

weiter.von

Das Fraunhofer-Magazin

4/12



Die Zukunft der Stadt

Life Sciences

Immuntherapie gegen Krebs

Produktion

Kleine Reaktoren, schnelle Fertigung

Informationstechnologie

Maschine mit Kopierschutz



WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

- Innovation erleben
- Berufsbegleitend qualifizieren
- Wissensvorsprung sichern

Forschen für die Stadt von morgen



Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger. © Ansgar Pudenz

Schon heute leben und arbeiten wir meist in Städten. Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung sind bereits Stadtmenschen. Und die Urbanisierung schreitet weiter mit rasantem Tempo voran. Experten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) erwarten, dass im Jahr 2050 zwei Drittel aller Menschen in Städten leben – insgesamt etwa 6,4 Milliarden Männer, Frauen und Kinder. Obwohl Metropolen heute nur knapp drei Prozent der Erdoberfläche ausmachen, verbrauchen sie schon jetzt drei Viertel aller Ressourcen. Sie hinterlassen Milliarden Tonnen Müll und stoßen gigantische Wolken von Treibhausgasen aus. Städte sind für knapp 80 Prozent aller CO₂-Emissionen verantwortlich. Die zunehmende Urbanisierung, unser riesiger Rohstoffverbrauch, die Belastungen der Umwelt stellen Forschung und Entwicklung aber auch die Strategie- und Innovationsfähigkeit von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vor große Herausforderungen.

Der britische Staatsmann Winston Churchill hat einmal gesagt: »Lasst uns an die Stelle von Zukunftsängsten das Vordenken und Vorausplanen setzen«. Unsere Aufgabe ist es, die zunehmende Urbanisierung nachhaltig zu gestalten. Es gilt schon heute, Lösungen für die Städte der Zukunft zu entwickeln und die Weichen für die Transformation von Autostädten hin zu lebenswerten Städten zu stellen. Die Idee, den ökologischen Umbau der Städte in den Mittelpunkt zukünftiger Forschungs- und Innovationspolitik zu stellen ist in der »Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft« entstanden. Ein multidisziplinärer Expertenkreis entwickelte dort für das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF das Zukunftsbild »Morgenstadt – eine Antwort auf den Klimawandel« und erarbeitete grundlegende Handlungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt »CO₂-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt«.

Die Realisierung dieser Vision kann gelingen, wenn gleichzeitig die energetische Modernisierung von Gebäuden und Produktionsanlagen, die zukunftsfähige Gestaltung nach-

haltiger Mobilität sowie der Ausbau intelligenter Energie- und Kommunikationsnetze vorangetrieben und mit den Bedürfnissen und Alltagsprozessen der Menschen in Einklang gebracht werden.

Der Forschungsbedarf ist jedoch derzeit noch groß. Unter anderem stehen folgende Fragen im Vordergrund: Wie lassen sich Großstädte künftig mit Energie, Trinkwasser und Nahrung versorgen? Wie können wir mobil bleiben? Wie sicher werden die Städte sein? Wie werden wir dort leben und arbeiten? Dabei geht es nicht nur um die Megacities, sondern genauso um unsere bestehenden Städte, Gemeinden und Regionen in Deutschland und Europa, die vor einem tiefgreifenden Wandel stehen.

Bereits im vergangenen Jahr haben Fraunhofer-Institute ein Konzept für eine offene »Fraunhofer-Systemforschung Morgenstadt« entwickelt. An welchen Lösungen die Forscher gemeinsam mit Unternehmen, Institutionen, Städten und Kommunen sowie anderen Forschungseinrichtungen arbeiten, können Sie in der Titelgeschichte erfahren.

Mit dieser Ausgabe möchte ich mich bei den Leserinnen und Lesern des Magazins »weiter.vorn« als Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft verabschieden. Ich freue mich darauf – nach zehn Jahren Präsidentschaft –, nun neue Aufgaben zu übernehmen. Auch in Zukunft bleibe ich Fraunhofer eng verbunden und werde die Forschungsgesellschaft weiter begleiten.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hans-Jörg Bullinger".



8

Titelthema

Die Zukunft der Stadt

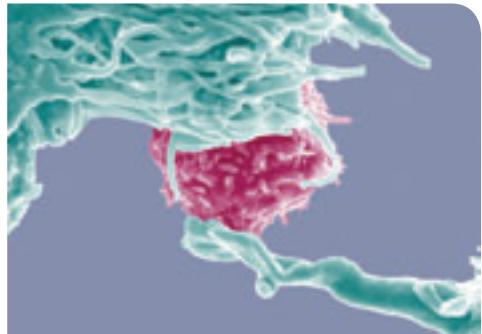
Entwurf des »Masdar Headquarters«, den Hauptsitz der Masdar-Initiative, die den Bau einer Ökostadt in Abu Dhabi plant.



16

Energie ernten

Sogar aus Abwärme lässt sich Strom gewinnen.



24

Immuntherapie gegen Krebs

Immunzellen aus dem Blut von Krebskranken werden im Labor mit Tumorzellteilen konfrontiert.



36

Kleine Reaktoren, schnelle Fertigung

Bei der Herstellung gefährlicher Stoffe wie Nitroglycerin ist Vorsicht geboten. Mikroreaktoren machen die Fertigung sicherer.



44

Autonome Erntehelfer

Ein System von Sensoren soll den Landwirt unterstützen.

54

Mit Röntgenblick schnell erkannt

Hochempfindliche Röntgendetektoren identifizieren unterschiedliche Inhaltstoffe in Glasabfällen.

Inhalt

- 06 Spektrum
- 20 Gründerwelt
- 27 Kompakt
- 28 Firmenporträt
- 33 Fraunhofer inside
- 47 International
- 51 Panorama
- 62 Personalien
- 62 Impressum

- Titelthema**
- 08 Die Zukunft der Stadt**
Lebenswerte, CO₂-neutrale und energieeffiziente Städte braucht die Welt.
- Energie**
- 14 Anti-Aging-Elixier für Solarzellen**
Forscher wollen Solar-Module vor zerstörerischen Umwelteinflüssen schützen.
- 16 Energie ernten**
Strom auch aus Vibrationen oder Abwärme gewinnen.
- 18 Smartes Licht**
Die Beleuchtungstechnik der Zukunft basiert auf LEDs.
- 22 Solarpacks flotter planen**
Mit neuer Software schneller zum perfekten Bauplan.
- Life Sciences**
- 24 Immuntherapie gegen Krebs**
Forscher helfen, aussichtsreiche Kandidaten für neue Medikamente auf den Markt zu bringen.
- Interview**
- 30 Forschen für mehr Effizienz**
Gespräch mit dem künftigen Fraunhofer-Präsidenten Professor Reimund Neugebauer.
- Mobilität**
- 34 Männlich, mittelalt und E-mobil**
Erstkäufer von Elektroautos stammen vom Land und sind zwischen 40 und 50 Jahre alt.
- Produktion**
- 36 Kleine Reaktoren, schnelle Fertigung**
Gefährliche Stoffe lassen sich in Mikroreaktoren sicher herstellen.
- Informationstechnologie**
- 40 Schneller zum Krebsmedikament**
Eine neue Bildanalyse-Software kann die Medikamentenentwicklung beschleunigen.
- 42 Maschine mit Kopierschutz**
Produktpiraterie kostet die deutsche Industrie Milliarden. Forscher entwickeln neue Schutzmaßnahmen.
- 44 Autonome Erntehelfer**
Ein Sensorsystem für Traktoren könnte die Basis für autonomes Fahren auf dem Acker schaffen.
- 46 Die Guten ins Töpfchen, die Schlechten ...**
Eine Winzergenossenschaft setzt auf eine optische Sortieranlage für Weintrauben.
- 48 Daten frei nutzen**
Forscher arbeiten an einem zentralen und freien Zugang für öffentliche Daten.
- Mikroelektronik**
- 52 Intelligentes Tor**
Drin oder nicht? Bei der Beantwortung der Frage hilft künftig Technik.
- 54 Mit Röntgenblick schnell erkannt**
Blitzschnell identifizieren hochempfindliche Röntgendetektoren Inhaltstoffe.
- 56 Kompakte Leistungsmodule fürs Elektroauto**
Leistungselektronik hilft beim Energie sparen.
- Photonik**
- 58 Nano-Noppen entspiegeln Kunststoff**
Vorbild Mottenauge: Nanostrukturen erhöhen die Transparenz von Klarsichtfolien.
- 60 Laser spart Gold**
Goldkontakte mit dem Laser aufbringen, das senkt den Materialbedarf.

Briefbomben erkennen

Brief- und Paketbomben sind eine Gefahr. In Justizvollzugsanstalten, Behörden, in der Logistik, aber auch bei gefährdeten Privatpersonen zu Hause muss man Postsendungen überprüfen. Das Briefgeheimnis darf dabei jedoch nicht verletzt werden. Terahertz-Postscanner sind im Gegensatz zu den heute vereinzelt genutzten Röntgenscannern eine überall einsetzbare Lösung.

Die Terahertz-Wellen liegen im elektromagnetischen Spektrum im Bereich zwischen Mikrowellen und Infrarotlicht. Diese haben große Vorteile: Sie sind für Menschen unbedenklich. Und mithilfe der neuen Scanner durchleuchtet man Postsendungen zudem nicht nur: der Inhalt wird dabei auch chemisch analysiert, denn mit dieser Prüfmethode lässt sich der eindeutige chemische Fingerabdruck der Moleküle feststellen.

Den kompakten, flexibel einsetzbaren und robusten Scanner haben Messtechnik-Experten vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Kaiserslautern gemeinsam mit den Firmen Hübner GmbH, Kassel, und IANUS Simulation GmbH, Dortmund, entwickelt.

Auf dem Touchscreen wird angezeigt, welche gefährlichen Stoffe an welcher Stelle in der Post nachgewiesen wurden. © Hübner GmbH



Skifahren mit Solarhelm

Sonnenstrom für Headsets oder Stereokopfhörer auf der Skipiste – Solarhelme machen es möglich. Die leistungsfähigen und robusten Solarzellen lassen sich mit einer neuartigen Methode an die gekrümmte Form eines Helms anpassen.

Smartphones oder MP3-Player sind kabellos über Bluetooth angeschlossen. So kann der Skifahrer mit dem dazugehörigen Bluetooth-Handschuh bequem Anrufe annehmen und den MP3-Player bedienen.

Die größte Herausforderung für die Forscher war es, die Solarmodule an die gekrümmte Fläche des Helms anzupassen. Die Experten haben dazu eine spezielle Aufbau- und Verklebungstechnologie entwickelt, bei der überaus hochwertige Solarzellen aus einkristallinem Silizium in sehr kleine Einzelchips segmentiert und speziell für eine dreidimensionale, gekrümmte Form produziert werden.

Sogar Rucksäcke, Karosserieteile und Ähnliches lassen sich mit diesen Modulen – auch nachträglich – ausstatten. Wenn der Helm nicht zum Skifahren genutzt wird, steht er als Ladestation für die mobilen Geräte zur Verfügung. Das Projekt ist eine Kooperation der Experten von den Fraunhofer-Instituten für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin, für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg, der Technischen Universität Berlin und der Firma TEXSYS.

Auf einen Skihelm montiert ist es nahezu unsichtbar: das dreidimensionale Solarmodul. © Fraunhofer IZM



Mit der Elektro-Rikscha unterwegs

Geräuscharme, energieeffiziente und emissionsarme Antriebe für Kleinfahrzeuge sollen vor allem die Städte entlasten. Experten der Fraunhofer-Institute für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden und für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg haben ein neues Energiesystem entwickelt. In einer Elektro-Rikscha mit dem Namen »Hydrogenia« präsentieren sie ihre Forschungsergebnisse.

Der in die Rikscha integrierte Polymerelektrolyt (PEM)-Brennstoffzellenantrieb ist mit einem speziell konzipierten Metallhydrid-Tank zur robusten und Platz sparenden Wasserstoffspeicherung gekoppelt. Dadurch kann das Fahrzeug nicht nur längere Strecken zurücklegen als mit Batterien, sondern auch deutlich schneller betankt werden. Durch die Kopplung von Brennstoffzellenantrieb und Metallhydridtank gelingt es, mit »Hydrogenia« bis zu 200 km zurückzulegen.

Der Metallhydrid-Speicher arbeitet bei sehr niedrigem Betriebsdruck. Das macht den Speicher sicher und kompakt. Die Beladung des Tanks läuft bei einem Druck von nur 30 bar. Zum Vergleich Wasserstoffdrucktanks verschiedener Automobilfirmen arbeiten mit bis zu 700 bar.

Umweltfreundlich fahren mit Wasserstoff: Hydrogenia.
© Fraunhofer ISE



Winzige Kapseln

Experten der Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam-Golm und für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart entwickeln Konzepte für neue Anwendungen in der Technologie der Mikroverkapselung. Die IAP-Wissenschaftler arbeiten beispielsweise an Mikrokapseln, die Schmierstoffe enthalten. Diese Winzlinge sind in Kunststoffbauteile integriert. So ist das Bauteil – etwa die Führungsschienen von Schiebetüren im Küchenschrank – während seiner gesamten Lebensdauer mit reibungsmindernden Zusätzen ausgestattet, die nur im Bedarfsfall freigesetzt werden. Die Schiebetüren bleiben dadurch immer leichtgängig. Die Forscher arbeiten auch an Herstellungsverfahren, die es ermöglichen, die Kapseln bei hohen Temperaturen in Kunststoff einzuarbeiten.

Zwölf Firmen nutzen die Fraunhofer-Technologieplattform Mikroverkapselung, darunter BASF, Clariant, Henkel, Lanxess sowie Unternehmen aus Spanien und Dänemark.

Mikroverkapselte Farbpigmente.
© Fraunhofer IAP

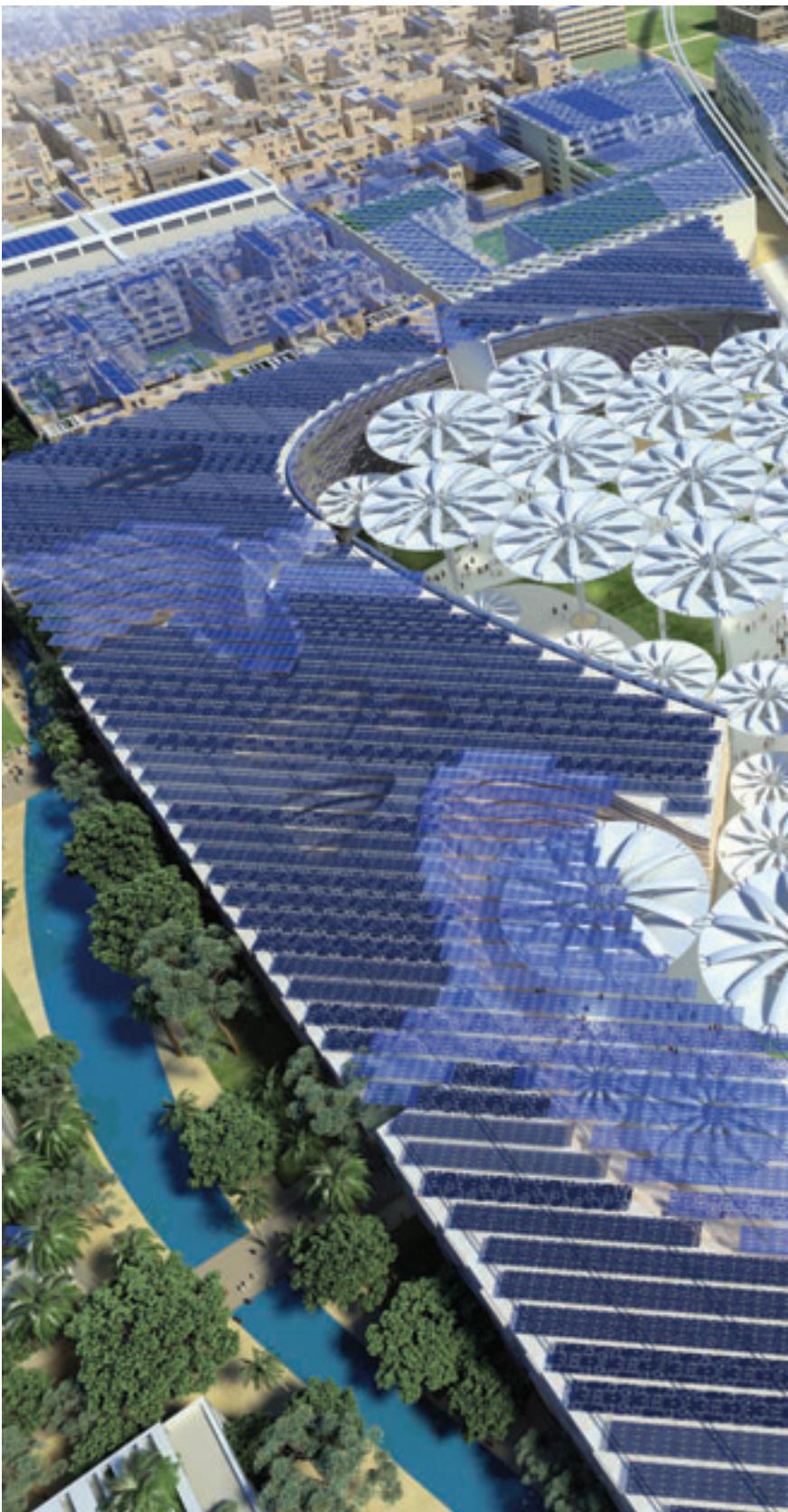


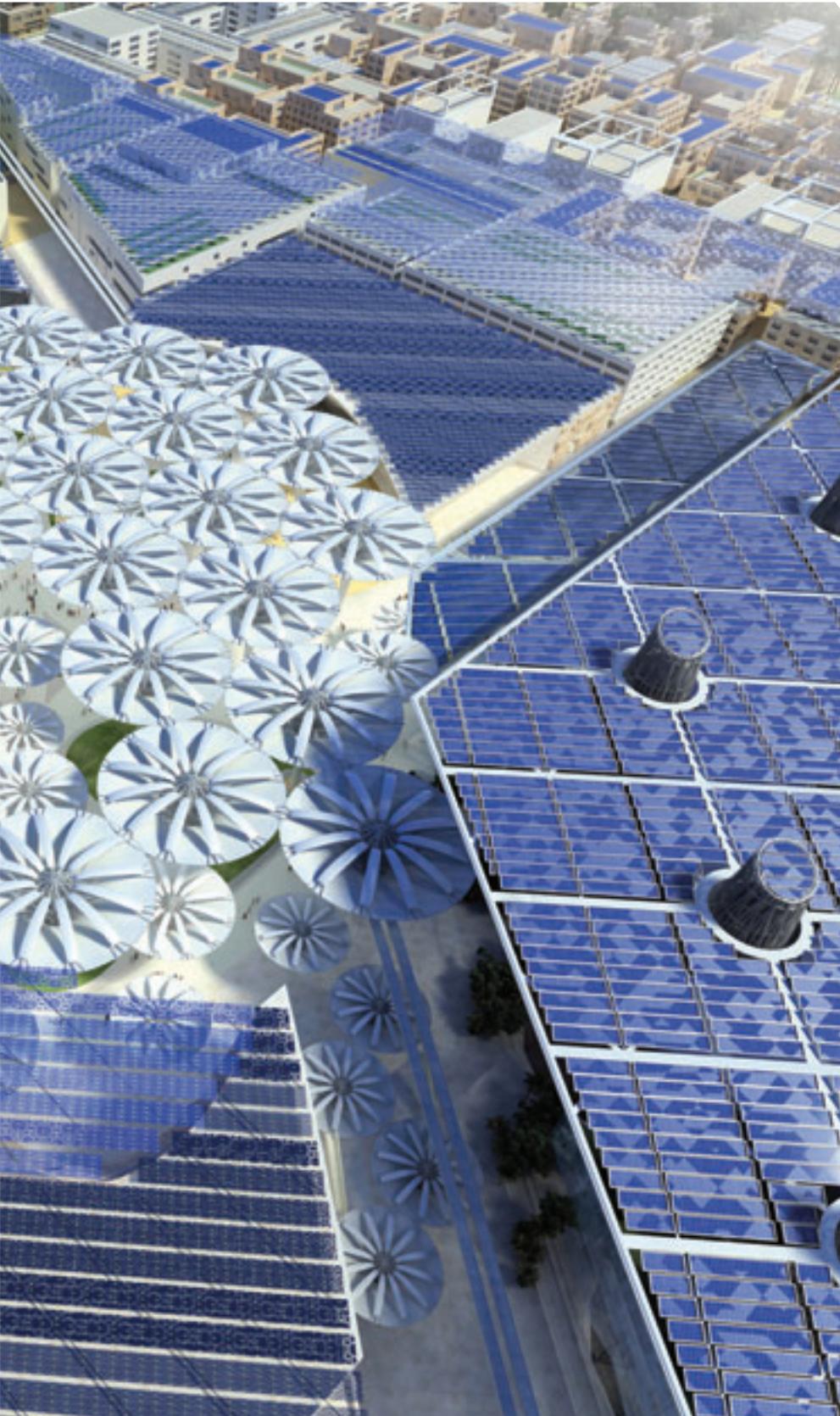
Die Zukunft der Stadt

Mehr als 200 000 Menschen ziehen jeden Tag vom Land in die Stadt. Die Metropolen der Welt wachsen und damit auch die Probleme. Wenn wir künftig in lebenswerten und nachhaltigen Großstädten wohnen und arbeiten wollen, müssen schon heute die Grundlagen dafür gelegt werden.

Text: Birgit Niesing

Die »CO₂-neutrale Wissenschaftsstadt Masdar-City« setzt auf erneuerbare Energien.
Konzeption © LAVA; Fraunhofer IAO





Leise surren Stromer durch die Straßen. Die Luft ist sauber, denn weder Autos noch Fabriken stoßen Schadstoffe aus. Die meisten Neubauten produzieren dank Solarzellen und Sonnenwärmekollektoren mehr Energie, als sie verbrauchen und speisen sie in intelligente Netze ein. Begrünte Dächer sorgen für ein angenehmes Klima in der Metropole und versorgen die Städter zudem mit frischem Gemüse. Die Menschen genießen das quirlige Stadtleben – ohne Lärm, Staus, gesundheitsgefährdende Abgase oder Feinstaub.

So oder ähnlich wünschen sich Menschen die Großstädte der Zukunft. Forscher, Politiker, Unternehmer, Städteplaner und Kommunen in aller Welt arbeiten daran, dass die Vision Wirklichkeit wird. »Metropolen können zu Pionieren eines nachhaltigen Wandels werden. Denn in der Umstrukturierung vorhandener Städte und der besseren Planung neuer Cities steckt ein riesiges Potenzial, um dem Klimawandel entgegenzusteuern und die Lebensqualität der Städter zu verbessern«, sagt Professor Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. Darauf setzt auch die Bundesregierung. Sie hat das Thema »Morgenstadt – Die CO₂-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt« als ein zentrales Thema in ihre Hightech-Strategie 2020 aufgenommen.

Die Realität sieht in vielen Großstädten der Welt anders aus: In Lima haben mehr als eine Millionen Einwohner kein sauberes Trinkwasser, in São Paulo landet fast die Hälfte des städtischen Abwassers ungeklärt in Flüssen, Hongkong leidet unter extremem Smog, Neu-Delhi hat mit häufigen Stromausfällen zu kämpfen, Neapel versinkt im Müll und in London kommen Autofahrer nur im Schneckentempo voran.

Um 1900 waren etwa 165 Millionen Menschen Städter (zehn Prozent der Bevölkerung). Heute drängen sich 3,4 Milliarden Menschen in urbanen Siedlungen.

Dennoch locken Städte immer mehr Menschen an. Die Gründe für den ungebremsten Zustrom: In Großstädten gibt es meist Arbeit, gute Schulen und Hochschulen, Geschäfte aller Art, eine beträchtliche Auswahl an Ärzten und Krankenhäusern sowie ein vielfältiges Kultur- und Freizeitangebot. In vielen Ländern sind die Megastädte die entscheidenden Wachstumsmotoren. Metropolen wie Paris, Mexico City, São Paulo, Bangkok oder Tokio erwirtschaften zwischen 30 und 50 Prozent des Bruttoinlandsprodukts der jeweiligen Länder.

Kein Wunder also, dass schon heute mehr als die Hälfte (51 Prozent) der Weltbevölkerung in Städten lebt. Und die Urbanisierung nimmt weiter zu. Experten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) erwarten, dass im Jahr 2050 zwei Drittel aller Menschen in Städten wohnen und arbeiten – insgesamt etwa 6,4 Milliarden Männer, Frauen und Kinder. Doch das Wachstum ist teuer erkauft. Megacities verbrauchen Unmengen an Energie

Kontraste in der Metropole Manila: Neben dem Geschäftszentrum Makati mit seinen Hochhäusern gibt es auch Slumsiedlungen.
© Hartmut Schwarzbach/
argus



Viele Bewohner Limas haben keinen Anschluss ans Trinkwasser.
© Enrique Castro-Mendivil/
REUTERS



Die Menschen in Hong Kong leiden unter Smog.
© ecopix/Lee



und Rohstoffen. Obwohl Städte heute nur knapp drei Prozent der Erdoberfläche ausmachen, verbrauchen sie schon jetzt – laut einer von Siemens in Auftrag gegebenen Studie – zwei Drittel der weltweit genutzten Energie und 60 Prozent des vorhandenen Trinkwassers.

Auf der anderen Seite produzieren Großstädte Massen an Schadstoffen, Abwasser, Müll und Treibhausgasen. Metropolen sind für knapp 80 Prozent aller Kohlendioxid-Emissionen verantwortlich. Und um die Städter mit Wasser und Essen zu versorgen, werden riesige Flächen benötigt: London braucht dafür 125 Mal die Fläche seines Stadtgebiets, hat der britische Umweltberater Fred Pearce im New Scientist vorgerechnet.

Doch kann man diesen Fehlentwicklungen entgegenwirken? Wie lässt es sich künftig in Städten nachhaltig leben und arbeiten? Wie kann man die Städter mit Energie, Trinkwasser und Essen versorgen? Wie entsorgt man Abwasser und Müll? Ist es möglich, schädliche Abgase und Lärm zu vermeiden?

In Hongkong wohnen im Durchschnitt 15 920 Personen [2006] auf einem Quadratkilometer. In Berlin sind es etwa 2000.

Damit man diese vielfältigen Herausforderungen meistern und Technologien für umweltfreundliche Städte entwickeln kann, ist auch die Wissenschaft gefragt. Schon im vergangenen Jahr haben sich deshalb mehr als ein Dutzend Fraunhofer-Institute in der »Fraunhofer-Initiative Morgenstadt« zusammengeschlossen.

»In der nachhaltigen Entwicklung unserer Städte und Kommunen sehen wir einen der größten Hebel für eine zukunftsfähige Gesellschaft«, erklärt Professor Dieter Spath, der die Initiative koordiniert. »Wir brauchen aber gemeinsame Ziele, Leitbilder und Wertvorstellungen, wie die Städte, in denen wir morgen leben und arbeiten werden, aussehen sollen – das heißt, wir müssen alle technologischen, organisatorischen und bedarfsbezogenen Faktoren, die künftig in Städten eine Rolle spielen, erforschen und daraus langfristige Handlungsmaximen für die Umwandlung heutiger Städte in Morgenstädte ableiten«, konkretisiert Professor Spath, der das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart leitet. »Es stellt sich die Frage, wie Siedlungen und Gebäude beschaffen sein müssen, um den bevorstehenden Veränderungen gewachsen zu sein. Eine vorausschauende Planung ist für die Morgenstadt ebenso unverzichtbar, wie der Einsatz innovativer Materialien und Prozesse«, ergänzt Professor Klaus Sedlbauer, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP und stellvertretender Sprecher der Fraunhofer-Initiative Morgenstadt.

Eine besondere Herausforderung ist es, kurzfristige Innovationszyklen – wie bei den Informations- und Kommunikations-

technologien – mit langfristigen zu synchronisieren – etwa bei Gebäuden oder Verkehrsinfrastrukturen. Denn während zum Beispiel Server oder Software-Systeme bereits nach wenigen Jahren erneuert werden, stehen Gebäude meist mehr als 50 Jahre; Straßen und Abwasserinfrastrukturen sind sogar 80 Jahre und länger im Dienst. »Daher hat die Initiative ›Morgenstadt‹ ein strategisches Handlungsmodell entwickelt, das auf einem systemischen Ansatz beruht und die jeweiligen Schlüsseltechnologien adressiert«, erläutert Spath. Die Wissenschaftler konzentrieren sich dabei auf die Bereiche Energie, Gebäude, Produktion und Logistik, Verkehr und Mobilität, Information und Kommunikation, urbane Prozesse und Organisation sowie Sicherheit und Schutz.

 www.morgenstadt.de

»In vielen Fällen ist das technologische Know-how für die Stadt der Zukunft bereits vorhanden«, weiß Fraunhofer-Experte Professor Wilhelm Bauer, stellvertretender Institutsleiter des IAO. Allerdings müssen die Konzepte und Technologien an die Verhältnisse der jeweiligen Länder und Regionen angepasst werden.

Dass das geht, zeigt das Projekt DEUS. Die Abkürzung steht für »Dezentrale urbane Wasserinfrastruktursysteme«. Das neue Verfahren spart nicht nur Wasser, sondern ermöglicht es sogar, Energie aus dem Abwasser zu gewinnen. Die Technologie haben Forscher der Fraunhofer-Institute für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart und System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe entwickelt. Ein wichtiger Baustein ist dabei die Vakuumkanalisation. Damit lässt sich der Wasserverbrauch drastisch senken. Eine Hochleistungs-Membran-Anlage reinigt das Abwasser biologisch. In anaeroben Bioreaktoren werden die organischen Bestandteile dann zu Biogas umgewandelt. Eine weitere Komponente von DEUS ist eine moderne Aufbereitungsanlage für Regenwasser und Waschwasser. Damit lässt sich keimfreies Pflegewasser für die Bewässerung des Gartens oder für die Toilettenspülung gewinnen. Das System ist bereits in der deutschen Gemeinde Knittlingen im Einsatz. Nun arbeiten die Forscher daran, die DEUS-Technologie für einen Industriepark der Stadt Guangzhou in China zu optimieren.

Im Ballungsraum Tokio leben mehr als 37 Millionen Menschen – ein Drittel der japanischen Bevölkerung.

Eine Vision für die Zukunft sind Metropolen, die kein Kohlendioxid ausstoßen. Doch CO₂-freie Städte lassen sich nur realisieren, wenn es gelingt, Energie regenerativ zu erzeugen, den Energiebedarf drastisch zu senken und die Energie intelligent zu verteilen. Eine wichtige Strom- und Wärmequelle künftiger Städte ist die Sonne. Forschern des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg ist es gelungen, den Wirkungsgrad bei industriell gefertigten kristallinen Solar-



Im Jahr 2007 wohnten zum ersten Mal mehr Menschen in Städten als auf dem Land.

Stau in London: Oft kommen die Autos nur im Schritttempo voran.
© MARK EDWARDS/Still Pictures

zellen von anfangs sechs auf heute 18 Prozent zu steigern – eine wichtige Grundlage für eine effiziente regenerative Energie-Erzeugung. Wie sich Energie nachhaltig gewinnen lässt, soll künftig das »Energy Dream Center« in Seoul zeigen. Das »Zentrum für Erneuerbare Energien« ist als Null-Energie-Gebäude konzipiert. Forscher des ISE haben das Energie- und Technikkonzept an das Klima sowie an die technischen Bedingungen in Südkorea angepasst. Die Klimatisierung erfolgt dabei nicht nur über die Fassade, sondern auch mittels intelligenter Bauteile, die Wärme oder Kälte speichern und bei Bedarf abgeben können. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Erdsondenanlage zur Heizung und Kühlung sorgen für eine hoeffiziente Energieversorgung. Den Strom für die Wärmepumpen erzeugen Solarzellen auf dem Dach. Damit ist das Gebäude in der Jahresbilanz energie- und klimaneutral.

Dank des Einsatzes moderner Photovoltaik-Anlagen und leistungsfähiger Wärmepumpen können Neubauten künftig sogar als »Kraftwerke« genutzt werden. Ein Beispiel ist das Effizienzhaus-Plus in Berlin. Das gut gedämmte Haus erzeugt mehr Energie als es verbraucht. Der überschüssige Strom wird in Hochleistungsbatterien gespeichert und lässt sich unter anderem zum Laden von Elektrofahrzeugen nutzen. An dem Projekt und deren wissenschaftlicher Begleitung war auch die Fraunhofer-Allianz Bau beteiligt. Gebäude können künftig – wenn sie zu viel produzieren – Energie ins Netz abgeben. Dafür sind jedoch intelligente Verteilsysteme notwendig – die Smart Grids. Nur dann hat die Stadt der Zukunft auch mit vielen kleinen Energieerzeugern immer ausreichend Strom und Wärme zur Verfügung.

