weiter.vorn

Das Fraunhofer-Magazin 2/18

Gesundheits-forschung in 4D

Energie
Batterien im Fokus

Weltraum
Gut gerüstet ins All

Bioökonomie
Lignin – das neue Erdöl

Fraunhofer

JOIN THE CONFERENCE – JOIN THE FUTURE BIOLOGICAL TRANSFORMATION OF MANUFACTURING

Biological Transformation: Economy's greatest change since the digitalization, based upon the systematic application of nature's principles, resources and processes in technology.

Join our new conference "FUTURAS IN RES" for scientific excellence, internationality and a profound focus on value creation:
www.futuras.fraunhofer-events.de

sponsored by

IRP

Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Neue Wege gehen

Die Gesundheitsausgaben in Deutschland haben im Jahr 2016 erstmals die Marke von einer Milliarde Euro pro Tag überschritten, berichtet das Statistische Bundesamt. Die Zahlen basieren auf einer vergleichenden Länderanalyse der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD von 2017. Die Gesundheitsausgaben wachsen hierzulande rascher als im Durchschnitt aller OECD-Länder, die Kosten im Gesundheitswesen steigen weiter und schneller als das Bruttoinlandsprodukt. Einerseits eine Kostenbürde, andererseits ein Markt für kostenintelligente Lösungen. Hier setzen Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher an. Sie entwickeln in interdisziplinären Teams effiziente Lösungen und arbeiten an der schnellen und gezielten Translation von Forschungsergebnissen in medizinische Anwendungen und Therapien. Bisher vergehen oft Jahrzehnte, bis aus Erkenntnissen der Grundlagenforschung neue Medikamente oder Produktionsverfahren entstehen. Die größte Hürde dabei ist der Schritt vom Labor in die klinische Prüfung, also die Lücke zwischen der Entdeckung neuer Substanzen und der Weiterentwicklung zu Arzneimitteln durch die pharmazeutische Industrie.

Fraunhofer ist der Spezialist an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und besitzt ein breit gefächertes Spektrum an Technologien. 45 von 72 Fraunhofer-Instituten arbeiten in der Gesundheitsforschung an den vier Themenfeldern Drugs, Diagnostics, Devices und Data, den »4D«. Mehr dazu erfahren Sie in der Titelgeschichte (ab Seite 8).

Erhebliche Potenziale für Wertschöpfung und Nachhaltigkeit bestehen in der Anwendung der Biotechnologie in der Medizin sowie dem verarbeitenden Gewerbe und der Landwirtschaft. In diesem Heft stellen wir Ihnen zwei Projekte rund um den nachwachsenden Rohstoff Holz vor: Lignin und andere biologische Reststoffe dienen als Ausgangsmaterial zur Produktion wertvoller Chemikalien und ersetzen so fossile Rohstoffe wie Erdöl (ab Seite 28).

Bei vielen Entwicklungen ist die Natur unser Vorbild. Fraunhofer treibt die biologische Transformation voran. Wir nutzen Prinzipien und Materialien der Natur zunehmend in technischen Systemen. Mithilfe der Informationstechnologie lassen sich komplexe biologische Vorgänge und Strukturen auf der molekularen Ebene abbilden. So entstehen nanostrukturierte Werkstoffe oder auf Patienten maßgeschneiderte Therapeutika. Dieser Forschungsansatz bringt ein neues Denken mit sich, im Sinne eines ganzheitlichen, ausbalancierten Miteinanders von Prozessen und Materialströmen. Heute sind viele Prozesse nach dem Min/Max-Prinzip organisiert: minimaler Input bei maximalem Output. Das kann zu ungünstigen Entwicklungen führen, etwa in der Landwirtschaft, indem Böden ausgebeutet und für die Zukunft geschädigt werden. Die Natur lehrt uns jedoch, das Ergebnis einzelner Prozesse nicht zu maximieren, sondern ein System im Sinne eines stabilen Ganzen zu optimieren. Wir denken: Die biologische Transformation wird sich ähnlich tiefgreifend auf Wirtschaft und Gesellschaft auswirken wie der digitale Wandel.

In diesem Jahr spielen wir eine besondere Rolle im deutschen Wissenschaftssystem: Fraunhofer ist die federführende Organisation der Allianz der Wissenschaftsorganisationen. Im neu konstituierten Ausschuss für Bildung und Forschung des 19. Bundestags geben wir Impulse zur Wissenschaftspolitik der laufenden Legislaturperiode.

Auch 2017 ist die Fraunhofer-Gesellschaft weiter gewachsen. Mehr als 25 000 Mitarbeitende erwirtschafteten insgesamt 2,3 Milliarden Euro. Sie arbeiten mit Begeisterung und großem Engagement an ihren Projekten und erzielen dabei beeindruckende Ergebnisse. Vier herausragende Projekte, die wir Ihnen in dieser Ausgabe vorstellen (ab Seite 20), würdigen wir auf unserer Jahrestagung in Berlin mit besonderen Auszeichnungen.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre,

Ihr

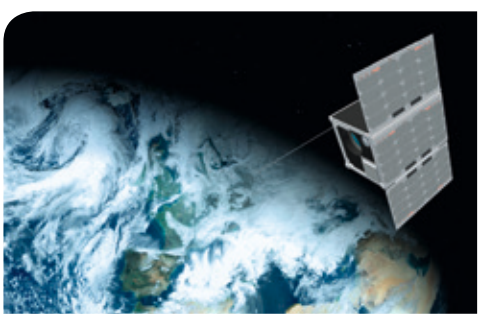
Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

08
Titelthema
Gesundheitsforschung in 4D
45 der 72 Fraunhofer-Institute arbeiten in den vier großen Themenfeldern der Gesundheitsforschung: Drugs, Diagnostics, Devices und Data, den 4D.

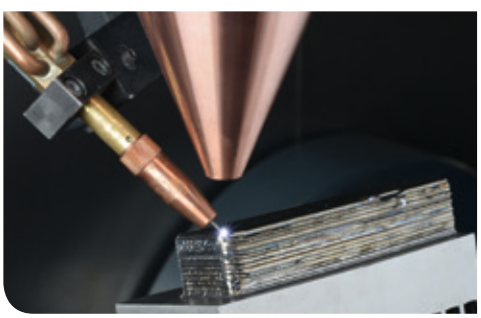
28
Biomasse effizient nutzen
Restholz wird durch Dampf getrocknet und lässt sich dann kostengünstig transportieren.

38
Knappe Wasserressourcen nachhaltig nutzen
Ein Gebiet in der Mongolei erhielt neue Trinkwasserleitungen, Kläranlagen und Pumpensysteme.

46
Forschung für die Drohnenabwehr
Kleindrohnen sind nützlich und vielseitig einsetzbar. Sie können jedoch auch gefährlich werden.



50
Gut gerüstet ins All
Fraunhofer-Forschende arbeiten an sicheren, kostengünstigen und umweltfreundlichen Projekten für die Raumfahrt.



54
Klug kombiniert
Die Zukunft liegt in der hybriden Fertigung, der optimalen Kombination additiver Technologien mit konventionellen Verfahren.

Inhalt

06 Spektrum

17 Kompakt

37 Gründerwelt

41 International

64 Fraunhofer inside

66 Panorama

67 Personalien

67 Impressum

Titelthema

08 **Gesundheitsforschung in 4D**
Drugs, Diagnostics, Data und Devices, die 4D sind Forschungsschwerpunkte

16 **»Wir können die Schnittstellen in der Gesundheitsforschung besetzen«**
Interview mit Prof. Gerd Geisslinger

Gesundheitsforschung

18 **Augmented Reality im OP**
Eine Navigationshilfe erleichtert Chirurgen Operationen

Wissenschaftspreise

20 **Freiform: Qualitätssprung bei optischen Systemen**
Optische Freiformsysteme ermöglichen völlig neue Anwendungen und Funktionen

22 **Fraunhofer-Technologie für die Luftfahrt: Effizientere Strahltriebwerke**
Optimierte Standfestigkeit und Effizienz von Flugzeugtriebwerken

24 **Algorithmen für die Leberchirurgie - weltweit sicherer operieren**
Detaillierte 3D-Bilder unterstützen im OP

26 **XXL-Computertomographie**
Hochauflösende, kontrastreiche Bilder von sehr großen Objekten

Bioökonomie

28 **Biomasse effizient nutzen**
Holz lässt sich kostengünstig transportieren und zu wertvollen Stoffen für die chemische Industrie verarbeiten

30 **Lignin - das neue Erdöl?**
Der nachwachsende Rohstoff Lignin kann in vielerlei Hinsicht fossiles Erdöl ersetzen

32 **Die Umweltsicherheit von Chemikalien erhöhen**
Interview mit Prof. Christoph Schäfers und Matthias Teigeler

Energie

34 **Batterien im Fokus**
Forschung an leistungsfähigen Batterien und zukunftsfähigen Konzepten

38 **Knappe Wasserressourcen nachhaltig nutzen**
Neue Leitungen, Pumpensysteme und Kläranlagen in der Mongolei

Mikroelektronik

42 **Leichte und kompakte VR-Brillen**
In der Brille steckt ausgeklügeltes Systemkonzept und moderne Designmethodik

43 **Mehr Prozessorleistung: Doppelt kühlt besser**
Hochleistungsprozessoren mit Mikrokanälen kühlen

44 **Blick ins Innere**
Photoelektronenspektrometer ermöglichen es, Elektronen-basierte Prozesse besser zu verstehen

Sicherheit

46 **Forschung für die Drohnenabwehr**
Kleindrohnen sind nicht nur nützlich, sondern auch gefährlich

48 **Mit der Laser-Lupe chemischen Substanzen auf der Spur**
Medikamentenprüfung, Sprengstoffdetektion oder Wasserkontrolle durch infrarotes Licht

Weltraum

50 **Gut gerüstet ins All**
Weltraummüll, ein Kleinsatellit, Raketentreibstoff und viele weitere Forschungsthemen

Produktion

54 **Klug kombiniert**
Additive und konventionelle Produktionsverfahren werden kombiniert

56 **Einzelstücke automatisiert lackieren**
Weniger Lack, weniger Energie und kürzere Produktionszeiten bietet das Lackiersystem

58 **Zerstörungsfrei und intelligent**
Interview mit Prof. Randolf Hanke

60 **Die Fabrik zum Mitnehmen**
Eine komplette Produktionslinie steckt in einem Container

62 **Es geht auch ohne Seltene Erden**
Alternative Werkstoffe für Permanentmagnete

Intelligentes Glas schützt vor Einbrüchen

Fensterscheiben von Juweliergeschäften, Galerien oder Banken sind alarmgeschützt und mit Sicherheitsglas ausgestattet. Der Nachteil: Die Scheibe beziehungsweise ein Teil der Scheibe muss erst brechen, damit der Alarm auslöst. Eine neuartige Alarmanlage von Forschenden der Fraunhofer-Institute für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT und für Photonische Mikrosysteme IPMS hingegen erkennt bereits die versuchte Manipulation am Fenster.

Das System registriert sowohl Temperaturänderungen als auch Erschütterungen am Glas in Echtzeit – Einbrecher haben somit keine Chance. Bereits ein leichter Schlag gegen das Sicherheitsglas oder die Manipulation durch eine Flamme reicht aus, um den Alarm auszulösen. Durch die Gewalteinwirkung ändert sich die mechanische Eigenschaft der Scheibe, was das neue System erfasst. Der Einbruchschutz liegt nun als Demonstrator vor.

Herkömmliches Sicherheitsglas muss erst brechen, damit der Alarm ausgelöst wird. © *iStock*

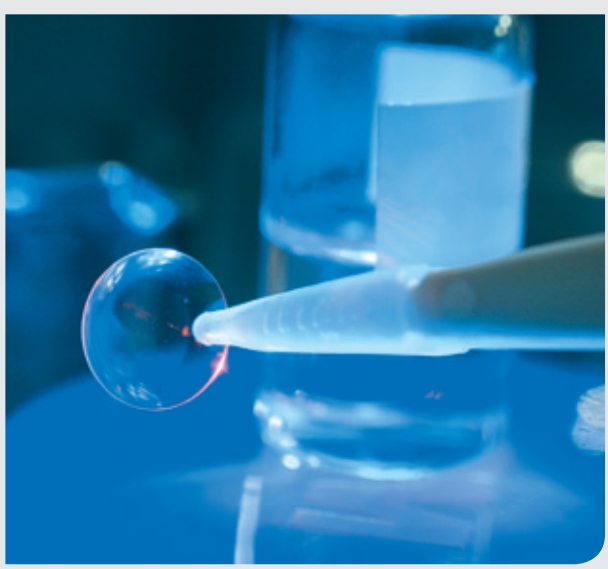
Therapeutische Kontaktlinsen

Infektionen der Hornhaut sind weltweit eine wesentliche Ursache für eine Minderung der Sehschärfe. Die WHO geht davon aus, dass sich jede vierte Erblindung auf eine Hornhauttrübung zurückführen lässt. Verursacht wird diese meist durch eine mikrobielle Keratitis – eine durch Keime wie Bakterien, Pilze oder Akanthamöben ausgelöste Hornhautentzündung.

Augenärzte fürchten vor allem die Akanthamöben als Krankheitsverursacher, da diese Form der Keratitis kaum auf verfügbare Medikamente anspricht. Derzeitige Therapien haben starke Nebenwirkungen und schädigen die Hornhaut.

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP verfolgen jetzt einen neuartigen Ansatz: Kontaktlinsen mit keimabtötenden Eigenschaften könnten eine Alternative sein. Erste Tests im Labor waren erfolgreich.

Keimabtötende Kontaktlinsen könnten eine Infektion mit Akanthamöben bekämpfen. © *Fraunhofer IAP*



Schnelldiagnose von tödlichem Karpfen-Virus

In der Fischzucht steigt die Bedeutung von Aquakulturen. Rund die Hälfte aller Speisefische stammt heute aus Aquakulturen, in denen in Deutschland neben der Forelle vor allem der Karpfen eine entscheidende Rolle spielt.

Für den fischereiwirtschaftlichen Ertrag ist vor allem die Gesundheit der Tiere entscheidend. Eine gefürchtete Bedrohung für Zuchtkarpfen ist das Koi-Herpesvirus (KHV): Die KHV-Infektion ist nicht therapierbar, daher ist es wichtig, möglichst gut vorzubeugen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik EMB haben jetzt zusammen mit drei Partnern ein Verfahren entwickelt, mit dem sich das Virus zuverlässiger und präziser diagnostizieren lässt. Das ist nicht nur wichtig für eine verbesserte Diagnostik, sondern auch Voraussetzung für die Entwicklung eines gut wirksamen Impfstoffs gegen KHV.

Mithilfe der verbesserten Diagnostik können infizierte Tiere sicher identifiziert und von gesunden separiert werden. *© iStock*

Auto-Hightech aus dem 3D-Drucker

Seit Anfang des Jahres ist das frühere Laser Zentrum Nord als Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT ein Teil der Fraunhofer-Gesellschaft. Eines der Vorzeigeprojekte: Ein im 3D-Druck gefertigter Bremssattel aus Titan, entstanden in einer Kooperation mit der Bugatti Engineering GmbH.

Wegen der extrem hohen Festigkeit von Titan war es bisher sehr schwierig bis oftmals unmöglich, ein solches Bauteil aus einem Block zu fräsen und zu bearbeiten. Das IAPT konnte das Problem mit seinem leistungsstarken 3D-Drucker lösen.

Der Bremssattel aus Titan ist 41 cm lang, 21 cm breit, 13,6 cm hoch und wiegt gerade einmal 2,9 kg – über 40 Prozent weniger als der derzeit verwendete Bremssattel aus Aluminium bei gleichzeitig noch höherer Belastungsfähigkeit. Die Fahrzeugversuche für den möglichen Serieneinsatz sollen noch in der ersten Hälfte des Jahres starten.

Dieser 3D-gefertige Bremssattel soll für den Bugatti Chiron getestet werden. *© Bugatti Automobiles S.A.S.*

Gesundheits-forschung in 4D

Neue Medikamente in der Klinik testen, nach spezifischen Biomarkern suchen, fühlende Prothesen entwickeln oder Konzepte für ein sicheres Datenmanagement entwerfen: Forschung zum Thema Gesundheit hat viele Facetten. 45 von 72 Fraunhofer-Instituten arbeiten in den vier großen Themenfeldern der Gesundheitsforschung - an Drugs, Diagnostics, Devices und Data, den 4D. Die Redaktion hat vier Forscherteams besucht, die sich der translationalen Medizin widmen und damit Grundlagenforschung in die Anwendung übertragen.

Text: Christine Broll und Frank Grotelüschen (Data)

Drugs

Etwas aufgeregt ist Sabine Schuster*, als sie die Station für klinische Studien der Fraunhofer-Projektgruppe Translationale Medizin und Pharmakologie TPM auf dem Campus des Universitätsklinikums Frankfurt am Main betritt. Es ist das erste Mal, dass sie an einer Medikamentenstudie teilnimmt. Als Stationsleiter Dr. Jochen Graff sie auf ihr Zimmer bringt, erklärt er ihr die strengen Regeln, die von den Arzneimittelbehörden zur Standardisierung der Studien vorgeschrieben sind.

»Sie werden die nächsten zwei Tage auf unserer Station verbringen und bekommen zu festgelegten Zeiten Mahlzeiten und Getränke. Sonst dürfen Sie nichts zu sich nehmen«, erläutert Jochen Graff. »Auch keine Zigaretten und keinen Alkohol. Das würde die Ergebnisse verfälschen.«

In der Studie wird ein neues Medikament gegen das hereditäre Angioödem (HAE) getestet, eine seltene Erbkrankheit, an der Sabine Schuster seit ihrer Kindheit leidet. Anfallsweise schwellen immer wieder ihre Haut und inneren Organe an. Ein Anschwellen des Kehlkopfes kann lebensbedrohlich sein und führt nicht selten zum Tod. Um die akut auftretenden Anfälle in den Griff zu bekommen, gibt es bereits Therapeutika. Das neue Medikament soll das Auftreten von Anfällen

* Name von der Redaktion geändert

Während sich Dmitry Amelin auf die Bewegung seiner Hand konzentriert, messen Elektroden die Muskelimpulse, mit deren Hilfe sich eine Handprothese steuern lässt.
© *Bernd Müller*

An einem innovativen Impfstoff gegen die rheumatoide Arthritis arbeitet das Team von Dr. Nadine Schneider (rechts) in der Fraunhofer-Projektgruppe Translationale Medizin.
Alle Fotos auf dieser Seite © Bernd Müller

unten: Die in klinischen Studien getesteten Medikamente werden individuell hergestellt und genauestens deklariert.

oben: Während klinischer Studien nimmt Dr. Jochen Graff den Probanden regelmäßig Blut ab, um zu messen, wie der Körper auf das neue Medikament reagiert.

links: Unter dem Mikroskop werden Immunzellen aus dem Blut von Patienten mit rheumatoider Arthritis untersucht.

prophylaktisch verhindern. Bei den klinischen Tests arbeitet die Fraunhofer-Projektgruppe eng mit der HAE-Ambulanz des Uniklinikums Frankfurt zusammen.

Blutabnahmen nach strengem Protokoll

Am nächsten Morgen beginnt der Test. Studienassistentin Gudrun Schneckenburger legt Sabine Schuster zur Blutabnahme eine Kanüle in die Vene der linken Hand und schließt sie an das EKG und das Blutdruckmessgerät an. Dann verabreicht der Studienarzt Dr. Graff der Patientin eine Tablette des neuen Medikaments.

In der ersten Stunde nach Einnahme der Tablette nimmt die Studienassistentin alle 15 Minuten Blut ab, dann in halbstündlichem und später in stündlichem Rhythmus. »In den Blutproben messen wir, was der Körper mit dem Medikament macht. Wie er es aufnimmt, wie es sich verteilt und wie es wieder abgebaut und ausgeschieden wird. Das ist die Pharmakokinetik«, verdeutlicht Jochen Graff. Diese Werte dienen dem Verständnis des neuen Medikaments. Sie sind auch wichtig, um die Dosis und das Dosierungsintervall in weiteren klinischen Studien festzulegen, in denen das Medikament zeigen muss, dass es bei Patienten mit HAE auch wirklich die Anfallshäufigkeit verringern kann. Außerdem bestimmen die Forscherinnen und Forscher im Blut viele verschiedene Parameter und Biomarker, um Nebenwirkungen festzustellen. Jeder einzelne Handgriff der Studie ist in einem Studienprotokoll festgelegt, das von den Arzneimittelzulassungsbehörden und einer Ethikkommission genehmigt werden muss.

Innovative Studiendesigns

In der Station der Fraunhofer-Projektgruppe finden alle Phasen der frühen klinischen Arzneimittelentwicklung statt, die Phase 1 mit der Erstanwendung am Menschen genauso wie die Phase 2 mit ausgewählten Patienten. Außer bei Krebsmedikamenten müssen Phase-1-Studien an gesunden Probanden vorgenommen werden. Dabei geht es neben der Pharmakokinetik und Dosisberechnung vor allem um die Prüfung der Sicherheit des Wirkstoffs.

Dr. Frank Behrens, der die klinische Forschung der Projektgruppe leitet, macht auf die Limitationen dieses Vorgehens aufmerksam: »Wie repräsentativ ist der 22-jährige gesunde Student für die Verträglichkeit und Verstoffwechselung eines Medikaments, das ich später bei einer 65-jährigen Frau anwenden will, die bereits mehrere Vorerkrankungen hat?« Frank Behrens entwickelt daher mit seinem wissenschaftlichen Team verschiedener Disziplinen innovative Studiendesigns, bei denen neue Wirkstoffe gleich an Patientinnen und Patienten getestet werden. Bei deren Auswahl und den Spezialtests zum Nachweis der Wirksamkeit arbeitet er eng mit den Fachärzten auf dem Campus des Frankfurter Universitätsklinikums zusammen.

Die Frankfurter Projektgruppe, die zum Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME gehört, hat sich intensiv bei der Gründung des vom Land Hessen geförderten LOEWE-Zentrums für Translationale Medizin und Pharmakologie engagiert. Partner sind die Universität Frankfurt und das Max-Planck-Institut für Herz- und Lungenforschung in Bad Nauheim. Übergeordnetes Ziel ist die Überführung medizinischer Grundlagenforschung in die Anwendung. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Mediziner, die sowohl in der Klinik als auch in der Projektgruppe arbeiten. »Durch die forschenden Ärzte bekommen wir die Probleme vom Krankenbett direkt zu uns ins Labor«, betont Prof. Gerd Geisslinger, Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe und des LOEWE-Zentrums.

Von der Forschung in die Klinik

Wie die Entwicklung entlang der Wertschöpfungskette in Frankfurt läuft, zeigt das Projekt aidCURE. In jahrelanger Grundlagenforschung an der Universität hatte Prof. Harald Burkhardt in enger Zusammenarbeit mit Prof. Rikard Holmdahl vom Karolinska Institut in Stockholm einen Wirkstoff zur Behandlung der rheumatoiden Arthritis entwickelt. Es ist eine Art Impfstoff, der gezielt den Mechanismus der krankmachenden Autoimmunreaktionen abschaltet.

Unter der Leitung von Dr. Nadine Schneider erfolgt in der Fraunhofer-Projektgruppe nun die Translation – die Übertragung der Grundlagenforschung in die Anwendung. »Zurzeit suchen wir nach einem Weg, das komplexe Proteinmolekül wirtschaftlich im industriellen Maßstab herzustellen«, berichtet Burkhardt. Wenn dieser Meilenstein geschafft ist, kann im Anschluss an die regulatorisch geforderten präklinischen Sicherheitsstudien die klinische Prüfung am Menschen erfolgen. Studienleiter Dr. Frank Behrens hat bereits mit der Erstellung der Studienprotokolle begonnen.

Wie gut eine Therapie wirkt, hängt entscheidend von der Diagnostik ab. Je genauer die Erkrankung charakterisiert ist, desto spezifischer kann die Behandlung sein. An neuen Parametern für die Diagnostik arbeitet ein Forscherteam im Projekt RIBULUTION.

Diagnostics

Langsam senken sich die Spitzen des Pipettierroboters über die kleinen Reagenzgläser, in denen sich Gewebeproben befinden. Sie tropfen eine Lösung hinein, die das Gewebe auflöst. Fast lautlos bewegen sich die Pipettenspitzen nach oben, während die Reagenzgläser auf dem Fließband schon zur nächsten Station fahren. Vollautomatisch wird die Probe Schritt für Schritt mit Reagenzien

Auf der Suche nach neuen Biomarkern zur Diagnose von Prostatakrebs nutzt das Fraunhofer IZI Pipettierroboter, die RNA aus Gewebeproben isolieren. © *Fraunhofer IZI*

versetzt, zentrifugiert und gereinigt, bis zum Schluss die reine RNA vorliegt.

Die RNA ist das Untersuchungsobjekt im Projekt RIBULUTION, das seit 2011 am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig läuft und von der Fraunhofer-Zukunftsstiftung gefördert wird. RNA ist ganz ähnlich wie DNA aufgebaut. Während die DNA im Zellkern sitzt und die Erbinformation trägt, hat die RNA in der Zelle unterschiedliche Aufgaben. Am bekanntesten sind die Messenger-RNAs, die den Code für die Proteinsynthese beinhalten. Noch nicht so lange bekannt sind die »non-coding RNAs« – kurz »ncRNAs«, die ganz unterschiedliche Prozesse in den Zellen regulieren. Das macht sie für die Forschung interessant. Der Gedanke, der dahintersteht: Ist durch eine Erkrankung die Regulation in der Zelle aus dem Gleichgewicht, sieht man das am Profil der ncRNAs.

Biomarker für Prostatakrebs

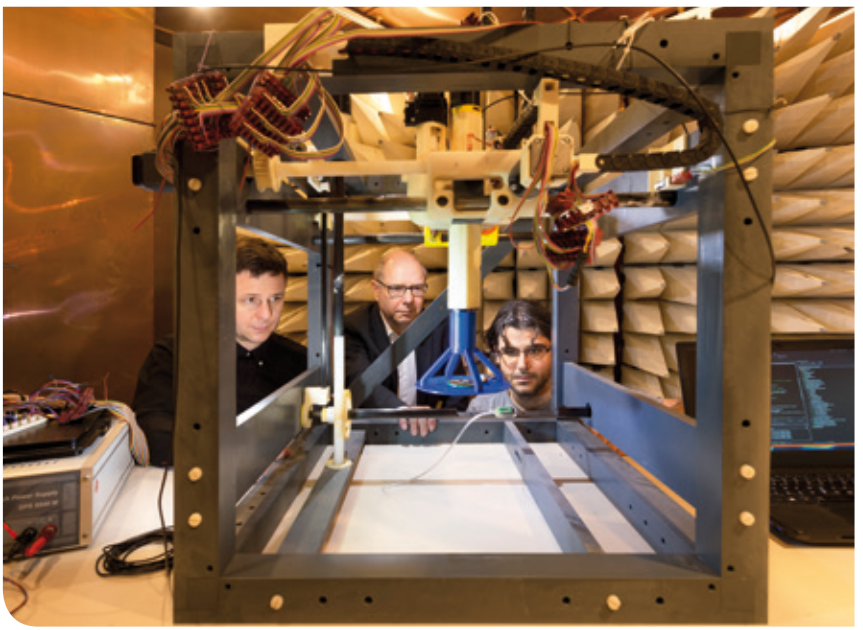
Mit dieser Hypothese im Kopf machte sich das Team um Prof. Friedemann Horn am Fraunhofer IZI auf die Suche nach Biomarkern für die Diagnose von Prostatakrebs. Ein zuverlässiger Test ist dringend nötig, da der zurzeit gebräuchliche PSA-Test zu oft für falschen Alarm sorgt. »Bei einem erhöhten PSA-Wert erfolgt in der Regel eine Biopsie«, berichtet Horn. »In Deutschland werden pro Jahr über 200 000 Prostata-Biopsien gemacht. Der Verdacht auf ein Karzinom bestätigt sich nur bei rund 67 000 Patienten.« Ein Großteil der Biopsien ist also unnötig.

Im ersten Schritt isolierte das RIBULUTION-Team aus Tumorproben, gutartigen Wucherungen und gesundem Gewebe die gesamte RNA. Das können pro Gewebeprobe mehrere Hunderttausend verschiedene Moleküle sein. Diese Moleküle wurden sequenziert und miteinander verglichen. Dann untersuchten die Forscher, welche ncRNAs in den jeweiligen Proben besonders häufig waren. Um die großen Probenmengen bearbeiten zu können, wurde in Kooperation mit anderen Fraunhofer-Instituten und der Industrie der gesamte Prozess mit Pipettierrobotern automatisiert und damit eine Plattformtechnologie für die RNA-Analyse geschaffen.

Automatisierte Plattformtechnologie

»Wir haben rund zehn ncRNA-Moleküle identifiziert, die als Biomarker geeignet sind. Sie bilden die Basis für einen Test zur Diagnose von Prostatakrebs im Urin«, sagt Friedemann Horn. Mit der Markteinführung rechnet er im Jahr 2020. Dann wird auch ein ncRNA-Test auf den Markt kommen, mit dem sich voraussagen lässt, ob ein Prostatakarzinom aggressiv ist und sofort operiert werden muss oder ob es nur langsam wächst und man eventuell auf eine OP verzichten kann.

Mit dem automatisierten Verfahren kann man jetzt relativ schnell neue Biomarker für die verschiedensten Erkrankungen finden. Interessant ist die Plattformtechnologie auch für Pharmafirmen, die Tests entwickeln, mit denen sich die Wirksamkeit neuer Medikamente in klinischen Studien beobachten lässt.



links: Die Elektroden am Arm führen zu einer Steuereinheit, die die Signale an die virtuelle Handprothese im Hintergrund überträgt.

rechts: In einem speziell isolierten Raum testet das Team von Prof. Klaus-Peter Hoffmann (Mitte) die drahtlose Signal- und Energieübertragung für theranostische Implantate. *Beide Bilder © Bernd Müller*

Forschungen an Diagnostik und Therapie wachsen immer mehr zusammen. Nirgendwo sind sie enger verbunden als in den theranostischen Implantaten – Implantaten, die Therapie und Diagnose in einem System vereinen. Am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT in St. Ingbert wird ein solches Implantat entwickelt.

Devices

Theranostische Implantate gehören aufgrund ihrer Komplexität und Invasivität zu den anspruchsvollsten medizintechnischen Systemen. Daher müssen sie bereits in der Entwicklungsphase im Labor umfänglich getestet werden. Dies ist die Aufgabe von Dmitry Amelin, Biomedizin-Ingenieur am Fraunhofer IBMT. Für die Tests klebt er sich acht Elektroden an den linken Unterarm. Die Elektroden führen zu einem kleinen Kästchen, das vor ihm auf dem Schreibtisch liegt. Amelin führt Daumen und Zeigefinger zu einem Pinzettengriff zusammen und beobachtet auf dem Monitor die Signale, die die Elektroden von seinen Muskeln ableiten. »Wir arbeiten an der Steuerung für eine Handprothese«, erklärt Amelin. »Das kleine Kästchen enthält die gesamte Steuerelektronik und soll dem Patienten später in den verbliebenen Unterarm implantiert werden.«

In dem kleinen Kästchen steckt auch die jahrzehntelange Erfahrung des IBMT mit dem Bau intelligenter Implantate. Dazu gehören die drahtlose Signal- und Energieübertragung sowie Aufbau- und Verbindungstechnik einschließlich biokompatibler Verkapselung. Eine besondere Kunst ist die Entwicklung und Herstellung der Elektroden, mit denen die Implantate mit dem menschlichen Nervensystem kommunizieren.

Steuerung über Muskelbewegungen

In den Laborversuchen für die Steuerung der Handprothese werden die Elektroden noch von außen auf die Muskeln geklebt. Bei den handamputierten Patienten will man sie später direkt unter die Muskelhaut implantieren. Spannt der Patient die Muskeln so an, als wolle er mit der Hand einen Pinzettengriff machen, erkennt die Software der Implantatelektronik das Bewegungsmuster und sendet die entsprechenden Steuersignale an die Prothese, die dann auch Daumen und Zeigefinger zusammenführt.

