

weiter.vorn

Sonderdruck zum Jahr des Lichts 2015

Effizient
fertigen
mit Licht

Inhalt

- 03 Editorial
- 04 Effizient fertigen mit Licht
- 10 Licht im Fokus der Forschung
- 12 Besser schweißen mit flotten Laserspiegeln
- 13 Kurzmeldungen
- 14 Maschinen mit Licht steuern
- 16 Strom-Ausbeute steigern
- 18 Licht neu denken
- 20 Leuchtende Zukunft
- 22 Mikro-Optik im Brillenbügel
- 24 Monitor und Kamera in Einem
- 26 Kurzmeldungen
- 28 Laser überprüfen Medikamente
- 29 Spezialkamera spürt Tumore auf
- 30 Schlaglöcher und Spurrinnen analysieren

Licht gestaltet



Prof. Dr. Reimund Neugebauer. © Stefanie Aumiller

Licht ist ein Phänomen, das die Menschen seit jeher fasziniert: Es bildet nicht nur den Ursprung des Lebens auf unserem Planeten – die elektromagnetische Strahlung lässt uns auch sehen, sie transportiert Informationen, liefert Energie und dient als universelles Werkzeug in Wissenschaft und Industrie. Bereits Galileo Galilei versuchte die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts zu messen, aber auch Forscher wie Friedrich Johannes Kepler, Isaac Newton, Joseph von Fraunhofer oder Max Planck ergündeten die besonderen Eigenschaften der elektromagnetischen Strahlung. Nobelpreisträger Albert Einstein sagte sogar, dass er »den Rest seines Lebens darüber nachdenken werde, was Licht ist«.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über das Licht haben zahlreiche Gebiete der Forschung entscheidend beeinflusst. Sie ermöglichen ein besseres Verständnis des Kosmos, führen zu neuen Behandlungen in der Medizin und helfen, die Umwelt zu vermessen. Lichttechnologien sind auch die Grundlage für zahlreiche Anwendungen, ohne die unser Alltag nicht mehr denkbar wäre – wie Glasfasernetze, Laser, Solarzellen oder Leuchtdioden. Licht ist eine wichtige Basis für die moderne Informationsgesellschaft und ermöglicht effiziente Fertigungsverfahren. All dies hat die Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur UNESCO dazu bewogen, 2015 zum Internationalen Jahr des Lichts zu ernennen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist dem Thema Licht auf ganz besondere Weise verbunden. Schon ihr Namenspatron Joseph von Fraunhofer entwickelte höchstauflösende optische Teleskope und Spektrometer. 1814 vermaß er erstmals das Spektrum des Sonnenlichts und charakterisierte die darin auftretenden dunklen Absorptionsstreifen, die »Fraunhofer'schen Linien«. Die Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft leisten auch heute mit ihren Arbeiten zur Erzeugung und Anwendung von Licht in den Bedarfsfeldern Informa-

tion, Energie, Umwelt, Gesundheit, Sicherheit und Mobilität wichtige Beiträge. Insbesondere die Institute des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces sind hier aktiv und arbeiten an der Entwicklung von Strahlquellen, mikrooptischer und präzisionsmechanischer Systeme sowie an der optischen Messtechnik.

In diesem Sonderdruck des Fraunhofer-Magazins weiter vorn widmen wir uns dem Thema Licht und stellen aktuellen Projekte der Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher vor. So erfahren Sie in der Titelgeschichte, wie sich der Laser als Werkzeug in der ressourceneffizienten Produktion der Zukunft nutzen lässt. Die Kommunikation mit Licht eröffnet auch für zunehmende Digitalisierung in der Fertigung neue Möglichkeiten. Fraunhofer-Forscher entwickeln Lösungen, um Daten mit Infrarotlicht übertragen zu können. Moderne Lasertechnologie hilft auch, wichtige Infrastrukturen wie Straßen und Eisenbahnschienen instand zu halten. Ein neuartiger Laserscanner erfasst dafür den Zustand von Autobahnen, Bundesstraßen und Co.

Allein schon diese wenigen Beispiele machen deutlich, welches Potenzial für Innovationen die Nutzung von Licht noch immer birgt. Ganz in der Tradition unseres Namensgebers wird Fraunhofer auch in Zukunft entscheidend dazu beitragen, »Licht« für neue Anwendungen, Produkte und Dienstleistungen nutzbar zu machen.

Ihr

Reimund Neugebauer,
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Effizient fertigen mit Licht



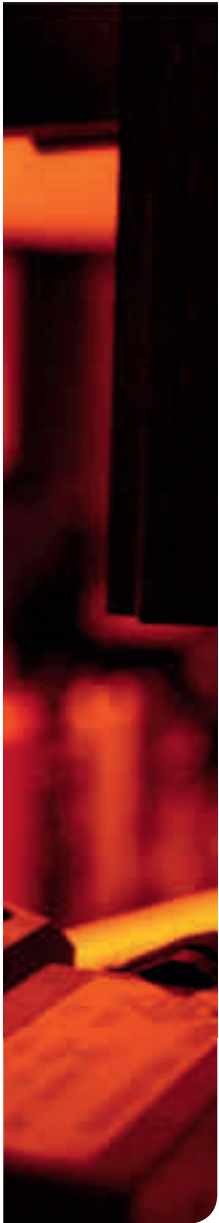
Lokales Schweißen in Glas
mittels ultrakurzer Laserpulse.
© Fraunhofer IOF

Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces

Sechs Fraunhofer-Institute bündeln im Verbund Light & Surfaces ihre Kompetenzen auf dem Gebiet der Oberflächentechnik und Photonik. Arbeitsschwerpunkte im Bereich Photonik sind die Entwicklung von Strahlquellen, mikrooptischer und präzisionsmechanischer Systeme, Materialbearbeitung sowie die optische Messtechnik. Im Verbund engagieren sich die folgenden Institute:

- Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
- Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP
- Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

 www.light-and-surfaces.fraunhofer.de



Fügen, bohren, messen – Laser sind aus der industriellen Fertigung nicht mehr wegzudenken. Für die Produktion der Zukunft spielt Licht eine Schlüsselrolle. Die Vernetzung der realen Fertigungswelt mit der virtuellen digitalen Welt ist ein Kernelement von Industrie 4.0. Ob maßgeschneiderter 3D-Druck von Leichtbaukomponenten oder präzise Bohrungen mittels Ultrakurzpulslaser, das Anwendungsspektrum erstreckt sich über alle Branchen der produzierenden Industrie.

Text: Birgit Niesing

Der Laser ist das Universalwerkzeug in der Produktion: Er schneidet, härtet, schweißt, poliert, misst, erzeugt Mikrostrukturen, spürt Fehler auf oder trägt Material ab. Dabei bestechen Laser durch hohe Präzision und Geschwindigkeit. Im Gegensatz zu mechanischen Werkzeugen arbeitet das gebündelte Licht berührungslos und verschleißt auch bei der Bearbeitung hochfester Stähle oder gehärteter Gläser für Smartphones nicht. Dass Laser heute so breit in der Produktionstechnik eingesetzt werden, ist auch ein Verdienst von Fraunhofer. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insbesondere aus dem Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces (siehe Kasten Seite 04 und Interview Seite 10) gaben in den vergangenen Jahrzehnten entscheidende Impulse sowohl bei der Entwicklung neuer Laser als auch für ihre Integration in die Produktion. So trugen sie durch Forschung und Entwicklung im Auftrag von Laserherstellern und innovativen Anwendern dazu bei, dass Deutschland heute in diesem Markt eine führende Stellung einnimmt. Nach dem Branchenreport der Verbände Spectaris, VDMA und ZVEI sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF stammen etwa 35 Prozent der weltweit verkauften Strahlquellen und 20 Prozent der Lasersysteme für die Materialbearbeitung aus Deutschland.

Das Potenzial der Laser ist aber noch lange nicht ausgeschöpft. Fraunhofer-Forscher arbeiten an Lasern der nächsten Generation und machen sie fit für den Einsatz in der Fertigung. Ein

Beispiel ist der Hochleistungs-Ultrakurzpulslaser (UKP-Laser). Er erzeugt Lichtpulse, die nur wenige Piko- oder Femtosekunden kurz (billionstel oder milliardstel Sekunden), aber sehr energiereich sind. Zum Vergleich: Während ein Lichtstrahl für die Strecke von der Erde bis zum Mond etwa eine Sekunde benötigt, gelangt er in einer Pikosekunde gerade einmal 0,03 Millimeter weit. Wichtige Grundlagen für die Entwicklung und den Einsatz von Ultrakurzpulslasern legten unter anderem Experten des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT in Aachen. So demonstrierten Wissenschaftler des IOF bereits 2009 einen Ultrakurzpulslaser mit einer Leistung von 830 Watt. In 2010 konnten die Aachener Experten des Fraunhofer ILT bereits die magische Marke von 1 kW mit einem Femtosekundenlaser überschreiten. Inzwischen wurde am ILT mit einer skalierten Version des Femtosekundenlasers sogar 1,5 kW erreicht. Die Forscher des ILT arbeiten aber nicht nur an der Leistungssteigerung, sondern entwickeln auch maßgeschneiderte Strahlquellen und neue Anwendungen für ultrakurze Laserpulse.

Aber was unterscheidet Ultrakurzpulslaser von herkömmlichen Systemen? »Durch die geschickte Wahl von Pulsdauer, Pulsenergie und der richtigen Fokussierung lässt sich das Material so schnell und so stark erhitzen, dass es verdampft, ohne zu schmelzen«, erläutert Professor Andreas Tünnermann,



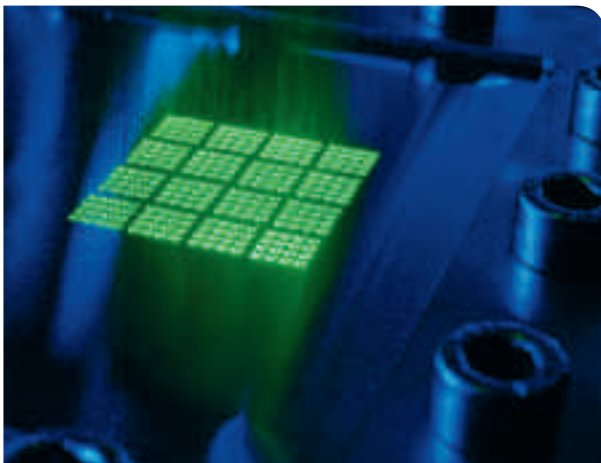
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces und Leiter des IOF in Jena. Der Abtrag erfolgt präzise und nur dort, wo er soll, Mikrometer für Mikrometer. Eine solche »kalte Bearbeitung« ist mit konventionellen Lasern nicht möglich. Letztere erzeugen Wärmeeinflusszonen. Trifft ein Laserstrahl zum Beispiel auf Metall, schmilzt das Material teilweise und es können sich Unebenheiten bilden. Das Werkstück muss dann aufwändig nachbearbeitet werden. Das kostet Zeit und Geld.

Produzieren mit Lichtblitzen

Experten nutzen schon seit einigen Jahren ultrakurze Laserpulse, um auch hochempfindliche Materialien präzise und schonend zu bearbeiten. Doch das Verfahren kam lange Zeit meist nur in Forschungslaboren zum Einsatz. Erst seit wenigen Jahren gibt es erste industrielle Anwendungen. So gelang es IOF-Forschern in Zusammenarbeit mit Bosch, Trumpf und der Friedrich-Schiller-Universität Jena, ultrakurze Laserpulse zu einem erfolgreichen Werkzeug der Serienfertigung zu machen. Ein entscheidender Baustein waren die Arbeiten von Prof. Dr. Stefan Nolte, der an der Friedrich-Schiller-Universität sowie am IOF arbeitet. Der Physiker erforschte die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Material und schaffte so die wissenschaftliche Basis für die Bearbeitung fast aller Werkstoffe mit den energiereichen, ultrakurzen Laserpulsen. Die beiden Industrie-Unternehmen entwickelten die Technologie weiter und ermöglichten es so, sie in die Fertigungs- und Systemtechnik

für industrielle Serienproduktion zu integrieren. Dafür erhielten die Experten 2013 den Zukunftspreis des Bundespräsidenten. Mittlerweile sind UKP-Lasersysteme mit Leistungen bis 1 kW auf dem Markt erhältlich. Sie eröffnen vielen Branchen Wege zu neuen Produkten, die bislang nur äußerst schwierig oder gar nicht herzustellen waren. Die Technik kommt vor allem dort zum Einsatz, wo Werkstoffe besonders schonend und präzise bearbeitet werden müssen. So werden unter anderem extrem feine Düsen für Benzin-Direkteinspritzventile sowie besser verträgliche Stents mit den neuen Lasern gefertigt oder gehärtetes Glas für Displays in Smartphones geschnitten. Die wesentliche Herausforderung ist es nun, die verfügbaren Laserpulse mit geeigneter Prozesstechnik zu kombinieren und so weitere Anwendungen zu erschließen.

