwunsch zu fertigen und Änderungen der Produktion bis zur Integration neuer Maschinen jederzeit ohne großen Aufwand durchzuführen. Zudem sind die Maschinen besser ausgelastet, der Ressourcenverbrauch geht zurück und es gibt weniger Ausschuss.

Industrie und Forschung arbeiten daran, dass die Vision der sich selbst organisierenden Fabrik Wirklichkeit wird. »Fraunhofer verfügt über große Kompetenz in den Bereichen Produktion, Maschinenbau, Logistik, eingebettete Systeme, Sicherheit sowie Informations- und Kommunikationstechnik. Wir können wichtige Grundlagen für die Fertigung der Zukunft legen sowie Lösungen für die smarte, vernetzte Produktion entwickeln und damit zu einer nachhaltigen Wertschöpfung in Deutschland beitragen«, betont Professor Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. In verschiedenen Projekten untersuchen Forscherinnen und Forscher, wie die Fabrik der Zukunft aussehen kann, wie sich die Produktion flexibel gestalten lässt, welche Rolle der Mensch in der smarten Fertigung spielt und wie Unternehmen die Souveränität über ihre Daten behalten können. Die Fraunhofer-Experten entwickeln nicht nur wichtige Bausteine für Industrie 4.0, sondern erarbeiten auch ganzheitliche Konzepte für die smarte Produktion. So gestalten Experten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA zusammen mit der Universität Stuttgart und Partnern aus der Industrie in dem Projekt ARENA2036 die künftige Automobilentwicklung und -produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette neu. »Wir erforschen ein grundsätzlich neues Konzept für die Fahrzeugproduktion – ohne Takt und ohne Linie, verbinden Leichtbauprozesse mit taktlicher Robotik, entwickeln effiziente, wandlungsfähige

Logistiksysteme und sorgen für einen intuitiv konfigurierbaren Informationsaustausch«, erklärt Professor Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer IPA in Stuttgart.

Neue Lösungen für die Produktion erfordert auch die Fertigung von Stromern in Kleinserien. In dem Projekt »Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge«, kurz SMART FACE, entwickeln Logistik-Experten aus dem Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund gemeinsam mit der Industrie eine Strategie für eine autonome Endmontage von Autos und arbeiten an einer flexiblen, schlanken Produktionsplanung nach den Prinzipien von Industrie 4.0. Die Planungsintelligenz ist dabei dezentral in einem selbstorganisierenden Netzwerk cyberphysischer Systeme verteilt. Diese cyberphysische Systeme sind wesentliche Bausteine der smarten Fertigung der Zukunft. Voraussetzung dafür ist, dass Realität und Virtualität kontinuierlich im Einklang sind. Aber wie lassen sich real existierende Produktionsanlagen, Werkstücke oder Bauteile und ihre digitalen Gegenstücke kontinuierlich abgleichen? Experten des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt arbeiten an der cyberphysischen Äquivalenz. Dabei geht es um die Live-Abbildung der Produktion inklusiver dynamischer Prozesse in die Virtualität, um zum Beispiel Planungen auf der Basis von Echtzeitdaten durchführen zu können. Zu jeder Zeit werden aktuelle Informationen über den Zustand des Produkts und des Produktionsablaufs erfasst und aktualisiert. Dazu wird der Prozess von Kameras erfasst und in Echtzeit auf den »virtuellen Zwilling« übertragen.

Übersetzer erleichtert Kommunikation

Eine weitere wichtige Voraussetzung für smarte Fabriken ist, dass die Maschinen miteinander, mit übergeordneten IT-Systemen, aber auch mit den Werkstücken und den Werkern kommunizieren können. Doch noch stößt die Vernetzung bestehender Anlagen an Grenzen, denn die Maschinen unterschiedlicher Hersteller nutzen datentechnisch meist verschiedene Schnittstellen und Protokolle zur Kommunikation. Abhilfe schafft der »Plant Adapter«, ein industrielles Daten-Gateway, das Experten des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz entwickelt haben. Der »Plant Adapter« stellt als Kombination aus Hard- und Software eine Lösung zur universellen Anbindung von Maschinen und weiteren Komponenten der Produktion und Produktionsinfrastruktur dar. Er sammelt unterschiedlichste Produktions- und Maschineninformationen und bereitet sie so auf, dass sie plattformübergreifend gelesen und verarbeitet werden können. »Die 'Ressource Daten' gewinnt stetig an Bedeutung«, erklärt Dr. Tino Langer, Abteilungsleiter Digitalisierung in der Produktion am IWU. »Um deren Wert im Umfeld der Produktion noch weiter zu steigern, sind neue Methoden und Lösungen erforderlich.« Bisher werden Daten weitestgehend begrenzt auf ihren ursprünglichen Erfassungsgrund hin analysiert und verarbeitet. In der am IWU entwickelten Daten- und Dienstplattform »Linked Factory« können in Einzelsystemen verwaltete Daten miteinander in Beziehung gesetzt und mit geeigneten Auswertemethoden neue Informationen abgeleitet werden.



Mithilfe von modernen Ansätzen zur Informationsverarbeitung, wie Linked-Data und Semantic Web Technologien, werden die Daten systemübergreifend gespeichert und vernetzt. Produktionsrelevante Parameter fließen mit Kennwerten aus der Gebäudeleittechnik, der Logistik und relevanten betriebswirtschaftlichen Daten zusammen, werden miteinander verknüpft und zu nützlichen Informationen aufbereitet, um den Mitarbeiter so gezielt zu unterstützen.

Vorsorgeuntersuchung für Maschinen

Die mithilfe von eingebetteten Sensoren erfassten Daten lassen sich auch für eine vorausschauende Wartung nutzen. Im EU-Projekt iMAIN entwickelten das IWU gemeinsam mit Partnern ein Überwachungssystem, das automatisch meldet, wenn eine Maschine gewartet werden muss. Dazu setzten sie auf eine Kombination aus realen und virtuellen Sensoren. Diese werden einerseits aus den rechnergestützten Simulationsmodellen der Maschine und andererseits mit realen Informationen der einzelnen Komponenten gespeist. »Anhand mathematischer Modelle und weniger installierter Sensoren können so etwa Spannungszustände an der kompletten Anlage in Echtzeit simuliert werden. So können Maschinen standortübergreifend überwacht und die Instandhaltung vorausschauender geplant werden«, sagt Markus Wabner vom Fraunhofer IWU. An Lösungen für das selbstorganisierende Life Cycle & Maintenance Management von Turbomaschinen feilen Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin. Sie verknüpfen aus Sensoren gewonnene Informationen mit Daten aus Serviceeinsätzen.

Kürzere Innovationszyklen und individuelle Produkte erfordern nicht nur eine flexible Fertigung, sondern auch wandelbare Fabriken, die sich schnell für die Herstellung neuer Artikel umrüsten lassen. »Eine der Herausforderungen an die Industrie-4.0-IT-Architektur ist es, sich an Änderungen anzupassen – sei es, dass neue Anlagen oder Prozesse in das System eingebracht werden oder dass bestehende Produktionssysteme verändert werden, etwa weil eine Produktvariante zusätzlich gefertigt werden soll«, erläutert Dr.-Ing. Olaf Sauer, stellvertretender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe. Im Projekt »SecurePLUGandWORK« arbeiten Wissenschaft

und Wirtschaft an einer intelligenten Verknüpfung zwischen den einzelnen Bestandteilen der Fabrik. Ihre Idee: Ähnlich wie beim USB-Standard bei PCs erkennt jede Komponente, was sich verändert hat, und reagiert darauf automatisch.

Der Umstieg auf die Produktion der Zukunft stellt insbesondere kleine und mittlere Unternehmen vor große Herausforderungen. Unterstützung bietet hier das Applikationszentrum Industrie 4.0, das Experten des IPA aufbauen. Den Kern bildet eine Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsumgebung, in der Lösungen zur Organisation und zur Steuerung zukünftiger Fabriken in unmittelbarer Zusammenarbeit mit der Industrie geschaffen werden. »Unternehmen können hier in einer innovativen Umgebung mit ausgezeichneter Infrastruktur und umfangreicher technischer Ausstattung zusammen mit unseren Mitarbeitern neue Lösungen für die Herausforderungen der Produktion der Zukunft entwickeln und in einem industrienahen Umfeld testen, wobei der Nutzen direkt durch Demonstratoren aufgezeigt werden kann«, sagt Dr. Martin Landherr, Leiter des Applikationszentrums Industrie 4.0. Der Fokus liegt auf cyberphysischen Systemen, Robotik und fahrerlosen Transportsystemen, Mensch-Maschine-Kooperation und additiven Produktionstechnologien sowie echtzeitnahen Simulationstechnologien. Zur sicheren Kommunikation und Vernetzung bietet das IPA mit Virtual Fort Knox zudem eine flexible und föderative Integrationsplattform für die Produktionsdaten.

Smarte Bauteile, intelligente Maschinen und kontinuierlicher Datenaustausch – wird der Mensch in der sich selbstorganisierenden Fertigung überhaupt noch gebraucht? Ja, in der Fabrik der Zukunft spielen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sogar eine zentrale Rolle (siehe auch Seite 16). Sie sind kreative Problemlöser. Dafür benötigen sie jedoch Wissen über die Zusammenhänge in der Produktion 4.0 sowie aktuelle Fakten über die laufende Fertigung. Wichtige Daten können die vernetzten Maschinen, Sensoren und Steuersysteme liefern. Im Projekt »Smart Assistance for Humans in Production Systems – SmARPro« entwickeln Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IML und des Fraunhofer IWU eine kommunikationstechnische Plattform, die Produktions- und Betriebsdaten erfasst, mit den übergeordneten IT-Systemen verbindet und für die Übertragung an mobile Geräte – den Smart Devices und Wearables – aufbereitet. Ziel ist es, Informationen genau



Über Smart Devices wie Smart Glasses und den Coaster erhält der Mensch wichtige Informationen. © Fraunhofer IPT, Fraunhofer IML

dort zur Verfügung zu stellen, wo der Mensch sie zum jeweiligen Zeitpunkt für seine Tätigkeit benötigt.

Menschen einbinden

Damit die Menschen in der smarten Fabrik der Zukunft agieren können, werden neue Mensch-Maschine-Schnittstellen benötigt, die Smart Devices. Diese mobilen Geräte sind kabellos vernetzt und mit verschiedenen Sensoren ausgerüstet. In der Logistik kann etwa der nur bierdeckelgroße Coaster® zum Einsatz kommen. Das Gerät ist nicht nur mit einer Kamera und einem Display ausgestattet, sondern kann auch mit anderen Maschinen über Schnittstellen kommunizieren. Welche Funktion er ausführt, entscheiden die Applikationen, die auf dem Coaster laufen. So zeigt zum Beispiel die Maschinenstatus-App den Energieverbrauch, Laufzeit und Fehlermeldungen von Anlagen an. Um den Werker nahtlos in die Informationsprozesse der Fertigung zu integrieren, hat das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT bei der Konzipierung von »oculavis« eine nutzerzentrierte Sichtweise eingenommen. Mit der Softwareplattform »oculavis« sowie den Apps für die Endgeräte wie Datenbrillen oder Tablets können die Informationsflüsse der Fabrik vom und zum Werker optimal gelenkt werden. Dies ermöglicht z.B. bei der Robert Bosch Elektronik Kft. aus Ungarn, dass auch ungelernete Mitarbeiter innerhalb kürzester Zeit komplexe Montagevorgänge mit Smart Glasses ausführen können. »oculavis« wird ab April in Kooperation mit dem IPT in einer Ausgründung weiterentwickelt und kommerzialisiert. An weiteren Lösungen – wie zum Beispiel einem Durchsichtdisplay – arbeiten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg. Darauf können situationsgerecht und lagesynchron Informationen eingeblendet werden. »Insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels ist die Assistenz auf Basis visueller Informationen ein wesentlicher Bestandteil intelligenter Arbeitsplatzsysteme, in denen der Mensch fähigkeitsgerecht bei der Ausübung von Arbeitsprozessen unterstützt wird«, erläutert Professor Michael Schenk, Vorsitzender des Fraunhofer-Verbands Produktion und Leiter des IFF.

Wie der Mensch in die Produktion der Zukunft eingebunden werden kann, ist einer der Schwerpunkte im Leitprojekt E³-Produktion. Zwölf Fraunhofer-Institute arbeiten gemeinsam

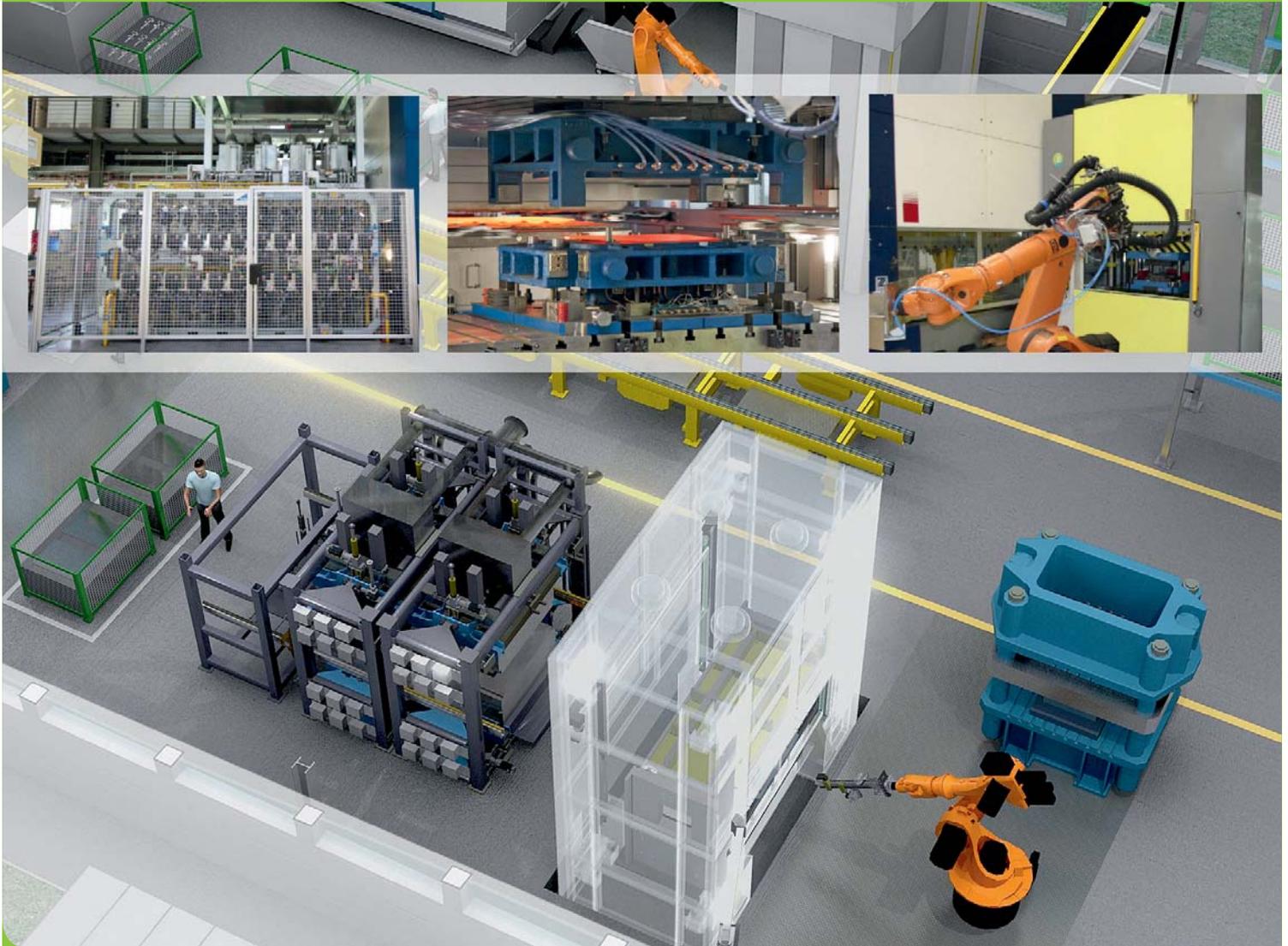
an der emissionsarmen, ergonomischen Fabrik und entwickeln hierzu neue Produktionstechnologien, Steuerungskonzepte und effizientere Prozessketten. »Das E³-Konzept setzt die Betrachtungsebenen von Technologien und Anlagen, von Logistik- und Fabrikprozessen sowie von der Einbindung des Menschen in die Produktion in einen neuen analytisch-methodischen Kontext«, sagt Professor Matthias Putz, Institutsleiter des Fraunhofer IWU.

Die Digitalisierung kann aber auch Gefahren bergen. Wie schützt man die Informationen vor unerlaubten Zugriffen, wenn alle Komponenten miteinander vernetzt sind? Wie behalten Firmen die Souveränität über ihre Daten? Fraunhofer arbeitet gemeinsam mit der Wirtschaft und in Kooperation mit der Bundesregierung an einem international offenen und zugleich sicheren Datenraum, dem Industrial Data Space. In diesem geschützten Raum können Unternehmen nach selbst festgelegten Regeln Daten miteinander austauschen, ohne dabei die Kontrolle über ihre Informationen abzugeben.

Der Umstieg auf die Fertigung 4.0 ist vor allem für Industrienationen wie Deutschland wichtig. Seit Jahrzehnten ist die Fertigung ein zentraler Pfeiler für Arbeit und Wohlstand. So erwirtschaftete das produzierende Gewerbe 2014 einen Anteil von 22,3 Prozent am Bruttoinlandsprodukt (BIP). Diese Zahlen gab das Statistische Bundesamt bekannt. Zum Vergleich: In den EU-Staaten betrug die Wirtschaftsleistung der Industrie im Schnitt nur 15,3 Prozent.

Doch kann Europa von der vierten industriellen Revolution profitieren? Ja. Die digitale Transformation der Fertigung eröffnet der EU enorme Chancen, so das Ergebnis einer Studie von Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e. V. (BDI). Bis 2025 könnte Europa einen Zuwachs von 1,25 Billionen Euro an industrieller Bruttowertschöpfung erzielen. Allein für Deutschland ergibt sich ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von bis zu 425 Milliarden, allerdings nur, wenn der Umstieg auf die Industrie 4.0 gelingt. Den vielversprechenden Möglichkeiten vernetzter, effizienterer Produktion und neuer Geschäftsmodelle stehen jedoch auch Risiken gegenüber: Sollte sich die deutsche Industrie von ihrer Spitzenposition bei der Wertschöpfung verdrängen lassen, drohen massive Einbrüche von bis zu 220 Milliarden Euro. ■

Vernetzt zum Ziel



Leichte Bauteile sind das A und O im Fahrzeugbau. Allerdings erfordert das Herstellen gewichts- und einsatzoptimierter Komponenten umfangreiches Prozesswissen. Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher haben eine intelligente Presshärtelinie in Betrieb genommen, um die optimale Verfahrensweise in jedem Anwendungsfall zu finden.

Text: Andreas Beuthner

Presshärtelinie mit Kontaktwärmungsanlage, Presse, Handlingsystem und Beschnitt (v.l.n.r).
© Tino Riedel, TU Chemnitz / Hendrik Schneider, Fraunhofer IWU

Das Innovationstempo im Automobilbau steigt von Jahr zu Jahr. Damit die neuen Modelle nicht zu schwer werden und zu viel Sprit verbrauchen, setzen Designer und Konstrukteure auf innovative Werkstoffvarianten wie den hybriden Leichtbau. Wie aber lassen sich hochfeste Werkstoffe wirtschaftlich sinnvoll zu leichten und crashsicheren Bauteilen verarbeiten? Ein Verfahren, mit dem man Leichtbau-Komponenten fertigen kann, ist das Presshärten. Dabei wird ein Blechhalbzeug auf eine Temperatur von etwa 950° C erhitzt und bei der Formgebung in der Umformpresse abgekühlt. Durch das schnelle Erwärmen und Abkühlen entstehen Bauteile mit extrem harten Gefügestrukturen, so dass die Blechkomponenten bei gleicher Performance dünnwandiger ausgelegt werden können.

»Intelligente« Presshärtelinie

»Allerdings bestimmen viele Einflussgrößen das komplexe Verfahren. Daher ist die Prozessregelung in seriennahen Anwendungen immer noch eine große Herausforderung«, sagt Norbert Pierschel, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Hauptabteilung Blechumformung am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz. Vor allem gilt es, das Verfahren an die Anforderungen von Industrie 4.0 anzupassen. Daran arbeiten Forscherinnen und Forscher des IWU. Sie haben bereits eine intelligente Presshärtelinie in Betrieb genommen. Das Herzstück ist eine vernetzte Prozessführung über die gesamte Prozesskette hinweg. Sie ermöglicht es, die Zustandsüberwachung der Prozessparameter mit vorher definierten Vorgaben abzugleichen und so innerhalb kürzester Zeit auf Prozessschwankungen zu reagieren und damit Ausschuss zu vermeiden.

Mit einer am Institut entwickelten Industrie 4.0-Modellprozesskette zeigen die IWU-Experten, wie in einer thermischen Pressanlage aus vorgeschrittenen Blechplatinen fertige Bauteile mit unterschiedlichen Eigenschaften entstehen. Die Platinen werden zunächst erwärmt, dann umgeformt und dabei abgekühlt und anschließend beschnitten. »Dabei kommt es unter anderem auf Taktzeiten im Sekundenbereich, einen reduzierten Material- und einen effizienten Energieeinsatz an. Das erreichen wir durch eine vernetzte Prozessführung mit integrierter Zustandsüberwachung der Prozessparameter«, erläutert Norbert Pierschel. »Ein Fehler am

umgeformten Bauteil kann so direkt auf einen Wirkzusammenhang zurückgeführt werden. Wir wissen also sofort, an welcher Stellschraube wir drehen müssen und können direkt korrigierend in den laufenden Prozess eingreifen.« Das Ziel ist ein vollständig automatisierter Warmumformprozess für komplexe Bauteilgeometrien mit geringsten Fehlertoleranzen.

In der IWU-Modellprozesskette steuert ein zentrales Computerprogramm die Abläufe für das Umformen und Aushärten der Komponenten. Ein nicht unerheblicher Teil der Systemintelligenz steckt allerdings in einer am Institut entwickelten Software, die Sensordaten im laufenden Prozess auswertet und mit deren Hilfe das Anlagenpersonal sehr schnell in das Geschehen eingreifen kann, falls beispielsweise Werkstück- oder Werkzeugtemperaturen von den erforderlichen Vorgaben abweichen. »Wir haben informationstechnisch den gesamten Prozess abgebildet und sind in der Lage, an jeder Stelle regulierend einzugreifen«, unterstreicht Frank Schieck, Leiter der Hauptabteilung Blechumformung am Fraunhofer IWU.

Dass die vernetzte Prozessführung aus Sensorik und Steuerung sowie die neue Anlagentechnik im Zusammenspiel funktionieren, demonstrieren die IWU-Experten anhand der Umformung eines Pkw-B-Säulen-Segments. Die B-Säule befindet sich zwischen Vorder- und Hintertür des Fahrzeugs und gehört zu den sicherheitskritischen Strukturbauteilen einer Fahrzeugkarosserie. Der B-Säulenfuß ist im Bereich des Fahrzeugbodens verankert und trägt zur Steifigkeit der gesamten Karosserie bei. In den Pilotprozess sind unter dem Aspekt Leichtbau und Serienreife zahlreiche Daten und Informationen eingeflossen, die den Anforderungen einer industriellen Fertigung genügen. »Der gesamte Prozess unterliegt zahlreichen Einflussgrößen, die optimal aufeinander abzustimmen sind«, sagt Frank Schieck.

Die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher wollen anhand der Modellprozesskette nicht nur die seriennahe Umsetzung von Industrie 4.0 demonstrieren, sondern auch zukunftsweisende Verfahrens- und Anlagenkonzepte erproben. Bereits beim Aufbau der Modellprozesskette arbeiteten die Experten des IWU eng mit Herstellern und Anwendern zusammen. So wurde beispielsweise gemeinsam mit der Firma Schwartz GmbH eine neuartige Kontakt erwärmungsanlage für die Modellprozesskette entwickelt.

Hierbei kommt eine zweistufige Ofentechnik zum Einsatz, die das Blech entweder in mehreren Schritten gleichmäßig oder zonenweise erwärmt. Durch die unterschiedliche Temperierung des Werkstücks lassen sich schon während des Aufheizens der Platine die Festigkeitsverläufe in bestimmten Bereichen der Bauteile beeinflussen, was für nachfolgende Beschneidungsverfahren und das Crashverhalten von Vorteil ist. Das Erwärmen lässt sich sehr flexibel einstellen und je nach gewählter Stufe auf sechs Bereiche variabel verteilen. »Ähnlich dem Bügeleisenprinzip können wir die thermische Energie gezielt und konturnah in bestimmte Bereiche des Werkstücks lenken«, erläutert Frank Schieck.

Auch bei der Werkzeugkühlung erproben die Wissenschaftler ein am Institut entwickeltes System. Der geschlossene Kühlkreislauf basiert auf einem Rohrgeflecht, das in den Grundkörper des Werkzeugs eingefräst wurde. Die Kühlung ist nach dem Gegenstromprinzip aufgebaut, bei dem kalte und warme Luft aus entgegengesetzter Richtung aneinander vorbeiströmen. Alle Kanäle lassen sich separat ansteuern. »Das hat den Vorteil einer gleichmäßigen Abkühlung und führt zu einer gleichbleibend hohen Qualität der Bauteile«, sagt Norbert Pierschel. Zudem beschleunigt ein wärmeleitfähiger Werkzeugstahl das Erkalten des Werkstücks.

Die Experten des IWU erproben auch neue Beschnittverfahren. Konventionell werden die Bauteile nach dem Umformvorgang abgelegt und zu Laserschneidanlagen transportiert. Da der Laserbeschnitt länger dauert als der eigentliche Presshärtevorgang, müssen die Bauteile jedoch zwischengelagert werden. »Um die Taktzeiten der Prozesskette zu verkürzen und die Energieeffizienz zu verbessern, untersuchen wir mit dem Warmbeschnitt sowie dem Hochgeschwindigkeitsschneiden zwei alternative Verfahren, die in den Umform- und Abkühlprozess integriert bzw. diesem direkt nachgelagert sind«, erklärt Frank Schieck. »Die Einbindung innovativer Fertigungskonzepte, die intelligente Vernetzung der einzelnen Anlagen und deren Sensorik sowie der Einsatz einer Wissensdatenbank führen zu einer automatisierten Regelung der Prozesse mit kürzeren Taktzeiten und weniger Materialeinsatz beim Herstellen hochfester Karosseriebauteile im Fahrzeugbau«, fasst IWU-Wissenschaftler Norbert Pierschel wichtige Vorteile zusammen. »Dies gilt sowohl für Stahl- als auch für Aluminium- oder Magnesiumbleche.« ■

Produzieren ohne starre Pläne

Flexibel, schnell, smart - so soll die Fertigung der Zukunft aussehen. Forscherinnen und Forscher arbeiten an Lösungen für Industrie 4.0, bei denen der Mensch die entscheidende Rolle spielt.