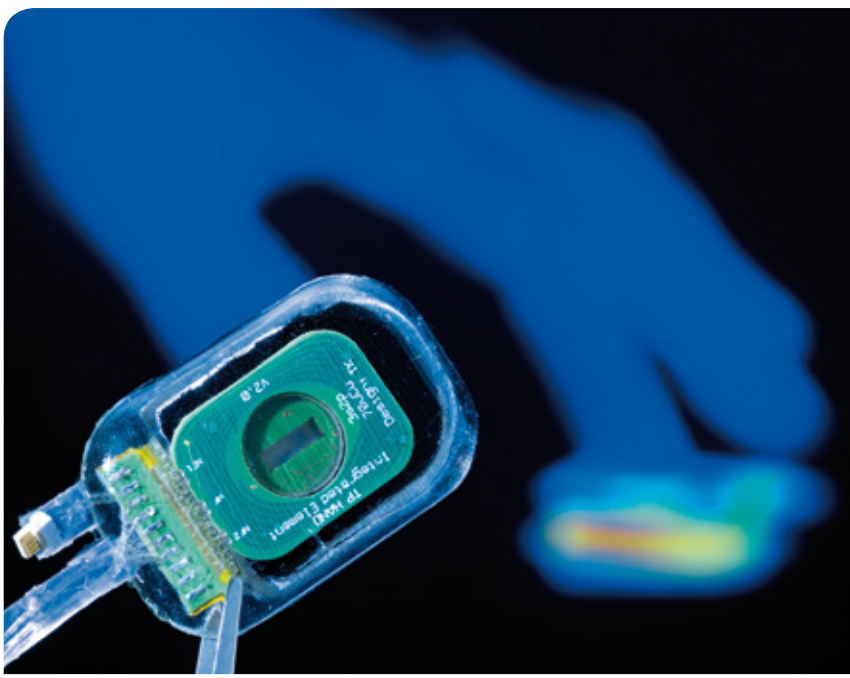
Dies ist die eine Richtung der Kommunikation zwischen Mensch und Prothese. »Das Bahnbrechende an unserem Design ist, dass die Prothese dem Träger auch ein sensorisches Feedback gibt«, erklärt Prof. Klaus-Peter Hoffmann, Hauptabteilungsleiter Biomedizintechnik am IBMT. Dazu werden in die Prothese Sensoren eingebaut und über die Implantatelektronik mit dem menschlichen Nervensystem verbunden. »Wir haben haarfeine doppelseitige Filamentelektroden entwickelt, die man direkt im Nerv fixieren kann«, ergänzt Hoffmann. Auf diese Weise soll der Patient zum Beispiel spüren können, wie fest er mit der Prothese zugreift. Und das in Echtzeit. Bis es in der Praxis so weit ist, werden sicher noch zehn bis fünfzehn Jahre vergehen. Zurzeit laufen die ersten präklinischen Versuche.

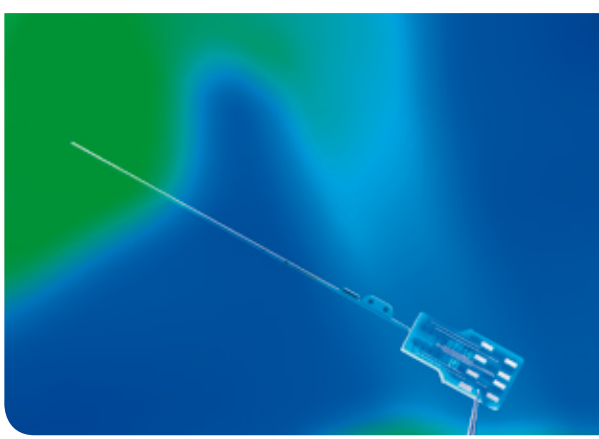
Leitprojekt »Theranostische Implantate«

Mit der Steuerung von Handprothesen beschäftigt sich Hoffmanns Team bereits seit 2002 in vielen Projekten. Wichtige Fortschritte gelangen jetzt im Fraunhofer-Leitprojekt »Theranostische Implantate«, in dem das IBMT mit zwölf weiteren Fraunhofer-Instituten zusammenarbeitet. In diesem Leitprojekt entwickelte eine Forschergruppe eine intelligente Hüftprothese. Sie ist mit Sensoren und Aktoren ausgestattet, mit denen der Arzt den Sitz der Prothese überwachen und bei Bedarf nachjustieren kann. Im dritten Teilprojekt entstand ein Sensorimplantat zur kontinuierlichen Kontrolle des Blutdrucks.

Im Implantat, das Dmitry Amelin testet, sind die Elektroden noch per Kabel mit dem Implantat verbunden. Nächstes Ziel ist die Entwicklung von Mikro-Implantaten, bei denen Elektrode und Implantat verschmelzen. So kann man auf Kabel und Steckverbindungen verzichten. Voraussetzung für synchronisierte Aktivitäten ist die drahtlose Kommunikation zwischen den Mikro-Implantaten. Dafür will Hoffmann aber nicht die üblichen Funksignale nutzen. Aus einem erschreckenden Grund: »In den USA wurden bereits Herzschrittmacher gehackt. Im Internet kursieren auch Anleitungen zum Hacken von Cochlea-Implantaten für Gehörlose.« Im neuen Projekt »I-call« erforscht das IBMT daher die Kommunikation intelligenter Implantate per Ultraschall.

Sicherheit bei der Übertragung und Speicherung sensibler Daten wird immer wichtiger. Daher entwickelt Fraunhofer mit Partnern aus dem Gesundheitswesen den Medical Data Space (siehe Seite 15). Wenn unterschiedliche medizinische Daten auf einer IT-Plattform miteinander verknüpft werden, kann das für Diagnose und Therapie große Vorteile bringen.





Die Steuereinheit für die Handprothese (oben) wird in den Unterarm implantiert. Über die haarfeine Filamentelektrode, die an einem Nerv fixiert ist, erhält der Patient ein sensorisches Feedback der Prothese. *Beide Bilder © Bernd Müller*

Data

Ein Büro im Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin MEVIS in Bremen. Dr. Jan Klein beugt sich über den Rechner und holt per Mausklick ein Bild auf den Monitor – die CT-Aufnahme eines menschlichen Kopfs. »Hinten ist das Kleinhirn, vorn sieht man die Zähne«, erklärt der Informatiker. »Und das, was farbig markiert ist, ist die Ohrspeicheldrüse.« In der Klinik hilft eine solche Markierung, die Strahlentherapie bei Kopf-Hals-Tumoren zu planen: Um Nebenwirkungen wie Mundtrockenheit zu minimieren, soll die Drüse möglichst wenig mitbestrahlt werden.

Auf dem Bildschirm von Jan Klein wird das kleine Organ gleich von zwei Linien umgrenzt: Die gelbe wurde von einem Arzt ins Bild eingetragen. Die grüne hat einen Lernalgorithmus basierend auf einem neuronalen Netzwerk berechnet. Trainiert mithilfe von 450 Referenz-Datensätzen, lernt es ganz von selbst, woran es bestimmte Strukturen in Bildern erkennen kann – mit Erfolg. »Wie Sie sehen, liegen beide Linien dicht beieinander«, sagt Klein. »Oft ist unser Programm sogar besser als ein Arzt, denn im Klinikalltag müssen die Mediziner das Einzeichnen meist unter Zeitdruck erledigen.«

Verknüpfung medizinischer Daten

Diese automatische Segmentierung – das Erkennen und Markieren eines bestimmten Organs in einer Bildaufnahme – ist ein kleiner Teil eines umfassenden Projekts: Mit »QuantMed« schaffen die Fraunhofer-Forscher die technologischen Grundlagen für eine IT-Plattform, die der Medizin wertvolle Dienste

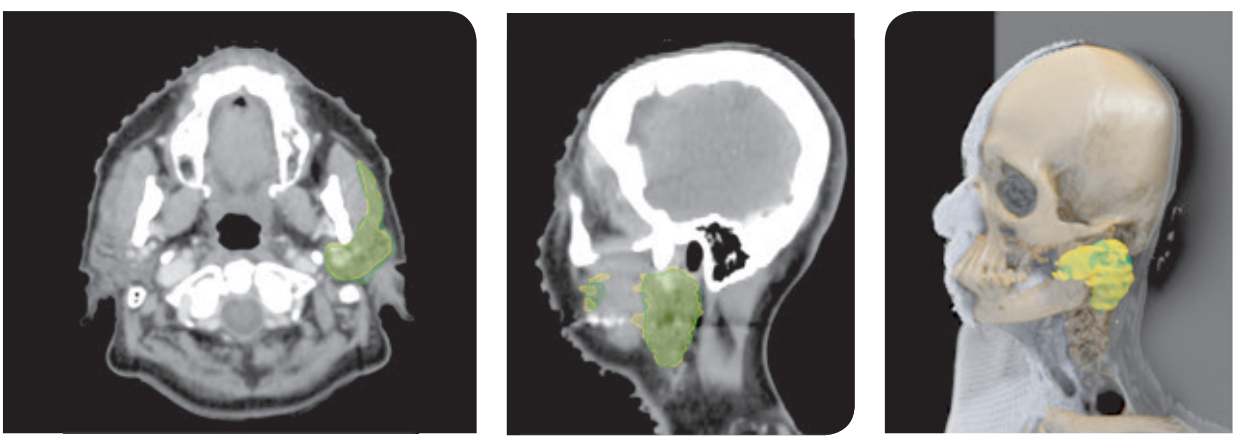
Der Medical Data Space - ein sicherer Datenraum für die Medizin

In der Medizin werden ständig riesige Mengen an Daten gesammelt, in Forschungslabors genauso wie in Kliniken oder bei den Krankenkassen. Um das Potenzial dieser wertvollen Datenbestände nutzbar zu machen, entwickelt die Fraunhofer-Gesellschaft den Medical Data Space – einen Datenraum, in dem sensible medizinische Daten sicher miteinander verknüpft werden können.

Als Basis dient der Industrial Data Space, der von Fraunhofer mit Wirtschaft und Politik entwickelt wurde. Er ermöglicht Industrieunternehmen einen sicheren Datenaustausch und garantiert ihnen gleichzeitig die Souveränität über ihre Daten.

Bei der Konzeption des Medical Data Space stehen die Persönlichkeitsrechte der Patientinnen und Patienten an oberster Stelle. Analog zum Industrial Data Space werden die Daten nicht zentral in einer Cloud gespeichert, sondern verbleiben bei den jeweiligen Eigentümern. Das schafft zusätzliche Sicherheit.

www.fit.fraunhofer.de/de/fb/life/medical-data-space.html



Auf der CT-Aufnahme umgrenzen zwei Linien die Ohrspeicheldrüse. Die gelbe hat ein Arzt markiert. Die grüne wurde von einem Lernalgorithmus berechnet. © *Fraunhofer MEVIS*

leisten soll. Das Ziel: »Wir arbeiten an einer digitalen Infrastruktur, die unterschiedliche medizinische Daten miteinander verbindet«, sagt Institutsleiter Prof. Horst Hahn. »Konkret verknüpfen wir Bilddaten aus MR-Scannern und Röntgengeräten mit anderen klinischen Informationen, etwa mit Blutwerten, genetischen Daten und digitalisierten Gewebeschnitten.«

Diese komplexen, miteinander verwobenen Datensätze werden dann von lernfähigen Programmen, den Deep-Learning-Algorithmen, nach aussagekräftigen Mustern durchforstet. Die Ergebnisse dieser Analysen sollen die Ärzte gleich in mehrfacher Hinsicht unterstützen – etwa bei der Identifikation einer Hirnblutung, bei der patientenschonenden Tumorbestrahlung und bei der Frage, welches Medikament für eine Chemotherapie das aussichtsreichste sei. Die Fachleute sprechen von »Radiomics«: Die computergestützte Kombination von Bildaufnahmen und klinischen Daten soll helfen, den Therapieerfolg genauer vorhersagen zu können.

Gehirnblutungen automatisch erkennen

Basis der neuen Technologie sind einzelne Knotenpunkte, die »Knowledge Nodes«, die wertvolle Informationen aus den Datensätzen ableiten können. »Ein solcher Knoten kann zum Beispiel in einer Klinik stehen«, beschreibt Klein. »Unsere Lernalgorithmen arbeiten vollkommen autonom, sodass keine sensiblen Patientendaten nach außen gelangen.«

Dennoch können sich verschiedene Nodes über einen »Hub« austauschen – einen Rechenknoten, der das Lernalgorithmus-Wissen aus mehreren Kliniken validiert, kombiniert und verbessert. »Dadurch ließe sich beispielsweise das automatische Erkennen und Klassifizieren von Gehirnblutungen auf CT-Bildern optimieren«, erläutert Klein. »Für den Arzt wäre das eine Erleichterung, er muss diese zeitraubende Aufgabe nicht mehr selbst erledigen, sondern nur noch das Resultat des Computers überprüfen.«

QuantMed startete im Oktober 2016. Beteiligt sind Kliniken, Klinikverbünde, eine Fachgesellschaft und Unternehmen. »Zur Halbzeit des Projekts ist die erste Version des Systems fertig, jetzt gehen wir in den Testbetrieb«, sagt Hahn. »Am Ende soll eine einsatzfähige Infrastruktur stehen, mit der Kliniken und Forschungseinrichtungen routinemäßig neues Wissen aus großen Datenmengen ableiten können.«

Wir haben vier Teams besucht. Jedes arbeitet an völlig unterschiedlichen Projekten. Doch eines haben sie gemeinsam: Sie kooperieren unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft mit Expertinnen und Experten anderer Fachdisziplinen. Dabei arbeiten Ärzte, Naturwissenschaftler, Ingenieure und Informatiker über die Grenzen des eigenen Fachgebiets zusammen – und verknüpfen die 4D im Fraunhofer-Netzwerk. ■

»Wir können die Schnittstellen in der Gesundheitsforschung besetzen«

Prof. Gerd Geisslinger ist Gesundheitsforschungs-Beauftragter der Fraunhofer-Gesellschaft. Im Gespräch mit »weiter.vorn« erläutert er, warum Fraunhofer dazu prädestiniert ist, die Probleme in der Gesundheitsforschung anzugehen und die vier großen Themenfelder - Drugs, Diagnostics, Data und Devices - optimal miteinander zu verknüpfen.

Interview: Christine Broll

Warum richtet die Fraunhofer-Gesellschaft einen Fokus auf die Gesundheitsforschung?

Zu den größten volkswirtschaftlichen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte gehören die stetig steigenden Kosten im Gesundheitswesen. Die Gesundheitsausgaben in Deutschland haben im Jahr 2016 erstmals die Marke von einer Milliarde Euro pro Tag überschritten. Für 2017 prognostiziert das Statistische Bundesamt einen Anstieg um circa fünf Prozent gegenüber dem Vorjahr. Damit steigen die Gesundheitsausgaben viel schneller als das Bruttoinlandsprodukt, was zu erheblichen Problemen bei der Gesundheitsversorgung führen wird.

Wie kann die Gesellschaft diesen Problemen begegnen?

Die Entwicklung innovativer und gleichzeitig kostenintelligenter Verfahren in der Gesundheitsversorgung wird insbesondere durch Innovationen ermöglicht, die durch Konvergenz an den Schnittstellen der wissenschaftlichen Disziplinen entstehen. Nur mit neuartigen Kooperationsformaten kann die Translation neuer, kosteneffizienter Ideen in die Anwendung gelingen. Dabei beobachten wir derzeit allgemein eine beginnende Kooperation zwischen den vier großen Bereichen Drugs, Diagnostics, Data und Devices, den 4D. Gegenwärtig sind nur anwendungsorientiert forschende und stark interdisziplinär operierende Organisationen wie die Fraunhofer-Gesellschaft in der Lage, die notwendige Bandbreite technologischer Disziplinen für kosteneffiziente Innovationen abzudecken und zu kombinieren.

Wie kann Fraunhofer die 4D zusammenbringen?

Für mich repräsentieren die 4D im Endeffekt auch vier Berufsgruppen: Ärzte, Naturwissenschaftler, Informatiker und Ingenieure. Bei Fraunhofer arbeiten diese Berufsgruppen wie bei keiner anderen Forschungsorganisation unter einem Dach zusammen und besetzen damit die Schnittstellen zwischen den 4D. Das verschafft Fraunhofer in der Gesundheitsforschung eine hervorragende Ausgangsposition.

Inwieweit engagiert sich Fraunhofer bereits heute in der Gesundheitsforschung?

Fraunhofer ist bislang trotz seiner innovativen Lösungen als wichtiger Player in der Gesundheitsforschung zu wenig sichtbar, obwohl man sich in der translationalen Gesundheitsforschung keineswegs verstecken muss. Immerhin beschäftigen sich 45 der 72 Fraunhofer-Institute mit diesem Thema. Rund 15 Prozent des Forschungs- und Entwicklungsbudgets von Fraunhofer fließen in Projekte der Gesundheitsforschung. Das Spektrum reicht dabei von der Prävention über Diagnostik und Therapie bis hin zur Pflege.

Wie sollen die vorhandenen Kompetenzen gebündelt werden?

Die Gesundheitsforschung zu stärken, ist ein wichtiges Anliegen des Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Reimund Neugebauer. Wir setzen den neuen Geist der Kooperation entlang der 4D auf vielen Ebenen um. Dazu gehören unter anderem Stiftungsprojekte und Leistungszentren, bei denen wir eng mit der Universitätsmedizin zusammenarbeiten. Ein Beispiel ist das Leistungszentrum für Translationale Medizintechnik in Hannover.

Im Januar wurde der Fraunhofer-Cluster of Excellence für immunmediierte Erkrankungen gegründet, in dem die 4D in einem virtuellen Institut abgebildet werden. Darüber hinaus läuft zurzeit die Ausschreibung für ein Leitprojekt zum Thema kostenintelligente Lösungen in der Medizin. Indem wir die 4D systematisch zusammenbringen, kann die anwendungsorientierte Forschung einen hohen Mehrwert erzielen. ■

© Fraunhofer IME

Prof. Gerd Geisslinger

ist Direktor des Instituts für Klinische Pharmakologie am Klinikum der Goethe-Universität in Frankfurt am Main. Daneben leitet er das LOEWE-Zentrum für Translationale Medizin und Pharmakologie und ist Sprecher der gleichlautenden Fraunhofer-Projektgruppe.

Seit 2017 ist Geisslinger kommissarischer geschäftsführender Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME. Im gleichen Jahr wurde er zum Gesundheitsforschungs-Beauftragten der Fraunhofer-Gesellschaft ernannt.

www.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsfelder/gesundheit-umwelt.html

Der »Apoll vom Belvedere« wird im Mittelaltersaal der Liebieghaus Skulpturensammlung in Frankfurt am Main vom mobilen Digitalisierungslabor CultLab3D des Fraunhofer IGD gescannt. © *Liebieghaus Skulpturensammlung*

Naturserum für längere und dichtere Wimpern

Ansprechpartnerin: sandra.mehlhase@iap.fraunhofer.de

Ein neuartiges Serum, das Wimpern zum Wachsen bringt, wurde am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam-Golm entwickelt. Es ist wesentlich günstiger als herkömmliche Wimpernseren, sehr gut verträglich und zudem ein reines Naturprodukt.

Wimpernseren, die für längere und dichtere Wimpern sorgen, basieren bislang in der Regel auf dem Gewebshormon Prostaglandin. Kritische Stimmen raten jedoch zur Vorsicht im Umgang mit diesen Kosmetika. Das Forscherteam des IAP hat daher eine Zusammensetzung entwickelt, deren Wirkstoff rein pflanzlich ist. Zwar wachsen die Wimpern etwas langsamer, dafür konnten bisher keine Nebenwirkungen verzeichnet werden.

Das Institut ist aktuell im Gespräch mit Firmen, die das Produkt gern herstellen würden. Im günstigsten Fall könnte das Serum in einem Jahr auf dem Markt sein.

Europäisches Kulturerbejahr 2018

Ansprechpartnerin: johanna.leissner@zv.fraunhofer.de

2018 hat die Europäische Union erstmals dem Kulturerbe ein Europäisches Themenjahr gewidmet. Ziel ist es, in der jungen Bevölkerung das Bewusstsein für die soziale und wirtschaftliche Bedeutung des kulturellen Erbes zu stärken.

In der Forschungsallianz Kulturerbe bündelt Fraunhofer fachübergreifende Kompetenzen, um neue Verfahren und Methoden für die Restaurierung und Konservierung von Kulturgut zu entwickeln und zu erproben.

Anlässlich des Europäischen Jahres des Kulturerbes entsteht zudem Ende 2018 im Fraunhofer-Forum in Berlin ein virtuelles Museum, das Expertise und Exzellenz von Fraunhofer virtuell und interaktiv erfahrbar macht. Weitere Stationen werden München und Dresden sein.

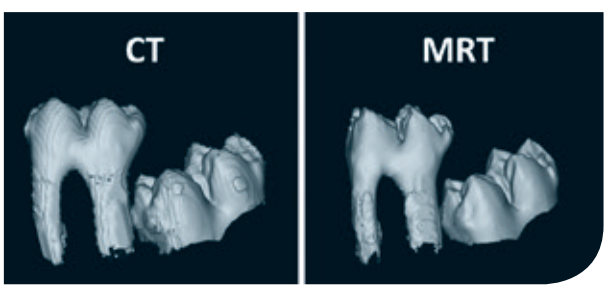
Kiefer-Untersuchungen ohne Röntgen

Ansprechpartner: thoralf.dietz@iis.fraunhofer.de

Zur eindeutigen Diagnose vieler Krankheiten, gerade auch in der Kieferorthopädie, werden häufig Röntgenuntersuchungen eingesetzt. Da das Hauptklientel für kieferorthopädische Untersuchungen Kinder und Jugendliche sind, haben Forschende nach alternativen Untersuchungsmethoden ohne Strahlenbelastung gesucht.

In einer wissenschaftlichen Studie des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS und des Universitätsklinikums Erlangen zeigten die Forscherinnen und Forscher, dass die Magnetresonanztomographie (MRT) in vielen Bereichen der Kieferorthopädie genauso erfolgreich eingesetzt werden kann wie die bisher üblichen Verfahren mit ionisierender Strahlung. So soll künftig beispielsweise die Position von verlagerten oder ungünstig gelagerten Zähnen ohne Röntgenstrahlung diagnostizierbar sein.

Die Studie zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Aufnahmen der Magnetresonanztomographie (MRT) ohne Röntgenstrahlung und der Computertomographie (CT) gibt. © *Fraunhofer IIS*

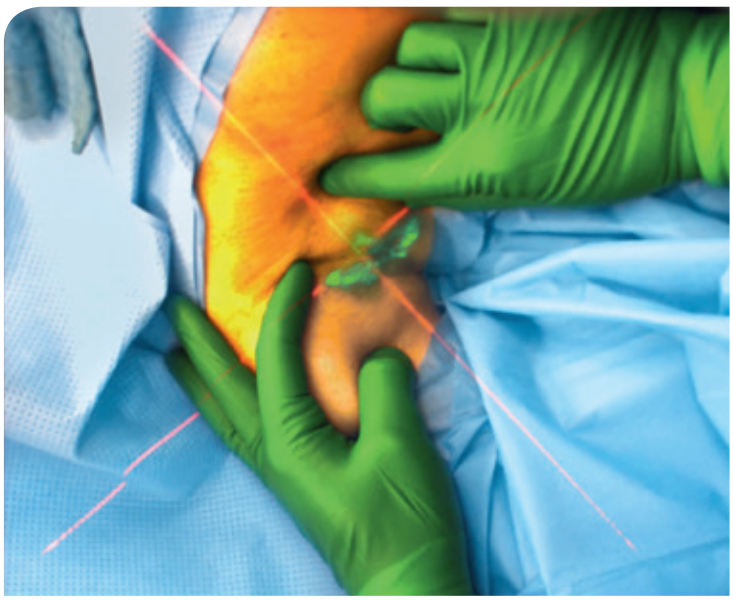


Augmented Reality im OP

Das neue AR-System 3D-ARILE birgt einen entscheidenden Zeitvorteil. Nach dem Spritzen des Infrarot-Farbstoffs Indocyaningrün sind die relevanten Lymphknoten sofort sichtbar. *©Trivisio / Lux Prototyping*

Bösartige Tumore bilden häufig Metastasen, die sich über das Lymphknotensystem im Körper ausbreiten. Es verlangt von Ärzten viel Geschick, präzise die Lage solcher Knoten zu bestimmen und sie komplett zu entfernen. Eine Navigationshilfe erleichtert Medizinern jetzt den Eingriff.

Text: Britta Widmann



Die Position des Lymphknotens wird während der OP über eine AR-Brille virtuell eingeblendet. © *Fraunhofer IGD*

Die Zahl der Hautkrebsbehandlungen in Krankenhäusern hat nach Angaben des Statistischen Bundesamts in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Besonders gefürchtet ist der schwarze Hautkrebs, das maligne Melanom. Die Krebszellen können von der Lymphe in die Lymphknoten transportiert werden. Dort wachsen dann Tochtergeschwülste heran, die Metastasen. Betroffen sind zunächst Schildwächterlymphknoten. Diese liegen im Abflussgebiet der Lymphflüssigkeit eines bösartigen Tumors an erster Stelle. Sind sie mit Krebszellen befallen, haben sich wahrscheinlich bereits weitere Metastasen gebildet. Daher spielen Schildwächterlymphknoten bei der Diagnose und Therapie bestimmter Krebsarten wie dem Haut-, dem Brust- und dem Prostatakrebs eine entscheidende Rolle. Ärzte untersuchen die Knoten nach dem Herausschneiden des Tumors, um zu prüfen, ob er bereits gestreut hat.

Datenbrille hilft beim Lokalisieren der Knoten

Trotz neuer Erkenntnisse in der Medizin ist es für Ärzte während einer Operation noch immer problematisch, die exakte Lage von Schildwächterknoten auszumachen und zu erkennen, ob der Lymphknoten tatsächlich vollständig entfernt wurde. Die neuartige Navigationshilfe 3D-ARILE aus dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt hilft den Medizinern beim Entfernen der Knoten.

Das Augmented-Reality-System in Form einer Datenbrille unterstützt Ärzte mithilfe von Markierungen dabei, die Lymphknoten zu lokalisieren. Das Besondere: Die AR-Brille funktioniert in Kombination mit einer leistungsstarken Software zur medizinischen Navigation, mit einem Stereosystem aus Nahinfrarotkameras (NIR) und dem Fluoreszenzfarbstoff Indocyaningrün (ICG). »Um den betroffenen Lymphknoten sichtbar zu machen, wird dem Patienten ein Fluoreszenzfarbstoff in die direkte Umgebung des Tumors gespritzt, der sich über die Lymphbahnen verteilt und im Wächterlymphknoten sammelt«, erklärt Dr. Stefan Wesarg, Abteilungsleiter am IGD. Licht aus Infrarot-LEDs regt den Farbstoff zur Fluoreszenz an. Die NIR-Kameras erfassen die Fluoreszenz und rekonstruieren den betroffenen Lymphknoten in 3D. Dessen Position wird dem Arzt in Echtzeit ortsgenau in der Datenbrille eingeblendet. Die dafür erforderliche Software ist eine Entwicklung der Darmstädter Forscherinnen und Forscher. »In unserem Fall ist das erkrankte Gewebe grün dargestellt. Der Arzt kann durch die Einfärbung feststellen, ob er tatsächlich alles Nötige herausgeschnitten hat«, sagt Wesarg.

Patienten schonend behandeln

Bislang verwenden Ärzte das radioaktive Nanokolloid Technetium 99m als medizinischen Tracer. ICG soll diese schädliche Markierungssubstanz ersetzen, Patienten können somit wesentlich schonender behandelt werden. Auch der Zeitfaktor spielt eine entscheidende Rolle: Beim Einsatz des radioaktiven Markers strahlt der Lymphknoten nur schwach. Daher waren bislang Aufnahmen mit Szintillationskameras erforderlich, die etwa 30 Minuten dauerten, um die exakte Lage des Lymphknotens zu erfassen. Die Datenbrille hingegen blendet den befallenen Knoten sofort ein – eine große Erleichterung für den Operateur, der nicht auf einen zusätzlichen Monitor schauen und die Darstellung am Bildschirm mit dem Kamerabild abgleichen muss. »Der Arzt kann sich ganz auf den Patienten konzentrieren und so stressfreier operieren«, sagt Wesarg.

Ein weiterer Vorteil: Die AR-Brille ist sehr leicht und zeichnet sich durch einen hohen Tragekomfort aus, wie die Ärzte der Dermatologie der Universitätsklinik Essen nach zahlreichen Tests bestätigten. Alle Projektpartner waren bei der Entwicklung des Systems im engen Austausch, um die Navigationshilfe optimal an die Bedürfnisse des Operateurs anzupassen.

Das Augmented-Reality-System ist eine Kombination aus Hard- und Software. Die Hardware wurde von der Trivisio Prototyping GmbH entwickelt. Für die Entwicklung der Software waren die Forscher vom IGD verantwortlich. Die Arvyss GmbH wird das zum Patent angemeldete System auf den Markt bringen. ■

Freiform: Qualitätssprung bei optischen Systemen

Für die Optikbranche könnte dies der Beginn einer neuen Ära sein: Optische Freiformsysteme ermöglichen völlig neue Anwendungen und Funktionen.

Text: Mehmet Toprak

Rund drei Jahre haben Dr. Ramona Eberhardt (dritte von links) und ihre Projektpartner an der Entwicklung neuer optischer Freiformsysteme gearbeitet. Neben dem Fraunhofer IOF waren zehn Industriepartner und die Universität Jena an dem Projekt beteiligt.
© *Fraunhofer IOF*

Nahaufnahme vom hochpräzisen Polieren einer freiformoptischen Komponente. © *Fraunhofer IOF*

Experten des Fraunhofer IOF justieren unter Reinraumbedingungen ein freiformoptisches System.
© *Fraunhofer IOF*

Dr. Matthias Beier vom Fraunhofer IOF bei der Arbeit an einer ultrapräzisen Bearbeitungsmaschine für Freiformoptiken.
© *Fraunhofer IOF*

Das Phänomen Licht, im landläufigen Verständnis der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung, ist in Wissenschaft und Forschung, Industrie und Gesellschaft nahezu omnipräsent. Technische Lösungen, die mit Licht arbeiten, finden sich überall: Mikroskope oder Teleskope in der Forschung, LED-Scheinwerfer im Auto, Laser in der Industrie, Glasfaserkabel in der Telekommunikation, Digitalkameras für Fotografen, Virtual-Reality-Brillen bei Computerspielen – alle diese Anwendungen nutzen Licht als Medium oder Energieträger.

Weltweit versuchen Universitäten und Forschungseinrichtungen, das Phänomen Licht noch besser zu verstehen und neue Anwendungen zu entwickeln. Ganz vorne mit dabei ist das Fraunhofer-Institut für angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena.

Gemeinsam mit zehn Industriepartnern und der Universität Jena hat ein Forscherteam eine Innovation entwickelt, die den Weg für eine Reihe neuer Anwendungen öffnet. Das Stichwort lautet freiformoptische Systeme. Bisher war die Optik auf sphärische (Teil einer Kugel) oder asphärische (abweichend von einer Kugelform) Formen begrenzt. Die Entwicklung dieser gleichmäßig geformten rotationssymmetrischen Optiken und Linsen ist ziemlich ausgereizt, es wird immer aufwendiger, neue Funktionen und Anwendungen zu realisieren. Es besteht hoher Bedarf an frei formbaren Optiken.

Frei formbare Oberflächenprofile ermöglichen neue Funktionen bei verbesserter Abbildungsqualität. So kann beispielsweise eine Optik in einem Teleskop über mehrere Brennweiten verfügen, ohne dass dazu mehrere Linsengruppen und Einzellinsen verbaut werden müssen. Das spart Material, Gewicht und Platz. Dies wiederum ermöglicht eine besonders kompakte und leichte Bauweise. Wenn weniger Einzelteile verbaut werden müssen, erleichtert und beschleunigt das natürlich auch die Fertigung.

Komplexe Zusammenarbeit der Projektpartner

Die Expertinnen und Experten am IOF haben das Potenzial freiformoptischer Systeme erforscht, innovative Lösungen vorgestellt und die Fertigungsmethoden weiterentwickelt. Vom hochpräzisen Schliff der Linsen über die Beschichtung und Vergütung der komplex geformten Oberflächen bis hin zum Polieren der Gläser konnten die Forschenden gemeinsam mit den beteiligten Industriepartnern eine Reihe technischer Herausforderungen lösen.