Ein mögliches neues Einsatzgebiet für UKP-Laser ist das Strukturieren von Leichtbaumaterialien wie Kunststoffen oder karbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Die modifizierten Oberflächen nehmen besser Metallpulver auf. So lassen sich auch Leichtbauwerkstoffe mit dem hocheffizienten Kaltgas-spritzen (Cold-Spray-Technologie) beschichten. Bei diesem Verfahren wird der Werkstoff in Pulverform mit sehr hoher Geschwindigkeit auf das Trägermaterial aufgebracht. Die beschichteten Kunststoffe oder CFK sind vor allem für die Luft- und Raumfahrt sowie den Automobilsektor interessant. Aber auch in der Elektronikbranche ermöglichen sie viele Anwendungen: Auf ein nichtleitendes Gehäuse kann mit der Kaltgas-

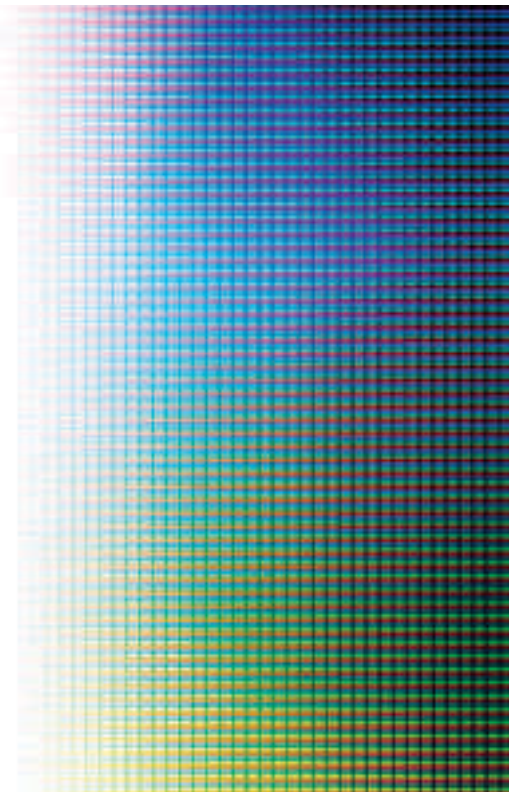


Ultrakurzpuls laser für die industrielle Massenfertigung (Bild links).
© Ansgar Pudenz

Einspritzventile der Benzin-Direkteinspritzung. (Bild Mitte).
© Ansgar Pudenz

Ultrakurzpuls laser-Parallelbearbeitung mit Multistrahltechnologie (Bild rechts oben).
© Fraunhofer ILT

Saphir-Musterformat – mit einem Ultrakurzpuls laser geschnitten.
© Ansgar Pudenz



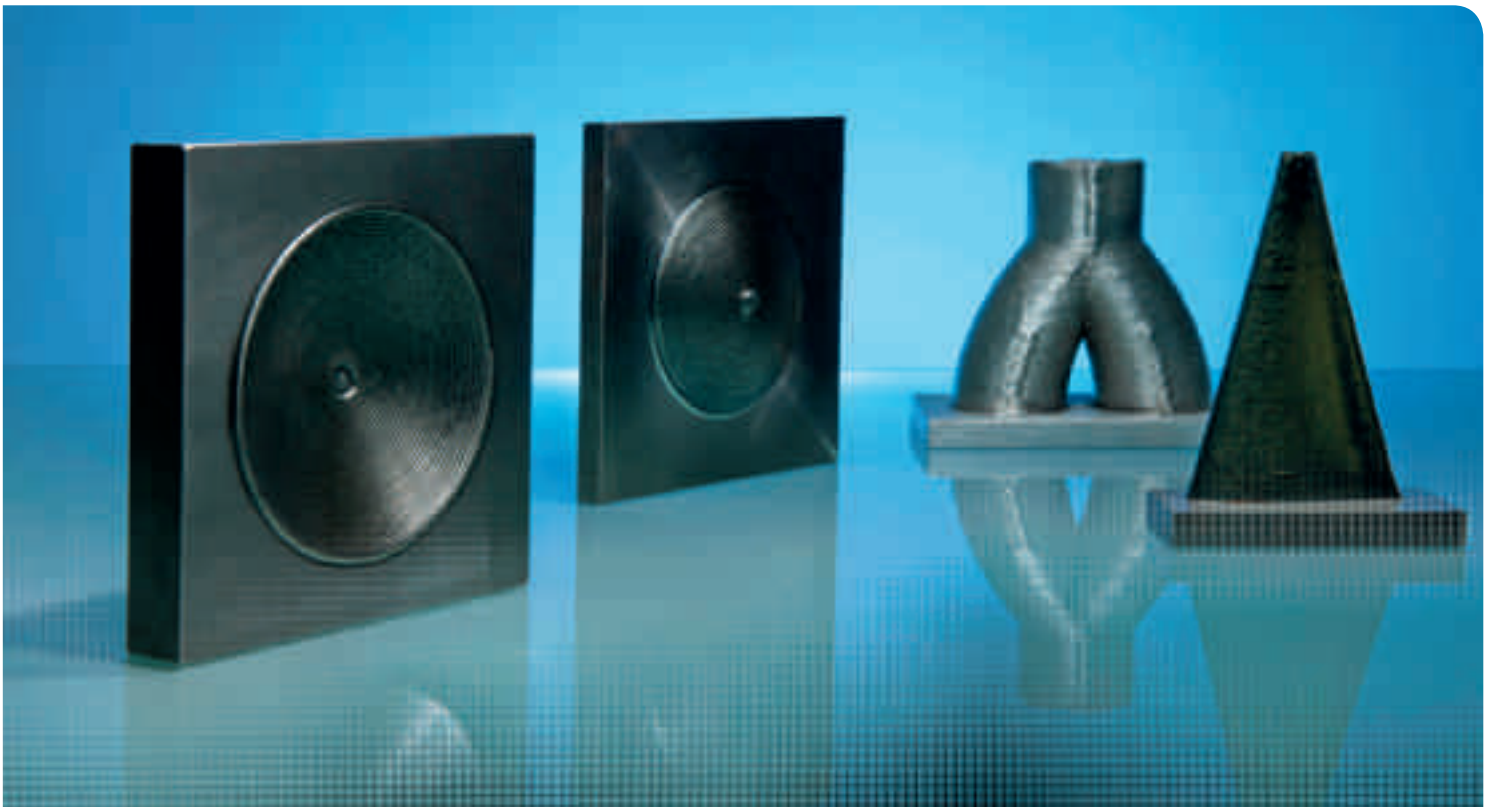
Spritztechnologie eine Kupferschicht aufgebracht werden, die ohne Lüfter Wärme abführt. In dem EU-Verbundprojekt »Efficient Manufacturing of Laser Assisted Cold-Sprayed components EMLACS« arbeiten Forscher des ILT gemeinsam mit französischen, niederländischen und deutschen Partnern an der Entwicklung eines entsprechenden Prozesses.

Ultrakurzpuls laser sind insbesondere für das Verarbeiten von Glas interessant, denn sie minimieren Spannungen und somit mögliche Schädigungen wie Rissbildungen. Allerdings sind die Wechselwirkungen zwischen ultrakurzen Laserpulsen und den Absorptionseffekten in transparenten Werkstoffen noch nicht ausreichend erschlossen. Diese Lücke soll das Projekt »Femto Photonic Production« schließen. Ziel ist es, die Grundlagen der Materialbearbeitung von Glas, Saphir und Diamant zu legen. Aufbauend auf diesen Resultaten sollen dann für alle relevanten Materialklassen die optimalen Leistungsparameter für die verschiedenen Laserklassen, angepasste Optiken und Systemlösungen abgeleitet und anschließend in experimentellen Studien gemeinsam mit den Industriepartnern evaluiert werden. Die Ergebnisse sind besonders für die Fertigung von Displays, modernen LEDs oder Leistungstransistoren zum Steuern großer Spannungen oder Ströme interessant. In dem Forschungsvorhaben, das im Oktober 2014 startete, arbeiten Experten des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT und der RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT mit den Strahlquellenherstellern Trumpf, Edgewave und Amphos

sowie den Systemanbietern 4Jet, LightFab und Pulsar Photonics zusammen.

Vollkommen neue Fertigungsmöglichkeiten eröffnet das selektive Laserschmelzen (Selective Laser Melting, SLM). Entscheidende Grundlagen für dieses generative Herstellungsverfahren legten Forscherinnen und Forscher des ILT bereits Mitte der 1990er Jahre. Seither haben sie das 1996 patentierte Verfahren kontinuierlich weiterentwickelt. Beim SLM wird das Bauteil direkt aus den computergenerierten Konstruktionsdaten des geplanten Werkstücks (CAD) schichtweise mit Pulver aufgebaut – ohne bindende Zusatzwerkstoffe einzusetzen. Der Ausgangswerkstoff ist meist ein Metallpulver, das entsprechend der berechneten Flächen des CAD-Modells selektiv mit dem Laserstrahl durch lokalen Wärmeeintrag aufgeschmolzen wird. Das Ganze funktioniert im Grunde ähnlich wie ein Drucker, aber in drei Dimensionen. Mittlerweile wird das Verfahren in der Fertigung eingesetzt – etwa im Werkzeugbau, der Medizintechnik sowie der Automobil- und der Luftfahrtindustrie.

Die generative Fertigung bietet zahlreiche Vorteile. Es werden weder spezielle Werkzeuge noch Formen gebraucht. Zudem fällt kaum Abfall an – das überschüssige Pulver lässt sich in der Regel wiederverwenden. Wie ressourcenschonend man im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren mit generativer Laserfertigung produzieren kann, zeigt sich am Beispiel der



Beschichtete und generativ aufgebaute Bauteile aus unterschiedlichen Metalllegierungen. © Fraunhofer IWS/Frank Höhler

sogenannten Blade Integrated Disk (Akronym BLISK) Turbinen-Herstellung. Bislang werden diese hochwertigen Teile aus einem riesigen Materialblock herausgefräst. Dabei geht jedoch sehr viel des teuren Werkstoffs verloren. Die schichtweise Herstellung mit Laserauftragschweißen – bei dem ein Laserstrahl auf den Fokus eines Pulverstrahls an der Oberfläche des zu bearbeitenden Bauteils gerichtet wird – bietet darüber hinaus eine nahezu unbegrenzte gestalterische und konstruktive Freiheit. Die Ingenieure können ein Bauteil so entwerfen, dass es seine Funktion optimal erfüllt, ohne darauf zu achten, ob es sich überhaupt herstellen lässt. »Mit der generativen Fertigung lassen sich nahezu beliebig komplexe Geometrien, auch mit internen Strukturen, realisieren. Dadurch können Bauteile funktionsoptimiert ausgelegt werden, ohne Restriktionen bisheriger Fertigungsverfahren berücksichtigen zu müssen«, betont Dr.-Ing. Wilhelm Meiners vom ILT. Das macht das Verfahren vor allem auch für den Leichtbau interessant. So entwickelten ILT-Forscher per SLM-Verfahren unter anderem einen sehr leichten Querlenkerträger für einen Sportwagen, an dem die Räder einzeln aufgehängt sind. Dank einer Hohlstruktur im Inneren ist er zugleich leichter und stabiler als gegossene oder spanend bearbeitete Bauteile. Wie leistungsfähig die 3D-Technologie im Kunststoffbereich bereits ist, demonstriert Fraunhofer in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Materialise auf der diesjährigen Messe LASER World of Photonics: unter dem Dach des UNESCO-Jahres des Lichtes stellen sie dort in zwei Meter hohen Lettern den Schriftzug »LIGHT«,

englisch für »Licht« aber auch für »leicht« aus. Die Besonderheit: Die Buchstaben bestehen aus einer komplex geformten luftigen Gitterstruktur, die per 3D-Druck auf der patentierten Mammut-Stereolithographieanlage des Unternehmens Materialise hergestellt wurde.

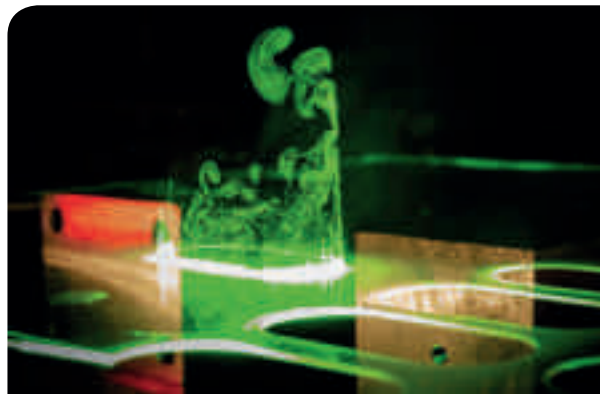
Bislang nutzen Unternehmen die generative Fertigung mit SLM vor allem für kleine metallische Bauteile. Damit sich auch große Komponenten über das Selective Laser Melting ausdrucken lassen, entwickelten Forscher am ILT ein neues Anlagenkonzept. »Statt im SLM-Prozess auf Scannersysteme zu setzen, verwenden wir in unserer Anlage eine Multispot-Bearbeitung – also einen Bearbeitungskopf, aus dem fünf einzelne Laserstrahlen kommen«, erläutert Florian Eibl, Wissenschaftler am ILT. Der Vorteil: Der Schmelzprozess wird dadurch parallelisiert, somit lassen sich selbst große Teile schnell und ohne zusätzlichen Aufwand produzieren. Das neue Anlagenkonzept wurde im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« entwickelt, konstruiert und aufgebaut. Mit der generativen Fertigung lassen sich sogar thermisch hoch belastete Bauteile aus Nickel-Superlegierungen produzieren. Damit sich solche schwer bis nicht schweißbare Hochleistungswerkstoffe mit gebündeltem Licht bearbeiten lassen, kombinieren Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden das Laser-Pulver-Auftragschweißen mit Induktion. »Durch zusätzlich lokal in das Bauteil eingebrachte Wärme

und eine präzise Prozesssteuerung lässt sich die Bildung von Heiß- und Kaltrissen unterdrücken», erläutert Dr.-Ing. Frank Brückner vom IWS. Nickel-Superlegierungen sind vor allem in stationären Gasturbinen oder Strahltriebwerken im Einsatz. Sie ermöglichen Einsatztemperaturen oberhalb von 700 °C. Mit der neuen Technologie lassen sich auch weitere neuartige Hochleistungswerkstoffe wie zum Beispiel intermetallische Verbindungen aus Titan und Aluminium bearbeiten.

Gebündeltes Licht für die Industrie 4.0

Forscher des IWS Dresden entwickeln seit einigen Jahren Prozesse und die dazu erforderliche Systemtechnik, um in virtualisierten Prozessketten Bauteile direkt aus metallischen Werkstoffen zu erzeugen. In dem Projekt »Additiv-generative Fertigung – AGENT-3D« arbeiten sie daran, Produkte zuerst am Computer zu entwerfen und dann direkt in einem automatisierten Prozess ohne weitere Zwischenschritte einbaufertig herzustellen. Ziel ist es, die additiv-generative Fertigung zur Schlüsseltechnologie der Industrie 4.0 zu entwickeln. Dazu hat sich ein Konsortium mit 75 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft gebildet. Das Forschungsvorhaben ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Programms »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation«. Wie sich Licht als Werkzeug in einer künftig immer stärker digitalisierten Produktion nutzen lässt, wird in Aachen am Forschungscampus »Digital Photonic Production« untersucht. Hinter dem Begriff »Digital Photonic Production« (DPP) steht das Konzept, mit Bits (Computerdaten) Photonen der Laserstrahlung zu steuern und daraus Atome zu Werkstücken zusammenzusetzen – und zwar beliebig komplex und in beliebig geringen Stückzahlen, bei gleichbleibend niedrigen Stückkosten. »Der Laser ist das einzige Werkzeug, das so schnell arbeitet, wie ein Computer denkt«, erläutert Christian Hinke, der die Gruppe für integrative Produktion am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University leitet und die strategisch über die nächsten 15 Jahre vom BMBF geförderte DPP-Initiative koordiniert. Einer der Initiatoren und Sprecher des DPP Forschungscampus ist Professor Reinhart Poprawe, Leiter des ILT.