1950 war New York die einzige Stadt der Welt mit mehr als zehn Millionen Einwohnern. Heute gibt es etwa 30 Megacities.

Ein eleganter Weg, Gebäude zu dämmen und damit den Energieverbrauch drastisch zu senken, sind innovative Fassadenteile. An solchen Elementen arbeiten Fraunhofer-Forscher. Ihr Know-how kommt nun auch in Masdar-City zum Einsatz. Derzeit entsteht am Rande von Abu Dhabi die erste Stadt, die ausschließlich mit regenerativen Energien versorgt wird und weder Kohlendioxid, noch Müll erzeugen soll. Wissenschaftler des IBP und ISE konzipieren für diese Modellstadt ein Fassadentestzentrum, um optimierte Lösungen für die lokalen Verhältnisse zu erhalten.

Die größten Energie-Verschwender und damit auch Produzenten von CO₂ sind »alte« Gebäude. In Deutschland wurden fast drei Viertel der Gebäude vor 1979 errichtet, also bevor die erste Wärmeschutz-Verordnung greifen konnte. Diese Altbauten verursachen 95 Prozent des Energieverbrauchs von Gebäuden. »Die Steigerung der Energieeffizienz bei Gebäuden ist ein wesentlicher Schlüssel für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Mit einer umfassenden Modernisierung

lässt sich der Verbrauch von Altbauten um bis zu 80 Prozent senken«, sagt Professor Sedlbauer.

Eine weitere Herausforderung für die Planer der Morgenstadt ist der Aufbau nachhaltiger Mobilität. »Wir müssen aus Autostädten wieder Menschenstädte machen, die leise, verkehrsarm, weitgehend emissionsfrei sind«, fordert Bullinger. »Um allerdings mit weniger Verkehr eine ausreichende, sichere, zuverlässige und bezahlbare Mobilität zu gewährleisten und die Lebensqualität in Städten zu steigern, ist ein strukturelles Umdenken gefragt«, so das Fazit der Studie »Roadmap – Elektromobile Stadt«, des IAO. Das ist nur möglich, wenn private und öffentliche Verkehrsmittel besser vernetzt sind. Zudem muss Mobilität umweltfreundlicher werden – etwa durch Elektrofahrzeuge, die mit regenerativ erzeugtem Strom fahren. Einige Städte beginnen schon jetzt den Weg in die elektromobile Zukunft. Ein Beispiel ist Stuttgart: Die schwäbische Landeshauptstadt beteiligt sich mit Elektrofahrzeugen an dem Carsharing-Projekt car2go der Firma Daimler.

Ziel der »Morgenstadt« sind lebendige Stadtviertel, in denen man auf kurzer Distanz arbeiten, wohnen, einkaufen, essen oder im Park spazieren gehen kann. Das ist aber nur möglich, wenn auch Produktionsstätten wieder in die Stadt zurückkehren. Doch dann dürfen die Fabriken die Anwohner nicht durch Lärm oder den Ausstoß von Schadstoffen belasten. Wie das geht, zeigt die Wittenstein AG. Das Unternehmen hat in Fellbach bei Stuttgart ihre neue Produktionsstätte für die Tochterfirma Wittenstein bastian errichtet. Dabei setzte die Firma auf ein innovatives Gesamtkonzept für urbane Produktion: Gebäudetechnik und Maschinen sind auf geringstmöglichen Ressourcenverbrauch und zugleich höchste technische Präzision hin ausgelegt. »Bei der Planung haben wir alle Themen wie Lärm, Abgas, Abfall, CO₂-Ausstoß, Wasser und Abwasser ebenso gründlich berücksichtigt wie



Im vergangenen Jahr wurde das Effizienzhaus-Plus in Berlin eröffnet.
© Werner Sobek

Buch zur Morgenstadt

Wie könnten die Städte künftig aussehen? Welche Technologien helfen, Metropolen mit Trinkwasser zu versorgen? Wie bleiben wir in Megacities mobil? Antworten auf diese und weitere Fragen gibt das Buch »Morgenstadt«. Wie wir morgen leben: Lösungen für das urbane Leben der Zukunft. Der Fraunhofer-Präsident Professor Hans-Jörg Bullinger und die Wissenschaftsautorin Brigitte Röthlein beschreiben, wie wir unsere Städte lebenswert und nachhaltig gestalten können.

Die Autoren zeigen, dass viele technische Voraussetzungen dafür schon vorhanden sind. Deutschland kann die Vorreiterrolle für eine ökologisch verträgliche Urbanisierung übernehmen. Themen des Buchs sind Energie, Wasser, Bauen und Wohnen, Ernährung und Gesundheit, Mobilität, Sicherheit, Arbeitswelt, Ver- und Entsorgung, Kommunikation und Wege zur Morgenstadt.

Hans-Jörg Bullinger/Brigitte Röthlein

Morgenstadt. Wie wir morgen leben: Lösungen für das urbane Leben der Zukunft
Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-43203-1 | 24,90 Euro (D)

Das »Energy Dream Center« in Seoul wird als erstes Nullemissionsgebäude Südkoreas selbst zum Exponat.
© Parsons Brinckerhoff Korea



die architektonische Einbindung in das direkt benachbarte Wohnumfeld», betont Wilhelm Bauer vom IAO, das die Firma bei der Konzeption unterstützt hat.

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass es schon heute zahlreiche Ansätze und Ideen für die Städte der Zukunft gibt. »Die zentrale Herausforderung liegt aber nicht nur darin, diese einzelnen Technologien weiter zu optimieren, sondern sie zu einem ganzheitlichen Systemansatz zusammenzuführen – für die Transformation unserer Städte hin zu Morgenstädten«, betont Professor Bullinger. Im Mittelpunkt aller Überlegungen stehe dabei der Mensch. »Er soll in der Stadt der Zukunft gesund leben, sich wohl fühlen, andere Menschen treffen und arbeiten können. Die Technik dient nur dazu, diese Grundbedürfnisse zu unterstützen.«

»Weltweit müssen die Städte in den kommenden Dekaden einen technologischen und organisatorischen Innovationsprung meistern«, weiß Professor Spath. Erste Metropolen beginnen schon jetzt dafür die Weichen zu stellen. Beispiel Stockholm: Im Stadtteil Hammarby Sjöstad entsteht ein ökologisch nachhaltiger Bezirk für mehr als 25 000 Einwohner. Das ist eines der größten Stadtentwicklungsprojekte in Europa. Beispiel Singapur: Um auch künftig genügend Trinkwasser für seine fünf Millionen Einwohner zu haben, investiert der asiatische Stadtstaat in Membranfiltertechnologien zum Recycling von Brauchwasser. Singapur setzt zudem konsequent auf Begrünung – auch auf Hochhäusern. Bis zum Jahr 2030 sollen auf Dächern, Fassaden oder Balkonen eine Fläche von 50 Hektar bepflanzt werden. Die »hängenden Gärten« dienen als natürliche Klimaanlage. Noch einen Schritt weiter gehen die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-,

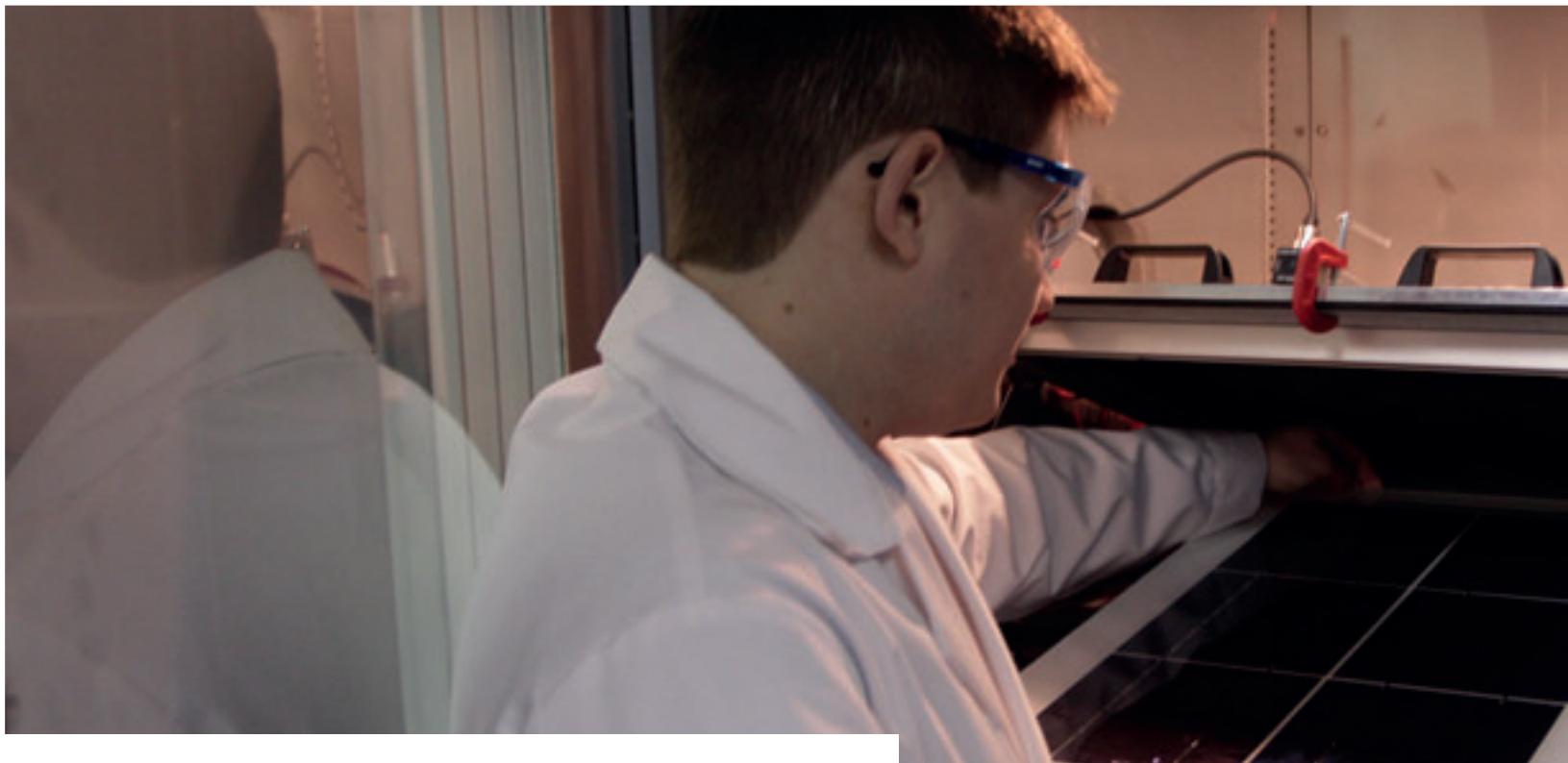
Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Sie arbeiten im Projekt Infarming® an Lösungen für die urbane Landwirtschaft. Ein Ziel ist es, Gemüse unter kontrollierten Bedingungen nahe beim Verbraucher zu erzeugen.

Welche erfolgreichen Konzepte gibt es schon? Wie bereiten sich Metropolen auf die Herausforderungen der Zukunft vor? Diese und weitere Fragen untersucht das Projekt »Morgenstadt: City Insights«. Ziel ist es, einen Einblick in die Veränderungsprozesse ausgewählter Städte zu erhalten und Erfolgsfaktoren für den Wandel zu nachhaltigen Metropolen zu identifizieren. Dazu haben sich neben zahlreichen Fraunhofer-Instituten auch Unternehmen und Kommunen in dem Projekt zusammengeschlossen.

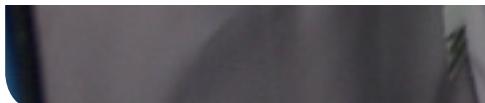
In den kommenden Jahren werden immer mehr Megacities, Großstädte und Kommunen in aller Welt auf eine nachhaltige Stadtentwicklung setzen. Das Strategieberatungs-Unternehmen Booz & Company erwartet, dass in den nächsten 30 Jahren etwa 350 Billionen US-Dollar in urbane Infrastruktur investiert werden. Ein lukrativer Markt, von dem auch deutsche Unternehmen profitieren können. »Durch ein entschlossenes gemeinsames Vorgehen von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft könnte sich Deutschland als globaler Leitanbieter von Nachhaltigkeitstechnologien für die Metropolen der Zukunft positionieren«, zeigt Professor Hans-Jörg Bullinger die Chancen auf. Dazu kann Fraunhofer mit der »Initiative Morgenstadt« einen wichtigen Beitrag leisten. ■



www.fraunhofer.de/audio



Anti-Aging-Elixier für Solarzellen



Photovoltaik-Module liefern Strom ohne Risiken und Nebenwirkungen für Umwelt und Klima. Doch der Sonnenstrom ist teuer. Die Module müssen daher möglichst lange halten. Amerikanische Fraunhofer-Forscher suchen jetzt nach Materialien, die Solarzellen vor zerstörerischen Umwelteinflüssen schützen.

Text: Monika Weiner

Manchmal entscheiden wenige Cent über Erfolg oder Misserfolg einer Technologie. Solange beispielsweise Solarstrom mehr kostet als Energie, die aus fossilen Rohstoffen gewonnen wird, ist sie auf dem freien Markt nicht konkurrenzfähig. »Die Stromerzeugung aus Sonnenenergie ist immer noch auf Subventionen angewiesen – das ist in den USA nicht anders als in Deutschland«, erklärt Christian Hoepfner, Wissenschaftlicher Direktor des Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE in Cambridge, USA. »Wenn wir wollen, dass sich regenerative Energien langfristig auf dem Weltmarkt durchsetzen, müssen wir dafür sorgen, dass sie billiger werden.«

Patentrezepte, wie sich dieses Ziel erreichen lässt, gibt es nicht: Den Wirkungsgrad kann man nicht unendlich steigern und die Produktion von

Solar-Modulen ist teuer. Wer hier etwas verändern will, der muss Tüftelarbeit leisten: Ingenieur-Teams auf der ganzen Welt suchen nach neuen Techniken und Fertigungsmethoden, die Zellen und Module billiger, effektiver, widerstandsfähiger und zuverlässiger machen. Ein vielversprechender Ansatz besteht beispielsweise darin, die elektrischen Kontakte und Leiterbahnen auf die Rückseite der Module zu verlegen – so geht auf der Sonnenseite kein Platz verloren. Der Preis pro Kilowattstunde konnte auf diese Weise schon um ein paar Cent gesenkt werden – klingt nach wenig, doch wenn in den nächsten Jahrzehnten Billionen Watt von Photovoltaikmodulen in die Netze fließen, werden sich die kleinen Beträge zu erheblichen Summen addieren. Die Suche nach neuen Techniken, die die Zellen besser und billiger machen, geht daher

Forscher untersuchen, wie sich Solarzellen besser vor Umwelteinflüssen schützen lassen. © Fraunhofer CSE



eingesetzt. Die Laminierung ist eine Schutzschicht, welche die zerbrechlichen Siliziumwafer umgibt. Die meisten Hersteller schützen die Wafer bisher mit Äthylen-Vinyl-Acetat.

Um herauszufinden, ob sich das Äthylen-Vinyl-Acetat durch Silikon ersetzen lässt, ging ein Team von Wissenschaftlern ans Werk: Fraunhofer-Forscher und Ingenieure der Dow Corning Corporation – die Firma ist der weltgrößte Hersteller von Silikonen, die in der Medizintechnik, Kosmetik, Automobilindustrie, Papierverarbeitung und Elektronik zum Einsatz kommen. Die Experten übergossen Photovoltaik-Zellen mit flüssigem Silikon. »Wenn dieses aushärtet, versiegelt es die Zellen, die elektronischen Bauteile sind damit optimal geschützt«, so der Projekt Manager Rafal Mickiewicz. Aus den mit Silikon laminierten Zellen bauten die Experten am CSE Prototypen und prüften dann diese Photovoltaik-Module nach allen Regeln der Ingenieurskunst: Die Module wurden in einer Klimakammer bei niedrigen Temperaturen und unter zyklischen mechanischen Belastungen untersucht. Anschließend testeten die Ingenieure mit einem Lichtblitz die Leistungsfähigkeit der Module und suchten mithilfe von Elektro-Lumineszenz-Imaging nach Mikrorissen. Der Vergleich der Tests mit denen konventioneller Solarmodule zeigte, dass silikonummantelte Photovoltaik-Module zyklische Belastungen, beispielsweise durch starken Wind und insbesondere bei großer Kälte, besser standhalten.

»Dow Corning Corporation hat mit den Forschern der Gruppe Fraunhofer CSE Photovoltaik-Module zwei Jahre kooperiert. Die Zusammenarbeit hat unser Verständnis von den Materialanforderungen, die an Solarmodule gestellt werden, signifikant verbessert, vor allem, was die Haltbarkeit und die Leistung betrifft«, resümiert Andy Goodwin, Global Science & Technology Manager, Dow Corning Solar Solutions.

Die Tests sind mittlerweile abgeschlossen und wurden bei der »26th European Photovoltaik Solar Energy Conference 2011« veröffentlicht. »Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass Silikonlaminierung für bestimmte Anwendungen besonders geeignet ist, weil das Silikon die zerbrechlichen Bauteile im Inneren gut schützt und außerdem starken Temperaturschwankungen standhält. Mit der Technik können wir beispielsweise Module mit dünnen Silizium-Solarzellen robuster machen«, fasst Rafal Mickiewicz wichtige Erkenntnisse zusammen. ■

weiter. Zu den Erfolg versprechenden Materialien gehören Silikone. Diese sind höchst eigenartige Stoffe – Zwitter, die sowohl mit Kristallen, als auch mit Kunststoffen verwandt sind, sich aber keiner Gruppe richtig zuordnen lassen. Die synthetische Verbindung aus Silizium, Sauerstoff und organischen Polymeren wurde Anfang des 20. Jahrhunderts von dem englischen Chemiker Frederic Stanley Kipping entdeckt. Schon bald stellte man fest, dass sich die physikalischen Eigenschaften der »Siliziumorganischer Verbindungen« durch die Auswahl geeigneter chemischer Zutaten beeinflussen lassen. Dieser Flexibilität verdanken die Silikone ihren Erfolg.

Die Photovoltaik-Industrie nutzt Silikone schon seit längerem zum Verkapseln von Modulen. Zum Laminieren wurden sie bisher jedoch kaum

Laser Line, Micro Focus, Laser Pattern Generators
 Wavelength 405 - 2050 nm
Made in Germany

Depth of Focus:
Plots of power density vs. working distance

Laser Micro Line Generators for full power density in focus

Laser Macro Line Generators for extended depth of focus

Application **Laser Line Generators**
13LRM25S250-1.5 + 40TE-640-500-M33-T12-C-6
3D Profiling and Process Control

- Laser power up to 500 mW at 640 nm
- Constant width and uniform intensity distribution
- Digital interface
- Micro line versions for maximum power density in focus
- Macro line versions for extended depth of focus

VISION 2012

Visit us at Vision 2012
Hall 1.0, Booth 1.A.02
November 6. - 8. 2011
STUTTGART

Line Scan Cameras
 for Research and Machine Vision. Color, monochrome, or TDI sensors.
www.SuKHamburg.de/linescan

from 512 to 12 000 pixels

Modular interface concept:
 Analog: RS422
 Digital: LVDS
 Link USB 2.0
 GIGE Vision

TDI Line Scan Camera with Dark-field Illumination

WAFER INSPECTION

Detection of diffuse reflecting scratches and particles down to the sub-micrometer range.

LASM - Large Area Scan Microscope

Innovative investigation of polar ice cores

Analysis of grain boundaries and gas enclosures

AWI Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research

Application **Line Scan Camera with integrated bright field illumination**

Turn-key System

Filiform Corrosion
Bavarian: Wurmfrass

Energie ernten

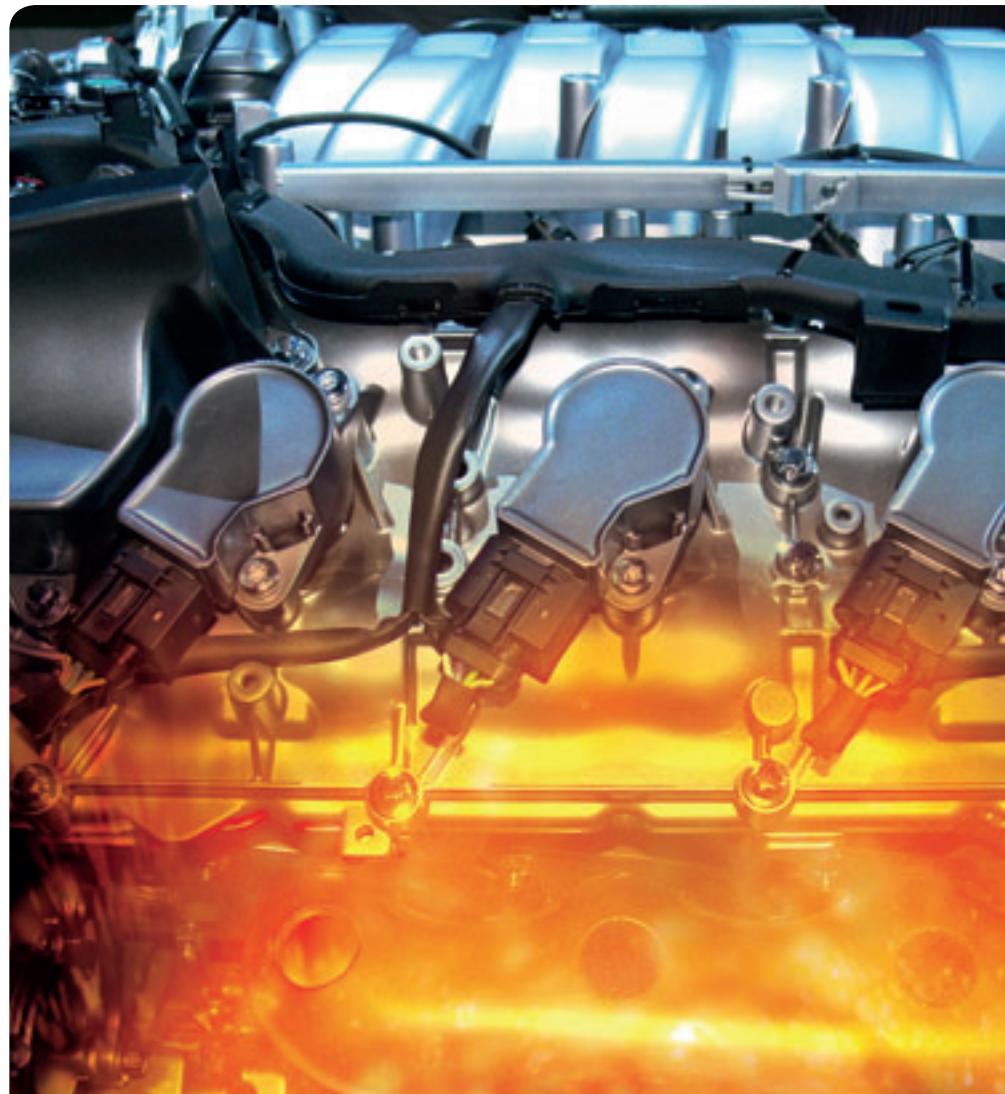
Aus Vibrationen oder Abwärme lässt sich elektrische Energie gewinnen. So werden Sensoren unabhängig vom Stromnetz und der Batterie.

Text: Brigitte Röthlein

Mithilfe der Thermoelektrik lässt sich zum Beispiel aus der Abwärme eines Motors Strom gewinnen.
© Stefan Richter/fotolia; Fraunhofer IPM

Mit hoher Geschwindigkeit rattern die Waggons des Güterzugs über die Gleise. Unsanft werden sie hin- und her geschüttelt. Doch die Stöße stören nicht. Im Gegenteil: Diese Vibrationen liefern Energie, mit der sich elektronische Kleingeräte aufladen lassen: Beispielsweise erhalten Sensoren, die die Kühltemperatur überwachen oder GPS-Empfänger, die die Position der Waren orten, auf diese Weise Strom.

Sensoren, ebenso wie drahtlose Sendeempfänger oder Displays, haben den Vorteil, dass sie in der Regel nur sehr wenig Energie benötigen. Deshalb entwickeln Forscher immer mehr Systeme, die dieses bisschen Energie aus der Umwelt



»ernten«, als Fachbegriff hat sich dafür »Energy Harvesting« eingebürgert. Damit ist das Gerät dann energieautark und benötigt keinen Stromanschluss. Die geerntete Energie kann aus den unterschiedlichsten Quellen stammen, etwa aus der Rotation eines Autoreifens, aus der Strahlung der Sonne oder aus der Temperaturdifferenz in einer Wand. Häufig lässt sich Strom auch aus irgendwelchen Veränderungen gewinnen, die in der Umgebung passieren: Ein Zug fährt vorbei und beeinflusst das elektrische Feld; jemand drückt auf einen Schalter und liefert so mechanische Energie; oder Fahrzeuge, Maschinen oder Menschen erzeugen Vibrationen. Diese liefern beispielsweise Energie für Sensoren, die die Kühltem-



peratur eines Trucks überwachen, oder für GPS-Empfänger, welche die Position der Waren orten.

Strom aus Schwingungen

Ob überhaupt ausreichend Energie zum »Ernten« zur Verfügung steht, kann ein Datenlogger des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS ermitteln. Dieses kompakte System analysiert und charakterisiert das nutzbare Energiepotenzial, zum Beispiel die bei einer Zug- oder LKW-Fahrt erzeugten Schwingungen. »Mit den gewonnenen Daten lassen sich Vibrationswandler wie piezoelektrische Generatoren so auslegen, dass sie Sensoren, Funksendeempfänger, Tracking-Systeme und andere Kleingeräte mit geringem Stromverbrauch mit ausreichend Energie versorgen«, erläutert Dr.-Ing. Peter Spies, Gruppenleiter am IIS in Nürnberg.

Energieautarke Sensorsnetzwerke werden künftig auch vermehrt für die Überwachung der Infrastruktur eingesetzt, etwa in Tunnels, in denen Züge oder U-Bahnen fahren. Solche Sensoren, wie sie Forscher des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik EMI in Freiburg entwickeln und erproben, können sofort melden, wo welche Schäden aufgetreten sind, sie unterstützen damit die Rettungsarbeiten und warnen vor einsturzgefährdeten Stellen.

Sensoren überwachen Gebäude

Im nächsten Schritt wollen die EMI-Forscher mit noch empfindlicheren energieautarken Sensoren nicht nur Tunnels, sondern ganze Gebäude überwachen. Sie könnten auch Windlasten, altersbedingte Ermüdungserscheinungen und andere Risikofaktoren erfassen. »Ein Hochhaus beispielsweise schwankt ständig hin und her, das hat mit der Zeit Auswirkungen auf das Baumaterial«, sagt EMI-Forscher Frank Schäfer. »Was passiert nun, wenn nach ein paar Jahren in der Tiefgarage jemand gegen eine Säule fährt?« In einem solchen Fall müssen Gutachter umfangreiche Untersuchungen vornehmen, mit Hilfe der Sensoren hingegen könnte man die Folgen für das Gebäude sofort ablesen.

Energy Harvesting ist nicht ganz neu: Bereits im Jahr 1923 baute der britische Uhrmacher John Harwood die erste sich selbst aufziehende Armbanduhr, die von 1926 an in den Handel kam. Bis heute kann man derartige mechanische Automatikuhren kaufen. Moderne Systeme arbeiten aber in der Regel elektrisch, das heißt, die mechanische Energie wird in Strom bzw. Spannung umgewandelt und dazu verwendet, einen winzigen Akku immer wieder aufzuladen. Künftig sollen damit auch Geräte versorgt werden, die man am oder gar im Körper trägt, wie Insulinpumpen oder Herzschrittmacher.

Eine häufig genutzte Methode für die Erzeugung von »Power to go« ist die Thermoelektrik: »Eigentlicher Träger der Energieumwandlung sind besondere Halbleitermaterialien«, sagt Jan König, Gruppenleiter Thermoelektrische Energiewandler am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg. »Verbindet man zwei unterschiedliche thermoelektrisch aktive Materialien miteinander und erzeugt eine Temperaturdifferenz an den Verbindungsstellen, so entsteht ein elektrisches Feld.« Mit neuen Materialien und verbesserter »Low-Power«-Elektronik ist man heute in der Lage, bereits minimale Temperaturunterschiede zur elektrischen Versorgung komplexer Sensoren zu nutzen. So sind die Wärme einer Hand, eines Fingers oder auch kleine Temperaturschwankungen in einem klimatisierten Labor ausreichend, um ein komplettes Sensorsnetzwerk energieautark zu betreiben.

Dazu ist natürlich ein ausgefeiltes Energiemanagement erforderlich, weiß Kilian Bartholomé, Abteilungsleiter thermoelektrische Systeme am IPM: »Man muss überlegen, wie man möglichst viel aus der geringen Energiemenge herausholen kann.« Mit diesem Problemkreis befassen sich auch Forscher am IIS. Sie entwickeln Power Management-Prototypen, um die Energiewandler optimal an den elektronischen Verbraucher anzupassen. Mittels spezieller Techniken wird so ein Maximum an elektrischer Energie zur Verfügung gestellt.

Wie sich Thermoelektrik auch zur Lösung alltäglicher Probleme nutzen lässt, zeigen IPM-Forscher an einer neuartigen Thermoskanne. Die Kanne misst automatisch den Füllstand und die Temperatur des Getränks. Die Daten sind über das Internet abrufbar. Kurz bevor das Gefäß leer oder der Kaffee kalt ist, ordert es elektronisch im Sekretariat Nachschub.

Energie aus Temperaturdifferenz

All das schafft die Kanne ohne elektrisches Kabel und ohne Batterie. Die nötige Energie zieht sie aus dem Temperaturunterschied zwischen dem heißen Kaffee und dem kalten Deckel. »Wir haben dort ein kleines thermoelektrisches Element eingebaut, das ausreichend Strom erzeugt zum Betrieb des Sensors und für die Funkverbindung. So können die Daten künftig auch mit einer geeigneten App von einem Smartphone abgerufen werden«, sagt Ulrike Nussel, Ingenieurin am IPM. »Damit ist die Kanne überall einsetzbar und unabhängig von einem Stromanschluss oder von notwendigen Batteriewechseln.« Was in diesem Fall nur eine hübsche, wenn auch praktische Spielerei ist, kann woanders lebensrettend wirken. ■



www.fraunhofer.de/audio

Smartes Licht

Glühbirnen wird es in einigen Jahren nur noch im Museum zu sehen geben. Die Beleuchtungstechnik der Zukunft basiert auf LEDs. Wie sich mit den neuen Lichtquellen Energie sparen und gleichzeitig – dank integrierter Steuerungselektronik – eine angenehme individuelle Atmosphäre herstellen lässt, untersuchen Forscher im EU-Projekt EnLight.

Text: Monika Weiner



Die Parathom Classic A75 Advanced, der erste LED-Ersatz für die 75W-Glühlampe auf dem europäischen Markt.
© OSRAM

Die Glühbirne, die Thomas Edison 1880 patentieren ließ, gehört heute zu den vom Aussterben bedrohten Arten. Der Grund: Sie entspricht nicht mehr den technischen Anforderungen des 21. Jahrhunderts. Klassische Glühlampen verwandeln nur fünf Prozent der Energie in Licht, die restlichen 95 Prozent heizen die Umgebung auf. In Zeiten knapp werdender fossiler Energieträger ist eine derart schlechte Energieeffizienz nicht tolerierbar. Bereits 2008 hat die EU-Kommission Herstellungs- und Vertriebsverbote von Lampen geringer Energieeffizienz in den Mitgliedsländern erlassen. Der Beschluss wird stufenweise durchgesetzt: Immer mehr Glühbirnen verschwinden aus den Supermarktrealen und werden ersetzt durch die neuen Energiesparlampen. In deren Innerem glüht kein Draht, das Leuchten wird statt dessen durch Gas verursacht, das sich entlädt – so entsteht kaum Abwärme, und der Wirkungsgrad ist etwa 5-mal so hoch wie bei der altbekannten Glühlampe. Auf diese Weise lässt sich schon viel Strom sparen.

Noch erheblich effektiver freilich sind Lichtemittierenden Dioden, kurz LEDs. Sie haben einen Wirkungsgrad von bis zu 90 Prozent, sind kleiner, flexibler und eröffnen in der Raumgestaltung völlig neue Möglichkeiten.

Seit Jahren tüfteln die Ingenieure am Licht der Zukunft. Der große Durchbruch der LED-Technik lässt allerdings auf sich warten. Dass sie nicht schon längst Wohnzimmer, Büros und Schaufenster erstrahlen lässt, liegt – wie so oft in der Technik – an der Tücke der Details: Eine Beleuchtung mit LEDs spart zwar viel Energie, doch die Herstellung der Systeme ist relativ teuer und das Licht, das sie liefern, entspricht nicht den Erwartungen der Kunden. Im EU-Projekt EnLight untersucht jetzt ein internationales und interdisziplinäres Expertenteam aus 30 europäischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, wie sich mit LEDs nachhaltige und energieeffiziente Beleuchtungssysteme realisieren lassen, die dazu noch eine angenehme Atmosphäre schaffen.

