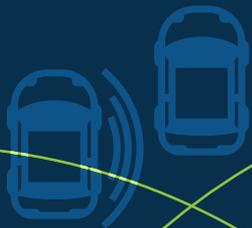


5G - Die Zukunft im Netz



Information und Kommunikation
Größerer Fernsehgenuss dank Codecs

Produktion
Alternative Magnete

Biologische Transformation
Der Beginn einer Verpackungsrevolution

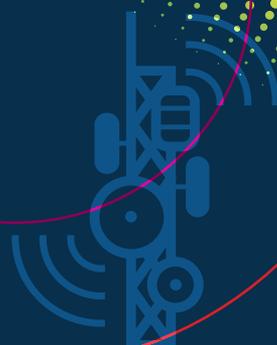
1G AMPS

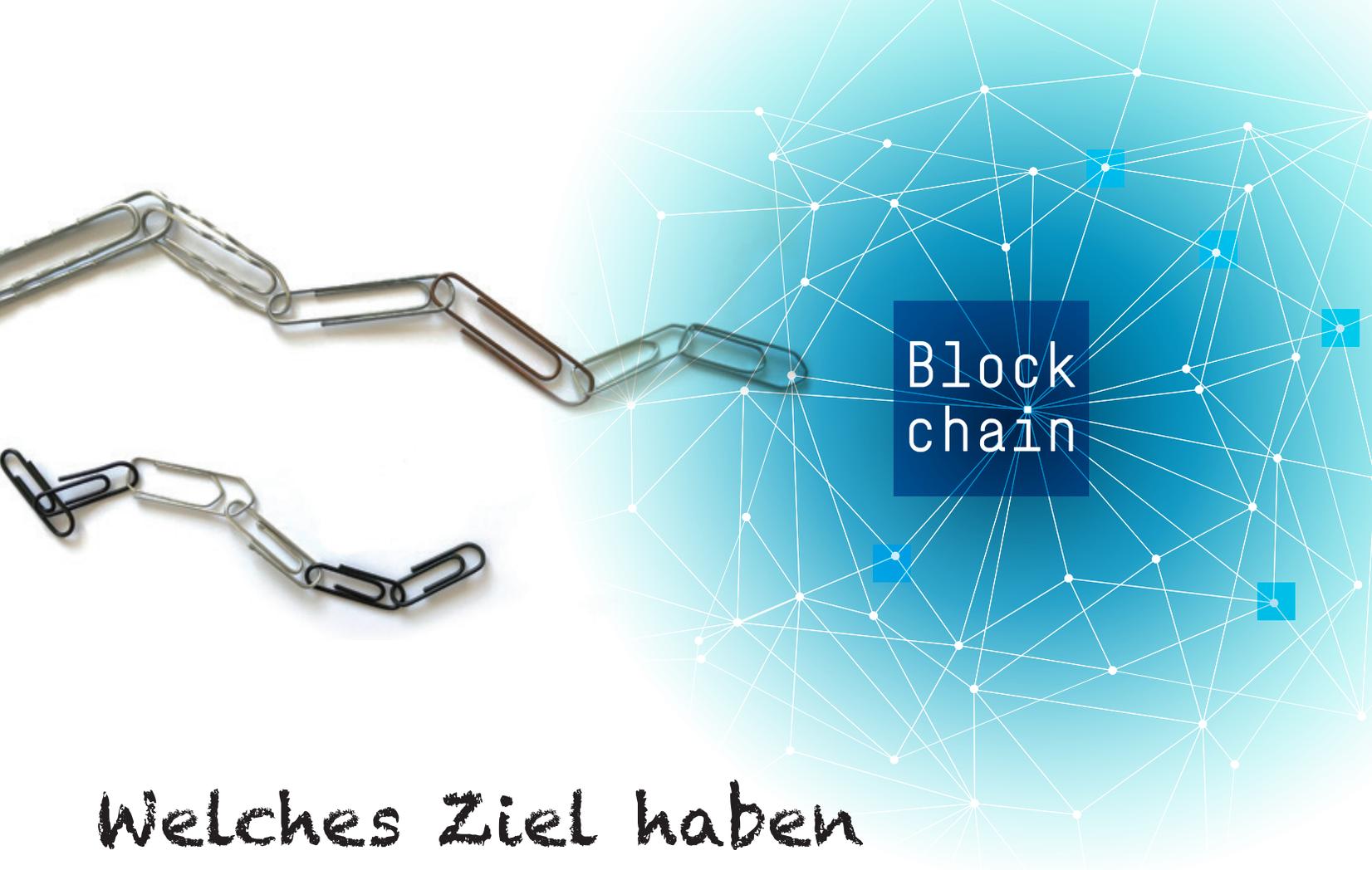
2G GSM

3G UMTS

4G LTE

5G





Welches Ziel haben
Sie vor Augen?

WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

- Innovation erleben
- Berufsbegleitend qualifizieren
- Wissensvorsprung sichern

 **Fraunhofer**
ACADEMY

www.academy.fraunhofer.de

Gut vorbereitet in die Zukunft



Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Der neue Mobilfunkstandard 5G wird Innovationen und disruptive Entwicklungen ermöglichen: Mit dem wesentlich leistungsfähigeren und flexibleren Nachfolger von 4G (LTE) lassen sich neue Anwendungen und Märkte in den Bereichen Kommunikation, Industrie, Gesundheit, Mobilität und Logistik erschließen. Er wird die sichere Vernetzung von Menschen und Dingen in Zukunft erweitern, den Weg zum autonomen Fahren ebnen sowie in der Fabrik der Zukunft den direkten Datenaustausch zwischen Maschinen, Robotern und zentraler Steuerung nahezu in Echtzeit ermöglichen.

Die Fraunhofer-Forschung hat sich bei der Entwicklung von 5G und seinen Anwendungen schon seit Jahren bestens positioniert. Für Unternehmen bieten wir als anwendungsorientierter Forschungspartner nicht nur Standardisierung, eine breit aufgestellte Patentfamilie und fertige Lösungen, sondern stellen auch Technologiebaukästen zur Verfügung, mit denen Firmen eigene Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen umsetzen können. In der Titelgeschichte (ab Seite 8) stellen wir Ihnen eine Auswahl aktueller Projekte vor.

Diese und viele weitere Aspekte der Digitalisierung treiben wir intensiv voran, denn die Digitalisierung ist das Rückgrat unserer Gesellschaft in Bildung und Forschung, Produktion und sozialem Leben. So werden uns Systeme der Künstlichen Intelligenz (KI) in immer stärkerem Maß unterstützen. Sie beantworten Fragen am Telefon, steuern Maschinen oder autonome Fahrzeuge und assistieren bei medizinischen Anwendungen. Das maschinelle Lernen ist dabei die Schlüsseltechnologie für diese Dienstleistungen. Unsere neue Studie »Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf« (ab Seite 20) beschreibt, wie sich Deutschland in dieser strategisch bedeutenden Zukunftstechnologie positioniert. Wir sind auf diesem Forschungsfeld mit an der Spitze, die Umsetzung im Markt ist jedoch noch zu schlep-pend und inkonsistent. Auch gut ausgebildete Fachkräfte dafür fehlen in ausreichender Anzahl.

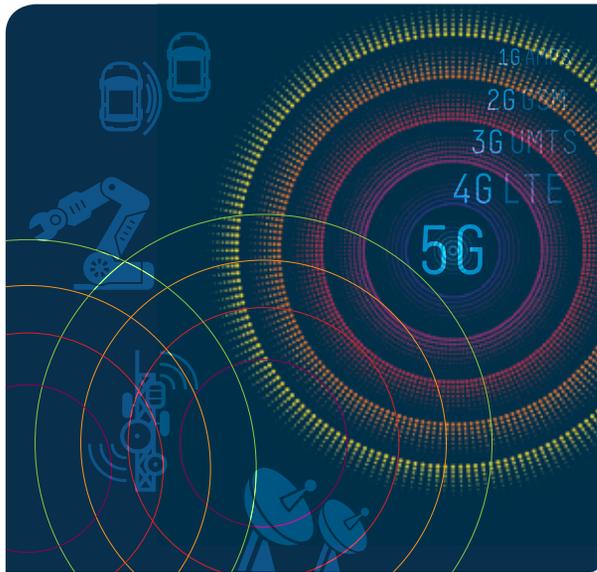
Fraunhofer ist gut auf diese Herausforderungen vorbereitet: Unsere Forscherinnen und Forscher arbeiten daran, KI strategisch in Produktions-, Geschäfts- und Vertriebsprozesse zu integrieren und bieten umfangreiche Schulungsprogramme wie die Weiterbildung zum Data Scientist an. Und wir denken weiter: damit KI-Systeme nicht nur kausal handeln können, sondern auch befähigt werden, voraus zu planen und zu verstehen, benötigen wir dringend interdisziplinäre Forschung, etwa in Verknüpfung mit der Neurobiologie.

Ein weiteres spannendes Thema dieser Ausgabe und Beispiel für fachübergreifende Zusammenarbeit ist das Forschungsfeld Kulturerbeschutz. Wir haben ein Vorstandsprojekt aufgesetzt, in dem Forscherinnen und Forscher die nötigen Techniken und Grundlagen für den Erhalt und die Restaurierung wertvoller Kulturgüter entwickeln. Dazu arbeiten 16 Fraunhofer-Institute zusammen mit ihren Partnern, den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden und der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden. Nun, im Jahr des Europäischen Kulturerbes, liegen neue Forschungsergebnisse vor (Siehe ab Seite 28). Dazu gehören Projekte wie die dreidimensionale Digitalisierung von Kunstwerken, eine zerstörungsfreie Untersuchung der Objekte mithilfe von Ultraschall, Materialien für die Konservierung von Preziosen, Verfahren zur Restaurierung mittelalterlicher Handschriften und Antworten auf die spannende Frage, wie sich der sozio-ökonomische Wert von Kulturerbe darstellen lässt.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft



08

Titelthema

5G - Die Zukunft im Netz

Die extrem leistungsfähige Mobilfunktechnologie macht Industrie 4.0., autonomes Fahren und vieles mehr erst möglich.



18

Wann werden Daten zum Risiko?

Unternehmen beschäftigt die Frage, ob sie eine Datenschutz-Folgenabschätzung machen müssen und wie sie diese umsetzen.

28

Kulturerbe erhalten - per Forschung und Hightech

Im Vorstandsprojekt Kulturerbe entwickeln Fraunhofer-Forschende Technologien, um unser Kulturerbe zu bewahren.



40

Allround-Talent im Flugzeugbau

Der Roboter bearbeitet präzise und schnell riesige Flugzeugteile.

48

Der Beginn einer Verpackungsrevolution

Konventionelle Plastikverpackungen sind nicht biologisch abbaubar. Es gibt Alternativen.



64

Explosives Kriegserbe am Meeresgrund

Die Beseitigung alter Munition ist aufwendig. Ein teilautomatisches Robotersystem hilft.

Inhalt

06 Spektrum

23 International

31 Kompakt

54 Fraunhofer inside

55 Gründerwelt

66 Panorama

67 Personalien

67 Impressum

Titelthema

- 08 5G - Die Zukunft im Netz**
Entwicklung und neue Anwendungen von 5G-Technologien

Information und Kommunikation

- 14 Größerer Fernsehgenuss dank Codecs**
Neue Standards ermöglichen hochaufgelöste Bilder und individuell einstellbaren Klang
- 17 Speicherstadt-App: Geschichte digital erlebbar machen**
Die App bietet anschauliche Einblicke in die Geschichte der Hamburger Speicherstadt
- 18 Wann werden Daten zum Risiko?**
Das Forum Privatheit hat einen Prozess für die Datenschutz-Folgeabschätzung entwickelt
- 20 Vom Rechner zum Denker**
Neue Studie: Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf

Energie

- 24 Weniger CO₂ dank intelligenter Sektorenkopplung**
Systemlösung zur Verminderung von CO₂-Emissionen
- 26 Propan-Wärmepumpe: Umweltfreundlich und effizient**
Die Wärmepumpentechnologie: ein wichtiger Baustein für die Umsetzung der Energiewende

Kulturerbe

- 28 Kulturerbe erhalten - per Forschung und Hightech**
Teams aus 16 Fraunhofer-Instituten tüfteln an Lösungen zum Erhalt des Kulturerbes

Produktion

- 32 Abhängigkeiten überwinden**
Die Industrie benötigt Alternativen für Seltenerdmetalle
- 33 Alternative Magnete**
Neue Verfahren zur Herstellung von Hochleistungsmagneten
- 35 Ständig im Fluss**
Bauzustandserfassung für den Schiffbau

- 36 Industrie 4.0 - einfach machen!**
Produktionsanlagen nach Bedarf gestalten

- 38 Roboter-Auge mit Rundumblick**
Ein patentierter Sensor sieht in alle Richtungen
- 40 Allround-Talent im Flugzeugbau**
Der mobile Roboter bearbeitet große Bauteile

- 43 Soundanalyse in der Produktion**
Akustische Verfahren zur Qualitätskontrolle

- 44 Kosmische Teilchen als Elektronik-Killer**
Wirkung kosmischer Strahlung auf Elektronik

Biologische Transformation

- 46 Bio-Sprit aus dem Container**
Mit mobiler Produktionsanlage Bio-Sprit aus organischen Abfällen herstellen
- 48 Der Beginn einer Verpackungsrevolution**
Biologisch abbaubare und kompostierbare Verpackung
- 50 Pilze als Produzenten**
Über Pilze lassen sich biobasierte Basischemikalien herstellen
- 52 Ökologische Klebstoffe aus Pflanzenöl**
Die ökologische Variante der herkömmlichen Epoxidharze auf Erdölbasis

Gesundheitsforschung

- 56 Hüftimplantate neu gedacht**
Eine technologische Plattform für die Hüftprothese der Zukunft
- 58 Reha per Video und Internet**
Individuelles Rehatraining im Wohnzimmer

- 60 Feinjustierung im OP**
Mit einem neuen Verfahren lässt sich die Beinlänge im OP angleichen

- 61 Frühwarnsystem hilft bei Demenzbetreuung**
Ein Mess- und Beratungssystem soll künftig die Pflege erleichtern

- 62 Kampf gegen Alzheimer**
Krankheitsmechanismen mit modellbasierten und Big-Data-Ansätzen erforschen

Sicherheit

- 64 Explosives Kriegserbe am Meeresgrund**
Ein Robotersystem für teilautomatische Bergung

Antibiotikaresistenzen schnell aufspüren

Laut WHO gehören sie zu einer der größten Bedrohungen der Gesundheit – multiresistente Erreger. Normalerweise dämmt ein Breitbandantibiotikum gefährliche Infektionen wie Blutvergiftungen zuverlässig ein. Heikel wird es, wenn Resistenzen lange unentdeckt bleiben. Aktuell dauert es mehrere Tage, bis eindeutig feststeht, ob eine Antibiotikaresistenz vorliegt. Dementsprechend lang erhalten die Erkrankten keine passende Therapie.

Im Projekt PathoSept arbeiten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT gemeinsam mit Partnern an schnelleren Testverfahren.

Ihre Idee: ein modulares Komplettsystem, das mehrere diagnostische Verfahren kombiniert. In Echtzeit dokumentiert ein Wachstumsmonitor, wie kontrolliert angezüchtete Erreger auf verschiedene Antibiotika-Arten reagieren. Schon nach wenigen Stunden ist abzusehen, welche Therapien wirken und welche nicht.

Zurzeit werden Wachstumsmonitor und Anzuchtmodul auf ihre Einsetzbarkeit im klinischen Alltag getestet. Mit der Hoffnung, die Sterberate durch Blutvergiftung künftig deutlich zu verringern.

Miniaturisierter Wachstumschip zum schnellen Erkennen bakterieller Resistenzen. © Fraunhofer FIT



Personal Trainer fürs Büro

Wir sitzen im Auto, im Büro oder in der Schule. Oft führt es zu Rückenschmerzen und Muskelverspannungen. Die Folge: eine ungesunde Sitzhaltung, wovon die Schmerzen nur noch schlimmer werden. Ein Teufelskreis.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und Silicatforschung ISC arbeiten daran, diesen Kreis zu durchbrechen.

Kern ihrer Idee ist der Sitzhocker »SoftSense«. Er soll zu dynamischem Sitzen und Bewegung während der Arbeitszeit animieren. Mittels Drucksensoren erkennt er die aktuelle Sitzhaltung und gibt konkrete Rückmeldungen per Lichtsignal oder App. Nach Wunsch können auch Statistiken auf dem Bildschirm angezeigt werden, wie ergonomisch die eigene Körperhaltung ist.

Eine spaßorientierte Version animiert sogar mittels integriertem Ping-Pong-Spiel zur Bewegung am Arbeitsplatz. SoftSense-Nutzer und -Nutzerinnen beugen dadurch nicht nur Rückenschmerzen, sondern auch durch Bewegungsmangel bedingten Krankheiten wie Fettleibigkeit oder Diabetes vor.

Der LED-Sitzhocker unterstützt gesundes Sitzen. © Fraunhofer IAO



Mammutlogistik für CERN

Das Europäische Kernforschungszentrum CERN, das größte Forschungszentrum für Teilchenphysik der Welt, plant einen Nachfolger für den 2008 in Betrieb genommenen Teilchenbeschleuniger Large Hadron Collider (LHC). Der zukünftige Future Circular Collider (FCC) ist mit einem Umfang von 100 Kilometern (aktuell 27 Kilometer) und 6000 Dipol-Magneten (aktuell 1200) mit einem Gewicht von je 80 Tonnen noch wesentlich leistungsfähiger. Bei diesen Dimensionen wird die Logistik zum erfolgskritischen Faktor.

Doch bevor die CERN-Physikerinnen und -Physiker sich auf die Suche nach neuen physikalischen Erkenntnissen und Dunkler Materie am Teilchenbeschleuniger machen können, benötigen sie logistische Unterstützung. Partner für das Logistikkonzept – die Arbeitspakete Fahrzeugkonzept, Supply-Chain- und Produktionsplanung sowie Standortauswahl und Transportkonzepte – ist das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML.

Dabei entwickelten die Forscher Szenarien für die Beschaffung und Anlieferung der Magneten, ihre Verbringung unter die Erde und den unterirdischen Transport an ihren endgültigen Einsatzort. Die umfangreichen Arbeiten konnten Ende 2017 weitgehend abgeschlossen werden.

Der Large Hadron Collider des CERN ist der bisher leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt. In ihm werden Elementarteilchen beschleunigt und zur Kollision gebracht. © 2009-2018 CERN



Sichere Rückkehr der chinesischen Raumstation

Im Jahr 2016 brach der Funkkontakt zur chinesischen Raumstation Tiangong-1 ab. Ein von der Erde gesteuerter Wiedereintritt war nicht mehr möglich.

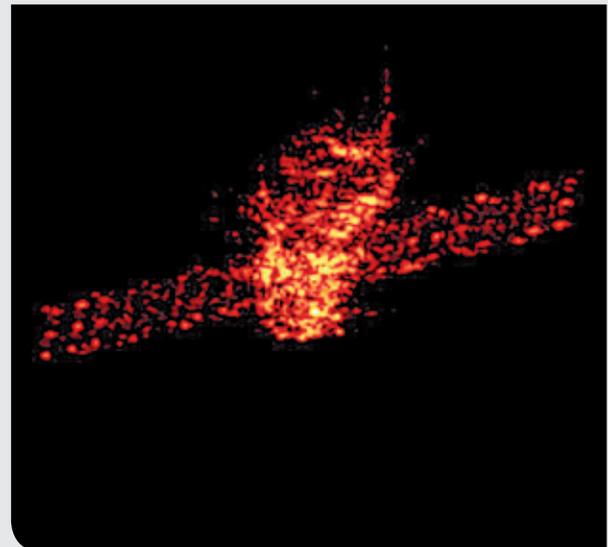
Das nationale Weltlagezentrum (WRLageZ) und die Europäische Raumfahrtbehörde (ESA) standen vor der Aufgabe, den Sinkflug der Tiangong-1 auf die Erde zu überwachen, um eine möglichst genaue Wiedereintrittsprognose abzugeben. Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR unterstützte sie dabei.

Mithilfe des Großradarsystems TIRA bestimmten die Forschenden des FHR die Bahndaten der chinesischen Raumstation.

Regelmäßig überprüften sie, ob die Raumstation noch intakt war oder abgebrochene Teile bereits auf die Erde zusteueren. Und auch die Eigenrotation der Station überwachte das Team. Denn auch die Drehbewegung konnte die Flugbahn und damit den Zeitpunkt des Wiedereintritts der Tiangong-1 beeinflussen.

Anhand der vielseitigen Daten des FHR und anderer Quellen ließen sich der Ort und Zeitpunkt des Eintritts immer weiter eingrenzen. Am 2. April war es dann schließlich so weit: Ein Großteil der Tiangong-1 verglühte in der Atmosphäre über dem Südpazifik und die restlichen Teile stürzten ins Meer.

Radarabbildung der chinesischen Raumstation Tiangong-1 während ihres Sinkflugs ca. 270 km über der Erde. © Fraunhofer FHR



5G - Die Zukunft im Netz

5G gilt als Nachfolger von 4G (LTE), dabei ist die fünfte Generation wesentlich mehr als nur ein neuer Mobilfunkstandard. Die extrem leistungsfähige Mobilfunktechnologie macht die Verheißungen von Industrie 4.0 und autonomem Fahren erst möglich. Fraunhofer ist maßgeblich an der Entwicklung der 5G-Technologien beteiligt. Die Forschenden wissen genau, was mit 5G alles möglich ist - und welche Hürden zu überwinden sind.

Text: Mehmet Toprak

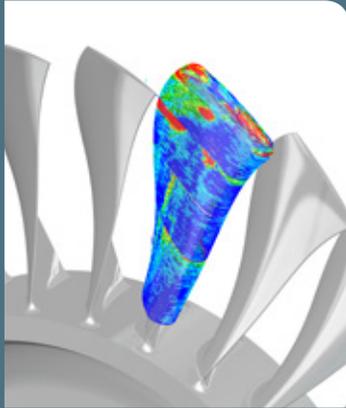
Die Herstellung von Flugzeugtriebwerken gehört zu den großen Herausforderungen in der industriellen Fertigung. Hier gelten hohe Anforderungen an Sicherheit und Qualität. Allein die Herstellung der Triebwerksschaufeln, der Blisks (Blade Integrated Disks), kann in der Serienfertigung bis zu 80 000 Euro kosten. Ein Problem hierbei sind die Eigenschwingungen der Bauteile während der Bearbeitung auf der Maschine. Werden die Schaufeln in der Eigenfrequenz angeregt, dann ist die Oberflächenqualität nicht mehr gewährleistet und das Bauteil muss aufwendig per Hand nachbearbeitet werden.

Am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen ist es nun gelungen, das Problem mithilfe der 5G-Technik elegant zu lösen. Ein Sensor überwacht die Schwingungsspektren der Blisks während der Bearbeitung und schlägt beim Überschreiten einer bestimmten Amplitude Alarm. Die entsprechenden Daten werden drahtlos per 5G aus der Maschine heraus übertragen und extern weiterverarbeitet. So lassen sich Steuerimpulse an die Maschinen übertragen, die die Eigenschwingungen verhindern. Am Ende der Fertigung steht ein perfektes Bauteil, das keinerlei Nachbearbeitung benötigt.

Diese Anwendung der 5G-Technik wurde vom IPT zusammen mit dem schwedischen Mobilfunk-Infrastruktur-Anbieter Ericsson im Fraunhofer-Leistungszentrum »Vernetzte Adaptive Produktion« entwickelt. Sie ist nur eine von vielen Anwendungen, die durch 5G in Zukunft möglich sein werden.

Die 5G-Aktivitäten der Fraunhofer-Gesellschaft

5G gilt als Zukunftstechnologie par excellence. Prof. Thomas Magedanz, Leiter des Geschäftsbereichs Software-based Networks (NGNI) am Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin, sagt: »5G ist eine disruptive Technologie. Sie wird den dynamischen Aufbau und Betrieb von Kommunikationsnetzen und die sichere Vernetzung von Dingen und Menschen stark vereinfachen und in alle möglichen Branchen einziehen.« Egal ob in der Kommunikation, in der Industrie, im Verkehr oder im Gesundheitsbereich, 5G wird überall eine Rolle spielen. »In allen Branchen werden sich auch neue Geschäftsmodelle in den vertikalen Märkten ergeben«, schätzt Magedanz.



Sensoren messen die Eigenschwingungen der Triebwerksschaufeln.
© Fraunhofer IPT



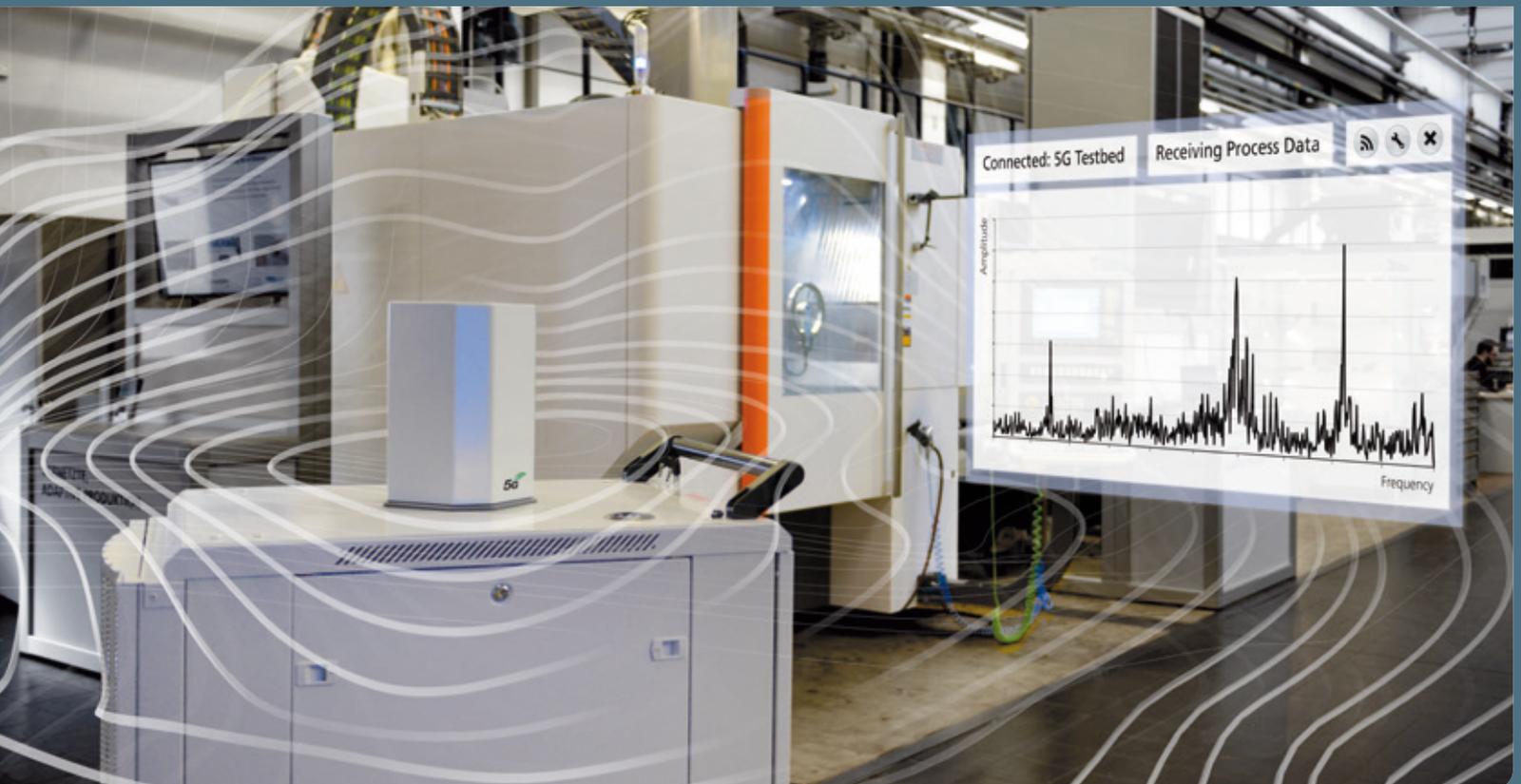
Bei der Fertigung von Triebwerksschaufeln für Flugzeugtriebwerke gelten höchste Anforderungen an Sicherheit und Qualität.
© Fraunhofer/Markus Jürgens



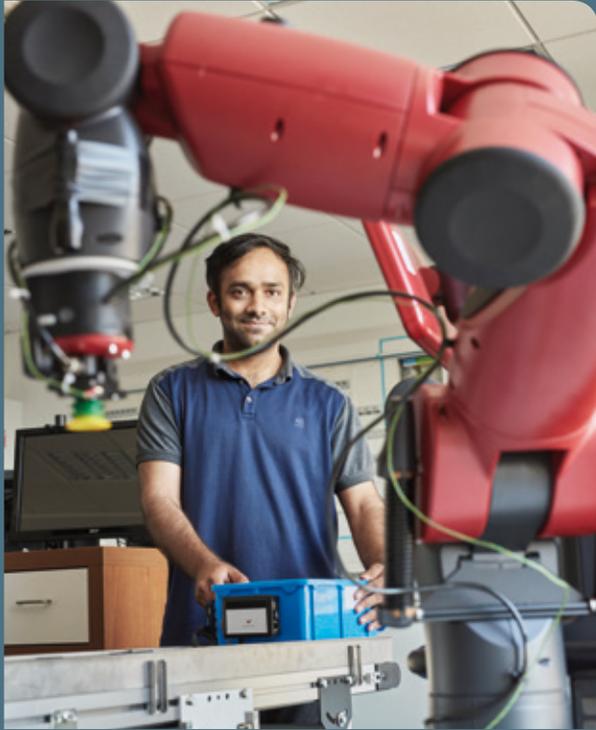
Die Herstellung der Triebwerksschaufeln kostet in der Serienfertigung bis zu 80 000 Euro. © Fraunhofer/Markus Jürgens

 <http://s.fhg.de/5g-projekte>

Drahtlose Maschinensteuerung in Echtzeit wird durch 5G erst möglich.
© Fraunhofer IPT



Auch die Fernsteuerung von Robotern in Echtzeit gelingt mit 5G-Technik.
© Fraunhofer FOKUS/Valeria Mitelman



Prof. Thomas Magedanz entwickelt hochperformante Softwarebausteine für 5G-Industrienetze. © Fraunhofer FOKUS/Valeria Mitelman



Die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft treiben diese Entwicklung maßgeblich voran. Neben dem Fraunhofer IPT und dem Fraunhofer FOKUS arbeiten das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS und das Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI daran. Sie setzen dabei drei Schwerpunkte: Entwicklung neuer Technologien und technischer Komponenten, Mitarbeit in internationalen Standardisierungsgremien sowie Tests von praktischen Implementierungen in realer Umgebung. Die Beiträge der Fraunhofer-Experten sind jetzt umso wichtiger, da Fraunhofer seit Jahren gut vernetzt mit verschiedenen vertikalen Industrien zusammenarbeitet und sowohl deren Anforderungen als auch die Fähigkeiten und Grenzen derzeitiger Mobilfunklösungen kennt.

Die Anforderungen an 5G sind hoch. Dazu gehören zum Beispiel eine Ende-zu-Ende-Übertragungslatenz von wenigen Millisekunden und Übertragungsgeschwindigkeiten von mehr als zehn Gigabit pro Sekunde (Gbit/s). Diese Ziele sind nur durch Veränderungen an vielen Elementen der Kommunikationsübertragung zu erreichen. Je nach Anwendung können die Anforderungen bereits mit frühen oder erst mit späteren Versionen des 5G-Standards voll unterstützt werden. Bisher konnte die Machbarkeit von höchsten Datenraten oder von Latenzen um eine Millisekunde bereits prototypisch realisiert werden. Es wird aber noch einige Zeit vergehen, bis dies in Mobilfunknetzen alltäglich ist.

Thomas Magedanz weist darauf hin, dass die benötigten Leistungsdaten stark von der Anwendung abhängen. »Für das Streamen von Videos beispielsweise kommt es vor allem auf hohe Bandbreite an, bei der große Datenmengen schnell übertragen werden können. Die Latenzzeit spielt hier eine untergeordnete Rolle.«

Anwendungs-Cluster für 5G

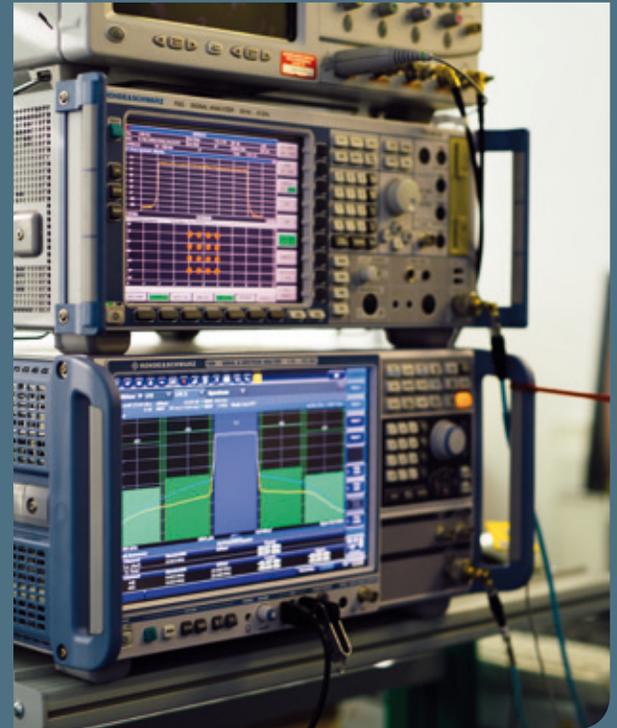
Deutlich wird das, wenn man sich die drei großen Bereiche ansieht, in denen 5G künftig eine Rolle spielen wird: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Massive Internet of Things (MIoT) beziehungsweise Massive Machine-type Communication (mMTC) und Mission Critical IoT (Ultra-Reliable Low-Latency Communications – URLLC).

Bei Enhanced Mobile Broadband kommt es auf den Durchsatz an, also die Datenmenge, die pro Zeiteinheit übertragen werden kann. Dies ist etwa beim Videostreaming wichtig. Bei Massive Internet of Things geht es darum, dass Millionen von Endgeräten Daten über das Funknetz übertragen. In Umweltschutz und Landwirtschaft messen Sensoren beispielsweise die Wasserqualität von Flüssen, das Pflanzenwachstum oder die Luftverschmutzung. Die Herausforderung besteht in erster Linie darin, dass möglichst viele Sensoren mit möglichst energieeffizienter Übertragungstechnik drahtlos mit dem Netzwerk kommunizieren können.

Robuste Steuerung in Echtzeit. Dank der Kommunikation über herkömmliche Sprachkanäle ist die Technologie sofort einsetzbar. © Kai Müller



Spektrum-Analysatoren zum Testen von neuen Signalverarbeitungs-Algorithmen. © Kai Müller



Für Anwendungsszenarien der Mission Critical Communication, zum Beispiel bei der industriellen Fertigung und der vernetzten Mobilität, sind Zuverlässigkeit und Latenzzeit entscheidend. Bei Industrie 4.0 müssen Maschinen, Bauteile und Steuerungssoftware miteinander kommunizieren. Nur so ist es möglich, dass die Steuerungssoftware unverzüglich auf Probleme reagiert, sodass sich Produktionsstraßen bei Pannen selbst neu organisieren können. »Ein weiteres Beispiel ist die Fernsteuerung eines Arbeitsroboters, der in gesundheitsgefährdender Umgebung agiert. Der Roboter könnte via Augmented-Reality-Brille und Joystick gesteuert werden, wobei der Operateur haptisches Feedback über den Joystick erfährt«, sagt Dr. Thomas Haustein, Abteilungsleiter Drahtlose Kommunikation und Netze am Fraunhofer HHI. »Die 5G-Technik ermöglicht, praktisch jedes Bauteil mit Sensor und einer ID auszustatten. Während der Produktion sammeln die entstehenden Produkte laufend Daten über ihre Bearbeitung. Diese können dann als eine Art individuelles Protokoll zu jedem Bauteil mit allen relevanten Produktionsdaten abgespeichert werden«, ergänzt Dr. Sascha Gierlings, Leiter der Prototypenfertigung am Fraunhofer IPT.

Die Kriterien Latenz und Zuverlässigkeit sind auch im Bereich autonomes Fahren entscheidend. Hier dient das schnelle Funknetzwerk dazu, dass Automobile während der Fahrt miteinander und mit der Infrastruktur kommunizieren. Auf diese Weise können Fahrzeuge in Kolonne hintereinander

fahren und gleichzeitig aktuelle Infos zur Fahrtroute oder zu Stau- und Unfallmeldungen empfangen.

Warum 5G so schnell ist

Wie wird eigentlich die enorme Leistung von 5G erreicht? Die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher arbeiten an einer Reihe zukunftsweisender Konzepte. Beispielsweise sorgen Mehrantennensysteme, sogenannte MIMO (Multiple Input Multiple Output), für eine robustere Übertragung bei gleichzeitiger Erhöhung der Datenrate. Erhöht man die Anzahl der Antennenelemente, kann man die abgestrahlte Energie direkt zum Empfänger senden und muss sie nicht wie bisher über die Fläche verteilen. Die neuartige Technik Massive MIMO liefert erhöhte Reichweiten und eine energieeffiziente, gerichtete Übertragung. Besonders bei hohen Frequenzen im Millimeterwellenbereich, etwa bei 28 Gigahertz (GHz), erlauben diese Antennen eine kompakte Bauform und einen hohen Bündelungsgewinn.