Dr. Ramona Eberhardt, Abteilungsleiterin Feinwerktechnik und Stellvertretende Institutsleiterin am IOF, hat das komplexe und viele Jahre dauernde Forschungsprojekt geleitet und die Zusammenarbeit aller Partner koordiniert. »Dieses große Team mit all den unterschiedlichen Kompetenzen und Interessen zusammenzuhalten, war schon eine Herausforderung«, sagt Eberhardt. Doch die mehr als 100 Meetings in drei Jahren, die ungezählten Telefonate und E-Mails, sie haben sich gelohnt. Heute beweisen Demonstratoren das Potenzial der neuen Technologie, beispielsweise als Infrarotoptik für den Feuerwehrmann, als Spezialoptik für Weltraumteleskope oder als Fahrerassistenzsystem. Durch die freiformoptischen Systeme werden neue Anwendungsszenarien realisierbar, etwa bei der Erd- und Wetterbeobachtung, in der Umwelttechnik sowie in den Bereichen Automotive und Public Safety. Projektleiterin Eberhardt nennt als aktuelles Beispiel die Nightvision-Technik am Auto: »Mit herkömmlicher Technik bräuchte man eine Vielzahl von Kameras, um alle Winkel zu erfassen. Die Freiformoptik ermöglicht den Bau von Kameras, die unterschiedliche Brennweiten und Funktionen in einem kompakten Gehäuse vereinen.« Für Mikro- und Nanosatelliten der Zukunft sind die Freiformoptiken ebenfalls ideal. Sie ermöglichen einen gefalteten Strahlengang mit weniger Linsen und sparen somit Gewicht und Platz.

Eine ganzheitliche Technologie-Plattform

Die Idee der Freiformoptik ist nicht neu, konnte sich aber bisher nicht durchsetzen. Es gab keine zusammenhängenden Prozessketten für die wirtschaftliche Fertigung entsprechender Produkte. Dies war deshalb ein zentrales Anliegen des Projekts. Unter der Leitung von Eberhardt und ihrem Team ist eine ganzheitliche Technologie-Plattform entstanden, bei der zahlreiche Industriepartner, darunter Unternehmen wie Jenoptik und Asphericon, ihr Know-how einbringen. Die vielfältigen Kompetenzen des Verbunds decken die ganze Prozesskette ab – von Entwicklung und Design über die Fertigung bis hin zur Systemintegration. Die Initiative wurde im Programm »Innovativer regionaler Wachstumskern« vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit 14,4 Mio Euro gefördert.

Im Keller des Institutsgebäudes in Jena liegen die Räume für die Fertigung. Hier stellen die Forscherinnen und Forscher Prototypen her und verfeinern ihre Fertigungsverfahren. Betreten lassen sich die Räumlichkeiten nur durch eine spezielle Schleuse. Im Inneren ist die Temperatur exakt eingestellt und geregelt, riesige Luftrohre führen zu warme oder zu kalte Luft ab.

Die empfindlichen Maschinen stehen auf Granitplatten, um selbst kleinste Erschütterungen wie beispielsweise Trittschall zu eliminieren. Sie produzieren die Systeme oder Bauteile, die die Entwickler sich ausgedacht und dann mithilfe mathematischer Modelle am PC berechnet haben. Die ultrapräzisen Diamantwerkzeuge sind in der Lage, Optiken mit einem Durchmesser von bis zu einem Meter zu bearbeiten. Besucher sind auch beeindruckt von der Poliermaschine. Sie arbeitet mit einer Polierflüssigkeit, die mit Eisenspänen angereichert ist. Diese Eisenspäne sind das flüssige Sandpapier. Durch ein Magnetfeld lassen sie sich gezielt ausrichten, um die Oberflächen zu bearbeiten.

Für die Herstellung aller Komponenten gilt: Die enge Zusammenarbeit aller Projektpartner war entscheidend für den Erfolg des Projekts. »Für eine funktionierende Freiformoptik müssen alle Partner zusammenspielen und ihre unterschiedlichen Kompetenzen einbringen«, sagt Eberhardt. Für diese Gemeinschaftsleistung haben das IOF und seine Partner jetzt den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes für Verbundforschung 2018 erhalten.

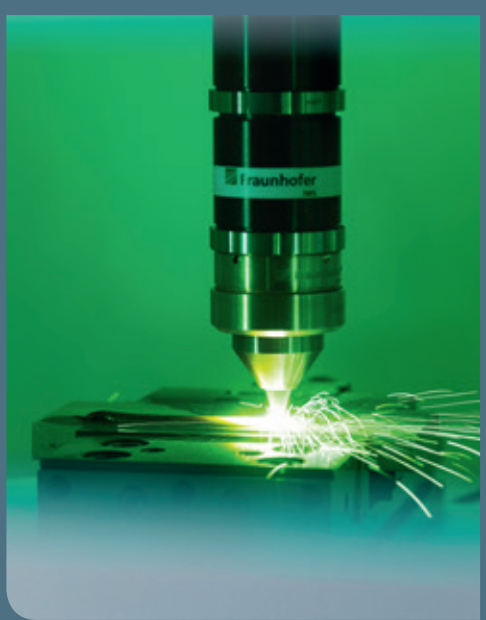
Eine gute Nachricht ist das Thema Freiform auch für die traditionsreiche Optikbranche in Thüringen: Das Projekt trägt erheblich zur Stärkung der Branche in Thüringen und der Region Jena bei. Jena wird in der Branche oft als »Optic Valley« bezeichnet und gilt als Deutschlands erste Adresse in Sachen Optik-Know-how. Mit dem Forschungsprojekt Freiform hat Jena beste Chancen, dass dies auch in Zukunft so bleibt. ■

Fraunhofer-Technologie für die Luftfahrt: Effizientere Strahltriebwerke

Dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS ist es in enger Zusammenarbeit mit einem Team des Triebwerkherstellers Rolls-Royce gelungen, die Standfestigkeit und Effizienz von Flugzeugtriebwerken zu verbessern.

Text: Mehmet Toprak

Dr. Dan Roth-Fagaraseanu vom Industriepartner Rolls-Royce. © *Jürgen Lösel*



Additive Fertigung metallischer Bauteile durch Laser-Auftragschweißen. © *Jürgen Lösel*

Prof. Frank Brückner (links) und Mirko Riede (rechts) entwickelten additiv gefertigte Mikrostrukturen für innovative Wärmedämmschichten an Turbinenbauteilen. © *Jürgen Lösel*

Das Problem ist im Kern ganz einfach: Metall dehnt sich bei Hitze aus und zieht sich bei Kälte zusammen. Schwieriger wird es, wenn Metall und Keramik verbunden sind. Denn diese Materialien haben unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten. Wie also geht man vor, wenn man eine Verbindung aus Metall und Keramik als Dämmschicht in Flugzeugtriebwerken einsetzen muss? Also, gerade da, wo die Belastung extrem hoch ist. Bei der Verbrennung von Kerosin entstehen Temperaturen von über 2.000 Kelvin. Nach der Landung kühlen die Triebwerke schnell wieder ab. Der Wechsel von Heiß und Kalt stellt eine enorme Belastung für die Bauteile und Wärmedämmschichten dar. Diese müssen deshalb regelmäßig überprüft und gewartet werden. Wie lässt sich mit den gegebenen Materialien die Belastung senken und gleichzeitig die Haltbarkeit der Wärmedämmschichten verbessern?

So etwa lautete die Fragestellung mit der Prof. Frank Brückner und Mirko Riede vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden im Jahr 2006 konfrontiert wurden. Nun, nach jahrelanger enger Zusammenarbeit mit dem Triebwerkhersteller Rolls-Royce können die Experten einen Erfolg melden. Gemeint sind damit nicht nur ein wissenschaftlicher Durchbruch oder vielversprechende Prototypen, vielmehr haben die ersten Flugzeuge mit der Fraunhofer-Technologie bereits den regulären Flugbetrieb aufgenommen. Bei den neuen Strahltriebwerken von Rolls-Royce ist aufgrund mehrerer technologischer Maßnahmen der Kraftstoffverbrauch um bis zu zehn Prozent geringer. So sinken auch die Treibhausgasemissionen.

Im Kern basiert die von den Fraunhofer-Experten entwickelte Technologie auf filigranen, additiv gefertigten Mikrostrukturen. Diese werden zum Aufbau innovativer Wärmedämmschichten auf den Turbinenbauteilen genutzt. Bei den sogenannten TBC (Thermal Barrier Coating) werden eine metallische, oxidationsbeständige Haftvermittlerschicht und eine keramische Dämmschicht miteinander verklammert. Experimente und Simulationen haben bewiesen, dass diese TBC eine besonders effektive Dämmung im Heißgasbereich der Triebwerke bieten und zugleich robust und langlebig sind.

Entlastung von Zugspannung durch vertikale Risse

Wie oben erwähnt, bestand eines der Probleme bei der Konstruktion und Fertigung der TBC darin, die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Metall und Keramik zu beherrschen. Dadurch entstehen mechanische Spannungen in der Dämmschicht. Diese könnten zu horizontalen Rissen in der keramischen Schicht führen, die in der Folge abplatzen kann. Um das zu verhindern, haben Brückner und Riede durch die besondere Form der Mikrostruktur gezielt vertikale Segmentierungsrisse in der Keramikschicht initiiert. Das vermindert Zugspannungen im Material und wirkt so dem Entstehen der horizontalen Risse entgegen.

Was im Endergebnis nach einer logischen Idee klingt, verlangte dem Wissenschaftler-Team am IWS eine Menge Tüfteleien, Ausprobieren und Experimentieren ab. »Es hat über Jahre immer wieder Rückschläge gegeben und auch Momente, in denen wir nachts da saßen und Probleme wälzten. Aber wir wussten, dass wir bei diesem ambitionierten Forschungsprojekt weiterkommen mussten und haben es dann auch geschafft«, erklärt Frank Brückner.

Additive Fertigungstechnik mit Single-Mode-Faserlaser

Für die Produktion der filigranen Mikrostrukturen mussten die Forscher vorhandene Fertigungstechniken und Geräte weiterentwickeln. Jetzt produziert ein hochpräziser Single-Mode-Faserlaser Mikrostrukturen in einer Größenordnung von 30 Mikrometern. Deren säulenförmiger Aufbau vergrößert die Dehnungstoleranz der Dämmschicht.

Das für die Konstruktion der TBC und die anspruchsvollen Fertigungsverfahren nötige Wissen wurde nicht nur in Experimenten gewonnen. »Einen wesentlichen Anteil am Erfolg haben die Simulationen und die theoretische Modellierung, mit denen wir ergänzend gearbeitet haben. Die Wechselwirkung zwischen den modellbasierten Simulationen und den Experimenten machte es uns möglich, wichtige Erkenntnisse zu gewinnen und die Entwicklung der Anlagen und der Systemtechnik weiter zu treiben«, erklärt Mirko Riede.

Kerosinverbrauch sinkt um 10 Prozent

Die langjährige Arbeit hat sich gelohnt. Die Lebensdauer der Dämmschichten verlängert sich deutlich, die effizientere Verbrennung reduziert den Treibstoffverbrauch um zehn Prozent, auch die Treibhausgasemissionen sinken. Damit verbunden sind erhebliche Kosteneinsparungen. In Kombination mit weiteren Maßnahmen von Rolls-Royce, beispielsweise der Erhöhung der Verbrennungstemperatur auf über 2.000 Kelvin oder der verbesserten Aerodynamik des Kompressors, ergeben sich pro Jahr und Flugzeug Einsparungen von ca. 2,9 Millionen Dollar.

Zudem ist es dem gemeinsamen Team aus Fraunhofer-Forschern und Rolls-Royce-Ingenieuren gelungen, die Forschung in eine serienreife Fertigung zu überführen, die den strengen Sicherheitsstandards der Luftfahrtbranche genügt. Die Werkzeugmaschinen für den Bau der Triebwerke stehen inzwischen bei den Zulieferern von Rolls-Royce und wurden basierend auf Vorgaben des IWS hergestellt.

Für ihre wissenschaftlichen Leistungen wurden Frank Brückner und Mirko Riede gemeinsam mit Dr. Dan Roth-Fagaraseanu vom Industriepartner Rolls-Royce mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis des Jahres 2018 ausgezeichnet.

Fertigung der Triebwerke in Deutschland

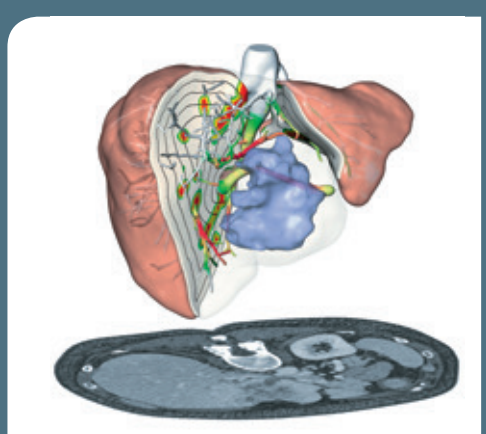
Nach ersten erfolgreichen Testflügen der Triebwerke mit Fraunhofer-Technologie im November 2015 erfolgte die offizielle Luftfahrtzulassung der European Aviation Safety Agency (EASA). Seit Februar 2018 sind Langstreckenflugzeuge wie der Airbus A350-1000 mit den neuen Triebwerken in Einsatz. Das Trent XWB-97 ist der exklusive Antrieb dieses Flugzeugmusters und das heute effizienteste Großtriebwerk der Welt. Die Fraunhofer-Experten erwarten, dass in Zukunft auch weitere Strahltriebwerke mit den innovativen Technologien aus dem IWS ausgestattet sein werden.

Um der hohen Nachfrage für die Strahltriebwerke der XWB-Serie gerecht zu werden, fertigt Rolls-Royce das Triebwerk inzwischen auch an einem Standort in Deutschland. Der Konzern hat dazu rund 100 Million Euro in Dahlewitz (Brandenburg) investiert. Dort entstand eine Smart Factory, die auch den Maßstäben von »Industrie 4.0« gerecht wird. Gemeinsam mit dem Standort im britischen Derby werden pro Woche insgesamt sieben Triebwerke gefertigt. Die 2.800 Mitarbeiter am Standort in Brandenburg können darauf vertrauen, dass ihre Arbeitsplätze gesichert sind. Auch dies ist ein Erfolg, zu dem die langjährige Forschungsarbeit am IWS einen wichtigen Baustein geliefert hat. ■

Algorithmen für die Leberchirurgie - weltweit sicherer operieren

Algorithmen, Software und Maschinelles Lernen erobern die Medizin. Eine neuartige Software berechnet chirurgische Risiken mithilfe mathematischer Modelle und erstellt detaillierte 3D-Bilder der Leberanatomie. Chirurgen können damit Krebsoperationen planen und Tumore sicherer entfernen.

Text: Mehmet Toprak



Planung und Risikoanalyse für die chirurgische Entfernung eines zentral gelegenen Lebertumors. © *Fraunhofer MEVIS*

Die drei MEVIS-Forscher mit Leber-OP-Planung und einem filigranen Ausguss-Präparat echter Lebergefäße. © *Kay Michalak*

Augmented Reality im OP: Das Tablet legt den Leber-Operationsplan in die Hände des Chirurgen. Das System unterstützt eine optimierte Behandlungsentscheidung und -durchführung. © *Fraunhofer/Junko Kimura*

Schon seit 1998 arbeiten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Bildgestützte Medizin MEVIS in Bremen an »Softwarelösungen für Risikoanalyse und Planung in der Leberchirurgie«. Was so trocken-sachlich klingt, steht für eine wissenschaftliche Leistung, die vermutlich schon vielen Menschen das Leben gerettet hat. Jährlich erkranken weltweit 750 000 Menschen neu an Leberkrebs und noch viel mehr entwickeln Lebermetastasen aufgrund anderer Krebserkrankungen. Das Forschungsprojekt am MEVIS liefert einen entscheidenden Beitrag, damit Chirurgen den tückischen Krebs sicher und erfolgreich operieren.

Mit ihrem hochkomplexen Aufbau macht es die Leber den Chirurgen nicht gerade einfach. 1,5 Liter Blut fließen pro Minute durch die Gefäßsysteme. Durch einen falschen Schnitt kann der Zu- oder Abfluss des Bluts in einzelnen Bereichen gestört und damit die Funktion des Organs beeinträchtigt werden. Schon kleine Veränderungen der chirurgischen Schnittführung können so dramatische Änderungen im Ergebnis nach sich ziehen. Die räumlichen Abhängigkeiten der komplex ineinander verschränkten Gefäßanatomie sind bei CT- oder MRT-Bildern kaum zu durchschauen.

Algorithmen helfen bei der Entscheidung

Hier setzt das MEVIS-Team um Dr. Andrea Schenk, Dr. Stephan Zidowitz und Alexander Köhn an. Sie haben eine Software entwickelt, die radiologische Aufnahmen analysiert und nicht-sichtbare Informationen mithilfe mathematischer Modelle berechnet. Die Algorithmen quantifizieren Risiken für den Eingriff und generieren eine detaillierte 3D-Visualisierung der Leber und ihrer Gefäßsysteme. Versorgungsgebiete dieser Blutgefäße wie beispielsweise der Portalvene und der Leberarterien werden berechnet und helfen, mögliche Schnittführungen zur Entfernung der Tumoren zu bewerten. Damit können Chirurgen ihre Operationen gründlich planen. Sie sehen, welche Schnitte besonders gefährlich sind, und sie entscheiden, wie sie Tumorherde inklusive der Sicherheitsränder entfernen. »Das sind aber nur Vorschläge, die Entscheidung muss der Chirurg oder die Chirurgin selber fällen«, meint Teamleiterin Andrea Schenk. Mit diesen Planungsdaten verläuft die Leberoperation effizienter und sicherer.

Die Software unterstützt auch bei der grundlegenden Entscheidung, ob eine Operation überhaupt möglich ist. Hier können Schenk, Zidowitz und Köhn auf einen großen Erfolg verweisen. »Mithilfe der Bildverarbeitungsalgorithmen sind Leberoperationen sicher durchführbar, die vorher noch als riskant oder gar als unmöglich galten«, erklärt Schenk.

Ihr ganzes Potenzial spielt die Software bei der Leberlebendspende aus. Dabei wird die Leber des Spenders geteilt, und nach der Operation müssen die beiden Teile in Empfänger und Spender funktionieren und wieder wachsen. Möglich ist dies deshalb, weil die Leber als einziges der inneren Organe in der Lage ist nachzuwachsen. Mit welchen Risiken die heiklen Schnitte durch das Gefäßsystem bei der Teilung des Organs verbunden sind, darüber geben die Bildverarbeitungsalgorithmen Auskunft.

Trotz der beeindruckenden Erfolge machen die Bremer Kollegin und Kollegen bei der persönlichen Begegnung nicht den Eindruck des überehrgeizigen Wissenschaftler-Teams, das an einer »großen Sache dran ist«. Schenk, die Vorträge an Universitäten hält und auf bisher mehr als 100 Publikationen zurückblicken kann, und ihre Kollegen strahlen vielmehr eine Mischung aus Konzentration, unaufgeregter Sachlichkeit und Gelassenheit aus.

Was Ärzte wissen wollen

Viele Kliniken sind an der Technik interessiert. Was ist bei den Vorführungen die meist gestellte Frage der Ärzte? Stephan Zidowitz schmunzelt: »Wann und wo kann ich es kriegen? Das wollen eigentlich alle Ärzte zuerst wissen.«

Entscheidend für die Qualität der MEVIS-Analyse sind nicht nur die cleveren Algorithmen, die mit Deep-Learning-Techniken noch schneller arbeiten. Wichtig ist auch der intensive Austausch mit Chirurgen, Radiologen und weiteren Experten. »Erst durch diesen Austausch haben wir gelernt, worauf es bei der Software in der Praxis ankommt und wie wir unser System verbessern können«, erklärt Köhn.

Dafür gehen die Fraunhofer-Experten auch mal in einen Operationssaal – oder treten eine lange Flugreise nach Japan an. Dort hatte die Bildanalyse vor mehr als zehn Jahren ihren Durchbruch erlebt, als Institutsgründer Heinz-Otto Peitgen den damals weltweit führenden Leberchirurgen Prof. Koichi Tanaka vom Kyoto University Hospital für die MEVIS-Technik begeisterte, der sie danach regelmäßig zur Planung seiner Operationen einsetzte.

Tablet-PC im OP

2012 ist Alexander Köhn wieder nach Japan geflogen, diesmal zur Universität Yokohama. Dabei sollte ein entscheidendes Problem der Ärzte gelöst werden: Wie bekommt man die Planungsdaten in den Operationssaal? Bisher hatten sich Chirurgen damit beholfen, Papierausdrucke im OP aufzuhängen. Der Siegeszug von Tablet-PCs brachte die MEVIS-Experten auf die Idee, die Daten über eine App auf das Apple iPad zu bringen. Das nimmt der Chirurg, steril in Plastikfolie verpackt, in den OP mit. Bei seinem Besuch in Yokohama benötigte Köhn gerade mal drei Monate, um die entsprechende App für das iPad zu schreiben.

Die App wartet mit einem besonderen Highlight auf. Sie kombiniert die Planungsdaten mit Augmented Reality. Dazu schaltet der Arzt die Kamera im iPad ein und richtet sie auf die Leber des Patienten. Das zuvor mithilfe der Algorithmen generierte 3D-Bild überlagert das Livebild der Kamera und zeigt dem Operateur die Lage der Blutgefäße und Tumoren unter der Leberoberfläche an. Zudem helfen die Planungsinformationen, die Schnittführung während der Operation anzupassen, falls das notwendig werden sollte. Die Anpassungen lassen sich mit der App vor Ort schnell bewerten.

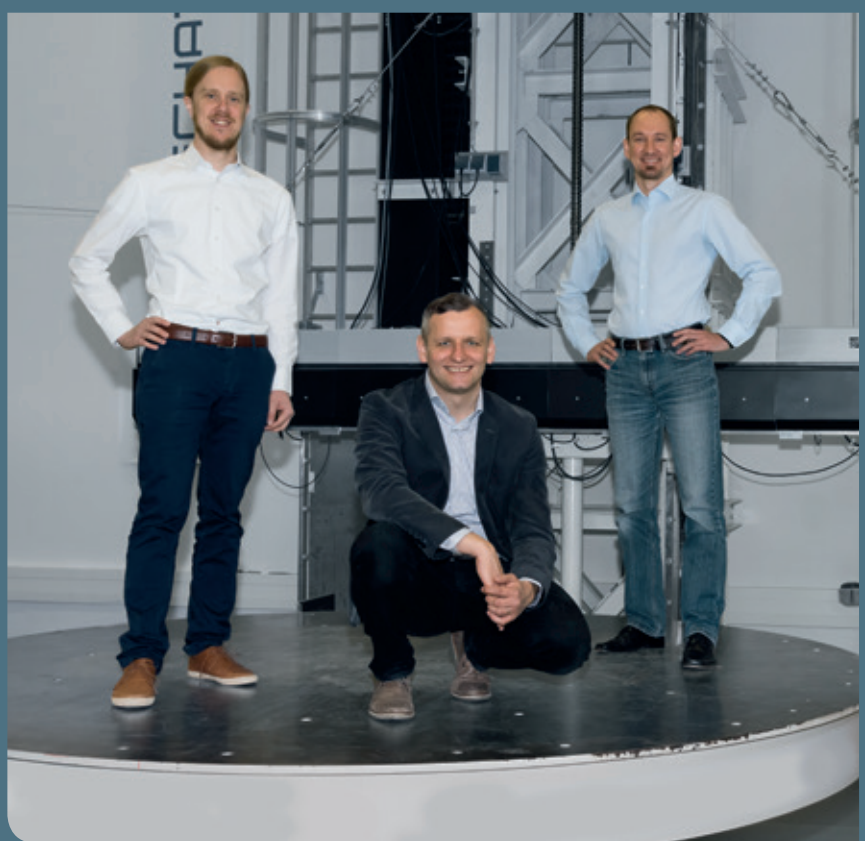
Parallel zu den Arbeiten mit dem Tablet entwickeln die MEVIS-Forscher derzeit in Kooperation mit einem Hamburger Start-up eine Anbindung an eine Datenbrille. Mit dieser werden die Planungsbilder direkt in das Sichtfeld des Chirurgen eingeblendet.

Ob mit iPad oder Datenbrille, die Fraunhofer-Technik hat sich in der medizinischen Welt längst als MEVIS-Analyse etabliert. Für ihre erfolgreiche Forschungsarbeit haben die Bremer den mit 50 000 Euro dotierten Joseph-von-Fraunhofer-Preis des Jahres 2018 erhalten. Den größten Erfolg für das Forscherteam stellen aber die Menschen dar, denen durch eine gelungene Krebsoperation geholfen werden kann. Den Medizinern und ihren Patienten werden Schenk, Zidowitz und Köhn auch in Zukunft helfen – mit cleveren Algorithmen und guten Ideen. ■

XXL-Computertomographie

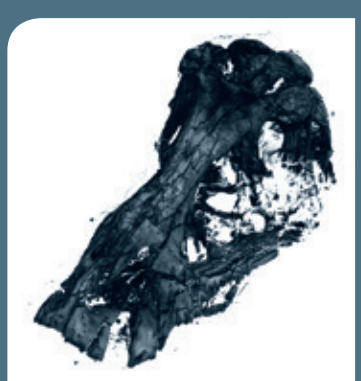
Erstmals ist es möglich, sehr große Objekte dreidimensional mit Röntgentechnik zu durchleuchten. Die XXL-Computertomographie von Fraunhofer erzeugt hochauflösende, kontrastreiche Bilder und ermöglicht beispielsweise die Analyse von Elektroautos nach einem Crashtest. Aber auch historische Relikte lassen sich durchleuchten - etwa ein Dinosaurier-Schädel.

Text: Mehmet Toprak



Die Preisträger des Fraunhofer IIS v. li. n. re: Nils Reims, Michael Salamon, Dr. Michael Böhnel. © *Fraunhofer IIS/Paul Pulkert*

Wie eine Rakete in Startposition: Mini Cabrio im »Verticage« auf dem Schwerlastdrehteller. © *Fraunhofer IIS*



Röntgencomputertomographie eines T.-Rex-Schädels. © *Fraunhofer IIS/ Naturalis Biodiversity Center*

Dr. Michael Böhnel wirft einen letzten prüfenden Blick auf die riesige Anlage. Ein Vorserienfahrzeug steht senkrecht auf einem Schwerlastdrehteller. Der Aufbau erinnert an eine Rakete beim Start. Nebenan im Kontrollraum blickt sein Kollege Nils Reims auf die Monitore und wartet geduldig, bis Böhnel die Halle verlassen und die schwere Strahlenschutztüre verschlossen hat. Dann startet Reims die Messung.

Herzstück des Systems ist ein großer Linearbeschleuniger, der auf einem fünf Meter hohen Turm montiert ist und Röntgenstrahlung aussendet. Der Turm auf der gegenüberliegenden Seite trägt eine groß dimensionierte Zeilenröntgenkamera, die über ein spaltförmiges Sensorfeld von vier Metern Breite verfügt und mit 10 000 Pixel auflöst. Zwischen dem Linearbeschleuniger und der Röntgenkamera steht das Auto auf dem Drehteller. Präzise und absolut synchron gleiten Beschleuniger und Kamera in einer vertikalen Bewegung von unten nach oben und tasten das Auto Zeile für Zeile ab. Der Linearbeschleuniger sendet Röntgenblitze mit bis zu neun Megaelektronenvolt aus. Die Hochenergiestrahlen passieren die komplexe Struktur des Autos. Sogar den dichten Motorblock durchdringen sie und treffen dann abgeschwächt auf das Sensorfeld der Kamera. Der Scanvorgang kann – abhängig von erforderlicher Bildqualität und Objektbeschaffenheit – viele Stunden oder gar Tage in Anspruch nehmen. Der Lohn für die aufwendige Hightech-Prozedur: gestochen scharfe, kontrastreiche und hochauflösende Bilder in 3D, die jedes Detail aus dem Innenleben des Objekts offenlegen.

Die größte CT-Anlage der Welt

Bisher war die Computertomographie (CT) wegen der üblicherweise begrenzten Strahlenenergie von wenigen Hundert Kiloelektronenvolt (keV) auf kleinere und leicht zu durchdringende Objekte beschränkt. Die XXL-Technologie, die das Forscherteam mit Gruppenleiter Michael Salamon, Nils Reims und Dr. Michael Böhnel am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in mehrjähriger Arbeit entwickelt hat, bedeutet einen großen Fortschritt. Erstmals ist es möglich, auch sehr große Objekte mit komplexen Strukturen zu durchleuchten und daraus detaillierte 3D-Datensätze zu generieren. Die Anlage beherrscht die Analyse von bis zu zehn Tonnen schweren Objekten und ist damit das zurzeit größte CT-System der Welt.

Crashtest im Röntgenbild

Das XXL-CT-System ist ideal, um beispielsweise Elektroautos nach einem Crashtest zu untersuchen. Bisher musste man die Objekte erst aufwendig zerlegen, um Aufbau und Innenleben analysieren zu können. Durch die zerstörungsfreie Röntgentechnik lassen sich Struktur und Materialien des Objekts im Detail am Bildschirm analysieren.

Die Qualität der 3D-Bilder hat auch Skeptiker überzeugt. Michael Salamon erklärt: »Man hat früher geglaubt, dass die Strukturen im Hochenergiebereich nicht mehr erkennbar seien, weil Materialien mit niedriger Absorptionsrate von denen mit hoher Absorptionsrate sozusagen überschattet werden. Viel kV macht grau, das war die landläufige Meinung. Das hat sich aber nicht bewahrheitet.«

Um 3D-Röntgenbilder in der gewünschten Qualität zu erhalten, mussten die Forscher das System weiter optimieren. So haben sie gemeinsam mit dem Industriepartner MT Mechatronics den Schwerlastdrehteller sowie die Hubeinrichtungen für Linearbeschleuniger und Kamera entwickelt. Der Antrieb des Drehtellers war ursprünglich für Radioteleskope gebaut worden. Er positioniert tonnenschwere Objekte mit einer Genauigkeit von einem Zehntel Millimeter. Eine weitere Herausforderung bei XXL-Messungen ist der Umgang mit riesigen Datenmengen: Bereits ein Scan kann mehrere Hundert Gigabyte beanspruchen. Solche Datenberge sind schwer zu bewältigen und benötigen nicht nur viel Speicherplatz, sondern auch viel Mess- sowie Rechenzeit für Rekonstruktion und Bearbeitung. Die langjährige Expertise des IIS im Bereich der Steuerungssoftware und Algorithmik ermöglichte den Experten, die Röntgendaten mit einem hohen Grad an Automatisierung zu erfassen und effizient zu verarbeiten.

Ein wichtiger Aspekt beim Bau der neun Millionen Euro teuren Anlage war die Sicherheit. Zahlreiche Videokameras und ein Personenzähler gewährleisten, dass sich niemand in der Halle aufhält, während der Linearbeschleuniger arbeitet. Die Wände sind bis zu drei Meter dick und mit Hochofenschlacke gefüllt, um die Strahlen zu absorbieren.

Kontrolle von Frachtcontainern

Neben dem Durchleuchten von Fahrzeugen, zum Beispiel zur Analyse von Crashstrukturen, gibt es eine Reihe weiterer Anwendungen wie die Kontrolle von Seefrachtcontainern. Schon jetzt werden in Häfen viele Container durchleuchtet – bislang allerdings noch in 2D. Durch die 3D-Technik werden auch kleine Gegenstände im Inneren der Container deutlicher sichtbar. Gerade für Sicherheitsbehörden, die nach Gefahrgütern wie Bomben oder Handfeuerwaffen fahnden, aber auch für Zollbehörden auf der Suche nach Schmuggelware liefert die Technologie einen entscheidenden Vorteil.

Neben den Industriepartnern freuen sich auch Wissenschaftler über die XXL-Computertomographie: Das Stichwort lautet Cultural Heritage. So lassen sich historische Objekte wie etwa Musikinstrumente durchleuchten, bei denen ein Aufschneiden und Zerlegen nicht infrage kommt. Die Forscher hatten beispielsweise einen Flügel aus dem 19. Jahrhundert und einen BMW 328 Wendler auf ihrem Drehteller. In einer spektakulären Aktion durfte das Team einen 66 Millionen Jahre alten Dinosaurierschädel durchleuchten. Während der Prozedur blieb der Schädel des Tyrannosaurus Rex in einer Kiste mitsamt dem ihn umgebenden Erdreich, in dem Paläontologen ihn gefunden hatten. Nach einer Untersuchung der CT-Bilder konnten die Wissenschaftler den Saurierschädel behutsam von der Erdschicht befreien.

Nun planen die Fraunhofer-Experten den nächsten Schritt, die Gantry-CT. Hierbei bleibt das Objekt unbewegt stehen. Stattdessen umkreisen Linearbeschleuniger und Kamera das Objekt. Ein Prototyp der futuristisch anmutenden Anlage entsteht derzeit in Zusammenarbeit mit MT Mechatronics und der Technischen Universität Kaiserslautern. Von den Forscherinnen und Forschern wird die Gantry-CT in Anspielung auf eine bekannte Science-Fiction-Serie schon jetzt liebevoll »Stargate« genannt. Vom Tyrannosaurus Rex zurück in die Zukunft – eine Reise ganz nach dem Geschmack der Fraunhofer-Forschenden. ■

Biomasse effizient nutzen

Da große Waldgebiete und Industriestandorte meist weit voneinander entfernt liegen, wird Holz wegen des schwierigen Transports nur begrenzt als industrieller Rohstoff genutzt. Durch ein spezielles Dampftrocknungs-Verfahren, die Torrefizierung, lassen sich die Transportkosten in Zukunft wesentlich senken. Gleichzeitig entstehen bei diesem Prozess wertvolle Ausgangsstoffe für die chemische Industrie.