Beleuchtung, die mitdenkt

Einfache Patentrezepte gibt es da nicht, denn die Nachteile der LEDs sind konstruktionsbedingt: Die winzigen Dioden bestehen aus einem Halbleitermaterial, das – abhängig von der Bandlücke – Licht einer bestimmten Wellenlänge emittiert. Wer mehr will als Licht einer einzigen

Wellenlänge, der muss tricksen: Um beispielsweise weißes Licht zu erzeugen, muss man rote, blaue und grüne Leuchtdioden zusammen strahlen lassen. Alternativ lassen sich optisch aktive Folien einsetzen, die die Farben verändern.

Derzeit entwickeln die EnLight-Forscher, Techniken, mit denen sich das Licht der LEDs an die Bedürfnisse der Verbraucher anpassen lässt. Diese wünschen sich zum Beispiel beim Aufstehen in der Früh relativ kaltes Licht, das dem der natürlichen Sonnenstrahlung entspricht; abends hingegen wollen sie eine warme Beleuchtung, die dem Spektrum von Kerzenlicht entspricht.

Bauteile, die lange leben

»Für wirklich intelligente Beleuchtungssysteme ist es darüber hinaus notwendig, zuverlässig die Anwesenheit und Position von Menschen im Raum festzustellen«, erklärt Jens Döge vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS am Standort Dresden. Zusammen mit seinem Team entwickelt er Steuerungen, die mitdenken: »Bisher sind für die Steuerung des Raumlichts Bewegungssensoren im Einsatz. Für die ist aber ein Mensch, der sich beim Lesen oder Fernsehen nicht bewegt, quasi unsichtbar.« Der Präsenzdetektor, an dem die Fraunhofer-Forscher arbeiten, soll auch Menschen erkennen, die sich nicht bewegen: Das Detektormodul besteht aus einem Bildsensor und einer angeschlossenen Elektronik. Das fertige System wird in der Lage sein, immer das passende Licht zu erzeugen – abhängig von der Tageszeit und den anwesenden Personen. »Unser Modul zur Präsenzdetection soll aber nicht nur sicher in jeder Situation funktionieren, sondern auch selbst extrem wenig Energie verbrauchen, kostengünstig zu produzieren sein und sehr schnell und effizient Daten verarbeiten«, resümiert Döge.

Damit am Ende alles klein, kompakt und leicht zu bedienen ist, arbeiten Rafael Jordan und seine Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM an der Integration der Komponenten: »Wir entwickeln jetzt Packages, die sich ganz einfach an eine Steuerungselektronik anschließen lassen oder diese bereits enthalten.«

Eine weitere Hürde, die die Technik nehmen muss, ist die Hitzebeständigkeit der Komponenten: »Leuchtdioden setzen zwar 50 Prozent

der Energie in Licht um, aber die restlichen 50 Prozent erzeugen Wärme, die abgeführt werden muss«, weiß Jordan. Für die Ingenieure ist das eine Herausforderung, denn die Oberfläche der LEDs ist winzig und die Hitze beträchtlich: Mit vier Watt pro Quadratmillimeter entspricht die Wärmedichte der auf der Sonnenoberfläche.

Unter derart extremen Bedingungen ist die Lebenserwartung von Lichtquellen und Sensoren normalerweise gering – sie schmelzen innerhalb kürzester Zeit. Die Industrie will aber zuverlässige Beleuchtungssysteme auf den Markt bringen. Im Projekt EnLight suchen die Fraunhofer-Forscher am IZM daher nach neuen Methoden, um die Wärme abzuleiten. Ein viel versprechender Ansatz besteht darin, kleine Löcher in die Substrate zu ätzen, die mit einem wärmeleitenden Material, beispielsweise Kupfer, gefüllt werden.

Ob sich die neuen Designs und Fertigungsverfahren in der Praxis bewähren, können die Ingenieure vom Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS in Chemnitz schon während der Entwicklung vorausberechnen. »Mit Hilfe von Computersimulationen prognostizieren wir Temperaturresistenz und Belastbarkeit. So lassen sich die Erfolg versprechendsten Ansätze herausfiltern«, erklärt ENAS-Forscher Jürgen Auersperg. Hat sich ein LED-Sensorsystem theoretisch bewährt, prüft Rafael Jordans Team am IZM, ob es auch in der Praxis hält, was es verspricht: Prototypen der Baugruppen müssen mehrere »Thermal-Schock-Zyklen« schadlos überstehen.

Sparen mit Licht

Allein in Deutschland ließe sich durch den konsequenten Einsatz von LED-Technik jede Menge Energie sparen: Bereits mit konventionellen LEDs könnte man den jährlichen Stromverbrauch um 11,5 Billionen Wattstunden senken – das entspricht der Stromproduktion eines Großkraftwerks. Die neuen, intelligenten LED-Systeme könnten weitere 40 Prozent sparen – 4,6 Billionen Wattstunden.

Nach Hochrechnung der Fraunhofer-Forscher amortisiert sich die Anschaffung der LED-Technik binnen weniger Jahre durch den verringerten Stromverbrauch. Dem Siegeszug der smarten Beleuchtungstechnik steht damit technisch nichts mehr im Wege. ■

Spin-offs

Grüne Treibstoffe der ganz neuen Generation

Tank versus Teller – wertvolle Nahrungsmittel werden zu Treibstoffen, das war bisher das Motto bei Biokraftstoffen. Die Greasoline GmbH setzt neue Akzente: mit einem »Waste-to-Fuels«-Verfahren, durch das biostämmige Altfette und Altöl-rückstände, die bei der Verarbeitung von Nahrungsmitteln oder der Produktion von konventionellen Biokraftstoffen anfallen, zu grünen Antriebsstoffen verarbeitet werden. »Wir trennen zuverlässig Wasser und andere Feststoffe von den wertvollen Rohstoffen«, erklärt Geschäftsführer Dr. Peter Haug. »Deshalb brauchen wir keine zugrunde liegende Nahrungsmittelqualität.«

In der Versuchsanlage entstehen derzeit aus drei Kilogramm Altfett pro Stunde drei Liter Flüssigkraftstoff. Die Grundstoffe werden in einem Reaktor bei mehr als 400 Grad Celsius mithilfe von Aktivkohle in Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Deren Zusammensetzung entspricht den chemischen Verbindungen von herkömmlichen Kraftstoffen wie Benzin, Diesel oder Flüssiggas. Der Vorteil: Motoren müssen nicht umgerüstet werden. »Unser Ziel ist die Etablierung der nachhaltigen und tragfähigen Biomasseverwertung für Treibstoffe, damit wir auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten«, sagt Haug. Die grünen Kraftstoffe sparen verglichen mit herkömmlichen Treibstoffen bis zu 90 Prozent des CO₂-Ausstoßes ein. Zu den Kunden sollen sowohl Mineralölhersteller, als auch Ingenieurfirmen und Anlagenbauer gehören. »Die Technologie lässt sich in Herstellungsprozesse einer bestehenden Mineralöl-Raffinerie integrieren«, erläutert Haug.

Das Verfahren entstand in der Abteilung Biofuels am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Im August 2011 haben vier Fraunhofer-Mitarbeiter mit zwei externen Partnern die Greasoline ausgegründet. Der Mitinitiator der Founding-Angel-Initiative, Gunter Festel, unterstützte das Unternehmen in der Gründungsphase und wirkt bei der Investorensuche und Geschäftsentwicklung mit. Peter Haug war als Unternehmensberater der chemischen Industrie, sowie als Investmentmanager in der Pharmabranche aktiv. »Das Founding-Angel-Prinzip erlaubt es den Forschern, sich ganz auf die technische Seite zu konzentrieren, während wir uns um das Management kümmern«, erklärt er.

Dr. Peter Haug
www.greasoline.com



Wirbelstromtechnik garantiert Qualität

Kohlenfaserverstärkte Kunststoffe sind leicht und trotzdem fest, sie gelten als Werkstoff der Zukunft. Das Material ist schwierig herzustellen und muss besonders sorgfältig geprüft werden, bevor man es verbaut. »Carbonfaserverbände sind aus mehreren Lagen aufgebaut und besitzen eine zehnfach höhere Zugfestigkeit als Stahl«, weiß Dipl.-Wirt.-Ing. Marcus Klein, Geschäftsführer der SURAGUS GmbH in Dresden. »Die Festigkeit ergibt sich aus spezifischen Eigenschaften der Kohlefaser in Faserrichtung. Durch Kombination einzelner, orientierter Schichten verteilt sich so die Last ideal im Werkstoff. Schon bei wenigen Grad Abweichung, Lücken oder anderen Fehlern nimmt die Festigkeit signifikant ab.«

Die SURAGUS GmbH (kurz für SURface ArGUS) entwickelt, fertigt und vertreibt wirbelstrombasierte Hochfrequenzprüftechnik. Das Verfahren charakterisiert elektrische und dielektrische Eigenschaften von Werkstoffen. Bei CFK und textilen Vorprodukten können Faserbündel auch in verdeckten Lagen kontaktlos entdeckt und so für die Fabrikation und Produktqualität relevante Merkmale dargestellt werden. »Treten in der Produktion Gassen, Aufschiebungen, Orientierungsabweichungen oder Wellen in den ersten 5 Lagen auf, dann zeigen unsere berührungslosen Messungen dies sowohl bei der Textil-, als auch bei der Kunststoffanalyse an«, sagt Klein.

Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Qualitätskontrolle von strukturierten und unstrukturierten leitfähigen Dünnschichten, wie sie in Architekturglas, Touchscreens oder OLED-Beleuchtungen vorkommen. Eingesetzt werden die »EddyCus«-Systeme in der Glas- und Solarindustrie, in Beschichtungsanlagen, sowie von Herstellern textiler Halbzeuge und von der Carbon-verarbeitenden Industrie und bei Forschungsinstituten. »Wir bieten angepasste Prüflösungen als Laborprüfsystem oder direkt in Fertigungsanlagen integrierte In-line- und In-situ-Systeme an«, erläutert Klein.

Das Spin-off wurde 2010 aus dem Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Dresden ausgegründet. Klein und seine Kollegen waren in der Abteilung Sensorik und dort in der Arbeitsgruppe elektromagnetische Prüfung aktiv.

Marcus Klein
www.suragus.com



Reisen Sie 3 Monate nach Morgen.

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



ERFAHREN, wie sich unser Leben entwickelt.
ERLEBEN, welche Ideen sich durchsetzen.
ERKENNEN, welche Möglichkeiten der Fortschritt birgt.

DIE CHANCEN FRÜHER ENTDECKEN.



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.

■ EXKLUSIVES ERFAHREN.

Monatlicher Chefredakteurs-Newsletter.

■ EVENTS BESUCHEN.

10 % Rabatt auf alle Heise-Events.

GRATIS

MINI MAGLITE®

- Handliche Taschenlampe mit 2 Mignonzellen
- Drehschalter am Lampenknopf und Kerzenfunktion
- Laut „Forbes“ eines der besten US-Produkte der letzten Zeit

JETZT BESTELLEN UND VON ALLEN VORTEILEN PROFITIEREN.



Ja, ich möchte von morgen erfahren und mein Geschenk erhalten.

Senden Sie mir bitte im Vorteils-Paket 3 aktuelle Hefte mit 34% Ersparnis für nur EUR 17,50 und mein Geschenk. Wenn Technology Review mich überzeugt, kann ich anschließend jedes Heft für EUR 8,55 statt EUR 8,90 lesen. Andernfalls sende ich Ihnen nach Erhalt des zweiten Heftes eine kurze Nachricht.

TRP-12/02

Vorname, Name

Straße, Hausnummer

PLZ, Ort

Telefon und E-Mail (für eventuelle Rückfragen)

Ja, ich bin damit einverstanden, dass der Heise Zeitschriften Verlag mich über seine Angebote und Produkte informiert. Diese Informationen wünsche ich per E-Mail Telefon (bitte ankreuzen).

Datum, Unterschrift

Per Fax: **040 3007 85 3525** Per Telefon: **040 3007 3525**

WWW.TRVORTEIL.DE

Solarparks flotter planen

Die Konzeption großer Solarparks zur Stromerzeugung ist noch immer eine Herausforderung. Forscher vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM haben deshalb gemeinsam mit der Siemens AG eine Software entwickelt, die innerhalb von Sekunden mehrere hundert Entwürfe generiert und vergleicht. Damit findet der Planer in kürzester Zeit seinen perfekten Bauplan.

Text: Tim Schröder

Aus der Luft sehen sie manchmal aus wie dunkles Wasser, fast wie ein See, wären da nicht die Ecken und Kanten. Sie erstrecken sich über weite Flächen. Manche sind mehrere Hektar groß, mehrere hundert Meter lang und breit. Große Solarparks sind im Kommen. Lange hatte man beim Ausbau der Photovoltaik vor allem kleinere Anlagen im Blick, die auf Hausdächern und Fabrikhallen montiert wurden. In den vergangenen Jahren aber baute die Branche großflächige Parks, in denen die Photovoltaikmodule in Reih und Glied stehen. Solche Parks leisten 10, 50 oder gar 150 Megawatt, so viel wie ein kleines Gaskraftwerk.

Doch die Planung solch einer großen Fläche ist anspruchsvoll, denn viele Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden – etwa der Abstand zwischen den Solarmodulen. Stehen sie zu dicht, verschatten sie sich gegenseitig. Installiert man sie in zu großen Abständen, verschwendet man wertvolle Flächen. Viele Fragen müssen beantwortet werden, ehe Bagger und Techniker anrücken. Wie zieht man die Versorgungswege für die Wartungsfahrzeuge, so dass möglichst wenig Stellfläche verloren geht? Wie installiert man Module an einem Hang? Es gibt eine Fülle solcher Aspekte und Parameter, von denen am Ende abhängt, wie viel Strom der Park liefert und wie schnell er die Baukosten erwirtschaftet.

Per Knopfdruck mehrere Anlagendesigns

Natürlich existieren längst Software-Programme, die erfahrene Ingenieure bei der Planung unterstützen. Doch spucken solche Programme, nachdem der Planer mit viel Mühe Daten eingegeben hat, nur eine einzige Lösung aus. Und die entspricht ziemlich genau den Vorgaben des Planers. Damit hat der Ingenieur zwar

ein Resultat, ein künftiges Parkmodell, nach dem gebaut werden kann. Ob es indes vielleicht eine viel bessere Lösung gibt, die Module auf der Fläche zu platzieren, erfährt er aber nicht. Denn das Programm hält sich strikt an die Ideen und Vorgaben, die man anfangs eingespeist hat.

Viel besser wäre es, wenn eine Software eine Fülle verschiedener Lösungen errechnete und dem Planer daraus die besten Parkentwürfe präsentierte. Doch ein solches Programm gab es bislang nicht. Deshalb haben sich die Forscher um den Mathematiker Dr. Ingmar Schüle vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern zusammen mit der Firma Siemens daran gemacht, eine derart kluge Software zu entwickeln. Im Frühjahr dieses Jahres wurde die neue Planungssoftware PVplanet erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Planer gibt dafür Wertebereiche vor, welche die fertige Anlage realisieren soll – beispielsweise einen Neigungswinkel zwischen 30 und 35 Grad. Sind die Wunschparameter, etwa die Anzahl der Module, die »maximale Leistung« des Parks oder der Neigungswinkel der Solarmodule, eingegeben, liefert das Programm innerhalb weniger Sekunden mehrere hundert Lösungen – und natürlich eine Auswahl von Solarparkentwürfen, die den Vorgaben am nächsten kommen. »Das spart enorm Zeit und erleichtert dem Planer die Entscheidung«, sagt Entwickler Dr. Kai Plociennik.

Selbstverständlich sind die Planer erfahrene Experten, die sehr genau wissen, wie man ein Areal am besten bebaut. Wollen sie aber mehrere Entwürfe miteinander vergleichen, müssen sie jeden einzelnen Entwurf von Grund auf neu erstellen. »Unsere Software macht das automatisch«, beschreibt der Forscher am ITWM einen wichtigen Vorteil.

»Wir sind selbst immer wieder davon fasziniert, zu welch überraschenden Ergebnissen das Programm kommt«, sagt Plocienniks Kollege Dr. Hendrik Ewe. Oftmals richten sich die Planer nach Daumenregeln wie dieser: je weniger Wege, desto mehr Platz für Solarmodule und desto größer der Ertrag. Das stimmt aber nicht immer. So habe die Software schon Pläne geliefert, bei denen die Stellfläche durch einen zusätzlichen Weg besser zugeschnitten war, so dass der Park am Ende mehr Ertrag lieferte. »Auf solch scheinbar paradoxe Ansätze kommt auch ein erfahrener Ingenieur nicht ohne weiteres«, sagt Ewe. »Die Software hingegen schon.«

Kostenabschätzung und Ertragsberechnung inklusive

Ein paar Parameter zu einer virtuosen Planungssoftware zu verknüpfen, das klingt simpel. Doch so einfach ist es nicht. Zunächst mussten die Forscher herausarbeiten, welche Parameter für die Planung tatsächlich besonders wichtig sind: die Neigungswinkel der Module, die Lage der Versorgungswege und der Kabelkanäle, die Zahl der Stromwechselrichter, der gegenseitige Abstand der Solarmodulgestelle, der so genannten Tische. Noch anspruchsvoller war die Frage nach den Abhängigkeiten zwischen all diesen Parametern. Was kommt zuerst? Die Planung der Wege, die Zahl der Module? Oder hängt alles vom Ertrag ab, den ich erzielen will?

»Mathematisch ausgedrückt, haben wir die Planung in Teilprobleme zerlegt«, sagt Schüle. »Und die Ergebnisse verschiedener Teilprobleme beeinflussen sich wieder gegenseitig. All das berücksichtigt die Software.« Manche Parameter sind simpel: der Neigungswinkel der Module etwa, der vor allem vom Sonnenstand im Gebiet abhängt. Dieser wird als Wertebereich in das

Programm eingegeben. Für die Berechnung komplexer Aspekte wie des Wegeverlaufs mussten die Forscher aber eigens Algorithmen entwickeln, Miniprogramme in der Software sozusagen.

Wichtig ist, sagen die Forscher, dass die Software nicht völlig autonom arbeitet, sondern dem Planer Raum dafür lässt, die Ergebnisse zu verändern oder nach technischen Vorgaben abzuändern. Zudem hat jedes Land andere Normen und Vorschriften – völlig unmöglich, all das in einer Software zu berücksichtigen. Hier ist der Mensch mit seiner Expertise gefragt.

»Das Schöne an der Software ist, dass der Planer wiederum gleich sieht, welche Konsequenzen seine Änderungen haben«, erläutert Plociennik

Eine neue Software verbessert und beschleunigt die Planung von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen. © Siemens

– zum Beispiel, ob der gewünschte Ertrag erzielt wird oder ob die Baukosten im Rahmen bleiben. Und in vielen Fällen hilft die Software dabei, einen guten Kompromiss zu finden.

Die Solarstrombranche boomt – ganz unabhängig von dem aktuellen Streit um die Förderung der Photovoltaik in Deutschland. Im Jahr 2000 waren nach Angaben des europäischen Industrieverbands »European Photovoltaic Industry Association« weltweit Solarstromanlagen mit einer Gesamtleistung von gerade einmal 1400 Megawatt installiert, was der Leistung eines einzelnen Atomkraftwerks entspricht. 2010 belief es sich bereits auf mehr als 35 000 Megawatt. Tendenz: steigend. Viele neue große Parks sind derzeit weltweit in Planung. Dr. Martin Bischoff, Projektleiter bei Siemens im Energy Sector, ist daher von der neuen Software überzeugt: »Das Planungswerkzeug spart nicht nur Zeit, sondern verschafft auch eine Übersicht über den Verbesserungsspielraum. Bis heute gibt

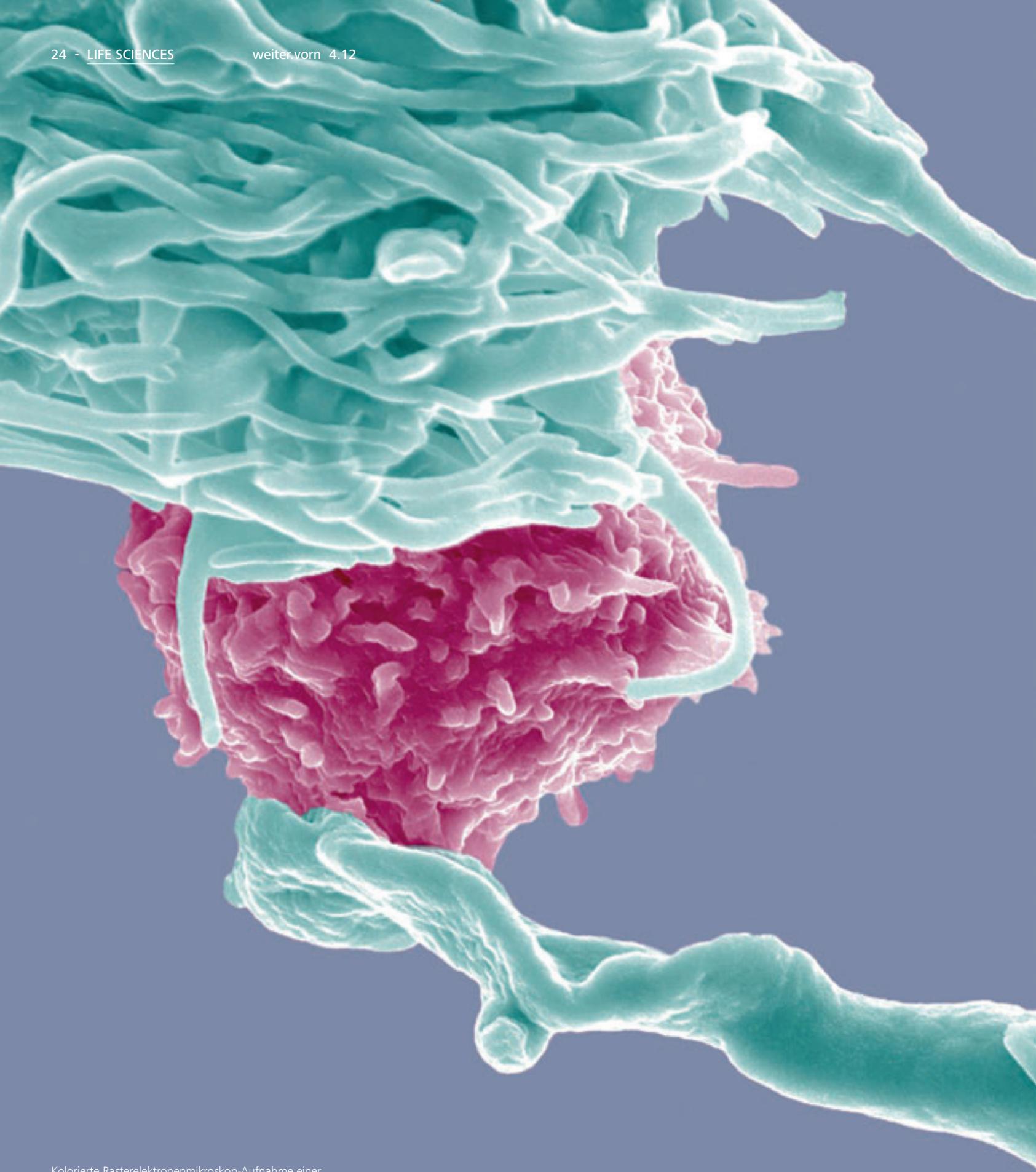
es keine Software von diesem Umfang und Detaillierungsgrad.«

Siemens setzt die ITWM-Software bereits für die Solarparkplanung ein. Dennoch sehen Schüle, Ewe und Plociennik noch Optimierungsbedarf. Für besonders komplexe Gebiete, die Knicke oder andere komplexe Strukturen haben, ist die Wegeplanung noch schwierig. Mal wären schräge Wege, mal gerade gefragt, manchmal beides. Was perfekt passt, muss die Software noch lernen.

Doch das ursprüngliche Ziel haben die drei Forscher vermutlich schon erreicht: »Wenn die Ingenieure sagen, dass sie dank unserer Software am Ende mit weniger Aufwand bessere Anlagen planen, dann sind wir zufrieden«, sagt Plociennik. ■

 www.fraunhofer.de/audio





Kolorierte Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Dendritischen Zelle (blau). © Olivier Schwartz, Institute Pasteur/SPL/Agentur Focus

Immuntherapie gegen Krebs

Im Kampf gegen Krebs bilden Immuntherapien eine viel versprechende Ergänzung zu herkömmlichen Behandlungsformen. Fraunhofer-Forscher helfen mit, aussichtsreiche Kandidaten für neue Medikamente möglichst schnell auf den europäischen Markt zu bringen.

Text: Monika Offenberger

Angriffe von außen pariert unser Körper äußerst effektiv. Ob Viren oder Bakterien, Pilzsporen oder Pollen: Eindringlinge aller Art werden sofort erkannt und attackiert. Mit Krebs verhält es sich anders. Denn Tumorzellen sind zwar entartet, aber dennoch Teil unseres Körpers – und werden deshalb vom Immunsystem normalerweise übersehen. Durch gezielte Nachhilfe lässt sich der körpereigenen Abwehr jedoch auf die Sprünge helfen. Das Prinzip ist simpel: Immunzellen aus dem Blut von Krebskranken werden im Labor mit Tumorbestandteilen konfrontiert und können sich so die besonderen Kennzeichen des Feinds einprägen. Spritzt man die derart »scharfgemachten« Zellen wieder zurück in den Körper des Patienten, dann schlagen sie dort Alarm: Sie enttarnen die vormals unbemerkt Krebszellen und leiten einen Großangriff gegen sie ein.

Zelluläre Immuntherapie nennt sich diese Strategie im Kampf gegen den Krebs. Männer mit fortgeschrittenem Prostata-Karzinom werden bereits erfolgreich damit behandelt; ein entsprechendes Medikament mit dem Handelsnamen Provenge®, entwickelt von der US-amerikanischen Firma Dendreon, wurde 2010 von der Gesundheitsbehörde FDA zugelassen. »Das hat dazu geführt, dass verstärkt in dieser Richtung geforscht und investiert wird«, sagt Dr. Gerno Schmiedeknecht vom Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. Als Leiter der Abteilung Zelltechniken treibt der promovierte Biochemiker die Herstellung und Prüfung zellbasierter Krebstherapien in Europa voran. Denn jedes Land hat eigene Vorstellungen und Regelwerke hinsichtlich der Herstellung von Arzneimitteln. »Auch wenn die Grundprinzipien gleich sind, unterscheidet sich die Umsetzung in vielen Details. Wir helfen ausländischen Firmen, für ihre Produkte eine Herstellungsgenehmigung gemäß Arzneimittelgesetz zu erlangen und un-

terstützen sie bei der Beantragung der klinischen Studien durch die nationalen Zulassungsbehörden«, so Schmiedeknecht.

Zu seinen Kunden gehört das amerikanische Biotechnologieunternehmen Northwest Biotherapeutics. Die Firma sucht seit mehr als zehn Jahren nach neuen Wegen zur Behandlung einer äußerst aggressiven Form von Hirntumoren namens Glioblastoma multiforme, kurz GBM. Glioblastome sind bislang unheilbar; ihr Fortschreiten lässt sich mit den herkömmlichen Mitteln – operative Entfernung des Tumors und anschließende Bestrahlung und Chemotherapie – nur für wenige Monate hinauszögern. Um diese schlechte Prognose zu verbessern, hat die Firma eine zellbasierte Immuntherapie mit dem Handelsnamen DCVax®-L, entwickelt. Das Mittel wurde in den USA bereits in kleineren klinischen Studien an Patienten untersucht, die unter einem fortgeschrittenen Glioblastom leiden. Mit Erfolg: Die behandelte Personen blieben mehr als dreimal so lange – im Mittel zwei Jahre lang – vom erneuten Auftreten des zuvor entfernten Tumors verschont und lebten entsprechend länger als Patienten mit herkömmlicher Therapie.

Erste gute Ergebnisse

»Diese ersten klinischen Studien sind sehr viel versprechend. Erfreulicherweise zeigte die Immuntherapie bei keinem der Patienten schwerwiegende Nebenwirkungen«, lautet Schmiedeknechts Fazit. Um die guten Ergebnisse zu bestätigen und eine Zulassung des Medikaments in den USA und Europa zu erwirken, plant Northwest Biotherapeutics nun eine größere Studie mit insgesamt 240 amerikanischen und deutschen Patienten. Das Fraunhofer-Team in Leipzig hat den Auftrag, für Deutschland die nötigen Voraussetzungen dafür zu schaffen. Zunächst gilt es, den gesamten Herstellungspro-

zess von DCVax®-L vom amerikanischen Projekt-partner nach Deutschland zu transferieren und in den Reinraumlabs des IZI so nachzustellen, dass er den europäischen Anforderungen gerecht wird. »Das fängt damit an, wie den Patienten Tumorgewebe und Blutbestandteile entnommen werden. Wir stellen alle erforderlichen Materialien und Arbeitsanweisungen für die operierenden Neurochirurgen bereit – vom Entnahmegerät bis zu den Kühlakkus für den Transport«, so Schmiedeknecht. Die Mitarbeiter an den Kliniken müssen zuvor gründlich geschult werden. Darum kümmert sich am IZI die wissenschaftliche Mitarbeiterin Mariann Gryczka: Die ausgebildete Lebensmittelchemikerin macht sich ein Bild von den Räumlichkeiten in den Kliniken, organisiert Schulungen für Ärzte und Pflegepersonal und besorgt alle nötigen Dokumente, um bei den zuständigen Behörden eine Genehmigung für die Entnahme der Tumor- und Blutbestandteile zu erhalten.

Ist diese Hürde genommen, müssen die vom Patienten stammenden Proben im Reinraumlabor aufgearbeitet werden, damit man daraus die erwünschten Immunzellen herstellen kann. Die Fraunhofer-Forscher haben es auf eine bestimmte Sorte von weißen Blutzellen abgesehen, die Monozyten. Zum Glück lassen sich diese sehr leicht von den anderen Blutbestandteilen abtrennen und in Kultur nehmen. Gerno Schmiedeknecht erklärt, was anschließend damit geschieht: »Wenn wir diese Monozyten mit den richtigen Wachstumsfaktoren stimulieren, entwickeln sie sich über mehrere Tage zu besonderen Immunzellen, den Dendritischen Zellen. Diese haben eine wichtige Funktion bei der Erkennung von Antigenen. Danach lassen wir einen Tag lang eine Lösung aus dem zerkleinerten Tumorgewebe auf sie einwirken. Aus diesem Lysat nehmen die Dendritischen Zellen einzelne tumorspezifische Strukturen in sich auf und

präsentieren sie so auf ihrer Außenhülle, dass sie später im Körper des Patienten für andere Immunzellen gut erkennbar sind.« Wenn das passt ist, werden die Zellen geerntet, gewaschen, in Portionen ausreichend für maximal zehn Impfungen abgefüllt und eingefroren: fertig ist das Prüfpräparat, individuell zugeschnitten auf einen bestimmten Patienten.

Jeder Schritt in diesem Herstellungsprozess muss hohen Qualitätsanforderungen nach den Vorgaben einer Guten Herstellungspraxis – englisch: Good Manufacturing Practice, kurz GMP – genügen und entsprechend protokolliert und genehmigt werden. Auch dies gehört zu den Aufgaben der Fraunhofer-Forscher. »Wir haben eine exzellente technische Ausstattung und sehr viel Erfahrung in der Abwicklung ähnlich komplexer Projekte«, betont Biotechnologie-Ingenieurin Kati Kebbel, die sich mit Gerno Schmiedeknecht die Leitung der Arbeitsgruppe Zelltechnik GMP teilt. Tatsächlich besitzt das IZI eine der größten zelltherapeutisch ausgerichteten Reinraumanlagen Europas mit einer Gesamtfläche von 450 m². Weil die Labors jetzt schon voll ausgelastet sind und der Bedarf stetig steigt, ist geplant, die Anlage auf die doppelte Fläche zu erweitern.