Am DPP Forschungscampus wird an folgenden Schwerpunkten gearbeitet: Dem Selective Laser Melting, dem Einsatz von Ultrakurzpulslasern und der selektiven Oberflächenbearbeitung mit neuartigen Halbleiter-Strahlquellen, bei denen das Licht senkrecht zur Ebene des Halbleiterchips abgestrahlt wird. Mit solchen VCSE-Lasern (engl. vertical-cavity surface-emitting laser) lassen sich Oberflächen sehr effizient selektiv, d. h. orts aufgelöst veredeln. Das ILT bringt in den Forschungscampus bereits bestehende Aktivitäten ein – etwa den zehn Millionen Euro starken Fraunhofer-Innovationscluster AdaM. In dem Cluster arbeitet das ILT unter anderem mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT an generativen Fertigungsverfahren, mit denen sich Komponenten für Flugzeugtriebwerke und Gasturbinen für die Energieerzeugung herstellen lassen. Ein wesentliches Ziel des DPP-Forschungscampus ist es, Grundlagenforschung, angewandte Forschung und



Dünnglasschneiden mit Ultrakurzpulslaser.
© Fraunhofer ILT



Digital Photonic Production – der schnelle Weg zu individualisierten Bauteilen.
© Fraunhofer ILT

Industrie stärker miteinander zu vernetzen. Deshalb testen die Beteiligten neue Formen der Zusammenarbeit, etwa das Immatrikulations-Modell. Hierbei siedeln sich Unternehmen auf dem Campus der Universität an und forschen gemeinsam mit den Wissenschaftlern aus der RWTH Aachen University und von Fraunhofer an Themen, die über das kurzfristige Interesse an neuen Produkten hinausgehen. Die Firmen unterhalten nicht nur kleine Büros auf dem Campus. Ihre Experten sind auch aktiv in Forschung und Fortbildung eingebunden. Das erleichtert den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft: Die Forscher erfahren, wofür sich die Industrie interessiert. Und die Firmen können aktuelle Forschungsergebnisse schneller in neue Produkte umsetzen. An dem Forschungscampus sind Industriekonzerne wie BMW, MTU, Philips, Siemens und Trumpf sowie kleine und mittelständische Unternehmen wie Amphos, Innolite, ModuleWorks und SLM Solutions beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert das Vorhaben insgesamt 15 Jahre mit bis zu zwei Millionen Euro jährlich. Zusätzlich entsteht bis Ende des Jahres ein von privaten Investoren mit über elf Millionen Euro finanziertes Innovationszentrum, in dem interessierte Kooperationspartner aus der Industrie Büroräume und Labore in unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer ILT anmieten können.

Mit ihren Arbeiten tragen Fraunhofer-Forscherinnen und Forscher dazu bei, die Produktion mithilfe des Werkzeugs Licht fit für die Herausforderungen der Zukunft zu machen. ■

Licht im Fokus der Forschung

Ein Gespräch mit Professor Andreas Tünnermann, dem Vorsitzenden des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena, zu Innovationen mit Licht, neuen Einsatzmöglichkeiten und dem Fraunhofer-Engagement im UNESCO-»Jahr des Lichts«.

Das Gespräch führte Mandy Kühn

Prof. Tünnermann, Sie leiten den Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces: In welchen Bereichen forschen die Fraunhofer-Institute an Lichttechnologien aktuell?

Wir entwickeln photonische und optische Systeme für nahezu alle Bereiche – von der Beleuchtung über den Automobilbereich bis hin zu Photovoltaik, Multimedia und Sicherheit. In der industriellen Produktion zum Beispiel ist Licht als verschleißfreies Werkzeug oder als berührungsloses Messinstrument nicht mehr wegzudenken. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind etwa neue Verfahren für das Laserstrahlschneiden im Hochgeschwindigkeitsbereich. Dabei erreichen wir Taktzeiten, die denen des Stanzens nahekommen. Gegenüber dem Stanzen bietet das hochdynamische Laserschneiden mehr Freiheiten in der Bauteilgestaltung und Materialwahl und erlaubt flexiblere Produktionsprozesse. Zudem lassen sich hohe Werkzeugkosten und ungeplante Produktionsausfälle bei Versagen des Arbeitsgeräts vermeiden. Eine weitere Herausforderung ist die Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien in der Automobilindustrie. Hier müssen die verschiedenen Schichten in der Batterie sowie die Leiterbahnen zum Herausführen des Stroms miteinander verbunden werden. Das Laserstrahlschweißen bietet sich dafür als effektive und prozesssichere Fügetechnologie an.

In welchen Einsatzgebieten können Laser darüber hinaus Verbesserungen bringen?

Licht wird auch als berührungsloses Messinstrument für die immer höheren Anforderungen an die Maßhaltigkeit metallischer Halbzeuge und Werkstücke eingesetzt. Wichtig ist das vor allem in der Luftfahrt- und Automobilindustrie. Im Verbund haben wir eine neue Generation absolut messender Abstandssensoren für die Dickenmessung von Walzbändern entwickelt. Diese können bis zu 70 000 Dickenmessungen pro Sekunde an Walzbändern bei 210 km/h durchführen. An

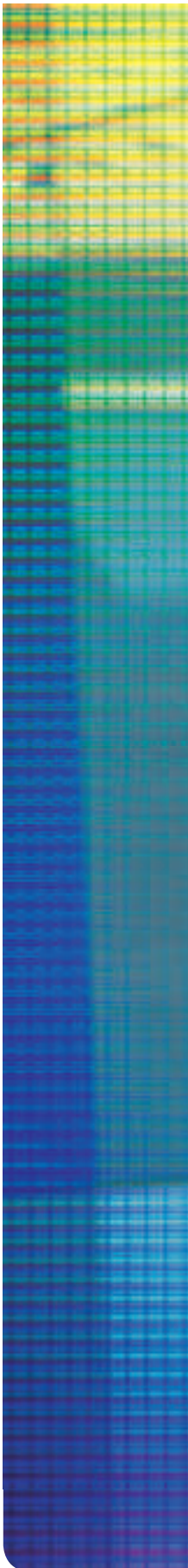
der Schwelle zum industriellen Einsatz stehen heute zudem generative Verfahren wie das Selective Laser Melting (SLM). Sie eignen sich dort, wo komplexe Bauteilgeometrien, kurze Reaktionszeiten oder ein ressourcenschonender Umgang mit dem Werkstoff gefragt sind. Ähnlich wie bei einem Laserdrucker, der die gespeicherten Daten zweidimensional auf Papier aufbringt, wird beim SLM auf der Grundlage von CAD-Daten der Werkstoff dreidimensional in Schichten von wenigen zehn Mikrometern aufgetragen. So wächst Schicht für Schicht das Bauteil heran.

Wie engagiert sich Fraunhofer im von der UNESCO ausgerufenen Jahr des Lichts 2015?

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist im Sinne ihres Namenspatrons Partner und Botschafter dieser Initiative. Joseph von Fraunhofer entwickelte die höchstauflösenden optischen Teleskope und Spektrometer seiner Zeit. 1814 beobachtete er erstmals die später nach ihm benannten »Fraunhofer Linien« – dunkle Linien im Sonnenspektrum. Seine Arbeiten zur spektralen Zusammensetzung des Lichts machten Fraunhofer zu einem Mitbegründer der modernen Spektralanalyse. Im Jahr des Lichts engagieren sich die Fraunhofer-Gesellschaft und mehrere Institute mit verschiedensten Aktivitäten. Eine große Licht- und Wissensshow bildete im Januar in der Lichtstadt Jena den Auftakt. Verteilt über das Jahr gibt es mehrere Veranstaltungen, Symposien und Publikationen mit dem Fokus Licht. Zum Beispiel findet vom 22. bis 26. September 2015 das Wissenschaftsfestival »Highlights der Physik« im Stadtzentrum von Jena statt.

Was ist in Ihren Augen die bemerkenswerteste Erfindung in punkto Licht der letzten Jahre?

Hier könnte ich viele Dinge nennen, aber 2014 war in der Tat ein besonderes Jahr für die Photonik als Schlüsseltechnolo-





Prof. Dr. Andreas Tünnermann.
© Fraunhofer IOF

gie und Treiber gesellschaftlichen Wandels. Zwei Nobelpreise wurden für photonische Technologien vergeben: Akasaki, Amano und Nakamura haben mit der Entwicklung der blauen LED die Beleuchtung in Bezug auf Effizienz und Nachhaltigkeit revolutioniert. Betzig, Hell und Moerner ist es gelungen mikroskopische Methoden zu entwickeln, welche das Abbe-Limit »austricksen« und den Einblick in die Grundbausteine der lebenden Zellen ermöglichen. Beide Nobelpreise revolutionieren etablierte Optik-Technologien mit höchster gesellschaftlicher Relevanz und gigantischem Anwendungspotential.

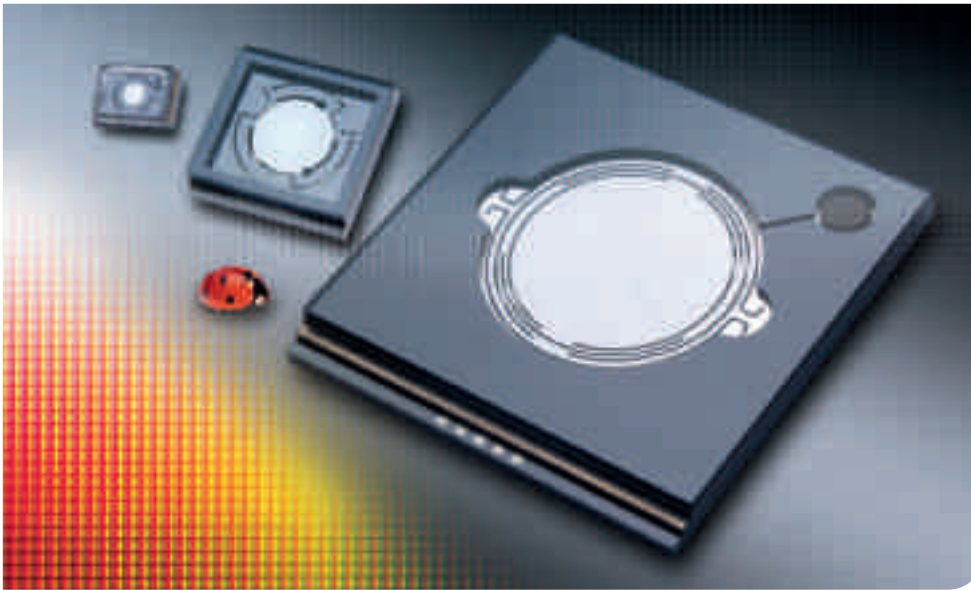
Fraunhofer vergibt jedes Jahr den Nachwuchspreis »Green Photonics«. Warum ist die nachhaltige Nutzung von Licht so wichtig?

Die nachhaltige Nutzung von Ressourcen mit Hilfe von Licht wird dieses Jahrhundert ebenso revolutionieren wie die Entwicklungen der Elektronik im 20. Jahrhundert. Denn Licht trägt wesentlich zur Lösung dringender Zukunftsfragen bei: Es ermöglicht energie- und ressourceneffiziente Prozesse, bildet die Grundlage für eine CO₂-neutrale Energieerzeugung sowie für eine sichere Ernährung und Trinkwasserversorgung. Zudem erlaubt der Einsatz optischer und optoelektronischer Systeme generell neue Produkte, Verfahren und Prozesse mit höherer Produktivität, Qualität und Umweltverträglichkeit.

Was sind die aktuellen bzw. künftigen Fragestellungen in der Lichtforschung, die es noch zu lösen gilt?

Die Nutzung von Licht eröffnet noch unzählige Einsatzmöglichkeiten, die längst nicht ausgeschöpft sind. In der Lichtforschung müssen und werden wir an den Themen arbeiten, die schon in der Zukunftsstrategie der Bundesregierung genannt sind: digitale Wirtschaft und Gesellschaft, nachhaltiges Wirtschaften und Energie, innovative Arbeitswelt, gesundes Leben, intelligente Mobilität und zivile Sicherheit. Die Photonik muss sich hier den neuen Herausforderungen stellen, um innovativer, effektiver und ressourcenschonender zu sein. So sind etwa die Ansprüche an Systemlösungen gestiegen, die bloße Umsetzung technologischer Neuerungen in Produktionsprozessen reicht nicht mehr aus. Auch gilt es, neue Lösungen für die Bedürfnisse des demographischen Wandels zu finden. Insofern steht die Hinwendung der Wissenschaft zum Phänomen Licht nur am Anfang einer faszinierenden Entwicklung. ■

Besser schweißen mit flotten Laserspiegeln



Mikrospiegel aus Silizium können Laserstrahlen extrem schnell steuern und damit den Wärmeeintrag in Werkstücke perfekt dosieren. Bislang waren sie aber für das Laserschneiden und -schweißen nicht widerstandsfähig genug. Einem Fraunhofer-Team ist es jetzt gelungen, schnelle und strapazierfähige Spiegel zu entwickeln, die reif für anspruchsvolle Schneid- und Schweißaufgaben sind.

Text: Tim Schröder

Die schnellen und widerstandsfähigen MEMS-Spiegel lenken den Laserstrahl ab und führen ihn präzise über das Werkstück. © Fraunhofer ISIT

Im Fahrzeug- oder Flugzeugbau kommen heute verschiedene Werkstoffe wie Aluminium oder hochfeste Spezialstähle zum Einsatz, die Gewicht und somit den Treibstoffverbrauch reduzieren. Diese neuen Werkstoffe oder deren Kombination stellen die Verarbeiter vor neue Herausforderungen. Das gilt vor allem für das Schneiden oder Schweißen von Metallen mithilfe von Lasern. Bislang müssen Laseranlagen mit viel Aufwand auf einzelne Werkstoffe abgestimmt werden. In vielen Fällen sind Spezialoptiken nötig, die eigens für einen Prozess installiert werden.

Für mehr Flexibilität bei der Laserbearbeitung sorgen jetzt Laserspiegel, die von Ingenieuren des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe und des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden gemeinsam entwickelt worden sind. Herzstück der Anlage sind Mikrospiegel, die aus Silizium geätzt werden. Diese Mikro-Elektro-Mechanischen Systeme (MEMS) sind Kippspiegel, die die Aufgabe haben, den Laserstrahl abzulenken und präzise über das Werkstück zu führen. Bislang

konnte man diese kleinen Spiegel nur mit Laserleistungen von wenigen Milliwatt verwenden. Höhere Leistungen hätten die Spiegel geschmolzen. Dank einer in dem Kooperationsprojekt entwickelten neuen Schutzbeschichtung und einer speziellen Aufhängung vertragen die Spiegel jetzt aber sogar Leistungen im Kilowattbereich – genug um Aluminium oder Stahlbleche zu verarbeiten.

Mehr Flexibilität mit Mikrospiegeln

Die feinen MEMS-Spiegel lassen sich extrem schnell hin und her schwenken. Sie erreichen Frequenzen bis 100 000 Hertz. Damit lässt sich die Laserenergie sehr viel besser verteilen als mit herkömmlichen Laseranlagen, deren Spiegel mit nur etwa 1000 Hertz schwingen. Laser haben in ihrem Brennpunkt ein bestimmtes Energieprofil und tragen immer dieselbe Energiemenge ein. Schwingt der Spiegel langsam, lässt sich die Energie weniger gut an der Schweißnaht verteilen und dosieren. »Wir hingegen können die Wärme dank des schnellen Oszillierens des

Laserstrahls sehr viel besser verteilen und an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe anpassen«, sagt Dr.-Ing. Andreas Wetzig, Spezialist am IWS für den Bereich »Laserabtragen und -trennen«. Wie Laborversuche zeigen, ist mit den MEMS-Spiegeln vieles möglich – sowohl beim Schneiden, beim Schweißen als auch beim Härten von Oberflächen.