Eine Voraussetzung für die hohen Datenübertragungsraten ist die Erweiterung des Frequenzspektrums. Während der bisherige Mobilfunk 4G (LTE) im Bereich zwischen 700 Megahertz (MHz) und 2,7 GHz genutzt wird, ist das Spektrum, in dem 5G betrieben wird, deutlich größer. »Das Spektrum für 5G wird bis auf 6 GHz im Frequenzbereich 1 erweitert. Hinzu kommt ein weiteres 5G-Spektrum im Millimeterwel-

lenbereich, welches im Frequenzbereich 2 derzeit bis 52 GHz reicht. Ein mehr als zehnmals breiteres Spektrum«, erklärt Dr. Thomas Haustein. Weitere Tricks, mit denen die Forschenden etwa die Zuverlässigkeit der Datenübertragung erhöhen, lassen sich unter dem Stichwort Redundanz zusammenfassen. So werden identische Datenpakete gleichzeitig über mehrere Basisstationen und in verschiedene Richtungen verschickt, sodass diese garantiert beim Empfänger ankommen.

Tests in realer Umgebung

Mit Theorien über Antennen und Frequenzen geben sich die Fraunhofer-Experten aber nicht zufrieden. Sie arbeiten an der Weiterentwicklung verschiedener Systemkomponenten und erproben diese mit Industriepartnern. Und sie betreiben Testanlagen und Demonstratoren. So erlaubt eine Over-the-Air-Testanlage (OTA-Anlage) des IIS in Ilmenau die Erprobung von Antennen und Endgeräten. Die L.I.N.K.-Halle des IIS in Nürnberg ermöglicht es, neue Technologien für Kommunikation und Positionierung auszuprobieren. Dort dient eine Testanlage der Untersuchung von Positionierungsverfahren, wichtig für autonomes Fahren und Navigation im Innenbereich ohne GPS-Satellitenabdeckung. Ende-zu-Ende 5G-Anwendungen für IoT, autonomes Fahren, Industriekommunikation und Enhanced Mobile Broadband können in den Testfeldern in Erlangen und Nürnberg sowie in den Testfeldern in Berlin ausprobiert werden. Dazu gehören unter anderem Funkübertragungstechniken oder rekonfigurierbare Netzwerkarchitekturen und ein Kernnetz, das es erlaubt, unterschiedliche Anwendungen wie Massive IoT oder URLLC parallel zu betreiben, ohne dass diese Anwendungen sich gegenseitig stören. Am IPT in Aachen wird ein 5G-NR-System in einer Halle mit Maschinen und Robotern genutzt, sodass hier 5G unter realen Produktionsbedingungen geprüft wird.

Ortung und Navigation

Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von 5G spielen Satelliten. Bei 5G werden Satellitenkommunikation und terrestrische Funkkommunikation nahtlos miteinander verschmelzen. Bei der Definition des 5G-Standards berücksichtigt man die technischen Besonderheiten der Satelliten. »Wir sehen Satelliten als einen künftigen Bestandteil und als Erweiterung der Netzwerkinfrastruktur von 5G«, erklärt Bernhard Niemann, Abteilungsleiter Breitband und Rundfunk am IIS. Eine besondere Rolle werden vor allem die LEO-Satelliten (Low Earth Orbit) spielen, die in relativ niedriger Höhe zwischen 500 und 2000 Kilometern um die Erde kreisen. Notwendig sind die LEOs etwa für IoT-Anwendungen unter freiem Himmel, bei denen Tausende von Sensoren von Messstationen Daten senden. Hier sind vor allem in Umweltschutz und Landwirtschaft Anwendungen denkbar. Schon heute nutzen landwirtschaftliche Maschinen die GPS-Technik, um Ernte- und Mähmaschinen durch Positionsbestimmung exakt in der Spur zu halten.

GPS und 5G ergänzen sich hier bestens. Gerade dort, wo GPS an seine Grenzen gerät, wie im innerstädtischen Bereich oder in Gebäuden, ist in Zukunft eine hohe Dichte von 5G-Knoten zu erwarten. Das dicht gespannte Funknetz ermöglicht hochpräzise Ortung. Die IIS-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler entwickeln hierzu passende Algorithmen und Ortungsverfahren.

5G unterstützt das kognitive Internet

Auch im kognitiven Internet soll 5G Einzug halten. Im Fraunhofer Cluster of Excellence »Cognitive Internet Technologies (CIT)« sind die Kompetenzen von 13 Fraunhofer-Instituten gebündelt in den Bereichen kognitive, vertrauenswürdige Sensorik, Datensouveränität und Maschinelles Lernen. Ein Beispiel für eine Anwendung ist die im CIT entwickelte intelligente Warenverfolgung mit kognitiven Sensoren. 5G unterstützt die Kommunikation und den Austausch großer Datenmengen, sodass die Akteure innerhalb einer Warenkette alle notwendigen Informationen in Echtzeit erhalten. »Die sichere Anbindung funkbasierter Sensorik, sichere Kommunikation über 5G, vertrauenswürdige Ortungsbestimmungsdienste mit Galileo Public Regulated Service (PRS), Machine-Learning-Verfahren zur Erkennung von Ereignissen und Anomalien sowie die vertrauenswürdige und sichere Datenverarbeitung und Datenflusskontrolle – die Bündelung all dieser Schlüsseltechnologien ist das Besondere am Angebot des CIT«, sagt Prof. Claudia Eckert, Direktorin des CIT und Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC.

Cloud-Konzepte und Edge Computing

Die über 5G versandten Datenpakete müssen nicht nur schnell übertragen, sondern auch verarbeitet werden. Dazu sind Rechenkapazität, Speicherplatz und intelligente Algorithmen nötig. Deshalb erweitern die Forscherinnen und Forscher die 5G-Systeme mit Cloud-Konzepten. In der künftigen Smart Factory können Daten, die Sensoren, Bauteile, Roboter oder Maschinen senden, in der Cloud verarbeitet werden. Hier erfolgt die schnelle und intelligente Auswertung der Daten, hier kann die Steuerungssoftware die gesamte Anlage steuern. Wenn sich ein Unternehmen eine eigene lokale Cloud einrichtet und die Server auf dem Betriebsgelände stehen, sind auch sehr niedrige Latenzzeiten realisierbar. »Ein Vorteil dabei ist, dass die Rechenkapazitäten in der Cloud leicht skalierbar sind«, erklärt Niels König, Abteilungsleiter Produktionsmesstechnik am Fraunhofer IPT. Auch Edge Computing trägt zur Beschleunigung des Datenverkehrs bei. Dabei werden Daten bereits an neuartigen Basisstationen oder speziellen Gateways und Datenzentren am Rand der Netze verarbeitet.

Software-Entwickler am FOKUS

Am Fraunhofer FOKUS in Berlin setzen die Expertinnen und Experten noch einen anderen Schwerpunkt: Sie entwickeln

Kategorie	Anwendung	Anforderungen	Übertragungstechnik
Enhanced Mobile Broadband (eMBB)	Videodownloads	Hohe Bandbreite große Reichweite	< 6 GHz und mmW (ab 30 GHz) Glasfaser
Massive IoT Massive Machine Type Communication (mMTC)	Landwirtschaft, Umwelt, Fertigung, Logistik, Ortung, Navigation, Smart City	Energieeffizienz viele Endgeräte dichtes Funknetz	< 1 GHz Terahertz-Bereich (Licht) Glasfaser
Critical IoT	Maschinensteuerung Robotersteuerung Katastrophenschutz Verkehr	Low Latency Zuverlässigkeit Datensicherheit	3,5 – 3,8 GHz 20 – 100 GHz (mm-Wellen) Terahertz-Bereich (Licht) Glasfaser

Unterschiedliche Anwendungen haben auch unterschiedliche technische Anforderungen und nutzen jeweils eigene Frequenzbereiche.
© fotolia/Vierthaler und Braun

spezielle Software-Tools für den Aufbau von 5G-Testbeds. So naheliegend es sein mag, dass Mobilfunknetze ohne intelligente Software nicht funktionieren, so verblüffend ist, wie sehr die softwaregesteuerte Netzvirtualisierung die Möglichkeiten erweitert. Solche Netze machen es möglich, dass alle Funktionen durch Software-Komponenten realisiert werden, die sich entsprechend den Anforderungen wie Legosteine dynamisch auf zentralen oder lokalen Datenzentren zusammenstecken lassen.

Dann schlägt auch die Stunde des Network Slicing. Dabei werden verschiedene virtuelle Netze nebeneinander auf die Rechenzentren aufgespielt und betrieben. Während ein Slice beispielsweise im Enhanced Mobile Broadband läuft und den Nutzern eines Videostreaming-Dienstes hohe Bandbreiten zur Verfügung stellt, läuft im Nachbar-Slice vielleicht eine zeitkritische Anwendung eines mittelständischen Autozulieferers, der für die Robotersteuerung auf niedrige Latenzzeiten und höchste Zuverlässigkeit angewiesen ist.

Von den neuen Möglichkeiten profitieren vor allem Unternehmen, die sich für ihre Lösung oder ihr Geschäftsmodell ein maßgeschneidertes 5G-Netzwerk aufbauen wollen. Da die wichtigsten 5G-Softwarebausteine bis 2020 verfügbar sein werden, kann die konkrete Umsetzung im Einzelfall auch sehr schnell erfolgen. Network Slicing wird bereits heute im Berliner 5G-Playground für Industrial-IoT-Anwendungen mittels programmierbarer Edge-Computing-Knoten mit Industriepartnern erprobt und optimiert.

Reservierte Bandbreiten

Individuelle Lösungen könnten noch besser funktionieren, wenn die Unternehmen nicht von Mobilfunk Providern

abhängig wären, sondern auf dem Firmengelände eigene Funknetze aufbauen könnten. Die Bundesnetzagentur plant, Unternehmen oder regionalen Anbietern einen Teil des Frequenzspektrums zwischen 3,7 und 3,8 GHz als reservierte Bandbreite zur Verfügung zu stellen. Auch Fraunhofer-Experte Niels König hält die Idee für vielversprechend: »Unternehmen wären nicht von einem Mobilfunkbetreiber abhängig und könnten selbst für die Datensicherheit sorgen.«

Standards definieren

Für die konkrete Umsetzung der 5G-Pläne warten Unternehmen auf verbindliche Standards. Erst dann können fertige Lösungen und Endgeräte auf den Markt kommen. Verantwortlich für die Definition der 5G-Standards ist das internationale Gremium 3rd Generation Partnership Project (3GPP), eine globale Kooperation von Standardisierungsgremien für den Mobilfunk. Die Spezifikationen werden derzeit unter Beteiligung von Experten aus der ganzen Welt in monatlichen Arbeitstreffen festgelegt. Gerade wurde die erste Version des Standards (Release 15) verabschiedet. Die Fraunhofer-Institute HHI und IIS beteiligen sich aktiv an der Erarbeitung der technischen Spezifikationen für den 5G-Standard, seit diesem Jahr unterstützt durch das Fraunhofer FOKUS im Bereich Spezialnetze und Network Slicing. Erste 5G-Endgeräte werden schon ab 2020 erwartet.

Wegen der nötigen Investitionen und der Komplexität der Funknetze wird es noch einige Jahre dauern, bis 5G-Netze mit allen Funktionen flächendeckend verfügbar sind. Spätestens dann gehören Features wie die Latenzzeit von einer Millisekunde, Bandbreiten von zehn Gigabit pro Sekunde und absolute Zuverlässigkeit zum Alltag in Unternehmen, im Verkehr oder in der Smart City. ■



5G-Testumgebung in Erlangen/Nürnberg.
© Fraunhofer IIS/Hans Adel

Größerer Fernsehgenuss dank Codecs



Hochaufgelöste Bilder, individuell einstellbarer Klang - neue Standards aus Fraunhofer-Laboren steigern das Fernsehvergnügen und die Qualität virtueller Welten.

Text: Janine van Ackeren

Neben realistischem Raumklang bietet das MPEG-H-TV-Audio-System seinen Nutzern die Möglichkeit, zwischen verschiedenen voreingestellten Audiomixes zu wählen beziehungsweise die Dialog-Lautstärke entsprechend eigener Präferenzen zu beeinflussen. © Fraunhofer IIS/Viaframe



Gemütlich kuschelt man sich zu Hause auf das Sofa, um sich das Fußballspiel anzuschauen. Tooor!!? Oder doch Abseits? Im Broadcast Center, das das Spiel live überträgt, wird zur besseren Sichtbarkeit ein kurzes Standbild einblendet. In der Halbzeitpause folgen Grafiken, um das Spiel analysieren zu können. Was uns auf dem heimischen Sofa so selbstverständlich erscheint, erfordert in Produktionsumgebungen einiges an Technik: Der Videostrom wird dort vielfach durch zehn bis zwanzig Geräte geleitet, die Datenraten sind sehr hoch. Dazu kommt: Im Fernsehstudio sind viele Tausend solcher Verbindungen nötig – sei es für Live-Übertragungen oder für die Postproduktion. Bisher verbindet man die Geräte über SDI, kurz für Serial Data Interface – also Spezialleitungen, die einzig und allein im Fernseh- und Broadcastbereich eingesetzt werden. Doch zeichnet sich momentan ein Übergang ab, weg von der Standard-SDI-Geräte-Technik hin zu Video over IP. Die Geräte sind dabei nicht wie bisher über SDI miteinander verbunden, sondern über Ethernet. Auf diese Weise entstehen neue Optionen, so lassen sich etwa Cloud-Computing-Umgebungen einbinden.

JPEG-XS: Der neue Standard für Produktionsumgebungen

Ein neuer Codec soll gewährleisten, dass dieser neue Übertragungsweg reibungslos funktioniert. Die Anforderungen sind hoch: Möglichst wenig benötigte Rechenleistung an den einzelnen Geräten, geringe Datenrate durch hohe Kompression, exzellente Bildqualität, die auch durch mehrmaliges Komprimieren und Dekomprimieren nicht schlechter wird. Zudem soll der Standard eine geringe Latenz aufweisen, schließlich will man die Filme ja nicht erst mit einer Verzögerung von einigen Sekunden im

Studio auf dem Bildschirm haben. Das ISO-Gremium JPEG hat daher im Jahr 2016 einen solchen Codec in Auftrag gegeben. »Wir haben einen Vorschlag für einen solchen Codec eingebracht, welcher als Basis für den neuen Standard JPEG-XS ausgewählt worden ist«, freut sich Dr. Siegfried Föbel, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS.

Als Erstes entwickelten die IIS-Teams mit Kollegen im ISO-Gremium eine Architektur für den Codec und definierten die Ratenkontrolle – schließlich soll eine bestimmte Bandbreite nicht überschritten werden. Im Anschluss ging es um die Frage: Leidet die Qualität der Bilder, wenn sie mehrmals komprimiert und dekomprimiert werden? Um dies zu beantworten, definierten die Forschenden Testbilder, die jeweils sieben Mal komprimiert und dekomprimiert wurden. 360 Testpersonen verglichen die Originalbilder mit den dekomprimierten Bildern. Dazu nutzten die Forscher den Flicker-Test: Sie teilten den Bildschirm in zwei Teile, auf der linken Seite war das Originalbild in einer 4k-Auflösung zu sehen, auf der rechten Seite wechselte das Bild acht Mal pro Sekunde zwischen Originalbild und dekomprimiertem Bild, die Auflösung betrug ebenfalls 4k. Die Anforderung: Kein Unterschied darf zu sehen sein.

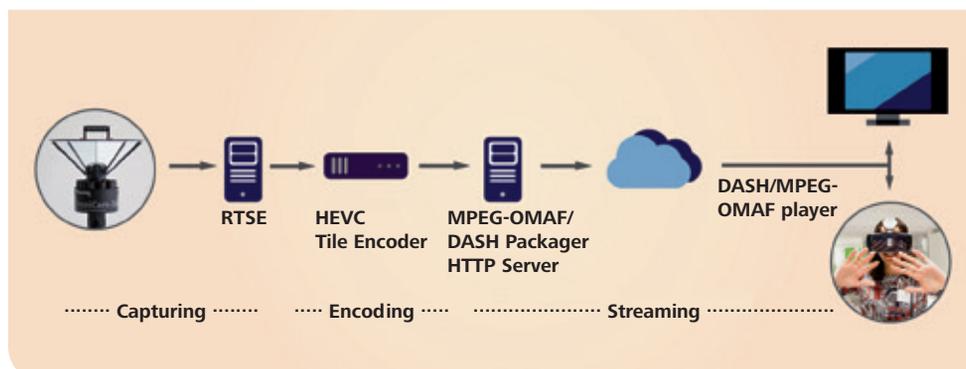
Der Codec an sich ist bereits fertig. Die Qualität kann sich sehen lassen. »Mit JPEG-XS existiert nun ein standardisierter, maßgeschneiderter Codec für 4k over IP. Die Qualität ist ähnlich wie bei vorherigen Codecs, allerdings können wir nun dreimal so schnell komprimieren wie bisher. Zudem arbeitet der Codec visuell verlustlos«, fasst Föbel zusammen. »Auch die Anforderungen an die Rechenleistung der einzelnen Geräte sinkt.« Zur Messe IBC (International Broadcasting Convention) in Amsterdam im September 2018

sollen mehrere Implementierungen verfügbar sein, das Software-Kit für die Gerätehersteller folgt Ende 2018.

HEVC: Fernsehen in Hochauflösung

Codecs vereinfachen nicht nur die Abläufe in Produktionsumgebungen – auch die Zuschauerinnen und Zuschauer daheim kommen in den Genuss ihrer Vorteile. Etwa beim Codec HEVC, kurz für High Efficiency Video Coding: Dieser Standard ermöglicht es, 4k-Bilder auf den TV-Bildschirm zu bringen. Somit sieht man das Bild gestochen scharf. Der zuvor gängige Übertragungsstandard H.264/AVC ist nicht auf 4k ausgelegt, die Datenraten sind schlichtweg zu hoch. Anders dagegen HEVC: Er ist der Codec mit der höchsten Kompressionseffizienz. Sprich: Er komprimiert die Daten deutlich effizienter als andere Standards und erlaubt es somit, größere Datenmengen zu übertragen – bei gleichzeitig geringen Betriebskosten. Entwickelt wurde HEVC in einer gemeinsamen Standardisierungsaktivität der International Telecommunication Union ITU und der Internationalen Organisation für Normung ISO mit namhaften Technologieunternehmen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI.

Bei der Fußball Weltmeisterschaft 2018 kam dieser Vorteil von HEVC zu tragen: »HEVC ist der einzige Videostandard, der bei Übertragungen von Spielen in 4k eingesetzt wird«, sagt Benjamin Bross, Projektleiter am HHI. »Nach der erfolgreichen Standardisierung von HEVC haben wir am HHI außerdem noch einen hocheffizienten HEVC Live Encoder entwickelt. Dieser wird bei Premium-Anbietern wie Sky oder Swisscom bereits erfolgreich für 4k-Live-Übertragungen eingesetzt.«



Der neue Standard MPEG-OMAF in Kombination mit HEVC-Tiles ermöglicht hochqualitatives Live-Streaming von 360-Grad-Video auf mobile und stationäre Endgeräte.
© Fraunhofer HHI



360-Grad-Video, das begeistert. Fraunhofer HHI zeigt komplette Ende-zu-Ende-Live-Demo von MPEG-OMAF mit HEVC Tiles auf der NAB 2018.
© Fraunhofer HHI

MPEG-H: Guter Klang von der Produktion bis ins Wohnzimmer

Für ein gelungenes Fernseh- oder Videoerlebnis muss nicht nur die Bildqualität stimmen, sondern auch der Ton. Bislang war es den Zuschauerinnen und Zuschauern nicht möglich, den Ton individuell anzupassen – etwa wenn der Sportkommentator die Stadionatmosphäre übertönt oder die Worte der Schauspieler durch zu laute Hintergrundmusik nur schwer zu verstehen sind. Das MPEG-H TV Audio System, das maßgeblich vom Fraunhofer IIS in Erlangen entwickelt wurde, soll hier Abhilfe schaffen. Es bietet zwei Vorteile: Man kann sich vom Klang einhüllen lassen und ihn zudem nach Belieben anpassen.

Man kann etwa zwischen verschiedenen Sprachen wechseln, bei Sportübertragungen aus mehreren angebotenen Kommentatoren wählen oder Lautstärke und Position eines Objekts verändern. Sprich: Die Nutzerinnen und Nutzer können erstmals die Mischung zwischen Dialog und Musik oder Effekten individuell einstellen und auf diese Weise mit der Sendung interagieren – und das alles ganz einfach per Fernbedienung eines MPEG-H-fähigen Endgerätes. Dabei erhält man von den Sendeanstalten Voreinstellungen – etwa eine erhöhte Dialog-Lautstärke, eine alternative Sprache oder die Stadion-Atmosphäre ohne TV-Kommentator bei einer Sportübertragung. Über diese Presets hinaus kann der Nutzer den Ton aber auch je nach Präferenzen feinjustieren.

Geräte, die den Standard MPEG-H unterstützen, sind seit März 2017 auf dem Markt. Was den dreidimensionalen Klang angeht, ist indes etwas

mehr Hardwareeinsatz vonnöten. Da die meisten Fernsehzuschauer jedoch vor einem aufwendigen 3D-Lautsprecher-Setup zurückschrecken dürften, haben die IIS-Forscher ein Referenzdesign für eine 3D-Soundbar entwickelt. Diese wird einfach unter den Fernseher gestellt – und fertig ist der raumfüllende Klang. Die ersten MPEG-H-3D-Soundbars verschiedener Hersteller sollen noch 2018 auf den Markt kommen. In Südkorea ist seit Mai 2017 die komplette Produktions- und Sendekette mit MPEG-H im Regelbetrieb – bei den terrestrischen UHD-TV-Services. Auch hierzulande ist MPEG-H bereits in Produktionen verschiedener Rundfunkanbieter eingeflossen, etwa in die ZDF-Reihe TerraX.

MPEG-OMAF: Bessere Qualität von 360-Grad-Videos

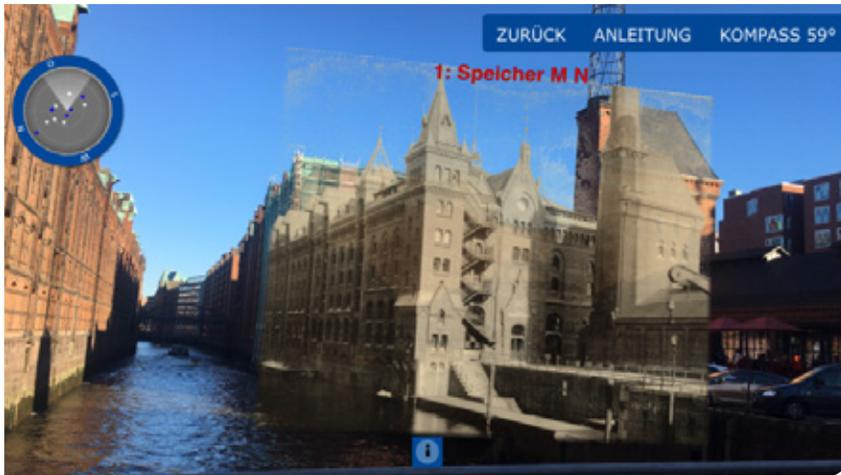
Auch im Bereich der virtuellen Welten wünschen sich Nutzerinnen und Nutzer eine optimale Bildqualität – beispielsweise wenn sie per VR-Brille in ein Rundum-Video abtauchen. Bisher ist das Bild, das sich in solchen Panoramavideos bietet, jedoch vielfach ernüchternd. Denn es reicht nicht, nur das jeweilige Blickfeld des Betrachters virtuell entstehen zu lassen – sonst würde er ins Schwarze blicken, wenn sein Kopf plötzlich herumschnellt – stattdessen gilt es, die virtuelle Welt rund um den Betrachter herum entstehen zu lassen. Das bedeutet: Da so viele Bilder übertragen werden müssen, kann man die Qualität nicht allzu hoch schrauben.

Forschende des HHI haben nun gemeinsam mit Partnern innerhalb des Standardisierungsgremiums MPEG einen effizienten Übertragungs-

standard entwickelt, der es erstmals ermöglicht, hochauflösende 360-Grad-Videos auf aktuelle mobile Endgeräte zu übertragen. Der Standard namens »Omnidirectional Media Format«, kurz OMAF, setzt auf dem Videocodec HEVC auf sowie auf dem Audio-Standard MPEG-H und ist mittlerweile der empfohlene Weg für 360-Grad-Videos. Das Prinzip: »Wir teilen das gesamte 360-Grad-Video in Kacheln (engl. tiles) auf, die unabhängig voneinander encodiert werden – daher nennt sich unsere Technologie Tile-based Streaming«, erläutert Dr. Cornelius Hellge, Gruppenleiter am HHI. »Das Endgerät entscheidet, welche Kacheln es in hoher Auflösung herunterlädt und welche in niedrigerer. Es baut sich also aus den Kacheln das benötigte Bild in optimal passender Auflösung zusammen, statt sich eines von zahlreichen vorgefertigten Videos herunterzuladen.« In Blickrichtung des Nutzers ist das Bild also hochaufgelöst, hinter ihm gering.

Auf der Messe NAB 2018 in Las Vegas präsentierten die HHI-Experten die weltweit erste Umsetzung des neuen Standards in einer durchgehenden Übertragungskette – und das in Echtzeit. Die 360-Grad-Videos wurden dort mit der ebenfalls am HHI entwickelten OmniCam-360 aufgenommen. Die OmniCam-360 besteht aus elf Kameras, deren Bilder sich nahtlos und ohne Artefakte zu einem hochaufgelösten VR360-Video zusammenfügen lassen. Das entstehende 360-Grad-Video haben die Forscher per HEVC live codiert – in insgesamt 48 HEVC-Strömen – und per OMAF auf eine Head-Mounted-Display-Brille übertragen, auf der sich die Besucher den live übertragenen Videostrom in 360 Grad ansehen konnten. ■

Speicherstadt-App: Geschichte digital erlebbar machen



Bei vielen Hamburg-Besuchern steht die Besichtigung der Speicherstadt auf dem Programm. Eine neue App macht die Geschichte des weltgrößten historischen Lagerhauskomplexes mit Fotos aus der Vergangenheit, Hörspielen, Hintergrundinformationen und Augmented Reality erlebbar.

Sobald sich der App-Nutzer auf dem Sweet Spot befindet, passt sich das historische Bild automatisch in das aktuelle Kamerabild ein. © dataport/ Fraunhofer FOKUS

Text: Michaela Müller

Die Hamburger Speicherstadt blickt auf eine lange Geschichte mit vielen bedeutenden Momenten zurück: 130 Jahre ist es her, dass Kaiser Wilhelm feierlich den Schlussstein für den ersten Bauabschnitt legte, im Zweiten Weltkrieg wurde fast die Hälfte der Gebäude der Speicherstadt durch alliierte Luftangriffe zerstört und nach dem Krieg wieder originalgetreu aufgebaut. Seit 2015 ist die Speicherstadt Weltkulturerbe. Um die Geschichte für die jährlichen 1,5 Mio Besucherinnen und Besucher der Speicherstadt erlebbar zu machen, initiierte die Hamburger Behörde für Kultur und Medien das Projekt »Speicherstadt digital«. Mit zahlreichen Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Kultur sind eine Webseite und die App »Speicherstadt digital« entstanden. Die interaktive Karte der App zeigt Standorte, an denen dem App-Nutzer historische Fotos, Texte und Audios zur Geschichte bereitgestellt werden.

Im Augmented-Reality-Modus die Speicherstadt erkunden

Eine besondere Funktion der App »Speicherstadt digital« ist der Augmented-Reality-(AR)Modus,

der von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für offene Kommunikationssysteme FOKUS entwickelt wurde. Dabei passen sich die historischen Bilder aus der Speicherstadt automatisch in die Kamerasicht des Handys oder Tablets eines Besuchers ein, sodass er einen direkten Vergleich zwischen damals und heute ziehen kann.

Wählt die Besucherin auf der Karte einen Standort aus und schaltet in den AR-Modus, erscheinen in ihrem aktuellen Kamerabild Pfeile, die ihn zum ausgewählten Standort führen. Wenn es ein Standort mit einer Augmented-Reality-Funktion ist, wird man per App zu einem »Sweet Spot« geleitet. Das ist ungefähr der Punkt, an dem der Fotograf vor einigen Jahrzehnten das Foto geschossen hat. Hier befindet sich die beste Stelle, an der sich das historische Bild exakt und möglichst unverzerrt in das aktuelle Kamerabild einfügt. »Das funktioniert nicht über Bilderkennung, sondern über GPS-Koordinaten, den Kompass und die Lagesensoren des Handys oder Tablets«, sagt Manuel Schiewe, Entwicklungsleiter Augmented Reality am FOKUS. Die Sensoren im Mobilgerät dienen sowohl der Navigation als auch für die perspektivische An-

passung der Bilder. Zusätzlich werden Transparenzeffekte an den Bildrändern berechnet, damit ein möglichst nahtloses Gesamtbild entsteht.

Momentan gibt es rund 20 AR-Standorte in der Speicherstadt. Es sollen weitere dazukommen. Zum Einrichten neuer AR-Standorte müssen zunächst geeignete historische Bilder gefunden werden, denn nicht jedes zweidimensionale Foto lässt sich gut in ein aktuelles perspektivisches Kamerabild einfügen. Außerdem sind von den historischen Bildern die GPS-Koordinaten der »Sweet Spots« notwendig, denn damit berechnet die Software perspektivische Korrekturen.

Die FOKUS-Expertinnen und -Experten haben den kompletten AR-Modus der App »Speicherstadt digital« entwickelt, von der Benutzeroberfläche über die GPS-basierte Navigation zum »Sweet Spot« bis hin zur perspektivischen Bildanpassung. Die App kann man kostenlos für die Betriebssysteme IOS und Android herunterladen. Über eine Erweiterung der App auf ganz Hamburg wird bereits nachgedacht. Diese neue Möglichkeit zur Besichtigung lässt sich aber auch in beliebigen anderen Städten oder historischen Stätten einsetzen. ■

Wann werden Daten zum Risiko?

Wer Daten verarbeitet und dadurch die Rechte von Personen gefährden könnte, muss seit Mai 2018 eine Datenschutz-Folgenabschätzung machen. Wie Unternehmen und Behörden dabei vorgehen können, hat die interdisziplinäre Forschungsgruppe »Forum Privatheit« in einem Whitepaper zusammengestellt.

Text: Christine Broll

Im echten Leben können hohe Hecken vor neugierigen Blicken schützen. In der digitalen Welt ist es wesentlich schwieriger, seine Privatsphäre zu sichern.
© eyeem.com / Danas

Muss ich eine Datenschutz-Folgenabschätzung machen? Riskiere ich hohe Strafen, wenn ich Fehler beim Datenschutz mache? Diese Fragen beschäftigen viele Unternehmen, Handwerksbetriebe und Vereine, seit die europäische Datenschutz-Grundverordnung DSGVO im Mai in Kraft getreten ist. Denn Verstöße gegen die Datenschutzvorgaben können mit bis zu 20 Mio Euro Strafe beziehungsweise 4 Prozent des Vorjahresumsatzes eines Unternehmens geahndet werden.

Datenschutz-Experte Dr. Michael Friedewald, Leiter des Geschäftsfelds Informations- und Kommunikationstechniken am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, befürchtet keine Sanktionswelle. Seiner Erfahrung nach setzen die Aufsichtsbehörden auf Kooperation. Sie weisen auf Probleme hin und zeigen Lösungen auf. »Strafen werden erst verhängt, wenn keine Bereitschaft besteht, die Mängel zu beseitigen oder, wenn absichtlich gegen die Verordnung verstoßen wird«, erklärt Friedewald. »Die aktuelle Hysterie in dieser Sache ist völlig übertrieben. Bei der Festlegung der Höchststrafen hat man sich an den Größenordnungen orientiert, die im Kartellrecht üblich sind«, erklärt Friedewald. Das Strafmaß soll deutlich machen, dass Datenschutz-Verstöße keine Bagatelldelikte sind. »Die durchschnittlichen Bußgelder dürften erheblich niedriger liegen.«

Folgenabschätzung in vier Schritten

Ein wichtiges Element der DSGVO ist die Datenschutz-Folgenabschätzung, kurz DSFA. Dabei wird systematisch untersucht, ob durch die Datenverarbeitung Risiken für die Rechte und Freiheiten von Personen entstehen. Verantwortlich für die DSFA ist die Unternehmens- oder Behördenleitung. Wie die Folgenabschätzung konkret ablaufen muss, schreibt die DSGVO nicht vor. Einige deutsche Industrieverbände, zum Beispiel Bitkom, haben daher Handreichungen für ihre Mitglieder verfasst.

»Um den Verantwortlichen einen Leitfaden an die Hand zu geben, hat das Forum Privatheit einen Prozess für die Folgenabschätzung entwickelt«, berichtet Michael Friedewald, der das Forum Privatheit koordiniert. Der Prozess besteht aus vier Phasen. Zuerst ist anhand einer Checkliste zu prüfen, ob eine Folgenabschätzung notwendig ist. Dann werden die Risiken identifiziert und bewertet, bevor im dritten Schritt Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Zum Schluss erfolgt die schriftliche Dokumen-

tation. Veröffentlicht ist der Prozess im Whitepaper »Datenschutz-Folgenabschätzung – ein Werkzeug für einen besseren Datenschutz«.

Im ersten Schritt der Folgenabschätzung ist zu klären, ob eine DSFA überhaupt nötig ist. Dazu wird untersucht, wie hoch das Risiko für die von der Datenverarbeitung betroffenen Personen ist. Mit einem hohen Risiko verbunden ist zum Beispiel die umfangreiche Verarbeitung von genetischen, biometrischen und gesundheitsbezogenen Daten sowie von Daten über ethische Herkunft, politische Meinungen oder sexuelle Orientierung. »Es gibt in der Praxis noch erhebliche Unsicherheit, wann eine DSFA durchzuführen ist«, erklärt der Fraunhofer-Datenschutzexperte. Ein niedriges Risiko besteht seiner Meinung nach zum Beispiel bei der Kundenkartei einer Autowerkstatt oder dem Mitgliederverzeichnis des örtlichen Turnvereins. In diesen Fällen sei eine DSFA in der Regel nicht notwendig.

Betroffener und Risikoquelle zugleich

Das Forum Privatheit hat eine Matrix entwickelt, mit der man das System als Ganzes betrachtet. Über welche Schnittstellen werden Daten ausgetauscht? Wer sind die Akteure? Mitarbeitende in Unternehmen und Behörden können einerseits Betroffene sein, da ihre personenbezogenen Daten gespeichert und verarbeitet werden. Andererseits können sie auch eine Risikoquelle sein, zum Beispiel der Polizist, der mal schnell in der polizeilichen Datenbank schaut, ob der Freund der Tochter ein Verkehrsrowdy ist.

Die Bewertung der Risiken erfolgt nach sechs Kriterien: Vertraulichkeit, Verfügbarkeit, Integrität, Nicht-Verkettbarkeit, Intervenierbarkeit und Transparenz. »Vertraulichkeit und Verfügbarkeit sind Antagonisten«, verdeutlicht Friedewald. »Daten, die zu 100 Prozent vertraulich sind, sind nicht mehr verfügbar. Diesen Interessenskonflikt muss man im Zuge der Bewertung ausloten.«

Zur Beurteilung der Integrität prüft man, ob die Daten vollständig und korrekt sind – von der Erstellung über die Speicherung und Verarbeitung bis hin zur Archivierung. Bei der Bewertung der Nicht-Verkettbarkeit wird untersucht, ob sich die Daten mit weiteren Datensätzen verbinden lassen und dann Informationen über eine bestimmte Person liefern können. Ein wichtiges Maß für die Intervenierbarkeit ist die Möglichkeit von Betroffenen, gegen die Verarbeitung ihrer Daten Einspruch zu erheben.

Das »Forum Privatheit«

Im Forum Privatheit setzen sich Expertinnen und Experten unterschiedlicher Disziplinen kritisch und unabhängig mit dem Schutz der Privatheit auseinander. Das vom Bundesforschungsministerium geförderte Gremium analysiert seit Jahren die Entstehung und die Inhalte der DSGVO und hat das Whitepaper »Datenschutz-Folgenabschätzung – ein Werkzeug für einen besseren Datenschutz« veröffentlicht. Koordiniert wird das Forum von Dr. Michael Friedewald vom Fraunhofer ISI.

 www.forum-privatheit.de

Weitere Informationen:
Datenschutz-Folgenabschätzung

 www.dsfa.eu

Whitepaper »Datenschutz-Folgenabschätzung – ein Werkzeug für einen besseren Datenschutz«

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

Auf Basis der Risikobewertung sind passende Schutzmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Viele Risiken lassen sich bereits durch das Einschränken von Zugriffsrechten oder durch Verschlüsselung minimieren. Die deutschen Datenschutzbehörden arbeiten gerade an einem Referenzmaßnahmenkatalog, in dem Lösungsansätze für typische Probleme vorgeschlagen werden.

Um den DSFA-Prozess an Beispielen zu konkretisieren, arbeitet das ISI am Projekt »Datenschutz-Folgenabschätzung für den betrieblichen und behördlichen Einsatz«. Partner sind die Fachhochschule Kiel und das Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur FIZ Karlsruhe. Für das Vorhaben hat sich das Projektteam Beispiele ausgesucht, bei denen der Datenschutz zurzeit im Argen liegt. Dazu gehören die mit Fitnessarmbändern und anderen Wearables gemessenen Daten genauso wie die bei niedergelassenen Ärzten gespeicherten Informationen und Videoüberwachungen zum Beispiel mit Gesichtserkennung.