Text: Janine von Ackeren

Die industrielle Nutzung von Holz bietet große Chancen, Erdöl und Erdgas Schritt für Schritt zu ersetzen – und zwar sowohl in der Energieversorgung wie auch als Ausgangssubstanz für Grundchemikalien. Die Herausforderung besteht darin, mit innovativen Verfahren die Biomasse so zu behandeln, dass nachhaltige Produkte und Produktionswege entstehen.

Üblicherweise werden Waldrestholz, Schwachholz und anderes minderwertiges Holz zu Hackschnitzeln zerkleinert. Hackschnitzel sind ein wichtiger Rohstoff für die holzverarbeitende Industrie. Dort werden sie zu Pressspanplatten, Holzfaserdämmplatten, Papier und Pappe verarbeitet. Außerdem dienen sie in Heizkraftwerken und Hackschnitzelheizungen als Brennstoff.

Der hohe Wassergehalt der frischen Hackschnitzel verursacht zwei Probleme: Das Transportgewicht ist sehr hoch und die feuchte Masse lässt sich schlecht lagern. Schützt man die Hackschnitzel nicht vor Regen und Feuchtigkeit, verrottet das Material schnell.

Dreifacher Vorteil

Ein neues Verfahren, Hackschnitzel transportfähig zu machen, haben Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB nun im EU-Projekt SteamBio entwickelt – gemeinsam mit zehn weiteren Projektpartnern aus vier europäischen Ländern. »Statt die Biomasse lediglich gehäckselt zu transportieren, torrefizieren wir sie«, erläutert Siegfried Egner, Abteilungsleiter am IGB und Koordinator des Projekts SteamBio. »Das heißt: Wir erhitzen die Biomasse in einer Dampfatmosphäre ohne Sauerstoff. Von den drei Hauptbestandteilen der Biomasse – Cellulose, Lignin und Hemicellulose – treiben wir auf diese Weise einen komplett aus, und zwar die Hemicellulose.« Das Ergebnis: Das Gewicht wird erheblich reduziert, der spezifische Heizwert deutlich erhöht und das Material kann zu hochreaktivem Pulver vermahlen werden.

Die torrefizierte Biomasse ist wasserabweisend und hat ein deutlich besseres Brennverhalten, denn sie besteht nur noch aus Wasserstoff und Kohlenstoff. Für den Transport sowie die Lagerung hat das erhebliche Vorteile. Die Biomasse kann als offenes Schüttgut transportiert werden, da Regen an der Oberfläche abperlt, ohne in das Innere einzudringen. Zudem ist die torrefizierte Biomasse deutlich leichter als das unbehandelte Material – das spart erheblich Transportkosten.

Während die unbehandelten Holzhackschnitzel zäh und fest sind, werden sie durch die Torrefizierung so spröde und fragil, dass sie sich leicht zwischen zwei Fingern zerreiben lassen. Man kann sie zu Pellets pressen oder zu Staub vermahlen. Dies bietet einen weiteren Vorteil: Durch die größere Oberfläche hat der Biomasse-Staub bei der stofflichen Nutzung eine höhere

Die Pilotanlage besteht aus einem Container mit Vorlagebunker und Energiezentrale sowie einem Rahmen, in dem die Reaktoren zur Trocknung und Torrefizierung, die Vorrichtung für den Feststoffaustrag und die Kondensatoren untergebracht sind. © *Fraunhofer IGB*

Beim Projektpartner in Spanien wird die Torrefizierung verschiedener lignocellulosehaltiger Substrate untersucht, darunter Rebschnitt (links unbehandelt, rechts torrefiziert). © *Fraunhofer IGB*

Reaktivität als größere Materialstückchen. Zum anderen kann er bei der energetischen Nutzung mit Steinkohle-Staub vermischt und in die Feuerung von Kohlekraftwerken eingeblasen werden. Die Kohle ließe sich sogar bei gleicher Feuerungstechnik gänzlich durch Biomasse ersetzen.

Besonders wertvoll sind die flüchtigen Substanzen, die bei der Torrefizierung entstehen. Aus ihnen lassen sich Chemikalien gewinnen, die als Ausgangsmaterial für viele andere Industrieprodukte dienen. Diese Plattformchemikalien wurden bisher aus Erdöl oder Erdgas gewonnen, über die Torrefizierung lassen sie sich dagegen nachhaltig erzeugen. »Die Plattformchemikalien werfen bei vielen Biomasse-Materialien so viel Gewinn ab, dass sie den gesamten Torrefizierungsprozess finanzieren«, sagt Egner. Generell gilt: Je weniger verholzt die Biomasse ist, desto größer der Gewinn durch die Plattformchemikalien. Die Partner der Universität Glasgow entwickeln dafür Geschäftsmodelle.

Dampftrocknung bei über 200 Grad

Doch nun zum Prozess. Was genau geschieht bei der Wärmebehandlung? »Die Torrefizierung an sich ist kein neues Verfahren«, erklärt Bruno Scherer, Projektingenieur am IGB. »Im SteamBio-Projekt setzen wir auf die am IGB entwickelte Dampftrocknungs-Technologie, die wir für diesen Prozess angepasst haben. Wir arbeiten hier bei Temperaturen zwischen 200 bis 250 Grad Celsius.« Das Besondere an der Technologie: Die in der Biomasse enthaltene Feuchte sowie dampfförmige Reaktionsprodukte der Torrefizierung werden kontrolliert im Prozessraum gehalten und bilden selbst das Prozessmedium. »Wir arbeiten also mit überhitztem Dampf«, verdeutlicht Scherer.

Die hohe Temperatur trocknet die Biomasse und führt dazu, dass niedrig siedende organische Verbindungen flüchtig werden. Während Cellulose und Lignin als Feststoff zurückbleiben, gehen die flüchtigen Stoffe in die Gasphase über. Mithilfe spezieller Kondensatoren fangen die Forscher diese gasförmigen Substanzen auf, kühlen sie selektiv ab und gewinnen sie auf diese Weise als Flüssigkeiten zurück.

Eine Pilotanlage ist bereits im Einsatz: Sie wurde beim Projektpartner Heckmann Metall- und Maschinenbau GmbH gefertigt und dort bereits betrieben – sieben Tage die Woche rund um die Uhr. Als Biomasse wurde Buche verwendet.

Seit Januar 2018 steht die Anlage in Spanien. Hier torrefizieren Projektpartner Kiefern-, Eichen- und Buchenholz sowie Rebschnitt und Reststoffe der Olivenproduktion. »Ziel dieses Pilotversuchs ist es, die Erträge der Feststoffe und der flüchtigen Reaktionsprodukte zu charakterisieren«, sagt Egner. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für die weitere Kommerzialisierung der Technologie. ■

Lignin - das neue Erdöl?

Erst durch Lignin wird Biomasse zu Holz. Die Zellstoffindustrie jedoch kann diese Substanz nicht brauchen - sie wird verbrannt. Künftig könnte das Abfallprodukt der chemischen Industrie als Rohstoff dienen und helfen, Erdöl zu ersetzen.

Text: Janine van Ackeren

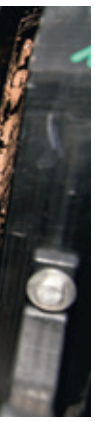
Von links nach rechts: Abfiltriertes Lignin nach der Fällung aus der Aufschlusslösung.

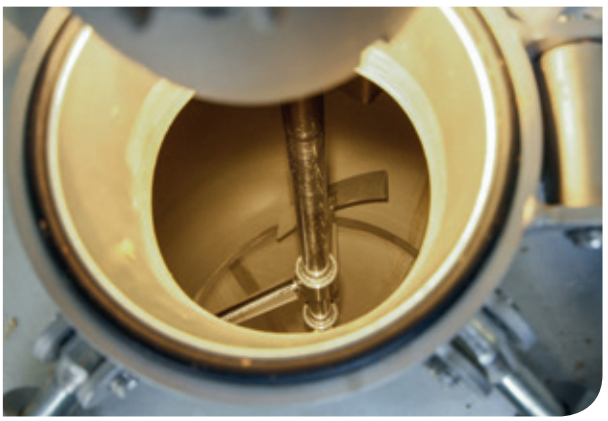
Filterpresse zur Abtrennung von Lignin.

Buchenholzhackschnitzel-Abfälle aus einem Sägewerk als Rohstoff für das Organosolv-Verfahren.

Waschtank für den Organosolv-Zellstoff.
© *Fraunhofer CBP*

Lignocellulose-Bioraffinerie-Anlage am Fraunhofer CBP, Teilanlage zur Eindampfung von Zuckerlösungen.
© *Fraunhofer CBP*





Bäume statt Erdöl? Wenn es darum geht, das Wohnzimmer muckelig warm zu bekommen, ist das nichts Neues – einen Kamin haben viele Menschen im Haus. Künftig könnte Holz jedoch vermehrt auch der chemischen Industrie als Rohstoff für Basischemikalien dienen. Interessant ist dabei das Lignin, das mit einem Massenanteil von 30 Prozent einer der Hauptbestandteile von verholzter Biomasse ist und zu den häufigsten organischen Verbindungen der Erde gehört. Das Rohstoffreservoir ist dementsprechend gigantisch: In der Zellstoffindustrie fallen weltweit jährlich etwa 50 Mio Tonnen Lignin an – als Abfallprodukt wohlgemerkt, das in den Heizkesseln von Kraftwerken landet und die benötigte Prozessenergie sowie grünen Strom für das Netz liefert.

Vom Holz bis zu den Basischemikalien

Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP wollen diesen weitestgehend ungenutzten Schatz nun heben – und das Lignin als Rohstoff der chemischen Industrie zugänglich machen, statt es zu verfeuern. »Wir bilden dabei die gesamte Prozesskette im vorindustriellen Maßstab ab: vom Holz über die Gewinnung des Lignins bis hin zu den Basischemikalien«, sagt Dr. Daniela Pufky-Heinrich, Gruppenleiterin am CBP. Üblicherweise wird das Lignin durch Schwefelverbindungen aus dem Holz herausgelöst, man spricht dabei auch von Kraftlignin. Zurück bleibt der gewünschte Zellstoff. Das Problem: Der Schwefel verunreinigt das Lignin, es eignet sich nur noch bedingt als Rohstoff.

»Wir haben daher das alternative Organosolv-Verfahren fit gemacht für den Einsatz in der Zellstoffindustrie«, sagt Dr. Moritz Leschinsky, Gruppenleiter am Fraunhofer CBP. Statt Schwefelverbindungen nutzen die Forschenden Ethanol, also Alkohol, um das Lignin bei Temperaturen von bis zu 200 Grad Celsius und Drücken von bis zu 28 Bar aus dem Holz herauszulösen. Während die Cellulose wie bisher auch als Feststoff zurückbleibt, kann das im Ethanol gelöste Lignin über verschiedene Filtrationsschritte ausgefällt werden. Der große Vorteil: Das so erhaltene Lignin ist frei von Schwefelrückständen. Die Zellstoffindustrie könnte es daher in Form von Basischemikalien verkaufen und die Wertschöpfung steigern. In der Organsolv-Pilotanlage, die am CPB aufgebaut wurde, können bereits bis zu einer Tonne Holz pro Woche verarbeitet werden.

Lignin wird bisher direkt in Polyurethanen oder Phenolharzen eingesetzt. Die Frage war: Welche weiteren Basischemikalien lassen sich aus Lignin gewinnen? Auch dafür haben die Forschenden am CBP eine Lösung entwickelt. Über eine basenkatalytische Depolymerisation spalten sie bestimmte Molekülbindungen innerhalb des Lignins auf, das größere Ligninmolekül zerfällt somit in verschiedene kleinere Basischemikalien-Moleküle. Sprich: Sie geben die Base Natriumhydroxid zum Lignin, erhöhen Temperatur und Druck – und erhalten ein Stoffgemisch aus Basischemikalien, das sie über physikalische Prozesse wie Filtration und Destillation auftrennen. »Auch hier lag die Hauptentwicklungsleistung vor allem darin, die Prozesse für den großen Maßstab auszulegen«, erläutert Pufky-Heinrich. Das ist gelungen: Die am CBP entstandene Depolymerisations-Pilotanlage kann pro Woche mehr als dreihundert Kilogramm Lignin oder mehr als drei Tonnen Ligninlösung in verschiedene Basischemikalien umsetzen.

Die Ligninaufbereitung findet sowohl in der Zellstoffindustrie als auch in der chemischen Industrie großen Anklang. Während die Zellstoffindustrie vor allem die Frage umtreibt, welche Basischemikalien sich aus dem dort anfallenden Lignin am besten gewinnen lassen, nehmen die Mitarbeiter der chemischen Industrie die erzeugten Basischemikalien genauer unter die Lupe und unterziehen sie diversen Tests. So stellen Verbundpartner aus den Basischemikalien beispielsweise hochwertige Polyurethan-Hartschäume her, die sich unter anderem als Isolationsmaterial für den Bausektor eignen. Kurzum: Der nachwachsende Rohstoff Lignin kann in vielerlei Hinsicht das fossile Erdöl ersetzen. ■

Die Umweltsicherheit von Chemikalien erhöhen

Um potenzielle Risiken für Umwelt und Verbraucher abzuschätzen, entwickeln Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Schmallenberg standardisierte Prüfverfahren zur Regulierung von Chemikalien. Sie erarbeiten unter anderem Richtlinien für die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD).

Interview: Andrea Schwendemann

Prof. Christoph Schäfers, Kommissarischer Institutsleiter des Fraunhofer IME.

Matthias Teigeler, Abteilungsleiter Ökotoxikologie am Fraunhofer IME. *© Fraunhofer IME*

Wenn eine Firma ein neues chemisches Produkt auf den Markt bringt, müssen international geltende Richtlinien eingehalten und bestimmte Testungen durchgeführt werden. Wie wichtig sind Tests nach OECD-Richtlinien?

Prof. Christoph Schäfers: Es geht für die Industrie um die regulatorische Akzeptanz. Das bedeutet, dass Firmen, die weltweit agieren, sicherstellen müssen, dass Studien, die sie machen, auch weltweit akzeptiert werden. Für OECD-Guidelines gilt die »mutual acceptance of data «, also das gegenseitige Akzeptieren von Daten und Testverfahren.

Matthias Teigeler: Das ist extrem wichtig. Die Akzeptanz bei den Behörden ist am größten, wenn Firmen Tests nach OECD-Richtlinien durchgeführt haben.

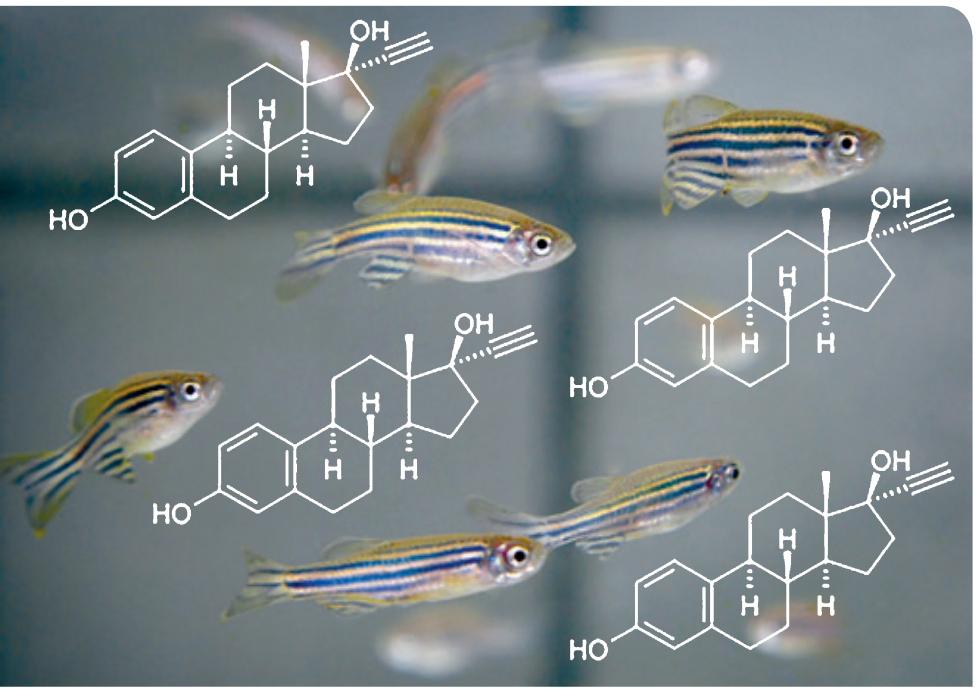
Sie bewegen sich bei Ihrer Arbeit im Spannungsfeld industrieller Produktion und gesetzlicher Regulation. Denn die Behörden schreiben die Testungen von Chemikalien vor, bevor sie auf den Markt kommen. Das ist sicher keine einfache Aufgabe?

Schäfers: Bei unserer Arbeit haben wir einige Herausforderungen zu meistern. Zum Beispiel: Sind die Organismen, mit denen wir arbeiten, repräsentativ? Wir wollen mit unseren Ergebnissen für eine große Umweltsicherheit sorgen und mit möglichst wenigen Versuchen möglichst viel herausfinden.

Teigeler: Unsere Position ist einzigartig, und sie ist eine große Chance. Wir sehen uns als Mittler, als Mediatoren zwischen Behörden und Industrie. Wir wissen, was die Behörden wollen, und wir kennen die Bedürfnisse der Industrie. Bei unserer Arbeit müssen wir aber immer neutral bleiben.

Sie beide sind Mitglieder der »OECD Fish Drafting Group« und erarbeiten Richtlinien zur Untersuchung von Chemikalienwirkungen auf Fische. Wie kann man sich diese Gremienarbeit vorstellen?

Schäfers: Wenn wir eine Idee für ein neues Testverfahren haben, das bestimmte Fragestellungen beantworten kann und nach unserer Meinung anderen Testverfahren überlegen ist, sprechen wir das Umweltbundesamt an. Wir können ja als Fraunhofer-Institut nicht selbst an die OECD herantreten. Das Umweltbundesamt vertritt als nationaler Koordinator Deutschland bei der OECD.



In der Durchflussanlage werden kontinuierlich Substanzen dem Wasser zugefügt.
© *Fraunhofer IME*

Lebenszyklustests mit Zebrabärblingen.
© *Fraunhofer IME*

Können Sie das an einem Beispiel festmachen?

Teigeler: Wir haben vor zwei Jahren gemeinsam mit dem Umweltbundesamt einen Lebenszyklustest mit dem Zebrabärbling vorgeschlagen, den »Zebrafish extended one generation reproduction test«. So ein Fischlebenszyklustest ist extrem aufwendig, das umfangreichste Testverfahren mit Fischen. Wir vom Fraunhofer IME waren als Experten bei der OECD geladen und haben zusammen mit dem Umweltbundesamt dafür plädiert, den Test in eine OECD-Richtlinie zu überführen.

Warum haben Sie dieses Testverfahren vorgeschlagen? Es gibt doch schon ein OECD-Testverfahren mit dem Japanischen Reiskärpfling.

Schäfers: Der Versuch mit dem Zebrabärbling ist deutlich artgerechter und mit erheblich geringeren Kosten zu verwirklichen. Wir müssen zum Beispiel keine aufwendige Geschlechtsbestimmung vornehmen und auch sonst weniger eingreifen. Gleichzeitig ist der Versuch ebenso empfindlich.

Wie wird so eine Anfrage in den OECD-Gremien entschieden?

Schäfers: Der Antrag wird in der zuständigen Sitzung der Gremien verhandelt. Dann werden alle nationalen Koordinatoren gebeten, dort zu kommentieren. Je mehr Zustimmung man findet und je mehr Länder Interesse bekunden, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Anfrage in den OECD-Arbeitsplan übernommen wird.

Teigeler: Neben den OECD-Mitgliedern diskutieren außerdem noch Vertreter der Industrie und Vertreter von Tierschutzorganisationen mit. Wenn eine Tierrechts-NGO zum Beispiel findet, dass bei bestimmten Versuchen zu viele Tiere eingesetzt werden, dann wird das im Gremium diskutiert. Beide Gruppen, also sowohl Industrie als auch der Tierschutz, dürfen mitdiskutieren, haben aber kein Stimmrecht.

Was bringt dem Fraunhofer IME die Arbeit in OECD-Gremien?

Schäfers: Wir nehmen an den Diskussionen teil und erfahren die Unterschiede der rechtlichen und wissenschaftlichen Kulturen der beteiligten Nationen, Industrieverbände und NGOs. Das hilft uns bei der weiteren Verbesserung von Testverfahren und erhöht unsere Glaubwürdigkeit als neutrale Wissenschaftsorganisation. Dies gilt für Richtlinien auf verschiedensten Themengebieten. So sind wir in der »OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials« vertreten, die auf die Umweltsicherheit von Nanomaterialien abzielt, aber auch in den Expert Groups »Fish Bioaccumulation« oder »Adverse Outcome Pathways«. Diese Gremien haben zum Ziel, die Anzahl an Tierversuchen deutlich zu verringern.

Teigeler: Wenn man in einem OECD-Gremium sitzt, ist das natürlich eine tolle Plattform für uns als Fraunhofer IME. Wir stehen am Ende einer Validierung dann als Autoren unter dem Papier, das ist eine hervorragende Empfehlung für uns. Der positive Sekundäreffekt ist der, dass in der Folge konkrete Anfragen von Firmen kommen, ob wir Studien für sie machen können. Sie kommen zu uns, weil sie wissen, dass wir die Expertise haben. ■

Batterien im Fokus

© istock

Leistungsfähige Batterien sind ein wichtiger Baustein für die Elektromobilität und die Energiewende. Zurzeit ist Asien Marktführer bei der Entwicklung und Produktion von Batterien. Doch Europa will und muss aufholen. Die Fraunhofer-Allianz Batterien arbeitet mit Hochdruck an zukunftsfähigen Konzepten - mit der geballten Expertise von 19 Instituten.

Text: Franz Miller

Öffentlich angekündigt werden sie immer häufiger – die »Superakkus«, mit denen Elektroautos 800 Kilometer weit fahren und in wenigen Minuten wieder aufgeladen werden können. Vorgestellt wurde noch keiner. »Es ist noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig, bis Batterien, die solche Leistungen erreichen, praxisreif sind«, gibt Prof. Jens Tübke, der Sprecher der Fraunhofer-Allianz Batterien, zu bedenken. Der erfahrene Elektrochemiker rechnet nicht mit sprunghaften, sondern mit stufenweisen Fortschritten. Allerdings hält er das Ziel von vollelektrischen Fahrzeugen mit einer Reichweite von mehr als 800 Kilometern in den kommenden Jahren für durchaus realistisch. Bis dahin gibt es viel zu tun für die Batterieforscher. Denn nach wie vor sind viele Fragen ungelöst. Wie können Energiedichte und Reichweite erhöht, Ladezeit, Gewicht und Größe reduziert sowie Sicherheit und Alltagstauglichkeit gewährleistet werden?

Anfang Februar erhöhte die EU den Druck. Auf dem »Batteriegipfel« in Brüssel forderte der EU-Kommissar für die Energieunion Maroš Šefčovič: »Wir brauchen mehr als zehn Gigafactories in Europa.« Man müsse bis Mitte des nächsten Jahrzehnts 100 Gigawattstunden Produktionskapazität bereitstellen, weil dann die Nachfrage von Elektroautos anziehen werde. Europa dürfe diesen sehr großen und profitablen Markt nicht anderen überlassen.

Doch die deutschen Branchengiganten halten sich zurück. Zu teuer und zu riskant sei der Aufbau einer Zellfertigung für Autobatterien, begründete der Autozulieferer Bosch seinen endgültigen Verzicht. Die Investitionen sind enorm, die Konkurrenz ist übermächtig, die Nachfrage unsicher und die technische Entwicklung schwer vorhersehbar. Hinzu kommt: Die asiatischen Marktführer planen bereits Fabriken in Polen und Ungarn. Volkswagen prüft noch, ob eine eigene Produktion von Batteriezellen für Elektroautos wirtschaftlich wäre. Möglicherweise springt der Autozulieferer Continental ein, der eben ein Joint Venture mit dem chinesischen Automobilzulieferer CITC verkündet hat. Bisher wollen lediglich die jungen Unternehmen Northvolt aus Schweden und TerraE aus Deutschland in Zusammenarbeit mit Industriepartnern große Zellfabriken errichten.

Kraftpaket Lithium-Ionen-Akku

Lithium-Ionen-Akkus sind die Stars unter den wieder aufladbaren Batterien, da sie ein geringes Gewicht und eine hohe Energiedichte haben. Sie werden seit Langem in Notebooks, Handys, Digitalkameras oder Akkuschraubern eingesetzt und treiben fast jedes Elektroauto und E-Bike an.

Asiatische Konzerne sind die Marktführer bei Lithium-Ionen-Zellen. Dazu gehören LG und Samsung aus Südkorea, Panasonic aus Japan sowie BYD und CATL aus China. Die deutschen Fahrzeughersteller und Zulieferer kaufen diese Zellen, setzen sie zu Batteriemodulen zusammen und versehen sie mit Steuerungselektronik. Die Batterie ist das mit Abstand teuerste Bauteil eines E-Autos. Deshalb ist der Preisdruck hier am höchsten.

»Betrachtet man nicht nur die Zelle, sondern das Gesamtsystem Batterie inklusive Kühlung, Gehäuse, Leistungselektronik und vieler weiterer notwendiger Komponenten, dann erkennt man ein beachtliches Verbesserungspotenzial«, sagt Jens Tübke. Dr. Kai-Christian Möller, der stellvertretende Sprecher der Fraunhofer-Allianz Batterien, ergänzt: »Mit der breiten Expertise und langjährigen Erfahrung von 19 Instituten decken wir die ganze Wertschöpfungskette ab, von der Entwicklung innovativer Materialien und dem optimalen Aufbau der Batteriezellen über die effiziente Fertigung bis zum sicheren Betrieb. Außerdem verfügen wir über zahlreiche Patente und Lizenzen.« Durch die konsequente Ausrichtung auf die Bedürfnisse der Industriekunden können die Fraunhofer-Institute sehr effizient maßgeschneiderte Lösungen entwickeln. Weil die Realisierbarkeit von Konzepten immer im Vordergrund steht, findet eine starke Rückkopplung zwischen Material-, Prozess- und Fertigungstechnologie statt. Lithium-Ionen-Akku ist nur der Oberbegriff für eine Vielzahl an möglichen Kombinationen von Materialien für Anode, Kathode und Separator. Meistens wird für die Kathode, also die positive Elektrode, Lithium-Cobaltoxid benutzt, aber auch Lithium-Manganoxid und Lithium-Eisenphosphat sind verbreitet. Je nach Materialkombination unterscheiden sich die Eigenschaften teilweise deutlich. »Leistungsfähige Akkus auf Lithium-Ionen-Basis haben den Markt maßgeblich um die Jahrtausendwende erobert. Richtig großformatige Zellen gibt es erst seit wenigen Jahren. Die Technologie ist also noch verhältnismäßig jung und keineswegs ausgereizt«, erklärt Jens Tübke.

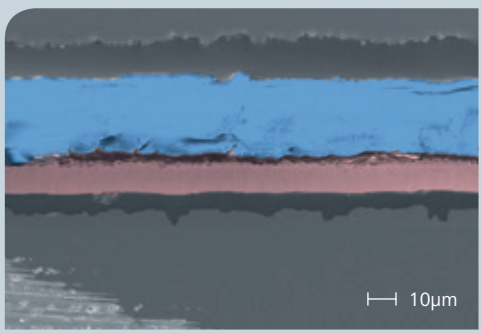
Die Entwicklung von innovativen Materialien steht am Anfang, denn sie ermöglichen höhere Speicherkapazität, Langlebigkeit und Sicherheit. »Ein aktueller Entwicklungstrend auf der Anodenseite ist zum Beispiel die Zugabe von Silizium zum heute eingesetzten Graphit, um die Kapazität zu erhöhen. Auf der Kathodenseite geht es um eine weitere Kostenreduktion der Materialien, zum Beispiel durch weitestgehenden Verzicht auf Cobalt oder auch um die Erhöhung der Kapazität durch Entwicklung nickelreicher Materialien«, beschreibt der Elektrochemiker Tübke zwei Entwicklungspfade.

Neue Generation Festkörperakku

An Festkörperbatterien, den vielbeschworenen »Superakkus«, wird weltweit fieberhaft geforscht. Bei ihnen bewegen sich die Ladungen zwischen Anode und Kathode nicht durch einen Flüssigelektrolyten, sondern durch einen Festkörper – ein Polymer, eine Keramik oder ein Glas. Das macht sie unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen, nichts kann brennen oder auslaufen. Sie können deutlich höhere Energiedichten erreichen, sind leicht und lassen sich schnell aufladen – sind also die idealen Kraftpakete für Elektroautos.

Um Konzepte für sichere und leistungsstarke Festkörperbatterien auf ihre Realisierbarkeit zu untersuchen, haben sich das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, das For-

Mehrlagiger Elektrodenstapel. © *Fraunhofer IFAM*



REM-Aufnahme der Lithium-Schicht im Querschnitt. © *Fraunhofer IWS*

20 µm dünner Lithium-Film auf vorbehandelter Kupferfolie. © *Fraunhofer IWS*

Kleinserienfertigung von Anoden und Kathoden. © *Fraunhofer ISC*

schungszentrum Jülich, die Justus-Liebig-Universität Gießen und die TU München im Projekt EvaBatt zusammengetan: Sie entwickeln und evaluieren eine Polymerbatterie, eine Polymer-Keramik-Hybrid-Batterie und eine keramische Festkörperbatterie, um eine realistische, anwendungsorientierte Einschätzung der verschiedenen Zellkonzepte abgeben zu können.

Innovative Materialien sind auch bei Festkörperbatterien der Schlüssel zur Leistungssteigerung: Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM hat neuartige Hochvoltelektroden mit hoher Zyklenstabilität entwickelt. Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC bietet innovative Dünnschicht-Elektrolyte aus Glaskeramiken an, außerdem neuartige Hybridpolymere mit größerer thermischer und chemischer Stabilität sowie hoher Ionenleitfähigkeit.

Als vielversprechend gelten auch Lithium-Schwefel-Akkus. Diese sind zwar vergleichsweise leicht, aber leider voluminös. Für den Einsatz im Automobil müssten sie noch erheblich abspecken, für Flugobjekte wie Drohnen scheinen sie prädestiniert. Das Batteriezentrum des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS hat sich auf dieses Batteriekonzept fokussiert. Dort wurden in den vergangenen Jahren Lithium-Schwefel-Zellen entwickelt und es wurde eine geschlossene und teilautomatisierte Prozesskette zur Zellfertigung aufgebaut. »Die damit hergestellten Zellen liefern schon jetzt eine spezifische Energie bis 360 Wattstunden pro Kilogramm. Das ist deutlich mehr als herkömmliche Lithium-Ionen-Zellen bieten«, sagt Dr. Holger Althues vom Zentrum Batterieforschung des IWS. Zusammen mit Projektpartnern überträgt er derzeit die Technologie auf ein größeres Zellformat und bewertet Sicherheit und Performance. Auf Basis dieser Erfahrung sollen am IWS weitere neue Batteriesysteme hergestellt und als Prototypen getestet werden. Eine Schlüsselkomponente für Batterien der nächsten Generation bildet die Lithium-Metall-Anode, die nur wenige Mikrometer dick ist. Solche Anoden ermöglichen im Vergleich zu herkömmlichen Grafitanoden einen signifikanten Schritt hin zu höheren Energiedichten. Ein neues Verfahren am IWS ermöglicht die exakte Herstellung so dünner Lithiumschichten. Die Prozesse benötigen keine aufwendige Vakuumtechnik und sind äußerst kostengünstig.

Effiziente Zellproduktion

An der Erforschung der Batteriezellproduktion arbeiten Wissenschaftler von zwölf deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammen. Der vom Bundesforschungsministerium geförderte ProZell-Cluster hat das Ziel, die Energie- und Leistungsdichte von Lithium-Ionen-Batterien signifikant zu erhöhen und gleichzeitig die Kosten zu senken. Dabei wird die ganze Abfolge der komplexen Einzelprozesse untersucht.