Text: Britta Widmann, Katharina Strohmeier und Tim Schröder

Bislang dominieren in der Fertigung meist starre Pläne und Produktionsabläufe. Ein Beispiel ist die Getriebefertigung: Zahnräder werden bisher in fest verketteten Linien gefertigt, bei denen zum Beispiel Fräs- und Drehmaschinen miteinander verbunden sind. Fällt eine Maschine aus, steht die ganze Linie still. Weiterer Nachteil: Klein- oder Kleinstaufträge mit besonderen Anforderungen oder Produktmerkmalen lassen sich so kaum fertigen. »Will man hier flexibler werden, bietet es sich an, die Verkettung aufzuheben«, sagt Eckhard Hohwieler, Leiter der Abteilung Produktionsmaschinen und Anlagenmanagement am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin.

Aber das ist nicht so trivial, wie es klingt. Zwar gibt es schon einige Alternativen zur Produktion in verketteten Linien wie zum Beispiel die Werkstattfertigung. Dabei werden Maschinen für ähnliche Fertigungsaufgaben zu Inseln zusammengestellt – etwa mehrere Drehmaschinen zu einer Drehmaschineninsel oder mehrere Fräsmaschinen zu einer Fräsmaschineninsel. Dann aber braucht man Methoden, die gewährleisten, dass ein Produkt die Fertigung zügig und zuverlässig durchläuft. Sonst wird am Ende ein Bearbeitungsschritt vergessen oder ein Auftrag bleibt auf halbem Weg durch die Produktion stecken, weil keiner weiß, wo er als nächstes hin soll.

Der Mensch steht im Mittelpunkt

Genau dort setzen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IPK an. Sie entwickeln Lösungen für eine integrierte Industrie 4.0-Fabrik – unter anderem eine neuartige Prozessorganisation, die die feste Verkettung überflüssig macht, ohne dass der zuverlässige Produktionsdurchlauf der Linie verloren geht. Die Besonderheit ihrer Lösung: Bei diesem Konzept steht der Mensch im Mittelpunkt. Die

Entscheidungsgewalt über den Fertigungsablauf liegt bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern – während leistungsfähige Werkzeuge ihre Entscheidungsfähigkeit unterstützen. Dabei sorgen IT-getriebene Werkzeuge dafür, dass die Mitarbeiter auf allen Hierarchieebenen zu jeder Zeit genau die Informationen erhalten, die sie benötigen, um ihren Teil zur termingerechten Fertigstellung des Produkts beitragen zu können – vom Prozessmanagement über die Produktionsplanung bis zur Endmontage. Dazu müssen jedoch Maschinen direkt miteinander, mit Werkstücken und mit dem Menschen kommunizieren.

Ein Agentensystem überwacht den Fertigungsplan

Doch lässt sich die Zahnradproduktion auch ohne Verkettung zuverlässig steuern? Diese Frage untersuchen die IPK-Wissenschaftler gemeinsam mit Industriepartnern im Projekt »iWePro – Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion«. »Bisher wird in der industriellen Fertigung vorab ein Plan für die komplette Produktion vom Rohling bis zum einsatzbereiten Zahnrad erstellt – der wird dann nur noch abgearbeitet«, berichtet Franz Otto, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPK. Um Werkstattaufträge situationsgerecht zu steuern, entwickeln Otto und seine Kollegen ein Agentensystem, das die Umsetzung des Fertigungsplans überwacht. Software-Agenten informieren unter anderem die Mitarbeiter an den einzelnen Stationen der Werkstatt, welche Maschine für den nächsten Bearbeitungsschritt eines Auftrags vorgesehen ist – und assistieren, wenn Umplanungsbedarf entsteht, etwa weil eine Maschine ausfällt.

»Doch bevor die Inselfertigung Realität wird, müssen wir prüfen, ob sie tatsächlich besser arbeitet als die technisch bereits sehr ausgefeilte klassische Linienfertigung«, sagt Otto.

Dazu entsteht in iWePro eine aufwändige Simulation, mit der die Forscherinnen und Forscher durchspielen können, welche Kombination aus zentraler Planung und flexibler Umplanung für welchen Anwendungsfall geeignet ist – und welche Eingriffe durch die Werker sinnvoll sind. Dabei simulieren die Experten auch, wie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Halle mit den nötigen detaillierten Informationen versorgt werden können, etwa über Smart Devices.

Flexibles Miteinander von Mensch und Maschine

Die Simulation der Werkstattproduktion macht alle Abläufe in der Fertigung auf einem 3D-Bild sichtbar. »Wir ahmen damit den Blick aus einem Leitstand nach«, erläutert Eckhard Hohwieler. Auf der Hannover Messe (25. –29. April 2016)

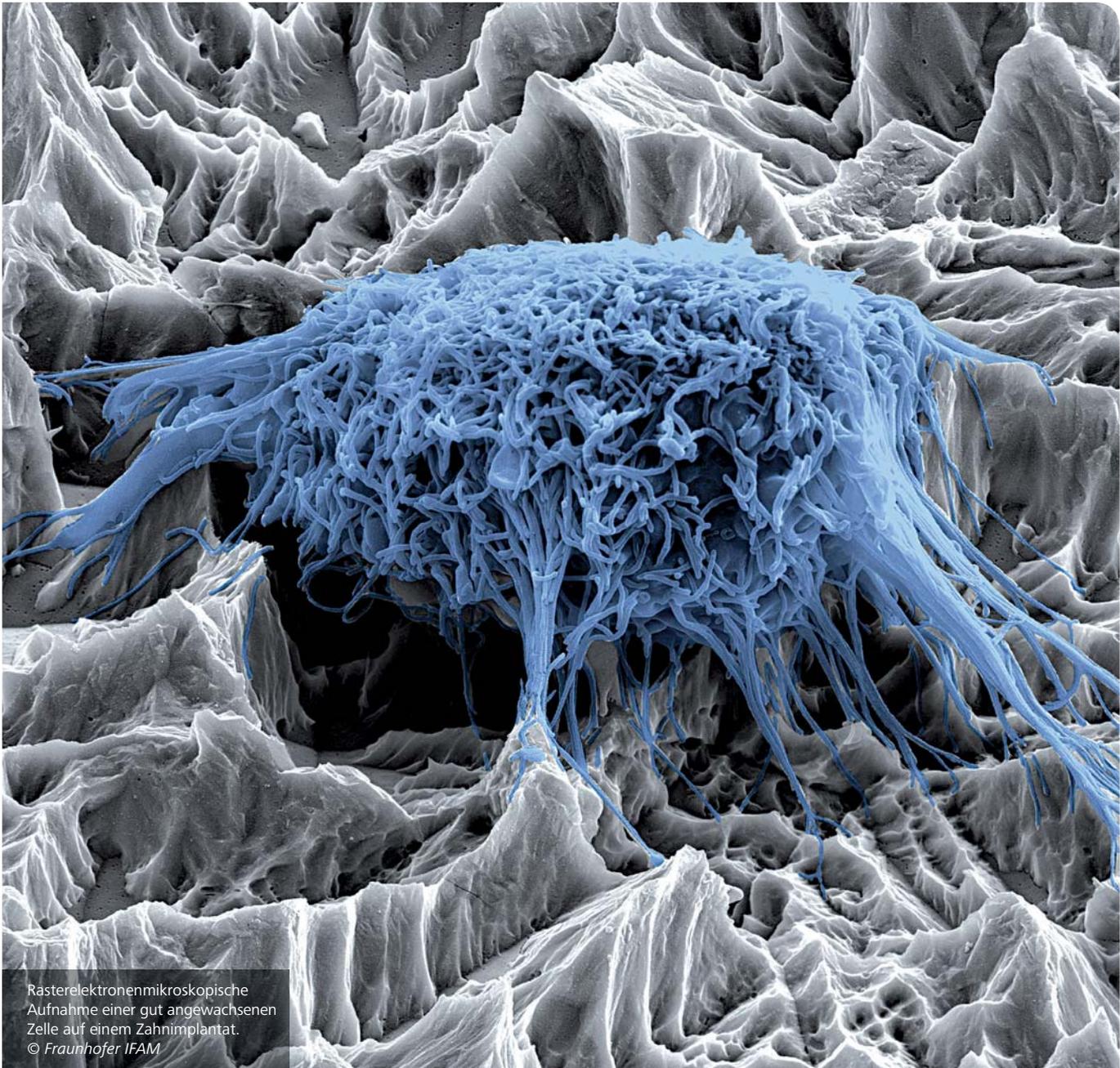
kombinieren die Forscher die Simulation mit einem modellgetriebenen Industrie-Cockpit und einem Montageroboter. Das Cockpit ermöglicht ein flexibles Monitoring aller Unternehmensprozesse, wobei Manager jederzeit einen exakten Überblick haben, welcher Auftrag sich in welchem Bearbeitungsstadium befindet. Jedem Nutzer werden genau die Informationen bereitgestellt, die er für seinen Arbeitsbereich benötigt.

Der Roboter ist ein anschauliches Beispiel, wie die künftige Zusammenarbeit von Menschen und Robotern in der Endmontage gestaltet sein kann. Hohwieler betont: »Mit unserem Exponat liefern wir ein Muster dafür, wie man mit industrienaher Forschung sicherstellen kann, dass Industrie 4.0 funktioniert und ein flexibleres Miteinander von Mensch und Maschine gelingt.« ■

Alle Fertigungsabläufe sind auf dem Monitor zu sehen.
© Fraunhofer IPK



Infektionen an Zahnimplantaten vermeiden



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer gut angewachsenen Zelle auf einem Zahnimplantat.
© Fraunhofer IFAM

Eine Million Zahnimplantate werden jedes Jahr in Deutschland eingesetzt. Oft muss der Zahnersatz ausgewechselt werden, etwa wenn sich das Gewebe infiziert. Verursacher der Entzündungen sind Bakterien. Eine neue Plasma-Implantatbeschichtung, die mit Silberionen Erreger abtötet, soll Infektionen künftig verhindern.

Text: Britta Widmann

Infektionen an Zahnimplantaten sind gefährdet. Das Risiko ist groß, dass sich dadurch der Kieferknochen zurückbildet. Verursacher der Komplikation sind Bakterien. Beim Einsetzen der künstlichen Zahnwurzel kommt es zu einem Wettlauf zwischen körpereigenen Zellen und Krankheitserregern. Siegen die Bakterien, bilden sie einen Biofilm auf dem Titan, der sie vor Antibiotika schützt. Die Besiedelung des Implantats mit Keimen führt zu einer Entzündungsreaktion, die Knochenschwund zur Folge haben kann.

Um das Risiko von Infektionen zu senken und den Langzeiterfolg der Zahnimplantate zu verbessern, haben Forscher des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen gemeinsam mit Industriepartnern eine neuartige Implantatbeschichtung entwickelt: Die DentaPlas-Beschichtung hemmt das Wachstum von Bakterien. Das Implantat kann richtig einwachsen und sich schneller und dauerhaft im Kiefer verankern. Der Trick: Die Forscher kombinieren physikalisch und chemisch wirkende Oberflächen. »Wir haben die DentaPlas-Schicht mit einer rauen Struktur ausgestattet, auf der

Zellen gut anwachsen können, und mit einer hydrophilen, Wasser anziehenden Plasmapolymerschicht kombiniert«, berichtet Dr. Ingo Grunwald, Projektleiter am IFAM. In die bis 100 Nanometer dünne Plasmapolymerschicht integrierten die Forscher Silbernanopartikel. Diese lösen sich innerhalb von mehreren Wochen auf. Dabei setzen sie kontinuierlich geringe Mengen antimikrobiell wirkende Silberionen frei, die Bakterien zerstören.

Schutz durch drei Schichten

»Das DentaPlas-System besteht aus drei Schichten: Zwei Plasmapolymerschichten umschließen eine mittlere Silberschicht. Darin bildet sich ein Biozid-Reservoir: Die obere Schicht setzt die Ionen frei. Dies ist ein Vorteil, da der direkte Kontakt des Gewebes mit den Silberpartikeln vermieden wird, die toxisch wirken könnten, wenn sie frei liegen«, so Entwickler Dr. Dirk Salz. Die Forscher können sowohl die Silberkonzentration individuell einstellen und anpassen als auch die Schichtdicke und Porosität. Somit durchdringen die Silberionen die oberste Plasmapolymerschicht über einen festgelegten Zeitraum, der erforderlich ist, um das Implantat

zu integrieren. Ist das Silberreservoir erschöpft, werden keine Ionen mehr freigesetzt. Toxische Langzeitwirkungen durch die Silberionen werden dadurch vermieden.

Erfolgreiche Tests

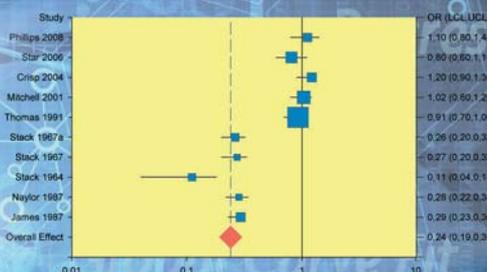
In Tests mit fertigen Implantaten und Titan-Probekörpern konnten die Forscher am IFAM belegen, dass die DentaPlas-Schicht sowohl antimikrobiell wirkt als auch völlig biokompatibel sowie sterilisierbar ist. Eine Plasmapolymersationsanlage am Bremer Institut beschichtet die Proben. Die mechanische Stabilität und Belastbarkeit von DentaPlas konnten die Forscher in Versuchen mit Unterkieferknochen von Schweinen aus der Metzgerei nachweisen. Hierzu drehten sie beschichtete Implantate mit den gleichen Instrumenten ein, wie sie in Zahnarztpraxen verwendet werden – die DentaPlas-Schicht hielt dieser Belastung hervorragend stand. Die Beschichtung der Probekörper und der Titanschrauben konnte erfolgreich durch die Bio-Gate AG, Projektpartner und Fraunhofer-Ausgründung, auf deren Produktionsanlagen übertragen werden. Das Medizintechnik-Unternehmen stellt auch das Dreifachschichtsystem DentaPlas her. ■

Der einfachste Weg, Daten zu analysieren und präsentieren!



SIGMA PLOT
Exact Graphs and Data Analysis

Forest Plot Ratios



Study	OR (95% CI)
Phillips 2008	1.10 (0.80, 1.45)
Star 2006	0.80 (0.80, 1.16)
Craig 2004	1.20 (0.90, 1.50)
Mitchell 2001	1.02 (0.80, 1.20)
Thomas 1991	0.91 (0.70, 1.00)
Stack 1987a	0.26 (0.20, 0.32)
Stack 1967	0.27 (0.20, 0.33)
Stack 1964	0.11 (0.04, 0.18)
Naylor 1987	0.28 (0.22, 0.34)
James 1987	0.29 (0.23, 0.30)
Overall Effect	0.24 (0.19, 0.30)

www.systat.de/FM.html

Neu!

Version 13

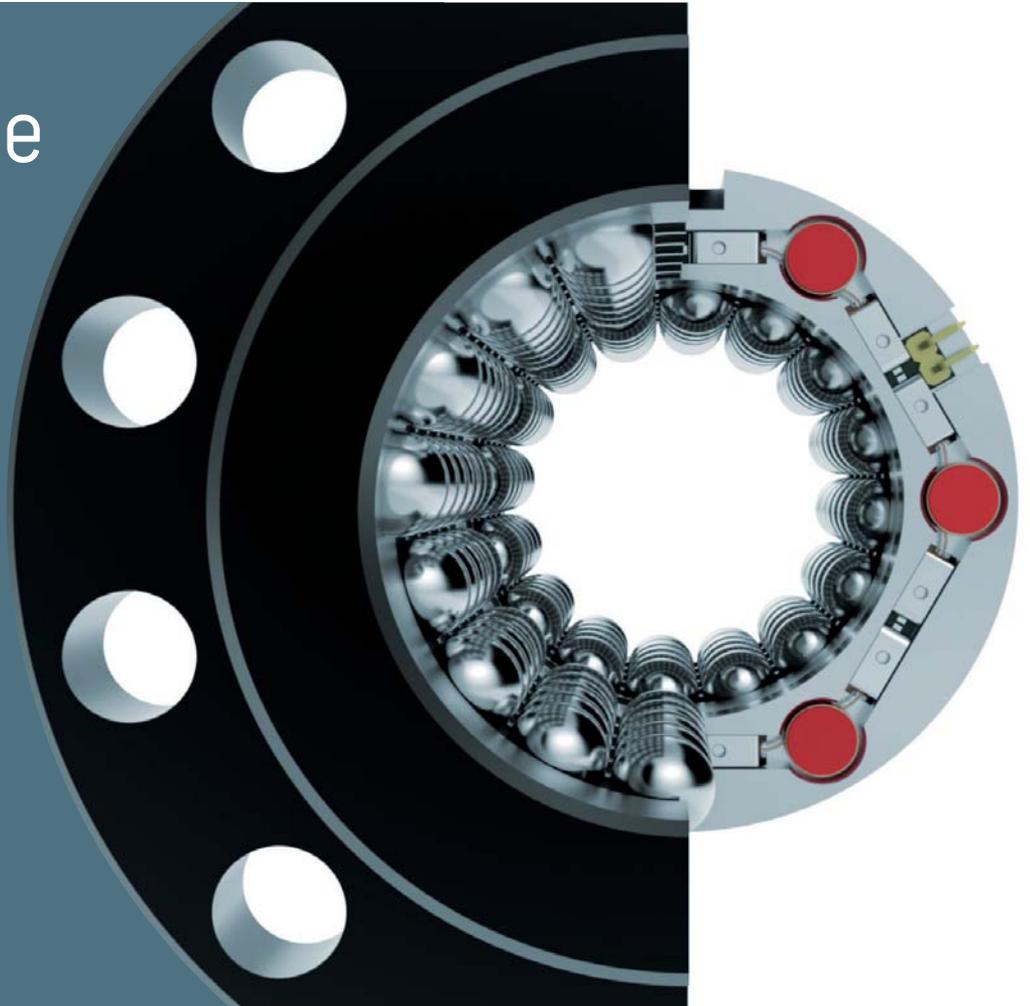
Kostenlose Demo-CD
anfordern unter:
kontakt@systat.de

(Bitte FM0416 angeben)

In der Wärme liegt die Kraft!

Aus der Medizintechnik sind sie nicht mehr wegzudenken: Formgedächtnislegierungen. Ihre Wandelbarkeit macht sie aber auch für andere Bereiche interessant: Im Maschinenbau zeichnen sich ganz neue Einsatzmöglichkeiten ab.

Text: Katja Lüers



Manche Metalle sind intelligenter als andere: Belastet man beispielsweise eine Nickel-Titan-Büroklammer, verformt sie sich, doch im erwärmten Zustand scheint sie sich an ihre »alte« Form zu erinnern und nimmt sie wieder ein. Wissenschaftler sprechen von Formgedächtnislegierungen, kurz FGL. Sie besitzen die Fähigkeit, nach einer mechanischen Verformung und anschließender Erwärmung in eine definierte Ausgangsform zurückzukehren. Mehr zufällig wurden diese Verbindungen in den 1950er Jahren in den US-amerikanischen Militärlabors entdeckt. »Ein Beispiel für die Funktionalität dieser Legierungen ist das Militärflugzeug F14«, erzählt Tom Junker vom Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Dresden. Bei dem

Flugzeug mussten bestimmte Rohre extrem dicht aneinander gepresst werden – eine optimale Aufgabe für eine aufgeweitete Formgedächtnislegierung: »Wenn die FGL sich erwärmt und zusammenzieht, klemmt sie die beiden Rohre zusammen wie eine Schlauchschelle«, erklärt Junker.

Einsatz von Formgedächtnislegierungen im Maschinenbau

Auch aus der Medizintechnik sind die intelligenten Werkstoffe aufgrund ihrer einzigartigen Fähigkeiten inzwischen nicht mehr wegzudenken: Stents stabilisieren verengte Blutgefäße und beugen einem erneuten Gefäßverschluss

Um die Vorspannung zu variieren, wurde ein ringförmiges Aktorelement zwischen die zwei Teilmuttern integriert.
© Fraunhofer IWU

vor. »Ein solcher Stent ist anfangs zusammengepresst. Einmal in die Arterie eingesetzt, dehnt er sich durch die Körpertemperatur aus und hält die Gefäße offen«, führt Junker aus. Am Fraunhofer IWU arbeiten die Forscher daran, die vielen Vorzüge der FGL auf andere Bereiche zu übertragen – beispielsweise auf den Maschinenbau: »Dort sind die innovativen Funktionswerkstoffe oft noch unbekannt«, sagt Junker. Hier setzt das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt »LastPass« an – ein Akronym für Lastgerechte Anpassung der Vorspannung von Kugelgewindetrieben auf der Basis von Formgedächtnisaktoren. Die Experten vom Fraunhofer IWU haben in Zusammenarbeit mit Industriepartnern neue Anwendungen entwickelt und getestet: Ziel war es, dem Verschleiß und den Materialermüdungen von Kugelgewindetrieben mit Hilfe von Formgedächtnisaktoren entgegenzuwirken.

Ob in der Fräsmaschine oder Drehmaschine – solche Kugelgewindetriebe gehören zu den am häufigsten eingesetzten Antriebssystemen. Das Prinzip dahinter: Ein Motor steuert eine Spindel direkt oder über Getriebe und Riementriebe an. Zwischen Spindel und Mutter bewegen sich in Laufrillen Kugeln, die beim Drehen der Spindel entlang der Achse wandern (siehe Bild unten). Im Rückführkanal der Spindelmutter werden die Kugeln wieder zurückbefördert und schließen damit den Bewegungskreislauf. So können Drehbewegungen in geradlinige Bewegungen umgewandelt werden. Ist aber ein solcher

Kugelgewindetrieb einmal defekt, muss er ausgetauscht werden. Die Reparatur kostet schnell mehrere zehntausend Euro, hinzu kommen im schlimmsten Fall tagelanger Maschinenstillstand und Produktionsausfall – ein Horrorszenario für Unternehmen mit vollen Auftragsbüchern. Deshalb entscheiden sich viele Anwender, den Kugelgewindetrieb lieber früher als zu spät auszutauschen. In der Praxis bedeutet das, dass sie ein funktionsfähiges Bauteil vor Ende seiner eigentlichen Lebensdauer auswechseln. Die Fraunhofer IWU-Wissenschaftler haben in »LastPass« einen Kugelgewindedemonstrator entwickelt, der mit Hilfe eines Formgedächtnisaktors eigenständig Materialermüdung und Verschleiß entgegenwirkt. Damit lassen sich nicht nur Wartungszeiten besser planen, sondern auch die Lebensdauer und Präzision von Werkzeugmaschinenantrieben steigern.

Grundsätzlich gilt für alle Kugelgewindetriebe: Um den Antrieb möglichst präzise zu positionieren, muss der Hersteller eine äußerst hohe mechanische Vorspannung einstellen. Dadurch erhöht sich allerdings die Reibung. Verschleiß und Materialermüdung sind die Folgen. Das bedeutet: Je niedriger die Vorspannung, umso geringer ist der Verschleiß, aber umso ungenauer arbeitet die Maschine. Was der Laie nicht weiß: Bei neuen Werkzeugmaschinen tritt der größte Verschleiß im Kugelwindegetrieb gleich zu Beginn auf – die Maschine muss sich sozusagen »einlaufen«. Bereits nach wenigen Betriebsstunden arbeitet sie schon signifikant ungenauer

als zuvor. Für Anwender mit höchsten Genauigkeitsanforderungen bedeutet das: Kugelgewindetrieb ausbauen und an den Hersteller zurückschicken, der ihn neu vorspannt.

Ein smarterer Antrieb repariert sich selbst

Viele Maschinenhersteller – darunter auch einer der beteiligten Industriepartner – bieten diesen Service schon mit Kauf der Werkzeugmaschine an. »Bei unserem Demonstrator können wir die Vorspannung ein- oder nachstellen, ohne dass der gesamte Betrieb angehalten werden muss«, erläutert Junker. Mit den Formgedächtnisaktoren ist eine Wartung im laufenden Betrieb möglich. Ausfall- oder Leerzeiten gibt es dann keine mehr.

Das Prinzip dahinter ist einfach und überzeugend: Die Wissenschaftler haben in dem Kugelgewindetrieb ein ringförmiges FGL-Aktorelement zwischen zwei Muttern integriert. Dort sitzt sonst eine Distanzscheibe, über die die Vorspannung bei der Montage eingestellt wird – beispielsweise durch Schleifen. Durch ein eingebautes Temperiersystem nehmen die Formgedächtnisaktoren die Wärme auf und dehnen sich bis zu einem voreingestellten Grad aus. Damit erhöht sich die Vorspannkraft dauerhaft. Diese bleibt auch erhalten, wenn der Antrieb abkühlt.

»Durch In-Prozess- und Post-Prozess-Diagnostik können Fehler erkannt und einzelnen Antrieben zugeordnet werden. Abhängig von der Wartungsstrategie des Unternehmens wird der Maschinenbediener oder die Instandhaltung informiert oder die Maschine entscheidet selbstständig, dass ein Nachstellen durch die Aktorik notwendig ist«, erklärt Junker.

Noch gibt es im Bereich Maschinenbau nur sehr wenige Richtlinien und Normen für FGL. »Doch daran arbeitet das Fraunhofer IWU intensiv mit Industriepartnern, um möglichst zügig die enormen Potenziale dieser Werkstoffe als Funktionsmaterial zu nutzen«, sagt Junker. Denn eines ist klar: Es ist deutlich günstiger, bestehende Maschinen mit den Formgedächtnisaktoren nachträglich auszurüsten, statt einen komplett neuen Kugelgewindetrieb zu kaufen. ■



Zwischen Spindel und Mutter bewegen sich in Laufrillen Kugeln, die beim Drehen der Spindel entlang der Achse wandern.
© Fraunhofer IWU



FOULPROTECT

Im Projekt FOULPROTECT entwickeln 13 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft neue, ungiftige Schutzbeschichtungen gegen den biologischen Bewuchs von Schiffen und Offshore-Anlagen. Das Projekt startete im Juli 2014, hat eine Laufzeit von drei Jahren und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit einem Betrag von fünf Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen: 03SX370). Beteiligt sind neben dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM als Gesamtkoordinator das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, die Universitäten Duisburg-Essen und Paderborn, die AG Reederei Norden-Frisia, das LimnoMar Labor für Limnische und Marine Forschung, die Momentive Performance Materials GmbH, die Muehlhahn Deutschland GmbH, die NORDSEETAUCHER GmbH, die Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, die German Dry Docks GmbH & Co. KG, die GINCO Holding GmbH & Co. KG und die Mankiewicz Gebr. & Co.

Meeresbewuchs
giftfrei bekämpfen

Spezielle Unterwasseranstriche verhindern, dass Seepocken, Muscheln und Algen Schiffsrümpfe oder Offshore-Anlagen bewachsen. Doch die herkömmlichen Antifouling-Beschichtungen sind meist ökologisch bedenklich. Forscherinnen und Forscher arbeiten an umweltfreundlichen Alternativen.