»Wir werden anhand der Beispiele die Vorgehensweise bei der Datenschutz-Folgenabschätzung genau beschreiben«, plant Friedewald. »Ziel ist die Veröffentlichung eines praxistauglichen Handbuchs, in dem die Durchführung Schritt für Schritt erläutert wird.« ■

Vom Rechner zum Denker

Systeme der Künstlichen Intelligenz werden bei immer mehr Aufgaben in Fabrik, Büro und Alltag assistieren: Sie handeln für uns mit Aktien, steuern das autonome Auto, stellen medizinische Diagnosen und beantworten unsere Fragen im Call-Center. Die Schlüsseltechnologie dafür ist maschinelles Lernen. Wie Deutschland in dieser strategisch bedeutenden Zukunftstechnologie aufgestellt ist, zeigt eine neue Studie der Fraunhofer-Gesellschaft.

Text: Franz Miller

»Guten Tag, Sie sprechen mit einer KI«, »Google sagt den Tod voraus«, »Wer haftet für automatische Fehler?«, so lauten die Schlagzeilen dieser Tage. Immer wenn ein Computer in Brettspielen wie Schach oder GO, in eGames wie DOTA2 und neuerdings auch bei Diskussionen den Menschen besiegt, bricht ein Medienhype aus. Und die alten Mythen vom Kampf Mensch gegen Maschine kehren wieder.

So aufgeladen scheiden sich beim Thema Künstliche Intelligenz (KI) die Geister: Während Kritiker den Verlust von Arbeitsplätzen beschwören und davor warnen, dass am Ende Maschinen den Menschen steuern werden, schwärmen Werbevideos großer Unternehmen von einer phantastischen Zukunft durch Künstliche Intelligenz.

»Die Debatte um die Künstliche Intelligenz ist oft von Halbwissen, Vermutungen, Ängsten und Mythen, aber auch von übersteigerten Erwartungen geprägt«, betont Prof. Stefan Wrobel, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS. »Aufklärung ist gefragt«, fügt er hinzu, »denn die gesellschaftliche Akzeptanz ist für die weitere Verbreitung maschinell basierter Lernverfahren von zentraler Bedeutung.« Hier setzt die aktuelle Fraunhofer-Studie »Maschinelles Lernen« an, die im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung entstanden ist. Gleich zu Beginn stellen die KI-Forscher klar, dass sie keine künstlichen Gehirne oder künstlichen Menschen bauen, genauso wenig wie Flugzeugbauer künstliche Vögel konstruieren. Sie entwickeln lernfähige Maschinen, die – ähnlich wie Men-

schen – elementare kognitive Aufgaben lösen. Die neuen Technologien sind längst in unserem Alltag angekommen. Virtuelle Assistenten wie Siri, Alexa oder Cortana sind in vielen Familien bereits zu unentbehrlichen Mitbewohnern geworden. Doch ohne Netz bleiben sie dumm und stumm, denn sie senden die Anfragen nur an gigantische Rechenzentren, wo sie bearbeitet und die Daten gesammelt werden. Bestellt man eine Pizza übers Internet, kommuniziert man mit einem Chatbot, der einen menschlichen Berater simuliert. Bald wird man auch am Telefon kaum noch erkennen können, dass man mit einem Computer spricht. In Zukunft werden die Menschen in vielen Situationen lernenden Systemen begegnen.

Ausgelöst wurden die rasanten Fortschritte der Künstlichen Intelligenz durch das maschinelle



»Maschinelles Lernen - Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf«

Die Studie basiert auf einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Forschungsprojekt und wurde vom Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, dem Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW sowie der Fraunhofer-Zentrale durchgeführt. Sie gibt eine kompakte Einführung in die wichtigsten Konzepte und Methoden des maschinellen Lernens, bietet einen Überblick zu aktuellen Herausforderungen und künftigen Forschungsaufgaben und stellt Deutschlands Position in der Anwendung von maschinellem Lernen dar.



[www.bigdata.fraunhofer.de/
ml-studie](http://www.bigdata.fraunhofer.de/ml-studie)

© fotolia

Lernen (ML) mit neuen Methoden des Deep Learning, die mit künstlichen neuronalen Netzen arbeiten. Durch Training mit großen Datenmengen entwickeln diese Systeme eine erstaunliche Leistungsfähigkeit. Letztlich sind diese Methoden verantwortlich für die großen Erfolge in der Sprach-, Text-, Bild- und Videoverarbeitung.

Globales digitales Wettrüsten

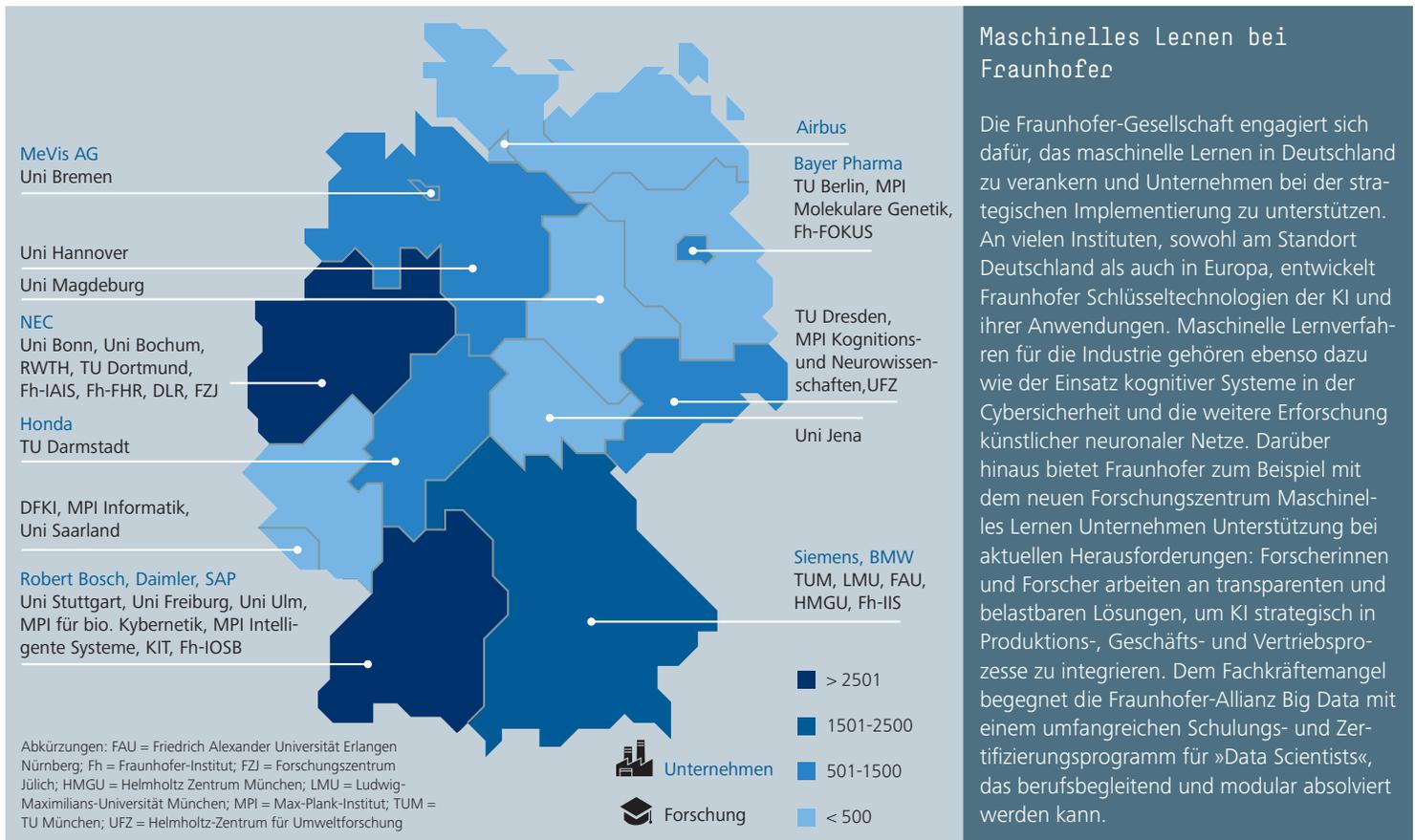
Inzwischen hat ein globales Wettrüsten um diese wirtschaftlich und strategisch entscheidenden Technologien begonnen, das vor allem zwischen den USA und China ausgetragen wird. Wer diese Technologien am schnellsten und besten beherrscht, wird zu den Gewinnern im Zeitalter von Industrie 4.0, Internet der Dinge und Roboterautos zählen.

Im September 2016 schlossen sich die fünf Unternehmen Google, Facebook, Amazon, Microsoft und IBM zu einer Forschungs-Allianz »Offene Künstliche Intelligenz« zusammen. China hat im Juli 2017 einen Plan beschlossen, um 2030 auf allen KI-Gebieten Weltmarktführer zu sein. Auch die Bundesregierung Deutschlands hat die strategische Bedeutung der KI erkannt. Derzeit arbeitet sie unter anderem an einem »Masterplan Künstliche Intelligenz«, der bis Herbst fertiggestellt sein soll.

Lernende Maschinen gelten als Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft. Es gibt kaum eine Branche, die diese Technologien nicht radikal verändern werden: Industrielle Produktion, Medizin, Recht, Finanzen, Prozesssteuerung,

Logistik, Kundenmanagement und Verkehr. Lernende Maschinen analysieren Bilder, recherchieren in Dokumenten, helfen bei der Geldanlage, optimieren Prozesse in der Industrie, erkennen Mängel, bevor sie zu Störungen führen, und arbeiten als Roboter Hand in Hand mit dem Menschen. »Besonders große Potenziale versprechen ML-basierte Produkte und Dienstleistungen im Kontext von Industrie 4.0, etwa bei der industriellen Analytik und vorausschauender Optimierung von Produktionsprozessen«, stellt Prof. Thorsten Posselt vom Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW fest.

Beim maschinellen Lernen wird »Wissen« aus »Erfahrung« erzeugt. Nehmen wir das Beispiel einer Katze. Aus Tausenden von Bildern mit der



Maschinelles Lernen bei Fraunhofer

Die Fraunhofer-Gesellschaft engagiert sich dafür, das maschinelle Lernen in Deutschland zu verankern und Unternehmen bei der strategischen Implementierung zu unterstützen. An vielen Instituten, sowohl am Standort Deutschland als auch in Europa, entwickelt Fraunhofer Schlüsseltechnologien der KI und ihrer Anwendungen. Maschinelle Lernverfahren für die Industrie gehören ebenso dazu wie der Einsatz kognitiver Systeme in der Cybersicherheit und die weitere Erforschung künstlicher neuronaler Netze. Darüber hinaus bietet Fraunhofer zum Beispiel mit dem neuen Forschungszentrum Maschinelles Lernen Unternehmen Unterstützung bei aktuellen Herausforderungen: Forscherinnen und Forscher arbeiten an transparenten und belastbaren Lösungen, um KI strategisch in Produktions-, Geschäfts- und Vertriebsprozesse zu integrieren. Dem Fachkräftemangel begegnet die Fraunhofer-Allianz Big Data mit einem umfangreichen Schulungs- und Zertifizierungsprogramm für »Data Scientists«, das berufsbegleitend und modular absolviert werden kann.

Die Grafik zeigt die bundesweit publikationsstärksten Akteure aus Wissenschaft und Industrie für die Erforschung und Entwicklung von Technologien des maschinellen Lernens – analysiert auf Basis wissenschaftlicher Publikationen im Zeitraum von 2006–2015. © Fraunhofer IAIS/Fraunhofer IMW

Bezeichnung Katze bildet der Lernalgorithmus in dem neuronalen Netz Muster aus, mit denen er Katzen erkennen kann, auch wenn sie nur teilweise zu sehen sind. Entscheidend für die Qualität des erlernten Wissens ist die Menge an Beispieldaten. Deshalb spielt maschinelles Lernen da seine Stärken aus, wo große Mengen von Bildern, Dokumenten oder Sprachbeispielen verfügbar sind. So können lernende Systeme aus den medizinischen Bildern bereits Brustkrebs, Herzerkrankungen, Osteoporose und erste Anzeichen von Hautkrebs identifizieren.

Stark in den Grundlagen, schwach in der Umsetzung

Für die Untersuchung von Deutschlands Position im maschinellen Lernen werteten die Fraunhofer-Forscher Publikations- und Patentstatistiken aus. Sie zeigen, dass Deutschland in der Grundlagenforschung gut aufgestellt ist, aber Defizite bei der Umsetzung im Markt hat. Dies spiegelt sich unter anderem in den vergleichsweise geringen Patentanmeldungen Deutschlands wider.

Die großen Technologieunternehmen in den USA, die auf riesige Datenbestände zurückgreifen können, haben uneinholbare Vorsprünge gegenüber deutschen Mittelständlern, die nur über eine schmale Datenbasis verfügen. Weil der Zugang zu Daten wettbewerbsentscheidend ist, bleibt ihnen nur die Möglichkeit, Daten mit anderen auszutauschen. Das tun sie aber nur, wenn Kontrolle und Datenschutz gesichert sind.

Die andere große Herausforderung für Deutschland besteht in den fehlenden Fachkräften, warnen die Experten. Ohne ausreichende Datenwissenschaftler und ML-Spezialisten ist die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands ernsthaft gefährdet. Ein extrem wichtiges Forschungsziel ist die Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen lernender Systeme. Die Fachleute nennen das »erklärbare KI«. Man will wissen, wie die Systeme zu ihren Entscheidungen kommen. Andere Handlungsfelder für die Forschung sind »Maschinelles Lernen mit wenigen Daten« und »Maschinelles Lernen mit zusätzlichem Wis-

sen von Experten«. Ergänzendes Wissen kann fehlende Daten kompensieren und die Nachvollziehbarkeit erhöhen.

Gleichzeitig müssen viele rechtliche und ethische Fragen geklärt werden: Wer haftet bei Schäden und Fehlern? Wer ist für Inhalte verantwortlich? Wer hat das Urheberrecht? Warum hat die Maschine so und nicht anders entschieden? Werden bestimmte Personen diskriminiert? Was darf das System selbstständig entscheiden? Wie wird Daten- und Verbraucherschutz gewährleistet?

Die zentrale ethische Herausforderung lautet, die Systeme so zu gestalten, dass sie mit unseren Gesellschafts-, Rechts- und Wertevorstellungen übereinstimmen. »Es wäre niemals akzeptabel, wenn sich eine KI weniger ethisch, weniger moralisch, weniger korrekt, weniger gesellschaftlich akzeptiert verhält als ein Mensch«, betont KI-Experte Stefan Wrobel. Dann werden die lernenden Maschinen auch als wertvolle Assistenten akzeptiert und nicht als Angriff auf das menschliche Unwissen wahrgenommen. ■



Software für Papier

Schwedens Rohstoff Nummer eins ist Holz. Das Papier, das sich daraus gewinnen lässt, bildet traditionell einen wichtigen Wirtschaftszweig.

Im Auftrag von Papier- und Verpackungsunternehmen ist es den deutsch-schwedischen Teams des Fraunhofer Chalmers Center for Industrial Mathematics gelungen, ein neuartiges virtuelles Modell zu entwickeln, das die Verarbeitung und Qualitätskontrolle analysiert und optimiert. In diesem Jahr begann die dritte Projektphase mit einer industriellen Förderung von 500 000 Euro. Ziel ist es, einheitliche Softwaretools für die Produktentwicklung zu erarbeiten. Dabei werden die wichtigsten Schritte der Papierverarbeitung sowie die physikalischen Eigenschaften des Endprodukts simuliert.

Das Fraunhofer Chalmers Center for Industrial Mathematics ist das älteste europäische Fraunhofer Center. Es entstand 2001 aus einer langjährigen Partnerschaft des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern mit der schwedischen Chalmers University.

Zur Feier des 17-jährigen Bestehens des Centers fand unlängst in Göteborg die Fraunhofer-Chalmers Centre's Jubilee Conference statt.



Cyber-Produktion

In Ungarn entsteht jetzt das europäische Kompetenzzentrum für Produktionsinformatik und -steuerung, kurz EPIC. Gegründet wurde EPIC InnoLabs Non-profit von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Institut für Informatik der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (MTA SZTAKI). Die offizielle Eröffnung der Geschäftsräume in Budapest fand kürzlich anlässlich des deutsch-ungarischen Tags »Kooperation für Innovation und Exzellenz« statt.

Ziel von EPIC ist der Transfer von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen aus den Bereichen cyberphysische Produktion und Logistik in die Industrie. EPIC soll darüber hinaus ein regionales Zentrum für industrielle Digitalisierung und Industrie 4.0 werden.

Während der siebenjährigen Startphase wird EPIC unterstützt durch das Spreading Excellence and Widening Participation Programm der EU.

Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, dem anlässlich der Eröffnung die Ehrendoktorwürde der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität Budapest verliehen wurde, betonte: »Ich bin fest davon überzeugt, dass unsere Kooperation die Wirtschaftskraft unserer Länder und Europas im globalen Wettbewerb durch den Transfer von wissenschaftlich exzellenter Forschung in die Industrie nachhaltig stärkt.«



Advanced Manufacturing

São José dos Campos ist das Hightech-Zentrum Brasiliens. Hier hat die Aeronáutica S.A., der viertgrößte Flugzeugbauer der Welt, seinen Sitz; im Umkreis von 200 Kilometern sind auch rund 50 Prozent der brasilianischen Industrieunternehmen sowie 70 Prozent aller deutschen Tochterunternehmen angesiedelt. Außerdem befindet sich in São José dos Campos das Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA. Dieses ist nicht nur Forschungsinstitut, sondern auch eine auf Luft- und Raumfahrt spezialisierte Elite-Hochschule.

Zusammen mit ITA hat jetzt das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK das Fraunhofer Project Center for Innovations in Advanced Manufacturing at ITA, kurz FPC@ITA, gegründet.

»In Zukunft wird das IPK gemeinsam mit dem Competence Center for Manufacturing am ITA produktionstechnologische Lösungen für die brasilianische Industrie sowie für deutsche beziehungsweise europäische Unternehmen, die hier fertigen, anbieten«, erklärte Prof. Eckart Uhlmann, Leiter des IPK und Executive Director des Project Centers.

Die Forscher im neuen FPC@ITA erarbeiten innovative und nachhaltige Konzepte zur Optimierung von Prozessketten, beispielsweise durch Automation im Herstellungs- und Montageverfahren von Flugzeugstrukturteilsystemen. Ziel der Kooperation ist es, langfristig die Kompetenzen der Partner zu bündeln und gemeinsam neue Technologien für die digital integrierte Produktion (DIP) zu entwickeln.



Solarkraftwerk

In Ägypten gibt es reichlich Sonnenschein, aber Wasser ist ein knappes Gut. Ein neues solarthermisches Kraftwerk, das jetzt in der City of Science and Technology im ägyptischen Borg El Arab, westlich von Alexandria, eingeweiht wurde, deckt den Strombedarf von 1000 Menschen und bereitet auch noch 250 000 Liter Brackwasser am Tag auf.

Dank einer innovativen Technik arbeitet das neue Kraftwerk sehr effizient: Zur Wärmeübertragung werden statt der bisher üblichen Thermoöle geschmolzene Salze eingesetzt. Diese sind nicht nur umweltfreundlich und leicht zu handhaben, sondern transportieren Wärme auch bei niedrigen Drücken sowie Temperaturen bis zu 550 Grad Celsius.

Das Solarkraftwerk wurde im EU-Projekt MATS entwickelt, die Abkürzung steht für Multipurpose Applications by Thermodynamic Solar. Ein internationales Team von Forschungs- und Industriepartnern aus Italien, Frankreich, Großbritannien, Deutschland und Ägypten arbeitet dabei eng zusammen. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg hat das Projekt wissenschaftlich betreut.

Weniger CO₂ dank intelligenter Sektorenkopplung

Fraunhofer-Forschende arbeiten an einer Systemlösung zur Verminderung von CO₂-Emissionen. Dazu haben sie Anfang April gemeinsam mit namhaften Partnern aus der Wirtschaft den Verein »Open District Hub e.V.« gegründet. Projektleiter Dr. Karsten Schmidt, Corporate Business Development Manager Energy in der Fraunhofer-Zentrale, im Interview.

Interview: Eva Rathgeber



Dr. Karsten Schmidt managt das Projekt Open District Hub in der Fraunhofer-Zentrale.
© Stefanie Hink/Fraunhofer

Dr. Schmidt, was verbirgt sich hinter dem Begriff »Open District Hub« und was wollen Sie mit diesem Vorhaben erreichen?

Es handelt sich um ein IKT-Ökosystem zur ganzheitlich vollintegrierten und automatisierten Sektorenkopplung, mit dem wir die Systemintegration der Erneuerbaren Energien vorantreiben wollen. Das Ziel ist eine sinnvolle Verbindung zwischen Erzeugung und Verbrauch. Erneuerbare Energien, zum Beispiel eine Photovoltaikanlage, sind kleinskalige Technologien, die man sehr gut in der Nähe des Verbrauchs, beispielsweise auf dem Hausdach, installieren und den Strom so direkt dem Verbraucher zuführen kann. Das Szenario könnte so aussehen: Die Anlage eines Wohnhauses liefert morgens und abends Strom in die eigene Immobilie, während der Strom tagsüber im Nachbargebäude genutzt wird. Damit vermeiden wir die Notwendigkeit eines teuren Netzausbaus, da wir den Strom lokal verwenden. Mithilfe von intelligenter Software können wir den Strom in dem Moment, in dem er erzeugt wird, zu den Verbrauchern hinführen, die ihn in diesem Moment vielleicht nicht brauchen, aber zwischenspeichern können. Die Sektorenkopplung wird somit im Prinzip genutzt, um sich Flexibilitätspotenziale auf Verbrauchsseite zunutze zu machen und so der volatilen Erzeugung bei den Erneuerbaren Energien entgegenzuwirken und sie erst gar nicht zum Problem werden zu lassen.

Inwieweit könnte dieser Ansatz den entscheidenden Durchbruch für das Ziel einer CO₂-freien Energiewirtschaft mit sich bringen?

Das Prinzip des Open District Hubs ermöglicht uns, den Ausbau der Erneuerbaren Energien ökonomisch sinnvoll weiter voranzutreiben, und damit wird ein massiver Beitrag zur CO₂-Emissionsreduktion geleistet. Je mehr Erneuerbare Energien installiert werden, desto stärker gehen die CO₂-Emissionen in der Energieversorgung zurück.

Warum auf Quartiersebene?

Bereits heute lassen sich viele Eigentümer Photovoltaikanlagen auf ihrem Hausdach installieren. Das reicht aber nicht, um den Ausbau der Erneuerbaren Energien weiter voranzutreiben. In einem einzelnen Haus sind die Flexibilitätspotenziale begrenzt, im Quartier sind diese mannigfaltig.

Welche Technologien kommen im Open District Hub zum Einsatz?

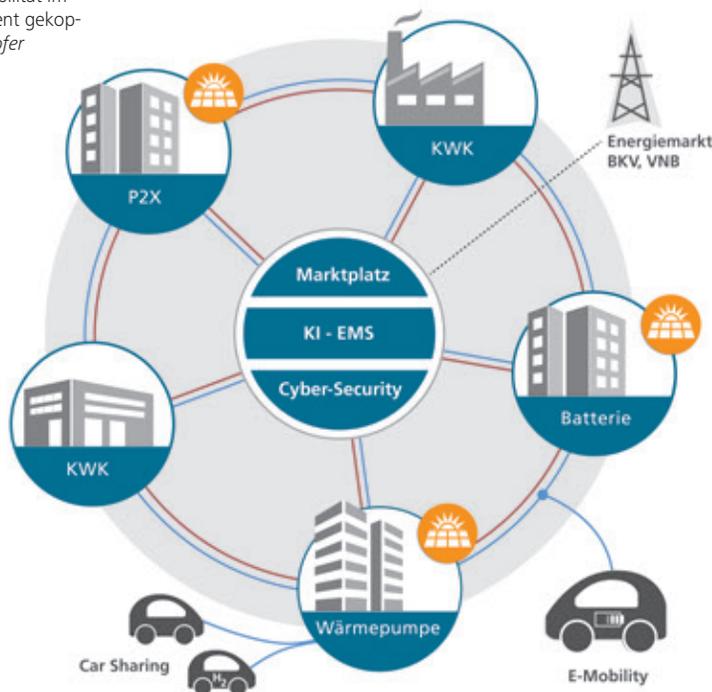
Der Open District Hub besteht aus einem digitalen Marktplatz auf Blockchain-Basis, der in kommunikationstechnischer Verbindung mit einem selbstlernenden Energiemanagement-

system steht. Denkbar ist folgendes Szenario: Der Bewohner eines städtischen Quartiers bucht ein elektrisches Fahrzeug über den digitalen Marktplatz, um der Verabredung mit Freunden zum Mittagessen zu folgen. Die entsprechenden Informationen nimmt der digitale Marktplatz auf und überträgt diese automatisch an das Energiemanagementsystem. Letzteres verfügt über die gesamten technischen Informationen, kennt etwa den Ladezustand der Batterie im Fahrzeug und dessen Strombedarf. Auf dieser Basis übernimmt das Energiemanagementsystem die optimierte Ladeplanung. Es weiß beispielsweise, wie die Wetteraussichten zum Zeitpunkt des Ladevorgangs sind, kann also planen, ob die Photovoltaikanlage genutzt werden kann oder ob auf eine andere Stromquelle zurückgegriffen werden muss. Aus der energietechnischen Beladung des Fahrzeugs resultieren Transaktionen mit diversen Anbietern, die über den digitalen Marktplatz vergütet werden. Flankiert wird das ganze durch ein Cybersecurity-System, das Anomalien erkennt und das Energiemanagementsystem hierüber informiert.

Welche Rolle spielen die unterschiedlichen Mitgliedsunternehmen im Open District Hub e.V.?

Mittlerweile haben wir 20 Partnerunternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Diese helfen uns zum einen, die Anforderungen an die technologische Entwicklung zu definieren. Darüber hinaus sind sie Partner bei der Pilotierung

Im Open District Hub sind die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität im Quartier intelligent gekoppelt. © Fraunhofer



und Austestung der Technologien. Die Technologien, die hier entstehen, entwickeln im Wesentlichen Fraunhofer-Forschende. Damit wir nicht auf der grünen Wiese anfangen müssen, setzen wir auf den bestehenden Insellösungen unserer Partnerunternehmen auf. Fraunhofer-Forschende entwickeln die Brückentechnologien, um diese bestehenden Insellösungen 1:1 einzubinden.

Wie geht es jetzt mit dem Projekt weiter?

Hinter dem Open District Hub stehen heute schon vier Pilotquartiere, drei davon in Bayern und eines in Hamburg, die wir im Zuge der Verheiratung der inhaltlichen Anforderungen mit der technischen Entwicklung realisieren und in Betrieb nehmen werden. Gegenwärtig sind wir dabei, unterschiedliche Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene zu adressieren, entsprechende Projektskizzen zu erstellen und diese bei den Fördermittelgebern einzureichen. Spätestens ab Januar 2019 wollen wir mit der Realisierung der ersten Pilotquartiere starten. Innerhalb von 24 bis 36 Monaten soll eine erste Betaversion auf Technology Readiness Level 6-7 (das bedeutet eine bereits fortgeschrittene Marktreife) realisiert werden. Anschließend wollen wir den Technology Readiness Level kontinuierlich mit unseren Partnern steigern. Der Standard, den wir hier entwickeln, sieht vor, dass die verschiedenen Anlagen auf einer übergeordneten Ebene miteinander kommunizieren und im Einklang miteinander agieren können. Unser Ziel ist es, einen Industriestandard zu schaffen, mit dem wir sicherstellen, dass Partnerunternehmen, die diesem Standard folgen, ihre Anlagen ohne Probleme in ein solches Quartier einbinden können.

Wo sehen Sie aktuell die größten Hürden?

Technisch ist die Realisierung umsetzbar. Allerdings gibt es eine Reihe von regulatorischen Hürden, beispielsweise datenschutzrechtlicher Natur. So speist der Nutzer eines E-Fahrzeugs seine Mobilitätsdaten in das System und willigt damit für die Nutzungsdauer ein, permanent getrackt zu werden. Das sind aber typische datenschutzrechtliche Fragestellungen, die im Zusammenhang mit Digitalisierungsprojekten auftreten und lösbar sind.

Welche Vision haben Sie für die Zukunft?

Wir wollen mit unseren Pilotprojekten zeigen, wie die Quartiersversorgung der Zukunft aussehen kann. Damit geben wir den Anstoß dafür, dass künftig alle Neubauquartiere und Quartiere, die zur Sanierung anstehen, nach diesem Standard umgerüstet werden. Und irgendwann wird sich dieser zelluläre Ansatz durchsetzen und das öffentliche Netz wird dann genutzt werden, um eine Vielzahl von lokal organisierten Open District Hubs auf übergeordneter Netzebene zusammenzuschalten. ■

Propan-Wärmepumpe: Umweltfreundlich und effizient

Propan kann nicht nur Dosen-Ravioli im Campingurlaub erwärmen. Das leicht brennbare Gas ist auch eine vielversprechende, umweltfreundliche Alternative zu synthetischen Kältemitteln in Wärmepumpen. Fraunhofer-Forscherinnen und Forschern ist es gelungen, das Sicherheitsrisiko zu senken und gleichzeitig die Effizienz der Pumpen zu steigern.

Text: Sonja Endres

Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank: Das Kältemittel nimmt die Wärme im Innern des Kühlschranks auf und befördert sie nach draußen. Doch während beim Kühlschrank die Wärme an der Rückwand ungenutzt verpufft, wird die Wärme, die eine Wärmepumpe der Erde, dem Grundwasser oder der Umgebungsluft entzieht, zum Heizen oder für die Warmwasserzubereitung verwendet.

Dazu wird das erwärmte, dampfförmige Kältemittel verdichtet und so seine Temperatur und sein Druck erhöht. Das heiße Kältemittelgas gibt seine Wärme an Wasser ab und kondensiert. Das warme Wasser strömt in Fußbodenheizungen, Heizkörper oder Warmwasserspeicher, und das abgekühlte, flüssige Kältemittel fließt wieder zurück in den Verdampfer, wo es erneut Wärmeenergie aufnimmt. Der Kreislauf beginnt von Neuem.

Als Kältemittel werden in der Regel synthetische Stoffgemische verwendet, die umweltschädliche, fluorierte Treibhausgase (F-Gase) enthalten. Die Europäische Kommission hat im Juni 2014 beschlossen, dass F-Gase schrittweise vom Markt genommen werden müssen. Eine umweltfreundliche, natürliche Alternative zu synthetischen Kältemitteln ist Propan – in Klima- und Kälteanlagen bereits zunehmend im Einsatz, in Wärmepumpen Neuland.

Denn Propan hat zwar sehr gute thermodynamische Eigenschaften, ist aber leicht brennbar und damit eine Herausforderung für die Verwendung im Wärmekreislauf. »Wenn man Propan nutzen

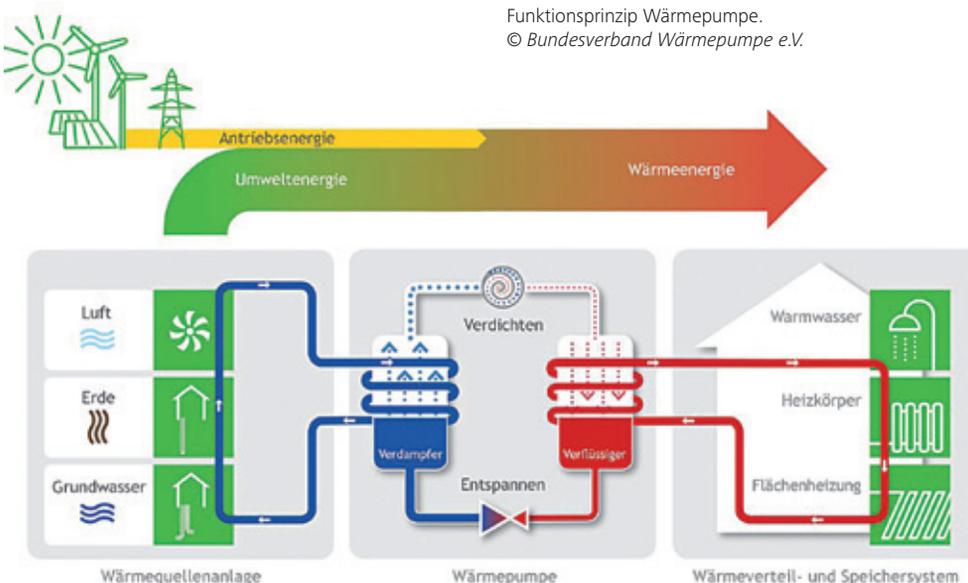
will, muss man die Kältemittelmenge so gering wie möglich halten, um das Sicherheitsrisiko zu reduzieren«, sagt Dr. Lena Schnabel, Leiterin der Abteilung Wärme- und Kältetechnik am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg.

Bionische Struktur sorgt für gleichmäßige Verteilung

Die ISE-Forscherinnen und -Forscher haben daher gemeinsam mit europäischen Forschungspartnern hochkompakte, gelötete Lamellenwärmeübertrager eingesetzt, die mit geringen Flüssigkeitsmengen gut funktionieren. In Wärmeübertragern wird die thermische Energie von einem Stoffstrom auf den anderen überführt. Sie bestehen aus vielen parallel verlaufenden Kanälen, in denen das Kältemittel zirkuliert und Wärme aufnimmt, dann nennt man sie Verdampfer, oder abgibt, dann heißen sie Verflüssiger. »Die Flüssigkeit soll über die Lauflänge vollständig verdampfen beziehungsweise wieder kondensieren. Um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten, muss in allen Kanälen das gleiche Dampfliquiditätsverhältnis herrschen. Das ist generell nicht einfach und wird besonders schwierig, wenn man gleichzeitig Kältemittel reduzieren will«, erklärt Schnabel.

Um das Problem zu lösen, entwickelten die Wissenschaftler und ihr Team einen Verteiler mit einer bionischen Struktur: »Herkömmliche Venturiverteiler sehen aus wie ein Spaghettihaufen aus vielen dünnen Rohren, die in den Verdampfer münden. Unser Verteiler hat im Gegensatz dazu eine kontinuierlich verzweigende Struktur wie die Äste und Zweige eines Baums, die eine gleichmäßige Verteilung des Kältemittels in die einzelnen Verdampferkanäle bei geringer Kältemittelmenge ermöglichen.« Damit kann die gesamte Wärmeübertragerfläche optimal genutzt und so die Effizienz gesteigert werden.

Um bei der Kompression des Propans keine Explosion zu riskieren, verwendeten Schnabel und ihr Team einen speziellen Verdichter, in dem sämtliche Zündquellen gekapselt wurden. Damit





Vorbild Natur: Der neu entwickelte Verteiler für Wärmepumpen orientiert sich an den sich verzweigenden Ästen eines Baumes.
© seraph / photocase.de



Wärmepumpen ermöglichen Energiewende

Auf Heizung und Warmwasser entfallen mehr als 80 Prozent des Energieverbrauchs in deutschen Haushalten. Wegen des Klimawandels und der Ressourcenknappheit ist es dringend notwendig, Wärmeenergie effizient und nachhaltig bereitzustellen. Die Wärmepumpentechnologie ist in der Lage, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Sie macht Umweltenergie für Heizzwecke nutzbar und ist damit ein wichtiger Baustein für die Umsetzung der Energiewende. In einem speziellen Testlabor des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE können Wärmepumpen vermessen und ihre Leistungsdaten zertifiziert werden.

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

kein Propan entweichen kann, wurden die einzelnen Bauteile der Pumpe besonders sorgfältig miteinander verbunden. »Zurzeit modifizieren wir die technische Gestaltung der Wärmepumpe, prüfen die Bauteile im Langzeitverhalten und erstellen die tragfähige Sicherheitskonzepte«, sagt Schnabel.

Wie die meisten Wärmepumpen nutzt die Propanpumpe Luft als Wärmequelle. Der Vorteil: Außenluft ist überall leicht und schnell verfügbar, während für Erd- oder Grundwasserwärme kostspielige Bohrungen und Installationen notwendig sind. Der Nachteil: Luftwärmepumpen haben eine schlechtere Effizienz, besonders im Winter. Auch das Betriebsgeräusch der Luftwärmepumpen, die sich mit einem Ventilator Luft zuführen, wird häufig als störend empfunden.

»Die akustische Beeinträchtigung ist zwar nicht höher als durch ein vorbeifahrendes Auto. Wenn man allerdings bedenkt, dass dieses Jahr

erstmals mehr als die Hälfte aller Neubauten mit Wärmepumpen ausgestattet wurden und die Zahlen in den nächsten Jahren noch steigen werden, summiert sich das Geräusch und wird zunehmend zum Problem«, sagt Dr. Marek Miara, Koordinator Wärmepumpen am ISE. Die Fraunhofer-Teams arbeiten daher an Lösungen, die einen geräuschärmeren Betrieb der Luftwärmepumpen ermöglichen.

Wärmepumpen nach Maß

Neben Propan und synthetischen Kältemitteln mit geringem Global-Warming-Potenzial (GWP) erforschen sie auch andere alternative, natürliche Kältemittel, unter anderem Ammoniak, Propen oder Butan. »Jeder dieser Stoffe ist aufgrund seiner Stoffeigenschaften für bestimmte Temperaturfenster besonders geeignet. Unser Ziel ist es, für jede Anforderung möglichst effiziente Wärmepumpenprozesse umzusetzen«, so

Schnabel. Hierfür hat das ISE ein spezielles Labor eingerichtet, in dem verschiedene Technologien und Systemkonfigurationen der Wärmepumpen in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen getestet werden können. Das integrale Sicherheitskonzept ermöglicht auch Experimente mit brennbaren Stoffen.