Dass die neuen MEMS-Mikrospiegel mit großen Laserleistungen arbeiten können, liegt nicht nur an ihrer speziellen Oberfläche, sondern auch an der ungewöhnlichen Größe. Normalerweise haben MEMS-Spiegel einen Durchmesser von ein bis zwei Millimetern. Die neuen MEMS-Spiegel bringen es auf bis zu zwei Zentimeter und können damit auch Laser mit größeren Strahldurchmessern und mit deutlich mehr Energie bewältigen. Für die Entwickler lag die Herausforderung darin, trotz der Größe hohe Frequenzen zu erreichen. »Zu diesem Zweck betreiben wir die Spiegel in luftleeren Vakuumkapseln, um die Dämpfung des oszillierenden Spiegels zu minimieren«, sagt MEMS-Spiegel-Experte Ulrich Hofmann vom ISIT. ■

Durchblick bei riskanter Post

Komplexe Infrastrukturen und die wachsende Mobilität von Menschen und Waren machen zuverlässige und zugleich schnelle Kontrollen an neuralgischen Punkten unumgänglich. Ein wichtiges Anliegen von Sicherheitsexperten ist die Prüfung von Postsendungen. Prof. Dr. René Beigang vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM gelang es in enger Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Thorsten Sprenger von der Hübner GmbH & Co. KG, die Terahertz-Technologie für einen Postscanner einzusetzen. Dazu waren einige Innovationen nötig, etwa eine komplett faserbasierte Laserstrahlführung,

hochpräzise gefertigte Emitter- und Detektoreinheiten sowie eine an Terahertz-Spektren angepasste und automatisierte spektroskopische Analyse. Ein wichtiger Vorteil der Terahertz-Technologie ist, dass das bedienende Personal nicht wie beim Einsatz von Röntgengeräten aus gesundheitlichen Gründen abgeschirmt werden muss. Das Gerät kann den Inhalt von Postsendungen im Format C4 gefahrlos durchleuchten und dabei einzelne Substanzen wie Drogen oder Sprengstoff identifizieren. Es ist bereits als »T-COGNITION« auf dem Markt, Anpassungen an weitere Einsatzfelder sind derzeit in Entwicklung.



Das Messergebnis des »T-COGNITION« wird auf dem Monitor dargestellt.
© Hübner GmbH

Solarmodule in Glas gebettet

Organische Solarmodule (OPVs) haben gegenüber Silizium-Solarzellen viele Vorzüge. Ein Knackpunkt ist jedoch ihre kürzere Lebensdauer, denn als Trägersubstrat kommen bislang Polymerfolien zum Einsatz, die bis zu einem gewissen Grad durchlässig für Wasserdampf und Sauerstoff sind. Das verkürzt die Lebensdauer der empfindlichen Solarmodule beträchtlich. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam arbeiten mit einem neuen Trägermaterial: Sie betten die Solarmodule in hauchdünnes Glas ein. Dieses Material ist nicht nur ein ideales Verkapselungsmaterial, sondern hält auch Bearbeitungstemperaturen bis zu 400 Grad aus. Die Wissenschaftler nutzen dafür ein Spezialglas der Firma Corning, das dank seiner speziellen physikalischen Eigenschaften Lagen von nur 100 Mikrometer Dicke ermöglicht – das entspricht etwa einem Blatt Papier. Das Spezialglas ist nicht nur extrem stark und bruchfest, sondern in festem Zustand noch so flexibel, dass es leicht gewölbt werden kann. Damit konnten die Potsdamer Forscher gemeinsam mit dem Kooperationspartner in Sheet-to-Sheet-Prozessen schon erste funktionsfähige OPVs herstellen. Die Verarbeitung funktioniert dabei in Stapeln. Ziel ist es, diese Module auch im Rolle-zu-Rolle-Verfahren zu fertigen.

Dicke Bleche schweißen

Laserschweißen spielt als Verbindungstechnik eine wichtige Rolle beim Bau von Blech- und Stahlkonstruktionen. Am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden entstand unlängst ein neues Verfahren zum Schweißen von Blechen bis zu einer Dicke von 50 Millimetern. Die exzellente Qualität des verwendeten Lasers ermöglicht den Einsatz in sehr tiefen und schmalen Spalten. Das Verfahren zeigt deutliche Verbesserungen bezüglich des Verbrauchs von Energie und Material sowie der Qualität der fertigen Schweißnaht. Damit werden auch kaltrissgefährdete Legierungen für Schweißanwendungen zugänglich. Die relativ geringe verwendete Laserleistung macht zudem eine mobile Anwendung möglich, etwa zu Reparaturarbeiten in der Kraftwerkstechnik.

Mehrlagen-Engspaltschweißverfahren an einem 50 mm Blech.
© Fraunhofer IWS



Maschinen mit Licht steuern

In der Industrie werden Maschinen heute fast ausschließlich über Kabel mit der Leitzentrale verbunden. Doch Leitungen und Steckverbindungen können mit der Zeit verschleiben. Forscherinnen und Forscher vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden entwickelten deshalb eine kabellose Übertragungstechnik, die mit Infrarotlicht arbeitet.

Text: Tim Schröder

Via Infrarot können Daten drahtlos mit bis zu 10 GBit/s übertragen werden.

© Fraunhofer IPMS



Viele Produkte werden heute in Fertigungsstraßen hergestellt, in denen Werkstücke von einer Station zur nächsten wandern. Das können Metallteile sein, die nacheinander gefräst, gebohrt und geschliffen werden, Lebensmittel oder Autokarosserien, die auf dem Fließband von Roboter zu Roboter gleiten. Für gewöhnlich sind alle Maschinen einer solchen Straße per Kabel mit einer Leitzentrale verbunden, die die gesamte Produktion steuert. Das funktioniert in der Regel sehr gut. Wenn aber ein Produktwechsel ansteht, eine Fertigungsstraße modernisiert oder aus einem anderen Grund

umgebaut werden muss, dann wird es schwierig. Datenkabel müssen neu verlegt und sicher befestigt werden. Etliche Stecker müssen neu gesteckt werden, ehe die Fertigung wieder anrollen kann.

Daten mit Infrarotlicht übertragen

»Das ist nicht nur zeitraubend, sondern auch fehleranfällig«, sagt Dr. Frank Deicke vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden, »denn Kabel können

brechen und Steckverbindungen sich lösen.« Frank Deicke und sein Team haben deshalb eine alternative Lösung für den Datenaustausch in der Industrie entwickelt. Sie übermitteln Informationen unter Benutzung von infrarotem Licht – ein Übertragungsweg, der auch in der TV-Fernbedienung zum Einsatz kommt. Die Technik, die Deicke einsetzt, ist allerdings sehr viel leistungsfähiger als die gute alte Fernbedienung, weil die Daten für die Maschinensteuerung sehr viel schneller übertragen werden müssen. Das heute in der Produktion häufig eingesetzte Industrie-Netzwerk, das Industrial Ethernet, arbeitet beispielsweise mit einer Datenrate von bis zu 1,25 Gigabit – mit 1,25 Milliarden Rechensignalen pro Sekunde. Dafür war das Kabel lange konkurrenzlos, weil es für die Industrie kein anderes Verfahren gab, mit dem sich Daten so schnell verschicken ließen – weder per Funk mit WLAN oder Bluetooth noch mit Infrarotlicht.

Die Technologie des Fraunhofer IPMS aber schafft das. »Mit unserem optisch arbeitenden, drahtlosen Übertragungsmodul können auch große Datenmengen in Echtzeit übertragen werden«, betont Deicke. Für komplexe Maschinensteuerungsinformationen ist das essenziell – beispielsweise um detaillierte Bauteilzeichnungen aus einem Computer an eine Fräsmaschine zu schicken. Hinzu kommt, dass das Lichtsignal eine Strecke von bis zu 20 Metern überbrücken kann. Auch das ist für den industriellen Einsatz entscheidend, weil in einer Werkshalle häufig große Distanzen zwischen den Maschinen und der Leitzentrale überbrückt werden müssen.

Um die Montage der neuen Technik zu erleichtern, haben die Dresdner ein System entworfen, dass sich nach dem Plug-and-Play-Prinzip einfach in bestehende Steuerungssysteme und Maschineninfrastrukturen integrieren lässt. Der Anwender muss keine Software aufspielen, sondern schließt das Übertragungsmodul einfach an das Ethernet an. Diese Technik setzen Hersteller derzeit unter anderem in Fertigungsstraßen ein. Dort wird es verwendet, um am Fließband Daten wie zum Beispiel Bordsoftware auf Fahrzeuge zu überspielen. Bislang nutzt man dafür normalerweise Kabel. Diese werden per Hand an den Bordcomputer des Fahrzeugs angeschlossen. Doch dazu muss das Fließband anhalten oder abgebremst werden. Solche Verzögerungen entfallen bei der Kommunikation via Licht. »Mit unserem Verfahren lassen sich sogar große Datenpakete in Sekundenschnelle kabellos übertragen. Das ermöglicht höhere Taktzeiten in der Fertigung«, sagt Deicke.

Neue Kommunikationswege für die Industrie 4.0

Frank Deicke ist davon überzeugt, dass sein neues »Multi-Gigabit-Kommunikationsmodul« auch in anderen Einsatzgebieten großes Potenzial hat. So wird sich im Zuge von Industrie 4.0, der Vernetzung von Maschinen mit dem Internet, in den kommenden Jahren der Bedarf an Datenschnittstellen

deutlich erhöhen. Eine kabellose Alternative könnte den Installationsaufwand verringern. Und auch bei Roboteranwendungen ist sie von Vorteil. Industrieroboter sind heute meist über Schleppkabel, Kabelketten oder Schleifkontakte mit der Steuerzentrale verbunden. Da sich die Kabel ständig hin- und herbewegen, verschleifen sie mit der Zeit. Dasselbe gilt für Überwachungskameras, die auf Schlitten an Produktionslinien entlangfahren. Bei einem Infrarotsystem, das mit einem optischen Empfänger arbeitet, tritt kein Verschleiß auf. Darüber hinaus könnten sich kabellose Schlitten schneller bewegen.

Dass die Infrarottechnik zuverlässig arbeitet, haben die IPMS-Forscher bereits gezeigt. Seit drei Jahren ist ein Infrarotsystem aus Dresden verfügbar, mit dem sich Daten über wenige Zentimeter zwischen Elektrogeräten wie Smartphones oder Camcordern und Computern übertragen lassen. Das funktioniert problemlos. Um die Technik für den Einsatz und die höheren Reichweiten in der Industrie fit zu machen, mussten Deicke und seine Kollegen noch ein wenig an der Technik feilen. Schwerpunkte waren dabei die Optik, der Infrarot-Sender und der Empfänger. Weitere Details möchte Frank Deicke nicht verraten, um seine neue Entwicklung zu schützen.

LEDs senden Informationen

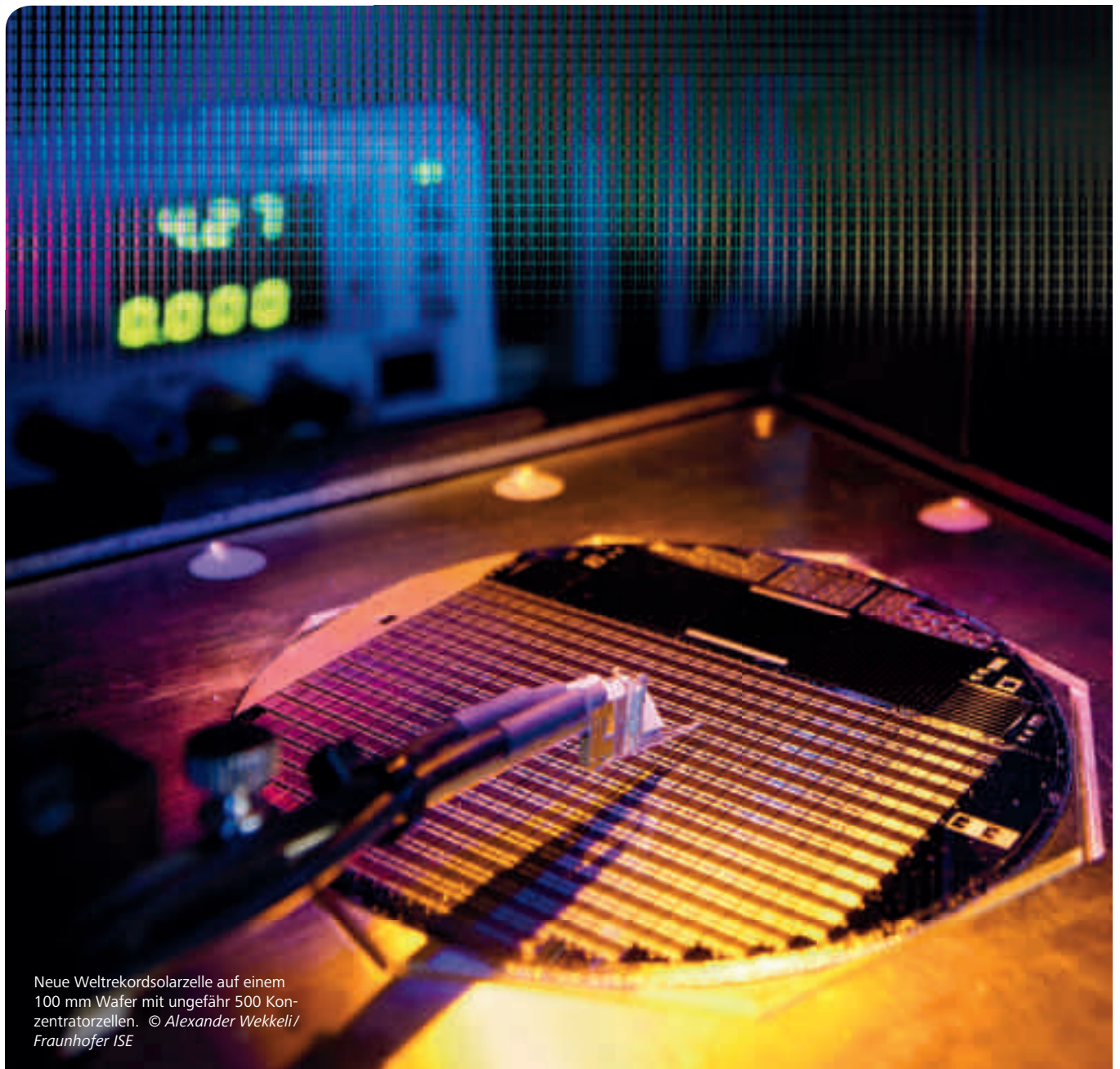
Doch nicht nur am IPMS beschäftigen sich Forscher mit der Datenübertragung per Licht. Am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI in Berlin etwa arbeiten Experten daran, Informationen über ganz gewöhnliche LED-Zimmerlampen zu senden. Der Trick dieser »Visible Light Communication« besteht darin, die LEDs in Sekundenbruchteilen an- und auszuschalten und so Datenbits zu verschicken. Lichtsensoren an Laptops oder Smartphones nehmen dieses ultraschnelle Flackern wahr und wandeln es zurück in einen Datenstrom. Das menschliche Auge bemerkt das ultraschnelle An- und Ausschalten hingegen nicht.