Text: Frank GroteLüschen

Für die Schifffahrt ist Biofouling ein großes Ärgernis. Ließe man den Rumpf etwa eines Frachters unbehandelt, wäre er binnen kürzester Zeit von Seepocken, Muscheln, Algen, Bakterien und Co. besiedelt. Die Folgen: Gewicht und Strömungswiderstand nehmen zu, die Treibstoffkosten steigen um bis zu 40 Prozent. Zudem können mit dem Bewuchs auch Schädlinge transportiert werden, die Aquakulturen und Muschelfarmen gefährden. Weiteres Problem des Biofoulings: Die Organismen setzen unter anderem Säuren frei, die Stähle und Beton angreifen. Diese biologisch verursachte Korrosion führt nicht nur bei Schiffsrümpfen, sondern auch bei Offshore-Windenergieanlagen zu Verschleiß. Alles in allem, schätzen Experten, dürfte das Biofouling jährlich Schäden in Milliardenhöhe verursachen.

Anstriche mit Bioziden

Um das Ansiedeln von Organismen zu mindern, setzt die Branche seit langem spezielle Unterwasseranstriche ein. In der Regel enthalten diese Lacke Biozide, die nicht nur die Schädlinge angreifen, sondern auch andere Meereslebewesen belasten und sogar in Fischen auf unseren Speisetellern landen könnten. Lacke auf Zinnbasis sind bereits verboten: Das Schwermetall hatte sich als zu giftig erwiesen. Kupferhaltige Anstriche sind zwar noch erlaubt, sollen aber in absehbarer Zeit vom Markt verschwinden. »Der Trend geht dahin, biozidfrei zu arbeiten, um Flora, Fauna, auch den Menschen zu schützen«, sagt Sascha Buchbach vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM.

Zwar gibt es bereits biozidfreie Lacke zu kaufen, basierend auf Silikonharzen. Durchgesetzt aber haben sie sich bislang nicht – ihr Marktanteil liegt bei mickrigen zwei Prozent. Die Gründe: »Diese Beschichtungen sind teurer, schwieriger

in der Handhabung und auf lange Sicht nicht so wirksam wie biozidhaltige Anstriche«, erläutert Buchbach. Deshalb fahnden Experten in dem Forschungsvorhaben »FOULPROTECT« systematisch nach Alternativen – und erproben neue Ansätze. Die Strategie: Nicht Gifte sollen die Lebewesen fernhalten, sondern Oberflächen, auf denen sie sich schlicht unwohl fühlen. »Unser Ziel ist, Beschichtungen so zu strukturieren, dass sich die Organismen erst gar nicht daran anlagern«, erklärt Andreas Brinkmann vom IFAM. »Wir versuchen, den Lebewesen eine Oberfläche mit ständig wechselnden Eigenschaften vorzuspielen und sie dadurch zu verwirren.«

Oberflächeneigenschaften variieren

Für gewöhnlich bevorzugen Muscheln, Algen und Seepocken einen homogenen Untergrund mit gleichbleibenden Eigenschaften. Flächen, deren Beschaffenheit sich alle paar Mikrometer ändert, sind den Organismen suspekt – sie meiden diese. Derart wechselhafte Beschichtungen können Materialforscher mittlerweile in vielfacher Hinsicht herstellen: Manche Schichten sind abwechselnd rau und glatt, andere hart und weich, wiederum andere elektrisch positiv und negativ geladen – wobei sich die Eigenschaften in Mikrometerabständen ändern.

Ein Generalpatent aber scheint es nicht zu geben. Eine Strategie mag besonders gut gegen Algenbefall helfen, eine andere gegen das Anheften gewisser Muschelarten. »Deshalb kombinieren wir verschiedene Ansätze miteinander«, sagt Brinkmann. »Damit wollen wir einen Schutz schaffen, der möglichst viele Arten gleichzeitig von der Oberfläche fernhält.«

Ebenso wichtig: Die Biozid-Alternativen dürfen nicht zu teuer sein und sollten sich unkompliziert handhaben lassen. »Es bringt ja nichts, wenn ich eine wirkungsvolle Beschichtung entwickelt

habe, die sich aber nicht durch einfaches Sprühen, Pinseln oder Streichen aufs Schiff bringen lässt«, betont Sascha Buchbach, der das Projekt FOULPROTECT koordiniert.

Neuartige Beschichtungen im Test

Die Forscher erproben Dutzende von neuartigen Beschichtungen. Wie effektiv die Farbe ist, zeigt dann zum Beispiel der Miesmuschel-Test im Aquarium. »Hier können wir prüfen, ob sich Muscheln auf den Probenoberflächen anheften oder nicht«, erläutert Buchbach. Aber das ist nur der erste Schritt. Deutlich fordernder und aussagekräftiger sind Probeläufe auf hoher See: Vor Norderney bei der Firma LimnoMar können die Experten ihre Prüfplatten, beschichtet mit verschiedensten Lacken, in ein Unterwasser-Gestell einschieben und der Meeresfauna und -flora aussetzen. Nach einigen Monaten zeigt sich dann, welche Anstriche besser gegen den schädlichen Bewuchs schützen als andere.

Besonders aufschlussreich dürften die Tests an Bord zweier Schiffe sein: Ein Schiff der Frisia-Reederei pendelt zu den ostfriesischen Inseln und fungiert nebenbei als schwimmender Versuchsträger. Und im Oktober haben die Forscher einige besonders aussichtsreiche Anstriche am Rumpf der »Wega« angebracht, einem Wracksuch- und Vermessungsschiff des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie.

Da sich der Meeresbewuchs durch Schutzanstriche in der Regel nicht komplett verhindern lässt, testen die Fachleute auch noch andere Konzeptionen gegen Biofouling. Zum Beispiel untersuchen sie Beschichtungen für Schiffsrümpfe, die sich besonders leicht reinigen lassen, etwa von Spezialtauchern. Und eine andere Schicht, die das Fraunhofer IFAM in dem Forschungsvorhaben FOULPROTECT weiterentwickelt, punktet sogar mit einer zusätzlichen Eigenschaft: Ähnlich wie die Haut eines Haifischs besteht sie aus mikrometerfeinen Wellen, Riblets genannt.

»Wir haben festgestellt, dass diese Riblets den Strömungswiderstand des Rumpfes verringern«, erläutert Sascha Buchbach. »Dadurch ließen sich bis zu fünf Prozent Treibstoff einsparen.« Das funktioniert aber nur, wenn man die künstliche Haifischhaut frei von Bewuchs halten kann – ein Ziel, an dem Buchbach und seine Kollegen nun arbeiten. ■



Fluoreszierende Nanopartikel.
© K. Dobberke/Fraunhofer ISC

Haut heilen

Chronische offene Wunden gehören zu den häufigsten Erkrankungen in Europa. Vor allem ältere Menschen und Diabetiker sind davon betroffen. Bislang aber gibt es keine wirklich wirkungsvolle Therapie. Gemeinsam entwickelten Forscherinnen und Forscher aus fünf Fraunhofer-Instituten deshalb Methoden, mit denen sich die Suche nach einer erfolgversprechenden Therapie beschleunigen lässt - unter anderem mit einem künstlichen Hautmodell.

Text: Tim Schröder



Manchmal können Wunden ganz schön hartnäckig sein. Aber meist ist spätestens nach einigen Wochen alles wieder verheilt. Zeigen offene Hautschädigungen auch nach mehreren Monaten keine deutliche Besserung, sprechen Mediziner von chronischen Wunden. Am häufigsten treten das offene Bein (Ulcus cruris), Druckgeschwüre (Dekubitus) und der diabetische Fuß auf. Bei diesen Verletzungen gerät die normale Wundheilung aus den Fugen. Die Verletzung schließt sich nicht mehr. Sie nässt und muss über lange Zeit mit Salben behandelt und ständig verbunden werden.

Künstliches Hautmodell

In manchen Fällen breitet sich eine solche Wunde sogar so stark aus, dass einzelne Zehen, der ganze Fuß oder sogar das Bein amputiert werden müssen. Allein in Deutschland gibt es jährlich etwa 25 000 solcher Amputationen. Etwa acht Milliarden Euro jährlich kostet die Behandlung offener Wunden hierzulande insgesamt. Und mit der Alterung der Bevölkerung in

Europa wird auch die Zahl offener Wunden zunehmen. Gefragt sind neue Heilungsmethoden. Im Projekt »SkinHeal« schlossen sich Forscherinnen und Forscher von fünf Fraunhofer-Instituten zusammen, um das Problem umfassend anzugehen. Sie entwickelten diverse technische Lösungen sowie ein künstliches Hautmodell, an dem sich neue Therapiemethoden schnell und unkompliziert testen lassen.

Das mehrere Millimeter dicke Hautmodell wurde im Labor aus Hautzellen des Menschen gezüchtet. Wie echte Haut auch besteht es aus mehreren Schichten wie etwa der Dermis oder der Epidermis. »Bislang war unklar, ob man offene Wunden tatsächlich mit einem Hautmodell im Labor simulieren kann, um damit die Therapieentwicklung zu beschleunigen«, sagt Gesamtprojektleiter Dr. Jörn Probst vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg. »Wir konnten jetzt zeigen, dass unser Hautmodell tatsächlich als Alternative zu den bisher üblichen Tierversuchen geeignet ist.«

Um verschiedene Heilungsmethoden testen und miteinander vergleichen zu können, muss die künstliche Haut zunächst reproduzierbar verletzt werden. Deshalb verletzen die Wissenschaftler die Haut mit einer von ihnen entwickelten Maschine. Der Artificial Tissue Cutter, kurz ART-cut®, schädigt die Haut stets auf gleiche Weise; mit einem kleinen Bohrer, der mit derselben Drehzahl und Tiefe die Haut durchsticht.

Wundauflage aus Kieselgel

Um die offenen Wunden zu behandeln, arbeiteten die SkinHeal-Forscher an verschiedenen Verfahren. So soll eine neue Wundauflage aus Kieselgel die offene Stelle sicher verschließen. Im Körper wird sie im Laufe von sechs Wochen abgebaut. Die vom ISC entwickelte Kieselgeleinlage ist bereits klinisch zugelassen. In SkinHeal erfüllte sie gleich mehrere Aufgaben. Zum einen wurde sie mithilfe eines Sprühtrocknungsverfahrens mit antibakteriell wirksamen Substanzen beschichtet, sodass die Wirkstoffe über mehrere Wochen langsam in die Wunde abgegeben wurden. Das verbessert die Wundheilung und könnte künftig das häufige Einreiben mit Salbe reduzieren. Darüber hinaus testeten die Forscher mit der Kieselgeleinlage verschiedene Wirkstoffe, die auf biochemischem Wege in die Wundheilung eingreifen. Hintergrund: In

offenen Wunden funktioniert das Miteinander verschiedener Fresszellen (Makrophagen) nicht mehr. Ihre Aufgabe ist es, die Krankheitserreger zu vernichten, die über Wunden in den Körper eindringen. Je nachdem, wie weit die Heilung einer Wunde fortgeschritten ist, sind andere Makrophagentypen aktiv. In frischen Wunden arbeiten die besonders aggressiven M1-Fresszellen, die Krankheitserreger angreifen, aber auch das verletzte Gewebe abbauen. Setzt nach und nach die Heilung ein, werden die sanfteren M2-Fresszellen aktiv, die lediglich Keime abwehren und die Bildung von neuem Gewebe aktiv unterstützen. Im Falle chronischer Wunden aber behalten die M1-Zellen die Oberhand, sodass die Heilung ausbleibt oder sich die Wunde gar vergrößert. In SkinHeal ist es gelungen, biochemische Wirkstoffe in die Kieselgeleinlage zu integrieren, die die M1-Fresszellen im Hautmodell abtöten und damit die Wundheilung ermöglichen. Ob sich daraus eine Therapie entwickeln lässt, soll weiter überprüft werden.

Heilung überwachen

Wichtig ist es auch, die Wunden regelmäßig zu kontrollieren. Ältere Patienten müssen dafür häufig zum Arzt gehen. Viele Patienten empfinden das als zusätzliche Belastung. Manche sind pflegebedürftig und können den Arzt nicht mehr ohne Hilfe aufsuchen. Die Kooperationspartner haben deshalb eine Methode entwickelt, mit der die Mediziner künftig aus der Ferne die Wunden begutachten könnten. Die Forscher beschichteten dazu die Wundauflage mit Farbpartikeln, die sehr gezielt entweder an die M1- oder die M2-Makrophagen andocken. Diese Farbpartikel leuchten auf, wenn sie mit Licht bestimmter Wellenlänge bestrahlt werden. Jene Farbpartikel, die an die aggressiven Makrophagen andocken, leuchten rot, jene, die an die M2-Makrophagen andocken, grün. »Im Leuchtmuster erkennt der Arzt dann sofort, ob in der Wunde die problematischen M1-Makrophagen dominieren oder die M2-Makrophagen«, sagt Probst. Der in SkinHeal entwickelte Lampen-Prototyp hat derzeit noch die Größe einer Taschenlampe. Künftig aber sollen die Patienten die Wunde mit einem Smartphone fotografieren und das Bild direkt an den Arzt schicken können.

Das Projektteam entwickelte noch ein weiteres Verfahren, um die Erkrankung zu überwachen: eine etwa 2-Euro-Münzen große Edelstahl-Mikro-

Ausgezeichnete Forschung

Das Projekt SkinHeal erreichte den zweiten Platz in der Kategorie »Impact expected« im Wettbewerb um den EARTO-Innovation Award 2015 der European Association for Research and Technology Organisations in Brüssel. Das Forschungsvorhaben wurde für die innovativen Ansätze zur verbesserten Behandlung chronischer Wunden unter 17 Mitbewerbern, darunter insgesamt fünf aus dem Bereich Gesundheit, ausgezeichnet. In dem Projekt SkinHeal haben die folgenden fünf Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen gebündelt:

- Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME
- Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
- Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin MEVIS

romembranpumpe, die sich leicht in den Wundverband schieben lässt. Sie saugt Wundflüssigkeit durch den Verband ab. Diese Flüssigkeit kann dann im Labor nach M1- und M2-Makrophagen und anderen an der Wundheilung beteiligten Biomolekülen untersucht werden. Damit lässt sich die Verletzung kontrollieren, ohne dass der Arzt den Verband abnehmen muss.

»Wir haben das große Ziel, mit unseren Lösungen die Entwicklung neuer erfolgversprechender Therapieverfahren zu beschleunigen, damit die Behandlung offener Wunden schneller zu einer Heilung führt«, sagt Probst. Derzeit sind die Projektpartner mit mehreren Firmen weltweit im Gespräch, die die SkinHeal-Technologien zu Produkten für den Gesundheitsmarkt weiterentwickeln wollen. Dann könnten die Verfahren dazu beitragen, den Alltag der Betroffenen zu erleichtern sowie die Zahl der Arztbesuche und den Behandlungsaufwand insgesamt zu reduzieren. »Und natürlich ließen sich auch die Gesamtkosten für die Behandlung offener Wunden erheblich reduzieren«, sagt Probst. »Wir gehen davon aus, dass sich mit der SkinHeal-Technik die Ausgaben insgesamt halbieren lassen.« ■

Schnelle Bilder aus der Röhre

Gemeinsam mit Max-Planck-Forscherinnen und Forschern haben Fraunhofer-Experten eine Methode entwickelt, die MRT-Bilder vom schlagenden Herzen aufnimmt.

Text: Frank Grotelüschen

Das Kind leidet an Herzproblemen, nun soll es im MR-Scanner untersucht werden. Zwar ist die Methode schonend und präzise. Doch die Untersuchung in der Röhre dauert und der junge Patient darf sich möglichst nicht bewegen – für Kleinkinder praktisch unmöglich. Deshalb müssen ihnen die Ärzte oft ein Beruhigungs- oder Narkosemittel verabreichen, ansonsten können die Bilder unscharf und damit unbrauchbar werden. Ein jüngst abgeschlossenes Gemeinschaftsprojekt des Max-Planck-Instituts für Biophysikalische Chemie und des Fraunhofer-Instituts für Bildgestützte Medizin MEVIS verspricht nun Abhilfe.

Beschleunigte Bildaufnahme

Das neue Verfahren beschleunigt die Bildaufnahme von MR-Scannern enorm. Damit lassen sich Bewegungen erkennen und ausgleichen – kleine Patienten müssen für eine MRT-Herzuntersuchung nicht mehr sediert werden. Doch auch bei Erwachsenen erlaubt die Methode wichtige Fortschritte. Die Aufnahmen vom schlagenden Herzen erlauben Untersuchungen von Herzklappenproblemen, blockierten Arterien und Rhythmusstörungen.

Für die Diagnose von Herzerkrankungen wird die Magnetresonanztomographie (MRT) immer wichtiger. Im Gegensatz zu einem Herzkatheter ist sie nicht mit einem Eingriff verbunden und anders als ein Röntgengerät belastet sie den Patienten nicht mit Strahlung. Zudem liefert ein MR-Scanner exklusive Informationen darüber, ob der Herzmuskel gesund oder angegriffen ist. Angesichts der Vorteile ist die Zahl der MRT-

Herzaufnahmen in den vergangenen Jahren stetig gestiegen.

Allerdings zeigt das Verfahren auch manche Einschränkung. Derzeit dauern die Untersuchungen relativ lange. Außerdem müssen die Patienten an ein EKG angeschlossen sein – nur so lässt sich im Nachhinein feststellen, zu welcher Phase des Herzschlags eine Aufnahme gehört. Allerdings sind bei Menschen mit Herzrhythmusstörungen die EKG-Daten oft zu schwankend, um brauchbare Bilder zu erhalten.

Hinzu kommt, dass die Patienten, um störende Atembewegungen zu minimieren, während der Aufnahme immer wieder die Luft anhalten müssen. »Das ist gerade kleinen Kindern nur schwer zu vermitteln«, sagt MEVIS-Forscherin Anja Hennemuth. »Besser wäre eine Methode, bei der die Kinder frei atmen und sich auch ein bisschen hin- und her bewegen können.«

Atmen erlaubt

Genau das schafft das neue »Echtzeit-MRT«-Verfahren. Die Basisentwicklung stammt vom Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen. Die Experten um Professor Jens Frahm haben es geschafft, die Bildaufnahmen im MR-Scanner auf 30 bis 50 Bilder pro Sekunde zu beschleunigen – eine Bildfrequenz ähnlich wie beim Fernsehen. Damit ist es möglich, Herzaufnahmen ohne EKG und ohne Atemanhalten zu machen und außerdem die Reaktionen von Herzmuskel und Blutfluss auf körperliche Belastung direkt zu beobachten.

Die Schwierigkeit: »Die Bilddaten, die ein Echtzeit-Scanner erzeugt, sind nicht ohne weiteres interpretierbar«, erläutert Hennemuth. »Die Methode liefert viele Bilder in schneller Folge und es ist nicht einfach, daraus klinisch nutzbare Informationen zu extrahieren.« Um das Problem zu lösen, suchten die Max-Planck-Experten Rat in Bremen: Die Fachleute vom Fraunhofer MEVIS sind auf das Entwickeln von Algorithmen spezialisiert, die aus Bildern die relevanten medizinischen Informationen herausholen. Gemein-

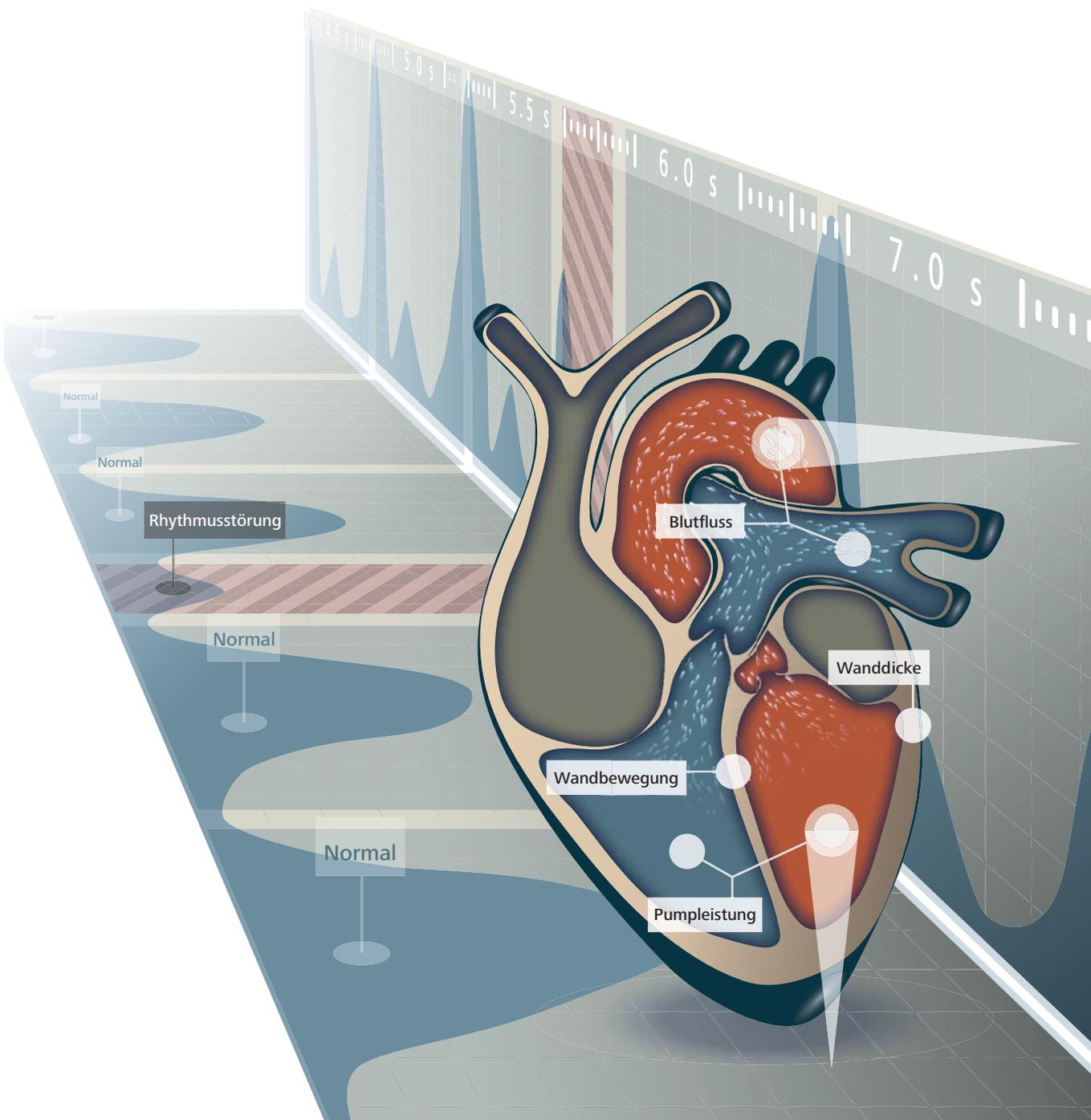
sam rief man das Projekt »Cardiac Function in Realtime«, kurz CaFuR, ins Leben.

Eines der zu lösenden Probleme: In der Regel sind die Bildkontraste der Echtzeit-MRT-Daten weniger klar als die von herkömmlichen MRT-Aufnahmen – nicht selten ändern sich die Kontraste zwischen Blut und Gewebe von einer Aufnahme zu nächsten. Das macht es schwierig, beide sicher voneinander zu unterscheiden. Hennemuths Kollege Markus Hüllebrand zeigt auf den Bildschirm seines Computers. »Hier sieht man, dass Herzmuskel und linke Herzkammer gut voneinander abgrenzbar sind. Die Herzkammer ist hell dargestellt und der Herzmuskel dunkler.« Dann zeigt er eine spätere Aufnahme aus derselben Sequenz: »Hier ist der Herzmuskel heller dargestellt. Das macht eine klare Abgrenzung zur Kammer schwierig.«

Genau das kann zu Fehlinterpretationen verleiten – weshalb die Forscher eine Software entwickelt haben, die das unerwünschte Wechselspiel der Kontraste erfasst und ausgleicht. Des Weiteren identifiziert das Programm automatisch die Konturen der verschiedenen Organe und Organteile und teilt sie in Segmente ein – wichtig, um deren Bewegung nachzuverfolgen. Letzteres geschieht durch Registrierungsverfahren: Sie erkennen, wohin und wie schnell sich eine bestimmte Struktur mit der Zeit bewegt. »Das Herz kontrahiert nicht nur, sondern bewegt sich durch das Atmen auch auf und ab«, erläutert CaFuR-Projektleiterin Hennemuth. »Mit unserer Software kann man auch den Einfluss der Atmung auf die Herzfunktion bestimmen.«

Software misst Blutfluss

Eine weitere Funktion: Das Programm misst den Blutfluss und kann dadurch zum Beispiel die Auswirkungen von Herzklappenproblemen analysieren. Wieder zeigt Markus Hüllebrand auf eine MRT-Aufnahme: »Hell bedeutet Blutfluss in die eine, dunkel in die entgegengesetzte Richtung. Wo es besonders hell und besonders dunkel ist, fließt das Blut am schnellsten.« Damit lässt sich zum Beispiel messen, wie der Blutfluss



Schematischer Aufbau des Herzens mit Herzkammern, Blutgefäßen sowie den Parametern Blutfluss, Pumpleistung, Wanddicke und Wandbewegung. Im dahinter liegenden Zeitdiagramm ist links das Blutvolumen in der linken Herzkammer und rechts der Blutfluss im Aortenbogen über mehrere Herzschläge zu sehen.
© Fraunhofer MEVIS

variiert – was dann auf Herzrhythmusstörungen oder Klappenprobleme schließen lässt. Fließt zum Beispiel zu viel Blut zurück, scheint die Herzklappe nicht richtig zu schließen.

»Eine große Herausforderung lag in den riesigen Datenmengen«, sagt Anja Hennemuth. »Pro Untersuchung fallen bis zu zehn Gigabyte an Bild-daten an.« In ersten Tests hat sich das Verfahren bereits bewährt. Dank der neuen Methode können die Kinder nun wach im MR-Scanner liegen. Da das EKG wegfällt, ist eine Untersuchung deutlich kürzer. Das Universitätsklinikum Göt-

tingen hat bereits mit der klinischen Erprobung begonnen, bald sollen weitere Zentren folgen. »Eine neue Hardware ist nicht nötig, es genügt eine Software-Erweiterung für die bestehenden Geräte«, betont Hennemuth.

CaFur ist seit kurzem abgeschlossen, nun haben die Experten ein Folgeprojekt namens »CaFur Innovator« aufgelegt: »Unter anderem wollen wir die Software beschleunigen und robuster machen sowie ihre Anbindung ins klinische Rechnernetz verbessern«, erläutert der technische Projektleiter Markus Hüllebrand.