Vier Fraunhofer-Institute haben Vorschläge zur Prozessoptimierung. Die Fraunhofer-Institute für Siliziumtechnologie ISIT und für Keramische Technologien und Systeme IKTS arbeiten an Hochleistungskathoden. Die Optimierung von Struktur und Speicherinhalt der Kathoden ist ein wesentlicher Schritt, um die Energiedichte der Zelle zu erhöhen. Das IKTS hat neue Abscheideverfahren aus der keramischen Technologie für die Elektrodenherstellung entwickelt. Das ISIT bringt Trockenbeschichtungsprozesse ein, die für die Elektrodenherstellung noch weitgehend unbekannt sind, wegen des vollständigen Verzichts auf Lösemittel aber ein hohes ökologisches und ökonomisches Potenzial aufweisen. Trockenbeschichtungsprozesse stehen auch im Mittelpunkt des Projekts, an dem das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA beteiligt ist. Die Abschaffung großer und energieintensiver Trocknerstrecken bringt eine erhebliche Kostenreduktion. Und schließlich wird der Prozessschritt Befüllung mit Elektrolyt auf mögliche Verbesserungen untersucht. Daran arbeitet das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM.

Kontinuierliche Elektrodenherstellung. © *Fraunhofer ISIT*

Das Bundesforschungsministerium hat in den vergangenen Jahren den Aufbau der elektrochemischen Kompetenzen in Deutschland massiv gefördert, damit die Forschung international mithalten kann. Jetzt geht es darum, den gesamten Prozess der Zellproduktion in den Fokus zu nehmen. Denn sicher ist, dass in Europa demnächst große Batteriezellfabriken entstehen werden, von wem auch immer. Und deutsche Unternehmen werden dafür Maschinen und Materialien liefern und für die Automatisierung sorgen. Voraussetzung ist, dass sie etwas von der Zellproduktion verstehen. Deshalb ist Kai-Christian Möller überzeugt: »Die Initiativen der EU und der Bundesregierung sind richtig, um sich jetzt auf diesen großen Zukunftsmarkt vorzubereiten.« ■

Spin-offs

Flower-Power

Wer kennt sie nicht, die Bilder von riesigen Sonnenblumenfeldern? Man findet sie in Frankreich und Spanien, in Osteuropa – vereinzelt auch in Deutschland. In der Hauptsache liefern Sonnenblumenkerne Öl. Dazu werden teilgeschälte Kerne bei hohen Temperaturen verarbeitet. »Rund die Hälfte wird zu Öl, die andere Hälfte, bestehend aus wertvollen Ballaststoffen und Proteinen, wurde durch die Verarbeitung stark geschädigt und kann nur noch als Tierfutter eingesetzt werden«, erklärt Thomas Stuchly von der Elosun GmbH, einem Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising. Das könnte sich bald ändern: Die IVV-Experten haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich aus geschälten Sonnenblumenkernen eine funktionale Zutat mit wertvollen Ballaststoffen und Proteinen für die Lebensmittelindustrie gewinnen lässt – Sunbloom®. Im veränderten Prozess werden die Samen komplett geschält, gleichzeitig wird konsequent auf eine schonende Verarbeitung bei geringen Temperaturen geachtet. Das so gewonnene Pflanzenprotein ist weitestgehend geruchs- und geschmacksneutral, vegan, frei von Allergenen und gentechnisch modifizierten Organismen. »Dies bietet zusammen mit der starken Sensorik und dem positiven Image der Sonnenblume deutliche Vorteile im Vergleich zu Sojabohne oder Erbse«, erläutert Stuchly. In zahlreichen Tests konnte Sunbloom mit seinen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten bereits bei namhaften Lebensmittelherstellern überzeugen.

»Das Protein ist ein ausgezeichneter Emulgator und kann als Ei-Ersatz dienen. So wurde etwa eine pflanzliche und allergenfreie Mayonnaise entwickelt. Zudem wurden mittels Sunbloom erfolgreich Fleisch- oder Milchersatz, Eiscreme, Brotaufstriche und Backwaren, wie zum Beispiel Muffins, hergestellt«, sagt Stuchly. Derzeit wird das Protein am IVV in einer Testanlage gewonnen. Allerdings ist das Produkt noch nicht lebensmittelzertifiziert. Um die kommerzielle Produktion auf den Weg zu bringen, wurde im April 2017 die Elosun GmbH ausgegründet. Der nächste Schritt ist nun der Aufbau einer eigenen Produktionsanlage in Europa. Dazu führt Stuchly gerade Verhandlungen mit verschiedenen potentiellen Partnern.

Thomas Stuchly
www.elosun.de

SUNBLOOM PROTEINS

Energieeffizienz messbar machen

Die Techniker waren ratlos: Die Klimaanlage des Restaurants schaffte es an warmen Tagen nicht, für ausreichend Kühlung zu sorgen. Der Besitzer beschloss, die Anlage austauschen zu lassen. »Wir wurden dazu gerufen, als Experten bereits ein Jahr lang nach Ursachen gesucht hatten«, erzählt Dr. Gabriel Morin von der Messeffekt GmbH, einem Spin-off aus dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg. »Anhand der Messwerte erkannten die Techniker das Problem sofort. Die Heizanlage heizte seit Jahren rund um die Uhr auf voller Leistung und arbeitete folglich – vor allem im Sommer – gegen die Kühlung. Statt 110 000 Euro für eine neue Lüftungsanlage fielen nur 900 Euro für die Reparatur an, die jährlichen Energiekosten konnten um 22 000 Euro gesenkt werden«, sagt Morin.

Mit ihrem cloudbasierten, mobilen und modular aufgebauten Energie-Messsystem spüren Morin und sein Kollege Dr. Anton Neuhäuser Ineffizienzen und Betriebsprobleme in Industrieanlagen oder in großen Gebäuden auf. Die Energieeffizienz-Experten setzen dafür selbst entwickelte Messgeräte ein sowie die Software Mondas, die das ISE mit einer Softwarefirma entwickelt hat und die heute von einem gleichnamigen Spin-off vertrieben wird. Die modularen Messboxen sind größtenteils kabellos und lassen sich flexibel zusammenstellen. Mit der Software Mondas lassen sich alle Energieverbräuche – Strom, Wärme, Kälte, Luft – sowie zusätzliche Messgrößen live im laufenden Betrieb erfassen und auswerten.

Neuhäuser hatte schon während seiner Anstellung am ISE die Marktlücke erkannt und die Entwicklung begonnen: »Denn einheitliche Messsysteme für Energie-Effizienzanalysen gab es bis dahin nicht«, erklärt Morin. Und als die Solarindustrie am Boden lag, entschieden sich die beiden früheren ISE-Mitarbeiter für den Weg in die Selbstständigkeit und gründeten im Herbst 2017 die Messeffekt GmbH.

»Unser besonderer Fokus liegt derzeit auf der Lüftungstechnik. Das Energieeinsparpotenzial sowie das Standardisierungspotenzial für unsere Produkte und Dienstleistungen sind hier besonders hoch«, erläutert Morin. Die Kunden erhalten sofort Lösungen für ihr Anliegen, oft begleiten die Experten dann auch die Umsetzung. Außerdem verkauft und vermietet Messeffekt das Messsystem.

Dr. Gabriel Morin, Dr. Anton Neuhäuser
www.messeffekt.de

messeffekt

Knappe Wasserressourcen nachhaltig nutzen

Jurtensiedlung, die über keine Wasserinfrastruktur verfügt.
Alle Fotos © Fraunhofer IOSB-AST

Wasser ist ein rares Gut in der Mongolei. Fraunhofer-Forscher arbeiten seit 2006 an einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft in der Region Darkhan und Umgebung. Das zweitgrößte Industriegebiet des Steppen- und Wüstenstaats profitiert von der Installation neuer Leitungen, Pumpensysteme und Kläranlagen.

Text: Britta Widmann

Lachend steckt der kleine Kenan seine Prepaidkarte in den Automat am Wasserkiosk und drückt auf einen grünen Knopf. Jetzt kann der Elfjährige seine mitgebrachten Kanister mit frischem Trinkwasser füllen. Neuerdings funktioniert das rund um die Uhr – auch nach Sonnenuntergang. Bis vor kurzem war das Tanken von Wasser nach 16 Uhr nicht möglich. Wollten die Bewohner der Jurtensiedlung an den drei Wasserkiosken rund um die mongolische Industriestadt Darkhan sauberes Trinkwasser beziehen, konnten sie dies nur dann tun, wenn ein Angestellter da war. Nur er konnte den Hahn öffnen und das Wasser verkaufen – meist sind es Kinder, die mit ihren Kanistern kommen. »Da das sehr unpraktisch ist, haben wir die Kioske automatisiert: Jetzt kann man rund um die Uhr per Knopfdruck tanken. Bezahlt wird mit aufgeladenen Prepaid-Karten«, sagt Dr. Buren Scharaw, Wissenschaftler am Fraunhofer Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB-AST. Der gebürtige Mongole leitet das Projekt MoMo, kurz für »Integriertes Wasserressourcen-Management in Zentralasien: Modellregion Mongolei«, in dem ein Team aus Natur- und Sozialwissenschaftlern, Ingenieuren und Unternehmenspartnern seit 2006 nachhaltige Maßnahmen zum Schutz der knappen Wasserressourcen vor Ort etabliert.

Marode Leitungen, verschmutzte Flüsse

Denn die Mongolei hat große Probleme mit der Trinkwasserversorgung und der Abwasserbehandlung. Veraltete technische Infrastrukturen,

Projektleiter Dr. Buren Scharaw erläutert den lokalen Fachleuten die Funktionsweise einer Kleinkläranlage.

Automatisierte Bezahlung am Wasserkiosk.

Das Einzugsgebiet des Flusses Kharaa.

marode Leitungen und Pumpensysteme haben in den letzten Jahren in vielen Regionen des Landes die Lebensbedingungen der Bevölkerung verschlechtert. Durch die zunehmende Industrialisierung und intensive Bergbau- und Landwirtschaftsaktivitäten sind Grundwasser und Flüsse verschmutzt. Extreme jahreszeitliche Temperaturdifferenzen und die Auswirkungen des Bevölkerungswachstums erschweren die Situation zusätzlich. Der Institutsteil Angewandte Systemtechnik des IOSB koordiniert das Arbeitsfeld »Siedlungswasserwirtschaft« des Vorhabens. Derzeit läuft die Phase III des Projekts, dessen Fraunhofer-Anteil mit 2,9 Mio Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert wird.

Die ausgewählte, beispielhafte Region, in der das Team Umweltmonitoring und innovative Wassertechnologien installiert, ist das Einzugsgebiet des Flusses Kharaa und Darkhan, eine typische mongolische Industriestadt: Rund die Hälfte der 100 000 Einwohner wohnt in festen Häusern, die andere in Jurten am Stadtrand. Diese Siedlungen sind ohne Trinkwasseranschluss. Hier beziehen die Bewohner ihr Trinkwasser in der Regel über Wasserkioske. Eine Abwasserkanalisation fehlt ebenfalls.

Neue Trinkwasserleitungen und Kläranlagen

Dr. Buren Scharaw reist seit 2006 immer wieder in die Mongolei, um die Trinkwasserversorgung vor Ort langfristig zu sichern. In Phase I des Vorhabens wies der Mongole mithilfe von Monitoringsystemen Trinkwasserverluste von über 50 Prozent im Wasserverteilnetz von Darkhan nach. »Große Mengen des Trinkwassers versickern ungenutzt im Boden. Wegen der extremen Minustemperaturen im Winter befinden sich die Leitungen in einer Tiefe von 4,5 bis 5 Metern. In diesen Tiefen Lecks zu orten, ist schwierig«, so Scharaw.

Mithilfe der eigens entwickelten Wassermanagement-Software HydroDyn wurde das Verteilnetz modelliert, hydraulisches Fließverhalten, Wassergeschwindigkeit und -druck ließen sich simulieren. Das Simulationsmodell ermöglicht Einblicke in den Prozess an Stellen, für die keine Messwerte vorhanden sind. Mithilfe verschiedener Methoden wie Messwert-Monitoring, Volumen- und Massenbilanzen sowie Vergleichen zwischen gemessenen und simulierten Werten wurden Lecks erkannt. In Kombination mit im Leitungsnetz installierten Sensoren spürten die Forscher die undichten Stellen auf und senkten die Trinkwasserverluste von 50 Prozent auf 25 Prozent und minimierten somit die Betriebskosten. »In

Veraltete Zentralkläranlage in Darkhan.

Projekt MoMO – Deutsche Kooperationspartner

- Bergmann Abwassertechnik AG
- Deutsches Institut für Entwicklungspolitik
- Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
- p2m berlin GmbH
- terrestris GmbH & Co. KG
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Bau einer Kläranlage in Teshig Soum, Provinz Bulgan.

Phase III widmen wir uns jetzt der Erneuerung der Leitungen und optimieren die energieintensiven, maroden Pumpen, deren Energieverbrauch dank des Monitorings ermittelt wurde«, so der Ingenieur. Da das Grundwasser die einzige nachhaltige Quelle für die Wasserversorgung in der Mongolei ist, analysierten und kartierten die Forscher darüber hinaus die Grundwasserressourcen mit Angaben von Grundwassermenge und -qualität. »Das Grundwasser muss permanent überwacht werden, da sich der Status der Verschmutzung laufend ändert.«

Ein weiterer Meilenstein: Der dringend erforderliche Neubau der sanierungsbedürftigen, zentralen Kläranlage in Darkhan wurde mit deutschen Partnern gestartet. Darüber hinaus ist in der Mongolei der Bau von 25 dezentralen Kläranlagen geplant.

Von dem Erfolg des Projekts konnte sich auch der Projektträger überzeugen: »Bereits zwei Delegationen des BMBF haben unsere Forschungsergebnisse begutachtet. Sie waren hochzufrieden«, freut sich Scharaw. Im Sommer 2018 steht ein weiterer Besuch des BMBF an.

Forschungsergebnisse in Nachbarregionen übertragen

Die eigentliche Herkulesaufgabe steht dem Mongolen noch bevor: Die Phase III des MoMo-Projekts endet am 31. Dezember 2018, dann ziehen sich die Projektpartner aus dem Steppenstaat zurück. Sämtliche Anlagen müssen durch lokale Mitarbeiter betrieben werden. »Die sind natürlich fachlich nicht ausgebildet. Die Mitarbeitenden müssen noch trainiert und geschult werden, um eine nachhaltige Trinkwasser- und Abwasserversorgung auch für die Zukunft zu gewährleisten. Das ist eine enorm sportliche Aufgabe, die in der Hand von Fraunhofer liegt«, so Scharaw. Im nächsten Schritt möchte der Ingenieur die Forschungsergebnisse auf vergleichbare benachbarte Regionen übertragen und damit einen Zugang zum zentralasiatischen Markt im Bereich des Umwelt- und Wassersektors schaffen. ■

Leichtbau-Lösungen

Gemeinsam in die Zukunft: Im Fraunhofer Project Center for Composites Research entwickeln Experten des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT in Kooperation mit Materialforschern am renommierten südkoreanischen Ulsan National Institute of Science and Technology UNIST Faserverbundwerkstoffe für Leichtbauanwendungen in der Automobilindustrie. Das Project Center, das nur 14 Kilometer vom Zentrum der Industriemetropole Ulsan entfernt ist, wurde 2016 gegründet, die Ulsan Metropolitan City investierte 15,5 Mio Euro in den Aufbau.

Neue Technologien für eine nachhaltige Mobilität sind in Südkorea gefragt. Das Land gilt als technologischer Vorreiter bei der Emissionsverringerung, Gewichtsreduzierung und Elektrifizierung von Fahrzeugen. Der wichtigste Industriestandort ist dabei Ulsan, hier ist unter anderem eines der weltgrößten Automobil-Montagewerke angesiedelt.

Gemeinsam arbeiten deutsche und südkoreanische Forscher jetzt an Verarbeitungsprozessen für Faserverbundwerkstoffe, neuen Werkstofflösungen und der Überführung von Leichtbaulösungen in die Großserie.

Mit dem Project Center bekommt Fraunhofer Zugang zu einem innovativen Wachstumszentrum der Automobilindustrie in Asien sowie Einblicke in dortige Marktentwicklungen. Dieser Know-how-Zuwachs kann zum direkten Nutzen der deutschen und europäischen Kunden eingesetzt werden und ihnen den Markteintritt in Korea erleichtern.

Open Innovation Plattform

Mit der Agenda 2030 haben sich die Vereinten Nationen ehrgeizige Ziele gesetzt: Armut und Hunger sollen überwunden, der Frieden auf der Welt soll gestärkt und eine nachhaltige Entwicklung eingeleitet werden. Die neue Sustainable Development Agenda definiert hierfür 17 verschiedene Aktionsbereiche, darunter erneuerbare Energie, eine Verbesserung der Infrastruktur und der Bildungschancen sowie den Zugang zu sauberem Trinkwasser.

Mit einer Open Innovation Plattform will Fraunhofer zum Erreichen dieser Ziele beitragen: »Die Plattform ermöglicht ein schnelles Matchmaking zwischen Kompetenzen und Know-how der Fraunhofer-Institute und Unternehmen sowie Start-ups in strukturschwachen Regionen, die keinen Zugang zu Forschung- und Entwicklungsdienstleistungen haben«, erklärt Dominik Reinertz vom Team für Internationale Geschäftsentwicklung bei Fraunhofer. Über die Webseite, die sich derzeit im Aufbau befindet, sollen künftig Lösungsansätze entwickelt werden, in denen wissenschaftliche Forschungsergebnisse mit Kenntnissen über die regionalen Gegebenheiten und die speziellen Bedürfnisse der Menschen vor Ort zusammenfließen. Die Plattform soll nicht nur helfen, Kooperationspartner zu finden, sondern auch die Koordination von Projekten und die Suche nach geeigneten Finanzierungsmodellen erleichtern. Anlässlich der Generalversammlung der WAITRO, der World Association of Industrial and Technological Research Organizations, soll die digitale Plattform im September online gehen.

Im Aufwind

China setzt zunehmend auf Windkraft. In Küstennähe werden immer mehr Offshore-Anlagen gebaut. In der Provinz Fujian plant die China Three Gorges Corporation Fujian Branch CTG den Bau von zwei Windparks, die zusammen 2,8 Gigawatt liefern sollen. Fraunhofer-Technik sorgt jetzt dafür, die Windbedingungen präzise zu vermessen und so den Stromertrag zu berechnen.

Zwei LiDAR-Bojen des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES sind bereits in China eingetroffen. Die schwimmende LiDAR-Technik – die Abkürzung steht für Light Detection and Ranging – ermöglicht die Messung der Windgeschwindigkeit über dem Meer bis in 200 Meter Höhe. Ein Laserstrahl, der von der Boje ausgesendet und von den Partikeln in der Atmosphäre reflektiert wird, ermittelt die Geschwindigkeit der Luftpartikel, der Aerosole. Die Installation der Bojen, die Durchführung der Messungen und die Datenauswertung übernimmt im Auftrag von CTG das chinesische Unternehmen Titan Technologies Corporation.

»Wir arbeiten schon seit einigen Jahren mit Fraunhofer zusammen und schätzen die solide erprobten Methoden, die auch bei komplexen Einsatzbedingungen sehr gut implementierbar sind«, erklärt John Feng, Vorsitzender der Titan Technologies Corporation und einer der Kuratoren des IWES. Die Zusammenarbeit mit dem chinesischen Kooperationspartner ist für Fraunhofer in mehrfacher Hinsicht vielversprechend: Titan Technologies Corporation kann die Erfahrungen mit der neuen Technik im asiatischen Raum weiterverbreiten. Messkampagnen verbessern zudem die industrielle Akzeptanz der Technologie.

Sicherheit im Cyberspace

Wie lassen sich Daten und IT-Systeme vor unbefugten Zugriffen und Angriffen schützen? Diese Frage wird für Privatleute und Unternehmen immer wichtiger. Lösungen für Cybersicherheit sind daher gefragt.

Um die Erfolgschancen von Start-ups zu verbessern, hat jetzt das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt zusammen mit der Hebrew University of Jerusalem in Israel eine Initiative ins Leben gerufen: Der Hessisch-Israelische Partnership Accelerator HIPA ermöglicht jungen Forscherinnen und Forschern aus Deutschland und Israel, gemeinsam Lösungen für praktische Sicherheitsprobleme aus Wirtschaft und Gesellschaft zu entwickeln.

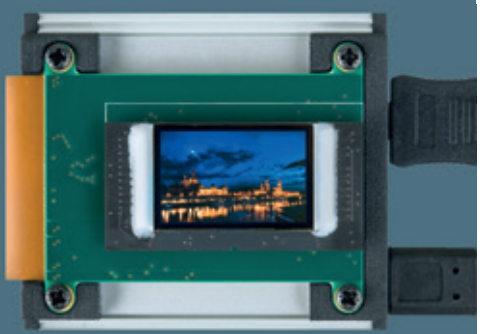
Israel ist bekannt für zahlreiche erfolgreiche Start-ups, zudem zählt die Hebrew University beim Thema Cybersicherheit zu den führenden Universitäten. Das SIT ist Mitglied des Darmstädter Centers für Research in Security and Privacy CRISP, der größten Forschungseinrichtung für angewandte Cybersicherheitsforschung in Europa.

Die jungen Expertinnen und Experten, die an dem dreimonatigen Programm teilnehmen, erhalten nicht nur ein fachliches und methodisches Training und Mentoring, sondern lernen auch, wie sich die unterschiedlichen Herangehensweisen in Deutschland und Israel kombinieren lassen. Bis Ende Mai können sich Studenten noch für den zweiten HIPA-Durchgang bewerben. Weitere Informationen: www.cybertech.fraunhofer.de

Leichte und kompakte VR-Brillen

Demo-Kit des neuen WUXGA-OLED-Mikrodisplays. © *Fraunhofer FEP, Claudia Jacquemin*

Dank eines ausgeklügelten Systemkonzepts und moderner Designmethodik erzielt das neue OLED-Mikrodisplay eine Auflösung von 1920 x 1200 Pixel. © *Fraunhofer FEP, Claudia Jacquemin*



Die meisten VR-Brillen sind noch groß und sperrig. Großflächige Mikrodisplays mit sehr hohen Taktraten und sehr guter Auflösung sollen das nun ändern.

Text: Janine van Ackeren

Das Bild ist gestochen scharf – man fühlt sich, als würde man tatsächlich durch die fantastischen Welten wandeln, die die VR-Brille um einen herum entstehen lässt. Bisher sind die Brillen jedoch meist noch recht schwer und sperrig. Das liegt vor allem am Display, dem Kernstück einer jeden VR-Brille. Kommerziell verfügbare nutzen in der Regel Displays aus dem Smartphone-Markt. Diese sind relativ kostengünstig und erlauben durch ihr Format ein großes Sichtfeld. Der Nachteil liegt allerdings in der verpixelten Bilddarstellung durch die limitierte Auflösung und die unzureichende Pixeldichte. Es kommen auch modulierende LCD- und LCOS-basierte Mikrodisplays zum Einsatz. Diese sind allerdings nicht selbstleuchtend.

Leichte und ergonomische Brillen produzieren einige Hersteller bereits mit OLED-Mikrodisplays: Diese basieren auf organischen Leuchtdioden auf einem Silizium-Chip. Ihre Vorteile: Sie sind energieeffizient, bieten sehr hohe Kontrastverhältnisse sowie hohe Schaltgeschwindigkeiten. Zudem brauchen sie keine Hintergrundbeleuchtung, was einen vereinfachten Aufbau mit weniger optischen Komponenten erlaubt.

Kompaktes Design und hohe Auflösung

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden entwickeln im EU-Projekt LOMID – kurz für »Large cost-effective OLED microdisplays and their applications« – gemeinsam mit Industriepartnern neuartige OLED-Mikrodisplays, die deutlich bessere Eigenschaften haben als die handelsüblichen. »Unser Ziel ist es, eine neue Generation von OLED-Mikrodisplays zu entwickeln, die ein kompaktes Design erlaubt und eine exzellente Bildqualität hat«, erläutert Philipp Wartenberg, Abteilungsleiter am FEP, das im Projekt für den Entwurf der integrierten Schaltung im Silizium-Chip, das OLED-Prototyping sowie die Gesamt-Projektkoordination zuständig ist.

»Erreichen wollen wir das über einen speziellen Aufbau des OLED-Mikrodisplays.« So weit, so gut. Doch was ist an den Mikrodisplays, die im Projekt entwickelt werden, besonders? Ihre Auflösung: Sie erreichen Extended Full-HD, das heißt, ihre Auflösung beträgt 1920 x 1200 Pixel. Die Bildschirmdiagonalen liegen bei einem Zoll, die Bildwiederholraten bei 120 Hertz. Es werden also 120 Bilder pro Sekunde eingeblendet – Bewegungen in der virtuellen Welt wirken damit sehr flüssig.

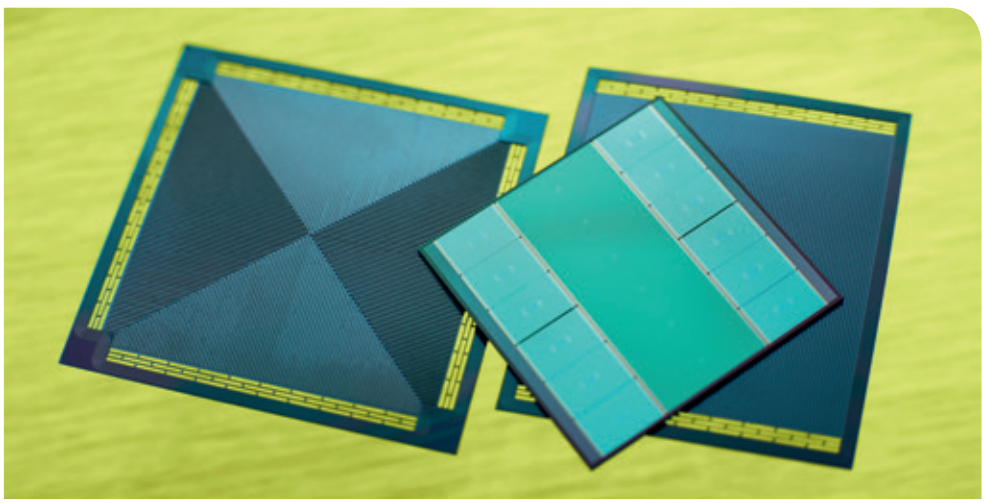
Das Mikrodisplay besteht aus zwei Komponenten: dem Silizium-Chip zur Ansteuerung der Pixel sowie der OLED. Diese wiederum ist aus mehreren organischen Schichten aufgebaut, die monolithisch auf Silizium-Wafern integriert sind. Welche Auflösung und Bildrate das Mikrodisplay hat, gibt der Chip durch seine integrierte Schaltung vor. Der Clou liegt in der Art der Schaltung. »Die Kunst besteht nicht nur darin, Auflösung und Bildwiederholrate möglichst hochzuschrauben, sondern dabei den Stromverbrauch auch noch möglichst gering zu halten«, sagt Wartenberg. »Das ist uns gelungen – dank des ausgeklügelten Systemkonzepts und moderner Designmethodik sowie unserer mehr als zehnjährigen Erfahrung im Design von OLED-Mikrodisplays.« Einen ersten Prototyp gibt es bereits, bis Mitte 2018 folgen weitere. ■

Mehr Prozessorleistung: Doppelt kühlt besser

Die Integration von Mikrokanälen in den Silizium-Interposer erlaubt es erstmals, einen Prozessor auch von der Unterseite effektiv zu kühlen und dadurch die Rechenleistung zu erhöhen. © *Fraunhofer IZM*

Einer der limitierenden Faktoren für die Rechenleistung von Prozessoren ist die Betriebstemperatur. Fraunhofer-Forschende haben eine effektive Kühlmethode entwickelt: Mit Mikrokanälen lassen sich Hochleistungsprozessoren nun erstmals von der Unterseite her kühlen.

Text: Thomas Eck



Wird ein Prozessor zu heiß, drosselt er Taktfrequenz und Betriebsspannung. Mit unangenehmen Folgen: Entweder sinkt die Rechengeschwindigkeit oder der Prozessor schaltet sich ganz ab, um CPU und Mainboard vor Schäden durch die Hitze zu schützen. Die Kühlung der Prozessoren ist daher ein wichtiger Faktor, wenn es um die Rechenleistung geht. Bisher leiten meist Kühlkörper die Hitze von den Prozessoren ab. Gleichzeitig werden die wärmeempfindlichen Bauteile von oben mit Lüftern gekühlt. Ein Forscherteam um Dr. Wolfram Steller, Dr. Hermann Oppermann und Dr. Jessika Kleff vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin und Dresden hat nun einen Weg gefunden, Mikrochips mit einem flüssigkeitsbasierten Kühlsystem sowohl von der Oberseite als auch von der Unterseite zu kühlen. Das ermöglicht eine effektivere Kühlung und damit mehr Leistung.

Mikrokanäle kreuz und quer

Um zusätzliche Kühlung zu erreichen, bauen die Forschenden Mikrokanalstrukturen mit hermetisch versiegelten Durchgangskontakten in den Silizium-Interposer ein. Interposer sind für die elektrische Versorgung und die Kühlung des Prozessors zuständig, liegen wie eine Schicht zwischen Leiterplatte und Chip und sind von oben nach unten alle 200 Mikrometer von elektrischen Kontakten durchzogen, die die Stromversorgung und Datenübertragung des Prozessors gewährleisten. Um Hitze vom Prozessor weg zu transportieren, haben die IZM-Wissenschaftler quer zu den Durchkontaktierungen Mikrofluidkanäle eingebaut, durch die das Kühlmittel fließt.

Die besondere Herausforderung war nicht nur, die kleinen Kanäle in den Interposer einzubauen, sondern diese auch hermetisch abzudichten und so von den elektrischen Bahnen zu trennen. Die Lösung: Der Interposer wird aus zwei Siliziumplatten gefertigt. In diese werden sowohl die horizontal verlaufenden Kühlkanäle als auch die vertikal verlaufenden Kanäle für die elektrischen Leitungen komplementär eingearbeitet. Die Kontakte sind speziell versiegelt, um einen Kontakt des Wassers mit den elektrischen Durchkontaktierungen auszuschließen.

»Bislang gehen die Kühlstrukturen nicht so nah an den Rechnerkern selbst. Das heißt, die Kühler sind meist additiv von oben aufgebracht«, erklärt Dr. Hermann Oppermann, Gruppenleiter am Fraunhofer IZM. »Je näher man mit der Kühlung aber an die Hitzequelle geht, desto besser kann die Temperatur begrenzt beziehungsweise die Leistung erhöht werden. Gerade beim High Performance Computing gibt es immer höhere Datenraten. Entsprechend wichtig ist eine effektive Kühlung, die eine hohe Taktrate gewährleistet. Bisherige Kühlsysteme sind in diesem Zusammenhang begrenzt. Das neue Kühlsystem kann die Leistung deutlich erhöhen.«

Mehr als nur Kühlung

Als wäre das Kühlsystem nicht genug, haben die Fraunhofer-Forschenden zusätzlich auch Voltageregulatoren für die Spannungsversorgung sowie optoelektronische Bauteile zur Datenübertragung in den Interposer integriert. Während der Spannungsregler den Prozessor mit der passenden Betriebsspannung versorgt, wandelt die Optoelektronik elektrische Signale aus dem Prozessor in Lichtsignale um.

Dadurch können auch große Datenmengen verlustarm mit hoher Signalqualität übertragen werden – im Gegensatz zu Kupferleitungen, in denen die Verluste mit wachsender Datenrate zunehmen. Hermann Oppermann sieht in der Entwicklung ein großes Potenzial: »Mit dem Zusammenfassen von Interposer, Kühlung, Voltageregulatoren und optischer Verbindungstechnik haben wir eine neue Stufe der Integration erreicht, die kleinere Schaltkreise mit mehr Leistung ermöglicht.« ■

Argonplasma im Überhöhungsresonator (violett). Der dünne orange Strahl wird von ionisierten Argon-Atomen hervorgerufen, während die rote Kreuzung von Atomen stammt, die der infrarote Resonator-Laserstrahl zum Leuchten anregt. *© Munich-Centre for Advanced Photonics, Thorsten Naeser*

Blick ins Innere

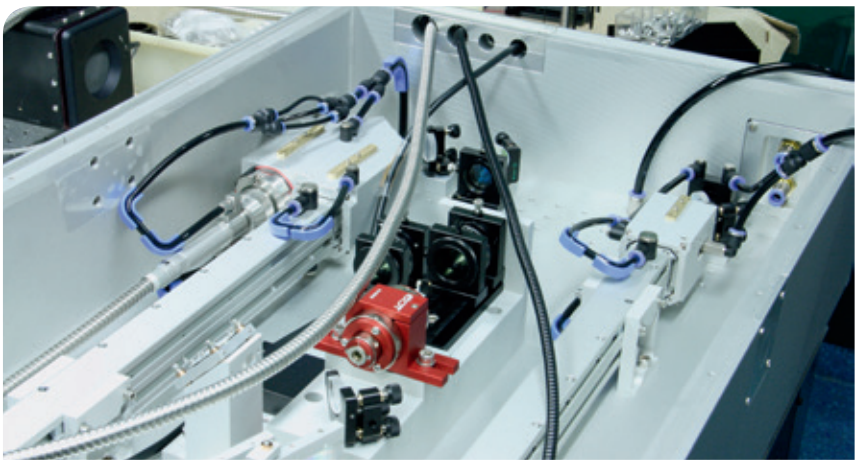
Elektrische Schaltkreise sind mitunter winzig. So winzig, dass quantenmechanische Effekte ins Spiel kommen. Entwickler treibt daher die Frage um: Wie kann man mehr über solche Elektronen-basierte Prozesse herausfinden? Eine Möglichkeit dazu sind Photoelektronenspektrometer. Fraunhofer-Forschende haben dazu beigetragen, diese Technologie zu revolutionieren.