Auch am Berliner Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM wird die Kommunikation per Licht weiterentwickelt. Gemeinsam mit vielen anderen deutschen und europäischen Forschergruppen perfektionieren die Ingenieure im Projekt Phox Trot die Datenleitung in Großrechenanlagen und Serverfarmen per Lichtleiter. Heute werden Lichtleiter meist nur für einzelne Teilbereiche eingesetzt, etwa für die Datenleitung zwischen zwei Rechnern. Die Phox Trot-Partner aber stellen jetzt die ganze Datenverarbeitungskette auf optische Kommunikation um. Sie entwickeln Leiterplatten, auf denen Informations-Bits zwischen einzelnen Prozessoren per Licht übertragen werden. Zudem verknüpfen sie die verschiedenen Leiterplatten in einem Großrechner optisch miteinander. Und auch die optische Kommunikation zwischen verschiedenen Rechnern wird optimiert. Alles in allem soll damit der Stromverbrauch von Großrechenanlagen um die Hälfte sinken. Die Datengeschwindigkeit hingegen wird um ein Vielfaches höher als beim Transport über Kupferkabel sein. ■

Strom-Ausbeute steigern

Photovoltaik ist ausgereift, aber noch lange nicht ausgereizt. Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher arbeiten an Solarzellen der Zukunft mit noch höheren Wirkungsgraden.

Text: Bernd Müller



Neue Weltrekordsolarzelle auf einem 100 mm Wafer mit ungefähr 500 Konzentratorzellen. © Alexander Wekkeli / Fraunhofer ISE

Immer mehr Strom wird aus Sonnenlicht gewonnen. 2014 waren weltweit Solarzellen mit einer Spitzenleistung von 150 Gigawatt installiert – Tendenz steigend. Damit sich die Investitionen in Photovoltaik-Anlagen schneller rentieren und diese billigerem Kohle- und Atomstrom noch mehr Konkurrenz machen können, arbeiten Forscher daran, den Wirkungsgrad der Solarmodule weiter zu steigern.

Reflektionen minimieren

Solarzellen aus Silizium können theoretisch etwa 29 Prozent des Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln. Industriell machbar sind ungefähr 26 Prozent. Um die Stromausbeute noch weiter zu steigern, verbessern Wissenschaftler die Oberflächenbeschaffenheit der Photovoltaik-Anlagen, denn ein Solarmodul, das spiegelt, verschwendet Licht. Um Reflektionen zu vermeiden, strukturieren die Hersteller die Oberseite ihrer Solarzellen mit einem feinen Muster, welches das Sonnenlicht einfängt. »Das Licht bekommt eine zweite Chance«, so Benedikt Bläsi vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg. Er arbeitet an einem Verfahren, um auf multikristalline Zellen winzige bienenwabenhartige Strukturen zu prägen. Ein Stempel aus Silikon überträgt ätzfesten Lack auf die Zelle, anschließend werden die freien Stellen weggeätzt, zurück bleibt das Muster. Das steigert die Lichtausbeute um sieben Prozent und den Wirkungsgrad um über einen Prozentpunkt. Die Stempel sind so groß wie das Standardzellenformat mit 15,6 Zentimetern Kantenlänge, aber auch 1,2 Meter große Dünnschichtzellen lassen sich damit bearbeiten.

Eine Alternative erarbeiteten Wissenschaftler am Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle. Sie bringen mit einem Plasmaätzverfahren Nano-Poren auf Siliziumwafer auf. Die Vertiefungen sind etwa so groß wie die Wellenlänge des Lichts, was die Reflektion des Lichts fast vollständig verhindert. Die Forscher sprechen von einem Mottenaugen-Effekt, denn auch die Augen dieser Insekten sammeln Licht über kleine Poren.

Licht bündeln

Ein weiterer Ansatz, den Wirkungsgrad zu erhöhen, ist die Konzentrator-Photovoltaik. Das sind Solarzellen »mit Brille«. Linsen bündeln das Sonnenlicht bis zu 500-fach. Weiterer Vorteil: Da das Licht auf einen sehr kleinen Brennpunkt konzentriert wird, können die Hersteller teures Halbleitermaterial einsparen. Allerdings eignet sich diese Technologie nur für Standorte mit besonders hoher direkter Sonneneinstrahlung. Um Wirkungsgrade von 40 Prozent und mehr zu erreichen, verwenden die Experten Mehrfachsolarmodule. Solche Zellen bestehen aus zwei, manchmal auch drei oder mehr Schichten mit unterschiedlichem Halbleitermaterial, die unterschiedliche Anteile des Lichts in Strom umwandeln. Herkömmliche Silizium-Solarzellen nutzen nur einen bestimmten Anteil des

Sonnenlichtspektrums, für blaues Licht sind sie nahezu blind. Eine zweite Schicht mit einem anderen Halbleiter und anderen elektrischen Eigenschaften nutzt genau dieses blaue Licht effizienter, in der Summe steigt der Wirkungsgrad deutlich. Diese Mehrfachzellen wurden ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt, wo es beim Start auf jedes Gramm ankommt und folglich höchste Effizienz notwendig ist.

Kombination verschiedener Halbleiter

»Das ISE hat diese Technologie wieder auf die Erde geholt«, sagt Andreas Bett vom ISE, der die Konzentrator-Technologie und III-V-Halbleiter erforscht. III-V-Halbleiter sind Kombinationen aus Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems. Häufig eingesetzt wird Gallium-Arsenid, aber auch andere Verbindungen aus Gallium, Indium, Arsen und Phosphor sind möglich. Ziel ist, die Eigenschaften des Halbleiters so zu gestalten, dass das Material eine bestimmte Lichtfarbe besonders gut in Strom umwandeln kann. Stapelt man mehrere unterschiedliche Schichten übereinander, beutet die Zelle die Lichtenergie fast vollständig aus. Theoretisch sind Wirkungsgrade bis 86 Prozent möglich. Derzeit hält das ISE gemeinsam mit seinem Industriepartner Soitec mit 46 Prozent den Weltrekord beim Wirkungsgrad für Mehrfach-Konzentrator-Solarzellen. Das Unternehmen ist durch eine lange gemeinsame Historie mit dem ISE verbunden: Der Bereich der Konzentrator-Photovoltaik ging aus der Firma Concentrix Solar hervor, die bereits im Jahr 2005 als Spin-off in Freiburg gegründet worden war, um die neue Technologie möglichst schnell aus den Forschungslabors heraus auf den Markt bringen zu können. Soitec hat erste Konzentrator-Photovoltaik-Module bereits in die Serienfertigung gebracht und ist heute Weltmarktführer mit dieser Technologie. Solarkraftwerke in verschiedenen Ländern setzten sie bereits ein, bevorzugt an Standorten mit besonders hoher Sonneneinstrahlung.

Mit dem bisher Erreichten geben sich die Fraunhofer-Experten nicht zufrieden: Jetzt versuchen sie die 50-Prozent-Hürde zu nehmen. »Dafür haben wir jede Menge Ideen«, verrät Andreas Bett. Denn es finden sich einige Stellschrauben, die man noch etwas höher drehen könnte. Eine Herausforderung für die Wissenschaftler ist die elektrische Verschaltung. Bei den Mehrfach-Zellen müssen die einzelnen Zellen elektrisch verbunden werden. Sie wie üblich mit metallischen Leitern zu verbinden, ist nicht möglich, da die Leiter optisch transparent sein müssen. Deshalb wurden Tunnelioden entwickelt und in die Mehrfachzellen integriert, sie leiten den Strom ebenso gut wie metallische Werkstoffe. Auch die Oberflächenstrukturierung ist ein Thema, denn noch mehr als bei herkömmlichen Silizium-Zellen gilt es, möglichst das gesamte Licht in die Zelle zu lotsen. In der Entwicklung sind zweistufige Linsen. Die erste Linse fokussiert das Sonnenlicht, eine zweite Linse fängt Streulicht ein. »Wir sind zuversichtlich, den Wirkungsgrad so noch weiter steigern zu können«, sagt Bett. ■



Licht neu denken

Matthias Bues untersucht im Light Fusion Lab des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart, wie wir unseren Arbeitsplatz in ein besseres Licht rücken können.

Das Gespräch führte Mandy Kühn

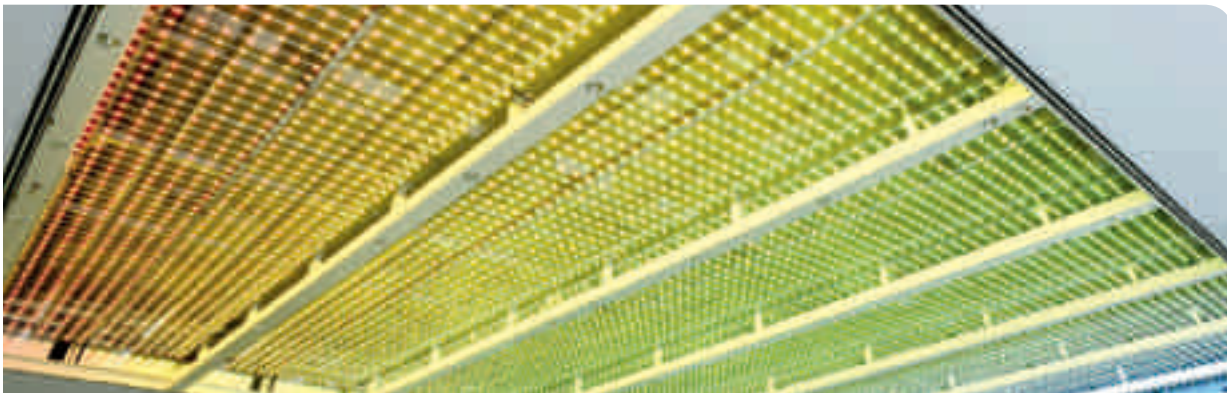
Im Light Fusion Lab erforschen die Wissenschaftler innovative Konzepte und Lösungen rund um die Technologien LED und OLED. © Fraunhofer IAO

Herr Bues, woran forschen Sie aktuell?

Wir forschen an dem Thema intelligentes Licht und wie es Menschen helfen kann, die fortschreitende Digitalisierung im Büro zu meistern. Dafür erarbeiten und erproben wir neueste Beleuchtungs- und Displaysysteme. Die Licht- und Displaytechnologien entwickeln sich derzeit sehr dynamisch. Wir wollen ihre Potenziale so früh wie möglich nutzen, um den Arbeitsplatz der Zukunft optimal zu gestalten.

Welche bisher nicht denkbaren Arbeitsumgebungen ermöglichen die neuen Technologien?

Durch die Digitalisierung verändert sich unsere Arbeitsweise in den meisten Bereichen radikal. Die Schnittstellen, mit denen wir auf die digitale Welt zugreifen, haben sich aber bisher nur wenig verändert, abgesehen von mobilen Geräten. Mit neuen Displaytechnologien können wir bereits heute Interaktionsflächen und -räume schaffen, die die engen Grenzen des bisherigen PC-Arbeitsplatzes hinter sich lassen. Wir entwickeln beispielsweise einen Arbeitsplatz für Ingenieure, bei dem der ganze Tisch zu einer digitalen Arbeitsfläche wird.



Forschungsschwerpunkte sind die dynamische, multispektrale Beleuchtung für den Arbeitsplatz und andere Anwendungsgebiete, Display- und Interaktionssysteme für zukünftige digitale Arbeitsumgebungen. © Fraunhofer IAO

Wie sieht der perfekt beleuchtete Arbeitsplatz aus?

Am perfekt beleuchteten Arbeitsplatz sind die drei Funktionen des Lichts – Sehen, Stimmung, Biologie – optimal auf die individuellen Anforderungen des jeweiligen Nutzers und die aktuelle Situation abgestimmt.

Wie wirken sich aus wissenschaftlicher Sicht die Beleuchtungen der meisten heutigen Büros auf die Menschen aus? Lassen sich durch Licht Produktivität und Motivation wirklich steigern?

Lange Zeit galt die Formel »Hell genug = gut genug«. Wir brauchen Licht jedoch nicht nur, um unsere Umgebung zu sehen. Vielmehr beeinflusst es maßgeblich, wie wach und konzentriert wir sind. Es steuert unsere innere Uhr. Statisches, einfach nur helles Licht wirkt ermüdend, es lenkt sogar die innere Uhr unter Umständen in die falsche Richtung. Eine dynamische Beleuchtung, die im Hinblick auf Helligkeit, Spektrum und Verteilung variabel ist, kann dieser Ermüdung entgegenwirken. Dabei geht es nicht um eine kurzzeitige Produktivitätssteigerung – auf lange Sicht ist eine Beleuchtung, die Gesundheit und Wohlbefinden fördert, viel ökonomischer. Mit LEDs und OLEDs ist es erstmals möglich, bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz eine Lichtqualität zu erzeugen, die diesen Anforderungen gerecht wird.

Sie haben ein Lichtsystem entwickelt, das sich automatisch auf den Menschen und seine Umgebung einstellt. Wie funktioniert das?

Unser Lichtsystem Smart Heliosity passt die Beleuchtung in Echtzeit an die Stimmung des Menschen an, die sich in seiner Mimik widerspiegelt. Damit kann die Beleuchtung negativen Stimmungen entgegenwirken oder Stress abbauen. Dieses Grundkonzept der intelligenten, individuellen Beleuchtung entwickeln wir in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Forschungsprojekt »OLIVE« gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung in den Bereichen Chronobiologie und Visual Computing weiter.