Bereits in diesem Jahr soll auch die klinische Studie zur Wirksamkeit der Immuntherapie gegen das Glioblastom in Deutschland anlaufen. Die Ethikkommission hat schon ihr positives Votum für die Studie gegeben. »Nun warten wir noch auf die notwendigen Genehmigungen der Behörden«, informiert Schmiedeknecht. Es ist geplant, dass insgesamt 90 Patienten mit

fortgeschrittenem Hirntumor daran teilnehmen. Sie werden unter anderem von Kliniken in Münster, Heidelberg, Stuttgart, Köln, Chemnitz und Halle / Saale betreut; leitendes Zentrum der Studie ist die Universitätsklinik Dresden. Zusammen mit den Patienten aus den USA soll die Studie insgesamt 240 Teilnehmer umfassen. Jeder von ihnen bekommt sein persönliches DCVax®-L-Medikament, hergestellt aus seinen eigenen Immunzellen, die mit spezifischen Biomolekülen seines Hirntumors beladenen sind. Die zehn Impfdosen dieser individuellen Arznei werden in die Haut gespritzt, anfangs in kurzen, später in längeren Zeitabständen. Im Körper des Patienten rufen sie – vergleichbar einem aktiven Impfstoff – weitere Immunzellen auf den Plan und bringen diesen bei, den Tumor und seine Metastasen als Fremdkörper zu erkennen und entsprechend zu attackieren. Die genauen Mechanismen dieser Immunreaktion sind bisher nicht bekannt. Gerno Schmiedeknecht: »Es hat sich gezeigt, dass diese Therapie nicht funktioniert, solange der Tumor noch intakt ist. Wurde er aber weitgehend entfernt, greift das Immunsystem restliche Krebszellen, die irgendwo im Körper verstreut sind, an und vernichtet sie.«

Wirkung bei anderen Krebsarten

Das Prinzip zeigt auch bei anderen Krebsarten Wirkung, insbesondere bei Nierenzellkarzinomen sowie beim Schwarzen Hautkrebs und Eierstockkrebs. Auf letzteren konzentriert sich die Biotechnologiefirma Prima BioMed Ltd. mit Sitz in Australien. Sie hat ein Präparat namens Cvac™ entwickelt: Es besteht ebenfalls aus Dendritischen Zellen, hergestellt aus dem Blut

erkrankter Frauen. Und auch hier werden die Immunzellen mit tumorspezifischen Biomolekülen beladen, bevor man sie den Patientinnen wieder als Arznei spritzt. Allerdings verwenden die Experten zum Beladen kein individuell gewonnenes Tumorlysat wie bei der Herstellung des gegen Glioblastome gerichteten Medikaments. Stattdessen kommt ein weit verbreitetes Tumortypen namens Mucin-1 zum Einsatz, das sich mittlerweile biotechnologisch herstellen lässt.

Cvac™ wurde bereits in kleineren klinischen Studien an Patienten in Australien und den USA getestet und erwies sich dabei als sicher und frei von schädlichen Nebenwirkungen. Nun soll geprüft werden, ob die neue Immuntherapie das Fortschreiten dieser meist tödlichen Krankheit verzögern oder gar stoppen kann. Dazu ist eine Studie mit 800 bis 1000 Patientinnen aus drei Erdteilen – Australien, den USA und Europa – geplant. »Wir sind verantwortlich für Europa und damit für den größten Teil der Studie. Bis zu 700 Erkrankte aus Deutschland und zehn weiteren europäischen Ländern werden daran teilnehmen. Jeweils die Hälfte der Patientinnen wird mit Cvac™ behandelt, die anderen erhalten ein Placebo«, erklärt Gerno Schmiedeknecht.

Die Voraussetzungen dafür sind erfüllt – durch die Vorarbeit der Fraunhofer-Forscher: »Der gesamte Prozess zur Herstellung der Prüfpräparate ist bereits hier in Leipzig etabliert, und wir haben auch schon die Erlaubnis, ihn umzusetzen. Voraussichtlich von Sommer 2012 an werden die ersten Patientinnen mit der Immuntherapie beginnen; Ergebnisse erwarten wir in zwei bis drei Jahren.« ■



DCVax®-L wird in einer Reinraumanlage hergestellt. © Fraunhofer IZI

Mehr Akzeptanz für Biogasanlagen

Ansprechpartnerin: Iris Kumpmann
iris.kumpmann@umsicht.fraunhofer.de

In Deutschland werden zurzeit mehr als 7000 Biogasanlagen betrieben. Sie sind ein wichtiger Baustein in unserem Energiemix, denn Biogas trägt zur Grundlastversorgung bei. Mit diesem speicherbaren Energieträger können auch Schwankungen bei der Wind- und Sonnenenergieleverierung ausgeglichen werden.

Über Neubauten von Anlagen sind Anwohner jedoch nicht immer begeistert. Sie fürchten Veränderungen des Landschaftsbilds, erhöhtes Transportaufkommen, Belästigungen durch Lärm und Geruch. Forscher vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen und die Forschungsgruppe Umweltpsychologie der Universität des Saarlands befragten Anwohner, Anlagenbetreiber und Experten zu Image und Akzeptanz der Biogastechnologie. Ergebnisse: für die Bevölkerung sind Kenntnisse über Sinn und Notwendigkeit, sowie die Funktionsweise von neuen Technologien wesentlich im Hinblick auf das Verständnis. Diese Vermittlung gelingt beim Thema Biogas bisher nur unzureichend. Auch der Beitrag, den die Biomassenutzung insgesamt zur Energieversorgung leistet, wird häufig unterschätzt.

Fazit: Bereits im Planungsverfahren sollte das Thema Akzeptanz berücksichtigt werden. Informationsangebote oder bessere Öffentlichkeitsarbeit der Anlagenbetreiber sind ebenso notwendig.



Das AirCorr-Messgerät ermittelt das Korrosionsrisiko für Kulturgut.
 © Fraunhofer FEP

Sensoren schützen Kulturgut

Ansprechpartnerin: Annett Arnold, *annett.arnold@fep.fraunhofer.de*

Ein historischer Wandteppich reist aus dem Louvre zu einer Ausstellung in Osaka. Sein Begleiter ist der Korrosionssensor AirCorr. Er überwacht die Umgebung des Gobelins: Die Luftfeuchte schwankt minimal, auch die Temperaturen sind im grünen Bereich. Doch beim Öffnen der Transportbox in der Ausstellung in Osaka registriert er eine erhöhte Korrosivität der Umgebungsluft.

Über eine drahtlose Schnittstelle können die Restauratoren die im Sensorsystem gespeicherten Daten auslesen und die Umgebungsbedingungen des kostbaren Kunstwerks bewerten. Ein Team aus europäischen Forschern, Museumsexperten und Industrievertretern hat die transportablen und einfach bedienbaren Echtzeit-Messgeräte entwickelt, damit man die Auswirkung korrosiver Gase aus der Umgebungsluft kontrollieren kann.

Die Sensoren basieren auf dünnen Metallschichten, beispielsweise Kupfer, Silber, Blei oder Bronze, welche der Umgebungsluft ausgesetzt sind. Die durch Korrosion der Metallschicht verursachte Widerstandsänderung wird erfasst und ausgewertet. Die Messgeräte sind hochempfindlich und lassen sich sowohl im Außen- als auch im Innenbereich einsetzen.

Forscher haben die AirCorr-Messgeräte im europäischen Forschungsprojekt »MUSECORR - Protection of cultural heritage by real-time corrosion monitoring« entwickelt. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden nutzen ihre vakuumbasierten Präzisions-Beschichtungs-Technologien, um die dünnen Sensor-Metallschichten für Innenanwendungen präzise und reproduzierbar abzuscheiden.

Wo und wie der Wind weht

Ansprechpartner: Uwe Krengel, *uwe.krengel@iws.fraunhofer.de*

Windenergie zählt zu den wichtigsten regenerativen Energieformen. Auf dem Festland, etwa in Mittelgebirgen, gibt es noch große Potenziale für Windräder. In der Nähe von Kassel messen die Forscher vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES mithilfe eines 200 Meter hohen Masts Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen.

Denn um Wind nicht nur auf hoher See, sondern auch im Binnenland bestmöglich auszunutzen, müssen die Turbinen optimal positioniert und dimensioniert werden. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass man beispielsweise die Turbinen mit der richtigen Höhe baut und nicht massiver als erforderlich konstruiert. Dieser größte Messmast Europas liefert exakte Daten, aus denen sich auch Energieerträge vorhersagen lassen. Das Projekt wird vom Bundesumweltministerium BMU gefördert.



Spezialisten errichten den 200 Meter hohen Messmast. © Fraunhofer IWES

Sehhilfe für Blinde

Mit einem implantierbaren Netzhautchip will die Firma Retina Implant aus Reutlingen erblindeten Menschen einen Teil ihres Sehvermögens zurückgeben. Fraunhofer-Wissenschaftler arbeiten an der biokompatiblen Verkapselung und Kontaktierung der empfindlichen Mikrotechnik im Auge.

Text: Andreas Beuthner



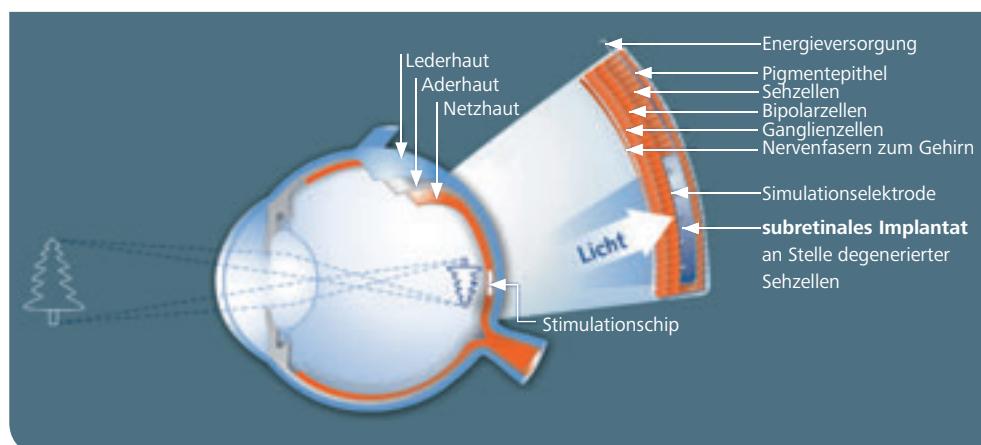
Retina Implant AG
Gerhard-Kindler-Straße 8
72770 Reutlingen
Deutschland
Telefon +49 7121 36403-0
Fax +49 7121 36403-115
www.retina-implant.de

Gründung: 2003

Mitarbeiter: 19

Umsatz: 36 Millionen Euro

Produkte: Subretinale
Implantate für sehbehinderte
und blinde Patienten



Funktionsschema
retinales Implantat.
© Retina Implant

Die Krankheit ist teuflisch, und die klassische Augenheilkunde kennt nur wenige therapeutische Gegenmaßnahmen. Wenn die mehr als 125 Millionen Sehzellen auf der Netzhaut (Retina) des menschlichen Auges und die etwa sechs Millionen Makula-Sehzellen im Zentrum der Retina ihren Dienst einstellen, führt das unweigerlich zum Verlust des Augenlichts. Denn die hinter den Lichtempfängern liegenden Ganglien und die damit verbundenen Sehnerven lassen sich durch eintreffende Lichtwellen nicht mehr anregen und leiten folglich keine Informationen mehr an die Großhirnrinde weiter – der Betroffene verliert allmählich sein Sehvermögen. Retinitis pigmentosa und Makuladegeneration heißen die Erkrankungen der Netzhaut in der Fachsprache der Mediziner.

Das in Reutlingen ansässige Medizintechnik-Unternehmen Retina Implant beschreitet bei der Behandlung von Netzhauterkrankungen einen völlig neuen Weg. Die High-tech-Company ersetzt die abgestorbenen Sehzellen im Augenhintergrund durch mikrotechnische Photorezeptoren und verbindet diese mit den noch vorhandenen Sehnervenbahnen. Über diese Nervenbahnen gelangen die durch elektrische Anregung der Netzhaut entstandenen Lichtsignale weiter an die Empfangsstationen im Sehzentrum des Gehirns – vorausgesetzt, die neuronalen Verschaltungen der oberen Netzhaut mit ihren verschiedenen Zellarten sind noch intakt.

»Bei den klinischen Ergebnissen sind wir weltweit am weitesten«, sagt der Vorstandsvorsitzende der Retina Implant, Walter Wrobel, nicht ohne Stolz. Das Unternehmen Retina Implant gilt als einer der führenden Entwickler subretinaler Implantate für Sehbehinderte. Bereits 30 Patienten tragen im Rahmen klinischer Studien einen Netzhautchip von Retina Implant. Erst vor kurzem wurden zwei Erkrankte am King's College Hospital in London sowie einer chinesischen Patientin am University of Hong Kong Eye Institute der Netzhautchip implantiert. Neben deutschen Kliniken unterstützen Augenspezialisten in den USA, Brasilien, Ungarn und Italien die Entwicklung des subretinalen Chipimplantats aus Reutlingen.

Retina-Chip sicher und stabil fertigen

Während die klinischen Forschungsarbeiten weitgehend abgeschlossen sind, geht es bei Retina Implant jetzt um Zulassungsverfahren und die Frage, wie sich der aktuelle Retina-Chip in einem sicheren und stabilen Produktionsprozess marktreif umsetzen lässt. Das Unternehmen hat schon Reinräume für die Serienfertigung angemietet und will jetzt nach und nach in das passende Fertigungsequipment investieren. Kein leichtes Unterfangen, denn die nötige Verfahrenstechnik für die Präzisionsmontage ist aufwändig: »Neben unseren eigenen Entwicklungs-Aktivitäten setzen wir auf Technologie-transfer von unseren Partnern«, führt Wrobel aus.

Von Anfang an arbeiten die heute 19 Mediziner und Ingenieure der Reutlinger Medtech-Firma in Projektteams aus verschiedenen Universitäten und Forschungseinrichtungen. Das im Jahr 2003 von Eberhart Zrenner, Professor für Augenheilkunde und emeritierter Direktor des Forschungsinstituts für Augenheilkunde der Universität Tübingen, gegründete Unternehmen hat bereits viele Hürden bei der Realisierung des Augen-Chips hinter sich gelassen. Der aktuelle Prototyp ist drei Quadratmillimeter groß und lediglich 50 Mikrometer dick. Auf dem winzigen Chip befindet sich ein Pixelfeld aus 1500 Fotosensoren, die zusammen mit einer integrierten mikroelektronischen Schaltung auf treffendes Licht in elektronische Signale umwandeln und verstärken.

Was die Entwickler in Reutlingen gerade am meisten beschäftigt ist die Langlebigkeit des Systems im Auge. »Elektronikteile sind äußerst empfindlich«, erläutert Wrobel, »Die Lebensdauer hängt beim Chip sehr von der Materialauswahl ab und den Schutzschichten, die eine ausreichende Systemverkapselung ermöglichen«, sagt Wrobel. Unterstützung dabei erhalten die Medizintechniker vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart.

Die IPA-Wissenschaftler können mithilfe von Mikrodosiertechnik winzige Linien und Flächen aus flüssigen Medien wie Silikon schichtweise auftragen und auf diese Weise die Kanten eines Retina-Chips samt den zugehörigen Bonddrähten vollständig verkapseln. Die Schutzschichten sind bereits auf die spezifischen Anforderungen von Retina Implant zugeschnitten und erfolgreich unter Reinraumbedingungen untersucht worden. Der besondere Dreh des »IPA.Smartdispenser« liegt darin, dass die winzige, optische Sensorfläche des Chips durch den Materialauftrag keine Beeinträchtigung erfährt.

Bei Retina Implant ist man sich sicher, dass durch die enge Zusammenarbeit mit den IPA-Forschern und anderen Fraunhofer-Wissenschaftlern die letzte Etappe bis zur Zulassung implantierbarer Retina-Chips als Medizinprodukt bald erfolgreich zu Ende geht. Wann allerdings die klinischen Studien endgültig abgeschlossen sind und die Serienproduktion der Chipsysteme aufgenommen wird, ist schwer zu sagen. »Die Evaluierungsverfahren laufen in mehreren Ländern, es gibt auch in Zukunft immer Optimierungsbedarf«, fasst Walter Wrobel zusammen.

Standen in den Anfangsjahren noch grundlegende Fragen nach der Operationstechnik, den Chip-Materialien, der Zellenstimulation und der Signalverstärkung im Vordergrund, geht es heute um die weitere Optimierung des Mikrosystems und die fertigungstechnische Voraussetzung für eine stabile Mikromontage. »Wir arbeiten mit mehreren Fraunhofer-Instituten zusammen, um die technischen Möglichkeiten hinsichtlich langlebiger und biokompatibler Systeme auszuzeichen«, sagt Wrobel. ■

Forschen für mehr Effizienz

Professor Reimund Neugebauer ist von Oktober 2012 an der neue Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. Im Gespräch mit »weiter.vorn« erläutert der studierte Maschinenbauer, welche Herausforderungen die Forschungsgesellschaft in den kommenden Jahren meistern muss.

Das Gespräch führte Birgit Niesing.

Heute Professor Neugebauer, Sie übernehmen in wenigen Wochen das Amt des Fraunhofer-Präsidenten. Wie ist die Forschungsorganisation aufgestellt?

Fraunhofer hat sich in den zehn vergangenen Jahren sehr gut entwickelt. Uns ist es gelungen, in Politik und Wirtschaft an Profil zu gewinnen und unsere Erträge deutlich zu steigern. Auch international sind wir sehr gut aufgestellt. Fraunhofer hat mit Representative Offices bis hin zur Tochtergesellschaft verschiedene Formen der Kooperation gefunden. Die Forschungsverwertung wurde ebenfalls verstärkt. Unser populärstes Beispiel ist »mp3«. Zudem ist es gelungen, die interne Vernetzung weiter auszubauen. Dank der Portfolio- und Strategie-Prozesse sowie der Systemforschung erreichen wir eine höhere Synergie. Diese Punkte möchte ich auch in Zukunft kontinuierlich weiterentwickeln. Insbesondere in der Systemforschung, die wir am Beispiel der Elektromobilität unter der Leitung von Professor Buller und Professor Hanselka etabliert hat, sehe ich große Möglichkeiten. Durch den breiten Ansatz innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und der Kooperation mit der Industrie lassen sich mithilfe der Systemforschung Quantensprünge für einzelne Branchen erzielen.

Welche Schwerpunkte wollen Sie darüber hinaus setzen?

Die notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Arbeit der Fraunhofer-Gesellschaft sind die wissenschaftliche Exzellenz und die Wandlungsfähigkeit. Ein mittelfristiges Ziel

ist es, dies anhaltend zu stärken. Fraunhofer muss auch künftig der strategische Partner für die deutsche Wirtschaft sein. Wichtig ist es, die wissenschaftliche Basis für eine nachhaltige Wertschöpfung in Deutschland zu schaffen.

Gibt es in den kommenden Jahren besondere Herausforderungen?

Eine große Herausforderung ist es, künftig die wirtschaftliche Grundlage zu sichern. Auch wenn Forschung und Entwicklung in Deutschland einen hohen Stellenwert haben, werden in Zeiten knapper öffentlicher Haushalte die Mittel hierfür begrenzt sein. Zudem zeichnet sich die Wirtschaft derzeit durch ein gebremstes Wachstum aus. Fraunhofer hat in den vergangenen Jahren eine wohlüberlegte, langfristig angelegte und transparente Verwertungsstrategie entwickelt. Eine Idee ist es, künftig die Verwertung aus öffentlich geförderten Projekten zu steigern und diese Ergebnisse besser in die Industrie zu transferieren.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen. Wie sehen Sie die weitere Entwicklung?

Wachstum ist ein Zeichen für einen gesunden Organismus, wenn es authentisch und wertekonform ist. Das heißt für mich: Wachstum durch den Erfolg der Institute. Das muss man stärken. Wachstum kann darüber hinaus auch Sinn machen, wenn durch das Zusammengehen von Institutionen Synergien erzeugt werden. Für sich selbst genommen ist

Prof. Reimund Neugebauer

Mit Reimund Neugebauer übernimmt ein langjähriger Fraunhofer-Institutsleiter das Amt des Präsidenten. Der 59-jährige Ingenieur und Hochschullehrer studierte Maschinenbau an der TU Dresden und promovierte 1984. Der Promotion folgten eine leitende Tätigkeit in der Maschinenbauindustrie und die Habilitation 1989. Danach wurde Neugebauer als Hochschullehrer an die TU Dresden berufen. 1990 übernahm er die Geschäftsführung des Instituts für Werkzeugmaschinen. 1992 wurde er Leiter der neu gegründeten Fraunhofer-Einrichtung für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik in Chemnitz, die schon zwei Jahre später zum Fraunhofer-Institut IWU ernannt werden konnte. Seit 1993 ist er Ordinarius für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik an der TU Chemnitz. Dort gründete er auch das Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse IWP, dessen Direktor er seit 2000 ist.

Reimund Neugebauer hat das Fraunhofer IWU zu einem international führenden Partner für die Automobil- und Maschinenbauindustrie ausgebaut. Mit den Standorten Dresden, Augsburg und Zittau wurden die Forschungsgebiete um Mechatronik, Medizintechnik und Leichtbauweisen erweitert. Wichtige Impulse zur Sicherung und Weiterentwicklung der Wertschöpfung in Deutschland lieferte Neugebauer mit dem Schwerpunktthema »Ressourceneffiziente Produktion«.

Prof. Neugebauer ist Mitglied zahlreicher nationaler und internationaler wissenschaftlicher Gesellschaften und Verbände – etwa der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech sowie der Internationalen Akademie für Produktionstechnik CIRP. In den Jahren 2010 / 2011 war er Präsident der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik WGP. Außerdem ist er Kuratoriumsmitglied und Gründungspräsident des Industrievereins Sachsen 1828 e.V.



Wachstum keine Zielgröße für eine Forschungseinrichtung. Es ergibt sich, wenn man erfolgreich ist. Unsere Ziele sind Exzellenz und Schlagkräftigkeit.

Wie wird sich die Fraunhofer-Gesellschaft künftig international aufstellen?

Fraunhofer kommt überhaupt nicht umhin, seine internationaen Aktivitäten fortzusetzen. Denn Wissen wird weltweit geschaffen. Fraunhofer hat sich in den vergangenen Jahren erfolgreich international etabliert. Inzwischen wollen einige Staaten – etwa Brasilien – ähnliche Einrichtungen wie Fraunhofer schaffen. Sogar der amerikanische Präsident Barack Obama will die National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) nach dem Fraunhofer-Modell aufbauen. Das ist ein unglaublicher Ritterschlag für uns. Aber das heißt auch, dass wir kopiert werden. Hier müssen wir Strategien entwickeln, damit Fraunhofer auch künftig ein wichtiger Forschungs- und Entwicklungspartner für die deutsche Wirtschaft bleibt und die Industrie nicht irgendwann in Südamerika forschen lässt.

Ihnen ist es gelungen, das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU zu einem bedeutenden Institut mit verschiedenen Niederlassungen aufzubauen. Was waren die Erfolgskriterien?

Einer der wichtigsten Faktoren für den Erfolg war die ungeheuer hohe Motivation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Gerade Anfang der 1990er Jahre wollten sie aus eigener Kraft, mit eigenem Wissen und eigenen Ideen den Anschluss an Europa schaffen. Weitere Aspekte sind gutes Betriebsklima und offene Kommunikation. Zudem haben wir von Anfang an mit großer dezentraler Verantwortung gearbeitet. Das heißt, die Abteilungs- und Gruppenleiter sind für ihre eigene Akquise verantwortlich. Eine hohe Selbstbestimmung ist gerade in der Forschung wichtig. Aber man darf sich als Institutsleiter auch nicht scheuen, einzugreifen, wenn Projekte aus dem Ruder laufen. Es muss eine Dachmarke geben, welche die Identität erhält. Zum Erfolg haben auch die großen Leitprojekte – mit einem Volumen von bis zu 30 Millionen Euro – beigetragen, die wir zum Teil sogar selber initiiert haben.

Sie haben sehr früh auf das Thema »Resourceneffiziente Produktion« gesetzt. Warum haben Sie die Thematik aufgegriffen?

Es gibt einige große globale Herausforderungen. Zum einen die demographische Entwicklung: Es leben immer mehr Menschen auf der Welt und in den Industriestaaten immer mehr ältere Menschen. Daraus ergeben sich auch zwei unterschiedliche Anforderungen für die Wertschöpfung.

Die alternde Gesellschaft benötigt neue Produkte, wie zum Beispiel Implantate und Prothesen. Anderseits brauchen immer mehr Menschen auch mehr Produkte. Wenn die Leute, in den Schwellen- und Entwicklungsländern auch nur annähernd unseren Lebensstandard haben wollen, ist das mit dem heutigen Ressourcen- und Energieverbrauch nicht zu machen. Künftig müssen wir aus viel weniger, viel mehr machen. Ein Paradigmenwechsel ist notwendig: Statt maximaler Gewinn bei minimalen Kapitaleinsatz, muss künftig gelten: maximale Wertschöpfung bei minimalem Ressourcenverbrauch und gleichzeitig optimalem Gewinn. Schaut man sich eine weitere globale Herausforderung an, den Klimawandel, gilt sogar: Wir müssen aus viel weniger, viel mehr machen und das emissionsneutral. Wir haben uns bei der »Ressourceneffizienten Produktion« aber auch mit dem Menschen zu befassen. Die Ergonomie nimmt künftig einen hohen Stellenwert ein, insbesondere, wenn die Menschen länger arbeiten werden.

Gibt es bereits erfolgreiche Beispiele?

Das Fraunhofer IWU arbeitet an einigen großen Projekten. In der bundesweiten Innovationsallianz »Green Carbody Technologies (InnoCaT)« haben sich 60 Partner zusammengeschlossen – darunter große Autohersteller, Zulieferer, aber auch Fraunhofer-Institute – um den Ressourcenverbrauch in der Fahrzeugkarosserie-Fertigung deutlich zu senken. Ziel ist es, den Material- und Energie-Einsatz um 30 beziehungsweise um 50 Prozent zu reduzieren. Das sind gigantische Zahlen. Aber wir sind dabei, diese ehrgeizigen Vorgaben zu erfüllen. Ein weiteres Vorhaben ist der sächsische Spitzentechnologie-Cluster »Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik«. Durch den Einsatz von bionischen Strukturen und Kinematiken soll der Energieverbrauch in der Fertigung drastisch gesenkt werden. Unsere Vision ist eine nahezu emissionsfreie Produktion. Erste Ergebnisse – wie energieeffiziente Werkzeugmaschinen – fließen bereits in die Industrie ein.

Welchen Beitrag kann Fraunhofer dazu leisten, die Wertschöpfung in Deutschland auszubauen?

Wenn wir in Deutschland die Wertschöpfung halten wollen, müssen unsere Produkte eine höhere Originalität und Qualität bieten als Waren, die in anderen Ländern gefertigt werden. Zudem müssen die Prozesse so gestaltet sein, dass man die Produktion in einem Hochlohnland halten kann. Dazu leistet Fraunhofer mit all seinen Verbünden – nicht nur dem Fraunhofer-Verbund Produktion – einen großen Beitrag. Ein Beispiel: Der Verbund Informations- und Kommunikationstechnik IuK trägt mit seinen Softwareentwicklungen und der Know-how-Sicherung dazu bei, dass die deutsche Wirtschaft wettbewerbsfähig bleibt. ■

In der halbautomatischen Anlage in Bitterfeld werden die Membranelemente zur Wasseraufbereitung gefertigt. © LANXESS AG



Nur etwa 0,3 Prozent des globalen Wasservorranks sind direkt als Trinkwasser nutzbar. Gleichzeitig wächst die Weltbevölkerung stetig – der Bedarf an sauberem Wasser nimmt zu. Wasseraufbereitungs-Technologien wie die Umkehr-Osmose sollen dazu beitragen, dass wir zukünftig genug zu trinken haben: Mit der Membran-Filtrationstechnik lassen sich Stoffe wie Salze, Pestizide, Viren und Bakterien aus dem Wasser entfernen. Anfang 2010 hatte sich der Spezialchemiekonzern LANXESS entschieden, in dieses neue Geschäftsfeld einzusteigen: Bis zum Herbst 2011 sollte in Bitterfeld, dem Standort der Unternehmenstochter IAB Ionenaustauscher GmbH, eine hochmoderne Produktionsstätte entstehen. Ein ambitioniertes Vorhaben – es bedeutete, dass in sehr kurzer Zeit sowohl das Produkt als auch die Produktionstechnologie konzipiert und zur Fertigungsreife gebracht werden musste. Für den Bereich Automatisierungstechnik wollte sich das Unternehmen dazu externe Expertise mit ins Boot holen – und wurde mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF direkt vor Ort fündig.

Viel Vorbereitungszeit hatten die Wissenschaftler nicht. »Forschung und Entwicklung mussten parallel laufen, deswegen haben wir von Anfang

an auf Virtual Engineering gesetzt«, sagt Prof. Dr. Ulrich Schmucker, Leiter des Geschäftsfelds Virtual Engineering am IFF. Der Vorteil: »Wir beginnen schon sehr früh mit Arbeiten, die bei einer konventionellen Vorgehensweise erst am Ende der Entwicklung stattfinden.«

Produkteigenschaften am Rechner simuliert

Da die Membranfilterelemente – die später in der Produktionsanlage gefertigt werden sollten – noch nicht existierten, analysierte ein Expertenteam der IAB GmbH und des IFF zunächst deren Produkteigenschaften mithilfe verschiedener Simulationen am Rechner. Das war notwendig, um wichtige Fertigungsparameter zu ermitteln, die später auch bei der Konzeption der Anlage eine Rolle spielen – etwa die Geschwindigkeit. Anhand von virtuellen Modellen der halbautomatischen Anlage konnten die Wissenschaftler anschließend die einzelnen Prozessschritte durchspielen und optimieren. Auch der voraussichtliche Arbeitskräftebedarf ließ sich so planen.

Die Magdeburger Forscher haben sogar eine spezielle Methode entwickelt, die es ermöglicht, schon anhand relativ grober CAD-Modelle mit

Im Zeitraffer zum neuen Produkt

Gemeinsam mit dem Spezialchemiekonzern LANXESS haben Fraunhofer-Forscher in Rekordzeit eine neue Produktionsanlage zum Herstellen von Umkehr-Osmose-Membranelementen für die Wasseraufbereitung entwickelt und gebaut. Durch den Einsatz von Virtual Engineering konnten Forschung und Entwicklung parallel laufen.

Text: Tina Möbius

der Steuerungsprogrammierung zu beginnen. »Wir schließen die reale Steuerung an das virtuelle Modell an. Am Bildschirm sieht man dann, wie sich alle Teile zueinander bewegen. Der Programmierer kann dadurch überprüfen, ob die Reihenfolgen richtig sind, oder Fehler- und Ausnahmenzustände beheben und Kollisionsprüfungen durchführen«, erläutert Prof. Schmucker. Bei Bedarf bessert der Konstrukteur nach, bevor die Maschine überhaupt in die Fertigung geht.

Der Einsatz von Virtual Reality hat sich bewährt

Für LANXESS hat sich die Entscheidung bewährt, auf den Einsatz von VR zu setzen: »Virtual Engineering wird bei uns in Zukunft sicher eine stärkere Bedeutung bekommen«, ist Jean-Marc Vesselle, Leiter des Geschäftsbereichs Ion Exchange Resins, überzeugt. Seit Herbst 2011 werden in Bitterfeld bereits die Membranelemente gefertigt. Die Experten des IFF arbeiten schon an der Nachfolgetechnologie: Im September soll die vollautomatische Anlage in Betrieb gehen. Das Investitionsvolumen für das neue Werk in Bitterfeld liegt bei etwa 30 Millionen Euro. Etwas 200 neue Arbeitsplätze werden langfristig am Standort geschaffen. ■

Männlich, mittelalt und E-mobil



Die globale Erwärmung soll zwei Grad Celsius nicht übersteigen, darauf hat sich die Weltgemeinschaft geeinigt. Um das zu erreichen, genügt es nicht, die Kraftwerksparks umzubauen oder die Häuser zu isolieren. Auch die Autobauer müssen umdenken. Experten haben berechnet, dass die CO₂-Emissionen der PKWs bis 2050 von derzeit 150 Gramm pro Kilometer auf rund 20 Gramm sinken sollten, damit man die gesteckten Klimaschutzziele erreicht. Mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren ist das nicht zu schaffen. Die Bundesregierung fördert deshalb den Einstieg in die Elektromobilität. Bis 2020, so ihr ehrgeiziges Ziel, sollen mindestens eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen fahren. Doch bisher ist das Interesse an batteriebetriebenen Fahrzeugen äußerst verhalten. Im vergangenen Jahr waren gerade einmal 4500 solcher Autos zugelassen, die meisten davon für Demonstrations- oder Versuchszwecke. Umso wichtiger ist es, zu untersuchen, wie der potenzielle Kunde eigentlich aussieht, der in die neue Technologie investieren würde. Welche Motive treiben ihn? Ist diese Gruppe groß genug, um die Vorgaben zu erreichen? Und warum fehlt bisher die Nachfrage?

Erstkäufer von Elektroautos sind männlich, zwischen 40 und 50 Jahre alt und leben auf dem Land. Das hat eine Studie ergeben. Doch Stromer sind nicht nur für Privatleute, sondern vor allem für Firmen interessant.