Miara ist überzeugt: Die Forschung an Wärmepumpen wird in den nächsten Jahren intensiviert. »Heizung und Warmwasser benötigen in Deutschland rund 40 Prozent der Endenergie. Das Verbrennen von hochwertigen, fossilen Energieträgern wie Erdgas oder Erdöl ist nicht nur energetisch unsinnig, sondern auch klimaschädlich. Wärmepumpen machen aus einer Einheit elektrischer Antriebsenergie, häufig aus erneuerbaren Energien, drei bis fünf Einheiten Wärmeenergie – und das völlig CO₂-neutral. Alle Studien zeigen, dass Wärmepumpen sich in Zukunft durchsetzen werden.« ■

Kulturerbe erhalten - per Forschung und Hightech



Forscher erfassen den Fries des Pergamonaltars mit einem Laserscanner.
© Fraunhofer IGD

Wie lässt sich Kulturerbe schützen und bewahren? Im Vorstandsprojekt Kulturerbe entwickeln Fraunhofer-Forscher die dazu nötigen Technologien.

Text: Janine van Ackeren



CultLab3D: Die Scanstraße digitalisiert vollautomatisch Objekte unterschiedlicher Größe und erfasst dabei Geometrie, Textur und physikalisch-optische Materialeigenschaften für eine originalgetreue und mikrometeregenaue Wiedergabe. © Fraunhofer IGD

Historische Tempel, antike Statuen, Gemälde großer Meister: Kulturerbe gilt es zu bewahren. Bei der Frage nach dem Wie sehen die meisten Menschen Restauratoren vor sich, die mit Pinsel, Pinzette und viel Geduld Defekte wie Löcher, Fehlstellen und Co. antiker Kunstwerke reparieren. Dass für den Erhalt historischer Kunstschatze jedoch auch Forschung und daraus resultierende Hightech-Lösungen vonnöten sind, ist weit weniger bekannt. Wirft man jedoch einen Blick in Fraunhofer-Labore, trifft man auf zahlreiche Forscherinnen und Forscher, die an Lösungen zum Erhalt von Kulturerbe tüfteln. Am Forschungsprojekt Kulturerbe beteiligen sich insgesamt 16 Fraunhofer-Institute zusammen mit ihren Partnern, den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden und der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden. Der Fraunhofer-Vorstand fördert das Projekt mit 1,5 Mio Euro. »Damit ist es eines der größten deutschen Forschungsprojekte auf dem Gebiet des Kulturerbes – wofür wir sehr dankbar sind«, freut sich Dr. Johanna Leissner, Koordinatorin des Vorstandsprojekts und Sprecherin der Forschungsallianz Kulturerbe in Brüssel. Am 6. September 2018 findet die Abschlussveranstaltung in der Sächsischen Landesbibliothek Dresden statt – passend zum Europäischen Jahr des Kulturerbes.

3D-Digitalisierung am Fließband

Viele Kunstgegenstände fallen Plünderungen, Kriegen und Naturkatastrophen zum Opfer. Doch was sollte Forschung daran ändern können? Schließlich lassen sich Kriege und Naturkatastrophen schwerlich verhindern. Dennoch gibt es einen Weg, das Kulturerbe für die Nachwelt zu retten – und zwar die Digitalisierung der Kunstobjekte in 3D. Auf diese Weise lassen sie sich jederzeit nutzen, und das parallel: Während Forschungssteams einen digitalisierten Tempel online untersuchen, können zur selben Zeit Museumsbesucher auf aller Welt virtuell durch das antike Bauwerk schlendern.

Bisher war diese Digitalisierung in 3D jedoch zeit-aufwendig. »Mit unserer automatisierten Scanstraße namens CultLab3D ist es nun erstmalig möglich, ganze Museumssammlungen in die digitale Welt zu übertragen«, erläutert Pedro Santos, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt. Einfach den QR-Code des Objekts einlesen, den Gegenstand auf ein Tablett legen – alles Weitere läuft von selbst. Heraus kommt eine dreidimensionale digitale Kopie. Und zwar mit einer irren Geschwindigkeit: Alle fünf Minuten lässt sich ein neues Objekt digitalisieren. Das Prinzip: Mehrere Kameras – im Fall der Scanstraße sind es neun – nehmen den Gegenstand von mehreren Seiten auf. Eine Software erstellt aus diesen Aufnahmen die dreidimensionale digitale Rekonstruktion. Die Methode funktioniert auch mit großen Statuen, dann allerdings nicht automatisiert, sondern per Hand. So digitalisierten die IGD-Forscher etwa den Pergamonaltar – mit einem leichten Laserscanner. Nun gehen die Forschenden sogar noch einen Schritt weiter: »Wir stellen künftig nicht nur die Geometrie, Textur und optischen Materialeigenschaften, kurz das Äußere eines Objekts dar, sondern berücksichtigen auch das Innere«, sagt Constanze Fuhrmann, Wissenschaftlerin am IGD. »Die von verschiedenen Technologien gewonnenen Daten zum Inneren und Äußeren des Objekts werden erstmalig in einem 3D-Modell einheitlich zusammengeführt und dreidimensional vor dem Bildschirm im Raum visualisiert.«

3D-Digitalisierung trifft Ultraschall

So haben die Experten den Ansatz von CultLab3D unter anderem um eine Ultraschall-

Untersuchung erweitert. »Die Restauratoren können also in der digitalen Darstellung in das Innere des Objekts hineinzoomen und erkennen somit sofort, ob sich dort Instabilitäten, Korrosion und Löcher verbergen«, sagt Peter-Karl Weber, Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT. Das Besondere: Mussten solche Untersuchungen bisher von Hand durchgeführt werden, was durchaus mehrere Stunden dauern konnte, sind sie nun innerhalb weniger Sekunden abgeschlossen.

Möglich macht es ein elastischer Gurt, der an dem Objekt befestigt wird. »An ihm ist jeweils ein Ultraschallwandler angebracht. Über eine spezielle Elektronik können die Wandler zwischen Sender und Empfänger umschalten. Statt die Ultraschallwandler ständig neu positionieren zu müssen, reicht es nun, dem Kunstobjekt den Gurt umzulegen«, sagt Weber. Eine Kamera erkennt über QR-Codes auf den Wandlern, an welcher Stelle das Ultraschall-Tomogramm aufgenommen wurde, eine Software fügt die Ultraschallbilder in den digitalen Scan ein. Bei Ultraschalluntersuchungen tragen Mediziner ein Gel auf die Haut der Patienten auf, um den Ultraschall in den Körper zu leiten. Dies ist bei Kunstgegenständen keine gute Idee, das Gel würde die Objekte beschädigen. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP entwickeln daher ein Material, mit dem sich der Ultraschall trocken einkoppeln lässt. Dieses Material hat die gleichen Eigenschaften wie das Gel, seine Konsistenz ähnelt Knete – und lässt sich rückstandsfrei entfernen. »Die Messung an den Haaren der Statue Dresdner Knabe hat damit bereits gut funktioniert«, berichtet Weber. Die gewünschten Eigenschaften konnten die IAP-Teams über ein Matrixmaterial, in das kleine Partikel eingebracht werden, erreichen.

Freiburger Münster: Kreuzblume per 3D-Druck

Die Photogrammetrie, die Grundlage von CultLab3D, kann auch die Restaurierung von Kirchen vereinfachen. Muss oben am Kirchturm ein Teilstück nachgebildet werden – etwa eine Kreuzblume –, so hieß dies für die Restauratoren bisher: Die Kreuzblume abmontieren, sie als Vorlage in die Werkstatt schaffen und eins zu eins in Stein meißeln. Am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM wählten Wissen-

schaftler gemeinsam mit der Münsterbauhütte Freiburg einen anderen Weg: Mit einem tragbaren Scanner sowie einer Endoskop-Kamera können sie Kreuzblumen und Co. samt Hohlräumen und Hinterschnitten digital einfangen und über einen 3D-Drucker ausdrucken. Dieser 3D-Druck kann Restauratoren als Vorlage dienen, um eine Ersatz-Kreuzblume zu meißeln – ohne das Original auch nur zu berühren. Auf diese Weise wird das Objekt geschont und Arbeitszeit als auch Kosten sinken signifikant.

Goldemail im Grünen Gewölbe

Eines der berühmtesten Museen Sachsens ist das Grüne Gewölbe im Dresdner Schloss. Darin befinden sich auch die filigranen Goldemail-Preziosen vom Hofjuwelier Dinglinger, die den Hofstaat des indischen Großmoguls darstellen. Diese waren mehrere Jahrzehnte in Vitrinen ausgestellt, die viele Schadstoffe ausgasen. Die Folge: Die kunstvolle Emaillierung platzte Stück für Stück ab. Zwar wurden die Splitter akribisch gesammelt und ihr genauer Platz notiert. Doch wie lassen sie sich wieder fixieren? Die Anforderungen an das Konservierungsmaterial sind extrem hoch: Es muss transparent sein, langlebig, ähnliche Eigenschaften besitzen wie Glas und darüber hinaus Email und Metall fest miteinander verbinden.

»Das passende Material – das Email-ORMOCER® – haben wir am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg bereits vor zwanzig Jahren entwickelt – die Restauratoren waren begeistert«, erklärt Dr. Gerhard Schottner, dort Abteilungsleiter. Dieser Werkstoff eignet sich nicht nur zur nachhaltigen Konservierung von Email-Preziosen, sondern auch zum transparenten und dauerhaften Kleben von Elfenbein und Bergkristall. Allerdings gibt es ein Problem: Die Ausgangsstoffe waren nicht mehr in gleichbleibender Qualität verfügbar. Kleinste Unreinheiten können bei der Synthese dieser Silizium-organischen Verbindungen bereits große Unterschiede bewirken. Was also tun? »Wir brauchen für den Erhalt von Kulturerbe das beste Material. Die benötigten Mengen sind jedoch extrem klein«, erklärt Schottner. Daher sind Materialentwicklung und Vertrieb unrentabel für ein wirtschaftlich denkendes Unternehmen. Das Vorstandsprojekt und eine Finanzierung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt boten einen Ausweg. Die ISC-Teams untersuchten und

analysierten Ausgangsstoffe sowie Einzelschritte der Herstellung bis ins kleinste Detail, schraubten an Reaktionsbedingungen wie Feuchtigkeit während der Reaktion und untersuchten den Einfluss verschiedener Lösungsmittel. Es ist fast geschafft: Das Material ist in der Endphase des Testens, der beteiligte Restaurator Rainer Richter von den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden ist höchst zufrieden.

Mittelalterliche Handschriften rekonstruieren und restaurieren

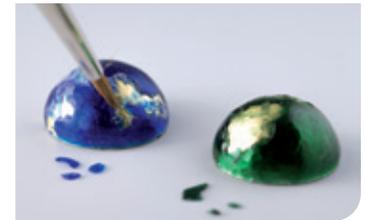
Infolge von Bombenangriffen auf Dresden im Frühjahr 1945 wurden wertvolle mittelalterliche Handschriften durch Grund- und Löschwasser schwer geschädigt. Im Vorstandsprojekt Kulturerbe entwickeln Forschende der Fraunhofer-Institute für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK und Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI zusammen mit der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden einen Workflow zur Restaurierung dieser Handschriften. Diese sind teilweise durch Pilzbefall stark verblockt und fragmentiert. Technologien zur virtuellen Rekonstruktion fragmentierter Dokumente, zur Wasserzeichenerkennung und zum Verbinden von Papierfragmenten mithilfe von Strahlvernetzung von Biopolymeren werden dafür synergetisch kombiniert. Eine wirtschaftlich vertretbare Beseitigung der Verblockung erfordert weitere interdisziplinäre Forschung.

Sozioökonomischer Wert von Kulturerbe

Bei Entscheidungen zum Schutz und Erhalt von Kulturerbe stehen meist die Kosten im Vordergrund. Schließlich sind diese leichter darstellbar als der Nutzen. Der Eindruck, der dadurch entsteht, ist allerdings unzureichend. Die Frage ist daher: Wie lässt sich der sozioökonomische Gesamtwert von Kulturerbe messen und wissenschaftlich bewerten? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Zentrums für Internationales Management und Wissensökonomie IMW haben in einer Studie nun einen Ansatz entwickelt, um sowohl den direkten – etwa Einnahmen durch Reisekosten zu den Kulturgütern – als auch den indirekten Nutzen – etwa die Ästhetik oder der Nutzen für nachfolgende Generationen – von Kultur-



Der Hofstaat zu Delhi am Geburtstag des Großmoguls Aureng-Zeb (entstanden 1701 bis 1708). © Hajothu unter CC



Testauftrag des neuen ORMOCER®s auf geschädigten Email-Modellobjekten.
© Fraunhofer ISC

Präzise Dosierung des neuen Email-Restaurierungsmaterials auf ORMOCER®-Basis.
© Fraunhofer ISC

erbe besser konkretisieren und etwas besser in ökonomischen Werten ausdrücken zu können. »Für unsere Studie haben wir bewusst kein Leuchtturmprojekt wie das Grüne Gewölbe oder Schloss Neuschwanstein herausgesucht, sondern ein Objekt, das weit weg ist von den Haupt-Besucherströmen: das Völkerkundemuseum Herrnhut, das zur staatlichen Kunstsammlung Dresden gehört«, erläutert Urban Kaiser, Gruppenleiter am IMW.

Die Studie gliedert sich in zwei Teilbereiche: Zum einen wurden die Museumsbesucher nach den aufgewendeten Kosten befragt, um das Museum zu erreichen. Zum anderen führten

die Forscher eine Online-Befragung von 1013 Personen in ganz Deutschland durch: Was wären Sie bereit, für den Schutz und Erhalt des Völkerkundemuseums Herrnhut zu bezahlen – etwa in Form einer Abgabe? »Es geht weniger darum, konkrete Wertzahlen zu erhalten, als vielmehr darum, eine Argumentationsgrundlage für den langfristigen Erhalt solcher Museen zu schaffen«, sagt Kaiser. In Folgeprojekten wollen die Wissenschaftler die Methode an internationalen Beispielen validieren und weiterentwickeln. ■



Mehrfachsolarzelle aus III-V-Halbleitern und Silicium, die 33,3 Prozent des Sonnenlichts in Strom wandelt.

© Fraunhofer ISE/Dirk Mahler

Ein Drittel des Sonnenlichts in Strom verwandeln

Ansprechpartnerin: karin.schneider@ise.fraunhofer.de

Gemeinsam mit dem Unternehmen EV Group (EVG) hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE eine neue Mehrfachsolarzelle auf Silicium entwickelt, die genau ein Drittel der im Sonnenlicht enthaltenen Energie in elektrische Energie wandelt.

Grundlage für diese hohe Effizienz sind extrem dünne Halbleiterschichten aus III-V-Verbindungs-halbleitern, die auf eine Silicium-Solarzelle auf-

gebracht werden. Eine einzelne dieser Halbleiterschichten ist 0.002 mm dünn, das entspricht weniger als einem Zwanzigstel der Dicke eines Haars.

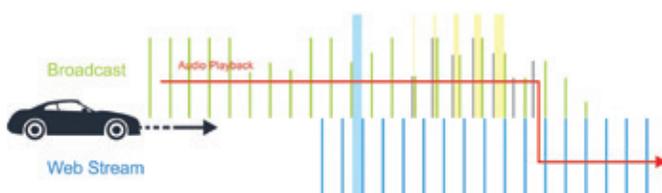
Die Rekordzelle mit dem neuen Ansatz gleicht von außen einer herkömmlichen Solarzelle mit zwei Kontakten und kann somit leicht in Photovoltaikmodule integriert werden.

Nahtlose Übergänge

Ansprechpartner: thoralf.dietz@iis.fraunhofer.de

Am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS haben Forscherinnen und Forscher eine Technologie entwickelt, die für einen nahtlosen Wechsel von Rundfunk- zu Internet-signalen in Hybridradios sorgen. Mit Sonamic TimeScaling kann man im Auto einen Radiosender weiterhin hören, selbst wenn man dessen Sendegebiet verlässt. Die Übertragung wechselt dann vom Rundfunksignal zu einem Internet-Stream des gleichen Senders und wieder zurück, wenn das Rundfunksignal stark genug ist. So hören die Nutzer diese Wechsel gar nicht.

Verglichen mit dem Rundfunksignal kann ein Internet-Stream jedoch mehr als 20 Sekunden verzögert beim Empfänger ankommen. Diese Sekunden gehen beim Umschalten entweder verloren oder werden doppelt abgespielt. Beides kann als störend wahrgenommen werden. Mit der Technologie werden die Signale im Radioempfänger aneinander angeglichen, sodass ein präziser, nicht wahrnehmbarer Übergang entsteht.



Mit integriertem TimeScaling-Algorithmus synchronisiert das Gerät die Radioübertragung und den Internet-Stream. © Fraunhofer IIS

Roboter-gestützte Oberflächeninspektion

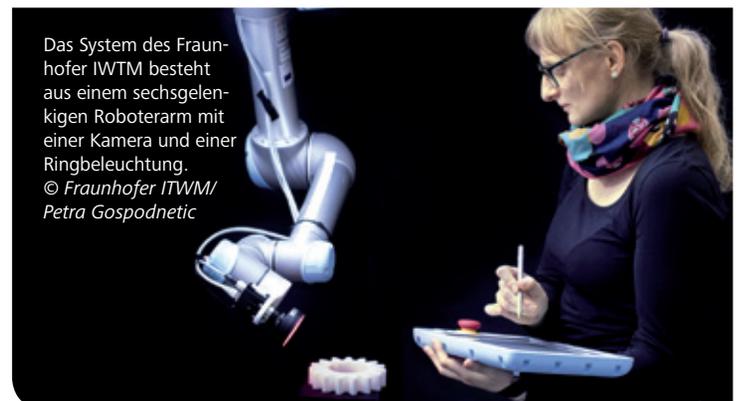
Ansprechpartnerin: ilka.blauth@itwm.fraunhofer.de

Bei sicherheitsrelevanten Bauteilen müssen Produktionsfehler ausgeschlossen sein. Wegen ihrer oft komplexen Freiformoberflächen ist eine Inspektion dieser Objekte bislang nur durch Mitarbeitende möglich. Menschen jedoch übersehen Fehler und können Bauteile nicht zwangsläufig immer im Takt der Produktion kontrollieren.

Ein computergestütztes System des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM ermöglicht es nun erstmals, auto-

matisierte 100-Prozent-Kontrollen durchzuführen. Der Clou: Eine Software berechnet vorab, was die eingesetzte Kamera überhaupt sehen kann, und korrigiert die Lage des Objekts entsprechend.

Das System ist zunächst nicht darauf ausgelegt, schneller zu sein als menschliche Inspektoren. Es geht darum, automatisierte Kontrollen zu ermöglichen, die im Takt der Produktion arbeiten und konstant die gewünschte 100-Prozent-Leistung bringen.



Das System des Fraunhofer ITWM besteht aus einem sechsgelenkigen Roboterarm mit einer Kamera und einer Ringbeleuchtung.
© Fraunhofer ITWM/
Petra Gospodnetic

Abhängigkeiten überwinden

Seltenerdmetalle sind für den Bau von Hochleistungs-Elektromotoren, wie sie beispielsweise in Autos eingesetzt werden, und zahlreiche Hightech-Produkte sehr wichtig. Seit Jahren hat China ein Quasi-Monopol auf diese Rohstoffe, entsprechend abhängig ist die Industrie für eine zuverlässige Versorgung zu akzeptablen Preisen. Teams von acht Fraunhofer-Instituten haben deshalb im Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden« Wege gesucht und gefunden, um den Bedarf an Seltenerdmetallen deutlich zu verringern. Projektleiter Prof. Ralf B. Wehrspohn vom Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS zieht im Interview Bilanz.

Interview: Tim Schröder

Prof. Wehrspohn, im Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden« haben acht Fraunhofer-Institute in den vergangenen fünf Jahren daran gearbeitet, den Anteil von Seltenerdmetallen in Permanentmagneten deutlich zu verringern. Konnten Sie Ihre Ziele erreichen?

Ja, wir waren ausgesprochen erfolgreich. Das Projekt hatte das Ziel, den Seltenerdmetall-Anteil von Elektromotoren vor allem in Autos zu verringern. In einem Mittelklassefahrzeug sind heute circa 50 kleine Motoren unter anderem für Fensterheber oder Ölpumpe verbaut. Insgesamt benötigt man für ein Auto etwa 2,5 Kilogramm der Materialien. Wir konnten den Anteil durch mehrere technische Ansätze auf rund 500 Gramm reduzieren und wir werden die Projektergebnisse jetzt nutzen, um diesen Anteil weiter zu verringern.

Rund 90 Prozent aller wichtigen Seltenerdmetalle wie Dysprosium und Neodym stammen heute aus China. War diese Abhängigkeit vom chinesischen Markt der Grund dafür, das Leitprojekt zu starten?

Grundsätzlich ist es immer lohnend, nach Möglichkeiten für einen effizienteren Einsatz wertvoller Ressourcen zu suchen. Die Situation mit China war allerdings der Auslöser. China

hatte 2010 den Export von Seltenerdmetallen vorübergehend eingestellt. Die Weltmarktpreise gingen damals durch die Decke, vielen wurde die Abhängigkeit vom chinesischen Markt klar. Weitere Gründe: Wir haben uns mit den leistungsfähigen Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagneten befasst, die sehr verbreitet sind. Diese Magnete sind eine japanische Erfindung aus den 1980er-Jahren. Das bedeutet, dass die Industrie seither weltweit Lizenzgebühren an Japan zahlen muss. Letztlich bezahlt man doppelt – an China für die Rohstoffe und an Japan für die Lizenzgebühren. Mit der Entwicklung alternativer Permanentmagnete lassen sich diese Abhängigkeiten überwinden.

Acht Projektpartner sind eine Menge. Was genau haben Sie sich angeschaut?

Wir haben versucht, die Einsparung von Dysprosium und Neodym auf vier verschiedenen Wegen zu erreichen. Zum einen haben wir eine Methode entwickelt, mit der sich Permanentmagnete recyceln lassen. Zum zweiten ist es uns gelungen, effizientere Herstellungsprozesse zu entwerfen, bei denen weniger Ausschuss anfällt – etwa, indem man aufwendige Nacharbeiten vermeidet. Ferner haben wir daran gearbeitet, Dysprosium und Neodym ganz oder teilweise durch andere Stoffe zu ersetzen. Bei dieser Substitution kam es darauf an, dass die fertigen Magnete annähernd so leistungsfähig wie herkömmliche Permanentmagnete sind. Und zu guter Letzt konnten wir auch das Design der Elektromotoren optimieren. Die Idee: Dysprosium ist entscheidend für die Temperaturstabilität der Magnete. Wenn sich Motoren bei geringeren Temperaturen betreiben lassen, dann kann man auf eine Zumischung von Dysprosium verzichten.

Gibt es vergleichbare Projekte, in denen Sie mit anderen Forschungseinrichtungen kooperieren?

Europaweit ist unser Projekt in seiner fachlichen Breite und Tiefe sicher einzigartig. In Japan wird intensiv an alternativen Permanentmagneten geforscht. Aber aufgrund des Schutzes von geistigem Eigentum auf japanischer Seite ist eine Kooperation schwierig. Auch dort entwickelt man Magnete, in denen Seltenerdmetalle substituiert werden. Erstaunlicherweise haben japanische Forscher von Toyota zeitgleich mit uns sehr ähnliche alternative Materialzusammensetzungen, Legierungen, entwickelt. Als die Kollegen aus Japan ihre Ergebnisse veröffentlichten, fühlten wir uns bestärkt darin, mit unserem Projekt den richtigen Weg eingeschlagen zu haben. Wir sind auch in Kontakt zu den Seltenerd-Spezialisten in China. Wir wollen den Markt dort besser verstehen und auch jene Gründe nachvollziehen können, die 2010 dazu geführt haben, dass China die Exporte einstellte. ■



Prof. Ralf B. Wehrspohn, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle und Inhaber des Lehrstuhls für Mikrostrukturbasiertes Materialdesign an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
© Fraunhofer IMWS



Alternative Magnete

Im Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden« haben acht Fraunhofer-Institute in fünf Jahren an neuen Verfahren zur Herstellung von Hochleistungsmagneten gearbeitet, die ohne die wertvollen Rohstoffe auskommen. Ziel ist nicht zuletzt, vom Hauptexporteur China und dem Preiskampf auf dem Weltmarkt unabhängig zu werden.

Text: Tim Schröder

In der GMB Deutsche Magnetwerke GmbH: Abguss der Schmelze, in einer Gießpfanne wird das Material in Form gegossen. Alle Abbildungen © Studio-2Media

Als China 2010 einen Exportstopp für Seltenerdmetalle verhängte, schrillten in den Wirtschaftsmärkten weltweit die Alarmglocken. Denn China ist Hauptexporteur, und Seltenerdmetalle sind für viele Industriegüter extrem wichtig – vor allem Neodym und Dysprosium. Neodym braucht man für Hochleistungsmagnete, die man in Elektromotoren von Autos und Eisenbahnen oder auch in Festplatten einsetzt. Dysprosium wiederum macht die Magnete hitzestabil. Die Medien warnten vor dem großen Handelskrieg, einer neuen Wirtschaftskrise. Glücklicherweise lockerte China den Exportstopp nach Monaten. Doch der Schock über die Abhängigkeit von China saß tief. Im Jahr 2013 startete die Fraunhofer-Gesellschaft das Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden«, in dem Teams aus acht Fraunhofer-Instituten Lösungen entwickelten, um den Verbrauch von Dysprosium und Neodym in Permanentmagneten für Elektromotoren zu reduzieren. In

diesem Jahr wurde das Projekt abgeschlossen. Die Lösungen können sich sehen lassen.

Magnete recyceln

Prof. Rudolf Stauber und sein Team von der Projektgruppe IWKS am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC haben eine Recycling-Methode entwickelt, mit der sich aus gebrauchten Permanentmagneten Recycling-Magnete herstellen lassen, die fast genauso leistungsfähig wie nagelneue sind. Heute landen Permanentmagnete aus Windrädern, Autos oder auch Lautsprechern oftmals noch auf dem Schrott. »Mit dem Recyclingmaterial erreichen wir zu 96 Prozent die Magnetfелеigenschaften neuer Magnete«, sagt Rudolf Stauber. Dazu haben die Expertinnen und Experten ein bekanntes Prinzip zur Anwendungsreife entwickelt: Setzt man Metallmischungen, Legierungen, reinem

Wasserstoff aus, dann zerbröseln der Werkstoff innerhalb kurzer Zeit zu einem Pulver. Der Wasserstoff kriecht nach und nach in den Werkstoff hinein und zerstört den Festkörper. Sie haben dafür eine etwa einen Kubikmeter große Kammer gebaut, in der sie die Magnete rund zwei Stunden lang dem Wasserstoff aussetzen. Das Pulver, das dabei entsteht, können sie dann durch Sintern, eine Art Backprozess, wieder zu einem neuen Magneten verarbeiten.

Rudolf Stauber räumt ein, dass es bereits Methoden gibt, mit denen sich Seltenerdmetalle aus gebrauchten Permanentmagneten extrahieren lassen. »Dabei wird das Material aber mit Säuren über Extraktionsschritte und mit viel Energie chemisch wieder bis zum Molekül, also bis zum reinen Stoff aufgeschlossen – ein enorm aufwendiger Weg. Wir zeigen, dass das gar nicht nötig ist, wenn man das fein zerbröselte Pulver wie-

derverwertet.« Wie Experimente am ISC zeigen, können die Recyclingmagnete sogar 100 Prozent der Magnetfelleigenschaften neuer Magnete erreichen. Es genügt, ihnen reine Seltenerdmetalle in niedriger Dosierung beizumischen.

Kombinationen chemischer Elemente berechnen

Dysprosium und Neodym lassen sich auch einsparen, wenn man sie bei der Produktion von Permanentmagneten ganz oder teilweise ersetzt. Doch wie findet man unter der Vielzahl möglicher Kombinationen chemischer Elemente innerhalb kürzester Zeit die richtige Lösung? Indem man den Computer zuhilfe nimmt. So wurden am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg Algorithmen entwickelt, die Tausende möglicher Kombinationen in kurzer Zeit durchrechnen. Ziel war es, neue Legierungen zu finden, die sich zu einem festen Magneten mit stabilen Eigenschaften verarbeiten lassen und die sehr gute magnetische Leistungen aufweisen. Die Forscherinnen und Forscher vom ISC nutzten die Computer-Ergebnisse der Freiburger, um die vorgeschlagenen Verbindungen zu synthetisieren. »Wir haben viele der vom Computer vorgeschlagenen Legierungen hergestellt und getestet«, sagt Jürgen Gassmann, Leiter der Abteilung Magnetwerkstoffe am ISC. »Mit unseren Ergebnissen optimieren die Kollegen in Freiburg dann ihre Algorithmen, um Legierungen mit noch besseren Eigenschaften zu finden.« Zwar haben die Kooperationspartner vom ISC

und IWM leistungsfähige Legierungen gefunden und daraus Permanentmagnet-Partikel, Flakes, hergestellt. Doch wenn sie die Flakes zu einem massiven Magneten verarbeiten, sind die Eigenschaften in der Summe noch nicht optimal. Die Legierungen möchten die Forschenden in den nächsten Monaten weiter verbessern. Die Flakes aber haben es bereits in sich: Normalerweise enthalten Permanentmagnete in der Summe rund 30 Prozent Neodym und Dysprosium. Gassmann und die Kollegen konnten etwa ein Drittel dieser Menge durch das Seltenerdmetall Cer ersetzen. »Cer fällt bei der Neodym-Produktion in China an, wird heute aber kaum genutzt und auf Abraumhalden gelagert«, sagt Jürgen Gassmann.

Noch aber sind Neodym und Dysprosium die Werkstoffe der Wahl, weil sich mit ihnen hitzestabile Hochleistungsmagnete herstellen lassen. Deshalb wurden am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Dresden etablierte Metallverarbeitungsprozesse so optimiert, dass sich damit Permanentmagnete materialsparend produzieren lassen. Ringmagnete zum Beispiel, die in vielen Elektromotoren oder auch in Generatoren verbaut werden, produziert man heute mit klassischen Pulvermetallurgie-Verfahren. Dabei wird Pulver in eine Form gefüllt und dann gesintert. Das Problem: Die Magnete können nicht direkt als Ring geformt und gesintert werden, weil anschließend im Magnet Spannungen entstehen. Man behilft sich bisher damit, die Ringe aus einem massiven Block zu fräsen.

Dabei geht viel Material verloren. »Wir nutzen jetzt unter anderem ein Spritzgussverfahren, bei dem das Magnetmaterial mit einem Binder aus Kunststoff in eine Form eingespritzt wird«, sagt Dr. Andrea Böhm, die am IWU für diesen Teil des Leitprojekts verantwortlich war. »Der Binder verdampft beim Sintern. Am Ende erhalten wir ein spannungsfreies Bauteil.« Neben dem Spritzgießen wurden am IWU noch eine Reihe weiterer Metallverarbeitungsverfahren für den sparsamen Einsatz von Seltenen Erden bei der Magnetherstellung angepasst. »In allen Fällen lag die Herausforderung darin, die optimalen Parameter wie Druck und Temperatur für die Verarbeitung der Magnetwerkstoffe zu finden«, sagt Böhm. Ihre Ergebnisse fließen jetzt in ein Simulationsprogramm ein, mit dem man künftig am Computer errechnen kann, wie sich verschiedene Legierungen bei der Produktion verhalten. »Dank dieser Simulation können wir künftig viel schneller geeignete Legierungen finden, weil wir nicht alle in unseren Maschinen testen müssen«, erklärt die Forscherin.

 www.seltene-erden.fraunhofer.de

Insgesamt hat das Leitprojekt eine Fülle von Ergebnissen erbracht, wie sie weltweit in dieser Form wohl einzigartig ist. Auch nach Ablauf des Projekts geht die Forschung bei den verschiedenen Projektpartnern weiter, denn schon in wenigen Jahren will die deutsche Industrie ihre Abhängigkeit von Dysprosium und Neodym abgeschüttelt haben. ■



Links: Gegossene Magnetwerkstoffe.

Rechts: AlNiCo-Gussmagnete = Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierungen für Zylinder-, Quader-, Ring- und Formmagnete.

Ständig im Fluss

Auf Werften läuft nicht immer alles nach Plan. Eine Bauzustandserfassung mittels Smartphones und Tablets soll Ordnung in den Schiffbau bringen.

Text: Bernd Müller



Eine Werft gleicht einem Ameisenhaufen: Hunderte Personen arbeiten simultan in dem riesigen Trockendock. Davon sind weniger als ein Drittel Mitarbeitende der Werft, der große Teil wird von Zulieferern geschickt, die Kabinen einbauen oder die Elektrik verlegen. Da kann es leicht passieren, dass ein Elektriker einen Schaltschrank an einer Stelle einbauen soll, wo tags zuvor ein Klempner ein Rohr verlegt hat, das da eigentlich nicht hingehört.

Einen Design-Freeze wie im Automobilbau, ab dem in der Serienfertigung keine Abweichungen von der vorgegebenen Konstruktion mehr erlaubt sind, gibt es im Schiffbau nicht. »Die Konstruktion ist ständig im Fluss«, sagt Prof. Wilko Flügge, Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP in Rostock. Arbeiter, die es mit den Vorgaben nicht so genau nehmen, sind nur ein Teil des Problems, manchmal ist Improvisation nötig, etwa wenn sich beim Schweißen etwas verzogen hat und deshalb die Lücke für den Schaltschrank nicht mehr passt oder wenn Konstruktionsänderungen nicht kommuniziert wurden.

Das IGP entwickelt ein System, das Abweichungen von den Bauplänen zwar nicht verhindern kann, diese aber zumindest dokumentiert. »Mir würde es schon helfen, wenn ich nach der Schicht wüsste, was meine Leute heute gemacht haben«, hat ein Schichtleiter einer Werft beim Rundgang mit Flügges Team zu Protokoll gegeben.

Dies leistet die neue Technik. Dabei kommen Kameras in Tablets oder Smartphones zum Einsatz, mit denen die Arbeiter auf der Werft ihren Baufortschritt dokumentieren. Die aufgenommenen Videos werden nach der Schicht auf

einem PC zunächst in Bilder und anschließend in Punktwolken umgewandelt, die den aktuellen Bauzustand im Schiff repräsentieren. Die Punktwolke wird mittels eigenentwickelter Software mit den CAD-Daten verglichen. Gibt es Abweichungen, werden diese automatisch in einer Monitoring-Plattform sichtbar gemacht. Neben dem aktuellen Status für einen Raum oder Bereich im Schiff lassen sich dort auch die angepassten Projektpläne, Punktwolken und Bilddateien abrufen. So steht der Bauleitung eine aktuelle Version der Bauzustandsdaten zur Verfügung, an der sich die Arbeiter der nachfolgenden Schichten orientieren können.

Die Bauzustandserfassung trägt zur Effizienzsteigerung bei

Ähnliche Systeme aus der Automobilproduktion arbeiten mit drahtloser Datenübertragung, doch das funktioniert aus dem stählernen Bauch eines Schiffs nicht. Und Laserscanner, die heute zur Vermessung im Schiffbau eingesetzt werden, sind teuer. Tablets und Smartphones in den Taschen der Werker mit ihren Kameras sind für eine Bauzustandserfassung ausreichend präzise und kostengünstig. »In zwei Jahren soll unser System reif für den regulären Einsatz sein«, sagt Wilko Flügge.

Das IGP-Konzept soll auch zur Effizienzsteigerung beitragen. Forschungsergebnisse zeigen, womit sich die Werker im Schiffbau tatsächlich beschäftigen: Ein Großteil der Anwesenheitszeit wird für die Beschaffung von Informationen und Arbeitsmitteln sowie die Vor- und Nachbereitung genutzt. Ein Viertel der Zeit bleibt für produktive Arbeiten – ein Ergebnis, das neue Konzepte erfordert. ■

Abweichungen von Bauplänen werden dokumentiert. Der Bauleitung stehen so aktuelle Bauzustandsdaten zur Verfügung.
© Fraunhofer IGP



Industrie 4.0 - einfach machen!

Fraunhofer-Forschende haben mit 14 Partnern aus Wissenschaft und Industrie mit dem Projekt »BaSys 4.0« eine Art Betriebssystem für Produktionsanlagen entwickelt, um diese schnell und kostengünstig wandelbar zu machen.

Text: Chris Löwe

Der Traum individualisierter Massenproduktion ist noch nicht wahr geworden. Der Blick in Fabrikhallen offenbart: »Zum Thema Industrie 4.0 wird viel Papier produziert, aber es gibt wenig Fassbares. Gerade für kleinere Unternehmen sind die Eintrittshürden hoch«, ist die Erfahrung von Dr. Thomas Kuhn. Er ist Hauptabteilungsleiter des Bereichs Embedded Systems am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE und möchte mit seinem Team etwas an dem unbefriedigenden Zustand ändern. Kuhn, promovierter Informatiker, leitet das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderte Projekt »BaSys 4.0«. Die Open-Source-Plattform soll als eine Art Betriebssystem Maschinenparks miteinander vernetzen, um ohne langatmige Umrüstzeiten und hohen Aufwand auf einer Fertigungsstraße unterschiedliche Produkte fertigen zu können.