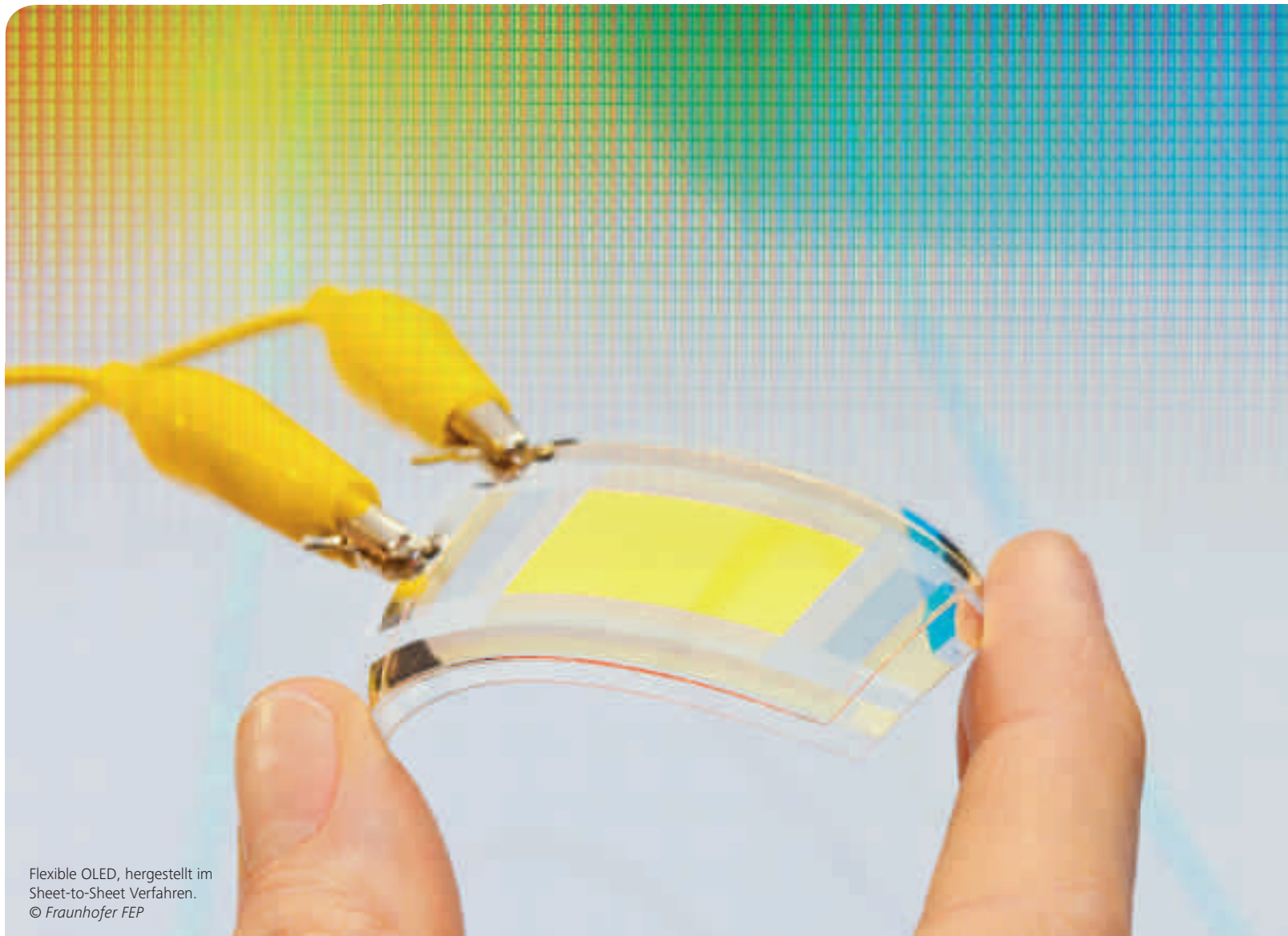
Welche Innovationen haben Sie in Ihrem Labor noch entwickelt?

Zum Beispiel ein neues Konzept zur natürlichen Interaktion mit Licht, das über eine reine Gestensteuerung hinausgeht: Zusammen mit dem Hersteller TRILUX haben wir eine Lichtsteuerung entwickelt, die den Nutzern das Licht quasi direkt in die Hand gibt. Sie können es gezielt dort »ausgießen«, wo sie es brauchen, und es auch wieder »wegwischen«. Als Eingabegerät nutzen wir eine Kinect-Kamera. Anwendung findet das Prinzip etwa an Patientenbetten im Krankenhaus, wo die Krankenschwester nachts Infusionen oder Verbände kontrollieren kann und dazu genau dort Licht hat, ohne den ganzen Raum zu beleuchten. ■

Leuchtende Zukunft

Hauchdünne Smartphones mit flexiblen Displays, leuchtende Wände oder ungewöhnlich gestaltete Rücklichter – OLEDs eröffnen neue Lichtwelten und Designmöglichkeiten. Doch hohe Fertigungskosten verhindern bislang die breite Verwendung der organischen Leuchtdioden. Im Projekt R2D2 erforscht Fraunhofer gemeinsam mit Industriepartnern, wie sich OLEDs schnell und kostengünstig produzieren sowie in konkrete Anwendungen einbinden lassen.

Text: Mandy Kühn



Flexible OLED, hergestellt im
Sheet-to-Sheet Verfahren.
© Fraunhofer FEP

Schon der Projektname klingt futuristisch, doch mit dem Droiden aus Star Wars hat R2D2 nichts zu tun. Das Kürzel steht für »Roll to Device 2« – von der Rolle zum Bauteil. Ziel ist es, Technologien für die Produktion von flexiblen OLEDs vom Herstellungsprozess bis zur Systemintegration möglichst anwendungsnah zu untersuchen.

Ein besonderes Augenmerk der Forscher liegt dabei auf aktuellen Herausforderungen, wie der Langlebigkeit, Effizienz und Homogenität der Leuchtdichte. Im Zuge des öffentlich geförderten Projekts sollen Prototypen entstehen, welche die Hersteller direkt in ihre Fertigung einsetzen können. Dazu haben sich sieben Partner – darunter Osram OLED, Audi, Diehl Aerospace oder Hella – unter der Koordination des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden zusammengetan. Die direkte Beteiligung industrieller Hersteller und Anwender von OLEDs soll sicherstellen, dass die Ergebnisse möglichst schnell ihren Weg in die Produktionshallen finden.

Organische Leuchtdioden, kurz OLEDs, bestehen aus halbleitenden Kohlenwasserstoffverbindungen, die in einer bestimmten Anordnung als dünne Schichten von 0,1 Millimeter auf ein Trägersubstrat aufgetragen werden. Sobald eine Spannung angelegt wird, leuchten sie. Als Träger sind bislang meist starre Glassubstrate im Einsatz. Der Trend geht jedoch zu elastischen, flexiblen Folien: Diese bieten noch mehr Anwendungs- und Designmöglichkeiten – etwa Licht auf gewölbten Flächen, biegsame Displays oder neue Autobeleuchtungen.

Kontinuierlich oder stückweise?

Im Unterschied zu anorganischen LEDs, bei denen punktförmiges Licht aufwändig auf eine Fläche erweitert werden muss, sind OLEDs per se leuchtende Flächen. Da ihr Spektrum dem der Sonne sehr ähnlich ist, haben sie zudem eine angenehme Lichtqualität. Verglichen mit herkömmlichen LEDs besteht ein großer Vorteil darin, dass man OLEDs in großem Stil »drucken« kann. Doch derzeit gibt es gerade mal eine Handvoll Pilotfertigungslinien weltweit, deshalb sind flexible OLEDs auch noch sehr teuer. Die zwei vielversprechendsten Produktionskonzepte nehmen die Forscher im R2D2-Projekt in einem ersten Schritt unter die Lupe: Beim Rolle-zu-Rolle-Verfahren lassen sich meterlange Bahnen an einem Stück in einem kontinuierlichen Prozess beschichten. Damit können die Substrate, auf denen die Leuchtstoffe aufgebracht sind, einfacher verarbeitet werden. Ein Nachteil: Neue und teure Produktionsanlagen sind dafür erforderlich.

Beim Sheet-to-Sheet-Verfahren werden hingegen einzelne kleinere Folienabschnitte bedruckt. Hierfür lassen sich weitgehend existierende Anlagen nutzen – ein Grund dafür, warum Unternehmen heute vor allem diese Technologie einsetzen. Da jede Folie einzeln produziert wird, können

Hersteller bei einem Fehler zwar schneller in den Produktionsprozess eingreifen, aber das macht das Verfahren insgesamt aufwändiger. Die Forscher untersuchen nun, welche Vor- und Nachteile die jeweilige Fertigungstechnik hat. »Am Ende soll eine Plus-Minus-Liste stehen, anhand derer die Hersteller entscheiden, welches Verfahren für sie das lohnendere ist«, erklärt R2D2-Projektleiter Dr. Christian May am FEP.

Nah an den Anwendungen zu sein, hat oberste Priorität bei dem Vorhaben. Deshalb hat das Projektkonsortium drei Einsatzfelder für seine Forschung auserkoren. Zum einen plant Audi 2016 ein OLED-Rücklicht bei Pkws einzuführen. Dafür erstellt Osram einen Prototyp, den Audi testet und für die Rückleuchte weiterverwendet. Die Leuchttechnologie bringt in diesem Feld vor allem dadurch Wettbewerbsvorteile, dass sie Designern ganz neue Möglichkeiten eröffnet. Zum anderen soll im Bereich Luftfahrt eine OLED-Kabinenbeleuchtung für Flugzeuge entwickelt werden. Die dünnen Leuchtflächen sparen vor allem Gewicht und damit Treibstoff. Hier stellt Fraunhofer einen Prototyp für Diehl Aerospace her. Ein weiteres Einsatzgebiet, das im Projekt im wahrsten Sinne des Wortes beleuchtet wird, sind Kühlschränke. Hier sorgen OLEDs in Wänden oder Zwischenböden für ausreichend Licht, ohne Platz für klobige Lampen zu verschwenden.

Damit die Forscher möglichst konkret den Bedarf der Industrie kennen, haben sie zunächst Hersteller befragt, was sie brauchen. »Diese Anforderungen unterziehen wir zunächst einem Realitätscheck«, erläutert Koordinator Christian May. »Wir prüfen zum Beispiel, ob sich die gewünschten extremen Biege-Radien oder bestimmte Farben überhaupt umsetzen lassen. Im Weiteren erarbeiten wir eine Roadmap sowie erste Prototypen, welche die Hersteller in ihre jeweiligen Anwendungen integrieren. Nach ausführlichen Tests geben sie uns dann ihre Rückmeldungen, die wir wiederum in die Prototypenproduktion einfließen lassen.« Größte Herausforderung dabei ist es, die Effizienz und Lebensdauer der Leuchten zu verbessern, was vor allem bei flexiblen Produkten schwierig ist. Bisher liegt die durchschnittliche Lebensdauer bei einigen Tausend Stunden. May und sein Projektteam wollen sie künftig auf mehr als 10 000 Stunden ausweiten. Dazu untersuchen die Forscher einerseits geeignete langlebige und hocheffiziente Materialien und andererseits neue Aufbau- und Verbindungstechnologien.

Arbeiten zur OLED-Fertigung

Das COMEDD (Center for Organics, Materials and Electronic Devices Dresden), das zum Juli 2014 ins FEP integriert wurde, baute seit 2007 weltweit erstmals eine Rolle-zu-Rolle-Fertigungstechnologie für OLEDs auf. 2009 wurde darauf die erste kleine OLED produziert und 2010 liefen sie erstmals über mehrere Meter vom Endlosfließband – damals noch in monochrom Grün. 2012 fertigten die Forscher die erste weiße OLED. ■

Mikro-Optik im Brillenbügel

Um den Sprung in den Alltag zu schaffen, müssen Datenbrillen nicht nur brillante Bilder projizieren, sondern auch schlanker und eleganter werden. Eine Schlüsselrolle spielt dabei das optische System, das die virtuellen Bilder vor dem Auge entstehen lässt.

Text: Michaela Neuner

Das World Wide Web ist auch unterwegs meist nur ein Klick entfernt. Doch das mobile Surfen hat einen Nachteil: Smartphones, Tablets und insbesondere Datenbrillen haben meist kleine Displays. Die Folge: Artikel, Blogs, Webauftritte, Bilder und Co. werden oft nur häppchenweise und in Ausschnitten präsentiert. »Das geht auch anders«, meint Dr. Peter Schreiber vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena. Ihm schwebt eine Blickfeld erweiternde Lösung für Smartphones vor, die schlank und elegant ist und am Ende bequem in jede Jackentasche passt.

System gleicht sogar Fehlsichtigkeit aus

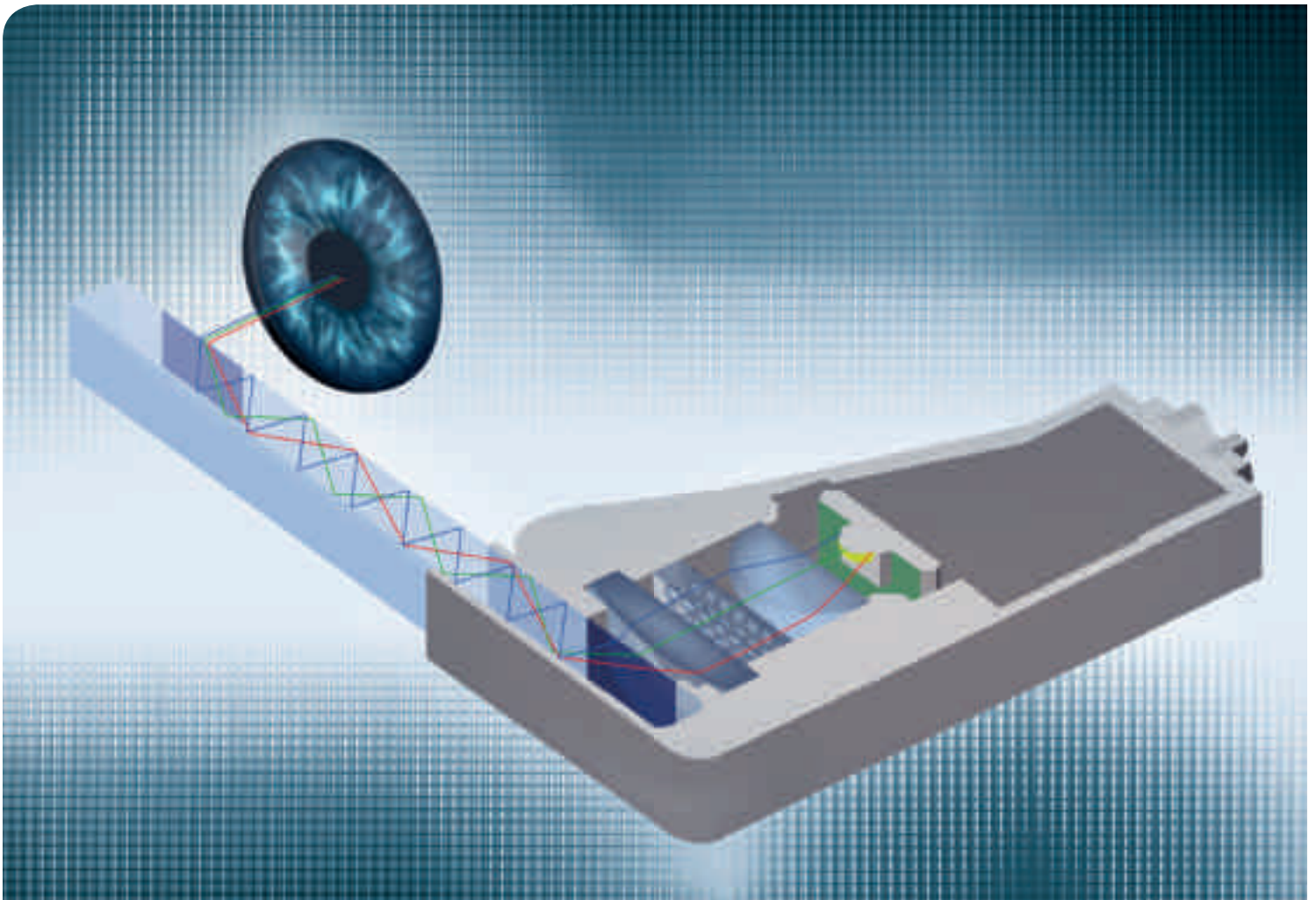
Schreiber ist Spezialist für mikrooptische Systeme. Er arbeitet an einem optischen Konzept, das Datenbrillen – für Smartphones und andere Anwendungen – kleiner und leichter macht. Anders als die meisten »schlanken« Smart Glasses, die bereits auf dem Markt sind, zeigt die IOF-Lösung Informationen nicht nur am Blickfeldrand an, sondern überlagert sie im Vollbild mit der realen Umgebung. Die Besonderheit des Systems: Es zerlegt das Ausgangsbild und setzt es auf besondere Weise wieder zusammen. Sein Herzstück ist eine Linsen-Matrix: Auf einer Fläche von 7 x 7 Millimetern sind neben- und untereinander 25 etwa einen Millimeter kleine Linsen geringer Brennweite angeordnet. »Anstelle eines großen Bildes übertragen wir viele kleine Bilder, die sich teilweise überlappen. Jedes Teilbild wird über eine eigene Mini-Linse der Matrix projiziert und kann softwaregesteuert individuell verändert werden«, erklärt Schreiber. So lassen sich sogar Fehlsichtigkeiten ausgleichen. »Unser System erlaubt es – in gewissen Grenzen – Weitsichtigkeit, und hier insbesondere Altersweitsichtigkeit, in Bezug auf das über die Brille projizierte Bild zu korrigieren. Jeder, der heute für einen Blick auf sein Smartphone die Lesebrille zückt, kann diese künftig stecken lassen«, sagt der Optik-Experte.