Text: Klaus Jacobs

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe besitzt für solche Studien den nötigen Hintergrund und Erfahrung: »Wir haben eine große Datenbasis, wahrscheinlich die größte in Deutschland«, sagt Professor Martin Wietschel, der als Leiter der Geschäftsfelder Energiewirtschaft seit vielen Jahren das Thema E-Mobilität untersucht. Für die Untersuchung befragten er und sein Team weit mehr als 1000 Personen, vor allem solche, die sich für Elektroautos interessieren, und zogen viele andere Fakten heran. Heraus kam ein Profil des typischen Erstnutzers, des »Early Adopters«: Er ist männlich, zwischen 40 und 50 Jahre alt und verfügt über ein relativ hohes Einkommen. Er übt einen technischen Beruf aus oder ist zumindest technisch stark interessiert. In seiner Garage stehen mindestens zwei Wagen, er hat Kinder und lebt in einer ländlichen Region. Zudem ist er Individualist, der sich vom Mainstream abheben möchte. Und er lässt sich in seinen Einschätzungen kaum beeinflussen, weil er sich gut informiert glaubt.

Niedrigere Preise steigern Attraktivität

Diese Personengruppe ist allerdings zu klein, um das Millionen-Ziel erreichen zu können. Die Fraunhofer-Experten haben deshalb weitere mögliche Kundengruppen ausgemacht. Dazu gehören technisch interessierte Männer jenseits der 50, inklusive Ruheständler. Aber auch Frauen, die bisher so gut wie kein Interesse zeigten, kommen als Kunden infrage. Denn sie sind im Allgemeinen umweltbewusster als Männer. Zunächst müssen sich allerdings die Rahmenbedingungen ändern. Selbst die »Nationale Plattform Elektromobilität«, ein Expertengremium aus Industrie, Wissenschaft und Politik, geht nur noch von 600 000 verkauften Autos bis 2020 aus, sofern sich am Umfeld nichts ändert. Bislang schreckt vor allem der hohe Preis ab. Bei einem E-Auto muss man derzeit mit Mehrkos-

ten zwischen 10 000 und 20 000 Euro rechnen. »Die Preise müssen runter,« fordert Wietschel. Der Aufschlag gegenüber einem »Benziner« sollte nicht mehr als 3000 bis 4000 Euro betragen. Höhere Produktionszahlen oder technologische Fortschritte könnten die Kosten drücken. Aber auch Subventionen, wie sie schon Österreich oder Norwegen gewähren oder eine reduzierte City-Maut wie in London, könnten die Nachfrage nach Stromern ankurbeln.

Zudem hemmt die geringe Reichweite der E-Mobile die Kauflust. Eigentlich unverständlich, denn im Durchschnitt fahren die Deutschen nur 38 Kilometer pro Tag, und 80 Prozent aller Fahrten sind kürzer als 70 Kilometer. Doch die Käufer wollen offenbar einen Allesköninger, der sich zum Einkaufen und Pendeln ebenso eignet wie für die lange Urlaubsfahrt. Außerdem misstrauen sie den Akku-Anzeigen auf dem Armaturenbrett und fürchten, plötzlich liegen zu bleiben.

Einen Ausweg bieten Plug-in-Hybride, die neben dem elektrischen auch einen herkömmlichen Antrieb haben. Diese Autos fahren zunächst mit Strom und schalten, wenn der Akku leer ist, automatisch auf den Benzinmotor um. Professor Wietschel vermutet, dass diese Zwitter in den kommenden 10 bis 15 Jahren das Rennen machen und 60 bis 70 Prozent der verkauften Elektroautos ausmachen werden.

Ökologisch fahren mit grünem Strom

Der größte Vorteil der Elektromobilität ist ihre Umweltfreundlichkeit. Allerdings kommt dieser Vorzug nur dann zum Tragen, wenn der »getankte« Strom aus regenerativen Energiequellen stammt. Mit dem üblichen Strommix würde ein E-Auto kaum weniger Treibhausgase verursachen als ein Diesel-Fahrzeug. Die Strom-Tankstellen sollten deshalb grünen Strom garantieren. Doch »die Befragung hat gezeigt, dass die Leute nicht an die Zusagen glauben«, sagt Martin Wietschel. Vielleicht spielen hier die Erfahrungen mit dem Angebot für den heimischen Strom eine Rolle, wofür es keine einheitlichen Zertifikate gibt. Dass der Strom aus regenerativen Quellen nicht ausreicht, um eine große Autoflotte zu bedienen, braucht niemand zu befürchten. Die geplanten eine Million Elektroautos würden jährlich nur zwei Terawattstunden (TWh) verbrauchen. Im vergangenen Jahr lieferten Wind, Sonne und Wasser bereits rund 120 TWh.

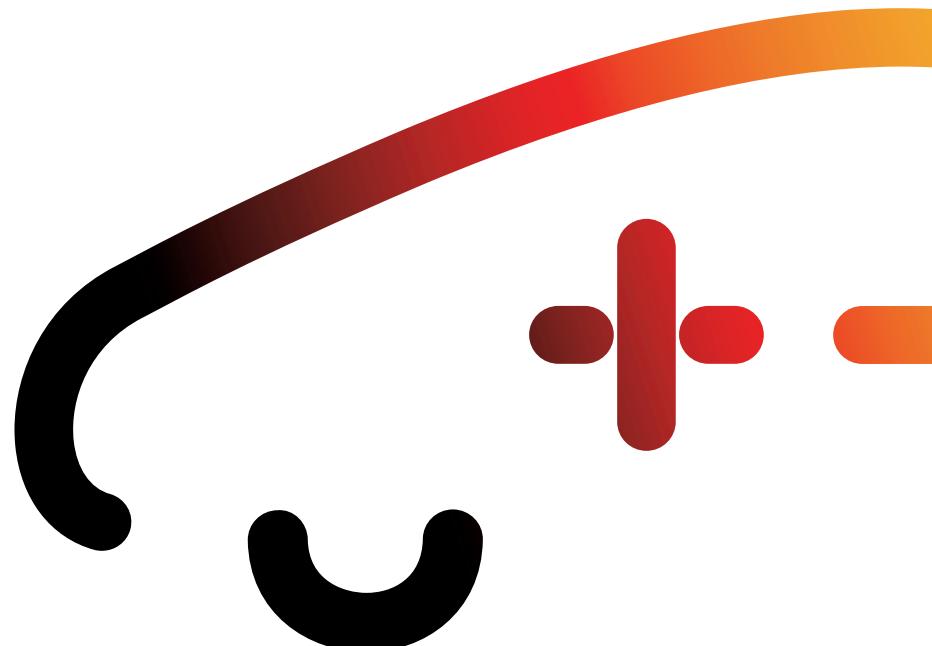
Auch wer »grüne« Energie tankt, sollte sein Fahrverhalten genauer unter die Lupe nehmen, bevor er einen Kaufvertrag unterschreibt. Sonst muss er die ökologischen Vorteile möglicherweise sehr teuer erkaufen. »Ein Elektrofahrzeug rechnet sich nur, wenn es auch fährt«, erläutert Wietschel. Sonst machen die niedrigen Betriebskosten die hohen Anschaffungskosten nicht wett. Wer in Berlin wohnt und lediglich 9000 Kilometer im Jahr fährt, macht ein schlechtes Geschäft. Deshalb kommt der typische Erstnutzer aus

dem ländlichen Raum. In der Ökobilanz muss man zudem berücksichtigen, dass bei der Herstellung von Elektro-Autos mehr Treibhausgase freigesetzt werden als bei der Fertigung herkömmlicher Wagen. Der Stromer schleppt also einen ökologischen Rucksack mit sich herum. Die CO₂-Bilanz ist erst ausgeglichen, wenn man mindestens 25 000 Kilometer mit ausschließlich regenerativem Strom gefahren ist. Erst danach wird die Umwelt entlastet.

Die Erstnutzer-Studie, die das ISI im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie angefertigt hat, beschäftigt sich nur mit Privatfahrzeugen. Doch schon heute wird jeder zweite neu zugelassene Wagen gewerblich genutzt. Bei den E-Fahrzeugen könnte dieser Anteil sogar noch deutlich höher ausfallen. Professor Wietschel ist überzeugt: »Hier wird die Musik spielen.« Denn gewerbliche Fahrzeuge haben oftmals eine hohe jährliche Fahrleistung und verkehren auf Strecken, für die die Batteriereichweite genügt. Zudem bieten sie einen Image-Gewinn, der sich letztlich in der Unternehmenskasse bemerkbar macht.

Das ISI erhebt gerade für verschiedene Wirtschaftssegmente Fahrdaten und berechnet, wo sich der Einsatz von Elektrofahrzeugen rechnen kann. Auch wenn das Modellangebot inzwischen weiter wächst – es wird noch etliche Jahre dauern, bis sich die neue Technologie durchgesetzt hat. ■

 www.fraunhofer.de/audio





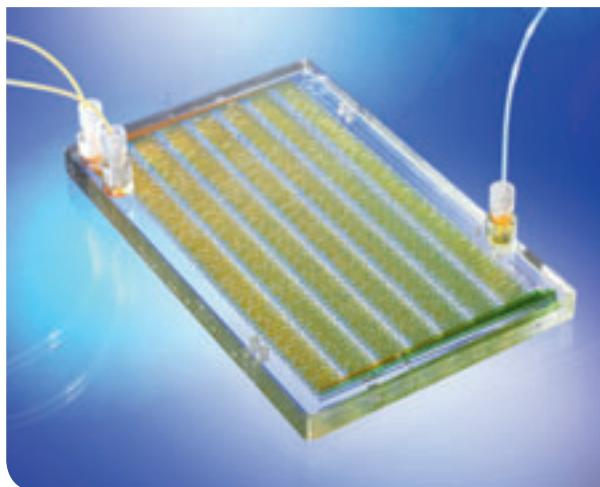
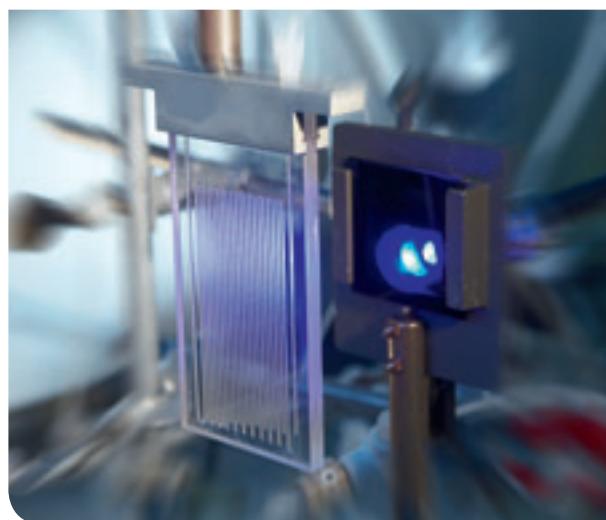
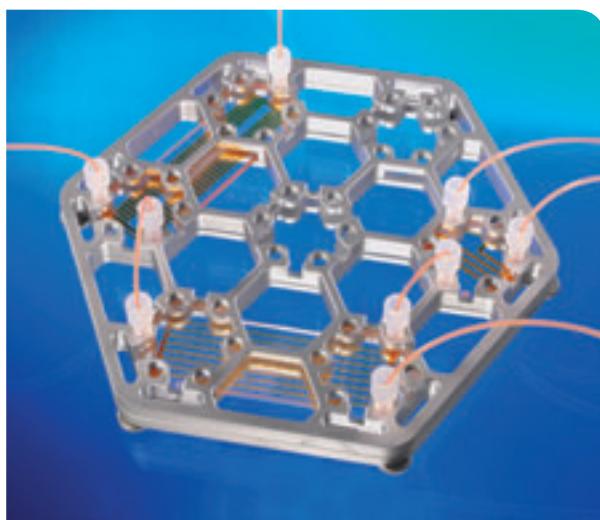
Kleine Reaktoren, schnelle Fertigung

Gefährliche Stoffe wie Nitroglyzerin lassen sich in Mikroreaktoren schneller und sicherer fertigen als auf herkömmliche Art.

Text: Janine van Ackelen und Marion Horn







Modulares Laborsystem (links oben). In Mikrokanälen lässt sich der Prozess kontinuierlich führen (links unten). Photochemie in Mikroreaktoren (rechts oben). Der Prozess wird ferngesteuert (rechts unten). © Fraunhofer ICT

Hochwertiges Nitroglycerin wissen viele Patienten zu schätzen: Es hilft rasch bei Schmerzen und Engegefühl in der Brust. Das Medikament wird zur Vorbeugung und Behandlung von Angina pectoris eingesetzt. Der Wirkstoff erweitert die Blutgefäße, Arterien und Venen, senkt den Blutdruck, entlastet so das Herz, und der akute Schmerz lässt nach.

Nitroglycerin ist nicht nur in sehr verdünnter Form als Medikament im Einsatz, sondern auch ein gefährlicher Sprengstoff. Es ist zum Beispiel der Hauptbestandteil von Dynamit. Kleine Erschütterungen reichen aus, damit Nitroglycerin detoniert. Bei der Herstellung ist äußerste Vorsicht geboten, schließlich soll es seine Sprengleistung nicht im Labor entfalten. Da bei seiner Produktion Wärme entsteht, muss es langsam gehen: Tropfen für Tropfen wird die Ausgangsstoffz Glyzerin in die Rührkessel gefördert, in denen sich die Nitriersäure befindet. Dabei gilt höchste Vorsicht: Denn erhitzt sich das Gemisch zu stark, kann es explodieren. Es darf nicht mehr Wärme entstehen, als sich abführen lässt.

Eine Methode, um das Nitroglycerin sicherer und schneller zu fertigen, haben Forscher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfingstal entwickelt: einen Mikroreaktor-Prozess, der für diese Reaktion maßgeschneidert ist. Der Grund für die höhere Sicherheit liegt in den winzigen Reaktorvolumina, denn es entsteht beispielsweise weniger Wärme. Zudem ist die Oberfläche der kleinen Reaktoren im Verhältnis zum Volumen sehr groß – das System lässt sich daher überaus gut kühlen.

Der Mikroreaktor arbeitet kontinuierlich

Ein weiterer Vorteil: Der kleine Reaktor stellt den Gefahrstoff um ein Vielfaches schneller her. Denn im Gegensatz zum Rührkessel, der gefüllt wird und in dem dann langsam die Reaktion abläuft, arbeitet der Mikroreaktor kontinuierlich: Durch winzige Kanäle fließen die Ausgangsstoffe in die Reaktionskammer, wo sie einige Sekunden lang miteinander reagieren. Das entstandene Produkt enthält allerdings noch

Verunreinigungen, die entfernt werden müssen. Dazu strömt das Rohprodukt durch weitere Kanäle in einen zweiten Mikroreaktor, wo es aufbereitet und gewaschen wird.

»Es ist bisher einmalig, dass Mikroreaktoren in einem Prozess sowohl für die Synthese eines Stoffs, als auch für seine anschließende Aufarbeitung eingesetzt werden«, sagt Dr. Stefan Löbbecke, stellvertretender Hauptabteilungsleiter am ICT. Der Mikroreaktorprozess wird bereits erfolgreich in vielen industriellen Branchen angewendet: neben der Herstellung von Explosivstoffen und Medikamenten auch für Farbstoffe, Polymere, Tenside, Klebstoffe oder in der Agrochemie. Die Technologie eignet sich besonders für hochwertige, kleinvolumige Produkte, bei deren Produktion klassische Verfahren an ihre Grenzen stoßen.

Je nach Bedarf passen die Forscher die Reaktoren an die von ihren Industriepartnern gewünschte Reaktion an. Sie haben viele Fragestellungen zu klären: Wie groß dürfen die Kanäle



sein, damit die Wärme noch gut abgeführt werden kann? Wo sollten sie Hindernisse in die Kanäle einbauen, um die Flüssigkeiten gut zu durchmischen, damit die Reaktion wie vorgesehen abläuft? Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeiten durch die Kanäle strömen: Sie müssen genügend Zeit haben, um miteinander reagieren zu können. Außerdem soll die Reaktion sofort beendet werden, sobald das Produkt entstanden ist, da sonst zu viele unerwünschte Nebenprodukte entstehen.

Weniger Fehlstellen in Polymeren für organische Leuchtdioden

»Es sind mehrere, oft brenzlige Reaktionsschritte notwendig, bis das Ergebnis vorliegt. Wir können mit den Mikroreaktoren eine kostengünstige und sichere Technologie anbieten. Ein weiterer Vorteil: Die Mikroreaktoren lassen sich ohne große Umbauten in automatisierte Prozesse integrieren«, freut sich Löbbecke. Zum Beispiel bei der Herstellung von Polymeren für

OLEDs. OLEDs sind organische Leuchtdioden, die vor allem für Displays und Bildschirme verwendet werden. Die Polymere, aus denen sie bestehen, leuchten farbig. Bei ihrer Synthese entstehen jedoch leicht Fehlstellen, die den Polymeren einen Teil ihrer Leuchtkraft nehmen. »Über eine genaue Prozessführung können wir die Zahl dieser Fehlstellen minimieren«, sagt Stefan Löbbecke.

Dazu haben die Forscher die Reaktion zunächst genau analysiert: Wann bilden sich die Fehlstellen aus? Wie schnell muss der Prozess laufen? »Viele Reaktionsvorschriften, die man von den großen Prozessen, den Batch-Prozessen, her kennt, entpuppen sich als ungeeignet für Mikroreaktoren. Die Ausgangsstoffe brauchen oftmals nicht stundenlang zu kochen – es reichen ein paar Sekunden«, ergänzt der Forscher. Durch das lange Kochen können sich die Produkte wieder zersetzen oder ungewünschte Stoffe bilden.

Um einen Mikroreaktor für eine neue Reaktion zu entwickeln und zu optimieren, sehen die

Forscher sich die laufende Reaktion an, sie schauen in den Reaktor hinein. Hilfsmittel sind verschiedene Analyse-Verfahren: Einige, beispielsweise spektroskopische Methoden, verraten ihnen, welche Stoffe im Mikroreaktor entstehen – und damit auch, wie sie die Ausbeute des gewünschten Produkts gezielt erhöhen können und Nebenprodukte nach Möglichkeit gar nicht erst entstehen lassen. Andere Verfahren wie die Kalorimetrie geben den Wissenschaftlern Informationen über die Wärme, die sich bei der Reaktion entwickelt. Diese Messmethode verrät ihnen, wie schnell und vollständig die Reaktion abläuft. Sie gibt auch Hinweise darauf, wie die Prozessbedingungen gewählt werden müssen, um die Reaktion auf sichere Art ablaufen zu lassen.

Die Experten haben die chemischen Reaktionen dieser kleinen Mengen gut im Griff und steuern sie nach Bedarf. Sie verändern die Prozessbedingungen, bis sie die idealen Parameter für das gewünschte Produkt, zum Beispiel ein Herzmittel, gefunden haben. ■

Schneller zum Krebsmedikament

Krebserkrankungen nehmen immer noch zu. Eine neue Bildanalyse-Software kann nun die Medikamentenentwicklung beschleunigen.

Text: Boris Hänsler

Im Jahr 2008 erkrankten in Deutschland laut der Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister und dem Robert-Koch-Institut 469 800 Menschen neu an Krebs. Etwa jeder vierte Todesfall war durch Krebs bedingt. Für das Jahr 2012 erwarten die Wissenschaftler sogar 486 000 Neuerkrankungen – trotz besserer Behandlungsmethoden. Der Grund: Die Menschen leben immer länger, und mit dem Alter steigt die Anfälligkeit für Krebs. Die Suche nach effizienten Wirkstoffen hat in der medizinischen Forschung daher höchste Priorität. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT in Sankt Augustin entwickelt derzeit eine Software, die das Testen wirksamer Substanzen beschleunigen dürfte.

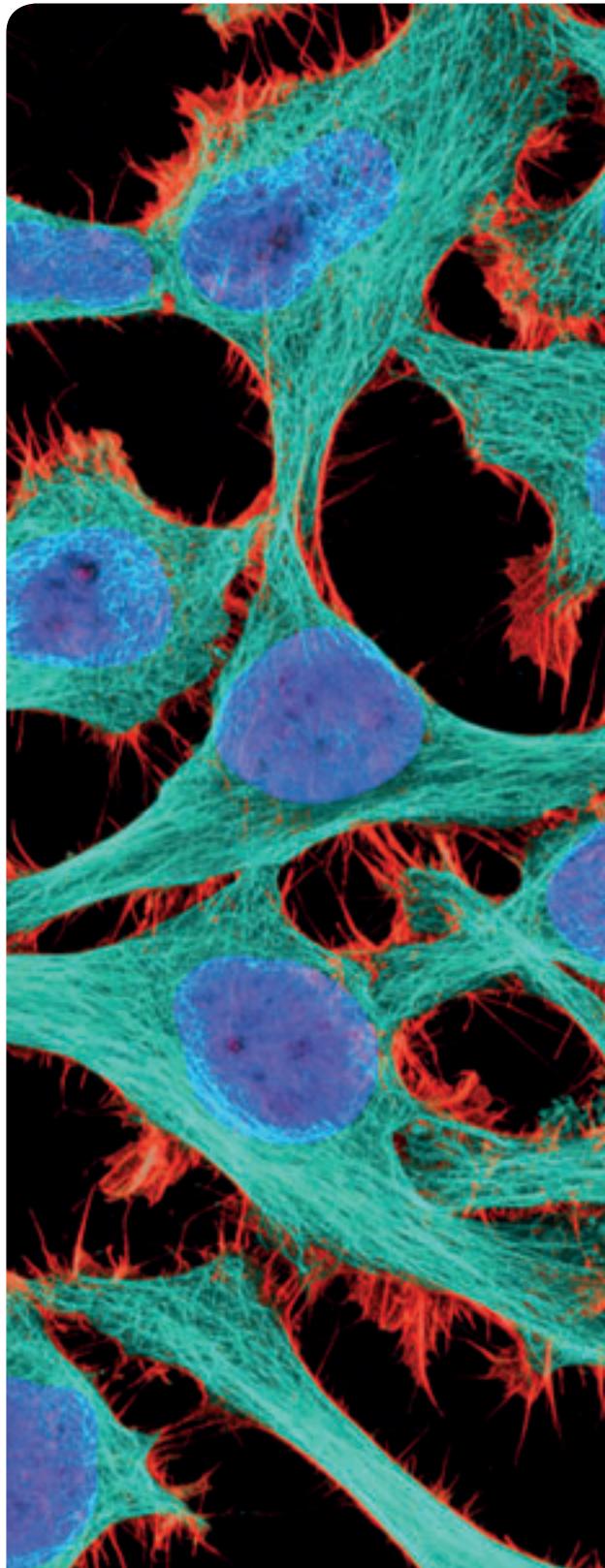
Krebs entsteht, weil sich Zellen unkontrolliert vermehren. Die körpereigenen Regulationsmechanismen, die normalerweise das Zellwachstum kontrollieren, funktionieren nicht mehr. Gleichzeitig laufen die Mechanismen, welche die Teilung und das Wachstum der Zellen beschleunigen, auf Hochtouren – allerdings nicht in allen Phasen, welche die Zellteilung durchläuft. In den einzelnen Phasen sind die Prozesse 'mal angeschaltet und 'mal abgeschaltet.

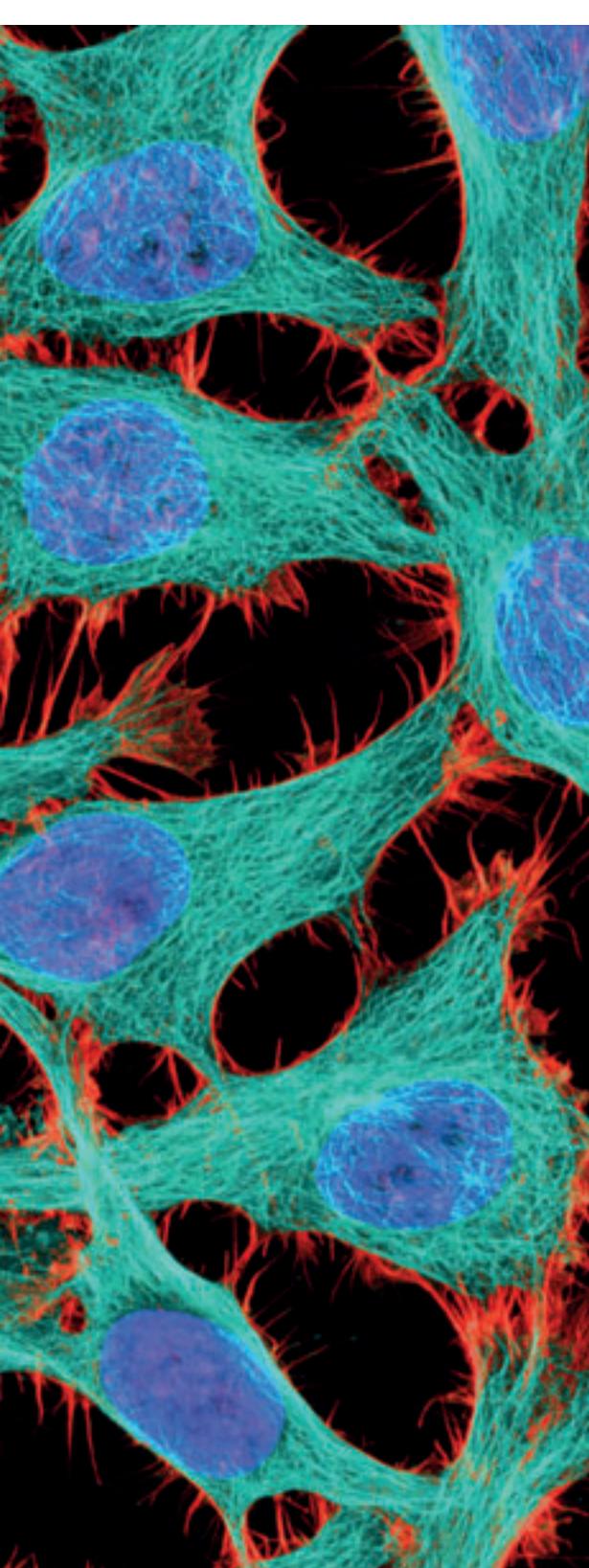
Bei der Entwicklung neuer Medikamente für die Krebstherapie setzen Forscher bildgebende Verfahren ein. Dabei werden die betroffenen Zellen einer Wirksubstanz ausgesetzt. Die Wissenschaftler beobachten dann, wie sich die Zellteilung verändert. »Bei traditionellen

Ansätzen konnten Forscher aber immer nur eine Art Schnappschuss des Versuchs machen«, sagt der Biologe Andreas Pippow, der am FIT das Softwareprojekt betreut. Man »froß« sozusagen die Zellen zu einer bestimmten Zeit ein. Nur erfährt man dabei nicht, wie sich dieselben Zellen vor der Aufnahme verhalten haben oder nach diesem Zeitpunkt weiterentwickelt hätten. Sie haben keine nachvollziehbare Geschichte. Dieses Problem soll das relativ neue »Live Cell Imaging« – eine Methode der »High Content Analysis (HCA)« – zumindest teilweise lösen.

Die neue Bildanalyse-Software identifiziert einzelne Zellen

Bei jenem Verfahren kann man Zellen während ihrer Teilung »live« beobachten. Eine Software veranlasst regelmäßig Aufnahmen lebender Zellen über den gesamten Entwicklungszyklus hinweg. Die Forscher können die Morphologie der Zellen und ihr Verhalten zu den vorhergehenden und nachfolgenden Aufnahmen in Bezug setzen. Doch auch dieses Verfahren hat seine Grenzen: Es gibt zwar Software-Lösungen, die einzelne Bilder auswerten, die Analyse der gesamten Versuchsreihe war bislang allerdings eine Herausforderung. Die Programme erstellen von sich aus keine Historie – das müssen die Forscher selbst tun. Sie studieren Zeitrafferaufnahmen, notieren sich die Zeitpunkte der Zellteilungsphase und vergleichen sie mit denen aus anderen Versuchsreihen. Ein Vergleich dieser Zeitpunkte ist wichtig, damit man genau





Mithilfe der Software lässt sich zum Beispiel die Teilung von HeLa-Zellen erkennen. Das Bild zeigt eine Fluoresz-Aufnahme der Zellen. © Thomas Deerinck, NCMIR/SPL/Agentur Focus

weiß, wie und wann ein Wirkstoff die Zellteilung beeinflusst.

Die Bildanalyse-Software ZETA, die am FIT entwickelt wird, identifiziert die einzelnen Zellen und folgt ihnen. So kann sie feststellen, wie sich zum Beispiel die Größe der Zelle im Laufe der Zeit verändert und wann eine neue Phase der Zellteilung eingetreten ist. Zudem soll ZETA bald in der Lage sein, eine Art genealogischen Stammbaum zu erstellen: Daraus lässt sich ablesen, ob einer fehlerhaften Zellteilung bereits ein ungewöhnliches Verhalten der Mutterzelle vorausgegangen ist. ZETA bringt somit die Zeitpunkte eines Ereignisses mit dem Stammbaum der Zelle und der Konzentration des Wirkstoffs statistisch in Verbindung – solche Vergleichsdaten sind bei der Suche nach wirksamen Substanzen sehr wertvoll.

Der Bedarf für neue Wirkstoffe ist groß. Die meisten Krebspatienten müssen nach wie vor mit Chemotherapie behandelt werden. Die Medikamente dafür – die Zytostatika – sind zwar sehr wirksam, da sie die Zellteilung und damit auch das Tumorwachstum stören. Doch sie verursachen häufig starke Nebenwirkungen, zum Beispiel Haarausfall, Übelkeit, schwere Schleimhautentzündungen oder eine drastische Verminderung der Blutzellen. »Das Problem ist, dass Zytostatika nicht spezifisch gegen Krebszellen vorgehen, sondern auch gesunde Zellen angreifen«, sagt Pippow. »Außerdem wirken sie bei bestimmten Krebsarten kaum oder überhaupt nicht«. Forscher arbeiten deshalb schon seit Jahren an innovativen Medikamenten, welche die Tumorzellen gezielter als bisher angreifen und so die Nebenwirkungen verringern können.

Dabei wird ZETA künftig helfen. Das System ist für die Forscher einfach zu bedienen. Ein Benutzer trainiert zunächst die Software, damit sie Zellen und Phasen eindeutig zuordnen kann. Dabei markiert er auf einzelnen Aufnahmen typische Bereiche – ein bestimmter Hintergrundbereich, eine typische Zelle, eine charakteristische

Phase. »Bei einer klassischen Software überlegen sich die Programmierer vorab, anhand welcher Merkmale das Programm die Zellen unterscheiden soll, etwa Kontrastwerte oder Formen«, sagt Pippow. »Anschließend müssen sie die Software nach und nach verfeinern.«

ZETA hingegen ist lernfähig. Das Programm ermittelt mit Hilfe der markierten Beispiele verschiedene Parameter und wendet sie über ein statistisches Verfahren auf die kompletten Bilder und schließlich den ganzen Datensatz an. Der Nutzer sieht sofort das Ergebnis. Werden Zellen oder Phasenzustände nicht korrekt erkannt, kann er die Software durch weitere Beispiele trainieren. Diese »Lernfähigkeit« hat den großen Vorteil, dass auch viele andere Zelltypen problemlos erkannt werden, ohne dass Programmierer eingreifen müssen.

Daten von mehreren hundert Gigabyte schnell auswerten

Die Bildmengen, die ZETA für die Medikamentenentwicklung bewältigen muss, sind gewaltig. Bei typischen Versuchsreihen fallen mitunter Daten von mehreren hundert Gigabyte an. Eine Parallelisierung der Prozessoren gewährleistet jedoch eine schnelle Auswertung. Dank ZETA können die Forscher somit schneller als bisher herausfinden, mit welcher Substanz und Konzentration sie auf dem richtigen Weg sind.

Die Medikamentenforschung ist übrigens nicht der erste Einsatz für ZETA: Die Basis-Bildanalysesoftware gibt es schon seit etwa 15 Jahren. Die Fraunhofer-Forscher entwickelten sie in dieser Zeit beständig weiter und passten sie je nach Projektpartner an unterschiedliche Bedürfnisse an. ZETA erwies sich dabei als sehr flexibel. Vor ihrem aktuellen Einsatz in der Medikamentenentwicklung etwa wurde das Programm als Monitoring-Tool für die Messung der Pollenbelastung in der Umwelt eingesetzt. ZETA verglich in Aufnahmen von Luftproben die Anzahl verschiedener Pollen – eine Art Frühwarnsystem für Allergiker. ■

Maschine mit Kopierschutz

Produktpiraterie kostet die deutsche Industrie Milliarden. Immer häufiger im Visier sind teure Investitionsgüter, zum Beispiel Maschinen. Wissenschaftler erforschen die Methoden der Fälscher und entwickeln Lösungen für den Produktschutz.

Text: Bernd Müller



650 Milliarden US-Dollar pro Jahr – so hoch wird weltweit der Schaden durch die illegale Nachahmung von Produkten geschätzt. Immer häufiger ist der deutsche Maschinenbau von Produktpiraterie betroffen. Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer VDMA beziffert die Verluste in der eigenen Branche auf 7,9 Milliarden Euro jährlich – ein Zuwachs um 24 Prozent im Vergleich zur vorherigen Umfrage im Jahr 2010. Etwa zwei Drittel aller Unternehmen werden durch Produktpiraterie belastet, vor allem Hersteller von Textilmaschinen, Kompressoren und Anlagen für die Kunststoffverarbeitung. Produktfälschungen sind damit längst nicht mehr nur ein Thema für Rolex-Uhren oder Robbie-Williams-CDs.