Das ist bisher in vielen Firmen undenkbar, da der über Jahre gewachsene Anlagenbestand mit

diversen Steuerungssystemen und Protokollen sehr heterogen und kaum für die Anforderungen von Industrie 4.0 ausgelegt ist. Es mangelt an einer gemeinsamen Sprache, für die BaSys sorgen soll: »Mit unserer modular aufgebauten virtuellen Middleware können Steuerungskomponenten älterer Anlagen ebenso wie die neuesten Industrie-4.0-Komponenten integriert werden«, erklärt Kuhn. Die Middleware, also jene Software, die die Kommunikation zwischen verschiedenen Anwendungen ermöglicht, knüpft nahezu beliebig an unternehmenseigene bestehende Betriebssysteme wie etwa Windows oder Linux an. Und nicht nur das: Maschinen können auch mit dem Warenbeschaffungssystem kommunizieren, um benötigte Teile zu ordern.

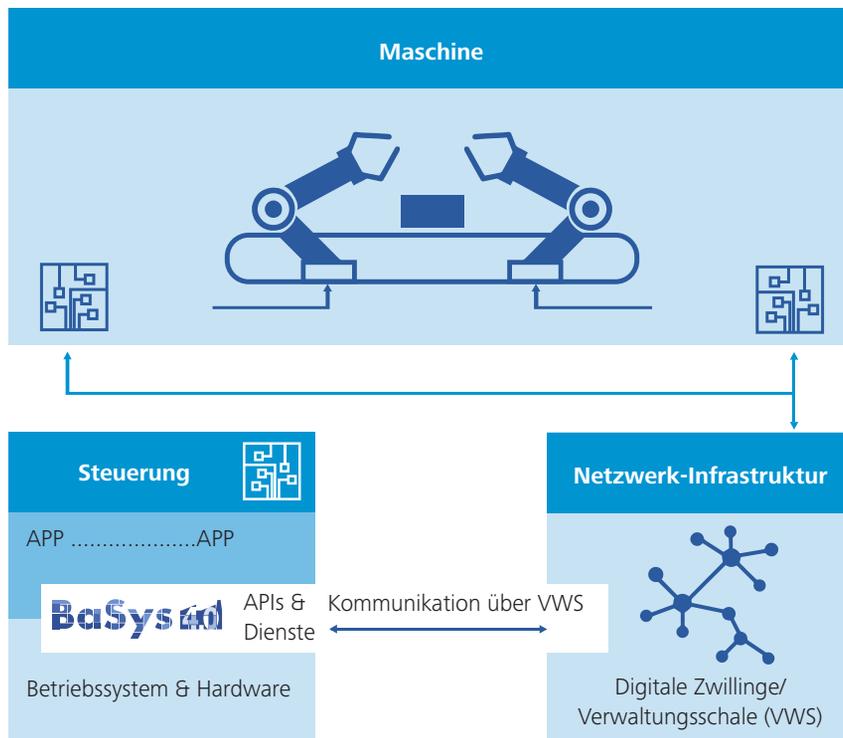
Ein Betriebssystem für alles

Das von den Fraunhofer-Forschern gemeinsam mit vierzehn weiteren Partnern (siehe Kasten)

An der Produktion beteiligte Maschinen sind direkt miteinander vernetzt. Eine Cloud ist hier nicht notwendig.
© iStock.com/zssp

aus Forschung und Industrie entwickelte »Betriebssystem« für Fertigungsanlagen zeichnet vor allem aus, dass es Maschinen horizontal und nicht, wie derzeit marktüblich, nur vertikal vernetzt. Das bedeutet: Die Fraunhofer-Lösung verknüpft direkt an der Produktion beteiligte Maschinen und stellt nicht nur eine Verbindung mit der Cloud her, die die Daten in brauchbarer Form erst wieder an die Maschine zurückschickt. Dies hat den Vorteil, dass bestehende Systeme ohne großen Aufwand wandelbar sind. Kuhn nennt den Ansatz »dienstbasierte Produktion«. Im Grunde funktioniert das so, als ob sich eine Anlage einfach aus dem Internet den gerade benötigten Dienst aufruft, anstatt neu programmiert werden zu müssen. Alle denkbaren Dienste und Daten müssen natürlich vorher in einem ganzheitlichen Prozessabbild hinterlegt sowie als einheitliches Format abrufbar sein.

Ein Beispiel: In der laufenden Produktion werden einige Gehäuse für Powerbanks bedruckt und



© Fraunhofer IESE

Das Projekt BaSys 4.0

Am 1. Juli 2016 fiel der Startschuss für das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt »Basissystem Industrie 4.0« (BaSys 4.0). Ziel ist die Entwicklung eines »Betriebssystems« für Produktionsanlagen, das die effiziente Wandelbarkeit eines Produktionsprozesses als zentrale Herausforderung der vierten industriellen Revolution unterstützt. Das Projekt wird mit 12 Mio Euro gefördert und läuft über drei Jahre. Koordinator ist das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE. Projektpartner sind unter anderem: ABB Ltd., Bosch Rexroth AG, DFKI GmbH, Eclipse Foundation, Festo AG & Co. KG, fortiss GmbH, ITQ GmbH, KUKA Roboter GmbH, PSI Automotive & Industry GmbH, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Robert Bosch GmbH, SMS group GmbH, SYSGO AG, ZF Friedrichshafen AG.

die Akkus in eine hochwertigere Hülle gesteckt, weil neben der Standardkonfiguration auch Sonderkonfigurationen der Powerbanks für Premiumkunden am Fließband unterbrechungslos gefertigt werden.

Das ist nur ein Anwendungsszenario, das Kuhn und sein Team mit einem Demonstrator testen. Auch mit der ZF Friedrichshafen AG wird daran gearbeitet, wie unterschiedliche Getriebe auf einer Linie gefertigt werden können. Mit der SMS group GmbH erproben die Forscher den Transport von Aluminium-Bündeln zu den Walzen zur Weiterverarbeitung und integrieren dabei unterschiedliche Steuerungen. »Unsere Middleware ermöglicht, jederzeit in die Anlagensteuerung einzugreifen und parallel unterschiedliche Aufträge zu bearbeiten«, sagt Kuhn. Der Fantasie sind dabei kaum Grenzen gesetzt: Es seien beliebige Anwendungen in der stückorientierten Produktion denkbar. »Auch Fließbandarbeiter können auf diese Weise die Fertigung verändern

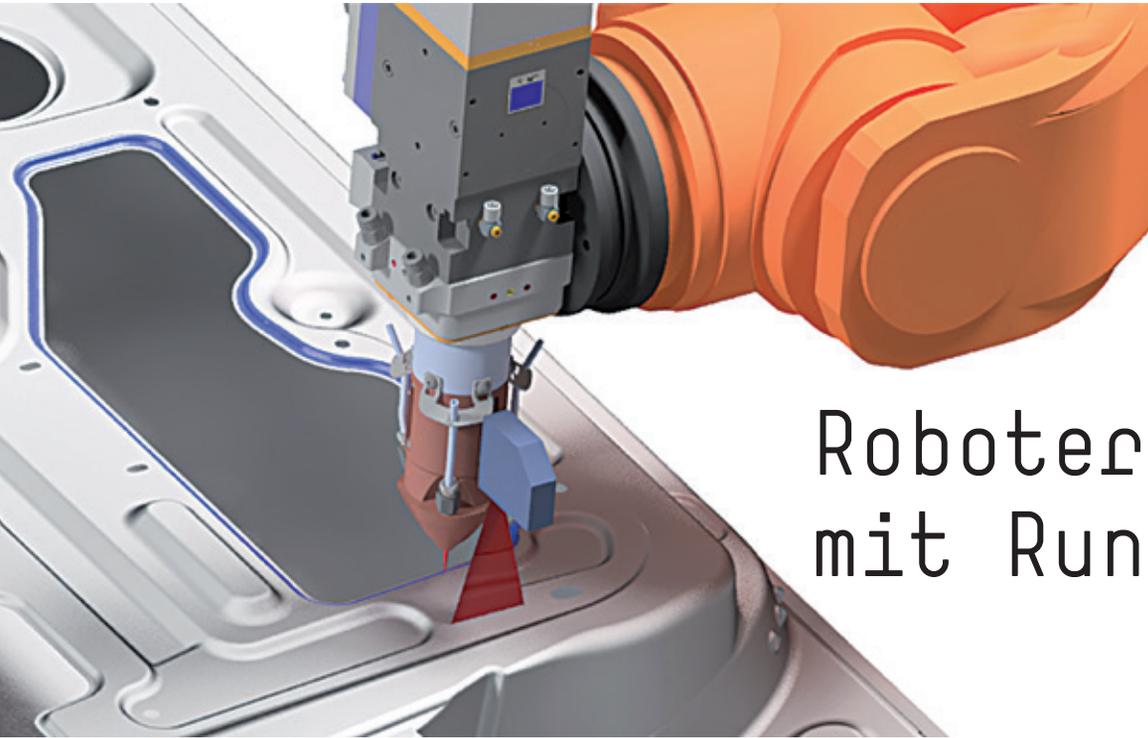
und neue, abgewandelte Produktionsschritte programmieren«, verweist der 39-Jährige auf die Benutzerfreundlichkeit der Prozesssteuerung von BaSys, wie die im Projekt BaSys entwickelte Open-Source-Software heißt.

Digitale Zwillinge helfen

Um bestehende Technologien durch die virtuelle Middleware so zu vernetzen und zu integrieren, dass individuelle Massenproduktion möglich wird, spielen Digital Twins eine große Rolle. Für jede Komponente des Prozesses gibt es einen virtuellen Zwilling, der alle denkbaren Funktionen, Dienste oder auch den Wartungszustand seines realen Kollegen widerspiegelt. Damit entsteht ein lückenloses Abbild der gesamten Produktionsumgebung. »Auf diese Weise ermöglicht die Middleware die Integration von Simulationslösungen, die die Auswirkungen von Prozessänderungen vorab berechnen und prüfen können«, erklärt Kuhn. Nicht zuletzt

hilft das, Probleme in der Produktion früh zu erkennen, zu beseitigen oder zu umgehen, indem etwa eine reparaturbedürftige Maschine automatisch umgangen wird. Ältere Maschinen mit speicherprogrammierbarer Steuerung (SPS) müssen nicht komplett in die Middleware integrierbar sein: »Es genügt, wenn wir Schnittstellen einrichten, über die sich verschiedene hinterlegte SPS-Steuerprogramme einspielen oder aufrufen lassen«, erläutert Kuhn. Gerade kleine und mittlere Unternehmen dürften auf dem Weg zur Industrie 4.0 davon profitieren, weil so enorme Investitionskosten gespart werden können.

»Lösungen wie BaSys bringen Schwung in das Thema Industrie 4.0, da man damit leichter neue Produktionsweisen ausprobieren und Ideen umsetzen kann«, ist Kuhn überzeugt. Dies umso mehr, weil jeder Interessierte die Open-Source-Plattform nach seinen Bedürfnissen erweitern und anpassen kann. ■



Konventionelle Sensoren beschränken die Richtungsflexibilität der Roboter. © Fraunhofer IAPT

Roboter-Auge mit Rundumblick

Roboter können sich in alle Richtungen bewegen - aber nicht in alle Richtungen sehen. Ein patentierter Lasersensor der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT schafft Abhilfe.

Text: Bernd Müller

Wo bin ich? Diese Frage müssen auch Roboter beantworten, wenn sie unermüdlich Werkstücke kleben, schweißen oder Dichtungen verfugen. Denn nur wenn die Robotersteuerung auf den Millimeter genau weiß, an welcher Stelle sich der Klebe- oder Schweißkopf gerade befindet, ist das Endergebnis präzise. Der Roboter braucht also eine Art Auge. In der Automobilindustrie und vielen weiteren Branchen übernehmen das spezielle Sensoren, die mehrheitlich mit dem Prinzip der Lasertriangulation arbeiten. Eine Laserdiode wirft eine Linie aus rotem Licht auf das Werkstück, von dort wird das Licht unter einem bestimmten Winkel reflektiert und weiter in eine Kamera geworfen. Aus der Position, von der das Licht auf den Kamerachip trifft, lassen sich die Position und die Entfernung des Sensors zum Werkstück innerhalb des Koordinatensystems bestimmen.

Dabei gibt es leider ein Problem: »Die bestehenden Sensoren sind durch Abschattungen in ihrer Flexibilität begrenzt, schränken zusätzlich die Bewegungsfreiheit der Robotersysteme ein und führen zu einem hohen Integrationsaufwand«, sagt Mauritz Möller, Abteilungsleiter Fabriksysteme für die additive Fertigung an der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT in Hamburg.

Die Höhenmessung klappt bei herkömmlichen Sensoren nur, wenn diese in Bearbeitungsrichtung angebracht sind. Ändert sich bei diesen Sensoren die Bewegungsrichtung des Roboters, bleibt das Auge blind. Die Festlegung auf eine Bearbeitungsrichtung schränkt die Flexibilität der Handlungssysteme deutlich ein. Die einzigen Alternativen sind die Verwendung mehrerer Sensoren oder zusätzlicher Achsen – beides ist nach dem heutigen Stand der Technik mitunter teurer als der Roboter selbst.

Patentiertes Messprinzip

Mauritz Möller hat mit Malte Buhr, Vishnuu Jothi Prakash und Julian Weber eine innovative Lösung entwickelt, für die sich mittlerweile mehrere Automobilhersteller sowie kleine und mittelständische Unternehmen interessieren. Der Sensor namens SensePRO ist kompakt mit 15 Zentimeter Durchmesser, hat eine eigens entwickelte Auswertesensorik, die einen abschattungsfreien Rundumblick ermöglicht, und erzeugt einen 360°-Messvorhang, der vollkommene Flexibilität bei der Messrichtung bietet. Egal wohin sich der Roboter bewegt, immer ist mindestens eine Laserlinie optimal positioniert und liefert genaue Positionsinformationen in die Kamera.

Außerdem kommt es nicht zu Abschattungen des Lichts durch kompliziert geformte Bauteile. Dieses Messprinzip ist mittlerweile patentgeschützt. Der Anwender kann den Sensor ohne Integrationsaufwand für alle Robotersysteme vollkommen flexibel und vor allem prozesssicher in Klebe- und Schweißprozessen einsetzen und erreicht eine bedeutend vereinfachte Prozessführung und Qualitätssicherung – mit nur einem Sensor.

Um über lange Zeit in rauen Produktionsumgebungen arbeiten zu können, enthält der Sensor ein Kühlmodul, das entweder mit Wasser oder Luft arbeitet. Zu diesem Zweck besitzt die optische Bank, auf der die Laserdioden und die Kameras montiert sind, eine interne Kühlstruktur. Diese ist so komplex geformt, dass sie nur im 3D-Druck hergestellt werden kann. Durch das intelligente Thermomanagement hält der Sensor viele Jahre durch. Der Sensor ist so ausgelegt, dass er auf Roboter aller gängigen Hersteller von Kuka bis Fanuc passt und sich für alle denkbaren Einsatzszenarien eignet. Das erlaubt eine einfache Integration in bestehende Fertigungsanlagen.

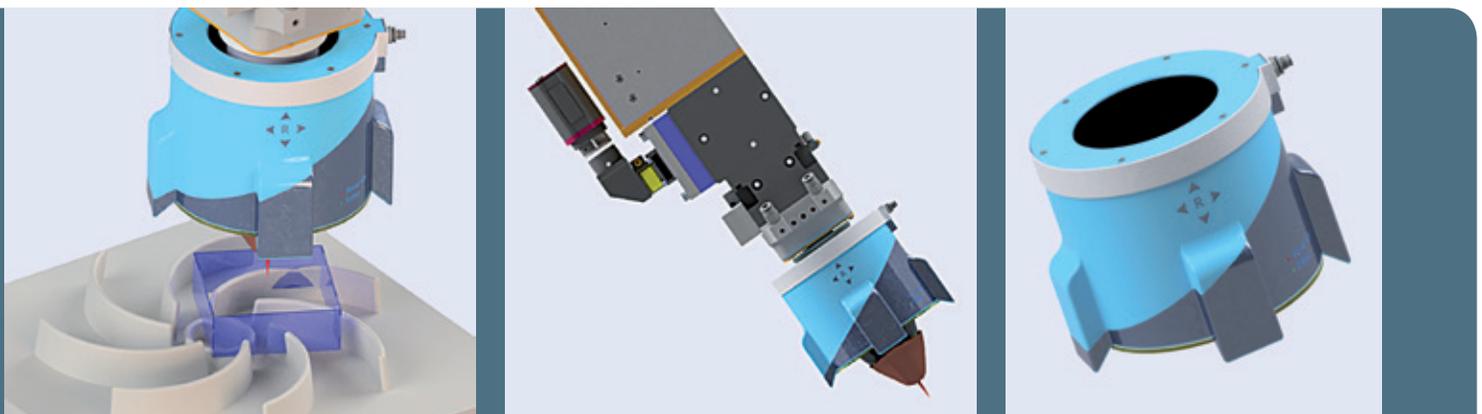
Die Technologie verspricht also viel – ob sie es auch hält, sollen Versuche bei Partnern zeigen. Dazu hat sich das Institut früh die Unterstützung von fünf Firmen gesichert, die zugesagt haben, die Entwicklung zu begleiten, die Prototypen zu testen und diese auch zu kaufen. Sie treffen sich alle zwei Monate und besprechen die Fortschritte sowie weiteren Ziele des Projekts. Noch dieses Jahr sollen zwei Referenzprojekte starten, in denen der Sensor einmal beim Kleben und einmal beim Schweißen eingesetzt wird. Wenn die Partner den Daumen heben, wird ein Automobilhersteller den Sensor ab 2019 in der Produktion testen, 2021 soll SensePRO dann

serienreif sein. »Die Technologie wird uns einen signifikanten Vorteil bei der Reduzierung unserer Taktzeiten bieten«, lässt der Automobilhersteller bereits verlauten. Bis dahin sollen weiterführende Entwicklungsprojekte starten, etwa eine automatisierte Rekalibrierung oder eine richtungsunabhängige Datenvorselektion und Produktionsprozesssteuerung mittels Deep-Learning-Algorithmen.

Die Chancen stehen gut, dass sich SensePRO gut im schnell wachsenden Markt der Industrieroboter etablieren kann, da aktuell keine Konkurrenzsysteme in Sicht sind. In Deutschland werden jedes Jahr etwa 1300 neue Roboter für Schweiß- oder Klebeanwendungen verkauft, die so einen Sensor brauchen. Wenn man internationale Märkte und weitere Anwendungen im Blick hat, könnten es in den folgenden Jahren auch erheblich mehr werden. Denn bis 2020 rechnet der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau damit, dass sich die Zahl der weltweiten Industrieroboter auf 3,5 Mio mehr als verdoppelt.

Das Fraunhofer IAPT gehört seit diesem Jahr zur Fraunhofer-Gesellschaft, vorher firmierte es als LZN Laser Zentrum Nord GmbH. Für Mauritz Möller und seine Kollegen Malte Buhr, Vishnuu Prakash und Julian Weber ist das Ziel des Projekts, die wirtschaftliche Verwertung von SensePRO beispielsweise in einer Ausgründung zu überprüfen. Dazu haben die vier Innovatoren einen Antrag zur EXIST-Förderung gestellt. Mit dem EXIST-Programm unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Unternehmensgründungen aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen mit jeweils bis zu 1 Mio Euro. Der Antrag des Fraunhofer IAPT wurde bewilligt, »wir wurden aus 70 Mitbewerbern ausgewählt«, so Möller. Die Fördermittel fließen ab September 2018. ■

Innovative SensePRO-Sensorik ermöglicht eine 360°-Rundumsicht für die Prozessführung und Qualitätssicherung.
© Fraunhofer IAPT



Allround-Talent im Flugzeugbau



Der Airbus 320 im Hangar. Wie alle Flugzeuge wird er heute immer noch größtenteils per Hand gefertigt. © Shutterstock

Wie von Geisterhand gesteuert bewegt sich der Roboter durch das riesige Technikum im Forschungszentrum CFK NORD in Stade. Schnell, genau und flexibel ist das mobile Allround-Talent, das Fraunhofer-Forschende gemeinsam mit Partnern für die Flugzeugproduktion entwickelt haben.

Text: Sonja Endres

Roh-Bauteile für den Flugzeugbau sind groß: Das Seitenleitwerk eines Airbus 320 misst 7 mal 2 Meter, eine Flügelschale 35 mal 7 Meter. Oft müssen die Bauteile daher mit Spezialtransportern zu den Fertigungsstätten gefahren werden, wo sie ganze Produktionshallen füllen. Doch nicht nur die Größe ist eine Herausforderung für die automatisierte Bearbeitung, sondern auch das Material, aus dem die Bauteile gefertigt sind. Die carbonfaserverstärkten Kunststoffe (CFK) sind zwar stabil, leicht und damit treibstoffsparend. Sie lassen sich aber nur in einem thermischen Prozess härten, der keine scharfen, klaren Konturen ermöglicht.

»Man hat jedes Mal ein Unikat vor sich. Erst durch die Fräsbearbeitung wird das Bauteil auf das Sollmaß gebracht. Üblicherweise müssen mehrere Zentimeter Material entfernt werden. Im Unterschied zur Automobilfertigung wird zurzeit noch vieles von Hand gefräst, gebohrt oder montiert. Doch das wird sich bald ändern«, erklärt Hendrik Susemihl, stellvertretender Gruppenleiter Integrierte Produktionssysteme und Experte auf dem Gebiet mobile Robotersysteme am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Stade bei Hamburg.

unflexibel, haben hohe Nebenzeiten und daher eine relativ geringe Produktivität.

Alles ist möglich

Der mobile Roboter, den IFAM-Forscher entwickelt haben, läutet im Flugzeugbau eine Zeitenwende ein. Idee und Konzept für das mit dem ROBOTICS AWARD 2018 ausgezeichnete Verfahren stammen von Fraunhofer, bei der praktischen Umsetzung halfen zahlreiche Partner-Unternehmen. Der Roboter bearbeitet die Bauteile mit Abweichungen von weniger als einem halben Millimeter und wird damit als einziger weltweit erstmals den hohen Anforderungen der Luftfahrt in Sachen Genauigkeit gerecht. Fräsen, bohren, messen, kleben – alles ist möglich. Das Allround-Talent ist universell einsetzbar und kann sich schnell und flexibel auf Formabweichungen, Produkt- oder Typveränderungen einstellen. Und auch die Größe der Bauteile ist für den vier Meter breiten und rund drei Meter hohen Roboter kein Problem: Er kann Seitenleitwerke, Flügelschalen, Rumpf- oder Landeklappenteile selbstständig anfahren und sich dort Schritt für Schritt vorarbeiten.

machen das eine eigens entwickelte, sehr stabile Roboter-Plattform mit drei elektrisch betriebenen Antriebsrädern und ein spezieller Aufstellmechanismus. Der Forscher ergänzt: »Herkömmliche mobile Roboter fahren Standfüße aus, wir haben das Prinzip einfach umgedreht: Wenn der Roboter seine Zielposition erreicht hat, zieht er seine Räder ein und steht so wesentlich stabiler als mit Stützen.« Problemlos kann er zahlreiche Positionen einnehmen, wie es für die Fräs- oder Bohrbearbeitung nötig ist, ohne ins Wanken zu geraten und an Genauigkeit zu verlieren. Räder und Antrieb stammen ursprünglich von Gabelstaplern. Im Entwicklungsbetrieb ist der mobile Roboter mit einer Geschwindigkeit von einem halben bis einem Meter pro Sekunde unterwegs, höhere Geschwindigkeiten sind möglich. Dabei ist er extrem wendig und kann um seinen eigenen Mittelpunkt ebenso rotieren wie um Punkte außerhalb des Fahrzeugs.

Präzision durch Messsysteme

Seine enorme Bearbeitungsgenauigkeit erzielt der mobile Roboter vor allem durch abtriebsseitige Messsysteme, also Messsysteme, die sich hinter dem Getriebe an den Achsen befinden, während bei herkömmlichen Industrierobotern die Messtechnik am Motor befestigt ist. »So können wir auch die Fehler, die im Getriebe und an der abtriebsseitigen Welle des Motors entstehen, messen und wissen immer ganz genau, wo die Achsen stehen«, sagt Christian Böhlmann, Gruppenleiter Integrierte Produktionssysteme am Fraunhofer IFAM. Die Sensoren messen Fehler, die aufgrund der Elastizität der Getriebe und der Reibung im System entstehen, und melden sie der Robotersteuerung, die sie bei der Berechnung der Bewegungen berücksichtigt.

Auch der verbesserte Einmessprozess des Roboters zum Bauteil erhöht die Genauigkeit. Böhlmann erklärt: »Weil der Roboter seine Arbeit jedem Bauteil individuell anpassen muss, geben wir ihm Augen. Wir rüsten ihn mit Kameras und Lasermesstechnik am Fahrzeug oder in der Umgebung aus. So stellt er seine Achsen auf Grundlage der gemessenen Informationen selbst ein.« Die Ausrichtung des Roboters erfolgt auch besonders schnell. Denn den Wissenschaftlern ist es gelungen, die Anzahl der erforderlichen Messpunkte zu reduzieren und damit die Gesamtdauer des Prozesses erheblich zu verkürzen. »Der Roboter wird nicht nur zu Beginn genau justiert, sondern muss mehrfach neu eingemessen werden, da er immer nur ein Teilsegment



Dabei muss sehr genau gearbeitet werden – eine weitere Schwierigkeit, die bisher eine robotergestützte Lösung unmöglich machte. Kommen heute im Flugzeugbau Maschinen zum Einsatz, sind es in erster Linie schwere, individuell zugeschnittene Portalanlagen, die sich auf Schienen langsam über die Bauteile schieben. Die Nachteile: Die Anlagen sind kostspielig,

»Es gibt zwar bereits mobile Bearbeitungsroboter. Sie benötigen jedoch, gerade wenn sie sehr genau arbeiten sollen, vorbereitete Stellen im Boden, mit denen sie sich fest verbinden können. Nur so erhalten sie die nötige Stabilität. Unser Roboter bewegt sich völlig frei und kann flexibel zu jeder beliebigen Position in der Produktion fahren«, betont Susemihl. Möglich

des langen Bauteils bearbeiten kann. Ist ein Segment fertig, positioniert er sich vor dem nächsten und setzt seine Arbeit fort – dabei sollte er möglichst schnell sein und muss ganz genau an der Stelle weitermachen, wo er aufgehört hat«, sagt Susemihl. Dazu trägt auch eine verfeinerte Kalibrierung bei. Die IFAM-Experten maßen individuelle Fehler in Achsen, Getrieben oder Motor und passten das mathematische Modell, das die Bewegungen des Roboters steuert, an die gemessene Realität an.

Werkzeug-Kit immer dabei

Wie jeder gut ausgerüstete Handwerker seinen Werkzeuggürtel, so hat auch der Roboter auf seiner mobilen Plattform sein Werkzeug-Kit direkt dabei und griffbereit. Er kann beispielsweise zunächst die Konturen eines Seitenleitwerks mithilfe einer Fräse in Form bringen und sich anschließend selbstständig einen Bohrer aus dem mitgeführten Magazin greifen, um Löcher für die Verbindung mit anderen Bauteilen zu bohren. »Unser Roboter ist momentan mit einer Fräs-Bohr-Spindel ausgerüstet. Wir können ihn aber auch mit einem Applikationsendeffektor ausstatten, mit dem sich Klebstoffe auftragen lassen, ebenso mit Reinigungs- oder Messwerkzeugen«, sagt Susemihl. Es gebe keine Beschränkungen, erklärt der Forscher. Besonders große

Werkzeuge deponiere man an festen Stationen in der Umgebung. Dort hole sie der Roboter ab.

Ein weiterer Vorteil: Der Roboter ist ohne Wartezeiten im Einsatz und fährt erst dann zum Bauteil, wenn er gebraucht wird. Alle Prozesse der Vor- und Nachbearbeitung, wie das Bauteil an seine Position zu bringen, es einzuspannen oder einzumessen, werden ausgelagert. Eine Leitsteuerung koordiniert den gesamten Produktionsprozess und verteilt Teilaufträge. Sobald der Roboter seine Aufgabe erledigt hat, meldet er der Leitsteuerung seine genaue Position und, dass er wieder zur Verfügung steht.

Noch testet das IFAM-Team seinen Roboter an nur einem Bauteil. Doch es gibt eine klare Vision: In den Flugzeugmontagehallen der Zukunft sollen zahlreiche mobile Roboter simultan unterwegs sein, die sich auf unterschiedliche Anwendungen spezialisiert haben, verschiedene Bauteile je nach Bedarf anfahren und bearbeiten. Mit dem Industriepartner Airbus will das IFAM in nachfolgenden Projekten diese Vision Schritt für Schritt Wirklichkeit werden lassen.

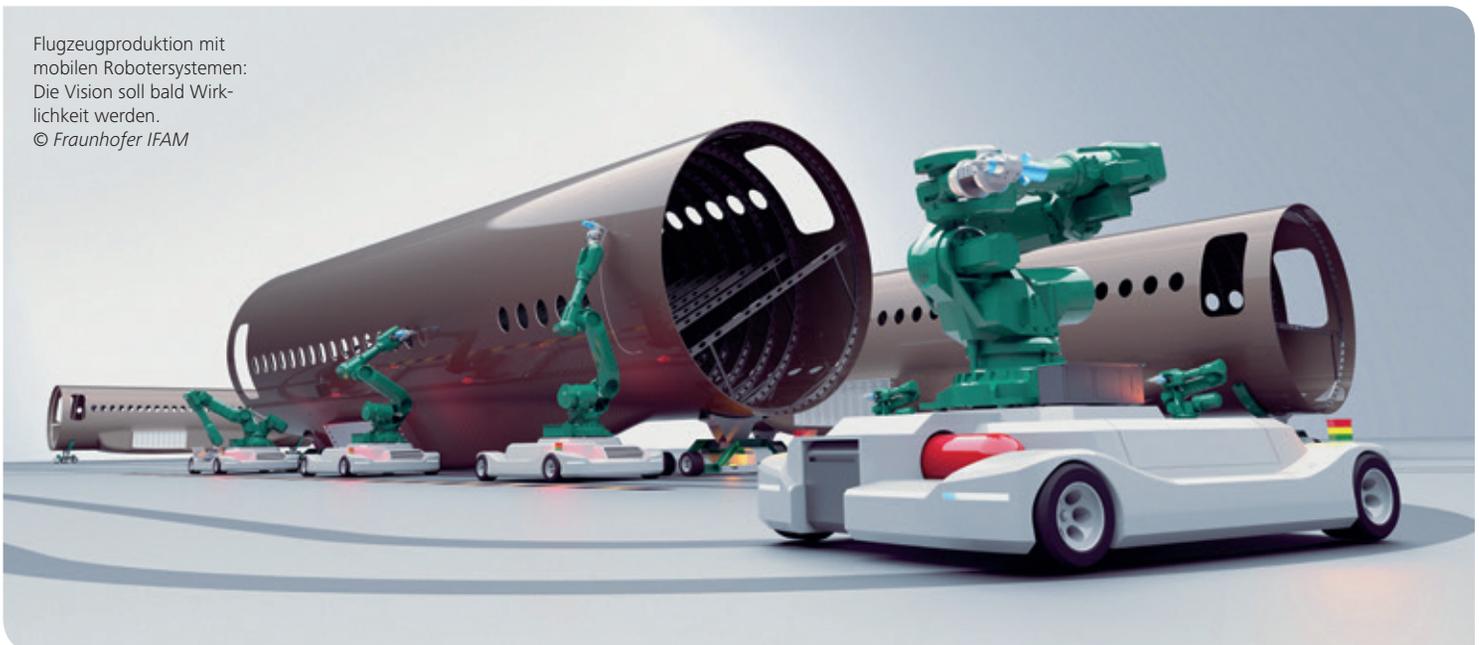
Vieles ist möglich in der wandlungsfähigen Flugzeugproduktion, die nicht mehr statisch bestimmte Stationen durchläuft, sondern sich flexibel, schnell und kostengünstig an unterschiedli-

che Anforderungen anpasst. Die Fertigungskette lässt sich im Nachhinein umstrukturieren, der mobile Roboter sich auf veränderte Bauteile oder neue Flugzeugmodelle einstellen. »Das alles macht unseren Roboter auch für andere Branchen interessant. Wir haben viele Anfragen aus dem Schienenfahrzeug- und Windenergieanlagenbau, weil es hier um ähnlich große Bauteile geht.« So ließen sich mit dem mobilen Roboter auch Schienenfahrzeugwagen montieren oder Rotorblätter eines Windkrafttrades fräsen. »Wir erfüllen bereits die sehr hohen Genauigkeitsanforderungen im Luftfahrtbereich. Damit sind alle anderen Anwendungen für unseren Roboter ein Kinderspiel«, ist sich Hendrik Susemihl sicher. ■

Kooperationspartner

Folgende Partner trugen zum Gelingen des Projektes bei: Aicon 3D Systems GmbH, Airbus Operations GmbH, arTis GmbH, CTC GmbH Stade, IPMT der TU Hamburg, Ludwig Schleicher Anlagenbau GmbH & Co. KG, Mabi AG - Robotic, mz robotlab GmbH, Siemens AG und Volkswagen AG.

Flugzeugproduktion mit mobilen Robotersystemen: Die Vision soll bald Wirklichkeit werden.
© Fraunhofer IFAM



Soundanalyse in der Produktion

Schleift ein Zahnrad oder zischt ein Ventil? Erfahrene Facharbeiter hören, wenn ihre Maschinen ungewohnte Geräusche von sich geben. Diese Fähigkeit können auch Computer lernen - und Alarm schlagen, wenn Ausfälle drohen.

Text: Christine Broll

Wenn Judith Liebetrau auf Messen ihre Projekte zur akustischen Qualitäts- und Prozesskontrolle erklärt, nutzt sie gerne den Vergleich mit dem Autofahren. »Bei seinem eigenen Auto hört man sehr genau auf die Motorengeräusche und registriert, wenn man einen Gang höher schalten muss«, sagt die Leiterin der Gruppe »Industrial Media Applications« am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT im thüringischen Ilmenau. »Der Mensch nimmt Veränderungen von Geräuschen intuitiv erstaunlich gut wahr. Wir bringen Computern dieses differenzierte Hören bei.«

Soll der Computer später Prozessgeräusche analysieren, nehmen die Forscher den Klang einer vorschriftsmäßig funktionierenden Maschine auf. Der Rechner speichert dieses Muster als Standard ab. Dann muss er lernen, Veränderungen des Standardklangs wahrzunehmen. Dazu nutzt das Team Methoden des maschinellen Lernens, die am IDMT für die Musikanalyse entwickelt wurden. »In der Übertragung der Algorithmen aus der Musik auf industrielle Audiodaten liegt unser Know-how«, betont Judith Liebetrau.

Dass sich das akustische Verfahren zur Qualitätskontrolle eignet, wird in einem Projekt mit der GÖPEL electronic GmbH, Hersteller von Messsystemen zur industriellen Qualitätsprüfung, unter Beweis gestellt. In dem Projekt wird die Funktion von Verstellmotoren für Autositze nach deren Einbau akustisch überprüft, um beispielsweise festzustellen, ob der Sitz beim Verstellen unter Belastung leicht quietscht oder ächzt.

Prozesse akustisch kontrollieren

Wie sich die Luftschallanalyse bei der Prozesskontrolle bewährt, hat das IDMT-Team beim Bürgerlichen Brauhaus



Saalfeld getestet – in der Abfüllanlage, wo vor dem Einfüllen des Biers die Luft aus den Flaschen gesaugt wird. Sitzt die Gummidichtung der Absauganlage nicht richtig auf dem Flaschenhals, wird nicht nur die Luft aus der Flasche, sondern auch Luft aus der Umgebung angesaugt. Dabei entsteht ein »Tzisch«-Geräusch, das sich vom richtigen »Zisch« unterscheidet.

Mit einem Mikrofon, das nahe der Gummidichtung positioniert war, ließen sich die verschiedenen Zisch-Töne aufnehmen und differenzieren – trotz des lauten Rattens und Klapperns der Abfüllanlage. »Wir haben die Hintergrundgeräusche mit einem weiteren Mikrofon aufgezeichnet und dann aus der eigentlichen Aufnahme herausgerechnet«, verdeutlicht die Gruppenleiterin. Dazu wurden Verfahren zur Quellentrennung angewandt, die das IDMT ursprünglich entwickelt hatte, um einzelne Instrumente aus einer Musikaufnahme zu separieren.

Durch die Analyse des Zisch-Geräuschs lässt sich frühzeitig feststellen, ob die Gummidichtung der Anlage Verschleißerscheinungen zeigt. So kann sie ausgetauscht werden, bevor es zu Problemen bei der Abfüllung kommt. »Die akustische Prozessüberwachung ist ein wichtiger Beitrag zur Predictive Maintenance, zur vorausschauenden Wartung«, betont Judith Liebetrau. Weil das Verfahren auch feinste Klangunterschiede wahrnehmen kann, lassen sich damit alle Anlagen überwachen, in denen sich etwas geräuschvoll bewegt – seien es Kugellager, Zahnräder oder die Hydraulik von Robotern. Die Ingenieurin stellt noch einen weiteren Vorteil heraus: »Da man die Mikrofone nachträglich einbauen kann, eignet sich die Luftschallanalyse hervorragend, um ältere Anlagen für Industrie 4.0 aufzurüsten.« ■

Für die Qualitätskontrolle von Verstellmotoren in Autositzen entwickelt das Fraunhofer IDMT mit der GÖPEL electronic GmbH ein akustisches Messverfahren. © Fraunhofer IDMT

Kosmische Teilchen als Elektronik-Killer

Immer wieder bringt die kosmische Strahlung unsere Technik aus dem Takt: Die Teilchen aus dem All lassen Rechner abstürzen, Handyverbindungen abbrechen und Satelliten aussetzen. Mit raffinierten Methoden prüfen Forscherinnen und Forscher, wie empfindlich ein bestimmtes Bauteil ist und welche Elektronik sich für den Weltraum eignet.