»Außerdem werden wir untersuchen, welchen konkreten Nutzen die neue Methode in der Praxis bringt.«

Auf lange Sicht aber soll das Echtzeit-MRT auch für weitere Diagnosen tauglich gemacht werden. »Ideen gibt es genug«, sagt Anja Hennemuth. So ließe sich der Blutfluss in den Beinvenen messen und das Risiko von Venenthrombosen abschätzen. Und Orthopäden könnten künftig per MR-Scanner nachverfolgen, was sich im Inneren eines Knies abspielt, wenn ein schmerzgeplagter Patient das Gelenk bewegt. ■

Pollen verschlimmern Neurodermitis

Was seit Langem vermutet wurde, ist jetzt wissenschaftlich bewiesen: Der Gräserpollenflug hat einen Einfluss auf Neurodermitis – Betroffene zeigen ein deutlich verschlechtertes Krankheitsbild. Forscherinnen und Forscher arbeiten jetzt an neuen Ansätzen für die Therapie.

Text: Monika Offenberger

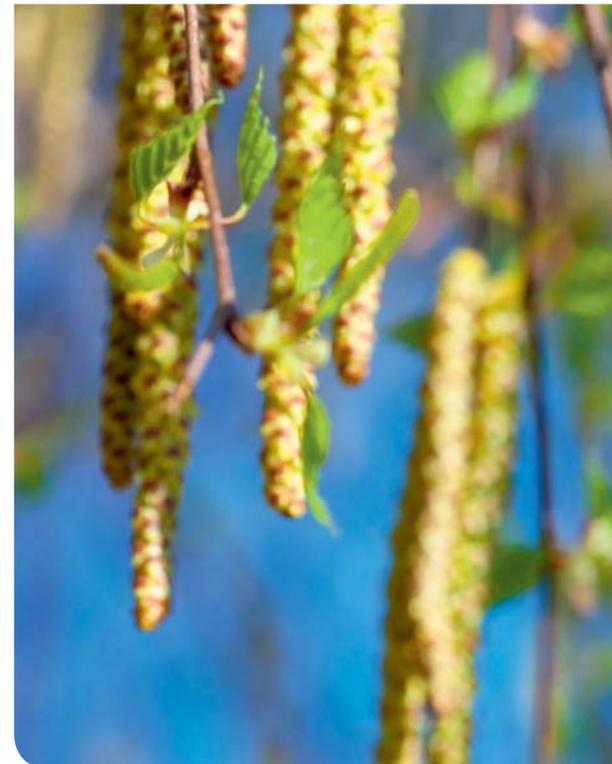
Birke, Beifuß, Roggen & Co. verleiden mit ihrem Blütenstaub Millionen Deutschen den Aufenthalt im Freien. Die Pollen lassen Augen tränen, Nasen laufen und führen zu Atemnot und Husten – lauter typische Symptome von Heuschnupfen und Asthma. Doch damit nicht genug: Die Pflanzenpartikel setzen auch Neurodermitis-Patienten zu, denn sie verschlimmern die Ausprägung ihrer Hauterkrankung. Diesen lange vermuteten Effekt konnte ein Team von Ärzten und Wissenschaftlern am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM und an der Medizinischen Hochschule Hannover nun erstmals durch gezielte Experimente klar belegen. Ein neuartiger Wirkstoff aus synthetischer DNA könnte künftig die allergischen Symptome lindern helfen; bei Asthma-Patienten hat er sich bereits bewährt.

Je nach Saison und Witterung enthält die Luft über einer Wiese mehr oder weniger Blütenstaub. »Im Sommer befinden sich in einem Kubikmeter Luft mehrere Tausend Pollenkörner. Diese Dosis muten wir auch unseren Testpersonen zu«, sagt Professor Norbert Krug, ärztlicher Direktor am ITEM. Das Fraunhofer-Institut in Hannover gehört zu den wenigen Einrichtungen weltweit, die über einen Pollenprovokationsraum verfügen. Der klimatisierte Raum ist mit Edelstahl ausgekleidet und besitzt an der Decke

eine Düse zum Einleiten von Pollen oder anderen Partikeln; ihre Konzentration lässt sich sehr genau dosieren und messen. »So können wir simulieren, was ein Allergiker im Sommer auf einer Wiese einatmen würde«, erklärt Norbert Krug. Einziger Unterschied: Während der Blütenstaub draußen je nach Jahreszeit von vielerlei Bäumen und Gräsern stammt, bekommen es die Probanden nur mit den Pollen vom Wiesenknäuelgras *Dactylus glomerata* zu tun. Sie lösen bei fast allen Patienten, die allergisch auf Gräserpollen reagieren, Reaktionen aus und stehen daher stellvertretend für alle Süßgräser.

Pollen beeinflussen Neurodermitis

Bereits seit 15 Jahren erforscht das ITEM das Phänomen Heuschnupfen. Nun wurden erstmals auch Neurodermitis-Patienten zum Test gebeten – für eine Studie, die zusammen mit Professor Thomas Werfel, dem Leiter der Forschungsabteilung Immundermatologie und experimentelle Allergologie an der Medizinischen Hochschule Hannover, konzipiert und durchgeführt wurde. Teilnehmen sollten nur Freiwillige mit mäßig ausgeprägter Hauterkrankung, die keinerlei Symptome von Heuschnupfen zeigten. Zudem war bei allen Probanden eine erhöhte Allergiebereitschaft im Prick-Test nachgewiesen worden: Ihre Haut hatte bei Kontakt mit diversen Allergenen



Quaddeln gebildet. Die Testpersonen mussten sich an zwei aufeinanderfolgenden Tagen jeweils vier Stunden lang im Pollenraum aufhalten. Die Hälfte von ihnen bekam dort saubere Luft zum Atmen, die andere wurde mit Gräserpollen konfrontiert. Anschließend dokumentierten die Forscher bei jedem Patienten die Ausprägung der Hauterkrankung und verglichen sie mit dem Zustand vor Testbeginn. Ergebnis: Wer den Pollen ausgesetzt war, zeigte binnen Stunden ein deutlich verschlechtertes Hautbild; außerdem mehrten sich in seinem Blut verschiedene Entzündungsmarker.

»Die Verschlechterung trat nur an den unbedeckten Bereichen am Hals, im Gesicht und an den Händen auf. Daraus schließen wir, dass die Pollen vor allem von außen auf die Haut wirken – und weniger von innen heraus nach dem Einatmen eine allergische Reaktion triggern. Das ist ein wichtiger Punkt, der bislang nicht bekannt war«, betont Thomas Werfel. Die Studienergebnisse wurden 2015 im »Journal of Allergy and Clinical Immunology« veröffentlicht, dem weltweit führenden Fachjournal für Allergieforschung. »Daran zeigt sich die große Bedeutung unserer Forschungsarbeit«, so der Arzt. Offenbar ist die erkrankte Haut von Neurodermitis-Patienten durchlässig für Pollenkörner und andere allergene Partikel in Hausstaub, Milben oder Katzen-



Der Pollenflug beeinflusst Neurodermitis.
© shutterstock

haaren. Die Fremdkörper dringen ins Gewebe ein und rufen dort eine überzogene Abwehrreaktion hervor, die sich individuell in unterschiedlichen Symptomen äußern kann: Bei manchen Menschen verschlimmern sich die Hautkzeme, andere hingegen bekommen Heuschnupfen oder Asthma.

Zu den wichtigsten Akteuren in diesem komplexen Immungeschehen zählen die T-Helferzellen. Sie scheiden spezielle Botenstoffe, die Zytokine, aus und heizen damit die allergische Reaktion weiter an. Mit einem neuartigen Wirkstoff könnte es gelingen, diesen Teufelskreis zu unterbrechen. Er enthält ein DNAzym, ein künstliches DNA-Molekül mit den Eigenschaften eines Enzyms. Es drosselt die Produktion von Zytokinen in den T-Helferzellen. Dazu blockiert und vernichtet es gezielt ein Biomolekül namens GATA3, das für diesen Herstellungsprozess unverzichtbar ist.

Neue Therapieansätze

Gefertigt wurde der synthetische GATA3-Hemmer von Professor Harald Renz und Kollegen am Institut für Laboriumsmedizin der Universität Marburg. Eine ausgegründete Biotec-Firma namens Sterna Biologicals hat den Wirkstoff zu einem Medikament weiterentwickelt. »Wir

haben erstmals gezeigt, dass das Präparat für Patienten mit allergischem Asthma sicher und verträglich ist und ihren Zustand deutlich verbessern kann«, sagt Norbert Krug. Das ergab eine Studie, die der ITEM-Direktor gemeinsam mit seinem ITEM-Kollegen Professor Jens Hohlfeld betreut hat. Dafür wurden an sieben deutschen Lungen-Forschungsinstituten insgesamt 40 Patienten ausgewählt, die nach dem Einatmen von Allergenen messbare Atemprobleme bekommen. Die Hälfte von ihnen inhalierte vier Wochen lang jeden Tag das DNAzym-haltige Präparat. Als man sie danach erneut das Allergen einatmen ließ, war ihre Lungenfunktion deutlich weniger eingeschränkt als vor Beginn der Behandlung. Die übrigen Probanden hatten ein Scheinmedikament ohne Wirkstoff inhaliert und zeigten danach keine solche Verbesserung. Auch diese eindrucksvollen Ergebnisse wurden 2015 in einem renommierten Fachjournal, dem »New England Journal of Medicine«, publiziert.

Der klinischen Studie gingen aufwändige Labortests voraus. »Wir haben erstmals belegt, dass das GATA3-spaltende DNAzym auch an menschlichen T-Zellen Wirkung zeigt und dort gezielt Funktionen der allergischen Entzündung herunterreguliert«, berichtet Thomas Werfel. Doch allein mit diesem Wissen sei es nicht getan, betont sein Kollege Norbert Krug: »Bevor

man Medikamente beim Menschen testen will, muss man immer erst Tierversuche machen. Das wird gerne verschwiegen. Denn was beim Ein- und Ausatmen in der Lunge passiert, lässt sich nicht im Glasröhrchen nachstellen. Das komplexe Wechselspiel zwischen Blutfluss und Gasaustausch kriegt man in vitro nicht hin; das kann man nur an lebenden Organismen nachvollziehen.«

Erst nach sorgfältigen toxikologischen Untersuchungen an Ratten und Hunden konnten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer ITEM entscheiden, in welcher Dosis der GATA3-Hemmer ohne gesundheitliches Risiko an Asthma-Patienten verabreicht werden kann. Denn GATA3 ist nicht nur an den lästigen allergischen Reaktionen beteiligt, sondern erfüllt anderswo im Körper wichtige Funktionen und darf daher nur mit Bedacht künstlich reguliert werden. Richtig dosiert und am rechten Ort eingesetzt, könnte das DNAzym für viele Patienten ein Segen sein. Ob sich eine Salbe mit dem Wirkstoff zur Behandlung von Hautkzemen eignet, untersucht Thomas Werfel derzeit an 28 Neurodermitis-Patienten. Erste Ergebnisse erwartet er noch im laufenden Jahr. Für Folgestudien bietet sich der Pollenprovokationsraum im ITEM an, betont Norbert Krug: »Wir haben hier ein Testverfahren etabliert, das sich auch bei Hauterkrankungen bewährt hat.« ■

Mikroben schneller bestimmen

Mit modernen DNA-Sequenzierungstechnologien lassen sich medizinisch relevante Mikroorganismen identifizieren. Die neuen Technologien können helfen, Krankheitserreger zuverlässig und innerhalb kurzer Zeit zu diagnostizieren.

Text: Monika Offenberger

deshalb sagen, welche von ihnen für die Sepsis relevant sind.« Die Fraunhofer-Experten können zwischen harmlosen und gefährlichen Bakterien, Pilzen, Parasiten und Viren unterscheiden – ohne auch nur ein einziges Exemplar eines Erregers live zu fassen. »Unsere Arbeit gleicht der eines Kriminologen. Wir versuchen gar nicht erst, die Täter in flagranti zu ertappen. Stattdessen fahnden wir nach den genetischen Spuren, die sie hinterlassen. Das erhöht die Trefferquote um ein Vielfaches«, erklärt Kai Sohn und zieht einen beeindruckenden Vergleich: »Es ist rund eine Million Mal wahrscheinlicher, Genmaterial eines Erregers zu finden, als seine intakten Zellen aufzuspüren.«

Dies ist möglich, weil in menschlichem Blut neben allerlei Blut- und Immunzellen auch massenhaft freie DNA-Stückchen herumschwimmen. Bei Gesunden stammt dieses lose Genmaterial größtenteils von abgestorbenen Körperzellen und lässt sich eindeutig als solches identifizieren. Bei infizierten Personen kommt noch jede Menge Fremd-DNA von Bakterien oder anderen Krankheits-Erregern dazu: »Bei Sepsis-Patienten finden wir in einem Milliliter Plasma zwischen 100 000 und 10 Millionen fremde DNA-Fragmente. Dieselbe Menge Blut enthält dagegen maximal zehn Bakterienzellen, oft auch nur eine einzige oder gar keine«, sagt Kai Sohn. Will man diese wenigen Keime aus der Blutprobe eines Patienten zweifelsfrei bestimmen, dann muss man sie derzeit noch im Labor kultivieren und vermehren; erst danach lässt sich entscheiden, welche Antibiotika ihnen den Garaus machen. Das dauert mehrere Tage – und liefert am Ende nicht immer eine verlässliche Diagnose. Denn einige Sepsis-Erreger lassen sich schlecht oder gar nicht kultivieren und bleiben daher unentdeckt. Umgekehrt ist nicht jede Spezies, die auf den Nährmedien gedeiht, für den Patienten gefährlich.

Um diese Mängel zu umgehen, versucht man schon seit längerem, die tödlichen Erreger anhand ihrer Gene zu identifizieren. Mit einem Verfahren namens PCR kann man sogar geringe DNA-Mengen millionenfach vermehren. Ein Vergleich mit bekannten Gensequenzen lässt

auf die Zugehörigkeit zu bestimmten Arten oder Klassen von Erregern schließen. Allerdings hat auch dieser molekulare Ansatz einen gravierenden Nachteil, betont Fraunhofer-Forscher Kai Sohn: »Die PCR kann nur definierte DNA-Bereiche vermehren und nachweisen. Diese speziellen Zielsequenzen machen nur einen sehr geringen Teil der genomischen Information eines Erregers aus und kommen im Blut entsprechend selten vor.« Anders beim Verfahren des IGB. Hierbei wird jedes beliebige Gen-Fragment einer Mikrobe genutzt, das die Forscher im Plasma erwischen. Das erhöht die Nachweisgrenze um mehrere Größenordnungen.

30 Millionen DNA-Fragmente

An verräterischen Spuren der Täter besteht also kein Mangel. Im Gegenteil: Das Problem ist ihre schiere Masse, erklärt Sohn: »Wir finden in jeder Probe im Durchschnitt etwa 30 Millionen DNA-Fragmente. Davon trennen wir zuerst den Anteil ab, der vom Patienten selbst stammt. Den nicht-humanen Anteil klassifizieren wir dann in Bakterien, Pilze sowie Viren und bestimmen jeweils die Arten. Das Ganze wird quantitativ erfasst und statistisch ausgewertet. So können wir für jeden einzelnen Erreger abschätzen, wie relevant er für das Krankheitsgeschehen im Patienten ist.« Dieser letzte Schritt ist der entscheidende. Denn erst er erlaubt es, die richtige Diagnose zu stellen und eine geeignete Therapie für den Patienten einzuleiten.

Die reine Sequenzierung der DNA-Fragmente erfolgt längst automatisch und auch der Abgleich mit bekannten Gensequenzen ist Routine. »Die wertschöpfende Leistung besteht darin, aus den Sequenzierdaten die diagnostisch relevante Information herauszufiltern«, betont Kai Sohn. Die Algorithmen, die dies ermöglichen, will sich das Fraunhofer IGB durch ein Patent schützen lassen. Entwickelt hat sie Philip Stevens – in einer Rekordzeit von knapp 20 Monaten, im Rahmen seiner Promotion. »Das war nur deshalb so schnell zu schaffen, weil wir hier am Institut sehr eng zusammenarbeiten. Ich sitze im selben Büro wie Dr. Silke Grumaz, die im Labor die molekulare Aufbereitung der Blutproben etabliert hat.

»Blutvergiftung« nennt es der Volksmund, »Sepsis« heißt das Phänomen im Fachjargon: Gemeint ist eine schwere Infektion durch Bakterien oder Pilze, die sich über den Blutkreislauf im ganzen Körper ausbreiten und schlimmstenfalls zum Tod durch Multiorganversagen führen. Allein in Deutschland erkranken pro Jahr mehr als 175 000 Menschen an einer Sepsis, mehr als 65 000 von ihnen sterben daran. Die Überlebenschance ist umso größer, je früher die Erreger erkannt und mit geeigneten Antibiotika bekämpft werden. Derzeit dauert die Bestimmung der todbringenden Mikroben mehrere Tage – und kommt für viele Erkrankte zu spät. Eine Bestandsaufnahme der DNA der Mikroben könnte die Diagnose künftig auf unter 22 Stunden verkürzen.

Genetischem Material auf der Spur

»Unser Ansatz ist weltweit einzigartig«, sagt Dr. Kai Sohn, dessen Team am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart den neuen Schnelltest entwickelt hat. »Wir identifizieren nicht nur alle Arten von Mikroben im Blut eines Patienten, sondern erfassen sie auch quantitativ und können

Außerdem unterstützt mich mein Doktorvater Prof. Arndt von Haeseler von der Uni Wien mit seinem mathematisch-bioinformatischen Know-how«, sagt Stevens. Der Startschuss zu dem Projekt fiel auf dem Fraunhofer-Netzwerktreffen 2013. Dort wurde die Idee bei einem Elevator-Pitch ausgezeichnet. Derzeit wird das Projekt im Rahmen des Stiftungsprojekts Ribolution weiterentwickelt.

Untersuchung von Plasmaproben

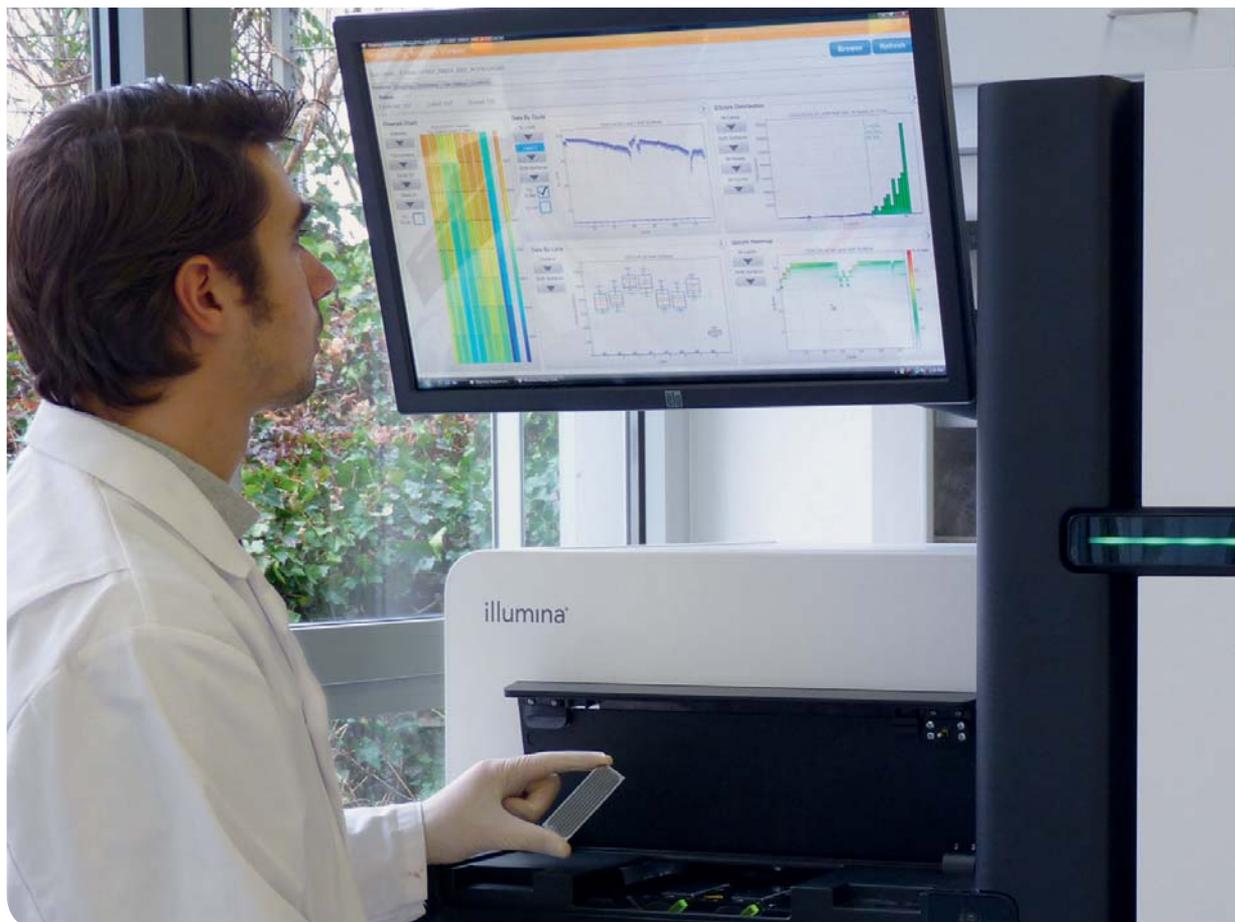
Unverzichtbar ist zudem die Kooperation mit Privatdozent Dr. Thorsten Brenner: Als leitender Oberarzt an der Uniklinik Heidelberg stellte er Blutproben von Sepsis-Patienten für eine »Proof of Concept«-Studie zur Verfügung. So konnte das Fraunhofer-Team Plasma von 50 Sepsis-Patienten auf seinen DNA-Gehalt untersuchen und mit Plasma von Schwerkranken vergleichen, die keine Infektion hatten. »Wir fanden nur bei

den Probanden mikrobielle DNA, bei denen tatsächlich eine Infektion vorlag«, berichtet Kai Sohn und verweist auf ein zusätzliches Plus des neuen Gentests: »Freie DNA-Fragmente werden im Plasma von körpereigenen Enzymen binnen weniger Stunden abgebaut. Das garantiert uns, dass wir stets den aktuellen Zustand des Patienten erfassen – und nicht etwa eine Infektion, die schon Wochen zurückliegt. Wenn wir Proben desselben Patienten im Zeitverlauf analysieren, dann sehen wir sofort, ob die Keimlast mehr oder weniger wird. Oder ob sich die Art der Infektion verändert – zum Beispiel, wenn jemand mit einer Darminfektion eingeliefert wird, die später noch durch eine Lungenentzündung oder eine Superinfektion mit Pilzen überlagert wird.«

Nach diesen aufschlussreichen Ergebnissen soll nun an einer größeren Gruppe von Patienten die Empfindlichkeit des neuen Diagnoseverfahrens,

seine Genauigkeit und sein medizinischer Nutzen geprüft werden. Zudem liefert das Verfahren schnell Ergebnisse: »Wenn wir die Blutprobe bei uns im Labor haben, dann sind wir inklusive Aufbereitung, Sequenzierung und Bioinformatik in weniger als 30 Stunden fertig«, sagt Kai Sohn.

Aber damit gibt sich der Molekularbiologe nicht zufrieden: »Wir sind gerade dabei, die allerneueste Generation von Hochdurchsatz-Sequenziergeräten, also die next next Generation, zu etablieren. Die wird unsere DNA-Fragmente in acht statt bisher 16 Stunden sequenzieren.« Bislang gibt es diese superschnellen Maschinen nur als Prototypen. Einer davon, nicht größer als ein USB-Stick, wurde dem Fraunhofer IGB von Oxford Nanopore Technologies zur Erprobung überlassen. Und Kai Sohn denkt noch weiter: »In Zukunft können solche Maschinen direkt in den Kliniken stehen und vielen Sepsis-Patienten das Leben retten.« ■



Mit modernen DNA-Sequenzierungstechnologien identifizieren Forscher Genome von industriell oder medizinisch relevanten Mikroorganismen.
© Fraunhofer IGB

Stammzellen aus der Fabrik





Der Roboter kann nicht nur Tubes, sondern auch Mikrotiterplatten greifen.
© Bildschön GmbH / Fraunhofer IPT (alle Fotos)

In dem Projekt »StemCellFactory« entwickelten Forscherinnen und Forscher eine Anlage, mit der sich Stammzellen automatisiert herstellen, vermehren und differenzieren lassen. Ziel ist es, Nerven- und Herzmuskelzellen für Medikamenten-Tests zu gewinnen.

Text: Britta Widmann und Birgit Niesing

Neue Medikamente zu entwickeln, ist aufwändig und teuer. Typischerweise bedarf es mehr als 13 Jahre intensiver Forschungsarbeit und bis zu 1,6 Milliarden US-Dollar, um eine Arznei mit innovativem Wirkstoff auf den Markt zu bringen. So die Angaben des Verbands Forschender Arzneimittelhersteller. Vor allem Wirkstoffe, die erst in der letzten Phase der klinischen Erprobung scheitern, treiben die Kosten in die Höhe. Ein Grund, warum mögliche Nebenwirkungen oder die nicht ausreichende Wirksamkeit so spät in der Entwicklung festgestellt werden, ist, dass die Wirkstoffe zunächst im Tierversuch oder an Zelllinien tierischen Ursprungs erprobt werden. Doch diese können die molekularen Mechanismen menschlicher Erkrankungen nicht richtig abbilden.

Um teure Fehlentwicklungen zu vermeiden, wollen Pharmahersteller potenzielle Wirkstoffe früher an menschlichen Zellen testen. Aus »induziert pluripotenten Stammzellen« (iPS-Zellen) lassen sich im Labor verschiedene Zelltypen erzeugen (siehe Kasten Stammzellen). Die iPS-Zellen gewinnt man aus adulten Körperzellen wie etwa

Hautzellen des Menschen. Diese werden durch Zugabe bestimmter Substanzen in Stammzellen reprogrammiert und in ein embryonales Stadium zurückversetzt. Die so behandelten Zellen können theoretisch wieder in jeden Zelltyp umgewandelt werden. Man kann daraus sogar Herz- oder Nervenzellen erzeugen. Das ist auch für die personalisierte Medizin interessant. Denn diese Zellen lassen sich wegen der Risiken für den Patienten nicht mit einer Biopsie gewinnen.

Vollautomatisierte, modulare Produktionsplattform

Bislang werden iPS-Zellen in einem langwierigen und aufwändigen Prozess von fachkundigen Laboranten gezüchtet. Dabei hängen die Menge und die Qualität der iPS-Zellen sehr von der Erfahrung des Laboranten ab. In dem Projekt StemCellFactory entwickelten Partner aus Forschung, Medizin und Industrie eine vollautomatische Produktionslinie, mit der sich iPS-Zellen in großen Mengen bei gleichbleibend hoher Stammzell-Qualität herstellen lassen (siehe Kasten). Anschließend werden die iPS-Zellen –



Der »Picker« pickt einzelne Klone der Stammzellen und setzt diese auf neue Platten um.