Die verteilte Projektion über ein Linsen-Array bietet eine ganze Reihe Vorteile: So lassen sich Bildinhalte beispielsweise auf mehrere Ebenen verteilen, die in unterschiedlichen Entfernungen dargestellt werden – etwa um Menüfunktionen von bildlichen Darstellungen oder diese von Texten zu trennen. 3D-Darstellungen gewinnen dadurch an Tiefe und wirken echter als rein stereoskopische, die durch einen einfachen Versatz des Bildes für das linke Auge gegenüber dem Bild für das rechte Auge erzeugt werden. Auch Probleme auf technischer Ebene, mit denen Konstrukteure von Datenbrillen typischerweise zu kämpfen haben, reduzieren sich. So lassen sich Farbkorrekturen einfacher umsetzen und Abbildungsfehler, wie sie jedem optischen System innewohnen, auf ein Minimum verringern.

Kompakte Bauweise

Ein weiterer Vorteil ist die geringe Baugröße: Der nicht einmal fingernagelgroße Bildgeber und die zugehörige Optik benötigen so wenig Raum, dass sie seitlich ins Brillengestell passen. Zum Auge gelangt das Bild über einen Lichtwellenleiter – ein einfaches, planparalleles Glaselement, das nur wenige Millimeter stark ist. Zum Vergleich: Klassische Okular-Optiken für Datenbrillen sind etwa zwei Zentimeter breit. Das Bild wird über ein Beugungsgitter im Brillenbügel ein- und vor dem Auge über ein zweites Beugungsgitter wieder ausgekoppelt. »Die Stege der nanooptischen Gitter sind dünner als ein Hundertstel eines Haares und nur unter einem Mikroskop zu erkennen. Trotzdem reichen sie aus, um vor dem Auge ein Bild entstehen zu lassen«, berichtet Schreiber. Ohne Projektion sind Lichtwellenleiter und Beugungsgitter so durchsichtig wie einfaches Fensterglas.

Der schlanke Aufbau hat jedoch seinen Preis: Der Multi-apertur-Ansatz mit den sich überlappenden Teilbildern kostet



Pixel. »Wir benötigen deshalb Mikrodисplays mit einer extrem hohen Auflösung«, räumt der IOF-Wissenschaftler ein. Sie müssen mindestens volle HD-Auflösung liefern, wobei die einzelnen Bildpunkte vier Mikrometer nicht überschreiten dürfen. Die Pixel in Displays handelsüblicher Mobiltelefonen sind typischerweise zwischen 60 und 200 Mikrometer groß. Derzeit nutzen er und sein Team transmittive Flüssigkristall-Displays (LCD) als Bildgeber, denkbar wäre jedoch auch der Einsatz eines reflektiven Flüssigkristalldisplays (Liquid Crystal on Silicon, LCoS) oder eines Displays aus organischen Leuchtdioden (siehe auch Seite 24). »Es gibt Hersteller, die Displays mit Parametern fertigen, die dem, was wir haben wollen, bereits sehr nahe kommen«, berichtet Schreiber.

Welcher Art das verwendete Mikrodисplay am Ende sein wird, hängt davon ab, wo, von wem und wofür die Brille

letztlich eingesetzt werden soll. Chirurgen oder Lagerarbeiter stellen andere Anforderungen als private Nutzer, die Datenbrillen unterwegs zusammen mit ihrem Smartphone nutzen wollen oder um zu Hause in virtuelle Spielwelten einzutauchen. Für einzelne Anwendungen gibt es zwar schon Brillen auf dem Markt, aber Universallösungen sind noch nicht in Sicht: »Eine Datenbrille, die schlank und leicht ist und trotzdem in jeder Umgebung – innen wie außen, vor einer weißen Wand wie vor einer Menschenmenge – brillante, hoch aufgelöste Bilder projiziert und trotzdem bezahlbar bleibt, die wird es in absehbarer Zeit nicht geben«, denkt Peter Schreiber. Solche Lösungen seien jedoch prinzipiell möglich. »Nun geht es darum, unsere Ergebnisse in eine Form zu bringen, dass sie anwendbar sind und vom Nutzer akzeptiert werden. Das erfordert einerseits Fingerspitzengefühl und andererseits eben auch noch sehr viel Forschung und Entwicklung.« ■

Zum Auge gelangt das Bild über einen Lichtwellenleiter – ein einfaches, nur wenige Millimeter starkes Glaselement mit nano-optischen Gitterstrukturen zur Lichtein- und -auskoppung. © Fraunhofer IOF

Monitor und Kamera in Einem

Der Einsatz von Datenbrillen ist in der Montage, Logistik oder Qualitätssicherung äußerst hilfreich. Mit Blick auf industrielle Anwendungen arbeiten Fraunhofer-Forscher an einer neuen Generation von OLED-Mikrodisplays, die Display- und Kamerafunktionen in sich vereint.

Text: Michaela Neuner



Mikrodisplays LCD, LCOS oder OLED

Derzeit gibt es verschiedene Mikrodisplays auf dem Markt: Liquid Crystal Displays (LCD) – transmissive Flüssigkristalldisplays, wie sie auch als Computer-Monitore üblich sind – und reflektive Flüssigkristalldisplays – Liquid Crystal on Silicon (LCOS) – benötigen eine Hinter- oder Vordergrundbeleuchtung, weil sie Licht nur modulieren. Sie können Licht pixelweise passieren lassen, abdunkeln oder ganz blockieren. Mikrodisplays auf der Basis von Organic Light-Emitting Diodes (OLED) kommen dagegen ohne zusätzliche Beleuchtung aus, denn OLEDs sind selbstleuchtend, was den Bildgeber insgesamt kleiner und leichter macht und im Vergleich zu anderen Technologien den Energiebedarf deutlich verringert.

In den Datenbrillen werden verbesserte Mikro-OLED-Displays eingebaut, die bis zu 800 mal 600 Bildpunkte anzeigen können. Integriert sind hier Sensoren für die Auswertung von Augenbefehlen.
© Jürgen Lösel/Fraunhofer FEP

Schaltpläne wie Tapeten an der Wand, Arbeitsanweisungen und Zusatzinformationen vom Computer-Monitor am Schreibtisch, Listen und Laufzettel in der Hand, den Prüfling ausgebreitet auf einem Tisch der Größe von zwei Doppelbetten: Wer Kabelbäume für Kraftfahrzeuge montiert oder auf Vollständigkeit und korrekte Montage überprüft, ist nicht nur ständig zwischen verschiedenen Arbeitsstationen unterwegs, er muss auch eine ganze Reihe unterschiedlicher Informationen miteinander abgleichen – den Sitz der Steckverbindungen am Kabelbaum, dessen Verdrahtung gemäß den Schaltplänen, die vorhandenen Komponenten und den Bestückungsplan. Punkt für Punkt arbeitet er Prüflisten ab, quittiert die Erledigung am Computer, notiert gefundene Mängel und kennzeichnet Fehler, die behoben werden müssen.

»In der Fabrik der Zukunft wird der Prüfer alle Informationen gebündelt genau dort bekommen, wo er sie braucht – direkt am Tisch mit dem Kabelbaum«, prophezeit Bernd Richter, Leiter der Abteilung »IC- und Systemdesign« am Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden. Möglich machen das unter anderem hochauflösende Datenbrillen. Sie scannen für ihre Träger, was auf dem Tisch liegt, gleichen den Ist- mit dem Soll-Zustand ab und zeigen ihm Abweichungen an. »Viel schneller und quasi auf einen Blick sieht der Begutachter dann, ob alles in Ordnung ist oder wo was nicht stimmt und wie er nacharbeiten muss«, erklärt er.

Datenbrillen für Anwendungen in der Industrie 4.0

Der Einsatz von Datenbrillen in der Industrie befindet sich zwar noch ganz am Anfang, doch das wird sich schnell ändern, ist Richter sicher: »Durch die rasante Entwicklung hin zur »Industrie 4.0«, in der Produkte und Produktionssysteme eng miteinander vernetzt sind, steigt auch der Bedarf an neuen Formen, Menschen in diesen Informationsfluss einzubinden. Datenbrillen bieten ideale Voraussetzungen dafür.« Sie blenden Arbeitsanweisungen, prozessrelevante Daten und andere Informationen in die reale Arbeitsumgebung ein. Der Nutzer kann auf diese Informationen zugreifen, ist dabei nicht an einen bestimmten Ort gebunden und hat gleichzeitig die Hände frei für Wartungs- oder Montagearbeiten oder um Bestellungen in einem Logistikzentrum zu kommissionieren. Je nach Anwendung variieren dabei die Anforderungen an die Datenbrillen: »Manche benötigen ein videotaugliches Display. Andere sind mit wenigen Zeilen Text oder Piktogrammen zufrieden, fordern dafür aber lange Akkulaufzeiten. Wieder andere benötigen spezielle, an das Arbeitsumfeld angepasste Funktionen zur Bedienung der Brille«, weiß Richter.

OLED-Mikrodisplay mit integriertem Bildsensor

Die Wissenschaftler am FEP arbeiten an einem OLED-Mikrodisplay mit integriertem Bildsensor, der solch eine Funktion

bietet. Er reagiert auf Blicke: Die Menüsteuerung kann damit Befehle von Augenbewegungen ablesen, ein spezieller Wimpernschlag den Mausklick ersetzen. Wartungstechniker können im virtuellen Handbuch blättern, ohne das Werkzeug aus der Hand legen zu müssen. »Das Eye-Tracking soll nicht die alleinige Lösung sein, um mit der Brille zu interagieren. Als Ergänzung könnten eine Sprach- oder Gestensteuerung integriert werden – je nachdem, was sich für eine Situation oder Anwendung am besten eignet«, stellt Richter klar.

Neben einem hochauflösenden Bildsensor haben die Forscher außerdem zusätzliche Komponenten wie Zeilen- und Spalten-dekoder, Helligkeitsregelung, Verstärker und Testbildgeber in ihr Display eingebettet. »Wir verwenden Silizium als Träger für die organischen Leuchtdioden. Dadurch erreichen wir einerseits extrem hohe Pixeldichten und können andererseits 95 Prozent der benötigten Elektronik in die Silizium-Backplane integrieren, die sonst um das Display herum angeordnet wären«, erklärt Richter. Das macht das System insgesamt deutlich kleiner und kostengünstiger und verringert den Energiebedarf.

Zwar haben die Dresdener Forscher ihr Mikrodisplay mit integrierter Kamera speziell für Datenbrillen entwickelt. Richter sieht daneben jedoch auch noch eine ganze Reihe anderer Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise in der Industrie zur automatisierten Mustererkennung oder Fehlerdetektion bei der Kontrolle von Werkstücken, in der Medizin in scheckkartengroßen Schnelltests, die über Fluoreszenzmarker Erkrankungen abklären helfen oder als optischer Fingerprint-Sensor: »Wir könnten beispielsweise mit einer roten OLED die oberen Hautschichten anleuchten und scannen und zusätzlichen mit einem Lichtstreifen im Infrarotbereich in den tieferen Hautschichten Gefäße identifizieren. Das erhöht zum einen die Wiedererkennung und ermöglicht zum anderen die »Lebend-detektion«, mit der sich sicherstellen lässt, dass der gescannte Finger auch zu einem lebenden Menschen gehört«, erklärt Richter, der nicht ausschließen will, dass sich solche Sensorik-Anwendungen unter Umständen sogar schneller umsetzen lassen als Datenbrillen für einen Massenmarkt.

»Unser aktuell vorliegendes Versuchsmuster hat Super Video Graphics Array-Auflösung (SVGA) und ist etwa so groß wie eine Briefmarke. Wir könnten auch OLED-auf-Silizium-Displays in Full-HD, also mit einer Auflösung von 1920 x 1080 Bildpunkten entwerfen. Doch dann würde der Chip in der Regel auch größer und teurer«, erklärt der Spezialist für integrierte Schaltungen. »Dieser Spagat zwischen technischer Machbarkeit, Kosten und Wünschen der Anwender ist der Hauptgrund, warum es bisher kaum Smart Glasses zu kaufen gibt. Auch Google hat sein Modell ja wieder zurückgezogen«, stellt Richter fest. Trotzdem ist er überzeugt, dass Datenbrillen kurz vor dem Durchbruch stehen: »Wobei »kurz« auch mehrere Jahre heißen kann. Denn so lange wird es sicherlich noch dauern, bis alle technischen Probleme gelöst sind und alle Teilkomponenten reif für den Markt sind.« ■



LKW-Sitz in Leichtbauweise mit einer Gewichtseinsparung von bis zu 20 kg, u.a. durch den entwickelten Sitzträger aus glasfaserverstärktem Kunststoff.
© Fraunhofer ILT

Kleben ohne Kleber

Bauteile oder Fahrzeuge immer leichter zu machen, ist eine Herausforderung, denn die Gewichtseinsparnis darf nicht zu Lasten der Stabilität gehen. Im Leichtbau werden heute deshalb oft verschiedene Werkstoffe miteinander kombiniert, die für verschiedene Anwendungszwecke jeweils am besten geeignet sind – Aluminium oder faserverstärkte Kunststoffe (FVK). Da die Stabilität von FVK leidet, wenn man sie mit anderen Bauteilen verschraubt, werden die verschiedenen Werkstoffe heute meist miteinander verklebt. Doch mit dem Klebstoff benötigt man einen dritten Werkstoff, der zudem altern und brüchig werden kann. Wegen dieser Nachteile beim Fügen von FVK und Metall setzen Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT in Aachen auf laserbasierte Bearbeitungsverfahren. Sie brennen mit dem Laser in die Oberfläche des Metallbauteils ein 100 Mikrometer feines Muster mit kleinen Vertiefungen und Hinterschnidungen. »Beim Zusammenfügen von Metall und FVK fließt dann der noch heiße und flüssige Kunststoff in die Vertiefungen hinein«, erklärt ILT-Laserexperte Dr. Alexander Olowinsky. »Härtet der Kunststoff aus, verkrallt er sich in der Metalloberfläche.«

LED noch heller und stromsparender

Bis zum Jahr 2020 prognostizieren Experten einen LED-Anteil in der Beleuchtung von 88 bis 90 Prozent. Die winzigen Dioden sind derzeit die umweltfreundlichsten Lichtquellen, da sie keine schädlichen Stoffe beinhalten, weniger Energie verbrauchen und mit einer Laufzeit von 15 000 bis zu 30 000 Stunden eine höhere Lebensdauer als herkömmliche Lampen besitzen. Leuchtdioden haben jedoch eine Schwachstelle: Sie reagieren sehr empfindlich auf Stromschwankungen und Spannungsspitzen. Um einwandfrei funktionieren zu können, benötigen sie einen Treiber, der ständig für einen konstanten Strom sorgt. Dieser Treiber bestimmt maßgeblich die Lichtausbeute und Lebensdauer der gesamten LED-Lampe. Forscher am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg

setzen auf Spannungswandler mit Transistoren, die auf Galliumnitrid (GaN) basieren. In Praxistests erwiesen sich die Treiber mit dem Halbleitermaterial als äußerst robust. Sie können bei höheren Strömen, Spannungen und Temperaturen betrieben werden als herkömmliche Transistoren aus Silizium.