Text: Frank Grotelüschen

Dr. Stefan Metzger steigt die Treppe in den Keller hinab, dann öffnet er die Tür zu einem kleinen Labor. Darin steht ein massiver Tisch mit optischen Elementen – Spiegel, Blenden und Halterungen. »Das ist ein Pikosekundenlaser«, erklärt Metzger, Forscher am Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT. »Er erzeugt extrem kurze Lichtblitze, mit denen wir simulieren können, wie ein kosmisches Teilchen in einen Mikrochip einschlägt.«

Die kosmische Strahlung ist Teil der natürlichen Radioaktivität und besteht aus schnellen Teilchen, die von der Sonne kommen, aber auch von entfernten Sternen. Trifft ein kosmisches Teilchen auf die Erdatmosphäre, kollidiert er mit Luftmolekülen und erzeugt Unmengen anderer Teilchen. Diese Teilchenschauer gehen auf die Erde nieder und treffen nicht selten ein elektronisches Bauteil. »Dadurch kann zum Beispiel ein

Speicherchip ein Bit kippen«, sagt Metzgers Kollege Dr. Stefan Höffgen. »Aus einer Null wird plötzlich eine Eins, und das kann zu einem Programmabsturz führen.« Die Folge: Computer hängen sich auf, Apps stürzen ab, Handyanrufe werden unterbrochen.

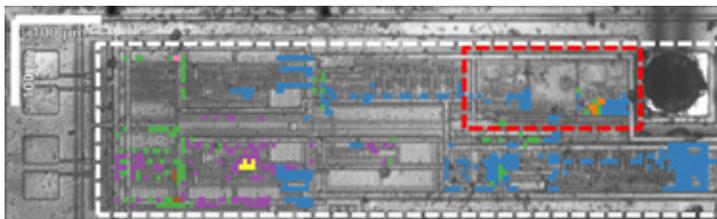
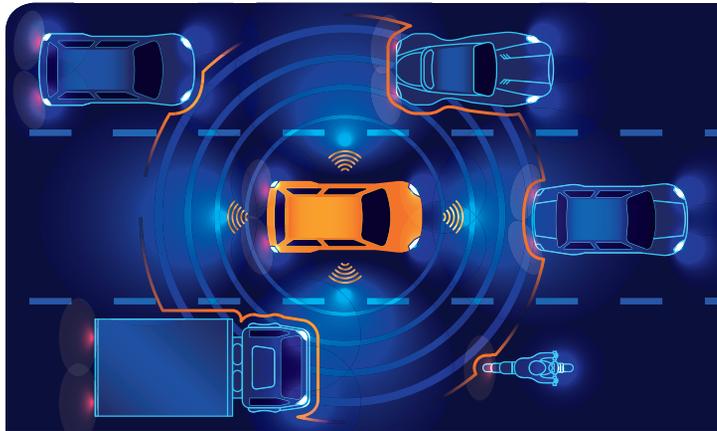
Noch drastischer können die Effekte in der Satellitentechnik ausfallen. Denn im All fehlt die schützende Lufthülle der Erde, wodurch die Dosis an kosmischer Strahlung viel höher ist. Im Extremfall kann das gehörigen Schaden anrichten: Als 1989 das Weltraumteleskop Hipparcos startete und in seinen Orbit einlenken sollte, versagte der Motor. Offenbar hatte kosmische Strahlung die Steuerelektronik mattgesetzt. Der Satellit musste auf einer vorläufigen Bahn bleiben und 1993 aufgegeben werden – viel früher als geplant. Aus solchen Pannen hat die Fachwelt gelernt. Heute werden Satelliten gegen den Einfluss der

Strahlung geschützt, etwa durch Verwendung spezieller, strahlenharter Elektronik. »Außerdem werden kritische Bauteile mehrfach ausgelegt«, sagt Metzger. »Trifft ein Teilchen eine der Komponenten, bleiben die anderen, redundanten davon unbeeinflusst.«

Laser simuliert kosmische Strahlung

Bevor ein Satellit ins All abhebt, muss die Elektronik auf ihre Weltraumtauglichkeit gecheckt werden. Diese Tests geschehen heute mit Teilchenbeschleunigern. Sie feuern schnelle Ionen auf Platinen und Prozessoren und simulieren dadurch das Bombardement mit kosmischen Teilchen im All. Nur: Diese Tests sind aufwendig und kostspielig – weshalb die Branche nach einer günstigeren Alternative sucht. Der Kandidat dafür ist der Laser. Denn starke, ultrakurze





Kosmische Strahlung ist Teil der natürlichen Radioaktivität und besteht aus schnellen Teilchen, die von der Sonne oder Sternen kommen. © istock

Es gibt effektiven Schutz für sicherheitsrelevante Techniken wie das autonome Fahren, denn hier können kosmische Teilchen ein Problem sein. © istock

Wirkungen von Laserpulsen auf einen Schaltkreis. Sie haben die gleichen Effekte wie ein schnelles Teilchen. © Fraunhofer INT

Laserpulse wirken auf einen Schaltkreis ähnlich wie kosmische Strahlung: Sie erzeugen einen Ladungskanal, der die gleichen Effekte auslöst wie ein schnelles Teilchen. »Ein Beschleuniger ist groß und rund 100 Millionen Euro teuer«, sagt Stefan Höffgen. »Demgegenüber ist ein Laser deutlich kleiner und günstiger.« Ein weiterer Vorteil: Mit den Lichtpulsen lässt sich präzise zielen, dadurch weiß man genau, an welcher Stelle ein Schaltkreis getroffen wird. Im Gegensatz dazu generiert ein Beschleuniger eher ein Zufallsbombardement.

Neutronenflut im Messbunker

Aus diesen Gründen steht seit 2017 der Speziallaser im Keller des INT. Er vermag Pulse zu erzeugen, die nur einige Pikosekunden (Billionsstel Sekunden) lang sind – kurz genug, um den Einfluss eines kosmischen Teilchens auf ein Elektronikbauteil zu simulieren. Damit gelang den

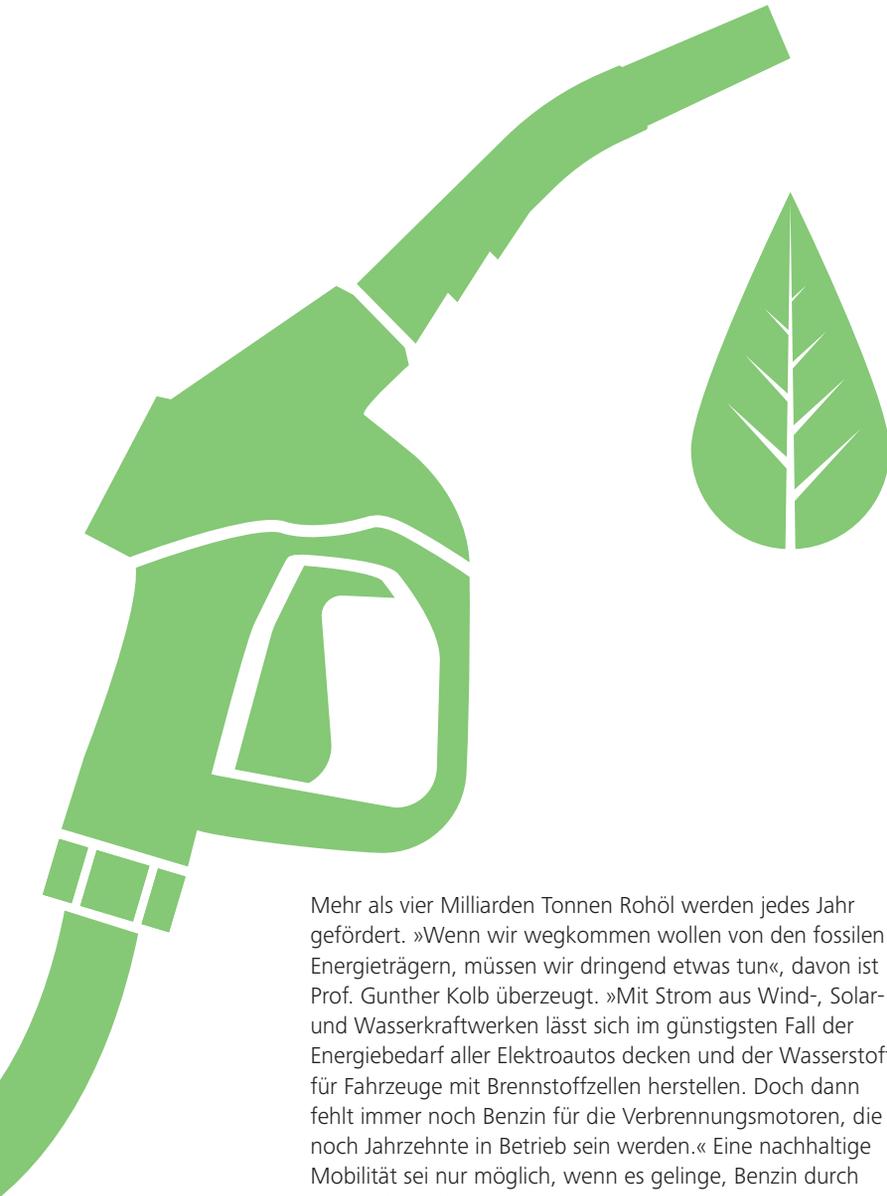
INT-Forschenden bereits eine bemerkenswerte Messung: Als sie die Strahlungstauglichkeit eines Spezialbauteils per Laser untersuchten, stießen sie auf eine Schwachstelle: An einer bestimmten Stelle riefen die Laserblitze einen Kurzschluss hervor – ein Fehler, den man im Weltraum lieber vermeiden möchte.

»Dasselbe Bauteil hatten wir zuvor an einem Beschleuniger getestet«, erzählt Höffgen. »Dort hatten wir keine Mängel beobachtet, das Teil hätte die Prüfung also bestanden.« Als Ursache für die Diskrepanz vermuten die Fachleute, dass die Laserpulse deutlich tiefer in den Schaltkreis eindringen als die Ionen aus dem Beschleuniger. »Das könnte erklären, warum der Laser die Schwachstelle erkannt hat und der Beschleuniger nicht«, meint Höffgen. »Um unseren Verdacht zu erhärten, bräuchte es aber noch mehr Experimente.« Die Folgen könnten gravierend sein: Demnach wären die Beschleunigertests nicht so aussagekräftig wie angenommen.

Bis aber der Laser den Beschleuniger ergänzen oder gar ersetzen kann, wird es noch dauern. »Bislang können wir noch nicht genau genug sagen, wie im Detail man die Wirkung der Laserpulse in die der Ionen umrechnen muss«, so Höffgen. »Dazu brauchen wir auf internationaler Ebene mehr Messdaten, bis eine Weltraumagentur wie die ESA das Verfahren akzeptiert.« Doch kosmische Strahlung kann nicht nur im

Weltraum Schaden anrichten, sondern auch am Erdboden. Unter anderem entstehen in den Teilchenschauern Neutronen, und die können den Chips in PCs und Smartphones merklich zusetzen. Um den Einfluss der Teilchen genau zu verstehen, wurde am INT ein aufwendiger Versuchsstand installiert – ein Bunker mit meterdicken Betonwänden, groß wie eine Doppelgarage. In seinem Innern liegen auf wuchtigen Gestellen zwei Metallzylinder, groß wie Feuerlöcher. »Das sind unsere Neutronengeneratoren«, erklärt Stefan Metzger. »Sie können pro Sekunde einige 10 Milliarden Neutronen erzeugen, ein Vielfaches der natürlichen Belastung.«

Diese Teilchenflut lassen die Fachleute auf Schaltkreise oder komplette Geräte los. Dann messen sie, ob und wie oft die Elektronik versagt. Solche Experimente verraten, welche Bauteile besonders anfällig sind. Und sie lassen darauf schließen, wie oft Geräte abstürzen, weil sie von kosmischen Teilchen getroffen werden. »Ein Fehler in 1000 Stunden scheint realistisch«, schätzt Metzger. Für sicherheitsrelevante Techniken wie das autonome Autofahren kann das durchaus zum Problem werden, meinen die INT-Experten. Zwar gibt es bereits effektive Schutztechniken – aber nicht alle Hersteller scheinen sich der Problematik bewusst zu sein. »Meine Erfahrung ist, dass das Wissen über diese Effekte noch nicht überall da ist«, sagt Metzger. »Das fängt gerade erst an.« ■



© istock

Mehr als vier Milliarden Tonnen Rohöl werden jedes Jahr gefördert. »Wenn wir wegkommen wollen von den fossilen Energieträgern, müssen wir dringend etwas tun«, davon ist Prof. Gunther Kolb überzeugt. »Mit Strom aus Wind-, Solar- und Wasserkraftwerken lässt sich im günstigsten Fall der Energiebedarf aller Elektroautos decken und der Wasserstoff für Fahrzeuge mit Brennstoffzellen herstellen. Doch dann fehlt immer noch Benzin für die Verbrennungsmotoren, die noch Jahrzehnte in Betrieb sein werden.« Eine nachhaltige Mobilität sei nur möglich, wenn es gelinge, Benzin durch alternative Treibstoffe zu ersetzen.

Eine Technologie zur Erzeugung eines solchen ökologisch unbedenklichen Bio-Sprits hat Kolbs Team am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM zusammen mit 12 Forschungsgruppen aus sieben Ländern jetzt im EU-Projekt BIOGO entwickelt. Die Zutaten für den neuen Treibstoff kommen aus dem Wald: »Holzabfälle und Baumrinden sind europaweit in großen Mengen verfügbar, werden bisher aber kaum genutzt. Das macht sie zu einem idealen Rohstoff – man muss sie nicht extra anbauen und tritt daher auch nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion«, erklärt Kolb, der das EU-Projekt koordiniert hat. Die Nutzung der Holzabfälle ist zudem klimaneutral: Verwandelt man sie in einen Treibstoff und verbrennt diesen, so wird nur Kohlendioxid freigesetzt, das die Bäume der Atmosphäre zuvor beim Wachsen entzogen haben. Es gelangen daher keine zusätzlichen Treibhausgase in die Atmosphäre. Und dann kann der Treibstoff aus Holzabfällen überall hergestellt werden, wo Bäume wachsen. Man muss ihn nicht – wie Erdöl – von der Quelle erst zur Raffinerie und dann noch zu den Tankstellen

Bio-Sprit aus dem Container

Aus organischen Abfällen, die bisher nicht verwertet wurden, lässt sich Bio-Sprit gewinnen. Eine Technologie dafür haben Forscherinnen und Forscher im EU-Projekt BIOGO entwickelt.

Text: Monika Weiner

transportieren. »Ein wichtiger Baustein des BIOGO-Konzepts ist eine dezentrale Produktion«, betont Kolb. »Um dies zu realisieren, haben wir mobile Produktionseinheiten entwickelt, die sich in Containern unterbringen und problemlos dort installieren lassen, wo sie gerade gebraucht werden.«

Der Prototyp der neuen Anlage zur Gewinnung von Bio-Sprit steht auf dem Hof hinter dem Fraunhofer-Institut: In dem unauffälligen weißen Container werden Abfallprodukte der Holzindustrie in hochwertiges Benzin verwandelt. Was klingt wie Alchemie, ist das Ergebnis einer vierjährigen intensiven Forschungs- und Entwicklungsarbeit: »Ziel des BIOGO-Projekts war es, eine Anlage zu entwickeln, die sich in einen 40-Fuß-Container mit den Standardmaßen 12 mal 3 mal 3 Metern unterbringen lässt, der alle Verfahrens- und Prozessschritte beinhaltet«, erläutert Kolb. »Gleichzeitig sollte das Herstellungsverfahren möglichst ökologisch und ressourcenschonend sein. Daraus haben sich verschiedene Lösungsansätze ergeben. Wir haben dann alles in einem Gesamtprozess integriert.«

Kleine Anlagen für die dezentrale Treibstoffgewinnung

In einer ersten Prozessstufe, die von dem italienischen Unternehmen Spike Renewables entwickelt wurde, erhitzt man die Holzreste, bis sich ein dunkles, zähflüssiges Pyrolyseöl bildet. Dieses lässt sich in der mobilen Anlage weiterverarbeiten. Die Reaktionskammern hierfür, die Mikroreaktoren, haben die Forschenden am Fraunhofer-Institut in Mainz entwickelt. Der erste Reaktor verwandelt das Pyrolyseöl unter Zufuhr

von Wärme, Luft und Wasserdampf in Synthesegas. Aus dem wird im zweiten Schritt Methanol gewonnen. Entzieht man diesem – im dritten und letzten Schritt – den Sauerstoff, entsteht synthetisches Benzin. »Die Herausforderung lag darin, den gesamten Prozess so zu optimieren, dass am Ende ein Treibstoff herauskommt, der sich chemisch nicht von Normalbenzin unterscheidet«, berichtet Kolb. Gesteuert wird das Zusammenspiel der Mikroreaktoren durch eine ausgetüftelte Anlagen- und Prozesstechnik.

Nanokatalysatoren sparen Ressourcen

Um die chemischen Abläufe zu beschleunigen, werden Katalysatoren benötigt. Für deren Herstellung braucht man bisher große Mengen Edelmetall und Seltene Erden – Stoffe, die auf der Erde nur sehr begrenzt zur Verfügung stehen. Im BIOGO-Projekt haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Firma Teer Coatings eine Methode entwickelt, mit der sich winzige Cluster von katalytisch aktiven Substanzen auf Oberflächen aufbringen lassen. Auf diese Weise entstehen leistungsfähige und ressourcenschonende Nanokatalysatoren.

»Der letzte Schritt bei der Entwicklung der mobilen Produktionsanlage bestand darin, die gesamte Technik in einen Container zu integrieren, der alle Anforderungen an Sicherheit und Brandschutz erfüllt«, erklärt Kolb. Das Know-how für den Bau der Anlage steuerten Fraunhofer-Forschende und der Partner Microinnova aus Österreich bei. Die Containertechnik, EcoTrainer®, stammt von der Firma Evonik. Der Prototyp ist bereits so konzipiert, dass auch größere Reaktoren darin Platz finden. In den kommenden Jahren wollen die BIOGO-Teams die Anlage weiterentwickeln. Ziel ist es, bis zu 1000 Liter Ökotreibstoff am Tag zu produzieren.

Gibt es Benzin also schon bald nicht mehr an der Tankstelle, sondern im Wald am Container? Kolb antwortet: »Das hängt von den politischen Rahmenbedingungen ab. Bei den derzeitigen Ölpreisen ist die neue Technik nicht konkurrenzfähig. Entscheidend wird sein, ob wir in Europa wirklich von den fossilen Rohstoffen wegkommen möchten und dafür beispielsweise bereit sind, Ökotreibstoffe von der Steuer zu befreien oder ihre Herstellung zu subventionieren.« Das Know-how für die Gewinnung von nachhaltigem Treibstoff sei dank BIOGO jetzt vorhanden und man könne es jederzeit einsetzen. Weil der Holz-Sprit dieselben chemischen Eigenschaften habe wie klassisches Benzin, könne man ihn zumischen oder nach und nach komplett auf den neuen Rohstoff umsteigen, erläutert Kolb: »Damit ist ein fließender Übergang zu nachhaltiger Mobilität möglich.«

 www.biogo.eu/biogo_projectpartner.html

Bis es so weit ist, möchten die Mainzer Fraunhofer-Forscher die dezentral und flexibel einsetzbaren Container auch für andere Anwendungen nutzen: »Das Prinzip der Mini-Fabrik ist beispielweise für die chemische und die petrochemische Industrie hochinteressant«, betont Institutsleiter Prof. Michael Maskos. So könnten Chemieunternehmen Container nutzen, um ihre Prozesse zu flexibilisieren und schneller auf Kundenwünsche zu reagieren. In Containern könnte man aber auch Abfallstoffe dezentral aufbereiten: Kohlendioxid beispielsweise lässt sich in Methan verwandeln und ins Erdgasnetz einspeisen. Man braucht dafür allerdings Energie. Da wäre es naheliegend, die dezentralen Anlagen in der Nähe von Wind- oder Solarkraftwerken aufzustellen. »Die Container erlauben eine enorm hohe Flexibilität, die der Industrie völlig neue Möglichkeiten eröffnet«, resümiert Maskos. ■

BIOGO-Hochdruckreaktoren für die heterogene Gasphasenkatalyse. © Tobias Hang/Fraunhofer IMM

BIOGO-Miniplant im Container. © Tobias Hang/Fraunhofer IMM



Der Beginn einer Verpackungsrevolution

Wir Menschen haben bereits mehr als acht Milliarden Tonnen Plastik produziert. Jährlich kommen etwa 80 Mio Tonnen Verpackungen aus Plastik dazu, nur die Hälfte davon wird wiederverwertet, der Rest landet in der Müllverbrennung oder verschmutzt Wälder und Wiesen, Seen und Meere. Dr. Sabine Amberg-Schwab vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg ist einer Lösung auf der Spur.

Interview: Andrea Schwendemann

Dr. Sabine Amberg-Schwab ist promovierte Chemikerin und Leiterin der Abteilung Barriere- und Multifunktionsschichten.
© Fraunhofer ISC



Gratulation, Frau Dr. Amberg-Schwab. Sie haben einen bioabbaubaren und kompostierbaren Barriere Lack entwickelt und dafür den »New Plastics Innovation Prize« bekommen. Ist das der Beginn einer Verpackungsrevolution?

Das weltweite Problem des Verpackungsmülls beschäftigt uns hier am ISC schon lange. Wir sind stolz, mit unserer Forschung einen wertvollen Beitrag zu leisten, um den Plastikmüllberg zu verringern. Aber von einer Verpackungsrevolution würde ich nicht sprechen. Mit unserer jahrzehntelangen Erfahrung bei der Entwicklung von Barrierschichten auf Verpackungsfolien auf der Basis von ORMOCER®en war es ein naheliegender Schritt, Beschichtungen für Folien zu erforschen, die biobasiert und biologisch abbaubar sind.

Mit Ihrer neu entwickelten Materialklasse, den bioORMOCER®en, beheben Sie die Schwächen der Biokunststoffe und rüsten diese praktisch auf. Können Sie das erklären?

Auf dem Markt gibt es schon seit einiger Zeit bioabbaubare und kompostierbare Verpackungsmaterialien aus Zellulose sowie aus Polymilchsäure oder Stärke-Blends. Allerdings

können diese Biopolymere nur bedingt eingesetzt werden, weil sie den verpackten Lebensmitteln keinen ausreichenden Schutz gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff gewähren können. Das heißt, diese Materialien sind zu durchlässig für Wasserdampf, Sauerstoff, Kohlendioxid und Aromastoffe. Daher kann auch die erforderliche Mindesthaltbarkeit für diese Lebensmittel mit diesen Biopolymeren nicht garantiert werden. Wir haben deshalb diese Biokunststoffe mit speziellen biobasierten und bioabbaubaren Lacken aufgerüstet und in ihren Eigenschaften verbessert. So kann nun ausreichender Schutz gegenüber Wasserdampf, Gaszutritt und unerwünschtem Übergang von Fremdstoffen auf den Verpackungsinhalt erreicht werden. Wir wollen kompostierbare Polymerfolien konkurrenzfähig machen und ihnen zu einer breiten Marktdurchdringung verhelfen.

Sind Sie mit Ihrem neuen Produkt schon am Markt?

Wir haben die ersten kompostierbaren Beschichtungen entwickelt und Folien damit ausgerüstet. Diese Folien erfüllen alle gewünschten Eigenschaften wie etwa eine Wasserdampf- und Sauerstoffbarriere. Nach ihrem Einsatz zersetzt sich die beschichtete Folie vollständig unter den Bedingungen eines Komposts.

Wie lange wird es dauern, bis wir Käse, Chips oder andere Lebensmittel in kompostierbaren Verpackungen kaufen können, die mit bioORMOCER®en beschichtet sind?

Zunächst stehen wir im Bereich Verpackungen vor einer großen Herausforderung. Konventionelle Kunststoffverpackungen auf fossiler Ausgangsbasis sind extrem günstig, weit entwickelt und optimiert. Unsere neuen Materialien können preislich noch nicht mithalten. Trotzdem bin ich optimistisch: Wir haben das Grundmaterialsystem entwickelt, jetzt suchen wir Firmen, die die Idee mit uns weitertreiben. Die Chancen stehen jedenfalls ganz gut: Im Rahmen der »Circular Material Challenge«, bei der wir den »New Plastic Innovation Prize« gewonnen haben, nehmen wir an einem zwölfmonatigen »Accelerator-Programm« teil. Das bringt uns in Kontakt mit Firmen, die ebenfalls an der Entwicklung nachhaltiger Verpackungsmaterialien interessiert sind. Unsere ersten neuen kompostierbaren Beschichtungsmaterialien stehen für Versuche und weitere Optimierungen zur Verfügung.

Was bedeutet Ihre Erfindung für die Natur und die Umwelt langfristig?

Unser Ansatz hilft der Umwelt zweifach: Wir greifen auf bio-basierte Ausgangsverbindungen zurück. Für unsere Beschichtungen nutzen wir Lebensmittelabfälle oder Nebenprodukte der Lebensmittelherstellung. Das schont die weltweiten Ressourcen. Dazu kommt, dass die bioORMOCER®e bio-abbaubar und kompostierbar sind, im Gegensatz zu den gegenwärtig eingesetzten Kunststoffmaterialien auf fossiler Basis, die sich in der Natur nicht oder nur sehr langsam abbauen. Welche Folgen das hat, sieht man zum Beispiel an den Plastikteppichen in den Weltmeeren.

Eine ketzerische Frage zum Schluss: Wäre es nicht am sinnvollsten, keine Verpackungsmaterialien mehr zu verwenden?

Richtig, wir sollten an möglichst vielen Stellen versuchen, Verpackung zu vermeiden. Aber das wird nicht flächendeckend funktionieren. Weil viele Menschen zum Beispiel Convenience Food kaufen möchten, das speziell verpackt werden muss. Für eine echte Verpackungsrevolution brauchen wir deshalb verschiedene Säulen. Verpackungen entwickeln, die kompostierbar sind. Verpackungen im Kreislauf behalten, also recyceln und Verpackungen vermeiden. ■

Konventionelle Plastikverpackungen sind nicht biologisch abbaubar. Die Materialien, die am Fraunhofer ISC erforscht werden, dagegen schon. © iStock



Biologische Beschichtungen

Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg entwickelt seit Langem erfolgreich Barriere-Beschichtungen auf Basis von ORMOCER®en (anorganisch-organischen Hybridpolymeren). Diese Werkstoffklasse bietet gute Eigenschaften gegenüber Gasen, Feuchte und Aromen. Die Weiterentwicklung zu den bioORMOCER®en erfolgt durch den Austausch nicht biologisch abbaubarer organischer Komponenten fossilen Ursprungs mit biologisch degradierbaren Anteilen biologischen Ursprungs. Für ihre Erfindung haben ISC-Forscherin Dr. Sabine Amberg-Schwab und ihr Team in diesem Jahr in Davos auf dem Weltwirtschaftsforum im Rahmen des »New Plastic Innovation Prize« die »Circular Materials Challenge« gewonnen. Hinter diesem Preis stehen die »Ellen MacArthur Foundation« und eine große Unterstützerguppe, zu der namhafte Unternehmen ebenso gehören wie NGOs oder private Förderer. Im derzeit laufenden EU-Projekt HyperBioCoat werden die nächsten Entwicklungsschritte gemacht – das Projekt mit zwölf Partnern aus Industrie und Forschung wird von der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS koordiniert.

Pilze als Produzenten

Reinigungsmittel, Kunststoffe und Co. basieren üblicherweise auf Erdöl - ein wenig ökologischer Weg. Über Pilze lassen sich biobasierte Basischemikalien für solche Produkte herstellen: CO₂-neutral, versteht sich.

Text: Janine van Ackeren

Überzieht ein grün-blauer Film von Schimmelpilzen Brot, Obst oder andere Lebensmittel, landet das Nahrungsmittel zu Recht in der Mülltonne – schließlich sind diese Pilze gesundheitsschädlich. In den Laboren des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB allerdings erfreuen sich Schimmelpilze großer Beliebtheit, genauer gesagt die Schimmelpilze der Gattung *Aspergillus*. Auch Hefe- und Brandpilze werden dort gern gesehen. Doch warum? »Bei der Herstellung von Antibiotika oder in der Lebensmittel-Branche sind Pilze ja schon lange unverzichtbar. Mit den von uns verwendeten Pilzen können wir verschiedene Chemikalien auf CO₂-neutralem Wege produzieren: Diese dienen als Basis für Waschmittel, Emulgatoren, kosmetische und pharmazeutische Wirkstoffe, Pflanzenschutzmittel oder auch Kunststoffe«, sagt Prof. Steffen Rupp, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IGB und Leiter der Abteilung Molekulare Biotechnologie.

Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen

Während man bei der Gewinnung von Chemikalien aus Erdöl CO₂ in die Atmosphäre einbringt, das seit Jahrmillionen gebunden ist, ist dies bei nachwachsenden Rohstoffen nicht der Fall. CO₂-neutrale Verfahren sind für die Umsetzung der Beschlüsse des Pariser Klimaabkommens, hin zu einer CO₂-neutralen Wirtschaft, essenziell. Pilze als Produktionsorganismen haben einen weiteren großen Vorteil. Es existiert ein fast unerschöpflicher Fundus an möglichen Produktionsorganismen, die unterschiedliche nachwachsende Rohstoffe umsetzen können. Da die Pilze vielfältige Stoffwechselwege aufweisen, erzeugen sie eine erstaunliche Produktvielfalt mit umfangreichen Anwendungsmöglichkeiten. »Einige Pilze können, anders als die meisten Mikroorganismen, Zuckerringe mit fünf Koh-

lenstoffringen verwerten. Wir können daher auch Holz, genauer gesagt die darin enthaltene Xylose, als Rohstoff für die Chemikalien nutzen«, erklärt Rupp. Das ist deshalb interessant, da Holz für Menschen keine Nahrung darstellt. Die Frage, ob auf den Äckern Nahrungsmittel oder Rohstoffe für Chemie oder Kraftstoffe angebaut werden – der vielbesagte Tank-Teller-Konflikt – stellt sich hierfür also nicht.

Von Apfelsäure über Biotenside bis hin zu Polyestern

Am Fraunhofer IGB stellen die Forscherinnen und Forscher eine ganze Reihe von Chemikalien mithilfe von Pilzen her. Beispiel Apfelsäure: Für sie gibt es einen stetig wachsenden Markt. So sorgt sie für den sauren Geschmack in Produkten wie Marmeladen und Säften und verbessert die Haltbarkeit von Backwaren. Zudem kann sie als Baustein für biobasierte Polyester eingesetzt werden. Herstellen lässt sie sich über Schimmelpilze – der Prozess ähnelt dem Bierbrauen. Während beim Bierbrauen die Hefen den Malzzucker der Gerste fermentieren, sind es bei der Apfelsäureherstellung *Aspergillus*-Pilze, die Zucker oder Pflanzenöle verwerten. Stark vereinfacht gesagt: Die Pilze werden beispielsweise mit einer Zuckerlösung auf Holzbasis »gefüttert« und bilden daraufhin die gewünschte Apfelsäure. Im Labormaßstab funktioniert diese Fermentation schon recht gut. Derzeit arbeiten die Forscherinnen und Forscher des IGB daran, den Prozess für die industrielle Produktion auszuliegen. Unter anderem wollen sie die Ausbeute bei der Fermentation noch weiter verbessern.

Über einen ähnlichen Prozess lassen sich auch Biotenside gewinnen, aus denen wiederum Waschmittel, Emulgatoren, kosmetische und pharmazeutische Wirkstoffe sowie Pflanzenschutzmittel hergestellt werden können. Dazu

setzen die Forscher jedoch nicht auf Schimmelpilze, sondern nutzen Brandpilze: Diese Parasiten befallen Pflanzen und lassen sie wie verbrannt aussehen – daher der Name. »Auch diesen Prozess legen wir derzeit auf die industrielle Produktion aus: Hier geht es vor allem darum, die Zusammensetzung der erzeugten Biotenside für die verschiedenen Anwendungen im Bereich Detergenzien und Emulgatoren zu optimieren«, erklärt Dr. Susanne Zibek, Leiterin der Gruppe Industrielle Biotechnologie.

Weitere interessante »Produzenten« sind Hefepilze: Neben dem oben erwähnten Bier lassen sich aus speziellen Hefen auch Moleküle herstellen, die für die Produktion von neuartigen Kunststoffen benötigt werden, etwa langkettige Carbonsäuren. Den Forschern des Fraunhofer IGB ist es dabei gelungen, ein Verfahren für die Herstellung von langkettigen Dicarbonsäuren aus einem *Candida*-Stamm zu etablieren.

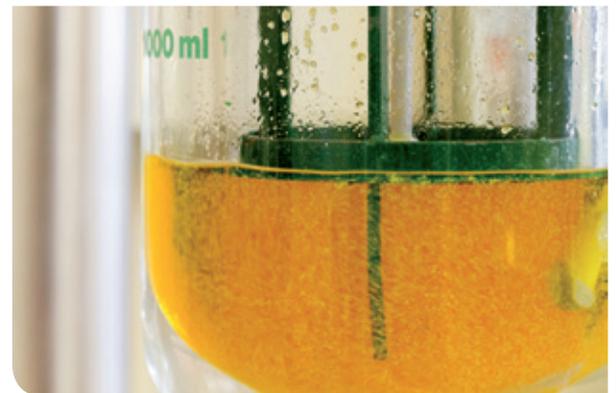
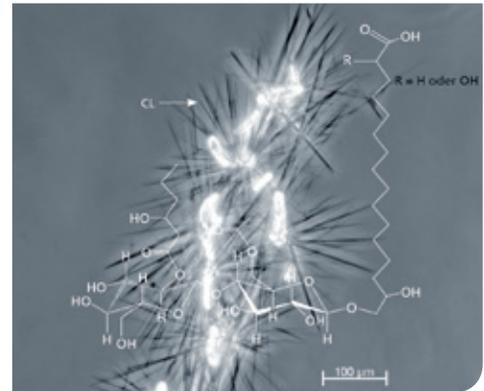
Größerer Maßstab: Fraunhofer-Pilotanlage und -Bioraffinerie

Seien es Tenside, Lebensmittel-Bestandteile wie Apfelsäure oder Basis-Moleküle für Kunststoffe: Damit die biobasierten Chemikalien für industrielle Anwendungen genutzt werden können, müssen die Herstellungsverfahren in einem großen Maßstab umgesetzt werden können. Die Latte liegt hoch, wie das Beispiel der Tenside zeigt: Weltweit werden jährlich etwa 18 Millionen Tonnen Tenside produziert. »Um die Prozesse vom Kilogramm-Maßstab auf den Tonnen-Maßstab zu skalieren, ist viel Ingenieurskunst und Rechenarbeit nötig«, verdeutlicht Fraunhofer-Forscherin Zibek. Es stellen sich unter anderem folgende Fragen: Wie lassen sich die Fermentationsmedien perfekt abstimmen? Wie können die Pilze optimal gefüttert werden? Diese Fragen gehen die Forscher zunächst einmal im kleinen Maßstab an.

Ist diese Hürde genommen, geht es daran, die Prozesse in den großen Maßstab zu überführen. Dies übernehmen die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP. Sie verfügen über eine Pilotanlage, mit der sich die Prozesse auf bis zu zehn Kubikmeter Fermentationsvolumen hochskalieren lassen. Für diese großen Volumina ist eine enorme Menge an Rohstoffen nötig, schließlich brauchen die Pilze etwas »zu

fressen«. Die Wissenschaftler nutzen dafür bevorzugt »Holzzucker«, also Zuckerlösungen, die neben Glucose auch den Holzbestandteil Xylose enthalten. Diese können direkt in der Lignozellulose-Bioraffinerie des Fraunhofer CBP gewonnen und dem Nährmedium zugefügt werden. So haben Schimmelpilz und Co. optimale Wachstumsbedingungen mithilfe nachwachsender Rohstoffe und können Chemikalien im Tonnen-Maßstab produzieren. ■

Zellen des Brandpilzes *Ustilago maydis* im Einzelstadium. © Fraunhofer IGB



Bioreaktor im Labormaßstab zur Optimierung der Fermentationsbedingungen. © Fraunhofer IGB

Fermenterkaskade mit Bioreaktoren von 10 Litern bis 10 m³ Volumen am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse in Leuna. © Fraunhofer CBP

Ökologische Klebstoffe aus Pflanzenöl



Nachhaltige Produkte? Auf jeden Fall! Was Klebstoffe, Lacke und Schäume angeht, ist das bislang jedoch schwierig. Materialkonzepte aus Fraunhofer-Laboren sollen helfen.