Ansicht der »StemCell-Factory« von innen (Foto rechts) und außen (Foto unten).



StemCellFactory

In dem Projekt StemCellFactory ist es Partnern aus Forschung und Industrie erstmals gelungen, ein automatisiertes System für die Produktion von induzierten pluripotenten Stammzellen (iPS Zellen) aufzubauen. Ziel ist es, aus den iPS-Zellen Nerven- und Herzmuskelzellen abzuleiten, mit denen sich neue Medikamente für Erkrankungen des Nervensystems oder des Herzens erforschen lassen.

Die Partner sind:

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
- Universitätsklinikum Aachen
- Universitätsklinikum Bonn
- HiTec Zang GmbH
- LIFE & BRAIN GmbH
- Max-Planck-Institut (MPI) für molekulare Biomedizin

 www.stemcellfactory.de



Um Proben leichter pipetieren zu können, wird der Probenbehälter leicht gekippt.



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

**Pulse Forming
Networks**



ebenfalls automatisiert – in Patienten-spezifische Nerven- und Herzmuskelzellen ausdifferenziert. So eröffnet die StemCellFactory neue Möglichkeiten für das Wirkstoffscreening.

Um die neuartige Anlage entwickeln zu können, zerlegten die Experten zunächst alle biologischen Abläufe, die notwendig sind, um humane somatische Zellen zu reprogrammieren, zu vermehren und zu differenzieren, in maschinen-taugliche Grundprozesse. Daraus leiteten sie dann die integrierten Abläufe ab.

Das Arbeiten mit lebenden Zellen stellt besonders hohe Anforderungen an die Prozessautomatisierung und -steuerung. Denn Einflussfaktoren wie Zelldichte, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gaskonzentration, aber auch die stark ausgeprägte genetische Individualität von Zellprodukten erfordern eine flexible Prozessführung. Doch dafür müssen nicht nur die einzelnen Geräte miteinander vernetzt sein, sondern die Messtechnik muss auch nahtlos in die Prozesssteuerung integriert werden.

Die Entwicklung und Steuerung der Anlage war Aufgabe der Experten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT in Aachen. Diese hatten gleich mehrere Herausforderungen zu meistern. So mussten sie ganz verschiedene biotechnologische Labor-Geräte miteinander vernetzen – wie einen Pipettier-Roboter, ein

Mikroskop, welches das Zellwachstum überwacht, einen Brutschrank oder auch das automatische Magazin, in dem Zellen und Behälter aufbewahrt werden. Keine leichte Aufgabe, denn »trotz der Bestrebungen der Industrie, einheitliche Schnittstellen für Laborautomatisierungsgeräte zu etablieren, gibt es bisher für die verwendeten Geräte keinen internationalen Standard, um sie zu vernetzen«, sagt IPT-Entwickler Michael Kulik. »Plug and play war damit nicht möglich. Wir mussten deshalb zunächst eine eigene Schnittstelle entwickeln, um alles zu integrieren.«

High-Speed-Mikroskop überwacht das Wachstum

Dank dieser umfassenden Vernetzung kann die Anlage sehr flexibel auf die biologischen Vorgänge reagieren. Stellt zum Beispiel das am IPT entwickelte Mikroskop fest, dass die Zelldichte in den Kulturgefäßen zu groß ist, teilt der Pipettier-Roboter die Zellen auf frische Gefäße auf. »Damit entscheidet das Produkt, also die wachsenden Stammzellen, über den Ablauf des Gesamtprozesses«, sagt Kulik. Oder anders: Die Fertigung ist in der Lage, sich an den aktuellen Zustand anzupassen – Industrie 4.0 für die Biotechnologie. Die Experten des IPT stellen die Plattform zur automatisierten Zellproduktion auf der Hannover Messe (25. - 29. April) vor.

Die Anlage lässt sich einfach handhaben. Auf einer Bedienoberfläche kann man jedes einzelne Gerät über einen Knopf ansteuern. Um bei Bedarf die Prozessschritte der Anlage zu ergänzen oder zu verändern, genügt es, vorprogrammierte Befehlsbausteine in das Steuerungsmenü zu ziehen oder daraus zu löschen. Je nach Wunsch können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Anlage vollautomatisch oder im Handbetrieb fahren. Die im Projekt StemCellFactory entwickelte Technologie lässt sich auch auf andere Anwendungen übertragen, etwa das Tissue Engineering und damit die Produktion von Gewebemodellen.

Die Software ist skalierbar und eignet sich für kleinere und größere Produktionsanlagen. Da die Programmierung sehr flexibel ist, lässt sich die Steuerungstechnik auch auf jede andere Produktionsanlage übertragen, bei der eine adaptive Steuerung auf Basis aktueller Messdaten gefragt ist. ■

Stammzellen

Stammzellen sind undifferenzierte Zellen, die sich unbegrenzt vermehren und alle Zelltypen des Körpers bilden können – zum Beispiel Muskel-, Nerven- oder Blutzellen. Diese Fähigkeit der Stammzellen bezeichnet man als Pluripotenz. 2006 gelang es dem Japaner Shinya Yamanaka erstmals adulte Gewebezellen in Stammzellen zurück zu programmieren. Diese induzierten pluripotenten Stammzellen – kurz iPS-Zellen – können jede Zelle des menschlichen Körpers hervorbringen; eine Eigenschaft, die sonst nur embryonale Zellen aufweisen. Da iPS-Zellen aus Körperzellen entstehen, lösen sie im Vergleich zu embryonalen Stammzellen weniger ethische Kontroversen aus. Das macht sie für die medizinische Forschung interessant.

Effiziente Elektronik für Mobilfunk

Um die Mobilkommunikation für die Zukunft fit zu machen, werden extrem schnelle und energieeffiziente Sendeverstärker gebraucht. Professor Dr. Oliver Ambacher entwickelte hocheffiziente Leistungsverstärker aus dem Halbleitermaterial Galliumnitrid. Für diese Arbeiten erhielt er den Karl Heinz Beckurts-Preis.

Text: Ines Bruckschen

Unterwegs im Internet surfen, in der U-Bahn aktuelle Tweets abrufen, Urlaubsfotos an Freunde schicken, den Konzertbesuch filmen und auf Videokanälen hochladen – Smartphones und Tablets haben unser Kommunikationsverhalten in den vergangenen Jahren stark verändert. Damit jedoch immer größere Datenmengen noch schneller drahtlos übertragen werden können, sind energieeffiziente Kommunikationstechniken gefragt, die die Informationen über Basisstation und Richtfunk ins Anbieternetz übermitteln und wieder abrufen. Für diese enormen Daten-Kapazitäten hat Professor Dr. Oliver Ambacher, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg, in Kooperation mit industriellen Projektpartnern Leistungsverstärker auf Basis des neuartigen Halbleitermaterials Galliumnitrid (GaN) für Mobilfunk-Basisstationen entwickelt und zur Einsatzreife gebracht. Für seine wegweisende wissenschaftliche Arbeit erhielt Ambacher den mit 30 000 Euro dotierten Karl Heinz Beckurts-Preis.

»Angesichts der weltweit steigenden Zahl der Mobilfunknutzer sind immer höhere Datenraten für den Informationsaustausch notwendig. Damit steigt das Datenvolumen stark an – und parallel dazu auch die zur Datenübermittlung benötigte Energie«, erklärt Ambacher. Mit Hilfe des modernen Halbleitermateri-

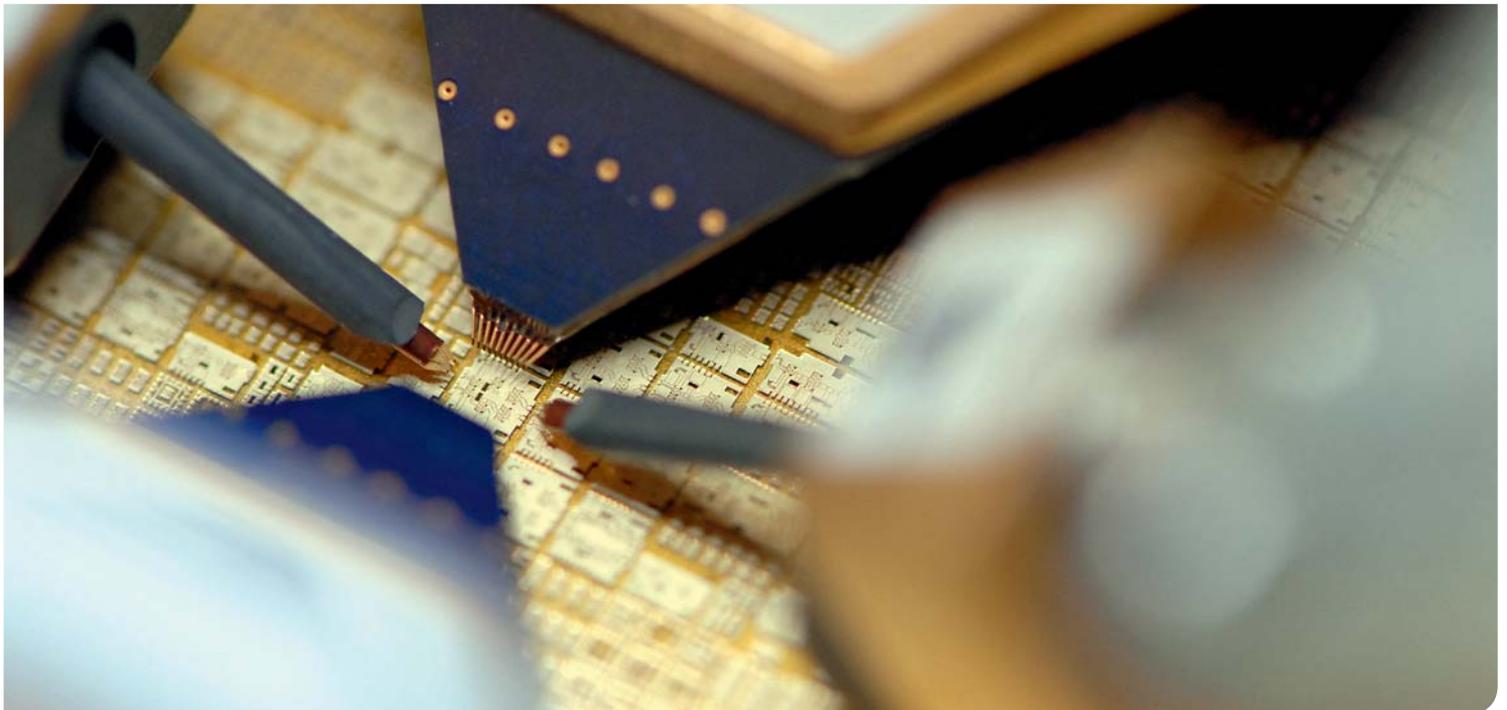
als Galliumnitrid lassen sich Sendeverstärker für den Mobilfunk realisieren, die wesentlich energieeffizienter und leistungsstärker sind als bisherige Technologien.

Energiebedarf reduzieren

Die speziellen physikalischen Eigenschaften von GaN ermöglichen es, den Energiebedarf der Mobilfunk-Basisstationen auf ein Viertel zu reduzieren. Mit GaN-Leistungsverstärkern kann allein in Deutschland die Effizienz des Mobilfunknetzes so deutlich erhöht werden, dass sich pro Jahr 1,5 Millionen Tonnen CO₂ einsparen lassen. Weiterer Vorteil: GaN-Verstärker sind multibandfähig, so dass die Basisstation auf allen verfügbaren Frequenzbändern Informationen an Mobilfunkteilnehmer senden oder von ihnen empfangen kann. GaN-Technologie ermöglicht zudem Einsparungen bei den Fertigungs- und Betriebskosten der Basisstationen.

Weiterer Vorteil: Da mehr Betriebsfrequenzen möglich sind, erhöhen sich auch die Reichweite und übertragbare Datenrate deutlich. »So schöpfen wir nicht nur das Potenzial des aktuellen LTE-Standards bestmöglich aus, sondern schaffen die optimalen Voraussetzungen für die Einführung der nächsten, fünften Generation (5G) des Mobilfunknetzes im Jahr 2020«, erläutert der Preisträger. ■

On-Wafer-Messung von monolithisch integrierten 100-nm-Galliumnitrid-Schaltungen. © Fraunhofer IAF



INDUSTRIE 4.0 TRIFFT ERP

Die Bedeutung von ERP für die intelligente Fabrik

Mit Industrie 4.0 ziehen Informations- und Internet-Technologien flächendeckend in die Fertigungsindustrie ein. ERP-Systeme bilden dabei die zentrale Datendrehscheibe. Doch sind die heutigen ERP-Systeme diesen neuen Anforderungen überhaupt gewachsen?

Industrie 4.0 krepelt gerade die Fertigungsindustrie um und verändert die Abläufe in der Branche grundlegend. Die intelligente Fabrik baut darauf, dass alle Akteure – von Mitarbeitern über Maschinen bis hin zur Software-Infrastruktur – miteinander vernetzt sind und kommunizieren. Modernste Informations- und Kommunikationstechnologien werden auf diese Weise mit den klassischen industriellen Prozessen vereint, das produzierende Gewerbe wächst mit dem Internet zusammen.

Mit der Verschmelzung der physischen und der digitalen Welt werden völlig neue und flexible Produktionsprozesse möglich. Industrie 4.0 kann beispielsweise individuelle Kundenwünsche berücksichtigen und selbst Einzelstücke – Losgröße 1 – rentabel produzieren. Produktionsprozesse werden dynamisch gestaltbar wie nie, die Mitarbeiter können die Produktion kurzfristig ändern und sofort auf Störungen und Ausfälle reagieren – zum Beispiel auf Engpässe bei Zulieferern.



Die IT nimmt in der Industrie 4.0 die zentrale Rolle ein. Sie muss einerseits die Kommunikation von Maschinen und Werkstoffen untereinander unterstützen. Gleichzeitig bedarf es jedoch einer starken zentralen Instanz, um die Maschinen, Werkstücke und Menschen koordinieren und synchronisieren zu können. Traditionell übernimmt diese Aufgabe ein ERP-System. Deren Bedeutung wird mit Industrie 4.0 nicht abnehmen – im Gegenteil: ERP wird für Industrie 4.0 den wichtigsten Knotenpunkt bilden: Denn die intelligente Fabrik benötigt eine Drehscheibe für die Vernetzung aller Akteure und Maschinen, um die Standards für Stücklistenpositionen, Artikel- und Kundenstämme zu definieren und die Auftragsabwicklung zu koordinieren – und beispielsweise auf ERP-Zuruf ein individuell konfiguriertes Produkt herzustellen.

Hohe Flexibilität

Allerdings müssen ERP-Systeme bestimmte Voraussetzungen erfüllen, um mit den gestiegenen und teils völlig neuen Anforderungen Schritt halten zu können. Ein erster Punkt: Industrie-4.0-Prozesse sind durch hohe Dynamik und Flexibilität gekennzeichnet. Entsprechend muss ein ERP-System die Dynamik und Flexibilität dieser Prozesse unterstützen.

Ein einfaches und schnelles Customizing für neue Prozesse sowie die tiefgreifende Anbindung von Spezialanwendungen ist unumgänglich. Gängige Integrationschnittstellen und -Standards, wie sie etwa von IETF und W3C definiert sind, müssen

ebenso unterstützt werden wie für alle gängigen Prozesse Webservices sowie CORBA- und COM-Schnittstellen.

Um einen optimalen Informationsfluss entlang der eng verzahnten Supply Chains zu ermöglichen, sollten sich außerdem neue Partner und Zulieferer, viele Standorte und neue Arten des Nachrichtenaustauschs schnell und ohne Anpassungen einbinden lassen. Dazu müssen die ERP-Systeme offene und leicht konfigurierbare Schnittstellen für den elektronischen Datenaustausch bieten. Objektorientierung, Datenbankunterstützung sowie Wiederverwendbarkeit und flexible Rekombination von Applikationen sollten sicherstellen, dass sich Fremdfertiger in die Produktionsprozesse problemlos einbinden können und so die Zusammenarbeit gewährleisten. Auch SOA – also serviceorientierte Architekturen – haben sich hier bewährt. SOA bricht Softwareprozesse in granulare "Services" beziehungsweise Funktionalitäten auf, die sich einzeln und unabhängig voneinander durch Konfiguration anpassen lassen. Daher vereinfacht das SOA-Konzept auch die Integration von Fremdsystemen in das ERP.

Einheitlicher Datenbestand

Damit werden Unternehmensmodelle Wirklichkeit, die Partner, Kunden und Lieferanten im Sinne des Collaboration-Konzepts einbeziehen. Denn die einzelnen Funktionen oder sogar ganze Prozessketten lassen sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines Unternehmens einfach über Internet zur Verfügung stellen – ohne aufwändige Integrationszenarien und zusätzliche Software.

Da serviceorientierte Architekturen die Geschäftsprozesse in kleinere, einfach zu modifizierende Funktionen aufteilen, können auch unternehmensspezifische Regeln besser im System abgebildet und jederzeit verändert werden. Diese Integrationsfähigkeit lässt sich innerhalb des Unternehmens zur Einbindung von Anwendungen und unternehmensübergreifend zur Unterstützung von Collaboration-Aufgaben nutzen.

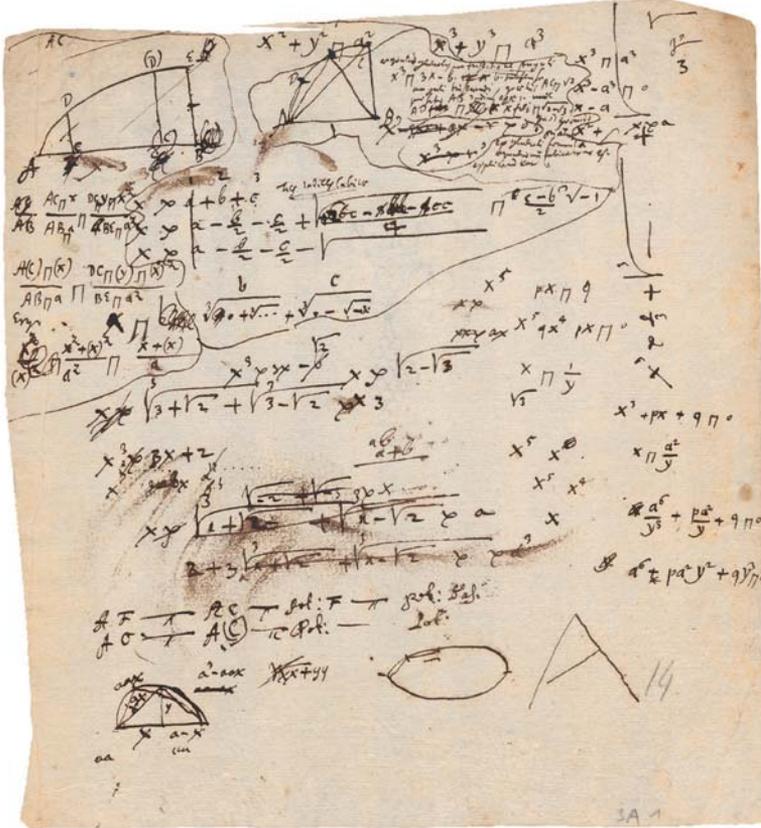
Und schließlich gilt es darauf zu achten, dass Unternehmen mit verteilten Standorten mit einem einheitlichen Datenbestand arbeiten. Dazu benötigen ERP-Systeme leistungsfähige Multi- und Inter-Site-Funktionalitäten, mit denen sich Prozesse über die verschiedensten – auch internationalen – Standorte eines Unternehmens steuern lassen. Damit ist auch eine standortübergreifende Planung möglich, die einen ununterbrochenen Materialfluss gewährleistet.

Moderne ERP-Systeme wie Comarch ERP bringen diese für Industrie 4.0 unabdingbaren Funktionalitäten bereits heute mit und sind damit bestens für die vierte industrielle Revolution gerüstet.

Comarch ist ein weltweit aktiver Spezialist für IT-Lösungen mit über 5.000 Mitarbeitern in 24 Ländern. Das Portfolio umfasst z.B. Business-Software für mittelständische Unternehmen und IT-Infrastruktur, Hosting- und Outsourcing-Services.

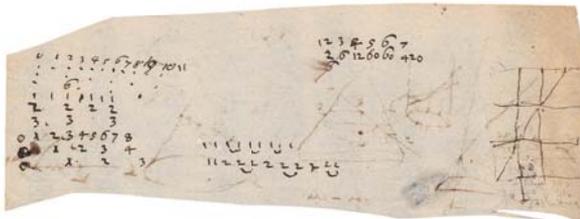
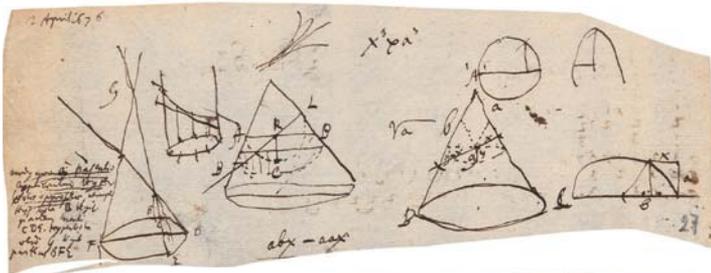
Weitere Informationen zu Comarch ERP unter:
www.comarch.de/erp

Ein Gedankengebäude aus Papierschnipseln



Ein Assistenzsystem soll helfen, die Handschriften Leibniz zu rekonstruieren.

© Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek



Ein unermesslicher Wissensschatz, leider recht chaotisch auf 200 000 handschriftlichen Zetteln niedergeschrieben - das ist das Vermächtnis des Universalgelehrten Gottfried Wilhelm Leibniz. Da Ordnung reinbringen? Von Hand nicht zu machen. Fraunhofer-Experten für digitale Rekonstruktion werden nun mit einem innovativen Assistenzsystem dabei helfen, unerschlossene Leibniz-Handschriften zu rekonstruieren.

Text: Chris Löwer

So viele Gedanken, so viele Zettel. Universalgenie Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) döste morgens nach Nächten der Arbeit oft noch lange im Bett, wobei ihm viel durch den Kopf spukte. Sehr viel. So viel, dass er den Vormittag, manchmal den ganzen Tag, damit verbrachte, seine Gedanken zu genialen Ideen zu formen, indem er sie aufschrieb. Ein Bogen handgeschöpften Papiers nach dem anderen füllte sich mit Wegweisendem für Philosophie, Politik, Technik, Theologie und Mathematik. Zuweilen fanden sich Ideen aus allen Fachgebieten auf einem Zettel. Dem Gelehrten dämmerte, dass er da Ordnung reinbringen musste – und zerschnitt die zahlreichen Zettel, um sie thematisch sortiert in den Fächern eines Schränkchens abzulegen.

»Leibniz hat schreibend gedacht und schneidend geordnet«, erklärt Michael Kempe, Leiter des Leibniz-Archivs, die besondere Arbeitsweise. Nur: Im Laufe der Jahre kamen sehr viele Fragmente, Streifen und Schnipsel innerhalb des etwa bis zu 200 000 Seiten umfassenden Nachlasses der Gottfried Wilhelm Leibniz-Bibliothek zusammen. Diesen Wissensschatz allein chronologisch zu sortieren, ist eine von Hand sehr mühsame und schwer zu bewältigende Aufgabe, weiß Kempe. Doch die Rekonstruktion der vielen Papierschnipsel ist seit Jahren ein Ziel der Akademie-Ausgabe der Leibniz-Edition und der Leibniz-Bibliothek in Hannover.

Jetzt soll mit dem »Leibniz-Schnipsel-Projekt« in die Textfragmente Ordnung gebracht werden, woraus sich neue Erkenntnisse über den schreibenden Denker ergeben dürften. Leibniz selber hätte sich nicht träumen lassen, dass ausgerechnet er den Weg bereitet hat, damit nun Computer automatisiert Licht in seinen Nachlass bringen: Denn auf den Wissenschaftler geht das binäre Zahlensystem zurück, womit er die Grundlage für die Informatik und damit der innovativen Rekonstruktionssoftware des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK geschaffen hat. Forscherinnen und Forscher des IPK arbeiten an einer Software, mit der es gelingt, die Notizen

zu rekonstruieren und strukturieren. Dabei greift das Team um Projektleiter Jan Schneider und Abteilungsleiter sowie Projektinitiator Dr. Bertram Nickolay auf Erfahrungen mit der Wiederherstellung zerrissener Stasi-Akten zurück.

Jedes einzelne Papier muss eingescannt werden

Gemeinsam mit der Gottfried Wilhelm Leibniz-Bibliothek, der MusterFabrik Berlin und Mitarbeitern der Akademie-Ausgabe »Leibniz-Edition« wollen die Berliner zunächst Fragmente der 7200 Blatt Papier umfassenden Schriftstücksammlung »Mathematica« digital rekonstruieren. Das ist aufwändig genug: Zunächst muss jedes einzelne Papier, wovon sehr viele Fragmente sind, von zwei Seiten eingescannt werden. »Vorder- und Rückseite müssen in einem Atemzug absolut deckungsgleich und hochauflösend erfasst werden«, nennt Schneider die Grundanforderung, um die Schnipsel später genau zuzuordnen zu können.

Die virtuelle Rekonstruktion verläuft ähnlich, wie wenn wir puzzeln, daher nennt sich die vom IPK entwickelte Rekonstruktionssoftware auch ePuzzler. »Der Kern sind komplexe Algorithmen der Bildverarbeitung und Mustererkennung, durch die gescannte Papierfragmente assistenzbasiert zu vollständigen Seiten zusammensetzt werden können«, erklärt Schneider. Der virtuelle Puzzler entscheidet anhand einer Vielzahl von Merkmalen, ob zwei Teile zusammenpassen oder nicht, unter anderem Ecken, Umrandungen, Linierungen, Riss- und Schnittkanten. So erkennt die Software, ob sich Schnitte der Schnipsel zusammenfügen lassen, ob Leibniz Vorder- und Rückseiten beschrieben hat und vieles mehr. Sind über die Schnittkanten hinweg keine Texte oder sonstigen Vordergrundinformationen vorhanden, kann anhand des Gittermusters des Papiers analysiert werden, ob Teile zusammenpassen oder nicht. Exemplarisch untersucht werden soll auch, wie sich Wasserzeichen sichtbar machen und auswerten lassen. »Zuordnungen anhand von Wasserzeichen zu

treffen, ist für uns komplettes Neuland«, sagt Projektinitiator Nickolay, »ebenso wie das Zusammenfügen von mathematischen Formeln oder Diagrammen, die bislang durch einen beherrzten Scherenschnitt voneinander getrennt waren.« Wertvolle Hinweise liefern neben den Konturen des Papiers auch dessen Farbe: Die Fragmente sind unterschiedlich stark vergilbt. »Die Herausforderung besteht darin, unsere Algorithmen an diese Gegebenheiten anzupassen«, erklärt Nickolay. Was passt, wird vom Matcher am Rechner zusammengefügt.