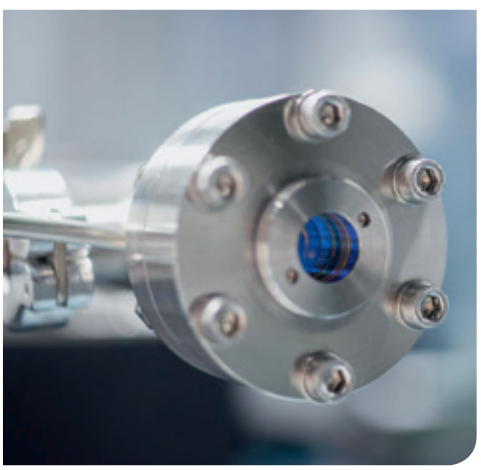
Text: Janine van Ackeren

Unsere Augen sind auf das Makroskopische beschränkt: Schauen wir auf einen Gegenstand, so sehen wir lediglich seine Oberfläche – wie auch immer sie beschaffen sein mag. Auf der Nanoskala jedoch würde sich ein gänzlich anderes Bild bieten, eine Welt aus Atomen, Elektronen und Elektronenbändern. Zudem regiert hier im Kleinsten die Quantenmechanik, die unserer Alltagserfahrung in großen Teilen zuwiderläuft. Festkörperphysiker und Materialentwickler haben ein großes Interesse daran, diese kleinsten Bausteine von Materialien näher zu untersuchen. Etwa bei elektrischen Schaltkreisen, die mitunter so miniaturisiert sind, dass sich bereits quantenmechanische Effekte bemerkbar machen.

Die Photoelektronenspektroskopie ermöglicht einen solchen Blick auf die Atome, ihre energetischen Zustände und ihre Elektronen. Das Prinzip: Man schießt mit einem Laser hochenergetische Photonen, also Lichtteilchen, auf die Oberfläche des zu untersuchenden Festkörpers, beispielsweise einen elektrischen Schaltkreis. Ähnlich wie bei einem Stein, der in eine Pfütze fällt und Wassertropfen hochschleudert, schlägt das hochenergetische Licht Elektronen aus dem Atomverbund heraus. Je nachdem, wie tief sich die Elektronen im Atom befinden – genauer gesagt in welchem energetischen Band – gelangen sie schneller oder langsamer zum Detektor. Über die Laufzeit, die die Elektronen bis zum Detektor brauchen, können Materialentwickler Rückschlüsse ziehen auf die energetischen Zustände der Elektronenbänder und die Struktur des Atomverbunds im Festkörper. Wie bei einem Sprint gilt: Die Elektronen müssen alle gleichzeitig starten, ansonsten kann man das Rennen nicht analysieren. Einen solchen gemeinsamen Start erreicht man durch eine gepulste Laserstrahlung. Vereinfacht gesagt: Man schießt mit dem Laser auf die Oberfläche, schaut sich an, was dabei herausgelöst wurde – und schießt dann erneut. Üblicherweise arbeiten die Laser im Kilohertz-Bereich, sie geben also einige Tausend Laserlichtpulse pro Sekunde ab.

Das Problem: Setzt man mit einem Puls zu viele Elektronen gleichzeitig frei, stoßen sich diese gegenseitig ab – sie lassen sich dann nicht mehr vermessen. Also regelt man die Leistung des Lasers herunter. Um dennoch genügend Elektronen zu vermessen und eine verlässliche Aussage treffen zu können, muss man entsprechend lange Messzeiten einplanen. Das ist mitunter jedoch kaum praktikabel: Proben und





Hauptverstärkerstufen des Faserlasersystems: Hier werden hohe Pulsenergien erzeugt. © *Fraunhofer IOF, Marco Plötner*

Edelgas-befüllte Druckkammer mit lichtführender Hohlkernfaser. Das Gas und das Licht interagieren miteinander. Die Folge: Das optische Spektrum verbreitert sich, die Pulse werden kürzer (30 fs). © *Fraunhofer IOF, Walter Oppel*

Strahlquellenparameter lassen sich über einen solchen langen Zeitraum nicht ausreichend stabil halten.

Zehn Sekunden statt fünf Stunden

Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer-Institute für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und für Lasertechnik ILT haben gemeinsam mit ihren Kollegen des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik erstmals ein Photoelektronenspektrometer entwickelt, das nicht im Kilohertz-Bereich, sondern bei 18 Megahertz arbeitet. Das heißt: Es treffen mehrere Tausend Mal mehr Pulse auf die Oberfläche als in herkömmlichen Spektrometern. Das wirkt sich drastisch auf die Zeit aus, die für eine solche Messung benötigt wird. »Messungen, die vorher fünf Stunden gedauert haben, führen wir nun in zehn Sekunden durch«, sagt Dr. Oliver de Vries, Wissenschaftler am IOF.

Laserpulse verstärken und verkürzen

Das entwickelte Spektrometer besteht aus drei Hauptkomponenten: dem Ultrakurzpuls-Lasersystem, dem Überhöhungsresonator und der Probenkammer mit dem eigentlichen Spektrometer. Als Ausgangslaser verwenden die Forscher einen phasenstabilen Titan-Saphir-Laser. Seinen Laserstrahl verändern sie in der ersten Komponente: Durch Vorverstärker und Verstärker schrauben sie die Leistung von 300 Mikrowatt auf 110 Watt hoch – steigern sie also auf das Millionenfache. Zum anderen verkürzen sie die Pulse. Dazu wenden die Forscher einen Trick an: Sie schicken den Laserstrahl mehrere zig Male durch einen Festkörper, der das Spektrum verbreitert. Schiebt man diese so erzeugten neuen Frequenzanteile des Pulses nun wieder zusammen – kombiniert also alle Frequenzen phasenrichtig – verkürzt sich die Pulsdauer. »Zwar war dieses Verfahren bereits vorher bekannt, allerdings konnte man die Pulsenergie, die wir hier brauchen, vorher noch gar nicht komprimieren«, sagt Dr. Peter Rußbüldt, Gruppenleiter am ILT.

Energie erhöhen

Das Laserlicht, das die erste Komponente verlässt, hat bereits eine sehr kurze Pulsdauer. Die Energie seiner Photonen reicht allerdings noch nicht aus, um Elektronen aus dem Festkörper herauszuschlagen. In der zweiten Komponente steigern die Forscher die Photonenenergie und verkürzen die Pulsdauer der Laserstrahlen daher abermals in einem Resonator. Spiegel lenken das Laserlicht im Resonator mehrere hundert Male im Kreis herum. Jedes Mal, wenn das Licht den Anfangspunkt erneut passiert, wird es mit frischer Laserstrahlung aus der ersten Komponente überlagert –, und zwar so, dass sich die Leistung der beiden Strahlen addiert. Diese im Resonator eingesperrte Strahlung erreicht so große Intensitäten, dass in einem Gasjet Erstaunliches passiert – hochenergetische XUV-Attosekundenpulse mit einem Vielfachen der Frequenz des Laserstrahls werden erzeugt.

So weit, so gut. Doch wie bekommt man die hochenergetischen XUV-Attosekundenpulse aus dieser Gefangenschaft im Resonator wieder heraus? Hier haben sich die Forscher des ILT einen weiteren Trick einfallen lassen. »Wir haben einen speziellen Spiegel entwickelt, der zum einen die hohen Leistungen aushält, zum anderen ein winzig kleines Loch in der Mitte hat«, erläutert Rußbüldt. Der Clou dabei: Das Strahlenbündel der erzeugten hohen Harmonischen, so nennt man die hochenergetischen Laserstrahlen, ist kleiner als das der anderen umlaufenden Wellen. Während die weniger energetischen Lichtstrahlen weiterhin auf den Spiegel treffen und im Kreis gelenkt werden, ist das hochenergetische Strahlenbündel so schlank und schmal, dass es durch das Loch in der Mitte des Spiegels hindurchschlüpft, die zweite Komponente verlässt und in den Probenraum in der dritten Komponente umgelenkt wird.

Der Prototyp des Photoelektronenspektrometers ist fertig, er befindet sich am Garchinger Max-Planck-Institut. Dort wird er für Untersuchungen genutzt und gemeinsam mit den Fraunhofer-Forscherinnen und -Forschern optimiert. Die einzelnen Schlüsseltechnologien, die die Forscher für das Spektrometer entwickelt haben, lassen sich zudem auch in vielen anderen Anwendungen einsetzen. ■

Forschung für die Drohnenabwehr

Ein Drohnenschwarm steuert sich dank künstlicher Intelligenz selbst und reagiert auf äußere Einflüsse wie ein kollektiver Organismus. © *iStock*

Drohnen sind nützlich, sie können aber auch gefährlich sein, wenn sie von Kriminellen oder Terroristen missbraucht werden. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert deshalb Technologien zur Abwehr unbemannter Flugsysteme.

Text: Helga Eisch-Hagenauer

Kleindrohnen sind praktisch und vielseitig einsetzbar: Sie helfen Rettungskräften bei der Lageerkundung, Landwirten bei der Inspektion ihrer Felder, sind bei Extremsportlern beliebt für Selfies aus der Luft und verleihen dem Begriff »Luftpost« ganz neue Bedeutung, wenn sie uns demnächst Briefe und Pakete bringen. Sie lassen sich aber auch für kriminelle Zwecke einsetzen, etwa zum Ausspionieren von Personen und Objekten, zum Schmuggeln von Drogen und Waffen in Gefängnisse, für Terroranschläge auf Menschen, Fahrzeuge oder Gebäude.

Drohnen werden immer leistungsfähiger: Flughöhe, Reichweite, Ausdauer, Fluggeschwindigkeit und Navigationspräzision steigerten sich in den vergangenen Jahren zusehends. Und sie können immer mehr Masse transportieren. Zudem sind Drohnen billig, leicht zu beschaffen oder als Bausatz erhältlich. Kein Wunder, dass sie im gewerblichen wie auch im privaten Bereich immer beliebter werden. Die Deutsche Flugsicherung geht davon aus, dass bis zum Jahr 2020 die Zahl der Drohnen in Deutschland auf über eine Million steigen werde.

Hauptanwendung ist Filmen und Fotografieren aus der Luft – und künftig vermutlich auch die Logistik: »Vor allem bei der Auslieferung von Paketen ›auf der letzten Meile‹ bis zum Kunden erleben wir einen radikalen Wandel, was gleichzeitig den Straßenverkehr entlasten wird. Ebenso wird die Logistik in Fabrikhallen und auf Fabrikgeländen sich mit Transportdrohnen die dritte Dimension erschließen«, sagt Prof. Jürgen Beyerer, Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Verteidigungs- und Sicherheitsforschung und Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB.

Gleichzeitig steigt auch die Zahl der Zwischenfälle: Drohnen dringen in Flugverbotszonen ein, etwa am Flughafen oder bei Großereignissen wie Rock-Festivals und Fußballspielen. Häufig nehmen sie auch widerrechtlich Videos und Fotos von Personen oder Gebäuden auf. Besonders gefürchtet sind gezielte terroristische Angriffe mithilfe von Drohnen.

BMBF-Förderung der zivilen Sicherheit

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert im Programm »Forschung für die Zivile Sicherheit« auch vier Projekte mit Fraunhofer-Beteiligung zur Abwehr unbemannter Flugsysteme: AMBOS, ArGUS, ORAS und MIDRAS. In einem Eigenprojekt MODEAS entwickelt das IOSB ein flexibel anpassbares System, das je nach Bedarf über hochauflösende optische Rundumsicht-Sensoren zur Ersterkennung und Tracking-Einheiten mit optischen Tele-Zoom-Kameras, Richtmikrofonen und Laserentfernungsmessern verfügt (siehe Infokasten). Insbesondere drei technische Bereiche spielen bei der Drohnenabwehr eine große Rolle: Radartechnik und Optronik zur Signal- und Bildgewinnung, Datenfusion und Bildauswertung zur Aufbereitung und Informationsgewinnung aus Bildern und Videos, Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie die Systemtechnik zur Entwicklung komplexer Systeme. »Wirklich leistungsfähige Detektions- und Klassifikationssysteme könnten in ein bis zwei Jahren zur Verfügung stehen, wobei der Drohnenmarkt sehr dynamisch ist und man sich auch auf technische Überraschungen gefasst machen muss. Bis auf spezielle Szenarien werden Abwehrmaßnahmen wohl noch längere Zeit durch Sicherheitskräfte durchgeführt«, schätzt Prof. Jürgen Beyerer die Entwicklungszeit für wirksame Abwehrsysteme ein.

Sensoren der Zukunft

Zukunftsfähige Drohnenabwehr-Systeme müssen resilient – sehr belastbar – sein und über eine offene Architektur verfügen für neuartige Sensoren wie zum Beispiel ein Laser-Vibrometer, das Drohnen aus großer Entfernung erkennen kann. Dabei werden Vibrationen auf der Basis des Doppler-Effekts erfasst. Weist das modulierte Frequenzspektrum charakteristische Merkmale auf, kann man durch den Vergleich mit einer zuvor erstellten Datenbank die Drohne identifizieren und feststellen, ob diese eine Ladung mit sich trägt.

Der »Laser-gated-viewing-Sensor« blendet visuelle Störungen aus. Drohnen sind dadurch auch bei schlechten Sichtverhältnissen detektierbar, etwa bei Nacht oder wenn sie hinter Büschen, in Rauch oder Nebel verborgen sind. Die Funktionsweise des Sensors besteht aus dem Zusammenspiel von gepulstem Laserstrahl im Nanosekundenbereich und Kameras mit einem zeitlich genau einstellbaren Verschlussintervall. Dadurch wird das angepeilte Ziel sowohl vom Hintergrund separiert als auch der Vordergrund ausgeblendet.

Intelligente Schwarmdrohnen

Mithilfe komplexer Steueralgorithmen lernen Drohnen wie ein Vogelschwarm in Formation zu fliegen, Hindernissen auszuweichen und Ziele selbstständig zu verfolgen. Zu welchen Leistungen die kleinen Flugroboter fähig sind, zeigen Versuche des US-Verteidigungsministeriums, das bereits im Oktober 2016 einen Schwarm aus 103 Mikrodrohnen in Kalifornien zur Aufklärung eines Terrains erfolgreich testete. Dabei verhielten sich die autonom agierenden Minidrohnen wie ein kollektiver Organismus, der sich selbst steuert.

»Diese Beispiele zeigen, wie wichtig die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat auf dem Gebiet der Sicherheitsforschung ist. Nicht nur die Technik, auch rechtliche und ethische Fragen spielen eine große Rolle, wenn es darum geht, innovative Entwicklungen in anwendungsorientierte Lösungen zu überführen«, betont Prof. Jürgen Beyerer. ■

BMBF-Projekte »Forschung für die zivile Sicherheit« und IOSB-Eigenprojekt MODEAS

- Abwehr von unbemannten Flugobjekten für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (AMBOS)
  https://www.sifo.de/files/Projektumriss_AMBOS.pdf
- Assistenzsystem zur situationsbewussten Abwehr von Gefahren durch UAS (ArGUS)
  https://www.sifo.de/de/argus-assistenzsystem-zur-situationsbewussten-abwehr-von-gefahren-durch-uas-2284.html
- Sensorgestütztes Überwachungs- und Alarmierungssystem zur Detektion und Verfolgung unbemannter Flugsysteme (ORAS)
  https://www.sifo.de/files/Projektumriss_ORAS.pdf
- Mikro-Drohnen-Abwehr-System (MIDRAS)
  https://www.sifo.de/files/Projektumriss_MIDRAS_C3.pdf
- Modulares DrohnenErfassungs- und AssistenzSystem (MODEAS)
  https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/73426/

Weitere Informationen:
http://s.fhg.de/drohnenabwehr

Interview mit Prof. Jürgen Beyerer:
http://s.fhg.de/interview-prof-beyerer

Mit der Laser-Lupe chemischen Substanzen auf der Spur

Infrarotscanner können Sprengstoffspuren an Gepäckstücken erkennen. © *istock*

Selbst kleinste Mengen chemischer Substanzen lassen sich mit Quantenkaskadenlasern schnell aufspüren. Das macht die Technologie interessant für die Sicherheitstechnik oder die Produktions- und Prozesskontrolle. Aktuelle Anwendungsfelder sind Medikamentenprüfung, Sprengstoffdetektion und Wasserkontrolle. Denn jede chemische Substanz absorbiert einen bestimmten Anteil infraroten Lichts - ähnlich einzigartig wie ein menschlicher Fingerabdruck.

Text: Tobias Steinhäußer

Im EU-Projekt CHEQUERS wird ein handgehaltenes System auf Basis von Quantenkaskadenlasern entwickelt, das berührungslos aus sicherer Entfernung Gefahrstoffe erkennt. © *Fraunhofer IAF*

Elektromagnetische Wellen sind für den Menschen größtenteils unsichtbar. Wir können lediglich einen Wellenlängenbereich von 400 bis 700 Nanometern wahrnehmen – das Lichtspektrum. Das längerwellige Infrarot ist für uns bereits nicht mehr zu erkennen. Mit der richtigen Technologie kann es uns jedoch trotzdem die Augen öffnen: zum Beispiel Gefahrstoffe aufspüren oder chemische Substanzen überprüfen.

Jede chemische Substanz absorbiert einen individuellen Anteil des infraroten Lichts. Beleuchtet man Substanzen mit Infrarot und misst die Rückstreuung, lässt sich die Art des Stoffes bestimmen. Besonders gut eignet sich der mittlere Bereich des Infrarotspektrums (MIR), um Stoffe und Substanzen einwandfrei zu identifizieren. Hier hat das Licht eine Wellenlänge von drei bis zwölf Mikrometern. »Bestrahlen wir eine Substanz mit

einer entsprechenden Lichtquelle, erhalten wir eine sehr starke charakteristische Rückstreuung«, schildert Dr. Ralf Ostendorf, Leiter des Geschäftsfelds »Halbleiterlaser« am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg.

Einzigartig wie ein Fingerabdruck

Halbleiterlaser wie der Quantenkaskadenlaser emittieren Wellenlängen im mittleren Infrarot. »Die Leistung beziehungsweise die Intensität pro Wellenlänge ist dabei sehr hoch. Diese Art von Lasern erzeugt ein sehr breites Band an Spektrallinien, sprich sehr viele Informationen zum Absorptionsverhalten einer Substanz. Mithilfe dieser hohen spektralen Brillanz sind rasch sehr exakte Rückschlüsse möglich – ähnlich einem menschlichen Fingerabdruck«, erklärt Ostendorf. Weitere Vorteile der Lasertechnologie für MIR-Anwendungen: ihre kleine Bauart, Fokussierbarkeit und Fähigkeit, auch aus größerer Entfernung zu messen. »Das macht sie gerade für Sicherheitsanwendungen interessant«, ergänzt Ostendorf. Die Freiburger Forscherinnen und Forscher entwickeln gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden spezielle, in ihrer Wellenläge besonders schnell abstimmbare Quantenkaskadenlaser, wie sie für die spektroskopische Sensorik benötigt werden. Dabei ist das IAF für den Laserchip, das IPMS für das miniaturisierte optische Beugungsgitter verantwortlich. Durch die Drehung des Gitters kann die Wellenlänge kontinuierlich abgestimmt werden.

Sichere Arzneimittel

Aktuell macht Ostendorf seine Laser-Lupe fit für den Einsatz in der Pharmabranche. »Unsere leistungsfähige Rückstreuspektroskopie kann hier die Qualität von Medikamenten überprüfen«, sagt Ostendorf. Im Labor haben die Forscher mit ihrer Methode bereits zuverlässig die Wirkstoffe von Alltagspillen für Kopfweh und Fieber ermittelt. »Die Technologie hat aus unserer Sicht das Potenzial, in der Massenproduktion von Arzneimitteln als Echtzeitkontrolle zu fungieren. Damit lassen sich fehlerhafte Margen rasch aussortieren. Die aufwendige und teure händische Kontrolle im Labor wäre obsolet. Die Technologie könnte aber auch eingesetzt werden, um Medikamentenplagiate zuverlässig aufzuspüren«, fasst Ostendorf den Mehrwert zusammen. Der Forscher sucht jetzt Industriepartner, um den Ansatz weiterzuentwickeln. Erste Gespräche haben bereits stattgefunden. »Im nächsten Schritt wollen wir mit unserer Sensorik auch einzelne Substanzen einer Wirkstoffmischung quantifizieren«, skizziert Ostendorf zukünftige Herausforderungen.

Verunreinigtes Trinkwasser, Sprengstoffe, Gifte

Langsam zuckelt der Koffer über das Rollband. Plötzlich heult ein schriller Piepton auf: Der Infrarot-Scanner hat angeschlagen: Sprengstoffspuren am Gepäckstück! »Was den menschlichen Sinnen entgeht, das erkennt die Rückstreuspektroskopie – auch geruchslose Kleinstspuren von chemischen Substanzen«, sagt Ostendorf. Infrarotquelle, Rückstreudetektor und Software müssen für diese Höchstleistung perfekt abgestimmt sein. Entscheidend ist, welche Art von Oberfläche untersucht wird: Ist sie rau, glatt – all das hat Auswirkung auf das Rückstreuspektrum. Spezielle Algorithmen im Messsystem berücksichtigen diese vielfältigen Aspekte und rechnen Störsignale heraus.

Die Einsatzgebiete der Infrarotspektroskopie im Sicherheitsbereich sind vielfältig. Im EU-Projekt CHEQUERS entwickelt das Fraunhofer IAF beispielsweise einen tragbaren auf Quantenkaskadenlasern basierenden Detektor, der explosive oder toxische Stoffe berührungslos aus sicherer Entfernung erkennen kann. »Zusammen mit Kameratechnologien sind mit demselben Konzept Messentfernungen von bis zu 20 Metern realisierbar. Das macht sie für den Anwender besonders sicher«, erklärt Ostendorf. Das Projekt läuft noch bis 2019. Einen ersten Demonstrator haben die Partner bereits erfolgreich entwickelt.

Planen Unternehmen neue Sicherheitslösungen auf Basis von Quantenkaskadenlasern, benötigen sie individuell zugeschnittene Angebote. Die EU-geförderte Pilotlinie MIRPHAB unterstützt sie bei der Suche nach einem passenden System. Kunden können sich im Baukastenprinzip die bestmögliche Lösung aus dem Komponentenportfolio der teilnehmenden Forschungsinstitute und Firmen zusammenstellen. »Dank der EU-Förderung halten sich die Investitionskosten für neueste Technologien in Grenzen«, berichtet Ostendorf. Neben dem Fraunhofer IAF und IPMS ist das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen beteiligt. Mit seinem Know-how überführt es die Herstellung des schnell abstimmbaren MIR-Lasers in industriell anwendbare Produktionsabläufe.

Im EU-Projekt AQUARIUS untersuchen die Projektpartner mithilfe von Quantenkaskadenlasern die Qualität von Trinkwasser. »Hier kann die Technologie gegenüber etablierten Methoden zehn Mal leistungsfähiger sein. Ölpartikel beispielsweise lassen sich somit wesentlich genauer aufspüren«, weiß Ostendorf. Industrielle Produktionsprozesse, die globale Bevölkerungszunahme und die wachsende Verstädterung sind Ursachen für Wasserverunreinigungen. Ziel von AQUARIUS ist es, Wassersysteme kontinuierlich im laufenden Prozess zu überwachen. Dadurch entfällt die zeitraubende manuelle Probenentnahme für laborbasierte Wasseranalysen. ■

Forschungsprojekte

CHEQUERS – Portable, multiband MIR-sensor platform for safety and security

http://s.fhg.de/chequers

MIRPHAB – Mid InfraRed PHotonics devices fABrication for chemical sensing and spectroscopic applications

www.mirphab.eu

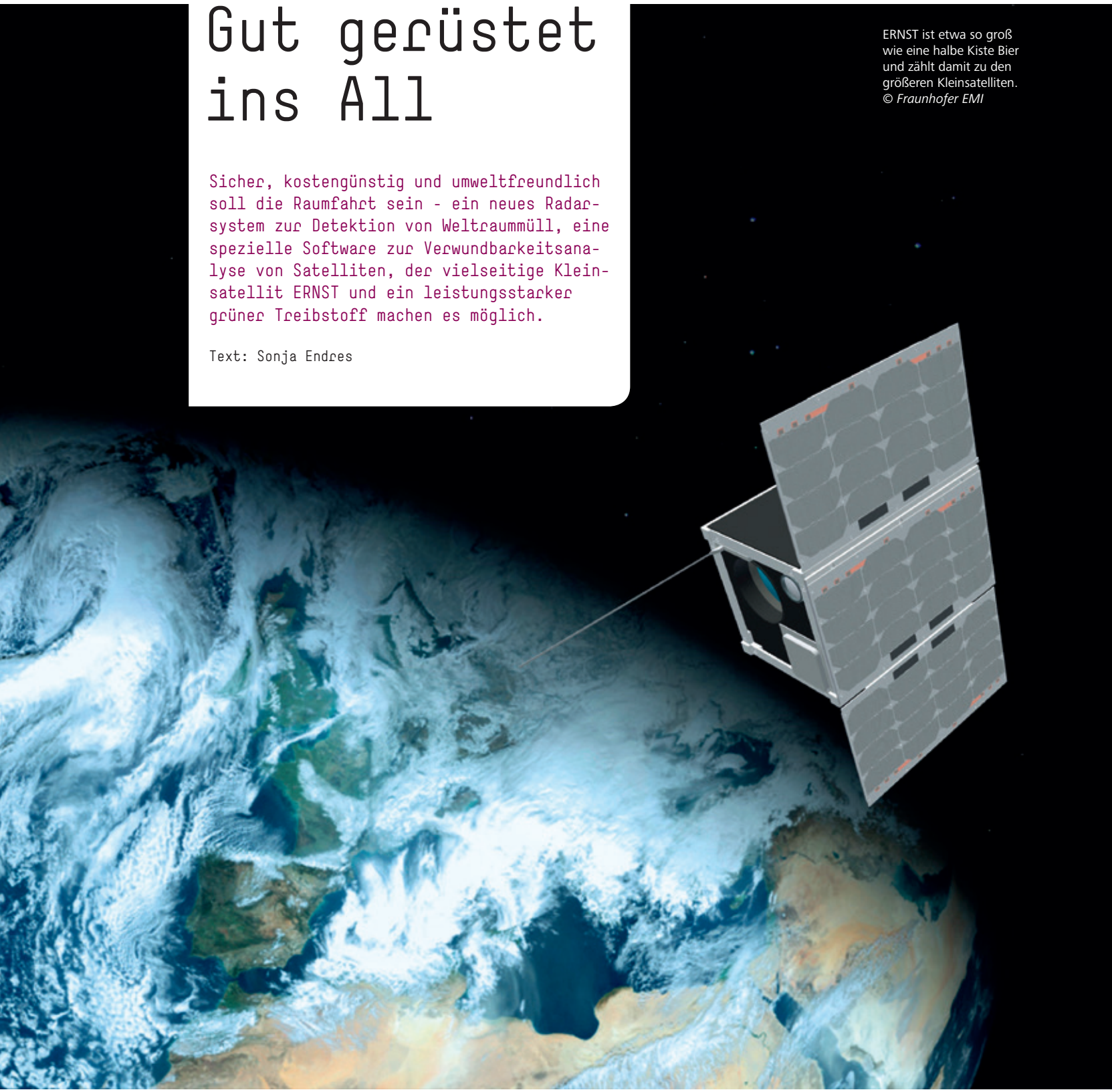
AQUARIUS – Broadband Tunable QCL based Sensor for Online and Inline Detection of Contaminants in Water

aquarius-project.eu

Gut gerüstet ins All

Sicher, kostengünstig und umweltfreundlich soll die Raumfahrt sein - ein neues Radarsystem zur Detektion von Weltraummüll, eine spezielle Software zur Verwundbarkeitsanalyse von Satelliten, der vielseitige Kleinsatellit ERNST und ein leistungsstarker grüner Treibstoff machen es möglich.

Text: Sonja Endres

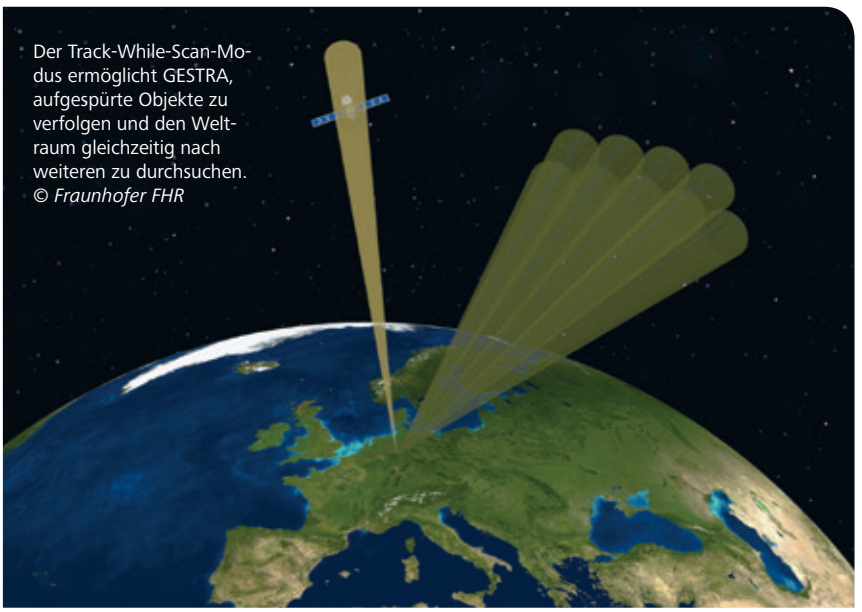


ERNST ist etwa so groß wie eine halbe Kiste Bier und zählt damit zu den größeren Kleinsatelliten. © *Fraunhofer EMI*

Wie verheerend Trümmerteile im Orbit sein können, mussten Dr. Ryan Stone und Matt Kowalski alias Sandra Bullock und George Clooney im Film »Gravity« leidvoll erfahren. Auch in der Realität beschädigt umherfliegender Weltraumschrott Satelliten und Raumstationen.

Der amerikanische Astronom Donald Kessler warnte bereits 1978 vor der gängigen Praxis, große Objekte wie ausgebrannte Raketenstufen, Nutzlastverkleidungen oder ausgediente Satelliten einfach im Orbit zu lassen. Denn jede Kollision erzeuge eine Vielzahl von Trümmerteilen, die in einer Kettenreaktion zu zahlreichen weiteren Zusammenstößen führen. Schließlich werde der erdnahe Orbit unbenutzbar sein, auch Trägerraketen könnten ihn nicht mehr kollisionsfrei auf den Weg in höhere Orbits durchqueren – die Raumfahrt wäre am Ende.

Obwohl der Weltraummüll seit den 1970er-Jahren erheblich zugenommen hat, kann davon glücklicherweise noch keine Rede sein. Dennoch stellen umherfliegende Trümmer eine ernste Gefahr für alles dar, was sich im All bewegt. Um ihnen ausweichen zu können, ist es wichtig zu wissen, wo sie unterwegs sind.



Der Track-While-Scan-Modus ermöglicht GESTRA, aufgespürte Objekte zu verfolgen und den Weltraum gleichzeitig nach weiteren zu durchsuchen. © *Fraunhofer FHR*

Sicher unterwegs dank GESTRA und TIRA

»Mithilfe des Überwachungsradars GESTRA, das am Fraunhofer FHR entwickelt wurde, können im niedrigen Erdorbit bis zu 3000 Kilometer Bahnhöhe Objekte und Trümmerteile zuverlässig detektiert werden«, sagt Helmut Wilden, Teamleiter Multifunktionale Hochfrequenzsensorik am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg bei Bonn.