Text: Janine van Ackeren



Öle aus dem Iberischen Drachenkopf und aus Thymian für Lacke und Klebstoffe im Test. © garten-de.com, istock



Auswertung der Messkurve und Bestimmung der Zugscherfestigkeit.
© Fraunhofer IMWS

Bioprodukte boomen. Denn statt Massentierhaltung und Chemikalien-Cocktails auf den Feldern wünschen sich viele Verbraucher sattgrüne Weiden für die Tiere, möglichst unbehandeltes Obst und Gemüse sowie Textilien aus ökologisch erzeugter Baumwolle. Auch bei anderen Produkten liegt Nachhaltigkeit stark im Trend. Allerdings ist es nicht damit getan, Kunststoffe durch Materialien wie Holz oder Kork zu ersetzen. Wirklich nachhaltig sind die Produkte nur dann, wenn auch die Klebstoffe, Lacke und Schäume aus biobasierten Rohstoffen hergestellt werden.

Bisher bestehen Klebstoffe und Co. meist aus duroplastischen Epoxidharzen auf Erdölbasis. Einfacher gesagt: aus Kunstharzen, die sich – einmal erwärmt – nicht mehr verformen lassen. Als Bausteine für diese Epoxidharze dienen Monomere. Gibt man einen Härter hinzu, vernetzen sich die Einzelmoleküle zu einem festen Kunststoff, der sich nicht mehr aufschmelzen lässt. Über zugegebene Funktionsstoffe lassen sich die Eigenschaften feinjustieren und an die jeweiligen Anwendungen anpassen. So können sie die Epoxidharze färben, sie Hitze und Sonne trotzen lassen, vor Feuer schützen oder dafür sorgen, dass sie sich besser verarbeiten lassen. Und entsprechende Füllstoffe senken die Materialkosten.

Pflanzenölepoxide mit naturbasierten Additiven

Doch lassen sich solche Epoxidharze auch auf ökologische Weise herstellen? Die Klebstoffhersteller sind in puncto Nachhaltigkeit bereits sehr aktiv. Ihre Devise: Neue Produkte müssen nicht nur besser und preiswerter sein als ihr Vorgängerprodukt, sondern auch möglichst nachhaltig. Einen neuartigen Ansatzpunkt gibt es bereits: die Pflanzenölepoxide, also die ökologische Variante der herkömmlichen Epoxidharze. Basis bilden Pflanzenöle, die einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren haben. Diese Fettsäuren werden epoxidiert, also mit einem Dreiring aus zwei Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom versehen. Kombiniert man diese Pflanzenölepoxide mit entsprechenden Härtern, entstehen hochbelastbare Kunststoffe. Nachhaltige Klebstoffe, Lacke oder auch Schaumharze rücken somit in den Bereich des Möglichen.

Doch wie so oft hat die Sache ihre Tücken: Die chemische Zusammensetzung von natürlichen Rohstoffen kann stark schwanken, schließlich werden sie aus der Saat von Ölpflanzen extrahiert. Dies stellt Produzenten vor große Herausforderungen.

Ökologische Klebstoffe mit optimalen Eigenschaften

Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS nehmen die Eigenschaften solcher neu entwickelter biogener Harze daher genau unter die Lupe – und zwar im wahrsten Sinne des Wortes. »Wir untersuchen die Harze von der Mikro- bis zur Makroebene«, bestätigt Andreas Krombholz, Gruppenleiter am IMWS. Wie wirken sich die variierenden Inhaltsstoffe auf die Harze aus? Ist dieser erste Schritt getan, optimieren die IMWS-Teams die Harze und passen sie an die Verarbeitungsverfahren an. Partner aus der Industrie übertragen diese Verarbeitungsprozesse schließlich vom Labor- in den Industriemaßstab.

Zudem entwickeln die Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler aus den Pflanzenölepoxiden neuartige Klebstoffe. So sind alle diese Klebstoffformulierungen aus den Fraunhofer-Laboren vollkommen frei von Lösungsmitteln. Weiterhin widmen sich die Forschenden der Frage: Welche Füll- und Funktionsstoffe bieten welchen Nutzen? Ein solcher wäre beispielsweise eine hohe elektrische Leitfähigkeit: Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung lässt sich die Klebschicht von innen heraus aufheizen – und härtet somit schnell und gezielt aus. Oder aber man bringt modifiziertes Thymianöl in den Kleber ein, so erhält er eine antibakterielle Wirkung.

Schritt für Schritt zu besserer Nachhaltigkeit

Auch in puncto Nachhaltigkeit sind die Pflanzenölepoxide optimiert: Der biobasierte Anteil der daraus gefertigten Klebstoffe liegt mittlerweile bei 86 Prozent. Zum Vergleich: Bereits ab einem biobasierten Anteil von 35 Prozent gilt ein Material als nachhaltig. Doch wie haben die

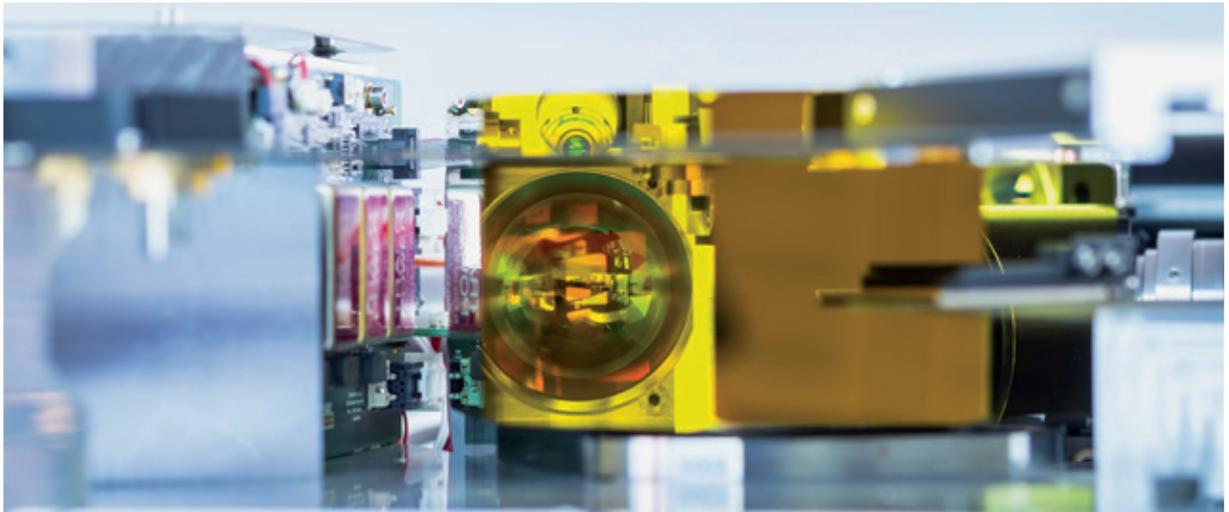
Forschenden das geschafft? »Bislang wurden petrochemische Chemikalien eingesetzt – also solche auf Erdölbasis –, um die Pflanzenöle zu epoxidieren. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB haben wir die Epoxidierung erstmalig auf Enzyme umgestellt, wir können die Pflanzenöle also ohne Erdöl-basierende Chemikalien mit diesem Verfahren behandeln. Und da dies via Enzymen bei 40 Grad Celsius vonstattengeht statt bei über hundert wie bisher, sparen wir zudem Energie«, erläutert Krombholz. Doch damit nicht genug: Bisher verwendete die Industrie Leinöl aus Kanada für die Pflanzenölepoxide – was schon allein im Hinblick auf die Lieferwege nicht sonderlich ökologisch ist. Die Fraunhofer-Wissenschaftler haben den Prozess daher von Leinöl auf Drachenkopfol umgestellt, das in Deutschland ökologisch hergestellt wird. Da die Moleküle dieses Öls deutlich mehr Doppelbindungen aufweisen als die des Leinöls, verbessert das nicht nur die Umweltbilanz, sondern auch das entstehende Epoxid selbst. Und den Härter, bislang ein hochgiftiges Produkt, haben die Forscher durch eine ökologische Variante ersetzt.

Schäume aus nachhaltigen Materialien

Pflanzenölbasierte Kunststoffe können nicht nur bei Klebstoffen, sondern auch bei Schäumen für eine bessere Nachhaltigkeit sorgen. Solche Schäume setzt man etwa in Dämmschichten von Gebäuden ein. Auch bei ihrer Fertigung stellt sich die Frage: Welche Harze sind für welche Herstellungsverfahren optimal? Die IMWS-Experten entwickeln daher gemeinsam mit Partnern aus der Industrie detailliert abgestimmte Zusammensetzungen von epoxidierten Leinölen und Härtern – mit kurzen Aushärtezeiten und niedriger Viskosität. »Die Herausforderung liegt vor allem darin, den biogenen Anteil zu erhöhen und gleichzeitig die Materialeigenschaften zu verbessern. Auch sollten sich die Materialien gut verarbeiten lassen«, erläutert Krombholz. Momentan erreichen die Fraunhofer-Forscher bei den Schäumen einen biogenen Massenanteil von 80 Prozent. Als Funktionsstoff dient Lignin, ein Abfallstoff aus der Zellstoffproduktion, von dem jährlich schätzungsweise etwa 20 Mrd Tonnen anfallen. ■

Früherkennung für das Straßennetz

Der Pavement Profile Scanner Plus vermisst die Straßengeometrie mit einem einzigen punktgenauen Laserstrahl auf vier Metern Breite schnell und zuverlässig. © Holger Kock/Fraunhofer IPM



Je früher Fahrbahnschäden erkannt werden, desto günstiger und einfacher lässt sich die Verkehrsinfrastruktur warten und reparieren. Ein neuer Straßenscanner kann innerhalb kürzester Zeit und ohne Behinderung des Verkehrs auch kleinste Risse in der Fahrbahn erkennen.

Text: Mandy Bartel



© Lehmann und Partner GmbH

Knapp fünf Milliarden Euro fließen jedes Jahr in den Erhalt und Ausbau des deutschen Straßennetzes. Dennoch ärgern sich Millionen Autofahrer über Schlaglöcher, Risse und Spurrillen. Eine vorausschauende Planung von Instandhaltungsmaßnahmen ist unerlässlich, um Schäden zu minimieren und gleichzeitig die Kosten im Griff zu haben. Doch im fließenden Verkehr ist es meist schwierig, Straßendefekte schnell und zuverlässig zu erkennen. Schließlich gilt es, Staus durch langsame Messfahrzeuge zu vermeiden und dennoch selbst kleinste Unebenheiten frühzeitig zu erfassen. Aus dieser Motivation heraus haben die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg einen Straßenscanner entwickelt, der genau das ermöglicht.

Messgenau und ohne Stau

Als Alternative zu den im Mobile Mapping auch eingesetzten, aber nicht augensicheren Triangulations-Lasersensoren basiert der Pavement Profile Scanner PPS-Plus auf einem Laserscanner. »Das gesamte Gerät hat die Größe von zwei Schuhkartons und wird in etwa drei Metern Höhe auf einem Messfahrzeug montiert. Der Laserscanner vermisst die Straßengeometrie mit einem einzigen punktgenauen Laserstrahl auf vier Metern Breite. Zusätzlich wird die Fahrbahn mit einem zweiten Laser streifenförmig abgetastet, um neben Längs- und Querebenheit auch Risse zu erfassen«, erklärt Prof. Alexander Reiterer, Abteilungsleiter am IPM.

Die größten Herausforderungen waren Geschwindigkeit und Genauigkeit der Messung, weshalb das Projektteam den Scanner stetig verbesserte. »Das aktuelle System scannt die 3D-Oberfläche 800 Mal pro Sekunde quer zur Vorwärtsbewegung des Fahrzeugs ab. Fahrbahnebenheiten von kleiner als 0,2 mm lassen sich damit noch registrieren. Zusätzlich wird ein fotorealistisches Abbild der Straße mit einer Auflösung von 1,2 mm mal 1,7 mm erzeugt – und dies bei einer Geschwindigkeit des Messfahrzeugs von 80 km/h«, skizziert Reiterer.

Auf diese Weise liefert das System die notwendigen Daten besonders kostengünstig und schnell, sodass der Verkehr während der Datenerfassung normal weiterfließen kann. Drei Systeme des neuen Straßenscanners befinden sich bisher im Einsatz, eines davon als Referenzsystem für die Bundesanstalt für Straßenwesen BASt.

Erst im Mai 2018 hatte das schwedische nationale Straßen- und Transport Institut VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute) in einer umfangreichen Studie Messsysteme für Fahrbahnoberflächen verglichen. Dabei zeigte sich, dass das Messsystem des IPM sowohl Querprofile und Spurrillen als auch Fahrbahnmarkierungen zuverlässig erkennt. Ein weiteres Ergebnis: Scannende Systeme sind den Triangulationsmesssystemen ebenbürtig, in einigen wesentlichen Punkten sogar klar überlegen – etwa in puncto Augensicherheit. ■

Spin-offs

Flinke Helfer

Der Serviceroboter bringt Gast und Koffer zum Zimmer und informiert dabei auf Wunsch über das Hotel und die Stadt. Oder er beantwortet beim Check-out Fragen zu Wetter, Taxi- oder Busverbindungen. Diese Szenarien können schon bald Realität sein. Die neun Mitarbeiter der Mojin Robotics GmbH, einem 2015 ausgegründeten Spin-off aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie und Automatisierung IPA in Stuttgart, befassen sich derzeit mit ersten Praxisversuchen. Seit vergangenem Jahr sind bei Saturn, Media Markt und im Haus der Geschichte in Berlin insgesamt fünf Roboter des Unternehmens im Einsatz.

Geschäftsführer Dr. Ulrich Reiser beschreibt die Entwicklung des Service-Roboters Care-O-bot 4: Bereits 1995 kam am IPA die Idee auf, Roboter im Alltag einzusetzen. Die Vision: Menschen sollten im Alter länger zu Hause leben können. Die erste Generation konnte nur von A nach B fahren, die zweite Generation bekam einen Arm, um einfache Dienste zu übernehmen. In der Praxis wurden die Roboter allerdings damals nicht wirklich akzeptiert. Die dritte Generation wurde dann von Produkt- und Interaktionsdesignern entwickelt und hatte Erfolg.

Reiser verantwortete Care-O-bot seit 2012 als Gruppenleiter am IPA. Drei Punkte zeichnen die Technologie aus: Modularität, Agilität und Ausdrucksfähigkeit. Der modulare Aufbau ermöglicht es, schnell maßgeschneiderte Lösungen für verschiedenste Anwendungen zu entwickeln. »Die Beweglichkeit basiert auf den von Fraunhofer patentierten Kugelgelenken, der Roboter kann den Oberkörper um 60 Grad und den Kopf um 40 Grad neigen. Das Display ist somit höhenverstellbar«, erläutert der Experte. Technologie und Anwendungen des Care-O-bot 4 werden zusammen mit dem IPA weiterentwickelt.

Derzeit liegt der Fokus bei Mojin Robotics auf der Bereitstellung von Guide-Diensten. »In Alten- und Pflegeheimen kann Care-O-bot erkennen, ob Heimbewohner nachts durch Gänge irren oder ob Fremde im Haus sind. In Krankenhäusern begleitet er Menschen zu den Behandlungsräumen«, sagt Reiser. Gleichzeitig wollen die Experten die Produktion so gestalten, dass die flinken Helfer günstiger werden. Dann steht vielfältigen weiteren Einsätzen nichts mehr im Weg.

Dr. Ulrich Reiser
www.mojin-robotics.de



Empfindliche Zellen sicher transportieren

Erkrankt ein Patient an Leukämie, bietet die Übertragung von Stammzellen aus dem Knochenmark eines passenden Spenders oft gute Heilungschancen. Besondere Hoffnung setzt die Wissenschaft bei der Krebstherapie mehr und mehr auf Zellen, die die körpereigene Immunabwehr aktivieren. Das Problem: CAR-T-Zellen sind hochempfindlich, der Transport ist bisher äußerst schwierig, weiß Prof. Dr. Kathrin Adlkofer von der Cellbox Solutions GmbH in Lübeck. Das Spin-off aus der Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik EMB in Lübeck bietet demnächst mit der Cellbox eine neue Transportmöglichkeit für lebende Zellen an.

»Die Wissenschaftler an der EMB mussten immer wieder Biomaterialien transportieren. Da hierfür keine befriedigende Lösung am Markt verfügbar war, wurde das Material zunächst oft eingefroren auf die Reise geschickt. Das führte zu hohen Verlusten, ganz abgesehen vom Zeitaufwand für das Einfrieren und Auftauen«, erklärt die Zellbiologin. Also begannen die Forscher zu improvisieren. Heraus kam ein portabler Mini-Inkubator, der von den Nutzern begeistert angenommen wurde. »Die EMB ließ das Verfahren patentieren. Um die Box auf den Markt zu bringen, wurde im Dezember 2016 die Cellbox Solutions ausgegründet«, erzählt CEO Kathrin Adlkofer.

Die paketgroße Transportbox arbeitet energieautark, gewährleistet konstante Temperaturen – beispielsweise 37 Grad Celsius – und bietet eine optimale CO₂-Umgebung. »Lebende Zellkulturen, Gewebe, zellbasierte Proben und weitere Biomaterialien werden unter Laborstandard transportiert«, beschreibt Kathrin Adlkofer, die seinerzeit als Abteilungsleiterin an der EMB die Ausgründung maßgeblich vorangetrieben hat, nur einige Vorteile des neuen Systems. Ein weiterer Pluspunkt ist, dass die Transportbedingungen lückenlos aufgezeichnet werden, jede Aktivität ist genauestens dokumentiert.

Inzwischen haben die Experten die Kinderkrankheiten des neuen Transportsystems beseitigt. Ab Herbst 2018 können Pharmafirmen, die fragile Zellen für die Zelltherapie brauchen, Biotechnologieunternehmen, die als Zulieferer dafür ebenfalls Bedarf haben, sowie Krankenhäuser, die empfindliche Materialien verschicken, mit dem Mini-Inkubator ohne Risiko ihre wertvolle Fracht im Auto, per Bahn oder mit dem Flugzeug transportieren.

Prof. Dr. Kathrin Adlkofer
www.cellbox-solutions.com

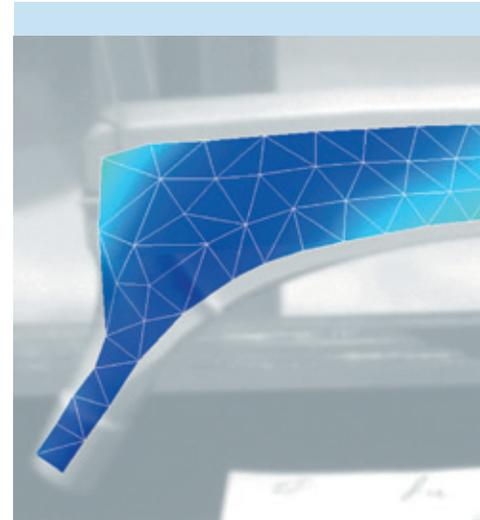


Hüftimplantate neu gedacht



Hüftprothesen der Zukunft sind intelligent, können ihren Sitz korrigieren und machen keine Probleme beim Einwachsen. Die technologische Basis dafür legten sieben Fraunhofer-Institute im Leitprojekt »Theranostische Implantate«.

Text: Christine Broll



Links: Im CT des Implantats ist das Modul zu sehen, das in den Hüftschaff integriert ist und ihn zum Schwingen bringt.
© Fraunhofer IKTS/IWU

Diagnose und Therapie in einem System, dafür stehen die theranostischen Implantate. Bekanntestes Beispiel ist der Herzschrittmacher, der die Herzfrequenz misst und auf Veränderungen mit Stimulationsimpulsen reagiert. Im Leitprojekt »Theranostische Implantate« wurden Lösungen für drei medizinische Indikationen entwickelt: eine intelligente Handprothesensteuerung, ein Sensorimplantat zur kontinuierlichen Kontrolle des Blutdrucks und die smarte Hüftgelenksprothese.

Bei der Entwicklung der smarten Hüftgelenksprothese hatte das Projektteam zwei große Ziele: Das intelligente Implantat sollte selbst und frühzeitig erkennen, ob es sich gelockert hat, und über einen Mechanismus verfügen, der es wieder im Oberschenkelknochen verankert. Ob sich ein künstliches Hüftgelenk gelockert hat, lässt sich im Frühstadium bisher nur durch eine Computertomographie feststellen. »Da eine CT wegen der hohen Strahlenbelastung nicht für Routinekontrollen geeignet ist, haben wir eine alternative Messmethode entwickelt«, erklärt Dr. Frank Deicke vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, der das Teilprojekt »Smarte Hüftgelenksprothese« leitet. Im Prinzip ist die Messung einfach: Der im Oberschenkel sit-

zende Hüftschaff wird in Schwingung versetzt. Je fester er mit dem Knochen verwachsen ist, desto stärker ändert sich die Resonanzfrequenz. Der Grad der Verschiebung der Resonanzfrequenz lässt sich mit einem Sensorsystem bestimmen.

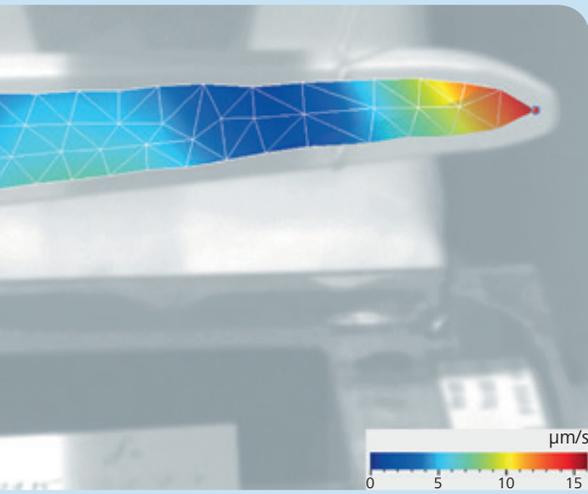
Schwingende Prothese

Was so elegant klingt, war schwierig umzusetzen. Denn wie bringt man ein solides Implantat aus einer Titan-Legierung zum Schwingen? Die Lösung haben Dr. Holger Lausch vom Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS und Thomas Töppel vom Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU gemeinsam erarbeitet. Sie nutzen dazu einen elektromagnetischen Transducer, einen Wandler, sowie einen akustischen Aktor. Der Transducer lässt sich von außen über ein magnetisches Feld anregen und der direkt gekoppelte Aktor versetzt den Hüftschaff in Schwingung. Beide sind in einem stabilen Modul integriert, das durch Laserstrahlschmelzen in den Implantatgrundkörper eingebettet wird.

Die Sensorik zum Messen der Schwingungsänderungen hat das Team von Frank Deicke in den

Gelenkkopf des Implantats integriert. Um zu verhindern, dass bei einem eventuellen Bruch des Gelenkkopfs Elektronikbauteile in den Körper gelangen, musste die Sensorik verkapselt werden. »Mit einer Multilagenschicht aus organischen Polymeren, einer keramischen Sperrschicht und Silikonen konnten wir die beste Abdichtung erreichen«, berichtet Dr. Michaela Müller vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, die bei der Konzeption der Verkapselung eng mit Dr. Wolfdietrich Meyer vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP zusammenarbeitete.

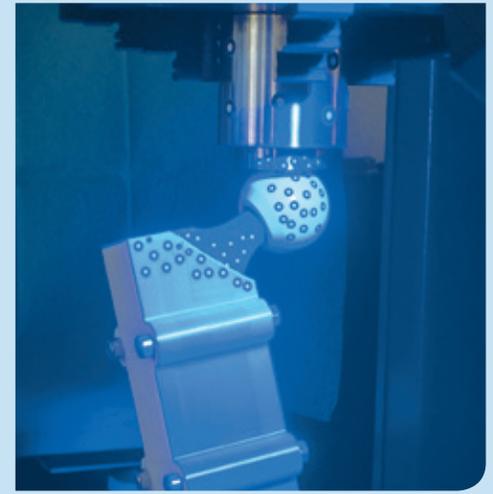
Falls sich das Implantat wirklich gelockert hat, kann der Arzt in Zukunft einen Verankerungsmechanismus betätigen und damit den Hüftschaff von innen an den Knochen drücken. »Wir hoffen, damit die Zahl der Revisionsoperationen bei Hüftprothesen deutlich zu reduzieren«, meint Christian Rotsch vom IWU. »Zur Konstruktion des Mechanismus nutzen wir eine Formgedächtnislegierung, die beim Erwärmen ihre Gefügestruktur und somit ihre Geometrie ändert. Dies führt zu einer partiellen Erhöhung des Implantatquerschnitts.« Erwärmen lässt sich die Legierung durch einen im Hüftschaff integrierten thermi-



Oben: Das Schwingungsmuster des Hüftschafthafts lässt sich farblich darstellen. Am äußersten Ende sind die Schwingungen am stärksten. © Fraunhofer IKTS/IWU



In den Gelenkkopf ist die Sensorik integriert, mit der eine Lockerung des Implantats gemessen werden kann. © Fraunhofer IPMS



Optisches Messsystem für den Hüftschaft. © Fraunhofer IWU

schen Hybrid-Aktor, der vom IKTS-Team um Dr. Holger Lausch entwickelt und von außen durch das Anlegen definierter magnetischer Wechselfelder aktiviert werden kann.

Biofunktionale Oberflächen

Um das Einwachsen des Implantats zu verbessern, entwarf das Projektteam eine ganze Palette innovativer Technologien. Eine Idee des IKTS-Teams war, die Schwingungsfähigkeit des Implantats auch für die Anregung des Heilungsprozesses zu nutzen. Denn es ist bekannt, dass niederfrequente Mikrobewegungen des Hüftschafthafts das Knochenzellwachstum stimulieren. Während man zur Detektion der Lockerung Schwingungsfrequenzen von drei Kilohertz benötigt, genügen für die stimulierenden Mikrobewegungen Frequenzen von unter 50 Hertz.

Sehr erfolgsversprechend ist das Auftragen einer biofunktionalen Schicht auf den Hüftschaft. Damit die Schicht gut auf der Titanlegierung haftet, wurde am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT unter der Leitung von Jonathan Krauß und Philipp Ganser ein frästechnisches Verfahren für die Oberflächenbear-

beitung der Titanrohlinge entwickelt. Wie man biofunktionale Beschichtungen durch einen 3D-Drucker strukturiert auf die Implantatoberfläche auftragen oder in entsprechende Vertiefungen einbringen kann, zeigten Dr. Kirsten Borchers und Dr. Wolfdietrich Meyer an den Fraunhofer-Instituten IGB und IAP und Dr. Christine McBeth am Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston. »Außerdem konnten wir nachweisen, dass die im Knochenmark vorkommenden mesenchymalen Stammzellen, die ein hohes Differenzierungspotenzial besitzen, sich bereits nach einer Minute an eine einfache Biopolymer-Beschichtung anheften und zu wachsen beginnen«, betont Kirsten Borchers. »Möglicherweise bedeutet dies einen Vorteil gegenüber Standard-Titanoberflächen bei der Vermeidung von Infektionen.«

Umfangreiche Technologieplattform

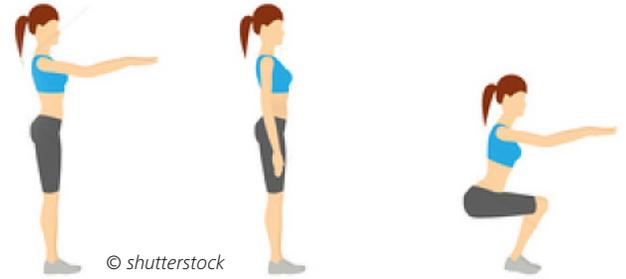
Als dritte Maßnahme zur Verbesserung des Einwachsens schlägt das Projektteam ein Medikamentendepot im Hüftschaft vor. In Kooperation mit dem Projektteam um Prof. Dimiter Dimitrov von der Universität Stellenbosch in Südafrika hat das IWU eine poröse Oberfläche in den Titan-

grundkörper integriert. Durch die Gestaltung der Oberfläche und spezielle Membranen lässt sich die schrittweise Abgabe eines Antibiotikums einstellen.

Ein Implantat, das mit elektronischen Bauteilen gespickt ist und auf seiner Oberfläche eine biologisch aktive Schicht trägt, verlangt auch nach einer besonders schonenden Sterilisation. Gängige Methoden wie die Dampfsterilisation würden zum Funktionsverlust führen. Hier brachte das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP seine Kompetenz in der Elektronenstrahltechnologie ein. Dr. Gaby Gotzmann leitete die Versuche: »Wir können genau bestimmen, wie tief die Elektronen in das Material eindringen und auf diese Weise die Elektronik im Innern schützen. Die schnelle und schonende Methode ermöglicht auch die sichere Sterilisation biologischer Beschichtungen.«

Wie das Sterilisationsverfahren sind viele Entwicklungen aus dem Projekt für ein breites Anwendungsfeld geeignet. »Wir haben eine umfangreiche Technologieplattform geschaffen«, resümiert Projektleiter Frank Deicke. »Jetzt kann die Umsetzung in die Praxis beginnen.« ■

Reha per Video und Internet



Wer ein künstliches Knie- oder Hüftgelenk bekommt, muss danach noch lange zur ambulanten Reha. Doch die Angebote sind knapp und für Berufstätige schlecht wahrzunehmen. Mit einem telemedizinischen Assistenten können Patienten in Zukunft auch zu Hause trainieren.

Text: Christine Broll, Tobias Steinhäusser

Reha im eigenen Wohnzimmer: Hüft- und Kniegelenk-Patienten könnten schon bald von einer neuen telemedizinischen Bewegungstherapie profitieren. Ihre Wirksamkeit ist nachgewiesen. 2019 soll es das Produkt auf dem Markt geben. © Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS





Vor zwei Monaten hat Katharina Krause* (56) ein neues Hüftgelenk bekommen. Nach Krankenhausaufenthalt und stationärer Reha arbeitet sie wieder Vollzeit. Da sie jeden Tag über 40 Kilometer zu ihrem Arbeitsplatz pendelt, ist die Freizeit knapp, sie schafft es nur mit großer Mühe, regelmäßig die Termine für die ambulante Reha wahrzunehmen. Das Angebot, an einer Studie zur telemedizinisch gestützten Bewegungstherapie teilzunehmen, kam wie gerufen.

Die Studie fand im Rahmen des Projekts ReMove-It statt, in dem das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS zusammen mit Reha-Kliniken, Sportmedizinern und Rehabilitations-Wissenschaftlern eine telemedizinisch gestützte Bewegungstherapie nach Hüft- oder Kniegelenkersatz entwickelt. »Mit diesem Angebot wollen wir die mittel- und langfristige Nachhaltigkeit des Reha-Erfolgs insbesondere in ländlichen Regionen fördern«, verdeutlicht Projektleiter Dr. Michael John vom FOKUS. Künstliche Hüft- und Kniegelenke sind in Deutschland der häufigste Grund für Reha-Maßnahmen.

Individuelle Videos als Vorlage

Kern der telemedizinisch gestützten Bewegungstherapie sind Videos, auf denen der Therapeut die verschriebenen Übungen ausführt und der Patient diese vor dem Bildschirm nachahmt. Die Videos sind vom jeweiligen Therapeuten selbst eingespielt und auf jeden Patienten individuell zugeschnitten. Es sind stehende, sitzende und liegende Übungen möglich.

Katharina Krause braucht nur einen handelsüblichen Fernseher, um die Videos zu sehen. Von der Projektleitung wurde ihr zusätzlich eine kleine 3D-Kamera mit Internetzugang und der entsprechenden Software zur Verfügung gestellt. Eine Therapeutin führte sie in die Benutzung des Systems ein.

Die Studienteilnehmerin genießt es, dass sie nicht mehr zu den ambulanten Reha-Terminen hetzen muss, sondern ihre Bewegungstherapie

bequem zu Hause absolvieren kann. Während sie ihre Übungen macht, wird sie von der 3D-Kamera gefilmt. Ein im Projekt entwickelter Algorithmus gleicht die von der Kamera aufgenommenen Bewegungsmuster kontinuierlich mit den Parametern ab, die der Therapeut zuvor definiert hat. Gemessen wird zum Beispiel die Position der Gelenke und wie stark sie abgewinkelt sind.

Feedback im Ampel-Farbcode

Bereits während der Übung erhält sie Korrekturhinweise, wenn die Bewegungen nicht den medizinischen Vorgaben entsprechen. Nach der Übung gibt es noch eine Rückmeldung zur Qualität der Ausführung. Gemäß dem vertrauten Ampel-Farbcode wird ihr gezeigt, ob die Übung korrekt ausgeführt wurde (grün) oder wo Verbesserungsbedarf besteht (rot). Im Anschluss an die Therapiesitzung bekommt das medizinische Personal in der Klinik die während des Übungsablaufs dokumentierten Bewegungsdaten in anonymisierter, verschlüsselter Form via Internet zugesendet. Der betreuende Arzt und die Therapeuten haben dadurch einen Überblick über Leistungsstand und -entwicklung der Patientin und können den Therapieplan optimal an ihre Therapiefortschritte anpassen. Über Text-, Audio- und Videokonferenzen bleiben alle Beteiligten kontinuierlich miteinander in Kontakt.

Das Projekt ReMove-It beruht auf dem System »MeineReha«, das vom FOKUS entwickelt wurde. MeineReha ist ein Gesamtsystem für die telemedizinisch assistierte Prävention, Rehabilitation und Nachsorge. Es ermöglicht die Begleitung medizinisch valider Therapiemodule durch entsprechendes Fachpersonal und die gezielte Integration individueller Therapie- und Trainingseinheiten in den Alltag des Patienten. Therapierelevante Daten werden erfasst, sodass im Bedarfsfall therapeutische Interventionen angeboten werden können.

Erfolgreiche Patientenstudie

Die Studie, an der Katharina Krause teilnahm, lief zwischen August 2016 und Dezember 2017. Insgesamt waren 110 Patientinnen und Patienten beteiligt. Die eine Hälfte nutzte das

Telemedizin-System drei Monate zuhause. Die andere Hälfte absolvierte ein aus 24 ambulanten Einheiten bestehendes, konventionelles Reha-Nachsorgeprogramm.

»Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass die neuartige telemedizinisch assistierte Trainingstherapie in der medizinischen Wirksamkeit gleichwertig zu bestehenden konventionellen Therapieansätzen ist«, fasst Projektleiter Michael John die Ergebnisse zusammen. Die Telerehabilitation wurde von den Patienten gut angenommen. Im Mittel nutzten sie das System zweimal die Woche, was auf eine gute Therapiecompliance hindeutet. Biomechanische Messungen zeigten, dass am Ende der Studie das Gleichgewicht der Teilnehmer in der Telemedizin-Gruppe signifikant besser war als das in der Kontrollgruppe. Zudem wies die Telemedizin-Gruppe eine signifikant höhere berufliche Wiedereingliederungsrate auf. Auch bei Katharina Krause war die Therapie erfolgreich.

Nach dem Wirksamkeitsnachweis wollen die Partner das System jetzt für die Zulassung fit machen. Dazu gehört auch ein Wirtschaftlichkeitskonzept, das die Kostenvorgaben von Rentenversicherungen, Krankenkassen, Ärzten und Reha-Fachleuten berücksichtigt und sich an Preismodellen für konventionelle stationäre und ambulante Versorgungsangebote orientiert. Michael John hat schon konkrete Vorstellungen: »Bis 2019 planen wir, ein Medizinprodukt anzubieten, das zwischen 29 und 49 Euro im Monat kostet. Gleichzeitig prüfen wir dessen Einsatz für andere Volkskrankheiten, die mit Bewegungstherapie behandelt werden können, zum Beispiel Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Parkinson.« ■

Weitere Informationen:

-  www.meinereha.de/Deutsch/HOME.html
-  www.innovationszentrum-telehealth.de/go/telehealth_removeit
-  www.fokus.fraunhofer.de/fokus/news/removeit_studie_2018_04

* Name von der Redaktion geändert

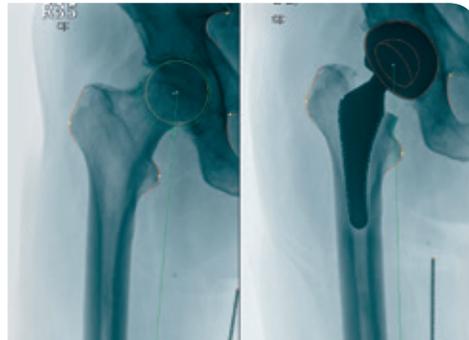
Feinjustierung im OP

Nach dem Einsatz eines neuen Hüftgelenks kann es passieren, dass das Bein nicht mehr die ursprüngliche Länge hat. Mögliche Folge sind Probleme mit der Wirbelsäule. Mit einem neuen Verfahren lässt sich die Beinlänge künftig während der Operation genau justieren.

Text: Christine Broll



Bei dem modularen Hüftimplantat lassen sich Hüftschaff und Prothesenhals individuell an den Patienten anpassen. © Fraunhofer IWU



Mit der OP-Planungssoftware kann der Arzt vor der Operation das ideale Implantat und dessen Position festlegen. © Fraunhofer IWU

Der Einsatz künstlicher Hüftgelenke ist heute Routine. In Deutschland werden pro Jahr rund 210 000 Hüftprothesen implantiert. Dabei kommt es immer wieder vor, dass das betroffene Bein nach der Operation kürzer oder länger ist als zuvor. Eine Abweichung von weniger als einem Zentimeter wird vom Körper in der Regel toleriert. Ist der Unterschied größer, muss der Patient Schuheinlagen tragen, um die Schiefstellung auszugleichen und Rückenschmerzen vorzubeugen.

Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU hat gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie eine Lösung für das Problem gefunden. »Das neue Verfahren ruht auf drei Säulen: einem optischen System zur Messung der Beinlänge, einem modularen Implantat und einer OP-Planungssoftware«, erklärt Dr. Ronny Grunert von der Abteilung Medizintechnik am IWU.