Michael Kempe ist mit ersten Tests des computergestützten Assistenzsystems zufrieden: »Was wir bisher von Hand rekonstruierten, hat auch die Maschine zuverlässig erkannt. Sogar Blindtests verliefen sehr gut, so dass wir schon zu Anfang des Projektes Gewissheit haben, dass die Software funktionieren wird.« Bei allem haben jedoch die Hannoveraner Leibniz-Experten das letzte Wort: Sie entscheiden, ob sie Vorschläge der Computer akzeptieren oder nicht. Denn oft geben die sauberen Schnittkanten nicht genügend Merkmale her, um absolut zweifelsfrei Paarungen zusammenzufügen. Hätte Leibniz die Zettel von Hand zerrissen, wäre die Arbeit heute für den ePuzzler einfacher.

Die Erkenntnisse werden in die historisch-kritische Ausgabe der Edition »Gottfried Wilhelm Leibniz, Sämtliche Schriften und Briefe« einfließen, an der bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts gearbeitet wird. »Möglicherweise werden neue mathematische Erkenntnisse gewonnen, da hier große Teile noch völlig im Dunkeln liegen«, sagt Kempe. Hilfreich dabei ist, dass nun im Zuge des Rekonstruktionsprojektes die Blattfragmente digitalisiert und damit weltweit verfügbar werden. Internationale Forscher können dann besser als bisher auf den Nachlass zugreifen, was der Leibniz-Forschung zusätzlich wertvolle Impulse verschaffen dürfte.

Aber auch die Berliner Fraunhofer-Forscher erhoffen sich neue Impulse für ihre Innovation: »Das Projekt eröffnet uns ein interessantes Anwendungsspektrum im kulturellen Bereich«, sagt Nickolay. So liegen dem Institut schon jetzt einige Anfragen vor, bei denen es darum geht, beschädigte Kulturgüter lesbar beziehungsweise der Forschergemeinde zugänglich zu machen.

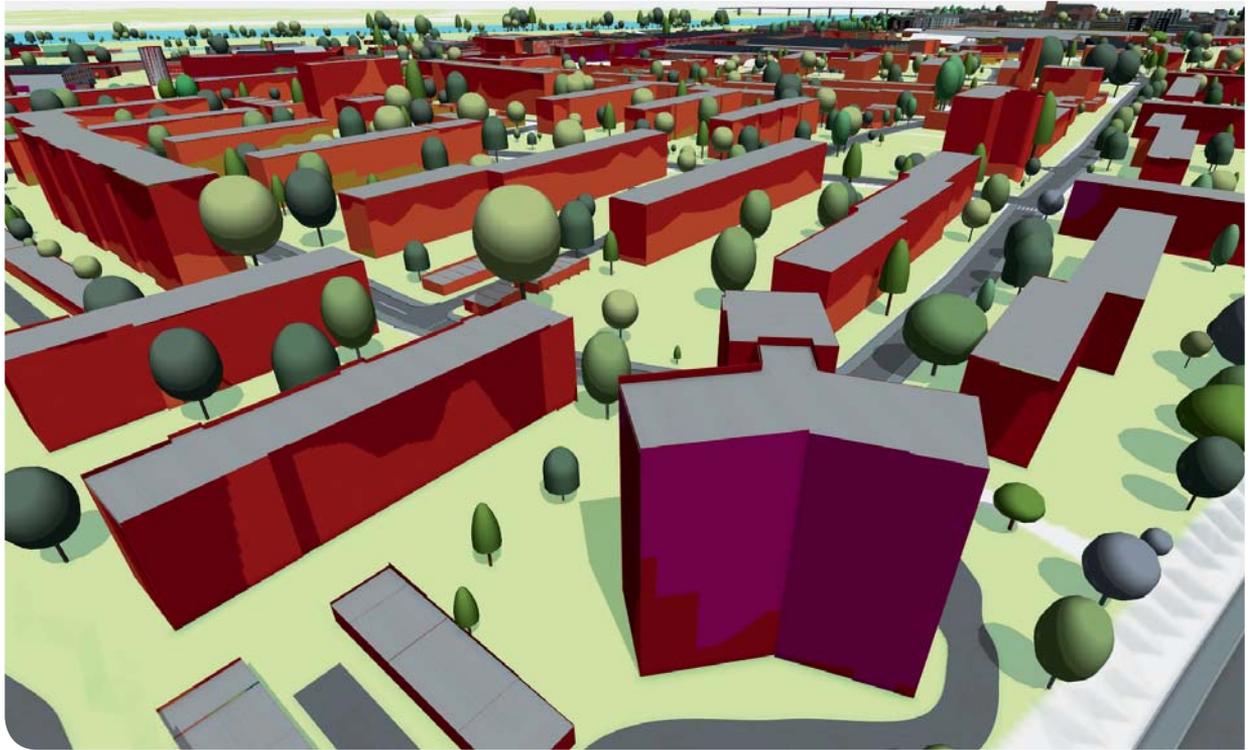
Der Anfang dafür ist mit dem Leibniz-Projekt gemacht. Bis zum März 2017 sollen in der Pilotphase alle Fragmente des Konvoluts »Mathematica« zusammengeführt sein. ■

Stadtplanung wird smart

Visualisierung der Lärm-
belastung.

(orange bis 60 dB,
rot bis 65 dB,
braun bis 70 dB und
lila bis 75 dB)

© Esri GmbH



Der Stadtteil Mülheim Süd ist ein attraktiver Standort in Köln.
© Christoph Seelbach

Die wilhelminische Architektur der alten Industriehallen soll bei der Sanierung möglichst erhalten bleiben.
© Stadt Köln, Werkstatt-Verfahren
»Mülheimer Süden inklusive Hafens«



Wachstum, Umweltschutz, Energieversorgung - Städte stehen vor großen Herausforderungen. Virtuelle 3D-Modelle erleichtern die Planungen und ermöglichen es, Bürgerinnen und Bürger zu beteiligen.

Text: Klaus Jacob

Wer Google Earth auf seinem Rechner installiert hat, kann virtuell an jeden Ort der Welt reisen und sich vom heimischen Schreibtisch aus ein plastisches Bild von der fremden Gegend machen. Ähnliche Visualisierungen können auch bei der Stadtplanung helfen. Denn mit smarten optischen Lösungen lassen sich viele Herausforderungen, vor denen die Verwaltungen stehen, elegant lösen. Die Anforderungen an die Kommunen steigen ständig. Nicht nur, dass die Städte rasant wachsen: Weltweit leben bereits weit mehr als die Hälfte aller Menschen in Städten, 2050 werden es rund 70 Prozent sein. Auch die Infrastruktur ändert sich rasant, vom neuen Fahrradwegenetz bis zum Umbau eines ganzen Bahnhofs wie in Stuttgart. Dazu kommen immer schärfere Umweltschutzaufgaben. Feinstaub, Verkehrslärm, Abgase – alles muss überwacht werden. Das Ziel ist eine nachhaltige und klimafreundliche Stadt.

Dreidimensionales Modell

»Um all diese Aufgaben bewältigen zu können, ist eine gemeinsame Datenbasis wichtig«, sagt Till Scheu. »Alle Ämter und Mitarbeiter sollen für ihre unterschiedlichen Aufgaben dieselbe Grundlage verwenden.« Scheu arbeitet im Stadtplanungsamt von Köln und will nun in einem Pilotprojekt zeigen, wie so etwas aussehen kann. Moderne IT-Technologie hilft dabei. Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart und dem Unternehmen ESRI (Environmental Systems Research Institute) hat Köln für den Stadtteil Mülheim Süd, der gerade völlig umgestaltet wird, ein dreidimensionales Modell erstellt. Experten sprechen von einem »3D GIS Modell«, wobei GIS für Geoinformationssystem steht. Es ähnelt der App von Google, ist aber komfortabler und vielseitiger. Man kann damit virtuell jede Perspektive einnehmen, durch Straßenschluchten fliegen oder Brennpunkte heranzoomen. »Hubschrauber, Auto, Fahrrad – man kann jedes

Verkehrsmittel benutzen und beliebige Wege gehen«, sagt Wolf Engelbach, der das Projekt für das IAO betreut. Vor allem die Fußgänger-Perspektive ist wichtig, weil sie den Eindruck vermittelt, den jeder Bewohner kennt.

Experten des IAO untersuchen, wie ein solches Werkzeug die Arbeit der Verwaltung erleichtern kann. Dabei haben sie eine Vielzahl möglicher Anwendungsfelder ausgemacht. Denn viele Daten, mit denen die Stadt zu tun hat, lassen sich damit optisch darstellen, sodass man sie intuitiv verstehen kann, ohne dicke Aktenberge wälzen zu müssen. Zum Beispiel bei der Ökologie: Mit dem 3D-Modell kann man Verkehrsströme simulieren und eine Verkehrsführung für ein Stadtviertel finden, die möglichst wenige Abgase verursacht. Auch die Ausbreitung der Schadstoffe lässt sich optisch darstellen, wenn man Wind und Stadtklima berücksichtigt. Weil das Modell dreidimensional ist, kann man sogar erkennen, wie sich die Abgase in der Höhe ausbreiten, und ob ein Bewohner in der dritten Etage gesünder lebt als einer im Erdgeschoss. Oder wie sich Bäume auf die Luftqualität auswirken.

Planungen visualisieren

Genauso lässt sich der Verkehrslärm darstellen, vom Straßenniveau bis zum Dachgeschoss. Der Lärm wird dabei als Punktwolke beschrieben, die sich je nach Intensität verdichtet. Bei all diesen Visualisierungen geht es nicht nur darum, die momentane Situation in der Stadt darzustellen, sondern vor allem um geplante Vorhaben. Das Modell hilft dabei, Alternativen auf einen Blick vergleichbar zu machen und so optimale Lösungen für viele Fragen zu finden: Welche Gebäudeform eignet sich am besten, um die Lärmbelastung in Grenzen zu halten? Wie wirkt sich ein Neubau auf das Stadtklima aus? Ist eine geplante Ampel gut einsehbar?

Da Köln-Mülheim direkt am Rhein liegt, ist auch die Hochwassergefahr ein brisantes Thema. Mit dem Modell kann man anschaulich zeigen, was passiert, wenn die Pegel steigen. Die Berechnungen dahinter sind keineswegs trivial, denn es geht nicht nur um die Geländehöhe. Auch hydraulische Daten müssen einfließen, um erkennen zu können, wo Kanäle überlaufen, an welchen Stellen ein Engpass das Wasser nur langsam abfließen lässt oder wo Wasser durch den Boden gedrückt wird. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Energieversorgung. Mit den Geodaten lässt

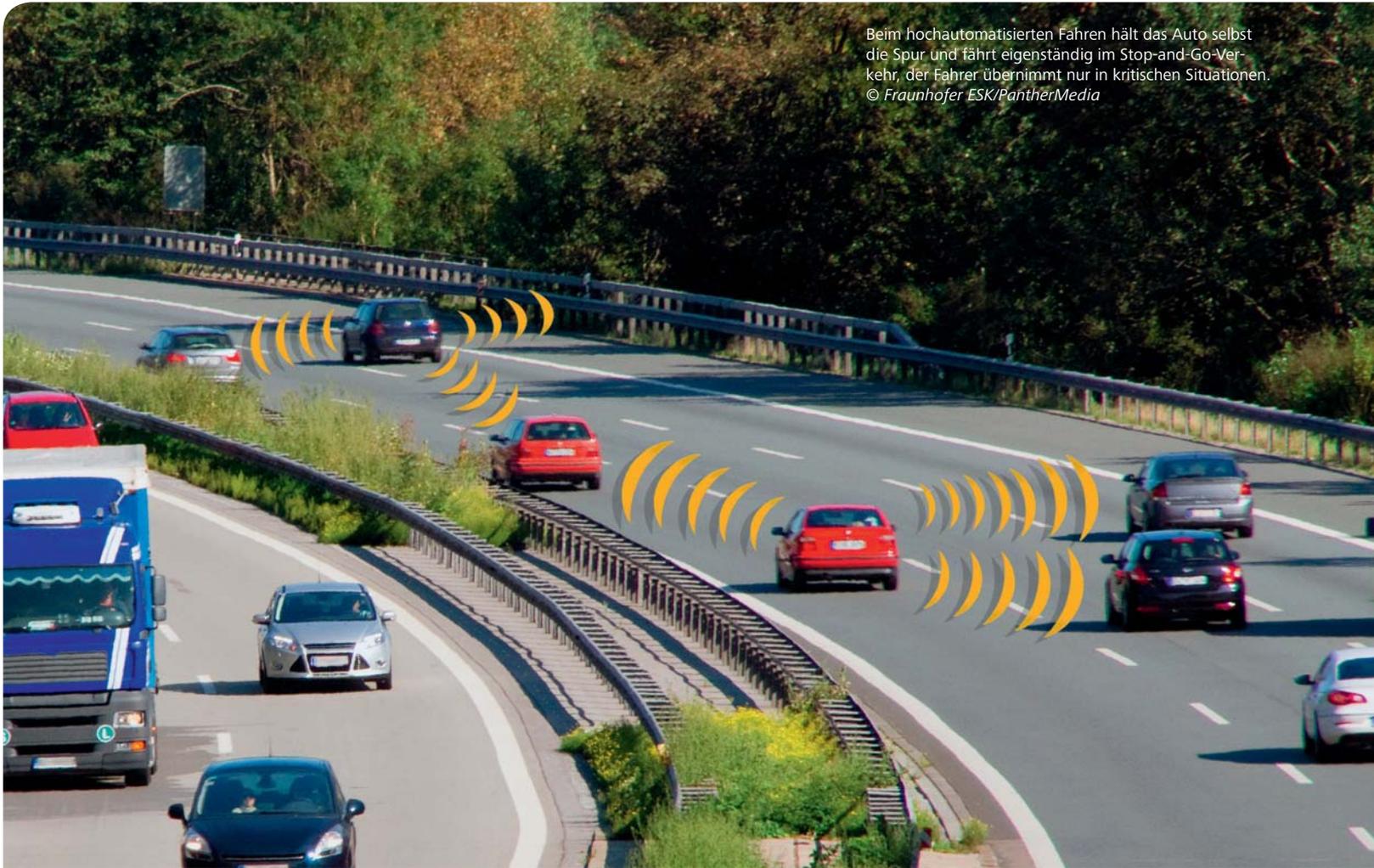
sich zeigen, welche Dächer sich für Fotovoltaik-Paneele eignen, indem Dachneigung, geografische Ausrichtung und Sonneneinstrahlung verknüpft werden. Auch die Energiebilanz jedes Gebäudes lässt sich darstellen, so dass man rasch einen Überblick erhält, wo Sanierungsbedarf besteht. Natürlich hilft das Stadtmodell auch bei der Verkehrsplanung. Die räumliche Simulation macht es möglich, geplante Straßen virtuell abzufahren, um Gefahrenquellen zu erkennen und zu entschärfen.

Bürger beteiligen

Die Stadt Köln möchte das 3D-Modell auch für Bürgerbeteiligungen nutzen, die oft vorgeschrieben sind. Vor allem bei neuen Bebauungsplänen kann jeder Einwohner Kritik üben oder Anregungen geben. Derzeit sind solche Pläne, die aus Zeichnungen und Texten bestehen, für Laien nur schwer zu verstehen. Ganz anders ein 3D-Modell, das eine plastische Vorstellung von dem Vorhaben vermittelt. Auch müssen interessierte Bürger nicht mehr zu bestimmten Terminen erscheinen, sondern können das neue Baugebiet in Ruhe zuhause studieren. Über das Internet lässt sich eine entsprechende App herunterladen, die von der Stadt zur Verfügung gestellt wird. Sogar ein virtueller Spaziergang durch das Areal ist damit möglich. Besonders hilfreich ist ein Slider, eine vertikale Linie, die sich verschieben lässt: Links davon sieht man die bisherige Bebauung, rechts die geplante. Das macht die Veränderungen auf den ersten Blick sichtbar.

Auch für die Stadt hat diese smarte Form der Bürgerbeteiligung Vorteile: Die Einwände lassen sich besser bearbeiten. Was bisher per Post, Fax oder Mail in unterschiedlichster Form ankam, ist nun wohlgeordnet. Denn die städtische App enthält ein Fenster, in dem man angeben muss, an welcher Stelle des Bebauungsplans der Einwand greift. Die Stadtverwaltung sieht so auf einen Blick, wo sich Kritik häuft, also Nachbesserungen besonders wichtig sind.

3D-Stadtmodelle, wie sie für Köln-Mülheim in der Fraunhofer-Initiative »Morgenstadt: City insights« realisiert wurden, könnten Schule machen. Auf dem Fraunhofer-Kongress Urban Futures, der im November in Berlin stattfand, ist das Projekt jedenfalls sehr positiv aufgenommen worden. »Viele Städte waren interessiert«, freut sich Professor Jörg Schaller, der für ESRI Deutschland die Aktivitäten koordiniert hat. ■



Beim hochautomatisierten Fahren hält das Auto selbst die Spur und fährt eigenständig im Stop-and-Go-Verkehr, der Fahrer übernimmt nur in kritischen Situationen.
© Fraunhofer ESK/PantherMedia

Autos im Zwiegespräch

Autos sollen künftig miteinander kommunizieren und ihr Verhalten selbstständig aufeinander abstimmen. Noch steckt diese Car2Car-Kommunikation in den Kinderschuhen, weil dafür viele verschiedene Technologien perfekt ineinandergreifen müssen. Mit einer großen Simulations- und Testsoftware, einem Framework, entwerfen Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher jetzt Konzepte für eine zuverlässige Kommunikation zwischen den Autos und ein sicheres Miteinander auf den Straßen.

Text: Tim Schröder



Die Autos der Zukunft werden sich miteinander unterhalten – so viel ist sicher. Sie warnen sich gegenseitig vor einem Unfall, der sich versteckt hinter einer Kurve ereignet hat, oder sie stimmen sich beim Einfädeln an der Autobahnauffahrt ab, damit die Wagen problemlos einscheren können. Das Zwiegespräch zwischen Autos bezeichnen Experten als Car2Car-Kommunikation – Kommunikation von Auto zu Auto. Diese Idee ist schon einige Jahre alt. Doch obwohl viele Forscher daran arbeiten, gibt es eine solche automatische Absprache zwischen Fahrzeugen bis heute nicht.

Das liegt nicht zuletzt daran, dass viele verschiedene Technologien perfekt ineinander greifen müssen, damit sich die Autos verlässlich abstimmen können. Geht zum Beispiel ein Fahrzeugcomputer beim Einfädeln an der Autobahn davon aus, dass die anderen Wagen automatisch Platz machen, wäre es fatal, wenn diese wider Erwarten stur weiterfahren.

Standards für die Car2Car-Kommunikation

Vor zwei Jahren hat das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI) erste Kommunikationsstandards für die Car2Car-Kommunikation festgelegt, etwa den Standard ITS-G5, eine Art Auto-WLAN. Das ist jedoch nur der erste Schritt. Denn bevor sich Autos sicher miteinander abstimmen können, müssen die Bordcomputer der Autos in der Lage sein, anhand Informationen die richtige Entscheidung zu treffen. Zum einen erhalten sie von den Bordsensoren Messwerte, wie zum Beispiel den Abstand zum Vordermann. Aber zum kooperativen Fahren gehört mehr. Ein Auto muss künftig auch die Situation um sich herum verstehen können. Es gilt, den Verkehrsfluss richtig zu interpretieren, der sich permanent ändert, etwa wenn im dichten Verkehr ein Fahrzeug scharf bremst.

Auch muss der Bordcomputer wissen, welche anderen Verkehrsteilnehmer sich in Reichweite befinden – je nach Landschaft kann sich das innerhalb von Sekunden ändern. Eine weitere Aufgabe des Rechners ist es, Karten- und Navigationsdaten zu verarbeiten. Nur dann kann sichergestellt werden, dass die Nachricht von einem Auto tatsächlich die relevanten Fahrzeuge in der Nähe erreicht. Bislang fehlte es an einer Möglichkeit, all diese verschiedenen Aspekte zu

einem großen Abbild der Realität zu verknüpfen, um damit die Car2Car-Kommunikation und das Verhalten von Autos zu simulieren.

Kooperatives Verhalten umfassend simulieren

»Natürlich gibt es eine Vielzahl von Rechenmodellen, die einzelne Aspekte wie etwa den Verkehrsfluss nachahmen«, sagt Diplominformatiker und Diplomingenieur Karsten Roscher vom Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK in München. »Eine umfassende Simulation kooperativen Verhaltens mitsamt der Kommunikationstechnik aber fehlte bislang.« Roscher und seine Kollegen haben deshalb ein großes Softwarekonstrukt, ein Framework entwickelt, das all die verschiedenen Modelle und Daten berücksichtigt. Das Besondere: Das Software-Framework ist nicht einfach eine Simulation, die auf dem Computer läuft. Vielmehr wurde sie so designt, dass sie künftig auf den Bordcomputern eines Autos laufen kann, um dort die Car2Car-Funktionen zu übernehmen. »Vielfach entwirft man Software nur für die Simulation und entwickelt für den Realbetrieb eine neue. Wir nutzen sie in der virtuellen und realen Welt«, betont Roscher.

Ihr Software-Framework benötigen die Forscher vor allem, um zu untersuchen, mit welchen Funkstandards oder Technologien die künftige Car2Car-Kommunikation am besten funktionieren kann. So weiß man längst nicht für jede Situation, wann Mobilfunk oder Auto-WLAN am besten geeignet sind. Hinzu kommt, dass vor allem das Auto-WLAN nicht alle Anforderungen zukünftiger Anwendungen erfüllen kann. Roscher: »Da wird sich in den kommenden Jahren noch einiges tun. Dank unseres Software-Frameworks werden wir all die verschiedenen Technologien simulieren können.«

Da das Framework sowohl im Labor als auch im Auto läuft, ist es möglich, Entwicklungen aus der Simulation anschließend in einem Fahrzeug zu testen. Nach der Testfahrt wiederum lässt sich die Software am Computer optimieren. Das Framework ist so leistungsfähig, dass es mehrere Hundert Fahrzeuge zugleich simulieren kann – zum Beispiel um zu testen, ob das Kolonnenfahren oder das Einfädeln tatsächlich klappt. »In der Realität stehen einem natürlich nicht so viele Testfahrzeuge zur Verfügung«, sagt Roscher.

Die Forscher nutzen ihr Framework, um weiter an Car2Car-Lösungen zu arbeiten – natürlich auch im Auftrag von Autoherstellern oder Zulieferern. Dazu wurde das Framework so ausgelegt, dass man neue Rechenmodelle oder auch Fahrzeugkomponenten einfach integrieren kann – zum Beispiel externe GPS- oder Radarsensoren oder Navigations- und Positionierungsfunktionen; und natürlich neue Kommunikationstechnologien – wie die nächste Mobilfunkgeneration 5G, die in wenigen Jahren Standard sein soll. Damit könnte man Ad-Hoc-Netze realisieren. Für die Darstellung der Informationen oder die Entwicklung von Bedienoberflächen lassen sich auch Tablets oder Smartphones anbinden.

Komplexe Situationen berechnen

Entsprechend umfassend war die Entwicklung des Frameworks. Die Verbindung der verschiedenen Aspekte oder diverser Rechenmodelle, die stets nur einen Teil der Welt abbilden, sei enorm anspruchsvoll, sagt Roscher. »Es gibt heute viele gute und erprobte Simulationstools und Funktionen. Eine solche Kombination aber ist bislang einzigartig – nicht zuletzt wegen der Nähe zur Anwendung im Fahrzeug.«

Das zeigt beispielhaft das komplexe Szenario des Einfädelns: Es gilt, den gesamten Verkehrsfluss zu berechnen sowie die Geschwindigkeit und Beschleunigung jedes einzelnen Fahrzeugs. Zudem muss klar sein, wie sich die Funkwellen in dieser Situation ausbreiten. Letztlich muss sichergestellt sein, dass die Fahrzeuge tatsächlich eine Lücke aushandeln. Zudem haben die Experten auch berücksichtigt, dass ein einzelnes Auto die Information möglicherweise nicht erhält oder auf andere Kommunikationsstandards ausweicht. »Das Framework muss all diese Aspekte berücksichtigen, damit es sicher Entscheidungen fällen oder im Zweifelsfall das Einfädeln abrechnen kann«, erklärt Roscher.

Mit ihrem Framework ebnen die Forscher der Car2Car-Kommunikation ein Stück weit den Weg. »Noch ist das ein wenig Zukunftsmusik. Wir aber nehmen die Zukunft vorweg, indem wir die kooperativen Systeme von morgen simulieren und frühzeitig mögliche Fehlerquellen aufspüren«, sagt Roscher. Damit dürften sich Autos in einigen Jahren tatsächlich perfekt abstimmen können – ohne dass es kracht. ■

Fahren oder gefahren werden

Nach der Arbeit erstmal Füße hochlegen und Zeitung lesen - während ein das Auto sicher auf dem schnellsten Weg nach Hause bringt. Sogar die Parkplatzsuche übernimmt das schlaue Fahrzeug in Eigenregie. Ab 2030 könnte der Feierabend dank selbstfahrender Autos wesentlich entspannter werden. Doch nicht nur das: Experten versprechen sich von den fahrerlosen Gefährten weniger Unfälle und Staus sowie eine geringere Umweltbelastung.

Text: Mandy Kühn

Jürgen Geisler ist ein Pionier der ersten Stunde. Schon vor 25 Jahren forschte er am heutigen Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe an Roboterautos, die bereits selbstständig Kreisverkehre meisterten und Kreuzungen überquerten. Im Umfeld des damals bislang größten europäischen Förderprogramms »Prometheus« – gefördert mit 700 Millionen ECU (European Currency Unit, vgl. 700 Millionen Euro) – herrschte Anfang der 90er Aufbruchsstimmung in die mobile fahrerlose Zukunft. Doch schnell wurde klar: Die wirtschaftliche Umsetzung scheiterte an den technologischen Gegebenheiten. Die benötigte Rechnerleistung sprengte in Kapazität und Größe den Rahmen des damals Machbaren, Sensortechnik und Internet steckten noch in den Kinderschuhen. Es folgten viele Jahre des Stillstands.

Heute ist Jürgen Geisler stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IOSB. Sein Institut ist eine von vielen Fraunhofer-Einrichtungen, die Innovationen rund um das automatisierte Fahren entwickeln. Denn längst ist wieder Bewegung in den Menschheitstraum vom selbstfahrenden Auto gekommen. So erwartet nach einer BITKOM-Erhebung die Hälfte der 100 befragten Führungskräfte aus dem Automobil-

sektor den breiten Durchbruch für autonomes Fahren bis 2030, zwei Prozent sogar eher. Große Erwartungen werden damit verknüpft: Automatisiertes Fahren soll Staus künftig verringern und die Zeit im Auto besser nutzbar machen. Auch die Zahl der Verkehrstoten dürfte sinken: Etwa 90 Prozent der Verkehrsunfälle gehen derzeit laut einer Studie von McKinsey auf menschliches Versagen zurück.