»Die meisten Unternehmen wissen gar nicht, wie leicht ihre Produkte kopiert werden können«, sagt Bartol Filipovic, Leiter der Abteilung für Produktschutz an der Fraunhofer-Einrichtung für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC in Garching bei München. Das AISEC berät Unternehmen, wie sie ihre Produkte und IT-Dienstleistungen schützen können gegen Angriffe und Plagiatsversuche. Gefälscht wird im Maschinenbau alles – vom Gehäusedesign bis zur Bedienungsanleitung. Und vor allem die

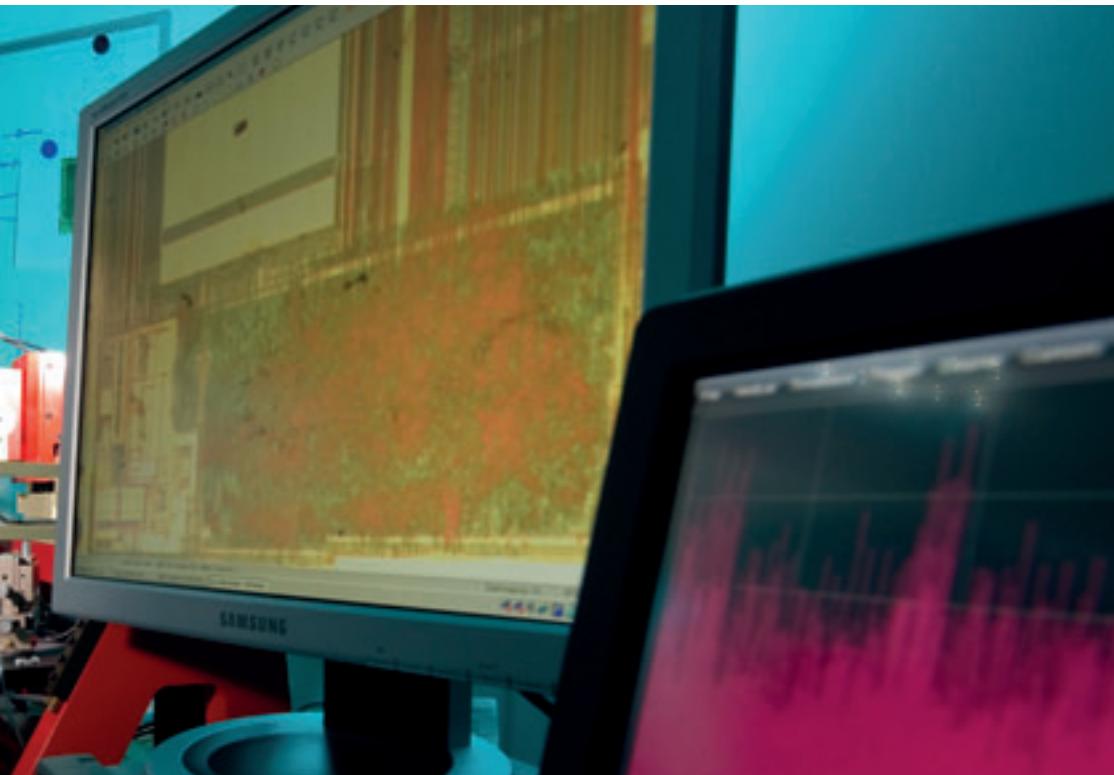
»inneren Werte«: elektronische Schaltungen und Software, welche der Maschine erst ihre unverwechselbaren Eigenschaften verleihen. Eingebettete Systeme, die zum Messen, Steuern, Regeln und zur Signalverarbeitung dienen, sind deshalb ein bevorzugtes Ziel für Angriffe von Fälschern. Die Nachahmer haben es erschreckend leicht, denn nur 18 Prozent der VDMA-Unternehmen sichern diese sensiblen Bauteile ihrer Anlagen. Immerhin: Bei der Produktkennzeichnung gibt es Fortschritte. 40 Prozent der Firmen markieren ihre Produkte sichtbar oder unsichtbar, um Fälschungen besser entlarven zu können. Das erfordert allerdings Know-how beim Kunden – das dieser selten hat.

Aufbau der Hardware und Schaltpläne werden analysiert

Das Wissen der Fälscher ist dagegen enorm gestiegen. Doch meist machen sich die Produktpiraten die Hände gar nicht mehr selbst schmutzig. Es gibt Dienstleister wie die kanadische Firma Chipworks, die den Job für wenig Geld innerhalb weniger Wochen erledigen – offiziell natürlich als legale Wettbewerberbeobachtung. Die Dienstleister bieten »Reverse Engineering« an. Dabei spielen sie den Entwicklungsprozess

in umgekehrter Reihenfolge nach. Im ersten Schritt – dem Product Teardown – analysieren sie den Aufbau der Hardware und fertigen Schaltpläne des Originalprodukts an. Dann lesen sie die Software aus und rekonstruieren daraus die Steuerung und die Funktionen der Maschine – und damit das Kern-Know-how des Herstellers. Rechtlich gesehen ist Reverse Engineering nicht strafbar. Erst wenn damit tatsächlich ein gefälschtes Produkt in Umlauf gebracht wird, können die Strafverfolgungsbehörden eingreifen – falls der Geschädigte das möchte. Doch laut VDMA-Studie tun 44 Prozent der betroffenen Unternehmen nach der Entdeckung nichts, vermutlich, weil sie sich keinen Vorteil von einem langen Verfahren versprechen.

Die wichtigste Aufgabe des AISEC ist neben der Forschung die Aufklärung. Denn leider reagieren viele Firmen erst, wenn das Kind bereits in den Brunnen gefallen ist, das heißt, wenn Fälschungen der eigenen Produkte aufgetaucht sind. Der Nachbau lässt sich dann nicht mehr verhindern, man kann aber das Originalprodukt so markieren, dass es sich eindeutig von der Fälschung unterscheidet. Sicherheitskritische Ersatzteile etwa in der Luftfahrtindustrie werden mit Hologrammen gekennzeichnet, die nicht kopierbar



Forscher entwickeln technische Schutzmaßnahmen.
© Volker Steger

sind. Oder man baut eine Art elektronischen Fingerabdruck in die Schaltkreise ein, der sich nicht verändern lässt. Doch trotz aller Vorsichtsmaßnahmen: Einen Nachbau verhindert das nicht, und auch der Handel lässt sich damit nur stoppen, wenn Zoll, Händler und Kunden von der Markierung wissen – und wenn sie die technischen Möglichkeiten haben, diese auszulesen. Weil das häufig nicht der Fall ist, sollten Unternehmen schon früher, nämlich bereits bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration, an die Fälschungssicherheit denken und geeignete Schutzmechanismen tief in der Hardware verankern. Im günstigsten Fall nimmt der Kunde bereits in der Entwicklungsphase für eine neue Produktgeneration mit dem Produktschutz-Team am AISEC Kontakt auf. Die Entwickler des Klienten zeigen den geplanten Hardwareaufbau, Schaltpläne und Software – absolute Diskretion ist da natürlich Pflicht. Die AISEC-Forscher analysieren diese Informationen auf Schwachstellen hin und geben Empfehlungen dazu, wie man das Produkt sicherer machen kann.

Eine Möglichkeit ist es, Kryptochips einzubauen, welche die Daten in der Maschine verschlüsseln. Sie erzeugen den Schlüssel aus den Laufzeiten elektrischer Signale auf dem Mikrochip. Bei

einem anderen Chip – sogar aus derselben Produktion – sind die Laufzeiten etwas anders, und der Schlüssel lässt sich nicht nutzen. Eine weitere Option besteht darin, das Steuerungsprogramm fest in der Hardware zu verdrahten. Diese eigens entworfenen Chips machen es dem Angreifer sehr schwer, die Software auszulesen und in einem kopierten Produkt auf Standardchips laufen zu lassen.

Gezielte technische Maßnahmen schützen vor Nachahmung

Eine Analyse und die Entwicklung entsprechender technischer Schutzmaßnahmen als Teil des Produktentwicklungszyklus sind aus Sicht des Unternehmens sinnvoller und kostengünstiger. Die Kosten variieren je nach Umfang der Analyse und je nach Ausmaß der Schutzverfahren. Für das Unternehmen lohne sich das auf jeden Fall, sagt Bartol Filipovic: »Unsere Dienstleistung ist viel billiger als die durch Produktpiraterie entstehenden Kosten.«

Ziel der Beratung durch das AISEC ist es, dem Unternehmen einen möglichst großen Zeitvorteil zu verschaffen. Wenigstens fünf bis zehn Jahre Ruhe vor Produktfälschern haben Kunden, wenn

sie die AISEC-Empfehlungen umsetzen. Diese Zeitspanne ist mindestens nötig, um die teuren Investitionen zu schützen. Anders als bei Konsumgütern, etwa Handys, veraltet das technologische Know-how bei Investitionsgütern, zum Beispiel Maschinen, nicht so schnell. Für einen Fälscher kann es sich also durchaus auszahlen, eine Maschine zu kopieren, die bereits seit fünf Jahren auf dem Markt ist. Bei ungeschützten Produkten gelingt das fast immer. Sind die Waren dagegen mit den neuesten Schutzvorkehrungen ausgerüstet, beißen die Fälscher so lange auf Granit, dass sich für sie dieser Aufwand nicht mehr lohnt. Bartol Filipovic: »Mir ist kein Fall bekannt, wo unsere Schutzmaßnahmen schon einmal erfolgreich umgangen wurden.«

Ein weiterer interessanter Befund aus der aktuellen VDMA-Studie zeigt: 72 Prozent der befragten Unternehmen sind von Produktfälschungen aus China betroffen, das mit weitem Abstand das Land Nummer eins beim Herstellen von illegalen Kopien darstellt. Allerdings ist die Bedeutung Chinas erstmals seit 2003 rückläufig. Stark zugelegt haben dagegen Plagiate aus Deutschland: Gut ein Viertel der deutschen Firmen leidet unter Fälschungen von heimischen Konkurrenten. ■

Autonome Erntehelfer

Forscher arbeiten an einem Sensorensystem für Traktoren oder Mähdrescher. Es könnte die Basis für autonomes Fahren auf dem Acker schaffen.

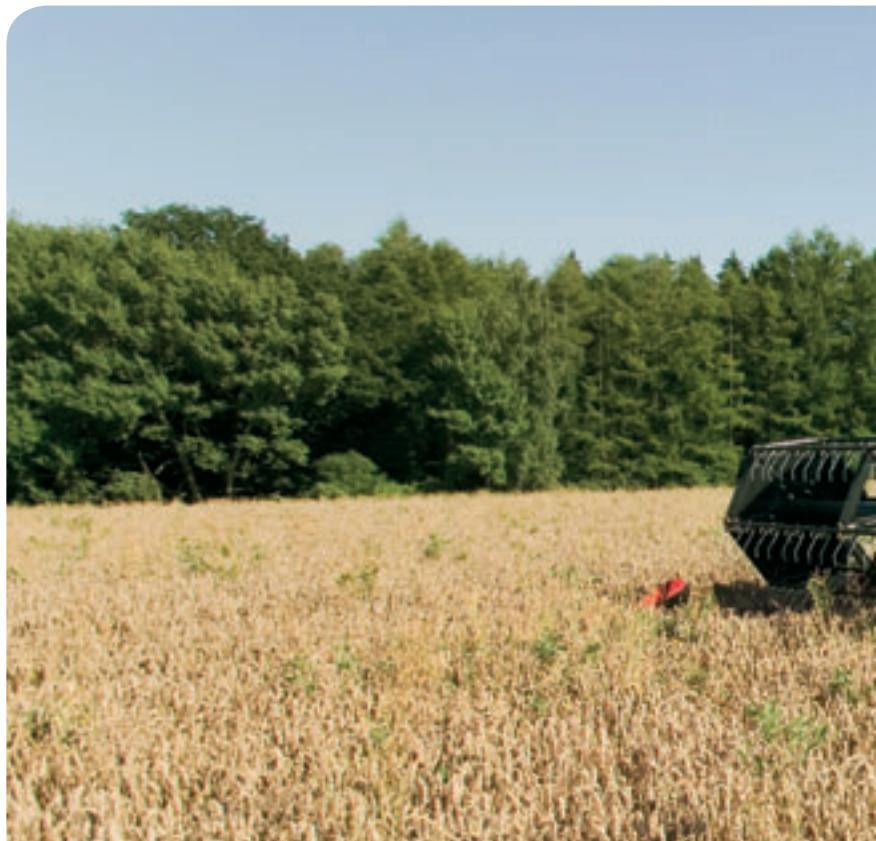
Text: Boris Hänsler

Der Jäger saß an einem frühen Sommerabend vor zwei Jahren auf einem Getreidefeld im Altenburger Land auf seinem Hochsitz, als es passierte: Ein 52 Jahre alter Landwirt erntete gerade Getreide und rammte dabei mit seinem Mähdrescher den drei Meter hohen Sitz – der Jäger fiel herunter und schlug auf dem Fahrzeug auf. Er musste mit gebrochenen Rippen ins Krankenhaus.

Unfälle auf dem Feld sind in der Landwirtschaft keine Seltenheit – Traktoren und Mähdrescher fahren regelmäßig gegen Strommasten oder Bäume. Die Unglücksursache ist oft menschliches Fehlverhalten, häufig ausgelöst durch Hektik unter Zeitdruck, so die Erfahrung der landwirtschaftlichen Sozialversicherung. »Die Fahrer müssen stets mehrere Sachen gleichzeitig im Auge behalten«, bestätigt Bernhard Rüb, Sprecher der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. »Das ist ein Grund, warum bei Landwirten automatische Lenksysteme sehr beliebt sind – die Fahrer werden vom Lenken entlastet und können sich auf die eigentliche Arbeit der Maschinen konzentrieren«. Außerdem werde dadurch die Nacharbeit erleichtert.

Allerdings lassen sich mit den bisherigen Fahrassistenzsystemen nur begrenzt Unfälle vermeiden. Dank GPS können sich die Traktoren zwar auf dem Feld gut orientieren. »Aber in den Karten sind nicht alle Hindernisse berücksichtigt«, sagt Rainer Worst vom Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin. »Auf dem Feld begegnet man Tieren, Leute können ihren Schrott entsorgt haben, und nicht zuletzt sind die GPS-Karten nicht fehlerfrei.« Die IAIS-Forscher arbeiten in dem EU-Projekt »Quad-AV« (Ambient Awareness for Autonomous Agricultural Vehicles) daran, den Fahrer auch von der Ausschau nach solchen unerwarteten Hindernissen zu entlasten – und damit den Grundstein für autonome Fahrzeuge auf dem Feld zu legen. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) fördert die Kooperation bis Ende 2012 im Kontext des EU-Forschungsnetzwerks »ERA-NET ICT-Agri«.

Ein Problem ist es, dass die Hindernisse zum Beispiel auf einem Maisfeld hinter Halmen versteckt sein können. »Die bisherigen Systeme mit ihren optischen Verfahren sind für auto-



nomes Fahren auf dem Feld ungeeignet«, sagt Worst. Die Wissenschaftler kombinieren deshalb in Quad-AV vier unterschiedliche Sensoren: 3D-Laserscanner (LADAR), Radar, Stereokamera und Infrarotkamera. Die beteiligten Forschungs-Partner – neben dem IAIS das Dänische Technologische Institut in Odense, IRSTEA im französischen Aubière sowie die italienische Universität Salento – bringen jeweils Erfahrungen mit einem der Sensoren mit. Die Fraunhofer-Forscher sind Experten für die LADAR-Technik.

»Wir haben den Laserscanner erstmals beim RoboCup Rescue 2004 eingesetzt«, sagt Rainer Worst. In dem internationalen Wettbewerb sollten Roboter ein Katastrophenszenario erkunden und Verletzte ausfindig machen. Der Laserscanner erzeugte eine Karte von dem Gebäude, der Roboter markierte darauf die Position der Verletzten. Bei Quad-AV soll der Scanner Hindernisse auf dem Feld erkennen. Die Herausforderung dabei ist die Echtzeiterfassung der Umgebung. Dabei fallen große Datenmengen an. Auf dem Acker müssen die Hindernisse sofort lokalisiert werden und das System muss schnell reagieren – etwa anhalten oder das Objekt umfahren.



Besser als GPS: Eine neue Technik schützt den Landwirt vor unvorhersehbaren Hindernissen bei der Ernte.
© MEV

Den 3D-Laserscanner kombinieren die Forscher vor allem mit den Bildern der Stereokamera. Zunächst erfasst das System die Reflektionen der Laserstrahlen. Aus diesen Informationen entsteht ein dreidimensionales Bild der Umgebung, wenn auch mit geringer Auflösung. Die Stereokamera nimmt dieselbe Szene in hoher Auflösung auf. Am Ende werden beide Bilder übereinander gelegt und so die Nachteile beider Verfahren aufgehoben: Der Scanner alleine kann Objekte nur identifizieren, wenn es sich um klare geometrische Formen handelt. Die Kamera hingegen hat eine kürzere Reichweite und ist stärker von den Lichtbedingungen abhängig.

Seine Stärke zeigt der Laserscanner auch bei der Erfassung des Terrains. Die Punktwolken können Erhebungen und Vertiefungen auf dem Feld hervorheben. Steuert zum Beispiel der Traktor auf so eine Gefahrenstelle zu, drosselt das System seine Geschwindigkeit. Bei verdeckten Hindernissen setzen die Forscher schließlich auf den Radar. Er hat eine Reichweite von hundert Metern, allerdings ist die Auflösung der Bilder noch geringer als beim Laserscanner. Die Infrarotkameras sollen vor allem Tiere ausmachen.

Ihre Körpertemperatur ist höher als die Umgebungstemperatur, im Infrarotlicht wären sie deutlich erkennbar.

Erste Tests sind erfolgt – jetzt geht es ums »fine tuning«

Ziel von Quad-AV ist es, alle Sensoren optimal zu nutzen. Die Wissenschaftler hatten bereits ein Fahrzeug auf Versuchsfeldern in Dänemark im Einsatz. Mit den gewonnenen Daten arbeitet das Team nun am »fine tuning«. Ein paar Verbesserungen konnte die IAIS-Gruppe bereits umsetzen: Beim Feldversuch nahm der Laser noch 360-Grad-Bilder auf. »Das Verfahren kostet viel Zeit, dabei ist es gar nicht notwendig,« sagt Rainer Worst. »Es reicht, wenn der Laser Aufnahmen von dem Bereich in Fahrtrichtung macht«. Die Forscher müssen einen Kompromiss finden zwischen hoher Bildauflösung und schnellem Datenvolumen. Nicht zuletzt soll das gesamte System am Ende wirtschaftlich sein. »Wir könnten leistungsstärkere Sensoren einsetzen. Dann würde die Technik aber mehr kosten als das Fahrzeug – für Landwirte wäre dies nicht attraktiv«, weiß Worst.

An dem Projekt beteiligt sich auch der deutsche Landtechnikkonzern Claas – er stellt neben seinem Know-how ein Versuchsfeld zur Verfügung. Für das Unternehmen ist es ein Schritt in eine neue Richtung bei der Entwicklung von Fahrzeugsystemen. »Wir betreiben viel Aufwand, um immer mehr Leistung aus den Fahrzeugen herauszuholen«, sagt Hans-Peter Grothaus von Claas. »Doch irgendwann stoßen wir an unsere Grenzen – wir müssen uns in Zukunft mehr auf den gesamten Prozess konzentrieren.« Hier lässt sich noch einiges verbessern.

Ein Beispiel: Hat ein Mähdrescher einen vollen Getreidetank, aber der Traktor mit Anhänger steht noch nicht zum Entladen bereit, geht viel Zeit verloren. In Zukunft sollen diese Prozesse besser aufeinander abgestimmt sein. So könnte etwa der Landwirt einen Mähdrescher bedienen, während sich die anderen Fahrzeuge selbstständig nach ihm ausrichten. »Dafür muss es allerdings Systeme geben, die herstellerübergreifend funktionieren – sonst könnten mitunter nicht alle Fahrzeuge eingebunden werden«, sagt Grothaus. »Das Forschungsprojekt kann dafür die Vorarbeit leisten.« ■

Die Guten ins Töpfchen, die Schlechten ...

Wie wird der Wein in diesem Jahr? Wesentlich für den Geschmack ist neben witterungsbedingten Faktoren der Prozess in der Kellerei. In einer Winzereigenossenschaft in Baden-Württemberg wacht jetzt eine optische Sortieranlage über die Qualität der Trauben.

Text: Isolde Rötzer

Nur aus den besten Trauben entsteht ein guter Tropfen. Dafür werden sie sorgfältig sortiert. © plainpicture



Weinlese 2011 bei den Weingärtnern Cleebronn-Güglingen eG: Die angelieferten Trauben kommen in die Abbeermaschine, die Früchte, Blätter und Stängel voneinander trennt und dann die Beeren auf einem Förderband vereinzelt. Dabei passieren sie ein Sortiermodul, das aus dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe stammt. Eine Zeilenkamera erfasst die Beeren auf dem Band, der angeschlossene Rechner wertet das Bild in Millisekunden aus und steuert gezielt eine Batterie pneumatischer Düsen. Blätter, Insekten und unreife Beeren werden mithilfe der Druckluft entfernt. Die IOSB-Forscher haben gemeinsam mit dem auf Getränketechnologie und Weinkellereitechnik spezialisierten Ingenieurbüro Waidelich, der Firma Armbruster-Kelterei-Technologie GmbH und der Forschungsanstalt für Weinbau und Kellereitechnik in Geisenheim einen Prototypen entwickelt, durch den sich Weintrauben optimal verwerten lassen. Später soll daraus eine serienreife Sortieranlage entstehen.

»Im vergangenen Herbst testeten die Winzer unser System«, sagt Dr. Kai-Uwe Vieth, der

am IOSB an der automatischen Sortierung von Schüttgütern arbeitet. Damit die Qualität stimmt, wird das System vorher eingelernt: Es erkennt Essigbeeren, Schimmel, Stängel, Kämme, Blättchen, Insekten und sogar den unterschiedlichen Reifegrad der Trauben. Form und Farbe des »gut«- und des »schlecht-Anteils« spielen eine wichtige Rolle, da die Sortierung überwiegend nach Farben erfolgt. Gelerntes wird gespeichert und muss nur den jeweiligen Rebsorten angepasst werden. Beim Sortenwechsel lassen sich innerhalb von 15 Minuten die neuen Parameter nachlernen. Im vergangenen Jahr wurden so schnell und sicher Viognier, Riesling, Weißburgunder, Lemberger, Trollinger und Cabernet-Dorsa verarbeitet, Kellermeister und Kooperationspartner beurteilten die Sortierergebnisse mit »sehr gut«.

Mehr als fünf Tonnen werden pro Stunde geprüft

Der Experte weiß, dass die Anlage noch großes Potenzial birgt: Bisher konnte sie fünf Tonnen Trauben pro Stunde verarbeiten, künftig soll ein Durchsatz von etwa acht bis zehn Tonnen

erzielt werden. »Das Sortiersystem hilft dabei, Fremdkörper zu entfernen und die Qualität zu steigern. Die Winzer können die Weinstöcke ohne Selektion vollständig abernten, da die optische Sortieranlage die Beeren zuverlässig durchmustert. So lassen sich aus dem Lesegut verschiedene Qualitätsstufen trennen und die Premiumchargen ausbauen«, ist Projektpartner Gunter Waidelich überzeugt.

»Bei der Entwicklung hilft uns die Zusammenarbeit mit der Winzereigenossenschaft Weingärtner Cleebronn-Güglingen eG enorm weiter, die sogar mit dem Titel »Entdeckung des Jahres« 2012 vom Gault & Millau WeinGuide geehrt wurde«, erläutert Vieth. Eine besondere Herausforderung ist es, dass man bei der Weinlese nur saisonal arbeitet. »Das bedeutet, dass Änderungswünsche sofort umgesetzt werden müssen, sonst dauert es bis zur nächsten Saison. Das hat bisher sehr gut funktioniert«, freut sich der Experte. In diesem Jahr erhoffen sich die Forscher durch die Laborergebnisse der Forschungsanstalt Geisenheim zusätzlich verlässliche Werte, mit deren Hilfe Hard- und Software weiter angepasst werden sollen. ■



Kooperation mit Carnot

Fraunhofer-Forscher und die Experten aus den französischen Carnot-Instituten werden auch künftig eng zusammenarbeiten. Binationale Forscherteams kooperieren jetzt in neun neuen Projekten aus den Bereichen Mikroelektronik, Materialwissenschaften, Lebenswissenschaften, Energie und Informations- und Kommunikationstechnik. Im Projekt NextGenPack beispielsweise entwickeln Experten vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising zusammen mit dem Carnot-Institut 3BCAR aus Montpellier eine neue Generation von Verpackungen für Frischeprodukte: Die Folien werden nicht nur aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt, sie sind auch biologisch abbaubar und wirken antibakteriell.

Bereits seit vier Jahren arbeiten Wissenschaftler und Ingenieure von Fraunhofer und Carnot eng zusammen. Ziel ist dabei die Entwicklung marktfähiger Produkte. »Im nächsten Schritt wird es darum gehen, dass wir in dem gemeinsamen Förderprogramm langfristige strategische Partnerschaften auf den Weg bringen«, erklärt Volker Tippmann von der Fraunhofer-Forschungsplanung.



Hochleistungsrechnen

Um die Position Europas im globalen Wettbewerb zu verbessern, haben sich hochkarätige Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen. Gemeinsam wollen sie eine »Europäische Technologie-Plattform für Hochleistungsrechnen« – European Technology Platform for High Performance Computing, kurz ETP4HTP – schaffen.

Mit Hochleistungsrechnen, High Performance Computing (HPC), lassen sich extrem komplexe Prozesse modellieren, optimale Designs oder wissenschaftliche Analysen gewinnen. Die Methode wird dazu benutzt, um Vorhersagen über das Wetter oder Klimaveränderungen zu machen, sichere und energieeffiziente Fahrzeuge oder neue Materialien zu entwickeln. Verschiedene Systeme, die Hard- und Software kombinieren, sind bereits auf dem Markt. Die meisten stammen aus den USA oder Asien.

Derzeit arbeiten die Forscher an der nächsten Generation von noch schnelleren und leistungsfähigeren Systemen. Um Europa im internationalen Rennen voran zu bringen, haben sich jetzt mehr als ein Dutzend namhafter Unternehmen und Forschungseinrichtungen – darunter auch Fraunhofer – vereint, eine ETP4HTP-Strategie erarbeitet und die HPC-Gemeinschaft in Europa zur Zusammenarbeit aufgerufen. Für die Entwicklung der neuen Technologien sind im nächsten Europäischen Förderprogramm Horizon 2020 Fördermittel vorgesehen.



Jahr der Wissenschaft

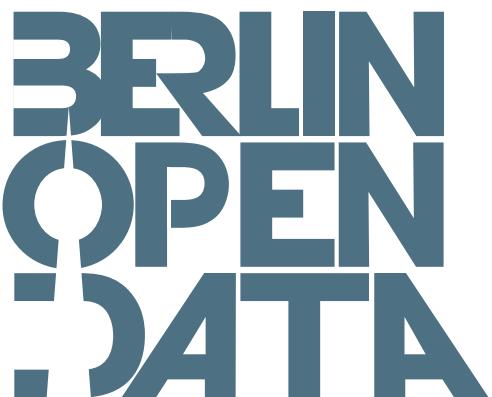
Gemeinsam säubern sie Wasser mithilfe von Diamanten, entwickeln neue Legierungen, erarbeiten Recyclingkonzepte zur Rückgewinnung von Seltenen Erden und betreiben ein mobiles Diagnose-Labor für HIV und Tuberkulose – bereits heute kooperieren Fraunhofer-Forscher in zahlreichen Projekten mit Wissenschaftlern und Ingenieuren aus Südafrika.

In Zukunft wollen die Experten noch enger zusammenarbeiten. Bei der Eröffnungsveranstaltung des Deutsch-Südafrikanischen Jahrs der Wissenschaft in Kapstadt, bei der auch Bundesforschungsministerin Annette Schavan und ihre südafrikanische Amtskollegin Naledi Pandor zugegen waren, stellten zahlreiche Fraunhofer-Institute ihre Projekte vor. »Mehr als zehn unserer Institute sind in Südafrika aktiv oder haben starkes Interesse daran, sich dort zu engagieren«, erklärt Dr. Eckhart Bierdümpel von der Abteilung International Business Development. »Das Land Südafrika bietet eine phantastische Infrastruktur, verfügt über hochqualifizierte Forscher und gilt dazu noch dazu als Türöffner für den Süden des Kontinents.«

Daten frei nutzen

Informationen sind der Rohstoff des 21. Jahrhunderts. Doch öffentliche Daten sind meist schwer zugänglich. Das beginnen Fraunhofer-Forscher zu ändern, indem sie in Berlin und bald bundesweit einen zentralen und freien Zugang mit Portalen für offene Daten schaffen.

Text: Chris Löwer



Auf einen Klick alles im Blick. Wissen, was in der Stadt läuft, wo es Probleme gibt, wie man sich selbst in die städtische Entwicklung einbringen kann oder gar erkennen, was eine Geschäfts-idee sein könnte. Öffentliche Verwaltungen verfügen über enorme Mengen wichtiger, nicht-personenbezogener Daten und Informationen, aus denen sich all das herauslesen lässt. Doch meist behalten die Behörden diesen Schatz für sich, auch, weil er in Papierform vorliegt – oft in wenig strukturierten Dokumenten. Zudem sind die Informationsportale der Verwaltungen meist Einzellösungen, die Prozesse dahinter kaum standardisiert. »Eine Stadt kann lediglich dann intelligent sein, wenn sie über sich Bescheid weiß. Und das geht nur, wenn Daten und Informationen zugänglich sind«, sagt Professorin Ina Schieferdecker, Leiterin des Kompetenzzentrums MOTION des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin, »Doch das Öffnen und Bereitstellen von Datenbeständen in moderner maschineninterpretierbarer Form ist für viele Verwaltungen Neuland.«

Daher hat das FOKUS aufbauend auf seiner Berliner Open-Data-Strategie für den Senat gemeinsam mit BerlinOnline ein Konzept entwickelt, durch das Daten Dritter über eine einheitliche Oberfläche und nach Kategorien strukturiert zugänglich werden. Nachdem die Forscher den Status quo, das Potenzial, organisatorische Prozesse und rechtliche Rahmenbedingungen analysiert sowie eine technische Architektur für die Open-Data-Plattform entwickelt hatten, ging das Berliner Portal (www.daten.berlin.de) im September des vergangenen Jahres online.

Damit war es eine der ersten Anlaufstellen, vor allem für offene Verwaltungsdaten und Anwendungen in Deutschland. Demnächst läuft die digitale Zentrale für Wissenswertes rund um die Stadt im Regelbetrieb und ist ein Schaufenster für die hierzulande noch nicht sehr ausgeprägte Open-Data-Bewegung, die weltweit daran arbeitet, öffentliche Verwaltungsdaten und Informationen weiterer Akteure, zum Beispiel von Organisationen oder aus der Forschung, frei zugänglich zu machen.

Vertrauenswürdiger Zugang zu öffentlichen Daten

In Berlin stehen inzwischen mehr als 100 Datensätze in 20 Kategorien für Recherchen und App-Entwickler bereit. Darunter graphisch aufbereitete Statistiken zu Einwohnerentwicklung und Arbeitslosenzahlen, politische Protokolle und Beschlüsse, Haushaltspolanzungen, öffentliche Ausschreibungen sowie aktuelle Umweltdaten. Aber auch Praktisches für den Alltag gibt es – etwa mietbare Veranstaltungsräume, freie Kita-Plätze, aktuelle Fahrzeiten des ÖPNV, Radrouten oder Angaben über die Badegewässerqualität. Alle Informationen lassen sich leicht finden, werden maschinenlesbar und offen lizenziert bereitgestellt. Schieferdecker: »Das ermöglicht Unternehmen, Organisationen und Bürgern einen vertrauenswürdigen Zugriff auf öffentliche Daten und bietet deren effiziente Bereitstellung, Analyse und Weiterverarbeitung in Diensten und Applikationen.«

Eine solche Applikation ist beispielsweise der Ozon Sonar, der visuell den aktuellen Ozon-

be open be data be berlin



wert für Berlin angibt und vor einer zu hohen Belastung warnt. Oder »wheelmap.org«, eine Online-Karte für rollstuhlgerechte Orte, die ständig erweitert und aktualisiert wird. Denn jeder kann über das Portal oder eine kostenlose iPhone-App barrierefreie Wege finden, eintragen und verändern.