Während GESTRA große Bereiche des Weltraums rund um die Uhr abscannen kann, beobachtet das FHR-Radarsystem TIRA einzelne Objekte genauer (siehe weiter.vorn-Ausgabe 1.2018). »GESTRA kann unbekannte Objekte aufspüren, ihre Anzahl bestimmen und die Flugbahnen berechnen. Genauere Informationen über Größe, Form oder mögliche Schäden liefert TIRA.« Die beiden komplementären Radarsysteme ergänzen damit US-amerikanische Bahnkataloge, die bisher als Hauptinformationsquellen dienen. »Die NASA gibt längst nicht alle ihrer Daten preis, daher ist es wichtig, hier auf eigene Messdaten zurückgreifen zu können. Wir sind stolz, dass uns das DLR-Raumfahrtmanagement im Auftrag der Bundesregierung mit dieser hoheitlichen Aufgabe betreut hat«, sagt Dr. Nadya Ben Bekhti, Co-Projektleiterin GESTRA am FHR.

GESTRA besteht aus je einem Sende- und Empfangssystem, die von einer schützenden Hülle, den Sheltern, umgeben sind. »Die Antennentechnologie basiert auf dem Phased-Array-Prinzip, also auf der Bündelung der Strahlungsenergie von zahlreichen Einzelantennen. Mithilfe der Strahlenbündel, wir bezeichnen sie als Keulen, können nicht nur große Areale sehr schnell und flexibel nach Objekten durchsucht werden. Es lässt sich auch eine Keule für die Objektverfolgung abstellen, während der Rest unabhängig davon weiterhin suchen kann. Dieser Track-While-Scan-Modus ist optimiert für die Anwendung in der Weltraumüberwachung«, erklärt Ben Bekhti.

Einzigartig ist, dass GESTRA extrem leistungsfähig und trotzdem mobil ist. Per Schwertransporter kann es an jeden beliebigen Ort gebracht werden. »Damit können wir auf veränderte Umgebungsbedingungen reagieren«, so Ben Bekhti. Sobald die Integration der einzelnen Komponenten in den Sheltern abgeschlossen und alles erfolgreich getestet wurde, wird GESTRA im Sommer 2019 an seinen Aufstellungsort gebracht. »Voraussichtlich wird GESTRA auf der Schmidtenhöhe in Koblenz installiert. Das Radarsystem wird an das Weltraumlagezentrum der Bundeswehr im niederrheinischen Uedem angebunden und kann von dort aus ferngesteuert werden«, kündigt Wilden an.

Verwundbarkeitsanalysen und intelligentes Design

Wenn Zusammenstöße mit Trümmerteilchen unvermeidbar sind, helfen robuste Materialien und schlaue Designs, Satelliten vor gravierenden Schäden zu bewahren. Die neue PIRAT Software des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI in Freiburg berechnet, ob das Satellitendesign oder einzelne Bauteile gegen den Einschlag von Weltraumschrott gefeit sind. Dabei bezieht PIRAT die Flugbahn der geplanten Mission und die hier zu erwartenden Partikeleinschläge ein. Kombiniert mit der experimentellen Simulation

Der herkömmliche Raketentreibstoff hat es in sich: Er führt zu saurem Regen und ist gesundheitsschädlich.
© ESA – David Ducros

von Kollisionen erstellen die Forscher am EMI Verwundbarkeitsanalysen und Schutzkonzepte. Dr. Martin Schimmerohn, Gruppenleiter Raumfahrttechnologie am EMI, erklärt: »PIRAT ermöglicht die Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Komponenten auch im Innern des Satelliten, wenn ein einschlagendes Schrottteil die Außenwand bereits durchschlagen hat und sich als Fragmentwolke ausbreitet. Durch eine geschickte Platzierung der Komponenten und das Hinzufügen von dünnen Schutzlagen kann ein sicheres Design mit minimalem Einfluss auf das Gesamtsystem gefunden werden.«

Mit ERNST schnell und kostengünstig ins All

Damit in Zukunft nicht noch mehr Weltraummüll entsteht, wird heute darauf geachtet, dass neue Satelliten nach dem Ende ihrer Mission aus eigener Kraft wieder in die Erdatmosphäre eintreten können, um dort zu verglühen. Auch der Kleinsatellit ERNST wird mit einer entsprechenden Technologie ausgerüstet. EMI-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler haben mit ERNST einen Kleinsatelliten entwickelt, der leicht, zuverlässig und vielseitig einsetzbar ist – damit reduzieren sich Entwicklungszeit und -kosten. »In der Regel fliegen mehrere Kleinsatelliten huckepack mit großen Trägerraketen mit – das ermöglicht auch kleinen Forschergruppen mit beschränkten finanziellen Mitteln, im All Tests durchzuführen. In der Forschung bringt uns das einen wichtigen Schritt nach vorne«, sagt Thomas Loosen, Geschäftsstellenleiter der Fraunhofer-Allianz Space.

Fraunhofer-Allianz Space
www.space.fraunhofer.de

Kleinsatelliten, wegen ihrer Würfelform auch »Cube Sat« genannt, haben eine Standardgröße von einer Unit (rund zehn mal zehn mal zehn Zentimeter). So passen sie perfekt in spezielle Container auf den Trägerraketen, in denen sie übereinandergestapelt transportiert werden. Der Nachteil: Die Leistungsfähigkeit der Cube Sats ist beschränkt. So können sie beispielsweise nicht mit einer großen Solarfläche zur Stromerzeugung ausgestattet werden. Auch das Gewicht der Nutzlast ist begrenzt. Der Trend geht daher zu größeren Cube Sats.

»ERNST besteht aus zwölf Units, das entspricht etwa der Größe einer halben Kiste Bier. Das Format ist ideal, denn es ermöglicht komplexere Nutzlasten, eine höhere Leistungsfähigkeit und ist gleichzeitig kompatibel mit kommerziell verfügbaren Cube-Sat-Komponenten«, so Schimmerohn. Trotz seiner Größe findet ERNST noch im Standard-Transportcontainer der Trägerraketen Platz, den er vollständig ausfüllt.

»Der kleine Satellit ist als eine Art Basisbausatz konzipiert, der reproduzierbar ist und sich je nach Mission individuell anpassen lässt«, beschreibt Schimmerohn weitere Vorteile. »Wir haben flugerprobte Technik beschafft, beispielsweise den Bordcomputer, und sie mit Eigenentwicklungen wie einem Filterrad oder einer Datenverarbeitungseinheit kombiniert.«

Möglichkeiten im Weltraum erweitern

ERNST wird bei seiner Mission, die Anfang 2021 startet, mit einer Infrarotkamera zur Erdbeobachtung ausgestattet. Das Besondere: Die Kamera ist auf einer speziellen Halterung montiert, einer optischen Bank, die im metallischen 3D-Druckverfahren gefertigt wurde. 3D-Druckverfahren ermöglichen eine neue, nahezu unbegrenzte Freiheit im Design und kürzere Produktionszeiten. Bisher kommen sie aber in der Raumfahrt aufgrund der strengen Sicherheits- und Qualitätsauflagen nur sehr eingeschränkt zum Einsatz.

»Problematisch sind nicht die 3D-Bauteile, sondern die herkömmlichen Prüfverfahren. Viele Prüfungen beruhen auf optischen Methoden, die bei den vergleichsweise rauen Oberflächen der additiv gefertigten Teile nicht funktionieren«, erklärt Schimmerohn. »Die Belastung auf die Bauteile ist während des Raketenstarts am höchsten. Die optische Bank hält dem stand. Das haben wir umfangreich getestet.«

Schimmerohn und sein Team nutzten die Vorteile, die das additive Fertigungsverfahren bietet. Mit intelligenten Algorithmen entwickelten sie eine leichte, organisch anmutende Struktur, die sich optimal an die Umgebungsbedingungen anpasst. »Wir haben an der Außenseite der optischen Bank eine dreidimensionale Oberfläche aus vielen kleinen Pyramiden geschaffen. Dadurch haben wir eine größere Abstrahlfläche gewonnen, über die die Wärme, die beim Betrieb des Satel-

liten entsteht, ins Weltall entweicht. So können verschiedene Funktionen in einem einzigartigen Bauteil vereint werden.«

In Zukunft, ist sich Schimmerohn sicher, werden additive Fertigungsverfahren zunehmend in der Raumfahrt eingesetzt – nicht anstelle von, sondern als sinnvolle Ergänzung zu herkömmlichen Verfahren. »Auch Kleinsatelliten werden große Satelliten nicht ersetzen, aber unsere Möglichkeiten im All erheblich erweitern.« Vor allem in der Sammlung zusätzlicher Daten und ihrer Vernetzung sieht Schimmerohn großes Potenzial. Zudem können viele Kleinsatelliten zu größeren Konstellationen zusammengeschaltet werden und so beispielsweise eine flächendeckende Erdbeobachtung in hoher Qualität gewährleisten.

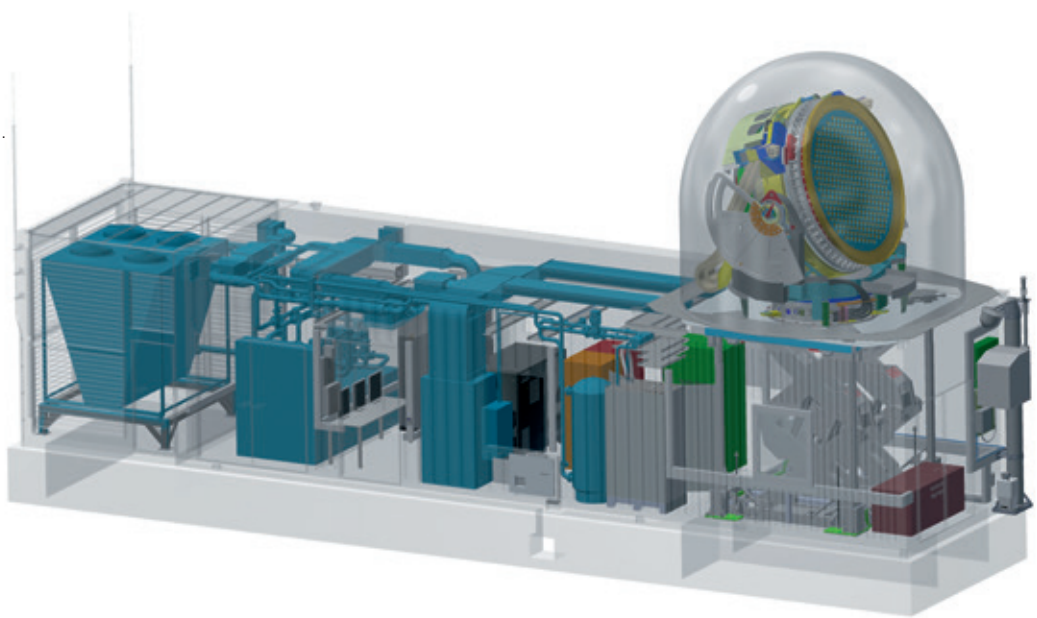
Umweltfreundlich starten

Damit die Erde unter der zunehmenden Aktivität im Weltraum nicht leidet, haben Forscher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe jetzt einen Raketentreibstoff entwickelt, der ohne das umwelt- und gesundheitsschädliche Ammoniumperchlorat (AP) auskommt. AP wird in herkömmlichen Treibstoffen als Oxidator eingesetzt, der dafür sorgt, dass genügend Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht. Das Problem: Als Abfallprodukt entsteht tonnenweise Salzsäure – beim Start der europäischen Ariane- oder Vega-Rakete rund 70 Tonnen, bei den amerikanischen Space-Shuttle-Raketen mehr als 80. Die Säure gelangt in die Umwelt und führt in der Umgebung der Raketenabschussrampen zu saurem Regen.

Auch AP selbst ist gefährlich: Es stört den menschlichen Hormonhaushalt und führt zu verschiedenen, schwerwiegenden Effekten in Organismen. Daher überlegt die Europäische Kommission, die Produktion und Verwendung von AP zu verbieten. »Mit unserem Treibstoff, der in dem europäischen Gemeinschaftsprojekt GRAIL entwickelt wurde, bieten wir eine AP-freie und dabei genauso leistungsstarke Alternative«, sagt Projektleiter Dr. Volker Gettwert. Er und sein Team ersetzten AP durch Ammoniumdinitramid (ADN) – einen Oxidator, der in den 1970er-Jahren in sowjetischen Laboren entwickelt wurde. »ADN ist in großen Mengen kommerziell verfügbar. Das ist ein großer Vorteil gegenüber Eigenentwicklungen, denn hier gibt es häufig Probleme beim Upscaling der Volumina, also der Umstellung von kleinen Mengen im Labor auf große in der Produktionshalle. Das kostet Zeit und Geld.«

Doch einfach ersetzen kann man AP nicht, denn mit dem neuen Oxidator ändern sich die Eigenschaften des herkömmlichen Treibstoffs. »ADN brennt wesentlich schneller ab als AP. Darauf müssen wir das Treibstoffgemisch abstimmen. Denn die Brenngeschwindigkeit bestimmt die Menge an Gas, die erzeugt wird – und mehr Gas erzeugt mehr Schub für die Rakete. Der neue Treibstoff muss auch die Druckbelastung bei der Zündung aushalten. Wenn er Risse bildet oder zerbröselt, entsteht plötzlich eine riesige Oberfläche. Dann brennt viel mehr als beabsichtigt, der Druck in der Brennkammer steigt und das Ganze kann explodieren.«

Dem ICT-Team ist es gelungen, den neuen Treibstoff so zu optimieren, dass er in seinen Eigenschaften denen des herkömmlichen Treibstoffs entspricht. »Das ist ein großer Vorteil, weil die Raketenantriebe nicht technisch verändert werden müssen, um den neuen Treibstoff nutzen zu können. Somit hat der Treibstoff gute Chancen, bald in der Raumfahrt zum Einsatz zu kommen.« ■

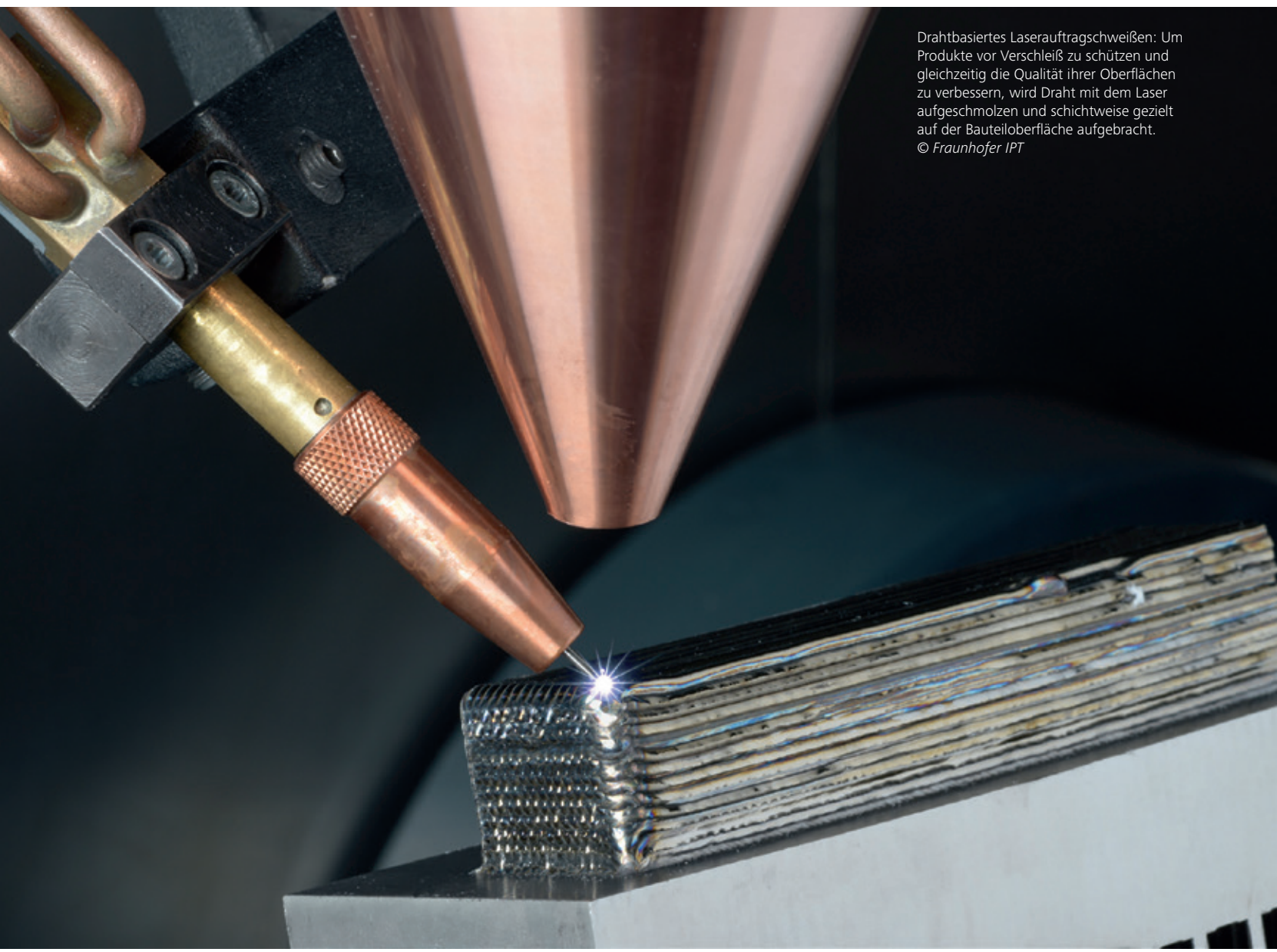


Für den Transport lässt sich das kuppelförmige Radom von GESTRA abnehmen und die Antenne einfahren.
© *Fraunhofer FHR*

Klug kombiniert

Der 3D-Druck boomt. Wie wird er die industrielle Produktion langfristig verändern? Experten des Aachen Center for Additive Manufacturing sehen die Zukunft in der hybriden Fertigung - der optimalen Kombination additiver Technologien mit konventionellen Verfahren.

Text: Hellmuth Nordwig



Drahtbasiertes Laserauftragschweißen: Um Produkte vor Verschleiß zu schützen und gleichzeitig die Qualität ihrer Oberflächen zu verbessern, wird Draht mit dem Laser aufgeschmolzen und schichtweise gezielt auf der Bauteiloberfläche aufgebracht.
© Fraunhofer IPT

Aachen Center for Additive Manufacturing (ACAM)

Wo und wie lassen sich additive Verfahren in der industriellen Produktion sinnvoll und gewinnbringend einsetzen? Diesem Themenbereich widmen sich Expertinnen und Experten der Fraunhofer-Institute für Produktionstechnik IPT und für Lasertechnik ILT gemeinsam mit Wissenschaftlern der RWTH Aachen und der Fachhochschule Aachen. Unternehmen können diese gebündelte Kompetenz als Mitglieder, in gemeinsamen Forschungsprojekten oder im Rahmen maßgeschneiderter Weiterbildung nutzen.

www.acam.rwth-campus.com

Im Automobilbau werden Querlenker normalerweise gegossen und geschmiedet. Diese Bauteile übertragen die Lenkbewegung vom Fahrzeugkörper auf die einzeln aufgehängten Räder. »Bei Hochleistungsfahrzeugen, etwa für den Rennsport, sind sie besonders belastet und müssen verstärkt werden«, weiß Dr. Kristian Arntz, der die Abteilung für Nichtkonventionelle Fertigungsverfahren am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen leitet. Da die zu verstärkenden Elemente bei jedem Rennwagen etwas anders aussehen, müssen die Autobauer für jede Serie ein eigenes Gieß- oder Schmiedewerkzeug entwickeln – eine kostspielige Angelegenheit, bei der kleinen Stückzahl. Daher der Wunsch einiger Hersteller, die verstärkenden Elemente künftig im 3D-Druck zu produzieren.

Die Vorteile der additiven Fertigung sind bekannt: Kleine Stückzahlen lassen sich individuell fertigen. Und es sind nahezu beliebige Geometrien herstellbar, etwa überhängende Strukturen, Gitter oder Hohlräume. All das ist mit verschiedenen Metallen und Legierungen möglich. Es erstaunt daher nicht, dass die Maschinen für den metallischen 3D-Druck von Jahr zu Jahr gefragter sind. Rasante Zuwächse verzeichnet vor allem das Laser-Pulverbettschmelzen. Dabei wird das Werkstück durch Laserstrahlen aus einem pulverförmigen Werkstoff schichtweise aufgebaut. Dieses Verfahren hat sich im Prototypenbau schon gut etabliert. Dazu kommt das Laserauftragschweißen, bei dem Metall aus einer Düse direkt am Zielpunkt abgesetzt wird.

In der industriellen Produktion sind die additiven Verfahren noch nicht richtig angekommen. Hier dominieren die klassischen Fertigungsverfahren: Gießen und Schmieden, außerdem Fräsen und andere abtragende Techniken. Das hat seinen Grund: Die Verfahren eignen sich für große Mengen. Und je mehr gleiche Teile hergestellt werden, desto kostengünstiger sind sie. Beim 3D-Druck ist das nicht so. Er gilt in der Industrie als langsam und teuer. Einige Unternehmen haben bereits die Erfahrung gemacht, dass sich additive Fertigungsverfahren in Teilschritten des Prozesses trotzdem sinnvoll einsetzen lassen: bei kleinen Stückzahlen und bei komplizierten räumlichen Strukturen, die sich klassisch gar nicht oder nur mit sehr großem Aufwand herstellen lassen.

Ein Beispiel sind Bohrwerkzeuge, bei denen in die Bohrkronen Kühlkanäle zur Wärmeabfuhr eingearbeitet sind. Der Schaft des Bohrers wird konventionell hergestellt, die Kronen dagegen im 3D-Druck. Durch diese »hybride« Fertigung kann man aufwendig gestaltete Kühlkanäle realisieren. Gleichzeitig erhält der Bohrkopf mehr Schneiden als ein klassisch gefertigter. Da das Werkzeug durch den 3D-Druck deutlich leistungsfähiger ist, lohnt sich der zusätzliche Aufwand. Das haben auch Flugzeughersteller erkannt. Bei komplex geformten Metallteilen im Innenraum von Flugzeugen ergänzen sie klassische Produktionstechniken inzwischen durch additive Verfahren.

Neue Prozessketten und Geschäftsmodelle

Im Aachen Center for Additive Manufacturing ACAM arbeiten Fraunhofer-Forscher gemeinsam mit Experten der RWTH Aachen und der Industrie daran, für jeden Anwendungsfall die optimale Kombination aus konventioneller und additiver Fertigung zu finden. Wichtiger Faktor dabei sind die Kosten. »Optimal heißt aber nicht immer so billig wie möglich«, erläutert Kristian Arntz. Denn welche Teile eines Werkstücks klassisch und welche additiv gefertigt werden, hängt noch von anderen Einflüssen ab, zum Beispiel von der Materialeffizienz oder der Auslastung von Maschinen. Letztlich geht es immer um die Entscheidung: Lohnt es sich auch finanziell, einen Teil des Prozesses auf ein neues Verfahren umzustellen?

Kristian Arntz und seine Kollegen entwickeln eine Software, die Unternehmen bei dieser schwierigen Entscheidung unterstützen soll. Dabei stellt sich oft die Frage, ob die Konstruktion des Bauteils geändert wird, um die Potenziale des 3D-Drucks zu nutzen. Das verändert den Blickwinkel für die Ingenieure. Sie waren es lange Zeit gewohnt, ein Werkstück so zu konstruieren, dass man es mit den klassischen Verfahren herstellen kann. Heute ist im Vorteil, wer additive Methoden von vornherein mit bedenkt.

Eine hybride Produktion ist jedoch zunächst mit Mehraufwand verbunden, da neue Prozessschritte etabliert werden müssen. Denkbar ist auch ein neuer Typ von Werkzeugmaschinen, die als hybride Geräte beispielsweise Fräsen und Auftragsschweißen kombinieren. »In den nächsten Jahren werden wir sehen, dass die Prozesse flexibler werden«, sagt Kristian Arntz voraus. »Manchmal sind klassische und additive Verfahren etwa gleich effizient. Dann kann der Betrieb mal auf der einen, mal auf der anderen Maschine produzieren und dadurch die Auslastung optimieren.« Auch der Ausfall einer Anlage lässt sich leichter kompensieren als bisher. Nicht zuletzt sind neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten in Sicht, weil der 3D-Druck bedarfsgerechte Fertigung vor Ort ermöglicht. Die hybride Fertigung bringt also frischen Wind in die industrielle Produktion metallischer Bauteile. Die Querlenker für den Rennsport sind da erst der Anfang. ■

Einzelstücke automatisiert lackieren

20 Prozent weniger Lack, 15 Prozent weniger Energie, fünf Prozent weniger Produktionszeit - die Vorteile des automatischen Lackiersystems SelfPaint gegenüber der bislang dominierenden Handlackierung sind enorm. Das Verfahren eignet sich erstmals auch für Einzelstücke.

Text: Janine van Ackeren

Berechnung der Tropfenflugbahn am Beispiel einer Volvo V60-Karosserie. © *Fraunhofer FCC*

Seien es Flugzeuge, Fenster, Motoren oder Möbel: Im Zuge von Industrie 4.0 werden Produkte immer individueller. Während es für die Kunden angenehm ist, Produkte frei nach Gusto zusammenstellen zu können, ist die zunehmende Variantenvielfalt für die Hersteller jedoch vielfach noch eine große Herausforderung. So auch bei Lackierprozessen: Denn Automatisierung und Individualisierung der Produkte passen in puncto Lackiertechnik bisher alles andere als zusammen. Das liegt vor allen an der aufwendigen Programmierung der Lackierroboter – es müssen nicht nur die Lackierbahnen vorgegeben, sondern auch Luftströmungen und Elektrostatik passend eingestellt werden. Dies lohnt sich nur dann, wenn man zahlreiche baugleiche Teile mit Lack besprüht. In vielen Branchen wird daher weit über die Hälfte aller Bauteile per Hand lackiert – die Variantenvielfalt ist einfach zu groß. Begehrt sind diese Arbeitsplätze nicht, schließlich entstehen beim Lackieren zahlreiche Dämpfe. Weitere Mankos: Die Lackierung per Hand ist wenig reproduzierbar, und da die Lackschichten per Sicht kontrolliert werden, sind sie vielfach dicker als nötig.

Strömungssimulation am Zerstäuber.
© *Fraunhofer IPA*

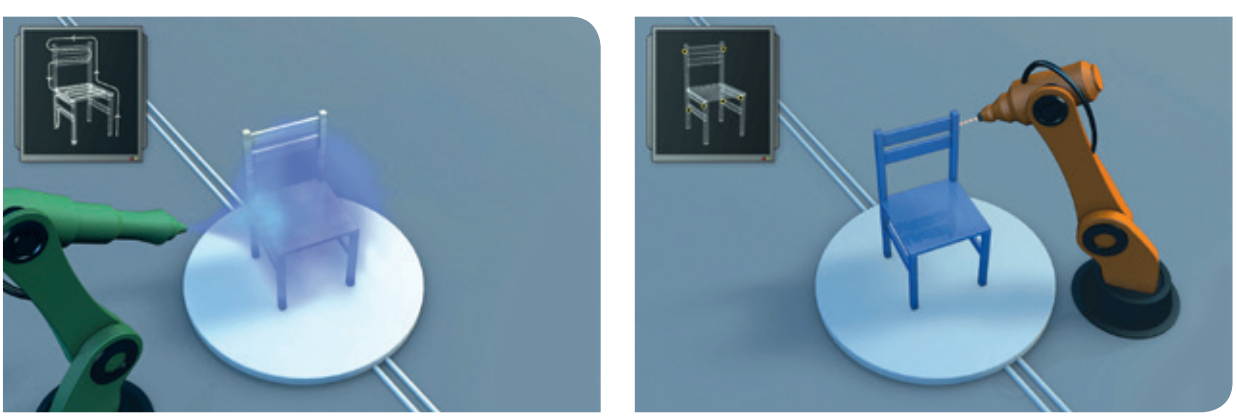
Lack und Energie sparen

Die selbstprogrammierende Lackierzelle SelfPaint bietet Unternehmen hier erstmals eine Lösung – und wartet zudem mit zahlreichen Einsparpotenzialen auf. Entwickelt wurde sie in den Fraunhofer-Instituten für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und dem schwedischen Fraunhofer-Chalmers Centre for Industrial Mathematics FCC. »Mit unserer Technologie SelfPaint können wir kleine Chargen und selbst Einzelstücke automatisiert lackieren«, sagt Dr. Oliver Tiedje, Gruppenleiter am IPA und Koordinator des Projekts. »Dabei sparen wir bis zu 20 Prozent Lack ein und reduzieren somit auch die Lösemittelemissionen um 20 Prozent. Doch damit nicht genug: Wir brauchen zudem 15 Prozent weniger Energie und sind um fünf Prozent schneller als die bisher gängige Handlackierung.« Auch was die Reproduzierbarkeit angeht, punktet das automatische Verfahren gegenüber der Handarbeit.

Simulationen ermöglichen die optimale Lackierung

Der automatische Lackierprozess besteht aus fünf Schritten. Zunächst wird das Bauteil dreidimensional gescannt. Dabei setzen die Forscher auf robuste State-of-the-Art-Systeme: 3D-Sensoren für die Steuerung von Videospielen. Diese werden mit CAD-Daten der Bauteile gefüttert und können so die Lage der Bauteile im Raum erkennen. Die Scandaten bilden die Basis für den zweiten Schritt, eine fluiddynamische Simulation. Eine Software simuliert die Flugbahn der Lackteilchen und bestimmt, welche Lack- und Luftmengen für die gewünschte Schichtdicke optimal sind. Aus diesen Simulationsdaten bestimmt das System im dritten Schritt die bestmögliche Roboterbahn für den Lackierprozess. Nun folgt – im Schritt Nummer vier – der eigentliche Lackierprozess. Und in Schritt Nummer fünf wird schließlich die Qualität überprüft: Ist die Dicke der Lackschicht wie gewünscht? »Für diese Qualitätskontrolle nutzen wir Terahertz-Technik, also Licht mit einer Wellenlänge zwischen Mikrowelle und Infrarot. Auf diese Weise können wir nasse und farbige Lacke berührungslos messen, und zwar bereits während des Lackierens oder auch im Nachgang«, berichtet Dr. Joachim Jonuscheit, stellvertretender Abteilungsleiter am ITWM. Das System ermöglicht es sogar, Einzelschichtdicken eines Mehrschichtensystems berührungslos zu vermessen. Die Messsysteme für diese Qualitätskontrolle haben in den letzten Jahren Industriereife erlangt und bewiesen. Im Lackieralltag soll der gesamte fünfstufige Prozess schon bald automatisch ablaufen: Das Bauteil wird von Robotern gescannt, lackiert und auf die Qualität überprüft – ohne Zutun eines Mitarbeiters.

Während die Forscher vom IPA das Projekt koordinieren und sich der Lackiertechnik sowie der Simulation der Lackierteilchen nah am Zerstäuber widmen, kümmern sich die schwedischen Kollegen um die Simulation nah am Bauteil sowie um die automatische Bahnplanung. Genauer gesagt: Sie berechnen, wie die Lacktröpfchen durch die Luft fliegen, wo sie auf dem Objekt landen und wie dick die entstehende Schicht ist. Die Forscher am ITWM übernehmen den 3D-Scan und die Schichtdickenmessung zur Qualitätsabsicherung. Die Einzelmodule an sich sind bereits fertig, nun fügen die Wissenschaftler die Einzelschritte zu einem komplett automatisierten Prozess zusammen. Ende 2018 soll der gesamte Prototyp fertig sein – und der Lackiertechnik in der Produktion zu mehr Automatisierung und Flexibilität verhelfen. ■



Schematische Darstellung der Berechnung und des Messprozesses am Beispiel eines Stuhls. Lackierprozess (links), Schichtdickenmessung (rechts).
© *Fraunhofer ITWM*

Zerstörungsfrei und intelligent

Verfahren, mit denen sich Materialien und Produkte zerstörungsfrei untersuchen lassen, liefern eine Fülle unterschiedlicher Daten. Diesen großen Datenschatz kann man intelligent nutzen und damit neue Geschäftsfelder erschließen. Prof. Randolf Hanke, Experte für Zerstörungsfreie Prüfung, erklärt, wohin die Reise geht.

Interview: Thomas Kestler

Professor Hanke, was verstehen Sie unter Zerstörungsfreier Prüfung?

Unter Zerstörungsfreier Prüfung, oder kurz ZfP, verstand man vor einigen Jahren die Untersuchung von Bauteilen und Produkten auf Qualitätsmängel, ohne diese zerlegen oder zerstören zu müssen. Das gilt zwar auch heute noch, aber ganz so einfach kann man sich die Erklärung nicht mehr machen.