Das wirtschaftliche Potenzial ist gewaltig: Die Fraunhofer-Institute für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und für Offene Kommunikationssysteme FOKUS errechneten in einer Studie im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums

(BMWi), dass im Bereich Fahrassistenz und hochautomatisiertes Fahren die Wertschöpfung alleine in Deutschland von 2,5 Milliarden Euro im Jahr 2020 auf über acht Milliarden 2025 steigen kann. Dies betrifft 67 000 Beschäftigte in der Automobilindustrie und 65 000 weitere in der Vorleistungskette. Damit nicht genug: McKinsey errechnete im März 2015, dass jede zusätzliche Minute im Auto, in der Menschen ungestört mobil im Internet surfen, weltweit ein Umsatzpotenzial von fünf Milliarden Euro im Jahr bietet. Durch neue Geschäftsmodelle beispielsweise in Entertainment und Werbung könnten noch andere Branchen von der neu gewonnenen Freiheit profitieren.





Ein Anwendungsfall im Projekt Converge ist die sichere Warnung vor Falschfahrern. (Foto oben) © Converge

Autonome Lkw – Daimler will selbst-fahrende Brummi testen. (Foto links) © Daimler

zieren. Ein Abschnitt des Telekom-Netzes wurde mit der Mobile Edge Computing-Technik von Nokia Networks ausgestattet und um eine von Fraunhofer entwickelte Positionsbestimmung erweitert. Continental entwickelte die Schnittstelle zur Fahrzeugelektronik. Diese Kombination ermöglichte erstmals Signallaufzeiten zwischen zwei Fahrzeugen von weniger als 15 Millisekunden. Die rasante Kommunikation ermöglicht verschiedene Anwendungen, die das Fahren künftig sicherer und komfortabler machen.

Technologische und gesellschaftliche Herausforderungen

Bis Autos ohne Fahrer selbständig steuern, wird es noch etwas dauern. Vorerst wird das hochautomatisierte Fahren an Bedeutung gewinnen. Dabei übernimmt das System Funktionen wie das Spurhalten oder Fahren im Stop-and-Go-Verkehr, der Fahrer greift jedoch in kritischen Situationen ein. Experten erwarten, dass in vier Jahren alle deutschen Automobilhersteller hochautomatisierte Fahrfunktionen in Oberklassefahrzeugen als Sonderausstattung anbieten. Denn die wesentlichen Technologien für Auto und Infrastruktur sind bereits heute ganz oder fast serienreif. Auf dem Weg zum vollautomatisierten oder fahrerlosen Fahren jedoch haben die Entwickler noch einige technologische Herausforderungen zu meistern. Laut der Fraunhofer-Studie im Auftrag des BMWi stellt die Fahrzeugsoftware »die bedeutendste

Die vielversprechenden Aussichten locken Autobauer und IT-Riesen gleichermaßen. Unternehmen wie Google, Apple, Intel oder Uber forschen intensiv an dem Thema. 2010 stellte Google den Prototyp seines selbstfahrenden Autos der Öffentlichkeit vor. Bis 2015 waren Google-Autos weltweit schon 27 Millionen Kilometer gefahren. Allerdings ist das Gefährt noch etwas für Gemütliche, denn der Hersteller begrenzt die Höchstgeschwindigkeit seiner Prototypen auf 25 Meilen pro Stunde (etwa 40km/h). Auch nahezu alle deutschen Automobilriesen testen bereits selbstfahrende Autos im Straßenverkehr – sicherheitshalber noch mit Fahrer. So erprobte Daimler im Oktober 2015

in Baden-Württemberg einen autonomen Lkw im öffentlichen Verkehr. Der Future Truck wurde 2014 auf einem gesperrten Teilstück der A14 erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Er soll mittels Kamera und Radarsensoren ohne Eingriff eines Menschen Abstand halten und Hindernisse umfahren.

Auf der A9 demonstrierte im November vergangenen Jahres das Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK zusammen mit Continental, der Deutschen Telekom AG und Nokia Networks, wie Fahrzeuge über das LTE-Mobilfunknetz mit minimalen Latenzzeiten miteinander kommuni-

Entwicklungsleistung und zugleich die größte Herausforderung für die Realisierung des hochautomatisierten Fahrens dar«. Sie sorgt dafür, dass automatisierte Fahrzeuge in unstrukturierten Umgebungen eigenständig und zuverlässig spezifische Situationen und Muster erfassen. Weiteres Innovationspotenzial besteht in puncto zuverlässige Sensortechnologie und -integration, effizientes Computing, zuverlässige Datenverbindungen, Car2X-Kommunikation sowie Ortung und Aktualisierung von Kartenmaterial. Zudem gilt es, die Interaktion mit Fußgängern und im Mischverkehr zu verbessern. Denn wenn heute Verkehrsregeln nicht greifen, helfen wir uns mit Hupen, Lichtthupen und anderen Signalen: Man winkt einen Fußgänger durch oder gewährt einem anderen Auto die Vorfahrt. Doch wie funktioniert die soziale Interaktion, wenn künftig kein Mensch mehr hinterm Steuer sitzt?

In den Fokus gerät zudem immer häufiger die Cybersicherheit, denn schon heute enthalten moderne Autos mehr Programmiercode als ein Flugzeug. Der neue Ford GT etwa, der 2017 auf den Markt kommen soll, hat mit 10 Millionen Zeilen Softwarecode drei Millionen mehr als ein Boeing 787 Dreamliner. Was, wenn Unbefugte einzelne Systeme manipulieren, falsche Informationen einspielen oder gar die Kontrolle über das ganze Auto übernehmen? Spektakuläre Hackerangriffe oder auch wissenschaftliche Versuche zeigten in der Vergangenheit, dass es hier noch Forschungsbedarf gibt. Denn die Risiken eines Hackerangriffs wachsen mit der steigenden Komplexität der Fahrzeug-IT. Genau so bedeutend ist überdies das Thema Datenschutz, denn durch die Verarbeitung potenziell personenbezogener Daten im Fahrzeug lassen sich leicht Bewegungsprofile oder Profile des Fahrverhaltens erstellen.

Unsicherheiten jenseits der technischen Ebene bestehen darüber hinaus bei rechtlichen und versicherungstechnischen Fragen. Eine Studie von Roland Berger zeigt, dass das Schadensvolumen durch autonome Fahrzeuge bis 2030 um durchschnittlich 20 bis 25 Prozent abnehmen könnte. Welche Folgen hat das für die Kfz-Versicherer? Und wie ist die rechtliche Lage, wenn auch ohne Fahrer ein Unfall passiert? In der Fraunhofer-Studie heißt es dazu, Experten der Automobil- und Versicherungsbranche hätten sich inzwischen auf Unfalldatenspeicher, ähnlich einer Black Box geeinigt, die »eine

Zulassungsvoraussetzung für hochautomatisierte Pkw sein werden. Automobilhersteller, Versicherungen und Fahrzeughalter müssten im Falle eines Unfalls zweifelsfrei die Frage nach Schuld und Verantwortung beantworten können.« Welche Daten mit welchen Aufzeichnungsraten gespeichert werden und welche Akteure welche Zugriffsrechte haben sollen, gilt es jedoch – unter Berücksichtigung von Datenschutzaspekten – noch zu klären.

Neue Mobilitätskonzepte und Geschäftsmodelle gefragt

So vielversprechend die Möglichkeiten des automatisierten Fahrens auch sind, sie werden sich nur durchsetzen, wenn wir Mobilität neu denken und selbstfahrende Autos in ganzheitliche Verkehrskonzepte einbinden. So kann etwa Car Sharing zum Treiber für autonomes Fahren werden. Denn Menschen lassen sich eher überzeugen, wenn sie ohne großen Aufwand und Investition mit der Technik in Berührung kommen. Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher arbeiten daran, autonome Fahrzeuge intelligent

in den Alltag von morgen zu integrieren – unter anderem sollen sie selbstständig Ladestationen in Parkhäusern finden oder als Car-Sharing-Fahrzeuge autonom zum nächsten Einsatzort fahren. Zudem gilt es, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. So erforschen Wissenschaftler am Fraunhofer IAO, womit wir uns künftig im Auto beschäftigen werden. Welche neuen Services sind im Auto denkbar, wenn die Insassen plötzlich mehr Zeit haben? Wird es gar einen App-Store für Nebentätigkeiten wie Musikhören oder Filmeschauen geben?

Jürgen Geisler, der Pionier von damals, hat heute mit dem Thema nur noch selten Berührungspunkte. Das Forschen überlässt er der nächsten Generation an Fraunhofer-Wissenschaftlern. Ob er sich vor 25 Jahren einen App-Store für Entertainment-Möglichkeiten im fahrerlosen Auto hätte träumen lassen? Vermutlich nicht. Doch er und seine Kollegen haben schon damals den Grundstein dafür gelegt, dass wir in wenigen Jahren beim Autofahren nur noch entscheiden müssen, ob wir nebenbei telefonieren, lesen oder einfach mal entspannen wollen. ■

Das selbstfahrende Google Car. © Google





Taraxgum - Ein neuer Rohstoff aus Löwenzahn

Aus dem Saft des Löwenzahns lässt sich Kautschuk gewinnen. Doch der entscheidende Durchbruch zur industriellen Fertigung gestaltete sich schwierig. Das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME optimierte in den vergangenen Jahren gemeinsam mit Industrie und Wissenschaft die Züchtung und die Produktionstechnik - unter anderem in dem auf dem Bild zu sehenden Gewächshaus. Jetzt bauen die Forscherinnen und Forscher zusammen mit Continental erstmals eine Extraktionsanlage, um große Mengen Löwenzahn-Kautschuk für die Herstellung von Reifen zu gewinnen.

Foto: Dirk Mahler/Fraunhofer



Energiewende ist machbar

Wie teuer ist der Umstieg von fossilen Rohstoffen auf nachwachsende, umweltfreundliche Ressourcen? Fraunhofer-Forscherinnen und Forscher haben die Kosten berechnet und sind zu überraschenden Ergebnissen gekommen.

Text: Monika Weiner

Kohlestaub und Dieselruß ade – Deutschland wird grün. 2015 kam bereits ein Drittel der elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen. Und das ist erst der Anfang: Wenn es nach dem Willen der Bundesregierung geht, wird 2050 der größte Teil des Energiebedarfs durch Wind- und Wasserkraft, Sonnenenergie, Biomasse, Wärme aus dem Erdinneren und der Umgebungsluft gedeckt. Der CO₂-Ausstoß, der mit der Verbrennung von Gas, Öl und Kohle einhergeht, soll dadurch drastisch sinken: verglichen mit dem Wert von 1990 um mindestens 80 Prozent.

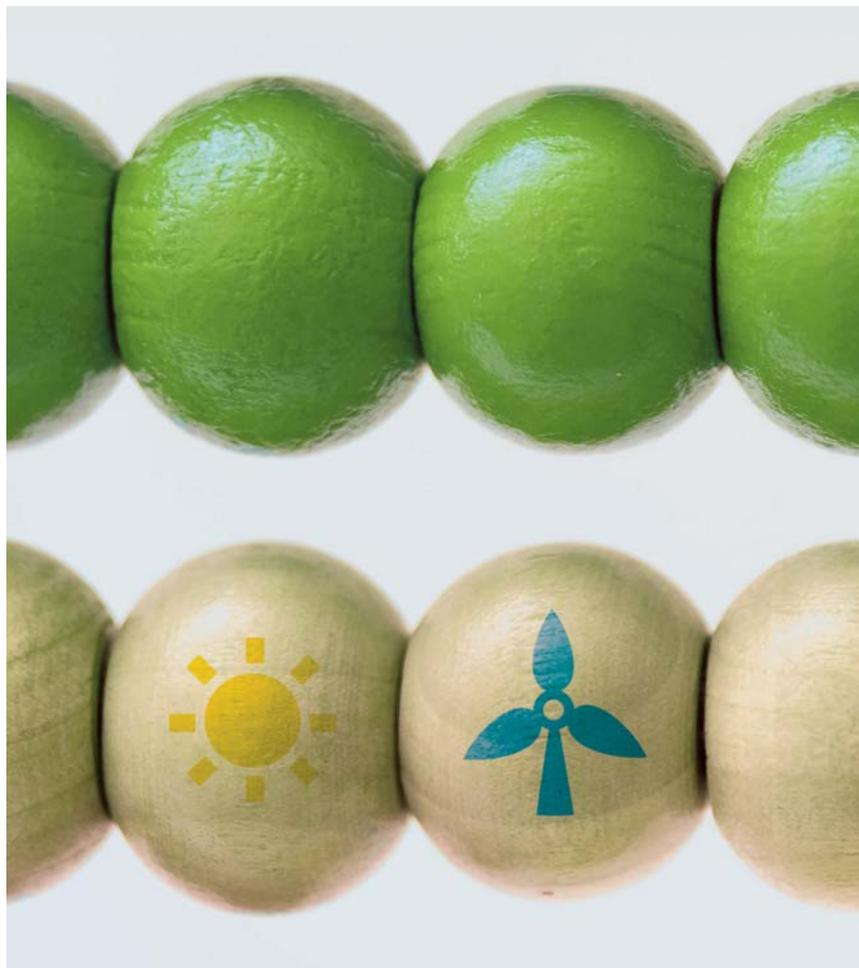
Der Umstieg auf regenerative Energien hat viele Vorteile: Er sorgt dafür, dass sich die Atmosphäre nicht weiter aufheizt, reduziert den Ausstoß giftiger Abgase und schont die knappen fossilen Ressourcen. Doch die Energiewende kostet auch Geld: Neue Wind- und Solarparks müssen errichtet, Leitungen verlegt, Energiespeicher, Elektrofahrzeuge sowie Wärmepumpen gebaut und installiert werden. Ist all das in wenigen Jahrzehnten machbar und bezahlbar? Forscher vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg

sind dieser Frage auf den Grund gegangen. Ihre Computermodelle zeigen, welche Klimaschutzziele sich wie erreichen lassen, welche Folgen der Umbau hat und was er kostet.

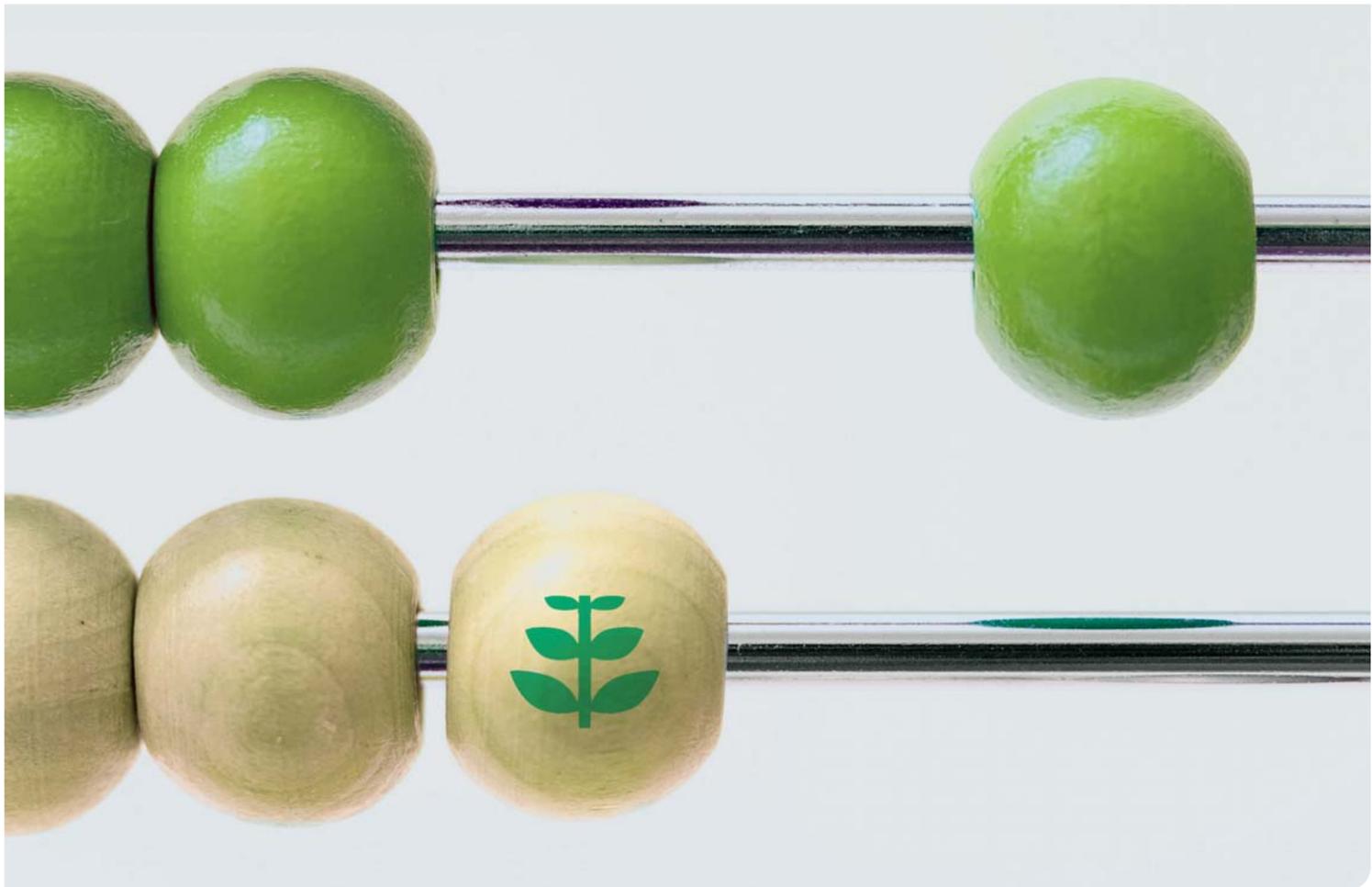
Faktoren des Erfolgs

»Der Ausstieg aus dem Öl- und Kohlezeitalter ist eine Herkulesaufgabe, die sich nur lösen lässt, wenn eine Vielzahl von Maßnahmen ergriffen wird«, sagt Andreas Palzer, der am ISE untersucht, wie sich neue Technologien auf den Strombedarf auswirken und mit welchen Investitionen die Umstellung verbunden ist. »Wir haben es hier mit einem komplexen System zu tun: Die Energiebereitstellung, der Verbrauch der Haushalte, der Gebäude und der Industrie spielen eine Rolle, aber auch die Mobilität ist ein wichtiger Faktor. Und zwischen all diesen Größen gibt es Wechselwirkungen.«

Mit dem Computerprogramm »ReMod-D« – kurz für »Regenerative Energien Modell – Deutschland« – haben Palzer und seine Kollegen verschiedene Zukunftsszenarien berechnet



Was kostet die Energiewende? Antworten darauf gibt eine Studie des Fraunhofer ISE. © iStockphoto/Vierthaler & Braun



und mit einem Referenzszenario verglichen, bei dem alles so bleibt, wie es heute ist. »Abhängig davon, welche Annahmen man macht, lässt sich der energiebedingte CO₂-Ausstoß verringern – um 80, 85 oder 90 Prozent verglichen mit dem des Jahres 1990«, erläutert der Ingenieur.

Ein Mix aus Maßnahmen

Einsparpotenziale gibt es viele: Fahrzeuge lassen sich mit regenerativen Energieträgern, beispielsweise Strom, Wasserstoff oder synthetischen gasförmigen und flüssigen Kraftstoffen betreiben. Um wie viel dies die CO₂-Emission senkt, hängt davon ab, wie konsequent die Umstellung durchgeführt wird. Ähnlich ist es bei den Gebäuden: Je umfangreicher diese energetisch saniert und von Öl- beziehungsweise Gasheizungen auf Wärmepumpen umgerüstet werden, desto stärker sinkt der CO₂-Ausstoß. Und dann sind da noch die Kohlekraftwerke: Ersetzt man sie durch regenerative Energieerzeuger, reduziert auch dies die Emissionen.

Wo also mit dem Umbau beginnen? »Unsere Modellierungen zeigen anhand von verschiedenen Szenarien, dass sich die Klimaschutzziele auf verschiedene Weise erreichen lassen«, erläutert Palzer. Wenn man beispielsweise den CO₂-Ausstoß auf 80 Prozent absenken will, jedoch viele Fahrzeuge weiterhin mit Diesel oder Benzin betreibt, dann muss man im Gebäudesektor mehr einsparen. Oder schneller aus der Stromerzeugung mit Kohle aussteigen. »Unsere Berechnungen veranschaulichen diese Wechselwirkungen. Außerdem machen sie transparent, welcher Mix aus Maßnahmen welche Kosten verursacht und welche Ergebnisse sich damit erzielen lassen«, ergänzt der Forscher. Um beispielsweise eine 80-prozentige CO₂-Reduktion bei geringer energetischer Gebäudesanierung, keinem beschleunigten Ausstieg aus der Kohleverstromung und einem langsamen Umbau des Fahrzeugsektors zu erreichen, so ist ein sehr hoher Anteil erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung und zugleich ein hoher Einsatz von Strom mittels Wärmepumpen für die Wärmeversorgung notwendig.

Ganz anders sieht es im Fall des neunten Szenarios aus: Hier werden 90 Prozent der CO₂-Emission eingespart. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, müsste neben einem massiven Ausbau erneuerbarer Energien eine umfassende Gebäudesanierung zügig vorangetrieben werden, die Mobilität würde durch einen Mix aus Hybrid-, Elektro- und Wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen gesichert und der Ausstieg aus der Kohlekraft wäre bereits im Jahre 2040 abgeschlossen. Sowohl das erste, konservative, als auch das sehr ambitionierte, neunte Szenario sind Extreme. Dazwischen liegen sieben Varianten mit unterschiedlich hohen Investitionen und unterschiedlich langen Ausstiegszeiten. Als Referenzwert dient jeweils das Alles-bleibt-wie-es-ist-Szenario.

Ökologisch und ökonomisch sinnvoll

Die ökologisch und ökonomisch erfolversprechendste Lösung ist das 85-Prozent-Modell. Die Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen liegt hier oberhalb dessen, was politisch gefordert ist; gleichzeitig sind die Investitionen kaum höher als bei den konservativeren Szenarien, die weniger Treibhausgase einsparen. Um bis 2050 eine 85-Prozent-Reduktion zu erreichen, könnten die Kohlekraftwerke in den kommenden 25 Jahren nach und nach abgeschaltet und Gebäude energetisch auf den Stand heutiger Neubauten saniert werden. Für Mobilität würde ein Mix aus Antriebstechniken sorgen, die Strom, Wasserstoff und synthetische gasförmige und flüssige Kraftstoffe nutzen – all diese Treibstoffe lassen sich aus regenerativen Quellen gewinnen. Dazu kommen Einsparungsmöglichkeiten durch effiziente Techniken, beispielsweise für künstliche Beleuchtung oder Antriebe und Motoren. Um den Strombedarf zu decken, müssten 33 Gigawatt Offshore-Windanlagen, 168 Gigawatt Windkraftanlagen an Land und 166 Gigawatt Photovoltaik installiert werden. Dazu kämen rund 160 Gigawatt solarthermische Anlagen für Niedertemperaturwärme.

Bei gleichbleibenden Energiepreisen ist das 85-Prozent-Szenario mit Mehrkosten von 1,14 Billionen Euro verbunden. Umgerechnet auf den Zeitraum von 2015 bis 2050 entspricht dies etwa 30 Milliarden Euro im Jahr – etwa 0,8 Prozent des Deutschen Bruttoinlandsprodukts. Sollten die Preise für fossile Rohstoffe um 2 Prozent pro Jahr und die für CO₂-Zertifikate auf 100 Euro pro Tonne steigen, ist das 85-Prozent-Szenario sogar etwa 600 Milliarden Euro günstiger als das Referenzmodell, das von einer Weiterführung der derzeit praktizierten Energieversorgung mit einem hohen Anteil fossiler Rohstoffe ausgeht.

Nach 2050, wenn die Anlagen zur Herstellung von regenerativem Strom und Treibstoff nur noch gewartet und instandgehalten werden müssen, sinken die Energiekosten auf das Niveau von heute. Die ist sogar der Fall, wenn der Preis für fossile Rohstoffe nicht steigt und keine zusätzlichen CO₂-Abgaben erhoben werden. »Damit ist das künftige Energiesys-

tem mit deutlich abgesenkter CO₂-Emission nach erfolgtem Umbau aus gesamtwirtschaftlicher Sicht vorteilhaft – umso mehr, wenn die Kosten für fossile Energieträger steigen«, resümiert Hans-Martin Henning, stellvertretender Institutsleiter am ISE und Professor für technische Energiesysteme am Karlsruher Institut für Technologie KIT.

Doch egal für welches Konzept sich die Politik auch letztlich entscheidet: Die Lichter werden nicht ausgehen. Alle Szenarien berücksichtigen den Energiebedarf der Konsumenten zu jeder Stunde und zu jeder Jahreszeit. Dieser ist allerdings nicht konstant: Die Simulationen zeigen, wie sich der Verbrauch durch die Umstellung auf regenerative Energie verändert. Eine hohe Zahl von Elektroautos beispielsweise senkt den Bedarf, weil deren Wirkungsgrad höher ist als der von Verbrennungsmotoren. Werden die Fahrzeuge frühzeitig eingeführt, müssen daher weniger neue Photovoltaik- oder Windkraftwerke gebaut werden. Auch die zügige Sanierung von Gebäuden senkt den Verbrauch und verringert so die Investitionen in regenerative Energiegewinnung. Längere Laufzeiten für Kohlekraftwerke erzeugen hingegen zusätzliche Kosten: Wegen der hohen CO₂-Emissionen der Kraftwerke müssen in den anderen Bereichen – zum Beispiel bei Gebäuden, Industrie und Mobilität – besonders schnell regenerative und energiesparende Techniken eingesetzt werden. »Dank der Modellierungen können wir zum ersten Mal die Entwicklung des Energiesystems unter Einbeziehung aller Verbraucher darstellen und die gesamtwirtschaftlichen Folgen sichtbar machen«, erläutert Henning.

Wer soll das bezahlen?

Die Berechnungen der Freiburger Fraunhofer-Forscher zeigen auch detailliert, was die verschiedenen Szenarien kosten. Der Preis hängt in erster Linie davon ab, welche Maßnahmen ergriffen und welche Ziele – 80, 85 oder 90 Prozent Reduktion – erreicht werden sollen. Und natürlich davon, wie sich die Weltmarktpreise für fossile Energieträger entwickeln: Bleiben diese langfristig niedrig, liegen die kumulierten Mehrkosten für die Jahre 2015 bis 2050 zwischen 1,1 und 2,5 Billionen Euro über denen des Alles-bleibt-wie-es-ist-Szenarios. Das klingt erst einmal nach viel Geld. Doch wenn der Preis für fossile Rohstoffe jährlich nur um 2 Prozent steigt und dazu noch erhöhte Kosten für CO₂-Zertifikate kommen, amortisiert sich die Energiewende in acht der neun untersuchten Szenarien schon vor 2050. Nur das ambitionierteste, neunte Modell wäre mit zusätzlichen Investitionen verbunden. »In allen anderen Fällen wären die Kosten für ein Klimaschutzkompatibles Gesamtsystem nicht mehr höher als die Kosten heute«, resümiert Henning.