Vertreten auf dem Berliner Portal ist auch OpenStreetMap, ein geradezu prototypisches Projekt für den Gedanken offener Daten: Ziel ist es, eine freie Weltkarte zu erschaffen, indem Zuträger Daten über Straßen, Eisenbahnen, Flüsse, Wälder, Häuser und alles andere, was auf Karten zu sehen ist, erheben. Damit hat die offene Plattform alle Rechte daran. Jeder kann Informationen aus OpenStreetMap lizenzkostenfrei einsetzen und beliebig weiterverarbeiten. Das ist zum Beispiel für Start-up-Unternehmen interessant, die neue Location-based Services anbieten wollen. Sie können die Informationen nutzen, und brauchen nicht gleich die hohen Nutzungsgebühren kommerzieller Geodatenanbieter bezahlen.

Bürgerbeteiligung, Transparenz und Wirtschaftsförderung

Außerdem werden so Bürger direkt beteiligt, die selbst Daten beisteuern, was der Open Data-Ansatz ausdrücklich wünscht. Auf der Berliner Plattform kann überdies jeder Vorschläge für Apps oder Datensätze machen, die aufgenommen werden sollten. Davon profitieren die Behörden: Sie können ihre Datenqualität verbessern, indem Bürger sie auf Fehler oder Lücken hinweisen.

»Beteiligung der Bürger, Transparenz, Wirtschaftsförderung und Effizienz der Verwaltung sind unsere Ziele«, sagt Jens Klessmann. Der Fraunhofer-Forscher des Kompetenzzentrums »Electronic Government and Applications« leitet im Auftrag des Bundesinnenministeriums das Projekt Open-Government-Data Deutschland. Was in Berlin glücklich ist, soll nun auch auf nationaler Ebene realisiert werden. Mehr noch: Das nationale Projekt möchte langfristig einen einheitlichen Zugang zu Daten aus rund 12 000 Kommunen, 16 Bundesländern und den Bundesministerien bieten.

Die Technik

Für das offene Berliner Datenportal wird eine Mehrschichtenarchitektur verwendet, um sowohl eine optimale Bedienung, als auch technische Nachhaltigkeit und Interoperabilität zu sichern. Den Kern bildet die Infrastrukturschicht, die die Bereitstellung und Weiterverarbeitung der stadtrelevanten Daten ermöglicht. Die etablierte Software CKAN (Comprehensive Knowledge Archive Network) der Open Knowledge Foundation erfasst und verwaltet die eigentlichen Datensätze. Das Metadatenschema wurde von FOKUS entwickelt und basiert auf dem Datenaustauschformat JSON (JavaScript Object Notation). Gemeinsam mit den Partnern vom Berliner Open-Data-Portal will FOKUS weitere ausgewählte offene Datenbestände bereitstellen und die nötigen Werkzeuge für die Nutzung entwickeln. In dem europäischen Projekt »Open Cities« arbeiten die Fraunhofer-Forscher zudem an einer Datenplattform für europäische Metropolen wie Amsterdam oder Barcelona. Kontakt über:



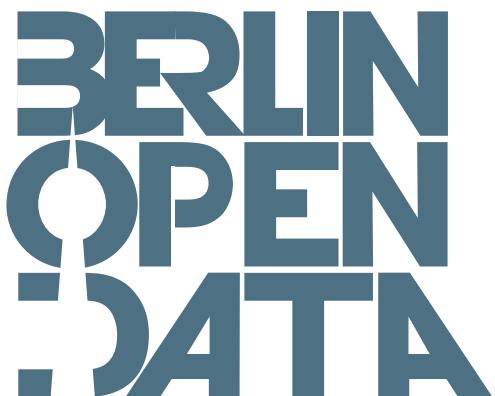
opendata@fokus.fraunhofer.de

»Technisch lässt sich das realisieren. Die größte Aufgabe hier ist es derzeit, Mechanismen für die reibungslose Übertragung bereits existierender Datensatzbeschreibungen zu entwickeln«, sagt Klessmann. Knifflig ist es, die Akteure aller föderalen Ebenen zusammen zu führen und juristische Fallstricke auszuschließen. Denn nur wenn man sich auf ein einheitliches Metadatenschema für die Beschreibung der Datensätze und einfache Lizenzbedingungen für deren Nutzung einigt, wird der Zugang wirklich offen sein.

Das Bundesministerium des Innern veröffentlichte daher Anfang August eine Studie zu Open Government Data, die von den Berliner Fraunhofer-Forschern erarbeitet wurde. Sie wird als Basis für den Prototyp einer nationalen offenen Plattform dienen, der dann ein Jahr lang erprobt werden soll. Relevant ist so eine Lösung auch für die Wirtschaft: »Man kann Unternehmen mit

Geld subventionieren oder mit qualitativ hochwertigen Informationen«, erklärt Klessmann. Vorbild ist das Berliner Modell, bei dem die maschinell verarbeitbaren Daten überwiegend unter freier Lizenz genutzt werden können, um Informationsportale, Smartphone-Anwendungen oder Online-Services mit aktuellen Daten zu versorgen. Denn die sind der neue Treibstoff der Wirtschaft, Verwaltung und Politik.

»Ob Umwelt-, Versorgungs-, Geo- oder andere Daten: der Open-Data-Ansatz ist meines Erachtens der richtige Weg, wenn man die wichtigste Ressource des 21. Jahrhunderts – die Information – erschließen und die Wissensgesellschaft weiterentwickeln will«, sagt FOKUS-Institutsleiter Professor Radu Popescu-Zeletin. Sein Appell: »Diesen Schritt schafft niemand im Alleingang. Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft müssen zusammenkommen, um die Potenziale der Daten zu öffnen.« ■



Integration der Berliner IuK-Institute

Die Fraunhofer-Institute FIRST, FOKUS und den Berliner Teil des ISST haben sich zum 1. Juli 2012 zusammengeschlossen. Ziel der Integration ist es, das Angebot in der Informations- und Kommunikationstechnik-Forschung weiter zu profilieren und auszubauen.

Unter Federführung von Prof. Dr. Radu Popescu-Zeletin, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS wurde ein Konzept für Strukturen und Arbeitsfelder des neuen IuK-Instituts erarbeitet. Im neuen Institut sind etwa 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig, die in Zukunft alle unter dem Namen FOKUS agieren.

Die inhaltliche Planung basiert auf dem Leitthema »Smart Cities«. Denn die Stadt der Zukunft benötigt ganzheitliche IuK-Lösungen, sei es für Mobilität, eHealth, öffentliche Sicherheit, eGovernment oder Energie. Um Know-how und Kompetenzen zu nutzen, werden die an den Instituten bestehenden Forschungseinheiten weitergeführt, in Form von elf Kompetenzzentren. Das integrierte Institut setzt weiterhin auf eine internationale Ausrichtung und interkulturelle Offenheit – bei Mitarbeitern wie in den Projekten. Die enge Anbindung an die Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der Technischen Universität Berlin soll erhalten und gestärkt werden, mit einer Professur im Fachgebiet »Offene verteilte Systeme«.

Jubiläum: 25 Jahre Solarstrom für Rappenecker Hütte



Die Rappenecker Hütte besteht seit dem 17. Jahrhundert. Sie hat keinen Anschluss an das öffentliche Stromnetz, wird aber seit 1987 mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen versorgt. © Fraunhofer

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE hat bereits vor 25 Jahren auf der Rappenecker Hütte im Schwarzwald eine Photovoltaik-Hybridanlage installiert. Seither deckt der Waldgasthof durch die Sonne einen Großteil seines Strombedarfs.

Die Solaranlage nutzen die Freiburger ISE-Wissenschaftler auch als Forschungsstation für netzferne Energieversorgungssysteme. In den vergangenen Jahren wurde die Anlage sukzessive weiter ausgebaut: 1990 kam ein Windrad hinzu, 2003 installierten die Forscher eine Brennstoffzelle. So konnte der Einsatz des Dieselgenerators immer weiter reduziert werden. Zum Jubiläum stellt die Firma FutureE 2012 eine neue Brennstoffzelle mit 4 kW samt Peripherie

kostenlos zur Verfügung. Mit einem Wirkungsgrad von 55 Prozent ist das Brennstoffzellensystem erheblich effizienter als ein Dieselgenerator, der maximal 15 Prozent erreicht. Der Generator bleibt als Notreserve in der Anlage.

Heute wird der Jahresstromverbrauch von 4000 kWh der Rappenecker Hütte zu etwa 65 Prozent von der Photovoltaik gedeckt. Der Windkraftanteil beträgt circa 10 Prozent und der Brennstoffzellen-Anteil etwa 25 Prozent. Interessierte Wanderer und Mountainbiker können das Zusammenspiel von Photovoltaikanlage, Windkraftanlage und Brennstoffzelle in »gläsernen« Technikräumen mit Erläuterungstafeln kennenlernen. In den Wintermonaten ist der Gasthof geschlossen.

Preis für Nachwuchswissenschaftler

Für seine Forschungen im Bereich Biomechanik erhält Oliver Röhrle, Juniorprofessor des Exzellenzclusters Simulation Technology (SimTech), einen »ERC Starting Grant« des Europäischen Forschungsrates. Röhrle entwickelt am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart im Rahmen des ATTRACT-Programms ein virtuelles orthopädisches Labor um spezielle Bewegungsabläufe von beinamputierten Menschen zu simulieren.

Mit Hilfe der Ergebnisse des ERC und der Attract-Gruppe können künftig bessere Beinprothesen hergestellt werden. Die kommenden fünf Jahre fördert der ERC die Weiterentwicklung seiner Anwendungen mit mehr als 1,6 Millionen Euro. »Der ERC Starting Grant ist eine tolle Bestätigung meiner Forschungsarbeiten«, freut sich Röhrle. »Die Fördergelder helfen mir, meine Biomechanik-Gruppe auch langfristig hervorragend aufzustellen zu können.«

Fraunhofer auf Messen

Oktobe^r

- 23. – 25. Oktober
Parts2clean, Stuttgart
Leitmesse für industrielle Teile- und Oberflächenreinigung
- 23. – 27. Oktober
Euroblech, Hannover
Internationale Messe für Blechbearbeitung

November

- 06. – 08. November
VISION, Stuttgart
Weltleitmesse der Bildverarbeitung
- 13. – 16. November
electronica, München
Weltleitmesse für Elektronische Komponenten, Systeme und Anwendungen

- 14. – 17. November
MEDICA, Düsseldorf
Weltforum der Medizin

- 22. – 24. November
denkmal, Leipzig
Europäische Messe für Denkmalpflege, Restaurierung und Altbausanierung

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

Franziska Kowalewski
 Susanne Pichotta
 Welf Zöller

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



Beim iBall sind zwischen der Blase und der äußeren Kunstlederhülle elektrische Spulen integriert, die das Antennensystem im Tor aktivieren. © Select

Intelligentes Tor

Drin oder nicht drin? Bei der Beantwortung dieser Frage setzt der Fußball-Weltverband FIFA künftig auf Technikunterstützung via GoalRef und Hawk-Eye. Die beiden Systeme werden bei der FIFA Klub-Weltmeisterschaft und beim Confederations Cup eingesetzt.

Text: Birgit Niesing

Oleg Blochin war fassungslos. Minutenlang tobte der ukrainische Nationaltrainer am Spielfeldrand. Beschwerte sich beim vierten Offiziellen. Schimpfte. Gestikulierte wild. Vergebens. Das klare Tor des Fußball-EM-Gastgebers 2012 im entscheidenden Vorrundenspiel gegen England zählte nicht. In der 62. Minute hatte der britische Schlussmann Joe Hart einen Schuss von Marco Devic in Richtung eigenes Tor abgefälscht. Verteidiger John Terry rettete für den geschlagenen Keeper und schlug den Ball aus dem Tor – allerdings erst deutlich hinter der Linie. Doch das sah der Torrichter nicht – Schiedsrichter Viktor Kassai ließ das Spiel weiterlaufen. Die Ukraine, die gegen Großbritannien gewinnen musste, schied mit einer 0:1-Niederlage gegen England aus dem Turnier aus. Nach der Begegnung meinte Trainer Blochin enttäuscht: »Sie haben uns ein Tor gestohlen.«

Solche Fehlentscheidungen soll es künftig nicht mehr geben. Der Fußball-Weltverband FIFA setzt auf Technikunterstützung für die Schiedsrichter, damit man entscheiden kann, ob ein Fußball mit vollem Umfang die Torlinie überquert hat oder

nicht. Das für Regelfragen zuständige International Football Association Board (IFAB) sprach sich in seiner Sitzung am 5. Juli für zwei Torlinientechnologien aus: GoalRef, das intelligente Tor, und das kamerabasierte Hawk-Eye.

Das von Forschern des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen entwickelte GoalRef setzt auf Magnetfeld-Technologie. »Die Technik funktioniert ähnlich wie der Diebstahlschutz im Kaufhaus«, erklärt René Dünkler, Sprecher des GoalRef-Projekts, das System. Zehn Antennen, hinter Pfosten und Querlatte liegend, erzeugen und überwachen ein schwach magnetisches Feld. Sobald sich der Ball der Torlinie nähert, wird dieses Feld von dünnen Spulen im Fußball beeinflusst. Ein externer Prozessor stellt anhand der Antennensignale eindeutig fest, ob das Leder die Torlinie mit vollem Umfang überschritten hat oder nicht. »Man kann sich GoalRef als einen unsichtbaren Vorhang vorstellen, der hinter Querlatte und Torlinie gespannt ist. Sobald der Ball diesen ›Vorhang‹ komplett passiert, wird ein Tor erkannt«, sagt Ingmar Bretz, Projektleiter von GoalRef. Diese Infor-

mation sendet das System automatisch über verschlüsselte Funksignale in Echtzeit an die Schiedsrichter, deren Spezialarmbanduhren das Ereignis visuell und mittels Vibration anzeigen. Der große Vorteil von GoalRef: Es lässt sich einfach installieren und arbeitet sehr robust. Nachdem die Tore mit der Technologie ausgestattet sind, kalibriert sich das System selbst.

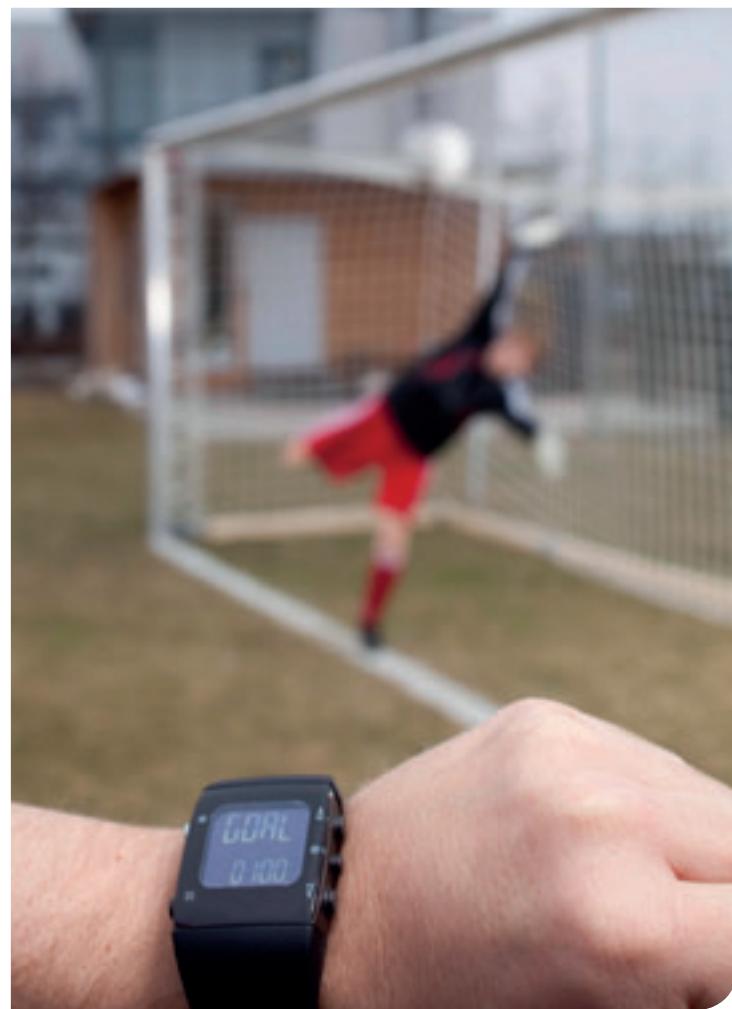
»In den Tests und den Testspielen haben wir den Ball unseres langjährigen Entwicklungspartners, des dänischen Herstellers Select, verwendet«, informiert René Dünkler. In das Spielgerät sind zwischen der Blase und der äußeren Kunstlederhülle drei elektrische Spulen integriert, die das Antennensystem im Tor aktivieren. Peter Knap, CEO von Select: »Die Herausforderung war es, einen Ball zu entwickeln, der sogar einem Schuss von Ronaldo standhält und gleichzeitig mit dem intelligenten Tor kommuniziert.« Der iBall ist auch unter dem Namen Derbystar erhältlich. Künftig können Spielbälle weiterer Hersteller mit GoalRef-Technik ausgerüstet werden.

Die FIFA hatte sich vor mehr als einem Jahr dafür entschieden, den möglichen Einsatz von technischen Hilfsmitteln untersuchen zu lassen. Grund hierfür waren einige Fehlentscheidungen – unter anderem bei der WM 2010 mit dem für England nicht gegebenen Tor im Spiel gegen Deutschland. Zunächst wurden acht Torlinientechnologie-Systeme im November und Dezember 2011 im Auftrag des International Football Association Board getestet. Die Bewertungskriterien erstellte die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA). Auf der Basis dieses Kriterienkatalogs konnten sich nur zwei Verfahren für die nächste Testphase qualifizieren – neben GoalRef auch das aus England stammende Hawk-Eye.

Dieses System wird bereits im Tennis eingesetzt. Bei der kamerabasierten Technologie sind mehrere Hochgeschwindigkeitskameras auf das Spielgeschehen in der Nähe der Tore gerichtet. Ein Computer ermittelt mithilfe geometrischer Berechnungen die genaue Position des Balls und sendet bei einem Tor ein Signal auf die Armbanduhr des Schiedsrichters.

In der zweiten Prüfphase haben die unabhängigen Tester der EMPA im Labor, in Feldtests, im Training und bei Live-Profilspielen die beiden Systeme geprüft. Insgesamt wurden jeweils mehrere tausend Torschüsse ausgewertet, um die Zuverlässigkeit zu beurteilen und zu prüfen, ob die Schiedsrichter auch sekundenschnell die Benachrichtigung erhalten. Diese umfangreichen Untersuchungen haben beide Systeme erfolgreich bestanden.

Es ist geplant, die beiden Torlinien-Technologien bereits bei der Klub-Weltmeisterschaft in Japan 2012 und beim Confederations Cup 2013 in Brasilien einzusetzen. Auch bei der nächsten Weltmeisterschaft in Brasilien soll die Torlinientechnologie genutzt werden.



GoalRef erkennt, ob der Ball die Torlinie mit vollem Umfang überquert hat. © Fraunhofer IIS

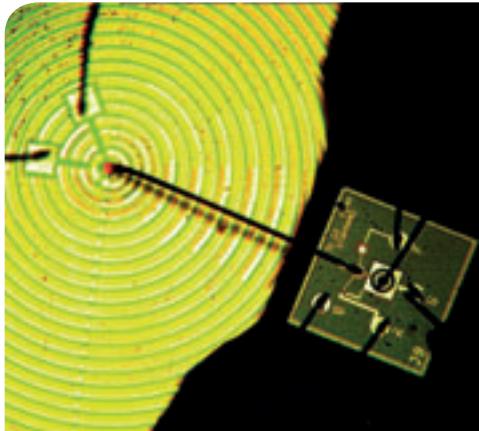
Doch wie geht es in der Bundesliga, der englischen Premier League oder der spanischen Primera División weiter? Die verschiedenen Ligen können nun entscheiden, ob sie künftig GoalRef, Hawk-Eye, Torrichter oder keine zusätzliche Unterstützung nutzen wollen. Der DFB und die Deutsche Fußball-Liga setzen auf Technikunterstützung. »Wir sind uns mit unseren Schiedsrichtern einig, dass wir, anders als die UEFA, nicht die Torrichter einführen werden«, betonte DFB-Präsident Wolfgang Niersbach. Insbesondere die deutschen Referees begrüßen die Technikunterstützung: »Das wird einen enormen Druck von den Schiedsrichtern nehmen«, sagte Herbert Fandel, der Vorsitzende der Schiedsrichterkommission des DFB.

Die Torlinientechnik wird bereits voraussichtlich in der kommenden Saison (2013/14) in deutschen Stadien eingesetzt. Dann brauchen sich Fußball-Trainer aber auch die Fans nicht mehr über falsche Torentscheidungen ärgern. ■

Mit Röntgenblick schnell erkannt

Blitzschnell identifizieren neue hochempfindliche Röntgendetektoren Inhaltsstoffe in Abfall, Wasser oder Böden. Fraunhofer-Forscher haben gemeinsam mit der Ketek GmbH einen mobilen Silizium-Driftdetektor entwickelt.

Text: Andreas Beuthner



Der Ketek Silizium-Driftdetektor ist mit einem Auswertechip des EMFT verbunden. © Ketek

Grüne Flaschenhälse, braune Glassplitter, kaputte Marmeladengläser – mehrere Tonnen Scherben in allen Farben und Größen schiebt das Förderband ständig durch die Recyclinganlage. Sekundenschnell erkennt ein Detektor die chemischen Bestandteile und schon lassen sich die Glasscherben nach ihren Inhaltsstoffen – etwa Titan, Blei, Zink und Zirkonium – aussortieren.

Möglich wird die blitzschnelle Analyse durch hochempfindliche Röntgendetektoren, wie sie Wissenschaftler der Fraunhofer- Einrichtung für Modulare Festkörper-Technologien EMFT in München gemeinsam mit der Ketek GmbH entwickeln. Die modernen Röntgendetektoren erfassen die chemischen Elemente anhand ihrer charakteristischen Fluoreszenzstrahlung und wandeln diese in ein elektronisches – und damit

weiter verarbeitbares – Digitalsignal um. Für dieses Kunststück ist nicht einmal ein hochgerüstetes Messlabor notwendig: »Der Silizium-Driftdetektor lässt sich auch in einem handlichen Gerät von der Größe einer Akkubohrmaschine unterbringen«, sagt Dr. Lars Nebrich, Projektleiter im Bereich Strahlungssensoren des EMFT.

Der Mikrochip erfasst das Strahlungsecho von fast jedem Element

Klein, schnell und mit einer Auflösung von wenigen Elektronenvolt sollen die Halbleiterdetektoren mit dem speziellen Auslesechip sein. So steht es im Pflichtenheft des Münchener Unternehmens Ketek, einem Hersteller hochempfindlicher Strahlungsdetektoren. Zusammen mit Ketek-Entwicklern arbeiten EMFT-Wissenschaftler an einer





Glasscherben lassen sich mithilfe des neuen Röntgendetektors in rasanter Geschwindigkeit nach ihren Inhaltstoffen sortieren. © plainpicture

einen geringeren Kühlaufwand im Messbetrieb. Der Silizium-Driftdetektor kommt mit einem thermoelektrischen Kühelement aus, um bei einer Arbeitstemperatur von -35 °Celsius optimale Messergebnisse zu erzielen.

Im Inneren des mikroelektronischen Bauteils sind mehrerer Funktionen auf engstem Raum integriert, wobei die Raumladungszone in der Diode besonders angeordnet ist. Dort treffen während eines Messvorgangs die vom bestrahlten Material zurückgeworfenen Röntgenquanten ein. Der Photonenverband wird in Ladungsträgerpaare getrennt, die sehr schnell zur Anode beziehungsweise Kathode »driften«. Bis zu zehn Millionen Photonen je Sekunde registriert der SDD-Chip. Das reicht aus, um beispielsweise Materialanalysen an Förderbändern mit Bandgeschwindigkeiten von bis zu vier Metern pro Sekunde durchzuführen.

Mehr Leistungskraft zum schnellen Photonenzählern schöpft der SDD-Röntgendetektor aus seiner Fläche. Während noch vor fünf Jahren der Detektionsbereich auf 10 bis 15 Quadratmillimeter beschränkt war, erreichen die aktuellen Ketek-Detektoren bereits eine Fläche von 100 Quadratmillimeter. Die größere Detektorfläche erfasst mehr Photonen und steigert die Messgeschwindigkeit. Die Komponenten werden mit kurzen Schaltungswegen in eine Keramik eingelassen und hermetisch in einem Gehäuse abgeschlossen, so dass weder Staub noch Kondenswasser die Auswertung beeinträchtigt.

Die spezielle Transistorstruktur ist der Clou

Das eigentliche Geheimnis des hochempfindlichen Detektors steckt in einer speziellen Transistorstruktur mit einem Sperrschiicht-Feldeffekttransistor (JFET). Der Transistortyp hat gegenüber den herkömmlichen Metall-Oxid-Feldeffekttransistoren einen großen Vorteil: »Dieser rauscharme Sperrschiicht-Feldeffekttransistor ist die erste sehr ladungsempfindliche Vorverstärkerstufe und wird sehr nahe am SDD-Chip angebracht, damit das Signal vor verfälschenden Fremdeinflüssen geschützt ist«, betont Nebrich.

Mit den Ergebnissen ihrer Forschungsarbeiten haben die EMFT-Wissenschaftler den Grundstein für eine ganze Reihe von Detektoren auf Siliziumbasis geschaffen. Vor allem verbesserten sich die Leistungsdaten der Flächendetektoren so weit, dass sie auch außerhalb des Labors für die Vor-Ort-Analyse in Frage kommen. »Grundsätzlich lassen sich alle Elemente zwischen Beryllium und etwa Cadmium sehr gut an Ort und Stelle detektieren«, sagt Nebrich. Ein paar Einschränkungen gibt es bei sehr leichten Elementen wie Wasserstoff oder Helium: In diesem Fall wird die Röntgenstrahlung absorbiert, bevor sie die Detektorfläche erreicht. Alle anderen Stoffe wie Metalle, Farbpigmente oder auch Uran hinterlassen ihre Spektralspuren auf der sensiblen Detektoroberfläche.

Vielfältige Anwendungen für den hochempfindlichen Detektor

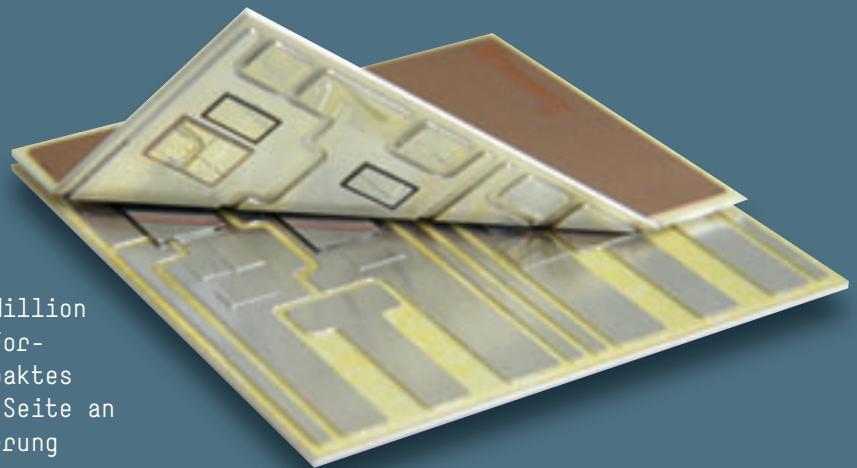
Nicht nur in Recycling-Anlagen sorgen Silizium-Driftdetektoren für die schnelle Analyse von Wertstoffen, auch beim Echtheitsnachweis von Kunstobjekten oder in der Umweltanalytik können die kleinen Tausendsassas wertvolle Hilfe leisten. Die Forscher arbeiten bereits an einem Detektor, der Feinstaub erkennt. Die digitale Verarbeitung der Detektorsignale ermöglicht es, die Ergebnisse gleich per Funk oder Datenkabel an die zuständige Überwachungsstelle zu übermitteln – bisher gelangen die feinen Partikel in stationäre Filteranlagen, die in regelmäßigen Abständen von einem Mitarbeiter eingesammelt und ins Labor transportiert werden.

Weitere Anwendungsgebiete können der Bergbau, die geologische Mineralforschung oder die Prozesskontrolle in der Metallverarbeitung sein. Die hochempfindlichen Röntgendetektoren sind zudem für den Verbraucherschutz und die Qualitätssicherung von Nahrungsmitteln interessant. »Wir glauben, dass es einen großen Wachstumsmarkt für die neue Messtechnik gibt«, sagt Nebrich. ■

zukunftsweisenden Lösung, wie sich komplexe Messungen auf Basis eines kompakten Silizium-Driftdetektors (SDD) zuverlässig realisieren lassen. Dabei erfasst ein hochempfindlicher Mikrochip nach der Anregung mit Röntgenstrahlen in wenigen Mikrosekunden das Strahlungsecho von nahezu jedem chemischen Element.

Der Messvorgang beruht auf einer Röntgenfluoreszenzanalyse, die ohne Rasterelektronenmikroskop mit Vakuumkammer und aufwändiger Stickstoff-Kühlung auskommt. Die Experten setzen auf ein verbessertes Chipdesign. Die Halbleiterchips lassen sich auf einem normalen Siliziumwafer mit üblichen Halbleiterprozessen in einem Reinraum herstellen. Die Vorteile der mikroelektronischen Lösung: Sie ermöglicht eine kostengünstige Fertigung der Bauteile sowie

Kompakte Leistungsmodule fürs Elektroauto



Im Jahr 2020 sollen auf Deutschlands Straßen eine Million Elektroautos unterwegs sein. Zehn Unternehmen und Forschungseinrichtungen arbeiten im Projekt »Ultrakompaktes Leistungs-Modul höchster Zuverlässigkeit – UltiMo« Seite an Seite daran, dieses ehrgeizige Ziel der Bundesregierung umzusetzen. Mit dabei: drei Fraunhofer-Institute.

Text: Katja Lüers

Neuartiges Modulkonzept für doppelseitige Modulkühlung unter Silber-Sintertechnologie. © Fraunhofer IISB



Sich fortzubewegen, gehört zu den Grundbedürfnissen der Menschen. Damit wir uns jedoch auch künftig Mobilität leisten können, sind umweltfreundliche, effiziente und bezahlbare Alternativen zum klassischen Verbrennungsmotor gefragt. In Deutschland fahren zurzeit etwa 3500 E-Fahrzeuge, bis zum Jahr 2020 sollen es eine Million sein und bis 2030 sogar sechs Millionen. Deutschland will Leitmarkt und Leitanbieter in der Elektromobilität werden. So lautet die Vorgabe der Bundesregierung. Das Projekt »Ultrakompaktes Leistungs-Modul höchster Zuverlässigkeit« trägt dazu bei, dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen. Sieben Unternehmen aus der Elektronik- und Automobilindustrie arbeiten eng mit den Fraunhofer-Instituten für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe, für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin sowie für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen zusammen, um effizientere leistungselektronische Antriebselektroniken für Hybrid- und Elektrofahrzeuge

zu erforschen. Bis Juni 2013 entwickeln sie ein künftiges Modulkonzept, das es ermöglicht, Leistungsmodule deutlich kompakter und flacher als heute üblich zu realisieren. Die Wissenschaftler testen neue Materialien und entwickeln eine äußerst effektive beidseitige Kühlung der Bauelemente. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt »UltiMo«.

Energie sparen mit neuer Leistungselektronik

Die Leistungselektronik gilt als Schlüsseltechnologie zur effizienten Ressourcenschonung. Sie ermöglicht es, mithilfe von elektronischen Bauteilen, elektrische Energie verlustarm und schnell umzuformen. Ein einfaches Beispiel ist der Wechselrichter, der den Gleichstrom einer Photovoltaikanlage in Wechselstrom fürs Stromnetz umwandelt. Experten schätzen

die Einsparpotenziale durch den Einsatz moderner Leistungselektronik auf bis zu 30 Prozent des gesamten Bedarfs an elektrischer Energie.

»Momentan ist bei den Elektroautos der gesamte elektrische Antrieb, also Energiespeicher, Elektronik und Motor, in der Herstellung noch zu teuer, als dass er wirtschaftlich einsetzbar wäre«, erklärt Andreas Schletz vom Zentrum für Kfz-Leistungselektronik ZKLM in Nürnberg, eine Außenstelle des IISB. Er leitet die Gruppe »Materialien und Zuverlässigkeit«, in der das Projekt »UltiMo« läuft, und hat es mit aus der Taufe gehoben. Besonders teuer ist der chemische Energiespeicher, sprich die Batterie, aber auch in der Leistungselektronik müssen die Kosten noch deutlich reduziert werden.