Die Beinlängenmessung findet im OP direkt vor der Operation statt. Dazu befestigt der Arzt auf dem Schienbein des liegenden Patienten

ein Kunststoffkästchen, auf dem sich optische Marker befinden. Dann fasst der Arzt das überstreckte Bein an der Ferse und bewegt es nach oben. Bei dieser Bewegung beschreiben die optischen Marker auf dem Schienbein des Patienten eine Kreisbahn, die von einer 3D-Kamera erfasst wird. Im Prinzip funktioniert die Messung wie ein Zirkel. Das Hüftgelenk, um das das Bein rotiert, wäre die Nadel des Zirkels. Die optischen Marker entsprechen dem Bleistift. Nach dem probeweisen Einbau des Implantats erfolgt die zweite Messung. Eine Software vergleicht die beiden Kreisbahnen und stellt fest, ob das Bein ebenso lang ist wie vor dem Eingriff. Sollte es Differenzen geben, muss die Länge reguliert werden.

Modulare Implantate

»Um das künstliche Hüftgelenk während der Operation optimal an den Patienten anpassen zu können, haben wir mit unseren Partnern ein modulares Konzept entwickelt«, verdeutlicht Ronny Grunert. Statt vorgefertigter Implantate in verschiedenen Größen gibt es ein Baukasten-

system. Daraus kann der Arzt individuell den passenden Hüftschaff sowie den richtigen Prothesenhals auswählen. Während der Operation setzt er den Hüftschaff ein und verbindet ihn über eine spezielle Schraubverbindung mit dem Prothesenhals. Über diese Schraubverbindung lässt sich die Beinlänge nach der Messung genau einstellen. Falls nötig kann auch ein anderer Prothesenhals gewählt werden.

Die dritte Säule des neuen Verfahrens, die OP-Planungssoftware, unterstützt den Arzt bei der Auswahl der passenden Prothese. Priv.-Doz. Dr. Torsten Prielzel, der medizinische Leiter des Netzwerks Endoprothetik und Chefarzt an der Helios Klinik Blankenhain, testet die Software bereits in der Praxis. Auch die modularen Implantate und das Beinlängenmesssystem befinden sich noch in der Testphase. Ronny Grunert schätzt, dass das gesamte Verfahren in zwei Jahren zur Verfügung steht. ■

Netzwerk Endoprothetik

Das Netzwerk Endoprothetik wurde 2013 mit dem Ziel gegründet, künstliche Gelenke der nächsten Generation zu entwickeln. Es wurde am 7. Juni 2018 beim Innovationstag Mittelstand des Bundeswirtschaftsministeriums als »Netzwerkprojekt des Jahres« ausgezeichnet. In dem vom Fraunhofer IWU koordinierten Netzwerk haben sich deutschlandweit zehn Industriepartner und acht Forschungseinrichtungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Endoprothetik zusammengeschlossen. An der Entwicklung des neuen Verfahrens mit Beinlängenmessung, modularem Implantat und OP-Planungssoftware waren folgende Partner beteiligt: MSB-Orthopädie-Technik GmbH Leipzig; AQ Implants GmbH; Universität Leipzig, Medizinische Fakultät; Westsächsische Hochschule Zwickau, Fakultät Physikalische Technik/Informatik; Forschungs- und Transferzentrum e.V. an der Westsächsischen Hochschule Zwickau und ISD – Internet Systems GmbH Dresden.

Frühwarnsystem hilft bei Demenzbetreuung

Die Betreuung von Demenzpatientinnen und -patienten fordert Angehörige und Pflegepersonal enorm heraus. Ein miniaturisiertes, modular erweiterbares Mess- und Beratungssystem soll künftig diese Situation erleichtern. Es misst die Gesundheits- und Pflegedaten der Erkrankten automatisiert und liefert tagesformaktuell individualisierte Therapie- und Handlungsvorschläge.

Text: Britta Widmann

Demenz ist eine Alterserkrankung. Vor allem über 80-Jährige sind mit mehr als 70 Prozent betroffen. Der Verlust der geistigen Leistungsfähigkeit und das Verlöschen der Persönlichkeit betrifft in Deutschland derzeit fast 1,6 Mio Menschen, zwei Drittel von ihnen sind an Alzheimer erkrankt. Jahr für Jahr treten etwa 300 000 neue Fälle auf. Noch immer gibt es kein Heilmittel, und auch die Ursachen sind noch nicht ausreichend erforscht.



Beispielansicht eines form-angepassten Elektroniklayouts im Armband. © Fraunhofer IZM / Volker Mai

PYRAMID - die Projektpartner:

- ClinPath GmbH (Koordinator)
- Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
- Charité Universitätsmedizin Berlin
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Johner Institut GmbH
- Pilotfish GmbH
- BINDER GmbH

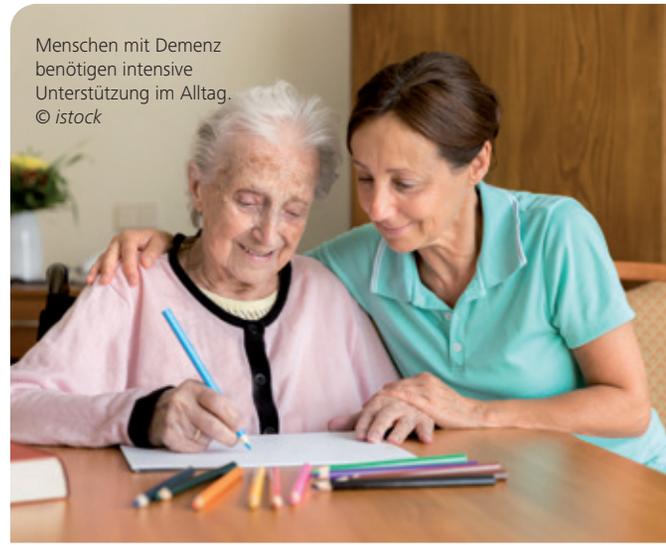
Demenz entwickelt sich schleichend, das macht es oft schwierig, die Krankheit zu erkennen und von den normalen Veränderungen im Alter abzugrenzen. Die Betroffenen werden zunehmend hilfloser und sind auf Betreuung angewiesen. Je frühzeitiger eine Erstdiagnose stattfindet, desto besser kann man Betroffene versorgen, und desto besser lässt sich der Verlauf der Erkrankung beeinflussen.

Doch derzeit werden im Betreuungsverlauf anfallende Daten unstrukturiert dokumentiert. Wichtige Informationen, um präventive Maßnahmen einzuleiten, liegen oftmals nicht rechtzeitig vor. Im Projekt PYRAMID, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF mit 2 Mio Euro gefördert wird, wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung mit einem neuen Versorgungskonzept die Lebensqualität von Menschen mit Demenz und ihren Angehörigen in enger Zusammenarbeit mit dem Pflege- und Arztpersonal stabilisieren, verbessern und sicherer gestalten: Ein miniaturisiertes, modular erweiterbares Mess- und Beratungssystem in Form einer Armbanduhr misst die notwendigen Gesundheits- und Pflegedaten der Patienten automatisiert mit unauffälligen, kaum wahrnehmbaren Sensoren.

Mehr Selbstbestimmung für die Erkrankten

Auf Basis der erhobenen Daten sollen individualisierte Therapie- und Betreuungsmöglichkeiten vorgeschlagen und umgesetzt werden. »Ziel ist

Menschen mit Demenz benötigen intensive Unterstützung im Alltag.
© istock



es, den Patienten von der Verdachtsdiagnose bis zur klinischen Versorgung über Jahre hinweg unaufdringlich zu begleiten, Informationen tagesaktuell parat zu halten, die Selbstbestimmung der Betroffenen zu steigern und ihnen die Chance zu geben, möglichst lange in der vertrauten Umgebung bleiben zu können«, erläutert Erik Jung, Physiker am IZM, den Konzeptansatz. Mit dem neuen Messsystem lassen sich Verlaufverschlechterungen rechtzeitig und prognostisch erkennen.

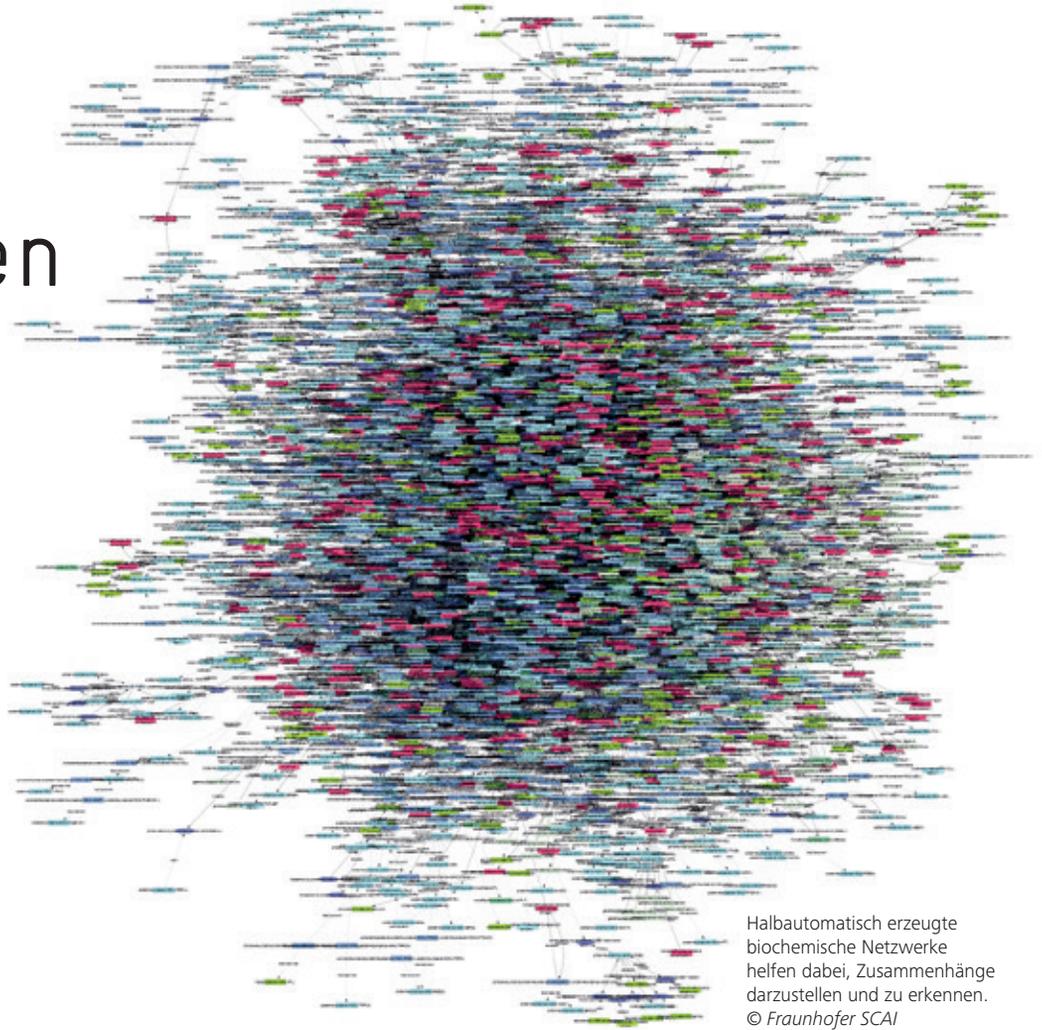
Mobile App zeigt Vitalparameter an

Das System misst Herzfrequenz, Körpertemperatur, aber auch die Herzratenvariabilität und den Hautwiderstand. Ebenfalls erfasst es externe Parameter wie Außentemperatur, Helligkeit und Lautstärke. Darüber hinaus zeichnet die Armbanduhr Bewegungsmuster der Patienten auf. Bewegt sich der Erkrankte beispielsweise kaum noch oder verlässt er seine Wohnung nicht mehr, so deutet dies auf eine Progression der Demenz hin. Sämtliche Daten werden per Bluetooth verschlüsselt an ein Dokumentationssystem übertragen und für alle am Pflegeprozess Beteiligten über eine mobile App bereitgestellt. Das Messsystem ist komplett in ein Armband integriert, alle Sensoren sowie die Elektronik sind darin untergebracht. »Die ersten Entwurfsdemonstratoren wurden von Betroffenen in bereits abgeschlossenen Tests gut angenommen. Weitere Probandentests finden noch dieses Jahr statt«, sagt Jung. »Wir sind zuversichtlich, mit dem Messsystem die Patientenversorgung zu erhöhen, die Zusammenarbeit aller Beteiligten zu verbessern und Notfallsituationen wie Stürze schneller zu erkennen.« ■

Kampf gegen Alzheimer

Alzheimer und Parkinson sind noch immer unheilbar. Es gibt weder einen Wirkstoff, noch sind die Ursachen verstanden. Das EU-Projekt AETIONOMY könnte mit modellbasierten und Big-Data-Ansätzen für einen Durchbruch in der Forschung sorgen.

Text: Britta Widmann



Halbautomatisch erzeugte biochemische Netzwerke helfen dabei, Zusammenhänge darzustellen und zu erkennen.
© Fraunhofer SCAI

Immer mehr Menschen leiden in der älter werdenden Gesellschaft an einer Demenz. Weltweit sind etwa 46 Millionen betroffen, Schätzungen zufolge wird diese Zahl bis 2050 auf rund 131 Millionen steigen. Zu den häufigsten Erkrankungsformen zählen Alzheimer und Parkinson, beide Erkrankungen entwickeln sich langsam und über Jahre hinweg. Die Symptome werden oft als Altersschwäche abgetan, der Besuch beim Arzt wird immer wieder aufgeschoben.

Verfügbare Medikamente lindern bestenfalls die Symptome – den langsamen Verfall des Gehirns stoppen sie nicht. Für die Pharmaindustrie sind neurodegenerative Erkrankungen ein hoch relevantes, aber zugleich riskantes Forschungsgebiet. Bislang wurden viele Milliarden Euro in die Forschung gesteckt. Die Bemühungen, ein wirksames Medikament gegen den Erinnerungsverlust zu entwickeln, blieben jedoch ohne Erfolg. Vielversprechende Substanzen fielen regelmäßig in den finalen klinischen Studien durch.

Kehrtwende in der Demenzforschung

»Bisher wird symptom-basiert geforscht und klassifiziert. Das Klassifikationssystem der Medizin, auf dessen Basis auch

heute noch diagnostiziert wird, geht auf die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. Neue Erkenntnisse – etwa aus der Molekularbiologie – werden nicht entsprechend berücksichtigt«, sagt Prof. Dr. Martin Hofmann-Apitius, Leiter der Abteilung Bioinformatik am Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI und akademischer Koordinator des EU-Projekts AETIONOMY. Mit dem Forschungsvorhaben soll eine Kehrtwende eingeleitet werden: Die Klassifikation von neurodegenerativen Erkrankungen soll auf Basis von Krankheitsmechanismen und nicht mehr auf Basis von klinischen Symptomen erfolgen. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die molekularen Krankheitsmechanismen systematisch zu erfassen und Gruppen von Patienten zu identifizieren, bei denen diese Krankheitsmechanismen aktiv sind. Für diese Gruppen will man spezifische Therapieansätze vorschlagen.

Die große Herausforderung bei diesem Ansatz: die molekularen Ursachen von Alzheimer zu verstehen, ohne an den Zeitpunkt der Krankheitsentstehung zurückgehen zu können. Denn bei neurodegenerativen Erkrankungen können die fehlgesteuerten Vorgänge, die zur Erkrankung führen, bereits 20 bis 30 Jahre vor dem Auftreten klinischer Symptome den fatalen Prozess in Gang setzen, der schließlich zur Demenz führt.

Vielzahl an Auslösern und Mechanismen

Neue Krankheitsmechanismen zu identifizieren, ist eine herausfordernde Aufgabe, da die Vorgänge im Körper, die ein Symptom auslösen, sich von Mensch zu Mensch unterscheiden können. »Es gibt vermutlich nicht nur einen für alle Patienten gleichen Mechanismus, sondern eine Vielzahl an Auslösern und eine Vielzahl von Mechanismen, die unterschiedlich zum individuellen Erkrankungsrisiko beitragen können«, weiß Hofmann-Apitius. Etwa Genetik und Epigenetik spielen eine Rolle. Aber auch Virusinfektionen in der Jugend, psychischer Stress oder Gehirntraumata können das Risiko für eine spätere neurologische Erkrankung erhöhen – hier liegen seit einigen Jahren entsprechende, epidemiologische Evidenzen vor.

Alzheimer entsteht auf molekularer Ebene

Alzheimer und Parkinson entstehen auf molekularer und zellulärer Ebene. Hier setzt AETIONOMY an. Bis Ende 2018 soll eine Mechanismus-basierte Taxonomie beziehungsweise Klassifizierung für die beiden Erkrankungen etabliert werden. »Eine Reklassifizierung ist wichtig, wenn man herausfinden will, welcher Patient welchen Wirkstoff benötigt«, sagt Dr. Phil Scordis, Mitarbeiter bei USB BioPharma, dem zweiten Konsortialführer des Projekts.

Die Reklassifizierung lösen die Forscher vom Fraunhofer SCAI mit einem Big-Data-Ansatz. »Wir sammeln alle Patientendaten und Publikationen aus Kliniken, Unternehmen und Bibliotheken mithilfe von Big Data und verknüpfen sie zu einer Wissensbasis. Diese liegt inzwischen vor«, so Hofmann-Apitius. Dabei setzen der Forscher und sein Team auf eine Eigenentwicklung: die Software SCAIView, die das schnelle Auffinden relevanter Informationen aus großen Textmengen ermöglicht. Innerhalb von Minuten werden Millionen von Publikationen vom Rechner gelesen und in ein zusammenhängendes Krankheitsmodell überführt. Das Ergebnis ist ein graphisches Modell, ein Netzwerk an Faktoren, die kausal miteinander verbunden sind. Diese Wissensbasis umfasst inzwischen ein Netz von 3000 Knoten und 35 000 Relationen. Die gesammelten Daten lassen sich mit Messergebnissen aus klinischen Studien vergleichen und auf Übereinstimmungen prüfen, Fachleute nennen diesen Prozess »Model Validation«.

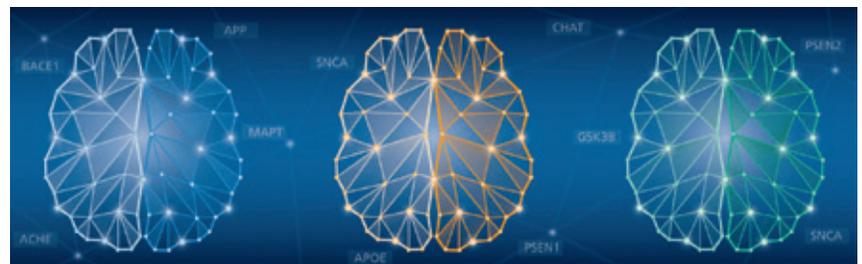
126 Krankheitsmechanismen identifiziert

Derzeit erstellen die Forscher eine erste Taxonomie, nach der sich Patienten klassifizieren lassen. Es gibt Hinweise, dass Alzheimer- und Parkinson-Subgruppen identifiziert werden können, die sich durch bestimmte Mechanismen auszeich-

nen. Beispielsweise begünstigen häufige Gehirntraumata, wie sie etwa bei American-Football-Spielern vorkommen, die Entstehung von Alzheimer. Die Forscher am SCAI konnten bereits 126 Krankheitsmechanismen für Alzheimer und 76 für Parkinson ausmachen. Forschungsergebnisse wurden in der Zeitschrift »Nature Reviews Drug Discovery« veröffentlicht. Die Daten stehen darüber hinaus auf einem öffentlich zugänglichen Web-Server zur Verfügung. »Mit unserem Ansatz beschreiten wir in der Alzheimer-Forschung ganz neue Wege. Die Chancen, ein wirksames Medikament zu finden, das die beiden Demenzerkrankungen präventiv verhindert, haben sich deutlich erhöht«, resümiert Hofmann-Apitius.

Ein Anschlussprojekt, das auf den Forschungsergebnissen von AETIONOMY aufbaut, ist bereits in Planung: Man geht davon aus, dass bereits zugelassene Medikamente, darunter auch ein Asthmamedikament, die eine neurologische Nebenwirkung in ihrem eigentlichen Anwendungsgebiet haben, für die Prävention von Alzheimer eingesetzt werden könnten. Tests starten in Kürze. ■

Molekulare Ursachen von Alzheimer und Parkinson verstehen: Im Projekt AETIONOMY arbeiten europäische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Forschung und Pharmaindustrie zusammen. © Fraunhofer SCAI



AETIONOMY - Das Projekt im Überblick

- AETIONOMY, kurz für Organising Knowledge about Neurodegenerative Disease Mechanisms for the Improvement of Drug Development and Therapy.
- Das EU-Projekt wird mit 8 Mio Euro von der Innovative Medicine Initiative (IMI) gefördert, einer Initiative von Europäischer Kommission und Pharmaindustrie. Die pharmazeutische Industrie selbst trägt ebenfalls 8 Mio Euro bei, so dass AETIONOMY insgesamt über ein Budget von 16 Mio Euro verfügt.
- Die Projektkoordination liegt beim Fraunhofer SCAI und UCB BioPharma.
- 14 Projektpartner
- Laufzeit: Januar 2014 bis Dezember 2018

Explosives Kriegserbe am Meeresgrund



Taucher mit Ankertaumine.
© Landeskriminalamt
Schleswig-Holstein –
Kampfmittelräumdienst,
2012



Geöffnete Ankertaumine.
© Lehrmittelsammlung des
Kampfmittelräumdienstes
Schleswig-Holstein

Millionen Tonnen alter Munition und Giftgasgranaten liegen auf dem Grund von Nord- und Ostsee - gefährliche Hinterlassenschaften der beiden Weltkriege, denn die Kampfmittel rosten und geben ihre giftigen Inhaltstoffe frei. Auch die Beseitigung ist gefährlich, aufwendig und teuer. Deshalb entwickelt ein interdisziplinäres Forschungsteam gemeinsam mit Bergungsunternehmen ein Robotersystem, das eine teilautomatische Entsorgung ermöglicht.

Text: Franz Miller

10. August 2013: Der niedersächsische Ministerpräsident Stephan Weil weihet den Offshore-Windpark Riffgat in der Nordsee 15 Kilometer nordwestlich der Insel Bornholm ein. Der Windpark kann jedoch nicht in Betrieb genommen werden, weil das Anschlusskabel zum Festland noch nicht verlegt wurde. Der Grund: Wesentlich mehr Munition in der fast 50 Kilometer langen Seekabeltrasse, als Übertragungsnetzbetreiber Tennet erwartet hatte. Die Räumung von fast 30 Tonnen Kampfmitteln kostet rund 57 Mio Euro und verzögert den Betrieb bis Februar 2014.

Immer häufiger werden die Altlasten der Weltkriege auf dem Grund von Nord- und Ostsee zum Problem, denn neue Fahrrinnen müssen freigelegt, Pipelines gebaut, Seekabel für die Landanbindung von Windparks verlegt werden. Etwa 1,6 Mio Tonnen konventionelle und 220 000 Tonnen chemische Kampfmittel, so die aktuellen Schätzungen, lagern in Schlick und Sand und rosten seit Jahrzehnten vor sich hin – ein enormes Gefahrenpotenzial für Flora und Fauna sowie für das Bergungspersonal. Das Waffenarsenal, das die Kampfmittelräumdienste

aufspüren, reicht von der Pistolenpatrone bis zur Zwei-Tonnen-Bombe: Panzerfäuste, Seeminen, Sprengbomben, Brandbomben, Giftgasgranaten, Torpedos. Der Großteil der Munition wurde am Ende des Zweiten Weltkriegs im Meer versenkt – zunächst von deutschen Truppen, dann von den Siegermächten.

Taucher mit gefährlichem Auftrag

Die Taucher eines Kampfmittelräumdienstes müssen immer wieder Munition aus Fahrrin-

nen räumen, die als minenfrei galten. Allein im Schifffahrtsweg der Kieler Förde musste man im Jahr 2016 36 Minen entfernen. Erst seit einigen Jahren wird die Belastung durch Munition im Meer systematisch erfasst. Bei der »Zentralen Meldestelle für Munition im Meer« gingen auch im Jahr 2016 insgesamt 264 neue Meldungen mit 1428 Kampfmitteln ein. Dank empfindlicher Sonartechnik und Magnetsonden lässt sich der Kriegsschrott inzwischen besser aufspüren – jedoch werden umso mehr Bomben, Granaten und Minen entdeckt. Die Räumung ist bisher nur in gefährlicher Handarbeit, durch Taucher der Kampfmittelräumdienste oder weiterer spezialisierter Firmen möglich. Große Minen können sie nicht bergen. Da sich der Sprengstoff im Laufe der Jahre chemisch verändert, lassen sich die Bomben nicht einfach nach oben hieven: Oft reicht die Druckveränderung schon aus und sie explodieren. Wenn man sie sprengen muss, wird ein Teil des giftigen Sprengstoffs nicht verbrannt, sondern weiträumig im Wasser verteilt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Minen unter Wasser vorsichtig in die bekannten Munitionsgebiete zu schleppen. Dort häuft sich der Kriegsschrott ebenfalls und bleibt eine latente Gefahr.

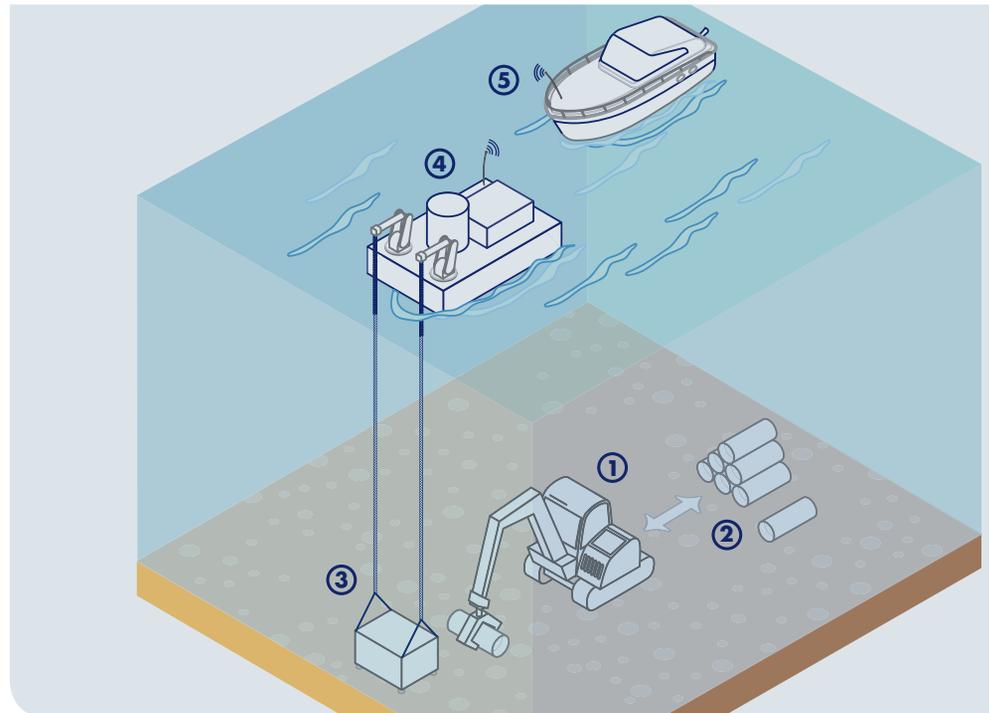
Selbst nach mehr als 70 Jahren sind die Kampfstoffe gefährlich, sie können explodieren. Viele Metallgehäuse sind verrostet, hochgiftige Stoffe treten aus. Manchmal werden ganze Brocken Sprengstoff an Land gespült.

Für die Beseitigung dieses Kriegserbes sind neue umweltschonende, ungefährliche und wirtschaftliche Lösungen gefragt. So entwickeln, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Forscher des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT in Pfinztal gemeinsam mit der Universität Leipzig sowie der Heinrich Hirdes EOD Services GmbH (Koordinator) und der automatic Klein GmbH ein »Robotisches Unterwasser-Bergungs- und Entsorgungsverfahren inklusive Technik zur Delaboration von Munition im Meer«, kurz RoBEMM. »Langfristiges Ziel des Projekts ist es«, erklärt Paul Müller, Sicherheitsexperte am ICT, »die Munition bereits direkt am Fundort unter Wasser teilautomatisiert unschädlich zu machen und umweltgerecht zu entsorgen.« Das gesamte System (siehe Graphik) besteht aus einer schwimmenden Entsorgungsplattform, die eine Delaborationseinheit beinhaltet. Ein Unterwassertransportgerät bringt die Munition zur Delaborationseinheit, wo man sie öffnet, in ihre Bestandteile zerlegt und unschädlich macht.

Die Koordination des Vorhabens und das Engineering der Delaborationstechnik hat das Kampfmittelräumunternehmen Heinrich Hirdes EOD Services GmbH übernommen. Für die Automatisierung und Anbindung der Teilkomponenten ist die automatic Klein GmbH zuständig. Das Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement IIRM der Universität Leipzig kümmert sich um die Qualitätssicherung

Jede Bombe ist anders

Ein Problem ist, dass der Aufbau und der tatsächliche Sprengstoffinhalt der Munition stark von den Angaben in der Literatur abweichen kann. Am Ende des Kriegs wurden für die Herstellung von Munition alle noch verfügbaren Materialien verwendet. Das heißt, man weiß nicht, welche Inhaltsstoffe vorhanden



1 Unterwassertransportgerät (ferngesteuert)
2 Munitionsdepot
3 Delaborationseinheit

4 Entsorgungseinheit (ferngesteuert/keine Besatzung an Bord)

5 Mehrzweckschiff (Steuer- und Kontrolleinheit für die automatisierten Prozesse)

Schematische Darstellung des Delaborationsverfahrens RoBEMM. © Heinrich Hirdes EOD Services GmbH

sowie die Konzeption eines Testfelds als Zertifizierungsgrundlage. Das Fraunhofer ICT bringt seine Kernkompetenz in der sicherheitstechnischen Betrachtung und Charakterisierung von Gefahrstoffen ein. »Wir haben die Erfahrung und das Know-how, um die Risiken, die mit der Entsorgung von Explosivstoffen verbunden sind, ganzheitlich zu betrachten«, betont Paul Müller. Aufgabe ist, die Handhabung der Explosivstoffe in allen Prozessschritten so auszulegen, dass das unvermeidliche Restrisiko einer spontanen Explosion minimiert wird. Wichtiges Element ist das möglichst schnelle Herabsetzen der Empfindlichkeit des Sprengstoffs durch die Zugabe von Wasser und die anschließende Zerkleinerung. Nur unproblematischer Metallschrott wird an Land transportiert.

sind und wie sie unter Umständen plötzlich miteinander reagieren. »Deshalb mussten wir in unseren Laboren viele Proben aus geborgener Weltkriegsmunition untersuchen. So konnten wir ableiten, was beim Handling zu beachten ist; wir haben festgestellt, dass die Schlagempfindlichkeit der Stoffe erhöht sein kann«, sagt Paul Müller.

Das Beseitigen der Kampfstoffe in Nord- und Ostsee wird Milliarden verschlingen. Bald beginnen erste Tests mit dem automatisierten Bergungs- und Entsorgungssystem RoBEMM. Es zeigt einen Weg auf, wie die derzeit gefährlichen Tauchereinsätze und die oftmals alternativen Sprengungen der Munition zu ersetzen sind. ■



Auftakt zur Wissenschaftskonferenzreihe FUTURAS IN RES

Mit der neuen internationalen Konferenzreihe FUTURAS IN RES bringt Fraunhofer visionäre Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und maßgebliche Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft zusammen. Die Auftaktveranstaltung zum Thema Biologische Transformation in der Produktion fand am 28. und 29. Juni 2018 in Berlin statt. Die über 300 hochrangigen Teilnehmenden tauschten sich dazu aus, welche neuen Möglichkeiten die zunehmende Integration von Materialien und Prozessen der belebten Natur für Produktion, Logistik und Technik der Zukunft bietet.

 <https://futuras.fraunhofer-events.de>

FUTURAS IN RES – mit Fraunhofer die Zukunft verstehen.
© Gettyimages/Fotolia



Besuchen Sie die Fraunhofer-Erlebniswelt #Zukunftsarbeit

Wie wird die Arbeit der Zukunft aussehen? Das können Besucherinnen und Besucher vom 8. bis 12. Oktober 2018 in einer interaktiven Erlebniswelt im Fraunhofer-Forum in Berlin erfahren. Die Veranstaltungsreihe bietet zusätzlich viele Möglichkeiten – vom Workshop bis zum Vortrag – in weitere Themenbereiche rund um

die Arbeitswelt von morgen einzutauchen und mitzudiskutieren.

Weitere Informationen und Anmeldung unter:

 www.fraunhofer.de/zukunftsarbeit

Fraunhofer auf Messen

September

10.–15. September
IMTS, Chicago, USA
International Manufacturing Technology

Oktober

9.–11. Oktober
it-sa, Nürnberg
IT-Sicherheit

November

6.–8. November
VISION, Stuttgart
Bildverarbeitung

23.–25. Oktober
EuroBLECH, Hannover
Blechbearbeitung
parts2clean, Stuttgart
Industrielle Teile- und Oberflächenreinigung

13.–16. November
Formnext, Frankfurt
Additive Fertigungstechnologien

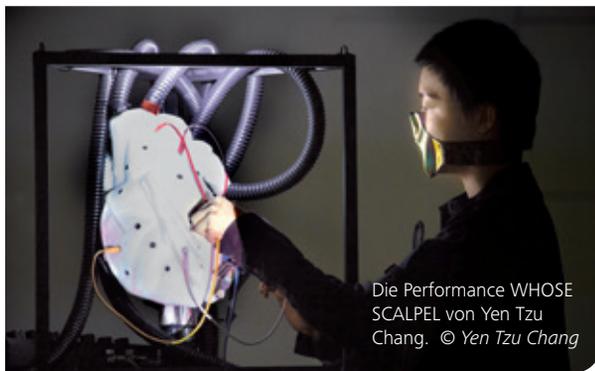
Informationen zu allen Messen:
www.fraunhofer.de/messen
www.fraunhofer.de/veranstaltungen

Franziska Kowalewski
Susanne Pichotta

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

Wissenschaft und Kunst im Dialog: The Art of Complexity

In der Reihe »Art meets Science« stand Anfang Juni in Berlin die Zukunft der Beziehung zwischen Mensch und Maschine in der Medizin im Mittelpunkt. Die taiwanische Künstlerin Yen Tzu Chang präsentierte eine Performance, bei der sie als »Chirurgin« symbolhaft an einer im 3D-Drucker hergestellten Nachbildung ihres eigenen Herzens operierte. Yen Tzu Chang ist die Gewinnerin der Künstlerresidenz STEAM Imaging, die vom Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin MEVIS und der Ars Electronica im Rahmen des European Digital Art and Science Network gemeinsam realisiert wurde. Durch die Performance sowie die anschließenden Impulsvorträge und dem Fachdialog entstand ein lebhafter interdisziplinärer Austausch.



Die Performance WHOSE SCALPEL von Yen Tzu Chang. © Yen Tzu Chang

Personalien

Bayerns Wirtschaftsminister Franz Josef Pschierer hat im April herausragende bayerische Persönlichkeiten mit der Staatsmedaille für besondere Verdienste um die bayerische Wirtschaft ausgezeichnet – unter ihnen **Prof. Claudia Eckert**. Sie leitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC und ist Inhaberin des Lehrstuhls »Sicherheit in der Informationstechnik« an der Technischen Universität München. Das Wirken von Professorin Eckert komme dem Wirtschaftsstandort Bayern in hohem Maße zugute, sagte Pschierer in seiner Laudatio.

Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier hat Ende Juni für drei Tage den amerikanischen Bundesstaat Kalifornien besucht. **Prof. Ina Schieferdecker**, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, nahm als Sondergast an der Reise teil. Im Zentrum stand der transatlantische Austausch zur Zukunft der Demokratie im Kontext der Digitalisierung. Ein Highlight war die Teilnahme an der Expertenrunde »Shaping Our Digital Future – Opportunities, Challenges and Strategies« in der Stanford University.

Fabio LaMantia, Batterie-Experte der Universität Bremen am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, erhält mit dem ERC Consolidator Grant eine der höchsten Auszeichnung der EU. Der Europäische Forschungsrat unterstützt damit exzellente junge Forscherinnen und Forscher, die am Beginn einer unabhängigen Forschungskarriere stehen. LaMantia leistet Vorlaufforschung für elektrochemische Systeme. Diese sollen langlebige Batterien für stationäre industrielle Anwendungen ermöglichen.

Impressum

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

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

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

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

Redaktion:
Janis Eitner (V.i.S.d.P.), Marion Horn
(Chefredaktion)

Redaktionelle Mitarbeit:
Janine van Ackeren, Mandy Bartels, Christine Broll, Thomas Eck, Sonja Endres, Sibylle Gaßner, Frank Grotelüschen, Inés Gutiérrez, Markus Jürgens, Chris Löwer, Franz Miller, Bernd Müller, Michaela Müller, Eva Rathgeber, Isolde Rötzer, Tim Schröder, Andrea Schwendemann, Tobias Steinhäuser, Mehmet Toprak, Monika Weiner, Britta Widmann

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



weiter.vorn als App, so oder so.



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

Ab Anfang September 2018 gibt es das Fraunhofer-Magazin
weiter.vorn wieder als App zum kostenlosen Download –
für das iPad und auch als Android-Version.

www.fraunhofer.de/magazin