Bezahlbar ist die Energiewende also. Und machbar ist sie auch: »Die Untersuchung zeigt eindeutig, dass die erneuerbaren Energien ausreichen, um die Versorgung zu sichern«, ergänzt Palzer. ■

LEDs wirtschaftlich recyceln

In Fernsehern und Leuchtmitteln sind sie massenhaft verbaut. Auch in Autoscheinwerfern werden LEDs immer häufiger. Noch gibt es kein geeignetes Recyclingverfahren für die Leuchtdioden. Fraunhofer-Forscher haben eine Methode entwickelt, die Komponenten von LED-Leuchtmitteln mechanisch trennt.

Text: Tobias Steinhäuser



Die wertvollen Stoffe in Leuchtdioden sollen künftig wiederverwertet werden.

© Fraunhofer ISC/IWKS

In modernen Leuchtmitteln sind unterschiedliche Materialien verbaut: Glas oder Kunststoff im Gehäuse, Keramik oder Aluminium im Kühlkörper, Kupfer in Widerständen oder Kabeln – und das Wertvollste im Innern der Leuchtdioden, kurz LEDs (engl. light emitting diodes): Indium und Gallium in der Halbleiterdiode und Seltene Erden wie Europium oder Terbium im Leuchtstoff. Die Dioden herzustellen ist deswegen vergleichsweise teuer, die Margen sind gering. »Schon jetzt fallen bei den Recyclern erste LED-Produkte an, die derzeit nur gelagert werden und für die es keinen geeigneten Recyclingprozess gibt. Ziel ist es vor allem, die wertvollen Materialien zurückzugewinnen. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis die Verwerter auf das LED-Recycling umsteigen müssen«, sagt Jörg Zimmermann aus der Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS in Alzenau und Hanau des Fraunhofer-Instituts für Silicatformung ISC.

Komponenten mit Hilfe von Druckwellen ablösen

Mit Hilfe der »elektrohydraulischen Zerkleinerung« zerlegen die Forscher die LED-Leuchtmittel in ihre Einzelteile, ohne dabei die LEDs selbst

zu zerstören. Druckwellen elektrischer Impulse lösen in einem Wasserbad die einzelnen Komponenten mechanisch exakt an ihren Sollbruchstellen ab. Die Bauteile können separat wiederverwertet werden. Ihren Versuchsaufbau haben die Forscher für Retrofit-Leuchtmittel angepasst. Sie ähneln in ihrem Aussehen der klassischen Glühbirne oder Leuchtstoffröhre und können genau wie diese in handelsübliche Lampenfassungen geschraubt werden. »Die Methode funktioniert jedoch prinzipiell auch bei anderen Größen – zum Beispiel für LEDs aus Fernsehern und Autoscheinwerfern oder für andere elektronische Bauteile«, erklärt der Experte.

Die Bauteile sauber und rein zu trennen, ist Voraussetzung dafür, den Recyclingprozess wirtschaftlich zu gestalten. »Um alle Komponenten eines LED-basierten Leuchtmittels effizient zu separieren und wiederzuverwerten, bedarf es eines völlig anderen Zerkleinerungskonzepts, welches zu größeren Mengen an Halbleiter- und Leuchtstoff-Komponenten führt«, so Zimmermann. Würde man den Retrofit als Ganzes zerkleinern, wäre es um ein Vielfaches schwerer, die unterschiedlichen Stoffe in der klein gemahlten Mischung zu sortieren. Durch das Auftrennen in die einzelnen Komponenten lassen sich

auch größere Mengen der in ihnen enthaltenen Stoffe leichter zurückgewinnen: Dies gelingt, indem man viele ähnliche Komponenten sammelt, in denen die Konzentration einzelner Stoffe bereits höher ist. »Für Recycler und Hersteller lohnt sich das Wiederverwerten nur, wenn sie größere Mengen verwerten«, beschreibt Zimmermann.

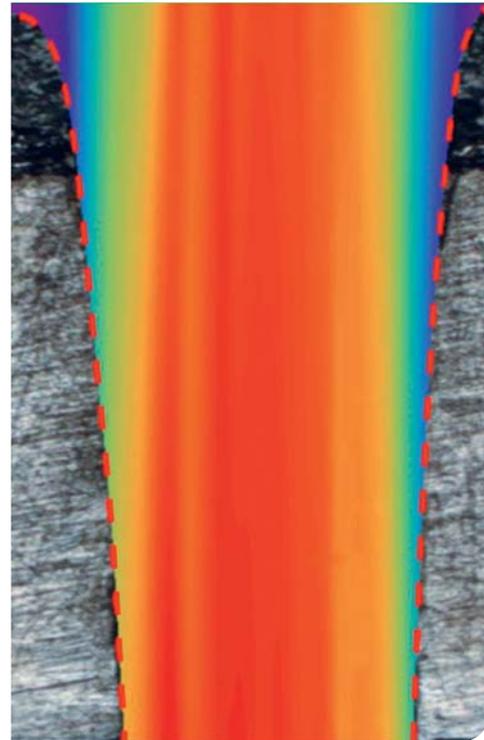
»Wir testen noch, ob man das Zerkleinern zukünftig so oft wiederholen kann, bis man die gewünschten Stoffe separiert hat«, erläutert Zimmermann. Die Forscherinnen und Forscher können die Parameter des Versuchsaufbaus so einstellen – zum Beispiel die Art und Menge des flüssigen Mediums, Behältergröße, Spannung, die den elektrischen Impuls erzeugt –, dass genau an den Sollbruchstellen getrennt wird. »Insbesondere die Anzahl der Pulse bestimmt, in welcher Weise die Bauteile separiert werden«, sagt der Wissenschaftler.

Die elektrohydraulische Zerkleinerung soll nun im Detail weiter analysiert, verbessert und für weitere Anwendungen ausgeweitet werden. »Mit unserer Forschungsarbeit haben wir gezeigt, dass das mechanische Trennen ein möglicher Weg ist, um zum wirtschaftlichen Recycling von LEDs beizutragen«, so Zimmermann. ■

App für Laser- Prozesssimulation in Echtzeit

Die Materialbearbeitung mit Lasern vorab zu simulieren, benötigt Zeit und große Rechenkapazitäten. Für den Einsatz in der Werkhalle sind die bisherigen Simulationstools daher nur bedingt geeignet. Fraunhofer-Expertinnen und -Experten entwickelten eine neue Software, die deutlich weniger Rechenzeit benötigt und sogar auf Tablets läuft.

Reduzierte Bohrsimulation mit Strahlverteilung. Die rote Linie zeigt die gute Übereinstimmung mit dem experimentellen Ergebnis. © Fraunhofer ILT



Die Simulation von Prozessen bei der Lasermaterialbearbeitung ist in den vergangenen Jahren immer besser geworden. Mit ausgefeilten Software-Paketen und viel Zeit auf Computerclustern können Experten inzwischen relativ verlässlich verschiedenste Abläufe berechnen. Für den Anwender in der Werkhalle sind diese aufwändigen Lösungen allerdings kaum geeignet. Dort behilft man sich beim Einrichten neuer Prozesse stattdessen eher mit Technologietabellen der Systemanbieter.

Neue Software reduziert Rechenaufwand dramatisch

Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen entwickelten eine Software, die deutlich weniger Ressourcen benötigt und deshalb sogar auf Tablets und Smartphones läuft. Dabei können einzelne Parameter – wie zum Beispiel die Laserleistung oder der Radius des Laserfokus variiert werden – das Simulationsergebnis erscheint daneben und verändert sich in Echtzeit. Möglich macht das eine anwendungsspezifische Reduktion der Rechenmodelle. Dabei werden abhängig von der jeweiligen Applikation bestimmte Vereinfachungen eingeführt, die die Komplexität der Rechnungen drastisch reduzieren und so viel schneller zu einem Ergebnis führen.

Die hohe Geschwindigkeit bei der Simulation eröffnet weitere Optionen. Für komplexe Berechnungen mit vielen Parametern

kann man eine Metamodellierung erstellen. Dabei werden mit den Parametern und mehreren Bewertungskriterien für Prozess- und Produktqualität hochdimensionale Datensätze generiert. Daraus lassen sich wiederum einzelne Prozesslandkarten (Hyper Slices) erstellen, die die Abhängigkeit der Ergebnisse von einzelnen Parameterpaaren aufzeigen. Mit dieser erweiterten Simulation lassen sich durch mathematische Manipulation der Datensätze globale und lokale Extremwerte finden – also zum Beispiel Parametersätze für beste und schlechteste Qualität.

Kundenspezifische Software für die Anwendung in der Werkhalle

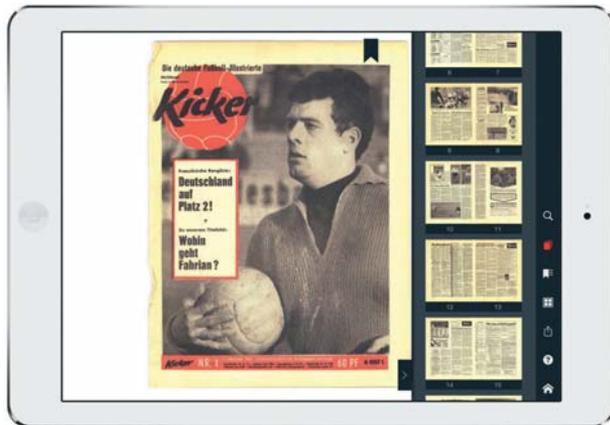
Die Idee für die neue Software wurde auf der Basis eines Großkundenauftrags entwickelt. Die Software kann aber auch für weitere Anwendungen genutzt werden. Entsprechend der geplanten Applikation modifizieren die Experten am Fraunhofer ILT das Programm. Das Know-how liegt dabei in der geschickten Vereinfachung der klassischen Modelle.

Inzwischen gibt es aber auch weitergehende Überlegungen: Aufwändige Berechnungen gibt es in vielen Bereichen der Industrie. Die Simulation von Crashtests in der Automobilindustrie beispielsweise beansprucht immer noch erhebliche Rechenkapazitäten. Die Übertragung des Prinzips der reduzierten Modelle verspricht auch dort deutliche Einsparungen. ■

Digitales »kicker« Archiv

Ansprechpartner: Katrin Berkler, katrin.berkler@iais.fraunhofer.de

Das gesamte »kicker Archiv« ist jetzt via App auf mobilen Geräten jederzeit und von jedem Ort aus zugänglich. © kicker



Fußballfans können jetzt vom Computer, Tablet oder Smartphone auf mehr als 5000 Ausgaben des »kicker Sportmagazins« zugreifen. Das digitale Archiv realisiertes Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS. Dort sind alle Magazine vom ersten Heft nach Einführung der Fußball-Bundesliga im Jahr 1963 bis hin zur aktuellen Ausgabe am Kiosk zu finden.

Abonnenten und Redakteure des Fußballmagazins können mittels Volltextsuche in mehr als 300 000 Seiten stöbern. Dabei gehen die Funktionen der Plattform weit

über die bloße Darstellung digitalisierter Dokumente am Bildschirm hinaus. »Mit dem »kicker« Archiv haben wir die Basis für eine Vielzahl von Anwendungen zur Zweitverwertung der historischen Ausgaben entwickelt, die eine Suche direkt in den Artikeltexten ermöglichen«, sagt Dr. Joachim Köhler, Abteilungsleiter NetMedia am Fraunhofer IAIS. »Der Nutzer kann beispielsweise den Namen eines Spielers als Suchbegriff eingeben und erhält in der Ergebnisübersicht nicht wie bisher üblich nur die Ausgaben und Seitenzahlen genannt, sondern auch die Artikeltexte, in denen der Begriff vorkommt.«

Skalierbarer Elektroantrieb

Ansprechpartner: Jan Müller
jan.mueller@iwu.fraunhofer.de

Elektromotoren gehört die Zukunft – auch bei Nutzfahrzeugen. Doch noch bleiben viele Entwicklungen im Prototypen-Status hängen oder sind enorm teuer. Der Grund: Es hapert an den entsprechenden Technologien zur Serienfertigung. Hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderte Projekt ESKAM an, kurz für »Elektrisches, skalierbares Achsmodul«.

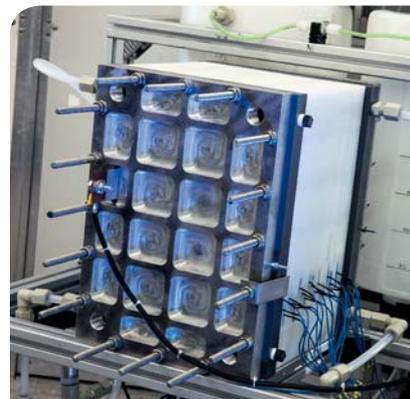
Insgesamt elf Partner, darunter das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz, entwickeln darin ein Achsmodul für Nutzfahrzeuge. Es besteht aus Motor, Getriebe und Leistungselektronik. Alles ist kompakt in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Die Forscherinnen und Forscher konstruieren nicht nur das Achsmodul, sondern entwickeln auch die nötigen Serientechnologien gleich mit. »Aufgrund des innovativen Konzepts lassen sich die Module flexibel herstellen – kleine Stückzahlen ebenso wie eine Großserie«, sagt Dr. Hans Bräunlich, Projektleiter am IWU. Die Serienfertigung bringt wirtschaftliche Vorteile mit sich – die Produktionskosten sinken laut Bräunlich um bis zu 20 Prozent.

Notstrom aus Redox-Flow-Batterien

Ansprechpartner: Dr. Stefan Tröster, stefan.troester@ict.fraunhofer.de

Bei Stromausfall sorgen in Krankenhäusern, Leitstellen, Eisenbahn-Stellwerken oder Rechenzentren meist unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) für die notwendige elektrische Energie. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT realisierten erstmals eine USV auf Basis einer Vanadium Redox-Flow-Batterie (RFB). Hierbei wird die Energie in chemischen Verbindungen gespeichert, den flüssigen Elektrolyten.

Die Anlage ist mit Doppelschichtkondensatoren ausgestattet. Bei Netzstörungen liefern diese in den ersten Sekunden den Strom, bis die Pumpen angelaufen sind und die Redox-Flow-Batterie die dauerhafte Versorgung übernimmt. Die gespeicherte Energie reicht für etwa 60 Minuten. Soll das System länger die Energieversorgung leisten, müssen lediglich die Tanks für die Elektrolytflüssigkeiten größer dimensioniert werden. Weiterer Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen USV-Anlagen mit Blei-Säure-Batterien ist die Langlebigkeit von Redox-Flow-Batterien.



Die ICT-Experten kombinieren die Redox-Flow-Batterien mit Supercaps. Neben dem schnellen Ansprechverhalten können sie kleinere Schwankungen ausgleichen und funktionieren auch bei niedrigen Temperaturen ohne Problem.

Redox-Flow-Batterie-Stack der Unterbrechungsfreien Stromversorgungs-Anlage. © Fraunhofer ICT

Unsichtbares sichtbar machen



Die Rauminstallation »Rhizopoda radiata« eröffnet einen Blick auf die Welt der Mikrochips. © Muthesius Kunsthochschule

Smartphones, Tablets und PCs gehören zum Alltag. Durch Wischen und Schütteln versenden wir Dateien, vereinbaren Termine oder nehmen kleine Filme auf. All dies haben erst Entwicklungen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik möglich gemacht. Doch meist leisten die winzigen Systeme im Verborgenen ihre Dienste. Lässt sich trotzdem die gesellschaftliche und kulturelle Bedeutung der Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik mit künstlerischen und gestalterischen Mitteln darstellen? Kann man das Unsichtbare sichtbar machen? Diese spannenden Fragen stellten sich fast 100 Studierende der Muthesius Kunsthochschule in einem Kooperationsprojekt mit dem Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe.

Im Verlauf des als Wettbewerb angelegten Studienprojekts erarbeiteten die angehenden Künstler und Designer nach einer Erkundungsphase in den Laboren des Fraunhofer-Instituts innovative Antworten und spannende Visualisierungen. Zwei Beispiele: Die Medienkunst-Studentin Robin Lison eröffnet in ihrer Rauminstallation »Rhizopoda radiata« einen Zugang zur mikroskopisch kleinen Welt der Mikrochips. Dafür geht sie auf die Ursprünge des Siliziums, den Rohstoff Sand, zurück, aus dem die Natur die Skelette von kleinsten Organismen, Radiolarien, geformt hat. Diese Strukturen zeigt sie auf gravierten Wafer.

»Auch wenn man sie nicht sieht, Mikrochips bereichern unseren Alltag im guten wie im schlechten Sinne« – diese Erkenntnis hat Conrad Witten weiter gedacht und ist dabei auf die Idee gekommen, eine Applikation für ein Smartphone zu entwickeln, mit der man in die Privatsphäre anderer Menschen eindringen kann.

Alle 22 ausgezeichneten Werke sind in dem Katalog »Invisible - Wie die Mikroelektronik unser Leben verändert« zusammengefasst. Interessenten können die künstlerischen Umsetzungen auch digital bestaunen mit der App »Invisible« der Muthesius Kunsthochschule (<http://invisible.muthesius.de/app>).

Silke Juchter, Wolfgang Sasse,
Tom Duscher/Muthesius Kunsthochschule (Hrsg.)
Invisible. Wie die Mikroelektronik unser Leben verändert. Katalogdokumentation.
Muthesius Kunsthochschule, Kiel 2015.
Print-Version:
ISBN 978-3-943763-41-6. dt./engl.
Schutzgebühr der Print-Version: 10 Euro

Fraunhofer auf Messen

April

12. – 14. April
Medtec, Stuttgart
Fachmesse und Kongress für Design und Technologie medizinischer Ausrüstung

25. – 29. April
Hannover Messe
Internationale Industriemesse

26. – 29. April
Control, Stuttgart
Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

Mai

10. – 13. Mai
Analytica, München
Internationale Fachmesse für instrumentelle Analytik, Labortechnik und Biotechnologie mit analytica Conference

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

Professor Peter Liggesmeyer ist als Präsident der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) wiedergewählt worden. Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern wird in den kommenden zwei Jahren für die etwa 20 000 Mitglieder der GI sprechen.

Dr. Anna Hilsmann vom Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut in Berlin, erhielt den Wissenschaftspreis des Vereins Berliner Kaufleute und Industrieller (VBKI). Mit der Auszeichnung würdigt der VBKI Hochschulabsolventen, die mit ihren Abschlussarbeiten und Dissertationen in besonderer Weise Zukunftspotenziale in der Region Berlin-Brandenburg aufzeigen.

Für seinen langjährigen Einsatz zur Förderung der Ingenieurwissenschaften ehrte der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) **Professor Gerhard Müller** mit dem Ehrenzeichen des VDI. Gerhard Müller ist der stellvertretende Leiter des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg.

Auf der i Konferenz »Advances for Production Management Systems« wurde **Dr. Mike Freitag** vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO mit dem Burbidge Award für das beste wissenschaftliche Paper geehrt. Der Dienstleistungsforscher arbeitet mit zwei weiteren Forschern an einer Methode, die bereits in der Entwicklungsphase Interaktionen zwischen Produkt- und Serviceentwicklung berücksichtigt.

Für ihre Doktorarbeit wurde **Dr. Svenja Hinderer** mit dem Deutschen Studienpreis der Körber-Stiftung ausgezeichnet. Die Wissenschaftlerin am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB gelang es, mit einem modifizierten Elektroschweißverfahren einen Herzklappenersatz herzustellen, dessen strukturelle, mechanische und biochemische Eigenschaften denen natürlicher Taschenklappen sehr nahe kommen – und der in Kinderherzen mitwachsen könnte.

Der Dresdner Materialwissenschaftler **Professor Bernd Kieback** wurde mit der William Johnson International Gold Medal geehrt. Den Preis erhielt der Leiter des Institutsteils Dresden des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM für sein Lebenswerk und die damit verbundenen Verdienste in der Materialforschung und -lehre.

Neuer Vorsitzende des Fraunhofer-Verbands für Informations- und Kommunikationstechnologie ist **Professor Dieter W. Fellner**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt. Fellner folgt auf Professor Matthias Jarke, der den Verbund seit dem Jahr 2010 in zwei Amtszeiten geleitet hat.

Impressum

Fraunhofer-Magazin »weiter.vorn«:

Zeitschrift für Forschung, Technik und Innovation. Das Magazin der Fraunhofer-Gesellschaft erscheint viermal pro Jahr. Kunden, Partner, Mitarbeiter, Medien und Freunde können es kostenlos beziehen.

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 1205-1366
publikationen@fraunhofer.de

Redaktion:

Klaudia Kunze (V.i.S.d.P.),
Beate Koch, Birgit Niesing (Chefredaktion)
Sibylle Gaßner, Mandy Kühn, Tobias
Steinhäuser, Britta Widmann, Christa
Schraivogel (Bild und Produktion)

Redaktionelle Mitarbeit:

Andreas Beuthner, Ines Bruckschen,
Frank Grotelüschen, Klaus Jacob, Chris Löwer,
Katja Lüers, Monika Offenberger, Isolde Rötzer,
Tim Schröder, Katharina Strohmeier,
Monika Weiner

Graphische Konzeption: BUTTER. Düsseldorf

Layout + Litho: Vierthaler & Braun, München

Titelbild: Daniela Martin/Fraunhofer IFF

Druck: H. HEENEMANN GmbH, Berlin

Anzeigen: Heise Zeitschriften Verlag
Technology Review, Karl-Wiechert-Allee 10
30625 Hannover, Telefon +49 511 5352-0
www.heise.de/mediadaten

Bezugspreis im Mitgliedspreis enthalten.
© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2016

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



Spin-offs

Nachhaltige Fischzucht

Fisch ist gesund und beliebt. Den wachsenden Bedarf können die Meere allein längst nicht mehr decken. Mit Steigerungsraten von etwa neun Prozent pro Jahr ist die Aquakultur seit 1970 der am schnellsten wachsende Zweig in der globalen Ernährungswirtschaft. Schon jetzt stammt mehr als die Hälfte aller Speisefische aus Aquakulturen.

»Unser Institut wurde 2004 als Forschungs-GmbH mit dem Ziel gegründet, den Aufbau landbasierter Aquakulturen wissenschaftlich zu begleiten und Technologien zu entwickeln, um diese möglichst umweltverträglich zu gestalten«, erklärt Dr. Guido Austen, Geschäftsführer der GMA – Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH in Büsum. »Seit der Institutsbau 2009 fertiggestellt wurde, können wir hier indoor alle biologischen, technischen und ökonomischen Fragen zur Aufzucht von Fischen in rezirkulierenden Systemen beantworten«, ergänzt Carsten Schulz, Professor für Marine Aquakultur an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und wissenschaftlicher Leiter des Instituts. Gesellschafter sind die Entwicklungsgesellschaft Brunsbüttel GmbH, die Christian-Albrechts-Universität in Kiel und das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. Seit Dezember 2012 ist auch die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligt.

»Wir arbeiten mit den Kollegen aus der Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie EMB in Lübeck zusammen«, sagt Schulz. Die Wissenschaftler aus der Abteilung Aquakultur ziehen nicht nur Fische, sondern auch Muscheln und Algen auf. Die Symbiose ist vorteilhaft für das Ökosystem, da die Muscheln und Algen die Nährstoffe aufnehmen, die die Fische ausscheiden.

Ein wichtiger Forschungsschwerpunkt der GMA ist die Nachhaltigkeit. Neben der Aufbereitung von Haltungswasser beschäftigen sich die Wissenschaftler mit Fischhaltungssystemen sowie der Fischernahrung, indem sie etwa Reststoffe aus der Landwirtschaft verwenden und prüfen, wie die Tiere wachsen.

»Wir bearbeiten zum einen öffentlich geförderte Forschungsprojekte, zu unseren Kunden gehören außerdem Futtermittel- und Futtermittelzusatzhersteller sowie Unternehmen, die sich mit Fischhaltungstechnik beschäftigen«, erläutert Schulz.

Dr. Guido Austen
www.gma-buesum.de



Stromspeicher für Zuhause

Nicht erst seit der Klimakonferenz von Paris ist klar: Nur mit Hilfe erneuerbarer Energien kann es gelingen, Emissionen zu senken und den Klimawandel aufzuhalten. »Bei Photovoltaikanlagen ist der Energiespeicher immer noch das Problem. Nachts oder bei schlechtem Wetter kann der Hausbesitzer heute mangels geeigneter Speichermedien den vorher selbst erzeugten Strom nicht nutzen«, erklärt Thorsten Seipp von der Volterion GmbH in Dortmund. Im Moment dominieren Blei-Akkus oder Lithium-Ionen-Batterien den Markt. Sie sind entweder sehr teuer, besitzen eine geringe Zyklenfestigkeit oder es besteht Brandgefahr. Seipp und sein Kollege Sascha Berthold haben in den vergangenen Jahren in der Abteilung Chemische Energiespeicher am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT eine neue Lösung entwickelt: die Redox Home Battery. Der Eigenstromverbrauch für ein Einfamilienhaus lässt sich mit dieser Redox-Flow-Batterie von derzeit 30 auf bis zu 80 Prozent erhöhen. Weitere Vorteile: Die Batterie ist preiswert, sicher, zuverlässig und recyclebar. Im Juni 2015 wurden die Wissenschaftler dafür mit dem Achema-Gründerpreis ausgezeichnet.

Redox-Flow-Batterien speichern elektrische Energie in chemischen Verbindungen, den flüssigen Elektrolyten. Die Ladung und Entladung der Elektrolyte findet dabei in kleinen Reaktionskammern statt. Mehrere dieser Zellen werden nebeneinander zu Stapeln, Stacks, aufgereiht. Die Speicherkomponente ist ein mit Elektrolyt gefüllter Tank. »Wir haben die Redox-Flow-Batterie nicht neu erfunden, sondern sie für kleine Anwendungen verfügbar gemacht«, erläutert Seipp. »Speziell für die Stacks wurde dazu ein neues Produktionsverfahren entwickelt, sie sind im Gegensatz zu bisherigen Lösungen verschweißst statt gepresst.«

Im September 2015 haben sich Seipp und Berthold mit Volterion selbstständig gemacht. Derzeit haben die Unternehmer mehrere Prototypen am Fraunhofer UMSICHT im Einsatz, im Sommer 2016 beginnt in Oberhausen ein Feldtest. »Unsere Entwicklung ist für Energieversorger, Heizungsbauer oder Solarinstallateure gedacht«, erläutert Seipp. »Sie können Endverbrauchern künftig ein komplettes Energiespeichersystem anbieten.«

Thorsten Seipp
www.volterion.com

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:
koziol Kaffeebereiter

GRATIS

Mit UNPLUGGED von Koziol wird die Kaffeezubereitung wieder richtig zelebriert und jede Tasse kann nach eigenem Gusto zubereitet werden.



Technology
Review

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

weiter.vorn als app, so oder so.



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

Ab Anfang April 2016 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