Klein, zuverlässig und preisgünstig

Im gemeinsamen Forschungsfokus der ISIT-, IZM- und IISB-Wissenschaftler steht das Leistungsmodul im Elektroauto. Als Bindeglied zwischen Energiespeicher und elektrischem Antrieb schaltet es die Ströme und Spannungen. Mit seiner Performance stehen und fallen die Effizienz, Zuverlässigkeit und Lebensdauer des gesamten Systems. »Unsere Aufgabe ist es, den Stand der Technik dahin gehend zu entwickeln, dass dieses Bauteil deutlich kleiner und möglichst preisgünstig wird«, sagt Schletz. Gleichzeitig soll die Lebensdauer der Module erheblich verbessert werden. Sie errechnet sich in den Antrieben der bisherigen Elektro- und Hybridfahrzeugen maßgeblich durch die stromführenden Drahtverbindungen zu den Halbleiter-Chips. Ständige Temperaturwechsel und wechselnde Leistungsanforderungen belasten die dünnen Bonddrähte extrem. Entsprechend eingeschränkt ist ihre Überlebensdauer. Die Drähte sind oft bereits zerstört, bevor alle anderen Komponenten an die Verschleißgrenze stoßen.

Die Fraunhofer-Forscher verfolgen nun einen völlig neuen Ansatz in Form einer flächigen Kontaktierung und Anbindung der Halbleiteroberflächen. Ihr Modul erinnert vom Aufbau her an ein Sandwich: Die Leistungshalbleiter werden zwischen zwei Platinen (DCBs) aufgebracht. »Mit diesem Ansatz gelingt es uns, eine viel größere Chipfläche gleichmäßig zu kontaktieren. Statt der unzähligen Drähtchen haben wir nun oben eine einzige Lot- oder Sinterschicht und darüber den Schaltungsträger«, erklärt Schletz. Die Folge ist eine konzeptionell und technologisch verlängerte Lebensdauer des Moduls. Die Fraunhofer-Wissenschaftler belassen es aber nicht bei dem veränderten Aufbau und der vollflächigen Kontaktierung. »Wir beschäftigen uns zudem mit der thermischen

Seite des Leistungsmoduls«, sagt Andreas Schletz. Bisher sei es üblich, dass die Halbleiter nur einseitig gekühlt werden – für die thermisch hochbelasteten Komponenten ein großer Nachteil. »Wir haben nun eine beidseitige Kühlung entwickelt«, sagt Schletz. Die Bauteile werden mit einem Wasser-Glykol führenden Kühlkörper gleichmäßig gekühlt, sodass an der Ober- und Unterseite des Chips ähnliche thermische Bedingungen herrschen. Damit halbiert sich der thermische Widerstand, und es entstehen zwei neue Möglichkeiten der Effizienzsteigerung: entweder lässt sich die Chipfläche um die Hälfte reduzieren – damit sinken auch die Materialkosten für die teuren Halbleiterbauelemente. Oder man erhöht die Leistung, da nun der doppelte Strom durch das Leistungsmodul fließen kann.

»Ein solches Leistungsmodul mit doppelseitiger Kühlung kann gegenwärtig nicht mit kommerziell erhältlichen Halbleiter-Leistungsbauelementen realisiert werden«, erklärt Jürgen Schliwinski vom ISIT. »Unser Part ist es deshalb, neuartige laser-aktivierte Chips herzustellen, sogenannte Feldstop IGBTs (Field-Stop Insulated Gate Bipolar Transistors), die optimal an den Modulaufbau angepasst sind. Das Fraunhofer-Design berücksichtigt dabei besonders die speziellen Anforderungen zum doppelseitigen Aufbau der IGBTs, denn die Chips müssen sowohl an ihrer Vorder-, als auch an der Rückseite lötfähig sein.«

Durch das neue Aufbaukonzept lässt sich knapp ein Drittel der Gesamtkosten für das Leistungsmodul einsparen. Und da die Leistungsmodule nun kleiner sind, reduziert sich das Volumen des Steuergeräts, wertvoller Platz wird gewonnen. Ein weiterer positiver Aspekt: Man halbiert die Schaltverluste. Das steigert die Energieeffizienz. Zudem lässt sich das künftige Modul relativ einfach in Elektro- und Hybridfahrzeuge integrieren.

Die Projektpartner wollen bis zum Ende der Projektdauer im Juni 2013 ihre Forschungsergebnisse anhand eines Elektroniksteuergeräts zur dreiphasigen Ansteuerung eines Elektromotors im Kraftfahrzeug nachweisen. Extreme Umgebungstemperaturen im Bereich von -40 bis +125°C und starke Vibratoren stellen die Leistungsfähigkeit der neuen Aufbautechnik im Test auf den Prüfstand. Aktuell hat vor allem die Automobilindustrie großes Interesse daran, dass die leistungselektronischen Steuergeräte kompakter und kostengünstiger werden. Doch ein erfolgreich entwickeltes Modulkonzept könnte auch andere Märkte erobern: beispielsweise die Luftfahrtindustrie, die industrielle Antriebs- und Stromversorgungstechnik, die Bahntechnik, sowie die regenerative Energieerzeugung und -verteilung. ■

Nano-Noppen entspiegeln Kunststoff

Mottenaugen dienten den Forschern als Vorbild: Unsichtbare nuppenartige Nanostrukturen machen Objektive lichtstärker und erhöhen die Transparenz von Klarsichtfolien.

Text: Michaela Neuner

Gut sehen, aber selbst nicht gesehen werden – für nachtaktive Insekten überlebenswichtig: Wenn Motten nachts unterwegs sind, saugen ihre tief schwarzen Augen jeden noch so schwachen Lichtstrahl förmlich auf. Dennoch verrät nicht das kleinste Glitzern ihre Position. Milliarden winziger Noppen auf ihren Facettenaugen verhindern Reflexionen und lassen das auftreffende Licht nahezu verlustfrei passieren.

Ähnliche Strukturen erzeugt ein am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena entwickeltes Verfahren auf Kunststoffoberflächen. Die Forscher nutzen das Plasmaätz-Verfahren (siehe Kasten). Allerdings nicht zur Tarnung: Im Fokus der Wissenschaftler stand die verbesserte Lichtausbeute von Objektiven für Kameras oder Mikroskope. »Objektive bestehen oft aus mehreren kompliziert geformten Linsen. Sind diese nicht entspiegelt, geht an jeder Oberfläche ein Teil des Lichts durch Reflexion verloren«, erklärt Dr. Ulrike Schulz vom Fraunhofer IOF. Nur eine effektive Anti-Reflex-Schicht verhindert dies. Das Plasmaätz-Verfahren haben nun Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik

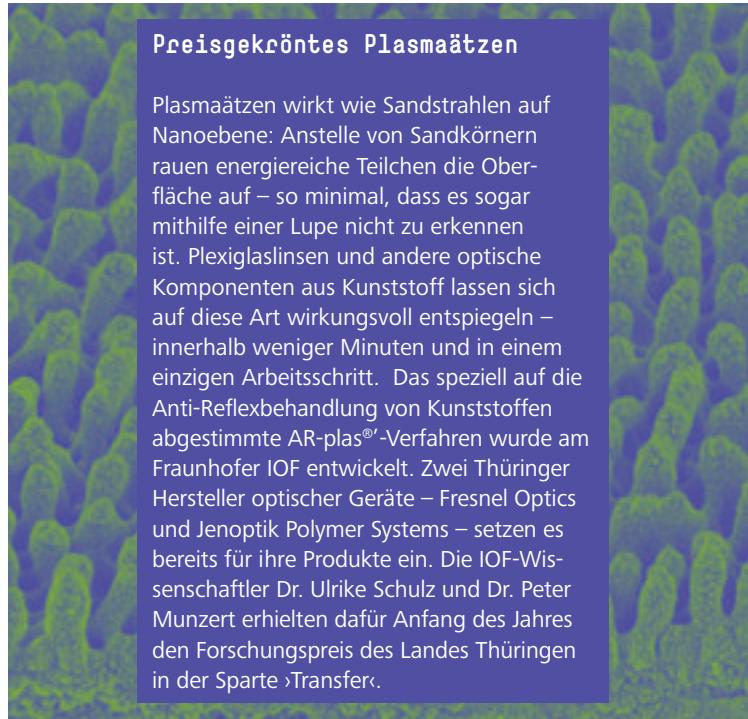
FEP in Dresden zusammen mit den Jenaer Optik-Spezialisten für die Oberflächenstrukturierung von Kunststofffolien im industriellen Maßstab adaptiert. So lassen sich Folien aus Polyethylen-Terephthalat (PET) und Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) sowie Triacetatzellulose (TAC) entspiegeln, die häufig in LC-Displays eingesetzt werden. »Insbesondere für die weit verbreiteten PET-Folien ist das Verfahren sehr interessant«, meint Dr. Matthias Fahland vom Fraunhofer FEP. Bei ihnen lässt sich durch die besondere Oberflächen-Struktur die optische Reflektion von 12 Prozent auf 0,2 Prozent reduzieren.

Folien erhalten Mottenaugen-Noppen

Ihre Mottenaugen-Struktur erhalten die Kunststofffolien in einem Dual-Magnetron-Sputter-System (DMS). Die je nach Art der Maschine 20 bis 60 Zentimeter breiten Folien durchlaufen die DMS-Anlage im Rolle-zu-Rolle-Verfahren mit einer Geschwindigkeit von etwa zwei Metern pro Minute. Die Industrie setzt die DMS üblicherweise zum Beschichten ein. Beim Plasmaätzten passiert das Gegenteil: Unter Vakuum

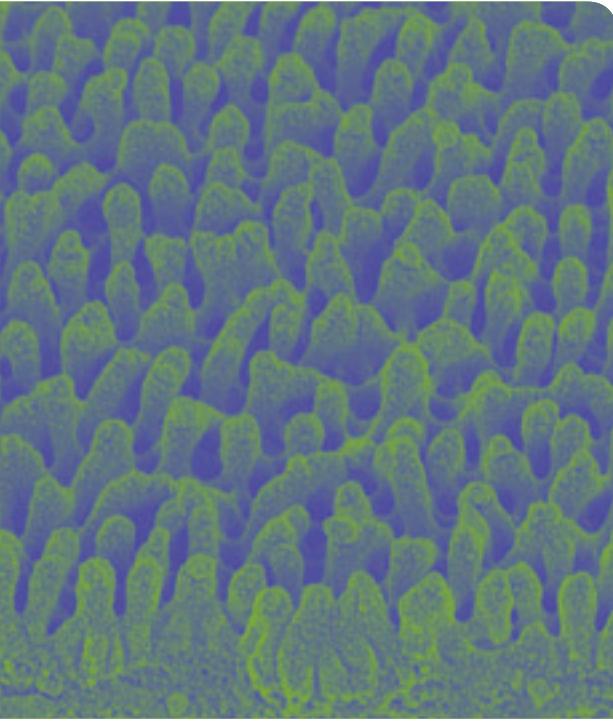
Preisgekröntes Plasmaätzen

Plasmaätzen wirkt wie Sandstrahlen auf Nanoebene: Anstelle von Sandkörnern rauen energiereiche Teilchen die Oberfläche auf – so minimal, dass es sogar mithilfe einer Lupe nicht zu erkennen ist. Plexiglaslinsen und andere optische Komponenten aus Kunststoff lassen sich auf diese Art wirkungsvoll entspiegeln – innerhalb weniger Minuten und in einem einzigen Arbeitsschritt. Das speziell auf die Anti-Reflexbehandlung von Kunststoffen abgestimmte AR-plas®-Verfahren wurde am Fraunhofer IOF entwickelt. Zwei Thüringer Hersteller optischer Geräte – Fresnel Optics und Jenoptik Polymer Systems – setzen es bereits für ihre Produkte ein. Die IOF-Wissenschaftler Dr. Ulrike Schulz und Dr. Peter Munzert erhielten dafür Anfang des Jahres den Forschungspreis des Landes Thüringen in der Sparte ›Transfer‹.



schießen energiereiche Teilchen eines ionisierten Sauerstoffgemisches auf die Folienoberfläche. Dadurch entstehen nanometergroße Hohlräume, Gipfel, Grate und Täler. »In diesen Nano-Landschaften mischen sich Kunststoff und Luft so, dass Reflexionen und Streuungen nahezu vollständig verhindert werden«, erklärt Dr. Ulrike Schulz. Ähnlich wie bei den Mottenaugen, können bis zu 99 Prozent des sichtbaren Lichts den Kunststoff passieren. In welchem Winkel das Licht einfällt, spielt dabei fast keine Rolle mehr. Das funktioniert jedoch nur mit Strukturen im Nanobereich. »Wäre die Struktur grober, würde sie streuen. Das Licht würde nach allen Seiten diffus reflektiert werden, und man hätte auch keine höhere Lichtdurchlässigkeit«, erläutert die Wissenschaftlerin. Um das zu verhindern, dürfen Erhebungen, Hohlräume und Vertiefungen nicht länger oder breiter sein als 150 Nanometer.

Wie tief die Strukturen in die Oberfläche eingätzt werden, hängt davon ab, welche Anteile des Lichts passieren sollen. Im Gegensatz zur Entspiegelung mittels Mehrlagen-Interferenz-Beschichtungen wirkt eine 200 nm starke Mottenaugen-Struktur nahezu über das gesamte



Noppenartige Nanostrukturen erhöhen die Transparenz von Klarsichtfolien. Die rechte Seite der Folie ist nicht mit Mikrostrukturen versehen.
© Fraunhofer FEP

Spektrum sichtbaren Lichts: »Mehrlagen-Interferenz-Schichten sind auf einen bestimmten Einfallswinkel optimiert. Sobald man schräg darauf schaut oder die Oberfläche gekrümmkt ist, funktionieren sie nicht mehr einwandfrei«, sagt Matthias Fahland.

Antireflex-Beschichtungen haben einige Nachteile

Die mehrlagigen Beschichtungen sind zudem aufwändig in der Herstellung und unterscheiden sich in ihren mechanischen Eigenschaften häufig von denen ihres Trägermaterials, was unter ungünstigen Umständen eine Reihe von Problemen verursacht. »Wenn ich beschichteten Kunststoff erwärme oder sehr starken biege, kann dies dazu führen, dass die Anti-Reflex-Beschichtung ihre Haftung zum Kunststoff verliert oder bricht. Das liegt daran, dass sich der Kunststoff unter Wärmeeinwirkung stärker ausdehnt als die Beschichtung, und die Schicht starrer ist als das Trägermaterial«, erklärt Fahland.

Doch für welche Anwendungen werden die entspiegelten Folien gebraucht? Sie sind zum

Beispiel für den Fensterbau interessant. Die Folien könnten die innere Scheibe in Fenstern mit Dreifachverglasung ersetzen. Denn der Dämmwert hängt nicht von der Glasstärke, sondern von der Dicke der Luftsicht zwischen den Scheiben ab: »Die mittlere Scheibe dient lediglich dazu, Strömung zu unterbinden, die entsteht, wenn der Abstand zwischen der wärmeren zur kälteren Glasscheibe zu groß ist«, erläutert Fahland. Ob die bremsende Scheibe in der Mitte ein vier Millimeter dickes Glas ist oder eine 23 Mikrometer dünne Folie, spielt dabei keine Rolle. Die Lichteinstrahlung stört die PET-Folie mit doppelseitiger Mottenauge-Struktur nicht. »Sie ist praktisch unsichtbar«, sagt Fahland.

Der Einsatz von Folien hat gleich mehrere Vorteile: Die Kunststoff-Folie ist nicht nur deutlich dünner, sondern auch leichter und preiswerter als eine dritte Glasscheibe. Dadurch kann trotz besserer Dämmeigenschaften der Rahmen schlank bleiben, und auch die Scharniere werden wegen des geringeren Gewichts weniger stark belastet.

Hitzebeständige Folien aus ETFE bieten sich für ähnliche Aufgaben in thermischen Solarkollektoren an: Sie können Luftströmungen von der kühleren Abdeckscheibe des Kollektors zu den innenliegenden Röhren unterbinden, in denen das Wasser für die Heizung erwärmt wird. »So lässt sich die Nutzungsdauer der Solaranlage in den Übergangszeiten im Frühjahr und Herbst deutlich verlängern«, erwartet Fahland.

Nanostrukturen helfen gegen Schmutz oder Beschlagen

Nanostrukturen auf Oberflächen eignen sich nicht nur zur Verbesserung der optischen Eigenschaften: Sie könnten auch Schmutz abperlen lassen, für freie Sicht sorgen, indem sie das Beschlagen von Scheiben verhindern oder die Haftung anderer funktionaler Schichten auf Kunststoffen verbessern. »Das Schöne ist, mit diesem Verfahren lässt sich nicht nur eine riesige Vielfalt möglicher Strukturen erzeugen, sondern auch steuern, wie diese aussehen. So können wir sie an die Erfordernisse der jeweiligen Anwendung optimal anpassen«, betont Ulrike Schulz. ■

Laser spart Gold

Ob im Laptop, im Handy oder im Auto - wer langlebige Tasten sucht, legt Wert auf Goldkontakte. Bislang werden die meist galvanisch aufgebracht. In einem neuen laserbasierten Verfahren werden Goldpunkte anstelle der Schichten aufgeschweißt. Das geht schnell und kann den Goldverbrauch bis zu 90 Prozent verringern.

Text: Frank Grotelüschen

Ein paar Befehle in die Tastatur getippt, und schon legt die Maschine los. Eine Selbstverständlichkeit, über die wir nicht weiter nachdenken. Doch hinter jeder Tastatur steckt eine ausgefeilte und robuste Technik – schließlich muss sich jedes Mal, wenn eine Taste gedrückt wird, ein elektrischer Kontakt schließen. Damit das dauerhaft und zuverlässig funktioniert, sind die Kontakte in Keyboards oft vergoldet. Denn Gold ist überaus haltbar, leitfähig und korrosionsbeständig – allerdings auch ziemlich teuer. Deshalb arbeiten Ingenieure am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen an einer neuen Technik: Mit dem »Mikro-Laserauftragschweißen« könnten sich bis zu 90 Prozent des Kontakt-Golds einsparen lassen.

In ihrem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Projekt »Miflas 2« beschäftigen sich Experten konkret mit Folientastaturen, wie sie in vielen Taschenrechnern und Outdoor-Geräten stecken. Presst man auf so einer Tastatur eine Zahl, spürt der Finger eine Art Klick, verursacht durch eine Schnappscheibe. Drückt man auf diese, wird ein Kontakt geschlossen. Danach federt die Scheibe wieder zurück und ist bereit für die nächste Eingabe. Damit der elektrische Kontakt zuverlässig zustande kommt, sind die Schnappscheiben heute komplett vergoldet. »Dazu werden sie in ein galvanisches Bad getaucht und als Ganzes mit einer hauchdünnen Goldschicht überzogen«, erläutert ILT-Ingenieur Matthias Belting. »Doch das ist eigentlich unnötig, für die Funktion der Taste würden fünf kleine Kontaktstellen genügen.«

Doch wie kann man fünf winzige Goldpunkte genau auf ein Scheibchen aufbringen,

das kaum einen Quadratzentimeter misst? Ein geeignetes, weil ausreichend präzises Werkzeug ist der Laser. Mit ihm lassen sich verschiedenste Metalle sehr genau auf- und verschweißen, etwa in der Luftfahrtindustrie. Das Problem: Die gängigen Lasersysteme zum Auftragschweißen arbeiten mit der Präzision von minimal einigen Zehntelmillimetern – zu grob, um winzigste Goldkontakte aufzuschweißen. Deshalb mussten Belting und seine Kollegen das Verfahren verfeinern. Mikro-Laserauftragschweißen, so heißt ihre neue Methode.

Sehr feines Goldpulver und Argongas

Als Ausgangsmaterial dient ein sehr feines Goldpulver, dessen Körnchen im Schnitt gerade einmal zehn Mikrometer messen. »Allerdings neigt ein derart feines Pulver zum Verkleben – ähnlich wie Mehl«, erklärt Belting. Um es dennoch handeln zu können, blasen die Forscher einen feinen Strahl aus Argongas durch das Goldpulver, das zuvor von einer kleinen Bürste aufgenommen wurde. Das Argon reißt die Goldpartikel mit sich wie der Herbststurm das Laub. Auf diese Weise lässt sich das Pulver durch dünne Röhrchen zu einer Spezialdüse leiten. Diese schwimmt dicht über der Schnappscheibe und bündelt den goldhaltigen Gasstrahl genau dorthin, wo die Kontakte aufgebracht werden sollen.

Gleichzeitig zielt auch der Laserstrahl exakt auf diese Stelle. Ein einziger, nur 50 Millisekunden kurzer Laserpuls genügt, und mehrere Goldkörnchen werden auf der Schnappscheibe präzise zu einer Halbkugel verschweißt. Das Ergebnis

ist ein Goldkontakt, 50 Mikrometer hoch und 80 Mikrometer im Durchmesser. Anschließend fahren Laser und Düse zum nächsten Punkt auf der Scheibe. Innerhalb einer knappen Sekunde wiederholt sich die Prozedur viermal. Am Ende ist die Taste fertig kontaktiert, ohne dass man sie dafür komplett mit Gold überziehen müsste.

Auf diese Weise lassen sich zwischen 50 und 90 Prozent Material einsparen – teures Gold. Nur: Wie haltbar und zuverlässig sind die neuen Kontakte? Um das herauszufinden, wurden die Tasten einem Härtetest unterzogen. Beim Industriepartner INOVAN kamen die Schnappscheiben auf einen Prüfstand. Dort malträtierte sie ein »mechanischer Finger« – jedes Scheibchen wurde nicht weniger als 100 000 Mal gedrückt. Das Resultat: »Es gab weder Ausfälle noch übermäßigen Verschleiß,« beschreibt Belting. »Unsere Goldkontakte sind also praxistauglich.«

Dennoch bleibt noch viel zu tun: Da Laser und Düse bislang einen Kontakt nach dem anderen abarbeiten, ist das Verfahren für den Einsatz in den Werkshallen noch zu langsam. »Daher arbeiten wir daran, den Prozess zu parallelisieren«, erklärt Matthias Belting. Fünf Düsen und fünf Laserpulse sollen simultan aktiv werden, um die fünf Goldpunktchen auf einen Schlag auf die Schnappscheibe aufzuschweißen.

Interessant ist das Verfahren aber nicht nur bei Folientastaturen, sondern auch für andere Anwendungen. So arbeiten die ILT-Fachleute daran, Methanol-Brennstoffzellen mit elektrischen Kontakten zu versehen. Konkret geht es dabei um Bipolar-Platten. Diese haben die Aufgabe, den von den Brennstoffzellen erzeugten Strom

Mikrogoldpunkte auf Edelstahl. © Fraunhofer ILT

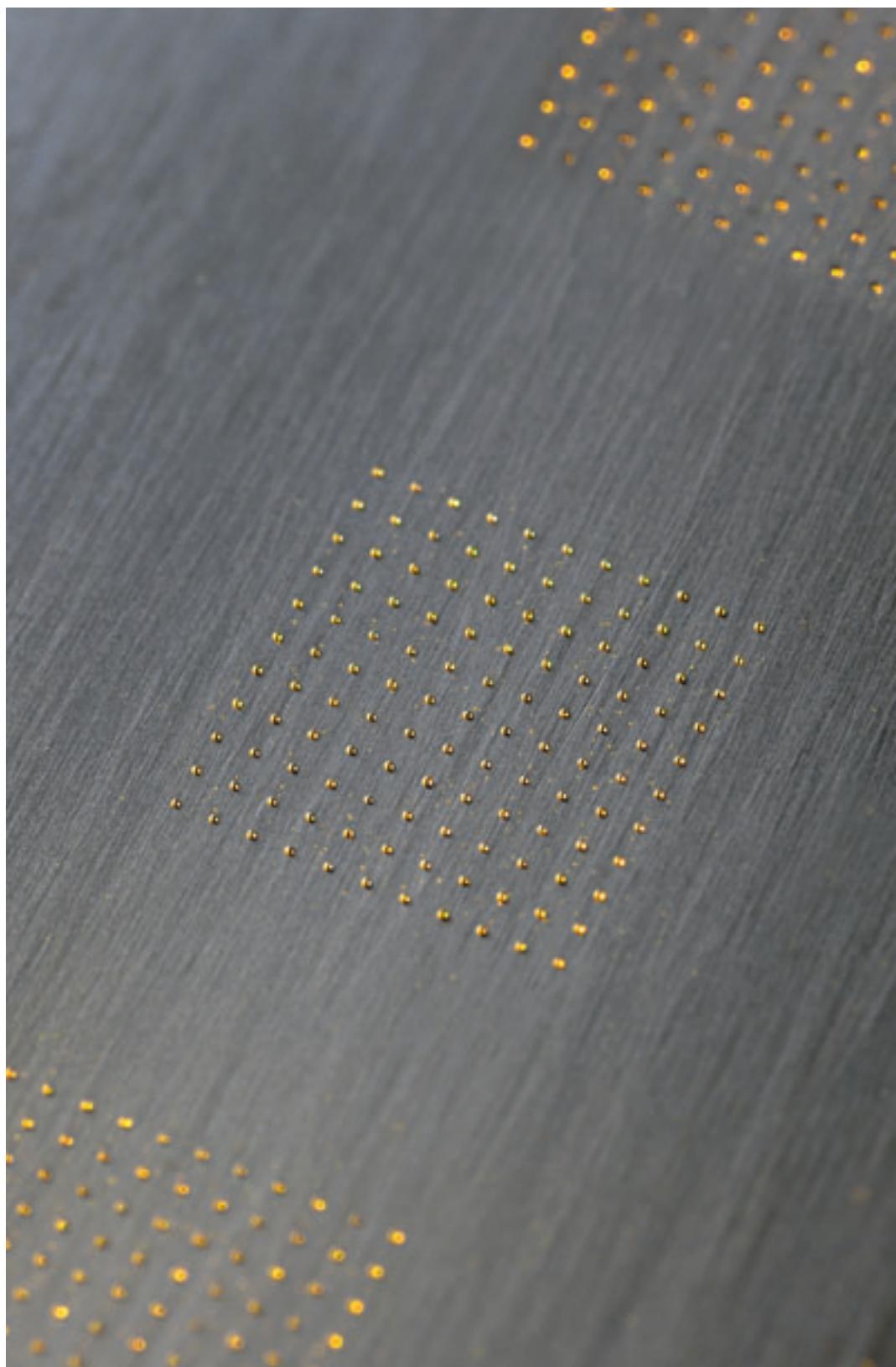
nach außen abzuleiten. Die Herausforderung: In einer Methanolzelle ist es bis zu 80 Grad heiß, und es herrscht ein stark korrodierendes Milieu – ungünstig für elektrische Kontakte. Gold allerdings vermag den harschen Bedingungen zu trotzen.

530 winzige Goldpunkte auf Bipolarplatten

Aus diesem Grund werden die Bipolar-Platten bislang komplett mit dem Edelmetall überzogen – und zwar auf einer Fläche von immerhin zehn mal zehn Zentimetern. Statt der Komplett-Vergoldung beschränken sich die Aachener Forscher auf 530 winzige Goldpunkte – und sparen dadurch einen Großteil des teuren Materials. Praxistauglich jedoch ist das Verfahren erst dann, wenn sich viele Kontakte gleichzeitig aufbringen lassen. Erste Erfolge können die Experten schon vorweisen: Mit einem Prototypen gelingt es ihnen bereits, den Laserstrahl in 21 Teilstrahlen aufzuteilen. Als Nächstes müssen diese Teilstrahlen dann mit feinen Röhrchen verbunden werden, die das Goldpulver zur Schweißstelle fördern. In zwei bis drei Jahren, schätzt Belting, könnte das parallelisierte Mikro-Laserauftragschweißen einsatzreif sein.

Ein weiteres Einsatzfeld ist die Fertigung von Stents in der Medizintechnik. Das sind feine Stützgerüste aus Metall, wie sie insbesondere in Herzkrankgefäß implantiert werden, um Infarkte zu verhindern. Das Problem: Die eigentlichen Stents sind im Röntgenbild nur schlecht zu erkennen, was es dem Arzt schwer macht, sie präzise einzusetzen. Deshalb werden Stents mit einem Material gespickt, das einen hohen Röntgenkontrast besitzt. Derzeit schweißt man Blechstückchen aus Tantal auf – eine aufwändige Handarbeit, die per Pinzette und unter dem Mikroskop erfolgen muss. Die neue ILT-Methode könnte die Prozedur entscheidend vereinfachen.

Die Vision: »Wir wollen die Röntgenmarker mit dem Mikro-Laserauftragschweißen auf die Stents aufbringen«, sagt Matthias Belting. »Dadurch ließe sich zeitintensive und teure Handarbeit ersetzen.« ■



Personalien

Professor Hans-Jörg Bullinger hat den Leonardo-Award 2012 erhalten. Mit dem Preis »Leonardo – European Corporate Learning Award« werden Bildungsvorreiter und mutige Lern-Initiativen geehrt. Der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft wurde in der Kategorie »Thought Leadership« ausgezeichnet.

Professor Michael ten Hompel wurde in die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech aufgenommen. Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund ist der erste Logistiker in der acatech.

Zum 1. Januar 2013 übernimmt **Professor Heinz-Otto Peitgen** die Präsidentschaft an der Jacobs University in Bremen. Der renommierte Mathematiker Peitgen leitet das Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin MEVIS in Bremen. Nach Fritz Schaumann (1998 – 2006) und Joachim Treusch (2006 – 31.12.2012) wird Heinz-Otto Peitgen dritter Präsident der englischsprachigen Privatuniversität.

Den diesjährigen »Anselme Payen Award« der American Chemical Society ACS, Cellulose and Renewable Materials Division, erhält **Professor Hans-Peter Fink**. Der Preis würdigt herausragende Beiträge zur Forschung und chemischen Technologie von Cellulose und verwandten Produkten. Er gilt als die wichtigste Auszeichnung auf dem Gebiet der Celluloseforschung. Fink leitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam-Golm.

Der Rudolf-Jaeckel-Preis der Deutschen Vakuumgesellschaft geht in diesem Jahr an **Professor Karl Leo**. Der Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Organik, Materialien und Elektronische Bauelemente COMEDD in Dresden bekommt den Preis aufgrund seiner bahnbrechenden Forschungsarbeiten zur Physik organischer Halbleiterschichten und deren Anwendungen in der Optoelektronik, insbesondere für organische Leuchtdioden und großflächige organische Solarzellen.

Dr.-Ing. Wilhelm Bauer ist zum Honorarprofessor der Leibniz-Universität Hannover ernannt worden. Damit ehrt die Hochschule seine besonderen beruflichen und wissenschaftlichen Leistungen. Professor Bauer ist stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart.

Dr. Martina Zimmermann wurde von der TU Dresden auf die Professur für Werkstoffprüfung und -charakterisierung berufen, welche von der Fraunhofer-Gesellschaft finanziert wird. Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung von Konzepten zur zuverlässigen und treffsicheren Lebensdauervorhersage für sicherheitsrelevante Bauteile und gefügte Komponenten.

Die Doktorandin **Christina Schulz** vom Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig hat auf der jährlich in den USA stattfindenden Konferenz »Society of Vacuum Coaters SVC« den 1. Preis für ihr Poster »Process Development for Sputtering of p-type conducting Cu-Al-O mixtures« gewonnen.

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:
Franz Miller, Birgit Niesing (Chefredaktion)
Janine van Ackeren, Marion Horn,
Monika Weiner, Christa Schraivogel
(Bild und Produktion)

Redaktionelle Mitarbeit:
Andreas Beuthner, Frank Grotelüschen,
Boris Hänsler, Klaus Jacobs, Katja Lüers,
Chris Löwer, Monika Offenberger,
Brigitte Röthlein, Isolde Rötzer, Tina Möbius,
Bernd Müller, Michaela Neuner,
Tim Schröder, Lisa Spannknebel

Graphische Konzeption: BUTTER. Düsseldorf
Layout: Vierthaler & Braun, München
Titelbild: Adrian Smith + Gordon Gill
Architecture
Lithos: drm-Desktop Repro Munich
Druck: J. Gotteswinter GmbH, München

Anzeigen: Heise Zeitschriften Verlag
Technology Review, Helstorfer Straße 7,
30625 Hannover, Telefon +49 511 5352-0
www.heise.de/mediadaten
Nächster Anzeigenschluss: 7. November 2012

Bezugspreis im Mitgliedspreis enthalten.
© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2012

Climate Partner
klimaneutral
gedruckt



Fraunhofer-Magazin

Ab September gibt es
das Fraunhofer-Magazin
»weiter.vorn« als iPad-
App im Zeitungskiosk.



Städte sind unsere Zukunft – gestalten wir sie!



Illustration: © Leontura, istockphoto.com

In der Morgenstadt erzeugen Stadtviertel Strom und Wärme selbst, dienen Elektroautos gleichzeitig als Stromspeicher und wohnen Menschen in intelligenten Häusern, die für Komfort und Sicherheit garantieren.

Hans-Jörg Bullinger und Brigitte Röthlein präsentieren Denkanstöße für eine ökologisch verträgliche und nachhaltige Urbanisierung.

286 Seiten. Gebunden
Mit farbigen Abbildungen. € 24,90 [D]
Auch als E-Book erhältlich