Was hat sich geändert?

Wir werden künftig Materialien und Produkte in der kompletten Wertschöpfungskette, also im kompletten Kreislauf vom Rohmaterial über die Verwendung bis hin zum Recycling, in seiner Veränderung monitoren – überall da, wo Mensch, Maschine oder Umwelt das Material, den Werkstoff oder das Produkt in irgendeiner Art verändern.

Wo sehen Sie künftig neue Märkte für die Zerstörungsfreie Prüfung?

Man muss sich überlegen: Wo sind weitere Kunden und potenzielle Nutzer von ZfP-Technologien und insbesondere, welche Fragestellungen haben diese Kunden und welche Lösungen können wir anbieten? Die sind definitiv nicht nur im Bereich der Produktion zu finden. Ein gutes Beispiel hierfür ist unsere Kooperation mit dem Start-up mifitto: Die Aufgabenstellung war, möglichst effizient und wirtschaftlich für zigtausende unterschiedliche Paar Schuhe die Innenform digital zu extrahieren, um Online-Käufer bei der Auswahl der richtigen Größe beraten zu können. Durch präzise Hochgeschwindigkeits-Computertomographiedaten konnten wir die benötigte Information liefern und darüber hinaus noch einen weiteren erheblichen Mehrwert schaffen: Durch hochgenaue Röntgendaten im Zusammenspiel mit intelligenter Software ist mifitto jetzt zusätzlich in der Lage, Käufer neben der reinen Größe auch hinsichtlich der optimalen Passform zu beraten.

Welches Potenzial bietet die Künstliche Intelligenz für die Prüfverfahren?

Der Kunde benötigt eine Lösung, die ihm einen Mehrwert bietet, die intelligent ist und ihm hilft, seine Prozesse zu optimieren – also zum Beispiel kognitive Sensoren, die geschickt die richtigen Daten messen und so auswerten, dass mit den gewonnenen Informationen die richtigen Entscheidungen

Forscherin Jaqueline Presti vom Fraunhofer IZFP prüft mit einer Augmented-Reality-Brille ein Bauteil auf Fehler im Materialinneren.
© Fraunhofer IZFP, Uwe Bellhäuser

Lange Zeit diente die Zerstörungsfreie Prüfung nur der Qualitätsuntersuchung von Bauteilen und Produkten. Heute ist ein Zerstörungsfreies Monitoring entlang der gesamten Wertschöpfungskette möglich – von der Analyse der Rohstoffe über die Begleitung der Produktion bis hin zur Identifikation von Wertstoffen beim Recycling. *© Fraunhofer IZFP*

initiiert werden können. Dieses Prinzip gilt für jede Branche, jeden Prozess und jede erdenkliche Aufgabenstellung.

Das intelligente Monitoring ist hierbei ein Schlüsselbegriff. Es geht in Zukunft nicht mehr ausschließlich darum, eine Gut-Schlecht-Entscheidung zu treffen. Vielmehr sollte man dem Kunden ein Monitoringsystem an die Hand geben, das ihm zeigt, wie er seine Prozesse optimieren kann. Unter Prozess verstehe ich nicht nur den klassischen Produktionsprozess. Werkstoffentwicklungs-, Konstruktions-, Wartungs- und Recyclingprozesse fallen ebenfalls darunter. Damit verschiebt sich der Fokus unserer Forschungsbemühungen. Wir werden künftig nicht nur prüfen, sondern auch sortieren, charakterisieren, überwachen oder überprüfen.

Wie würden Sie das Zerstörungsfreie Monitoring im Kontext der Industrie 4.0 einordnen?

Heute versucht man aus riesigen Datenmengen mittels lernender Algorithmen diejenigen Informationen zu extrahieren, mit denen sich Prozesse besser verstehen, beobachten oder optimieren lassen. Wenn wir heute über Big Data sprechen, verstehen wir darunter fast ausschließlich Fabrikdaten, Logistikdaten, Kostendaten oder Maschinendaten. Was im Zusammenhang mit Big Data bislang kaum berücksichtigt wird, sind Smart Materials Data. Wir werden diese Materialdaten nicht einfach wahl- oder lückenlos messen, sondern nur noch die relevanten Daten erfassen. Und was relevante oder smarte Daten sind, wird das intelligente Messsystem, das kognitive Sensorsystem, selber entscheiden.

In Zukunft kann ich mir folgendes Szenario gut vorstellen: Der Kunde bekommt ein intelligentes Monitoring-System

© Fraunhofer IIS/ Caroline Glasow

Prof. Randolf Hanke

leitet das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken und ist stellvertretender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, wo er für das Entwicklungszentrum Röntgentechnik in Fürth verantwortlich ist. Gleichzeitig ist er Inhaber des Lehrstuhls für Röntgenmikroskopie an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

ausgeliefert – nennen wir es Black Box. Er muss über keinerlei ZfP-Know-how verfügen. In dieser Black Box befinden sich beispielsweise korrespondierende Roboter, die Zugriff auf unterschiedliche Sensorsysteme haben und dann selbst entscheiden, welchen Sensor sie nutzen, um eine definierte Aufgabe zu lösen.

Das hört sich visionär an. Halten Sie es für realistisch, dass solche Systeme bald Realität werden?

Auf jeden Fall! Der Mensch funktioniert im Wesentlichen sehr ähnlich: Wir haben einen Körper, in dem unterschiedliche Sensorsysteme angelegt sind, und ein Gehirn, das diese sowohl steuert als auch deren Daten zu Informationen weiterverarbeitet. Wenn ein Mensch eine Aufgabe bekommt, bearbeitet er diese mit einer gewissen Aufmerksamkeit. In dem Moment, in dem er bemerkt, dass etwas nicht stimmt, wird er aufmerksamer. Er schaltet dann weitere Sinne hinzu, versucht genauer hinzusehen oder hinzuhören. Der Mensch prüft immer unterschiedlich oder adaptiv, also intelligent. Dies muss in Zukunft auch in der Zerstörungsfreien Prüfung der Anspruch sein. ■

Die Fabrik zum Mitnehmen

Aufstellung des Containers auf dem Campus.
© *Fraunhofer IPA*

Künftig können Unternehmen flexibel an Standorten direkt in Kundennähe produzieren. Eine komplette, automatische Produktionslinie steckt in einem Container und kann per Lkw schnell an jeden beliebigen Ort verfrachtet werden - bei medizinischen Produkten etwa in die Nähe der Klinik.

Text: Janine van Ackeren

Schon wieder zu spät dran, die S-Bahn fährt ein. In der Hektik gestolpert – das Bein ist kompliziert gebrochen. Eine Operation steht an, die Knochen müssen verschraubt werden, um wieder zusammenzuwachsen. Vielfach setzen die Chirurgen dabei auf Knochenbohrschablonen, die individuell für den Patienten angefertigt werden. Sie helfen dem Chirurgen dabei, die Schrauben optimal zu platzieren. Da die Knochenbohrschablonen an wenigen Standorten gefertigt werden, kann es jedoch bis zu einer Woche dauern, bevor sie im jeweiligen Krankenhaus ankommen.

Deutlich kürzere Lieferzeiten

Künftig soll dies schneller gehen, denn dann lassen sich beispielsweise diese Schablonen nah am Endandwender herstellen – etwa in der Nähe der Krankenhäuser. Möglich macht es eine mobile Fabrik namens »CassaMobile«, die zwölf europäische Unternehmen und Institute

unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA im gleichnamigen EU-Projekt entwickelt haben. Auch die Idee und das Konzept stammen aus dem IPA. »Über die mobile Fabrik lässt sich die Lieferzeit von bis zu einer Woche auf zwei Tage verkürzen«, sagt Raphael Adamietz, Projektleiter am IPA. Doch wie hat man sich eine solche mobile Fabrik vorzustellen? Im Grunde ist der Name Programm: Das italienische Wort »CassaMobile« heißt nichts anderes als »Container«. Zwar sieht der grün-weiße Container von außen zunächst unscheinbar aus, doch der Eindruck täuscht: In seinem Inneren verbirgt sich eine intelligente Minifabrik. In ihr lassen sich beispielsweise Knochenbohrschablonen als 3D-Druck fertigen, in einer Fräse nachbearbeiten, qualitativ überprüfen und steril verpacken.

Per Lkw transportieren, Stecker einstecken und produzieren

Für die Herstellerfirmen bietet die mobile Fabrik verschiedene Vorteile. Zum einen die große Flexibilität: Die Abmessungen des Containers haben die Forscher bewusst so gewählt, dass er gerade noch ohne Eskorte über die Straßen gefahren werden kann. Die Unternehmen brauchen ihr Equipment nur einmal anzuschaffen und können es dort einsetzen, wo sie es benötigen – somit sparen sie Geld und schonen die Umwelt. Vor Ort kann es dann sofort losgehen: Der Container wird voll ausgestattet zu seinem Bestimmungsort transportiert, dort braucht er dann nur noch Strom, Wasser und Druckluft.

Da in direkter Kundennähe gefertigt werden kann, verkürzen sich die Lieferzeiten deutlich. Dies könnte mehr Absatz bewirken: Denn dauert die Lieferung zu lang, entscheidet sich der eine oder andere vielleicht doch für ein schneller verfügbares Produkt. Die Ärzte greifen dann auf andere, vielleicht weniger optimale Methoden zurück.

Flexibilität durch modularen Aufbau

Man kann auch andere maßgeschneiderte Produkte innerhalb kürzester Zeit direkt vor Ort herstellen – schließlich haben die Forscher die Fabrik bewusst modular aufgebaut. Die Prozesskette lässt sich flexibel abändern oder erweitern, einzelne Module können auch weggelassen werden. So ist die mobile Fabrik beispielsweise nach Erdbeben in Katastrophengebieten einsetzbar. Direkt vor Ort produziert sie die Bauteile, die das Technische Hilfswerk dringend braucht – etwa um die Trinkwasserversorgung wiederherzustellen. Denkbar sind auch Produktionen in Gegenden, in denen es sehr aufwendig wäre, eine Fabrik aufzubauen, da es an passenden Gebäuden und der nötigen Infrastruktur hapert. Bei CassaMobile hat man schließlich seine eigene, komplette Infrastruktur parat und könnte beispielsweise in Afrika Autoersatzteile produzieren, die dort Mangelware sind.

Kernstück: 3D-Drucker

Das Kernmodul der Produktionsanlage ist der 3D-Drucker, der am IPA entwickelt wurde. »Für den Druck kombinieren wir zwei Materialien: Für das Bauteil selbst verwenden wir üblicherweise Polyamid. Die Stellen, an denen wir später kein Material haben wollen, füllen wir zunächst mit einem Supportmaterial, das wir anschließend in einem Lösungsmittel auflösen«, erläutert Adamietz. Auf diese Weise können die Forscher dreidimensionale freigeformte Strukturen herstellen. Die Druckmaterialien liegen dabei als aufgerollte Kunststoffschnur vor. Diese wird aufgeschmolzen und linienförmig auf dem Substrat abgelegt. Damit die Oberfläche homogen und das Bauteil maßhaltig wird, heizen die Forscher auch den Bauraum auf.

Eine Kamera überwacht den gesamten Druckvorgang und hilft, Fehler sofort zu korrigieren. Das reduziert Ausschuss, verbessert die Qualität und spart aufwendige manuelle Kontrollen. Die produzierten Bauteile sind daher bereits sehr exakt. Sollte eine Oberfläche doch einmal nicht ideal sein, so kann sie über ein Fräsmodul nachbearbeitet werden. Sind sterile Produkte gefordert wie bei der Knochenbohrschablone, so wird das Produkt nass gereinigt, mit Wasserdampf sterilisiert und anschließend steril verpackt. Damit die Luft im Container rein ist und bleibt, wird sie ständig umgewälzt und durch Luftfiltereinheiten gedrückt, die Verunreinigungen herausfischen. Ein zentraler Rechner verbindet alle Komponenten und steuert das gesamte Produktionssystem. Es überrascht daher nicht, dass die mobile Fabrik auf großes Interesse der Industrie stößt. ■

Blick ins Innere: modulares und intelligent vernetztes Fertigungssystem auf kleinster Fläche. © *Fraunhofer IPA*

Es geht auch ohne Seltene Erden

Für Elektroautos oder Windräder braucht man künftig große Mengen an Permanentmagneten. Doch diese bestehen aus Selten-Erd-Elementen, die fast ausschließlich aus China kommen. Um von diesen Materialien unabhängiger zu werden, haben Fraunhofer- und Max-Planck-Experten jetzt gemeinsam einen Alternativ-Werkstoff entwickelt.

Text: Tim Schröder

Unsere Zukunft wird elektrisch sein. Das gilt unter Fachleuten als sicher. Weltweit werden mehr und mehr Windräder Strom erzeugen. Und Autos werden von Benzin- und Dieselantrieb auf Elektromotoren umgestellt. Damit wird künftig vor allem der Bedarf an leistungsfähigen Magneten enorm wachsen – denn nahezu überall, wo elektrische Energie in Bewegung oder Bewegung in elektrische Energie umgewandelt wird, sind Magnete notwendig: im Generator der Windkraftanlage, der die Drehbewegung des Rotors in elektrischen Strom umwandelt, oder im E-Motor, der durch Strom auf Touren kommt. Vor allem starke Permanentmagnete sind gefragt, denn sie behalten ihre magnetische Ausrichtung langfristig bei – anders als zum Beispiel ein magnetisierter Eisennagel, den man leicht umpolen kann, wenn man ihn mit einem starken Magnet berührt.

Monopol auf Seltene Erden

Das Problem heutiger Permanentmagnete besteht darin, dass sie unter anderem Selten-Erd-Elemente enthalten, die zu mehr als 90 Prozent in China abgebaut werden. China hat damit eine Monopolstellung. Deshalb suchen Industriestaaten heute intensiv nach alternativen Materialien für die Produktion der Permanentmagnete. Einen wichtigen Schritt in diese Richtung sind Fachleute der Fraunhofer- und der Max-Planck-Gesellschaft in einem Kooperationsprojekt gegangen: Mithilfe aufwendiger Computersimulationen und Experimente haben sie geeignete Kombinationen chemischer Elemente gefunden, die die gewünschten magnetischen Eigenschaften haben und keine Selten-Erd-Elemente enthalten.

Im Detail dreht es sich dabei um Heusler-Materialien. Diese wurden vor mehr als 100 Jahren vom deutschen Chemiker Fritz Heusler entdeckt. Heusler-Materialien haben eine faszinierende Eigenschaft: Sie bestehen aus chemischen Elementen, die für sich allein nicht unbedingt magnetisch sein müssen. Fügt man diese Elemente zu einer kristallinen Heusler-Struktur zusammen, kann die Verbindung aber magnetische Eigenschaften annehmen.

Im Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprojekt »HEUSLER« prüften die Forschenden zunächst mit Simulationen eine Reihe vielversprechender Heusler-Materialien daraufhin, ob sie sich für leistungsfähige Permanentmagnete verwenden lassen. Im Computer kombinierten die Max-Planck-Kollegen systematisch die verschiedenen chemischen Elemente. Mit Simulationen konnten sie Wechselwirkungen der verschiedenen Elemente berechnen und die magnetischen Eigenschaften vorhersagen. Diese Untersuchungen gaben wichtige Hinweise auf geeignete Kandidaten für anschließende chemische Syntheseexperimente.

Defekte gezielt verändern

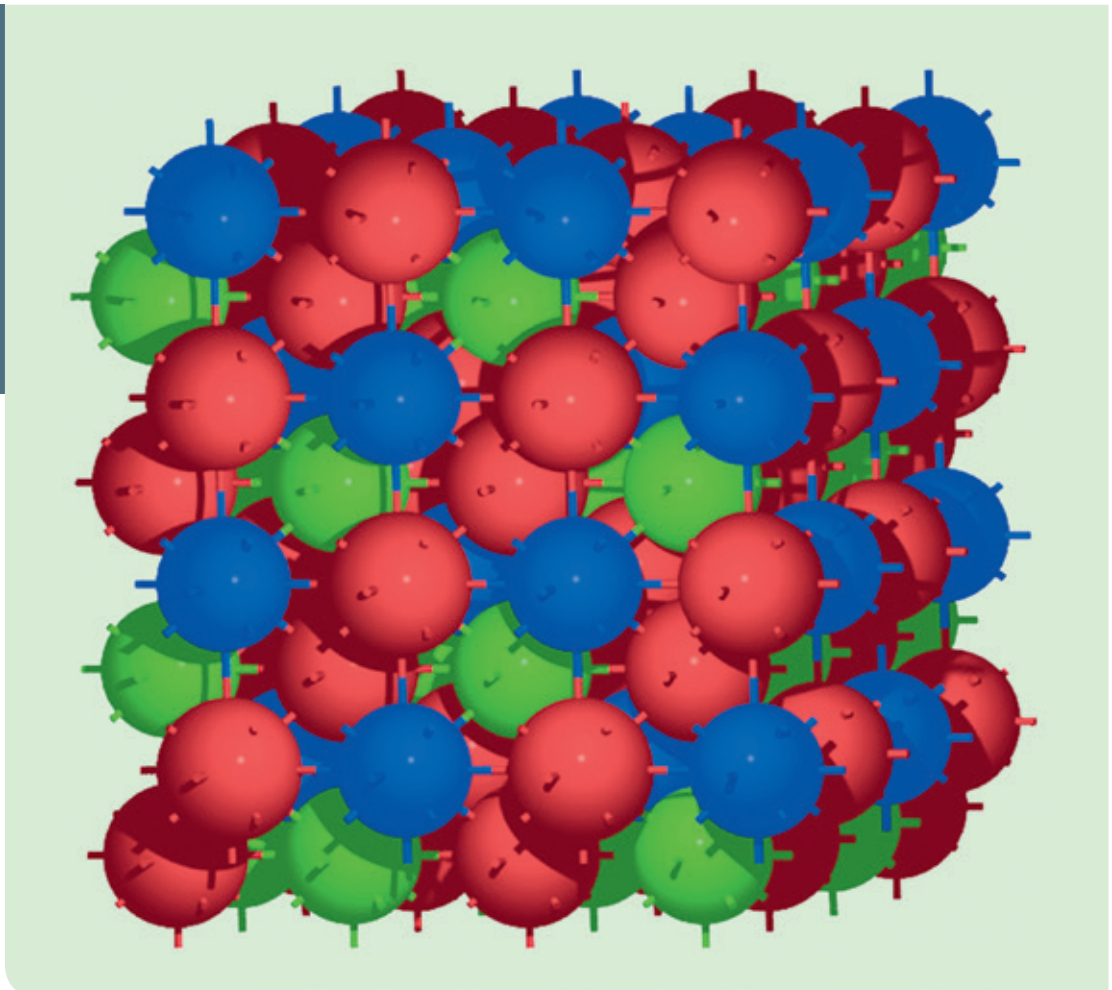
Magnetwerkstoffe bestehen wie viele andere Materialien aus Kristallstrukturen, in denen die Atome in Gittern angeordnet sind. Diese Gitter weisen fast immer Unregelmäßigkeiten, sogenannte Strukturdefekte auf. Bekannt ist, dass solche Defekte für die magnetischen Eigenschaften von Materialien eine wichtige Rolle spielen. »Wenn es gelingt, die Defekte gezielt zu verändern, also die Mikrostruktur des Materials bei der Fertigung kontrolliert einzustellen, dann ist das ein Schlüssel zur Optimierung von Permanentmagneten und zur Verbesserung der magnetischen Eigenschaften«, erklärt Dr. Georg Krugel, der das Projekt im Geschäftsfeld Materialdesign von Prof. Dr. Christian Elsässer am Freiburger Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM bearbeitet hat.

Bei einem perfekt geordneten Kristallgitter ohne Defekte können sich Störungen von außen wie ein Dominoeffekt auswirken. Wird das Material an einer Stelle ummagnetisiert, dann kippt die Magnetisierung des ganzen Kristalls von Atom zu Atom in eine andere Richtung. »Dies kann dazu führen, dass ein Material durch äußere Einflüsse schlagartig umgepolt wird«, sagt Krugel, »genau das aber wollen wir beim Permanentmagneten vermeiden, denn in Motoren oder Generatoren verbaute Magnete müssen die Ausrichtung ihrer Magnetisierung ja behalten.« Indem man nun bestimmte Defekte in das Material einbaut, kann man das Umklappen der Magnetisierung jedoch blockieren – und so eine unerwünschte Umpolung des Permanentmagneten verhindern.

Schritt für Schritt zum neuen Magneten

Der Weg zum permanentmagnetischen Heusler-Material verlief über mehrere Schritte. Im ersten Schritt modellierten Forschende vom Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle am Computer, welche Elemente sich zu einem Heusler-Material mit permanentmagnetischen Eigenschaften kombinieren ließen. Diese Information nutzten die Kollegen vom Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester

Zu den Kooperationspartnern im Projekt »HEUSLER«, das im vergangenen Jahr abgeschlossen wurde, gehören: die Fraunhofer-Institute für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg und für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle sowie die Max-Planck-Institute für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden und für Mikrostrukturphysik in Halle.



Im Projekt intensiv untersuchte Kristallstruktur der magnetischen Heusler-Phase Fe_2CoGa (rot: Eisen-, grün: Cobalt- und blau: Gallium-Atome). © *Fraunhofer IWM*

Stoffe in Dresden, um daraus erste permanentmagnetische Heusler-Materialien herzustellen. Die Materialproben wurden dann vom Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS elektronenmikroskopisch analysiert, um die exakte Anordnung der Atome zu entschlüsseln. »Am Fraunhofer IWM haben wir diese Informationen über die atomare Anordnung im Material und insbesondere an den Defekten genutzt und in Computersimulationsmodelle überführt«, sagt Krugel. Dank dieser Modelle konnten er und seine Kollegen dann verschiedene Anordnungen der Atome durchspielen. »Wir haben mit quantenmechanischen Computersimulationen die atomare Skala analysiert«, berichtet der Wissenschaftler.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Simulationen nutzten abschließend wiederum die Forscher und Forscherinnen vom Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, um im Labor die Heusler-Kristallstrukturen zu optimieren. So konnte in der experimentellen Synthese ein neues Material mit vielversprechenden magnetischen Eigenschaften hergestellt werden.

Bis zu einem fertigen Produkt ist es noch ein langer Weg. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass es alternative Werkstoffe für Permanentmagnete gibt, die ohne Selten-Erd-Elemente auskommen – und dass Heusler-Materialien dafür eine vielversprechende Stoffklasse sind. ■

Audiotechnologie für Deutsche Telekom

Sprachsteuerung vereinfacht das Surfen im Internet, macht das Smart Home smart und ist in vielen Situationen praktisch. Auch die Deutsche Telekom bringt einen Smart Speaker auf den Markt - mit Audiotechnologie vom Fraunhofer IDMT in Oldenburg.

Text: Thomas Eck

Die Mikrofon- und Audiotechnologie des Fraunhofer IDMT versteht auch Befehle aus größerer Entfernung, in lauter Umgebung oder wenn Musik läuft.
© *Deutsche Telekom*

So einfach und intuitiv die Steuerung mit der eigenen Sprache dem Nutzer erscheint, so anspruchsvoll ist die technische Realisierung. Es genügt nicht, dass das Gerät Worte erkennt und in Befehle übersetzt. Die Sprachbefehle müssen auch im Störgeräusch richtig erkannt werden, wenn zum Beispiel der Speaker gerade Musik spielt oder im Raum gesprochen wird. Die Aufgabe der Forschenden war daher das optimale Zusammenspiel von Lautsprechern und Mikrofonen für die Sprachsteuerung auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen. Darüber hinaus realisierten die Fraunhofer-Forscher in einem kleinen Gehäuse eine herausragende Akustik für Telefonie und Musikwiedergabe.

Kompaktes Akustik-Design

»Dem Gesamtergebnis kam es sehr entgegen, dass wir als Audioexperten bereits von Anfang an in das Projekt eingebunden wurden. Durch steuerbare Richtmikrofone und Maßnahmen zur Signalverbesserung für die Erkennung der Sprachbefehle haben wir dem Gerät ein herausragendes ›Gehör‹ gegeben. Das macht sich auch sehr beim Telefonieren über die integrierte Freisprechfunktion bemerkbar. Beim Audiodesign auf der Ausgabeseite konnten wir alle akustischen Komponenten so entwickeln und aufeinander abstimmen, dass wir innerhalb der geringen Abmessungen einen hervorragenden Klang erzeugen«, sagt Jan Wellmann, Gruppenleiter für Audiosystemtechnologie am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg.

Der Projektpartner ist zufrieden: »Das Ergebnis der Fraunhofer-Forscher aus Oldenburg lässt aufhorchen: Der Smart Speaker versteht auch Sprachbefehle aus größerer Entfernung, in lauter Umgebung oder wenn Musik läuft«, sagt Dirk Böttger, verantwortlicher Projektleiter bei der Telekom. »Das akustische Design des kompakten High-End-Stereo-Audiosystems mit einer Ausgangsleistung von 25 Watt sowie einer Kombination aus vier hochempfindlichen Mikrofonen, die für eine höchstmögliche Präzision in der Sprachsteuerung optimiert sind, machen dies möglich.«

Viele Schnittstellen und hoher Datenschutz

Die smarten Speaker stehen oft an einer zentralen Stelle im Haushalt und steuern vernetzte Geräte im ganzen Haus. So lassen sich das Fernsehangebot oder die Smart-Home-Anwendungen der Telekom ohne Fernbedienung nutzen, und auch das Telefonieren wird darüber möglich sein. Entsprechend wichtig ist der Punkt Datenschutz. Der Smart Speaker der Telekom entspricht höchsten Anforderungen sowohl nach deutschen als auch europäischen Datenschutzrichtlinien und hebt sich damit vom Wettbewerb ab. Die Datenverarbeitung erfolgt in den Hochleistungsrechenzentren der Telekom. Die Sprachdaten werden anonymisiert in der Cloud verarbeitet und nach 30 Tagen gelöscht.

Der Smart-Speaker versteht sich dabei als Plattform. So können zum Beispiel Nutzer von Alexa auch mit dem Telekom-Smart Speaker auf eine Vielzahl von Anwendungen aus dem Hause Amazon zugreifen. ■

Welches Ziel haben Sie vor Augen?

WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

- Innovation erleben
- Berufsbegleitend qualifizieren
- Wissensvorsprung sichern

Fraunhofer ACADEMY

www.academy.fraunhofer.de

Wissenschaftscampus: Sprungbrett für Frauen in die Forschung

Die Teilnehmerinnen des Wissenschaftscampus am Fraunhofer LBF.
© *Fraunhofer LBF*

Um junge Frauen für einen Berufseinstieg bei Fraunhofer zu begeistern, hat Fraunhofer bereits vor zehn Jahren den »Fraunhofer Wissenschaftscampus« ins Leben gerufen. In diesem Jahr war die Veranstaltung Mitte März bei den drei Darmstädter Instituten zu Gast.

Erstmalig fanden nationaler und internationaler Teil des Wissenschaftscampus zeitgleich und an einem Ort statt. So waren auch israelische Studentinnen eingeladen, bei der mehrtägigen Veranstaltung dabei zu sein und sich mit ihren deutschen Kommilitoninnen zu vernetzen. Die Teilnehmerinnen erhielten Einblicke in die vielfältigen Forschungsprojekte der Darmstädter Fraunhofer-Institute, diskutierten mit Wissenschaftlerinnen über ihre Arbeit und darüber, welche Herausforderungen und Chancen eine Karriere bei Fraunhofer mit sich bringt.

Allianz der Wissenschaftsorganisationen - Fraunhofer übernimmt Federführung

Jedes Jahr wechselt die organisatorische Federführung innerhalb der Allianz der Wissenschaftsorganisationen zu einer anderen Mitgliedsorganisation. Für das Jahr 2018 übernimmt die Fraunhofer-Gesellschaft diese Aufgabe.

Zum Jahresauftakt beschlossen die Allianzmitglieder die Fortsetzung der Schwerpunktinitiative »Digitale Information«, die bereits im Jahr 2008 gegründet worden war. Mit dieser Initiative will die Allianz den digitalen Wandel in der Wissenschaft koordinieren und mitgestalten. Hintergrund: Ohne digitale Daten und Kommunikation ist Wissenschaft nicht mehr vorstellbar – das gilt sowohl für große Experimente und forschungsbasierte Lehre als auch für die Entwicklung Künstlicher Intelligenz. Für die dritte Arbeitsperiode der Schwerpunktinitiative »Digitale Information« wurde diese nun neu ausgerichtet und bis zum Jahr 2022 verlängert.

http://s.fhg.de/AllianzderWissenschaft

Fraunhofer auf Messen

Mai, Juni

15.–17. Mai
Optatec, Frankfurt
Optische Technologien, Komponenten und Systeme

11.–15. Juni
Achema, Frankfurt
Prozessindustrie

11.–15. Juni
CEBIT, Hannover
Innovation und Digitalisierung

26.–28. Juni
Sensor und Test, Nürnberg
Messtechnik

Juli, August, September

4.–7. September
SMM, Hamburg
Maritime Wirtschaft

10.–15. September
IMTS, Chicago
Manufacturing Technology

13.–17. September
IBC, Amsterdam
Broadcasting

18.–21. September
InnoTrans, Berlin
Verkehrstechnik

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

Franziska Kowalewski
franziska.kowalewski@zv.fraunhofer.de
Susanne Pichotta
susanne.pichotta@zv.fraunhofer.de

Personalien

Der Senat der Fraunhofer-Gesellschaft hat **Andreas Meuer** einstimmig zum Vorstand Controlling und Digitale Geschäftsprozesse gewählt. Der Finanzexperte tritt die Nachfolge von Prof. (Univ. Stellenbosch) Alfred Gossner an. Der Diplom-Kaufmann ist seit 1992 bei der Fraunhofer-Gesellschaft und hatte seitdem verschiedene leitende Funktionen inne. Zuletzt war er Direktor der Hauptabteilung Finanzen, Rechnungswesen und Wirtschaftsplan. Dort verantwortete er unter anderem kaufmännisch das Finanzvolumen der Fraunhofer-Gesellschaft von über zwei Mrd Euro, entwickelte den Jahresabschluss weiter und baute die Vermögensverwaltung auf.

Prof. Claus Emmelmann leitet seit dem 1. Januar 2018 die neu gegründete Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT in Hamburg. Entstanden durch die Eingliederung der LZN Laser Zentrum Nord GmbH, ist das IAPT die erste Fraunhofer-Einrichtung mit Sitz in der Freien und Hansestadt Hamburg und ein wichtiger Baustein beim Ausbau der Kompetenzen im Bereich der Zukunftsthemen Additive Fertigung und Nanotechnologie. Zuvor hatte Prof. Emmelmann die LZN Laser Zentrum Nord GmbH als Geschäftsführer geleitet.

Zum Jahresbeginn hat **Dr. Ying Li** die Leitung des Fraunhofer Representative Office in Peking übernommen. Der in Deutschland promovierte Maschinenbauer kehrt damit zu seinen chinesischen Wurzeln zurück. Geboren wurde Li in der westchinesischen Region Xinjiang, studierte jedoch in Darmstadt und hatte bereits in seiner Zeit am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF an strategischen Kooperationen mit chinesischen Partnern mitgearbeitet.

Prof. Ulrike Köhl ist neue geschäftsführende Institutsleiterin am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie. Seit Mitte Dezember 2017 leitet Köhl zudem als neuberufene Professorin für Immunonkologie der Universität Leipzig das Institut für Klinische Immunologie am Universitätsklinikum Leipzig. Die Forscherin mit Spezialisierung auf zelluläre Immuntherapien war davor als Professorin an der Medizinischen Hochschule Hannover tätig. Köhl löste Prof. Frank Emmrich ab, der das IZI im Jahr 2005 gegründet hat und das Institut seither leitete.

Das Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS in Portugal hat eine neue Leiterin: **Prof. Liliana da Silva Ferreira** PhD steht seit September vergangenen Jahres an der Spitze des Centers. Sie folgt auf Prof. Dirk Elias, der in ein Technologieunternehmen wechselte. Mit 37 Jahren ist Ferreira eine der jüngsten Führungspersönlichkeiten an der Spitze einer Fraunhofer-Einrichtung.

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), Roman Möhlmann

Redaktionelle Mitarbeit:
Janine van Ackeren, Christine Broll, Thomas Eck, Sonja Endres, Sibylle Gaßner, Frank Grotelüschen, Inés Gutiérrez, Markus Jürgens, Thomas Kestler, Franz Miller, Hellmuth Nordwig, Isolde Rötzer, Tim Schröder, Andrea Schwendemann, Tobias Steinhäußer, Mehmet Toprak, Monika Weiner, Britta Widmann

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

© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2018

weiter.vorn
als App,
so oder so.

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

Ab Mitte Mai 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

Available on the App Store

Google play