Transistoren aus Galliumnitrid ermöglichen die kompakte Bauweise dieser zu Schauzwecken auseinandergezogenen Retrofit-LED-Lampe mit 2090 Lumen.
© Fraunhofer IAF



Polieren mit Licht

Glatte Oberflächen sind in vielen Bereichen gefragt, besonders wichtig sind sie bei Herzimplantaten. Reicht die Pumpleistung des Herzens nicht mehr aus, unterstützt eine künstliche Pumpe das Organ dabei, Blut durch die Adern zu pressen. Damit die Blutkörperchen nicht beschädigt werden, wenn sie durch das Implantat rauschen, muss die Oberfläche mikroskopisch glatt sein. In Riefen und Rillen könnten sich zudem Bakterien festsetzen. Bislang werden diese Implantate per Hand poliert, und zwar drei Stunden lang. Mit Hilfe eines Lasers erzielen Forscher am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen die gleiche Glattheit in nur fünf Minuten. Vorteile bringt das Laserpolieren vor allem bei komplex geformten dreidimensionalen Bauteilen sowie bei Gegenständen, an denen nur eine kleine Fläche geglättet werden muss. Die Firma Bosch setzt das Verfahren beispielsweise ein, um Schnittkanten zu entgraten und zu polieren. Während andere Verfahren langsamer werden, je kleiner die zu polierende Fläche ist, erreicht der Laser auch auf kleinen Flächen die volle Prozessgeschwindigkeit.



Impeller im Ausgangszustand (links) und laserpoliert (rechts). © Fraunhofer ILT

Mikrostrukturen mit Laser einbrennen

Strukturiert man Oberflächen in der Mikro- und Sub-Mikrometerskala, so lassen sich gänzlich neue Funktionen schaffen: Beispielsweise kann man ihre Reibung vermindern, wie es für Motorbauteile sinnvoll ist, oder bei Implantaten dafür sorgen, dass die Körperzellen gut auf ihnen anwachsen. Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik IWS in Dresden haben eine Anlage entwickelt, die Oberflächen per Laser vollautomatisch strukturiert und damit sehr viel schneller ist als herkömmliche Verfahren. Zum Vergleich: Braucht man mit der Elektronenstrahlolithographie mehrere Minuten, um einen Quadratzentimeter zu strukturieren, schafft die neue Anlage einen ganzen Quadratmeter in einer Minute. Interessant ist die Strukturierung auch für Bauteilhersteller, um ihre Produkte beispielsweise mit einem Hologramm als Originale zu kennzeichnen. Hintergrund: 40 Prozent aller Teile am Markt sind Plagiate.

Künstliche Haut

Mit Hilfe von Lasern lässt sich künstliches Gewebe für die Kosmetikindustrie produzieren, an denen Unternehmen testen können, wie sich die Wirkstoffe auf der Haut verhalten. Bisher ließen sich nur einige Zelllagen aufeinander bringen – es haperte an einer künstlichen Gefäßstruktur, um die Zellen mit genügend Nährstoffen zu versorgen. Dr. Arnold Gillner und seinem Team am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen ist es nun gelungen,

ein mikroskaliges Gefäßsystem herzustellen, das die Nährstoffe in die Zellen bringt. Dazu lenken die Forscher einen Laserstrahl gezielt auf Monomere in einer Flüssigkeit. Trifft der Laserstrahl auf diese Monomere, polymerisieren sie aus – sie bilden also ein Kunststoffnetzwerk. Langfristig wollen die Forscher aus diesem System eine künstliche Haut entwickeln. Und auf ganz lange Sicht ist es gar denkbar, auf diese Weise ganze Organe herzustellen.



Laserstrukturierte, verzweigte Gefäße aus elastischem Polymer,



Innendurchmesser: 5 mm.
© Fraunhofer ILT

Laser überprüfen Medikamente

Die Qualität muss stimmen – das gilt insbesondere auch für Arzneien. Bislang wird die Zusammensetzung und Güte meist manuell mit Stichproben kontrolliert. Forscher entwickeln ein laserbasiertes System, das Medikamente künftig kontinuierlich in Echtzeit überprüfen kann.

Text: Janine van Ackeren



Auch die medizinische Diagnostik benötigt neuartige Laser-Anwendungen. © shutterstock

Leiden Menschen an einer schweren Krankheit, sind sie dringend auf die richtigen Medikamente angewiesen. Die Pharmaindustrie bringt daher ständig neue Arzneien auf den Markt – mit besseren Wirkstoffen und weniger Nebenwirkungen. Ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung neuer Pillen, Kapseln und Co.: Ihre Qualität muss stimmen. Um zu überprüfen, ob die chemische Reaktion wie gewünscht abläuft, nehmen Laboranten Proben aus den Reaktionsgefäßen, tragen sie ins Labor und untersuchen sie – meist manuell – per Chromatographie oder Spektrometer. Eine aufwändige und langwierige Angelegenheit, die nur eine stichprobenartige Untersuchung erlaubt.

Kontinuierliche Analyse in Echtzeit

Mit einem speziellen Infrarot-Laser könnte das künftig weitaus einfacher gehen. Forscher der Fraunhofer-Institute für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden entwickelten das System. »Unser Quantenkaskadenlaser ermöglicht eine vollkommen neue Art der Spektroskopie«, erläutert Dr. Ralf Ostendorf,

Projektleiter am IAF. »Der Verlauf chemischer Reaktionen, zum Beispiel bei der Entwicklung neuer Pharmazeutika, könnte bald in Echtzeit kontinuierlich verfolgt werden, statt wie bisher nur in Form einzelner Stichproben.« Das Prinzip: Der Laser strahlt Infrarotlicht in das Reaktionsgefäß. Die darin enthaltenen Substanzen absorbieren einen Teil des Lichts, der Rest wird wieder zurückgeworfen und in einem Detektor analysiert. Jede Substanz »verschluckt« dabei das Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Das Ergebnis ist ein Absorptionsspektrum, über das sich die jeweilige Substanz präzise bestimmen lässt – ähnlich, wie bei der Identifikation eines Menschen anhand seines Fingerabdrucks. Mit einem solchen Spektrometer kann man künftig genau angeben, wie hoch die Konzentration der Ausgangsstoffe ist und welche Mengen bereits in das Produkt umgesetzt wurden – und zwar zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Reaktion.

Tausend Spektren pro Sekunde

Der Laser muss dazu verschiedene Voraussetzungen erfüllen: Er darf jeweils nur Licht einer bestimmten Wellenlänge aussenden. Diese muss sich allerdings kontinuierlich verändern lassen –

und zwar über einen großen spektralen Bereich. Das Laserlicht hat also anfangs eine sehr kleine Wellenlänge, die stetig bis zu einem festgelegten Wert zunimmt – bevor das Prozedere wieder von vorn beginnt. Der Detektor bestimmt dann für jede Wellenlänge, wie viel Licht die Probe zurückwirft. Eine weitere Herausforderung: Der Laser muss seine Wellenlänge auch möglichst schnell ändern. Bislang brauchte der Laser einige Sekunden, um alle Wellenlängen durchzustimmen und so eine Aussage darüber zu treffen, wie es um die zu analysierende chemische Reaktion steht.

Die Forscher vom IPMS konnten diese Geschwindigkeit nun um den Faktor 1 000 steigern: mit einem von ihnen entwickelten mikromechanischen Scanner. »Statt eines Spektrums pro Sekunde können wir nun tausend Spektren pro Sekunde aufnehmen«, sagt Ostendorf.

Kaum größer als eine Streichholzschachtel

Durch das mikromechanische System lässt sich der Laser zudem sehr klein gestalten: Er ist nur wenig größer als eine Streichholzschachtel. Damit passt er nicht nur gut an die Reaktionsgefäße in der pharmazeutischen oder chemischen Industrie, er ermöglicht auch weitere Anwendungen. Denkbar ist beispielsweise ein Handgerät, mit dem Polizisten oder Zollbeamte verdächtige Substanzen schnell und einfach überprüfen können. Handelt es sich um etwas Unbedenkliches wie Mehl oder doch um Drogen? Um diese Frage zu beantworten, müssten die Einsatzkräfte einfach nur den Laserstrahl auf die Substanz richten. Der Detektor analysiert das aufgenommene Spektrum, eine dahinter liegende Software gleicht es mit den zahlreichen gespeicherten Vergleichsspektren ab – und in Sekundenschnelle haben die Beamten Klarheit über die untersuchte Substanz.

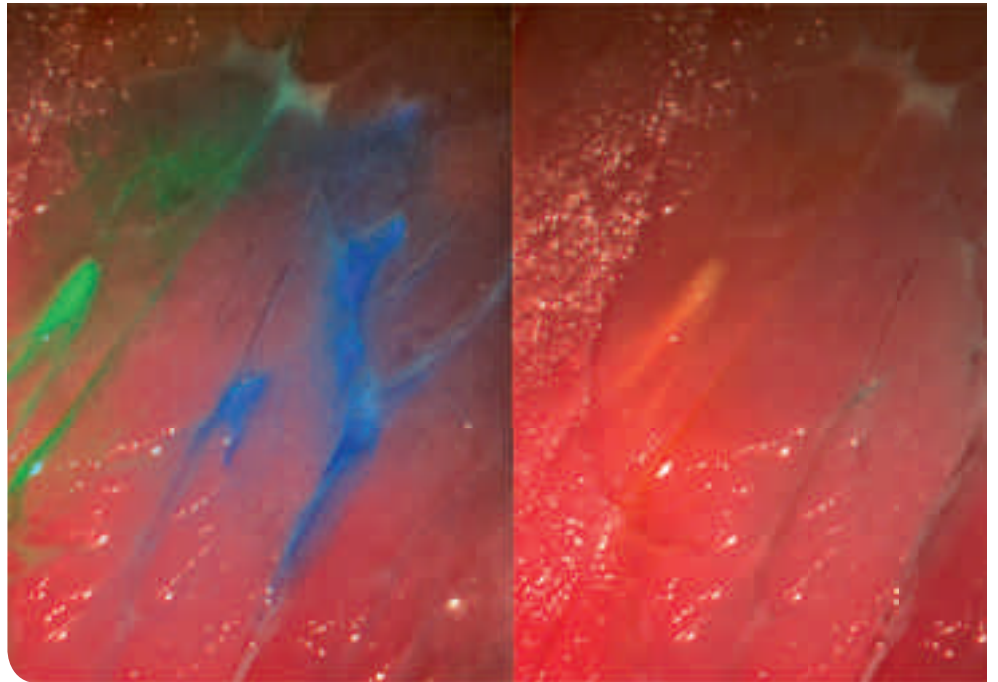
Ein erster Labordemonstrator des Quantenkaskadenlasers ist bereits fertig. »Einen Prototyp wollen wir bis Ende 2015 entwickeln«, sagt Ralf Ostendorf. ■

Spezialkamera spürt Tumore auf

Die neue Kamera zeigt mit Fluoreszenzfarbstoffen eingefärbte Strukturen an (hier: blaue und grüne Bereiche). © Fraunhofer IPA

Krebspatienten haben die besten Heilungschancen, wenn bösartiges Gewebe restlos entfernt wird. Doch oft sind die winzigen Krebsnester für Chirurgen kaum zu erkennen. Eine neue Kamera soll versteckte Tumore während einer Operation aufspüren.

Text: Britta Widmann



Tumoroperationen sind selbst für versierte, erfahrene Chirurgen eine große Herausforderung. Denn zum einen lassen sich die Ränder des Tumorgewebes nur sehr schwer von normalem Gewebe unterscheiden. Zum anderen sind verstreute Krebsnester und Frühkarzinome kaum zu erkennen. Beim Entfernen der Tumorherde ist der Arzt bislang allein auf sein geschultes Auge angewiesen. Eine Spezialkamera soll künftig selbst kleinste, leicht übersehbare Tumorreste während der Operation sichtbar machen und so Chirurgen bei den komplizierten Eingriffen unterstützen.

Der Trick: Die Kamera zeigt Fluoreszenzfarbstoffe an, die das Tumorgewebe einfärben. Sie werden dem Patienten vor der Operation in die Venen injiziert und docken auf dem Weg durch den Körper gezielt am Tumor an. Wird das entsprechende Areal dann mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt, wird die Fluoreszenz angeregt und das bösartige Gewebe leuchtet grün, blau, rot oder in einer anderen Farbe – je

nach verwendetem Farbstoff. Das Aussehen des gesunden Gewebes bleibt unverändert. So kann der Operateur Tumorherde sehen, die er mit bloßem Auge nicht erkennt

Neues System zeigt mehrere Farbstoffe gleichzeitig an

Multispektrales Fluoreszenz-Kamerasystem nennen die Forscher der Fraunhofer-Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie, einer Außenstelle des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart, ihre neue Operationshilfe. Sie soll sich in Zukunft unter anderem in OP-Mikroskope und Endoskope einbauen lassen. Die Kamera kann mehrere Fluoreszenzfarbstoffe gleichzeitig in Echtzeit anzeigen – bisher erhältliche Systeme beherrschen das nicht. Weiterer Vorteil: Arterien und dünne Nerven, die während eines Eingriffs nicht verletzt werden dürfen, lassen sich ebenfalls per Farbstoff einfärben. Auch sie können dann mit der neuen Kamera

detektiert werden, da sie sich deutlich von der Umgebung abheben.

Für ihre Aufnahmen benötigen die Forscher nur eine Kamera und ein Filterset, das bis zu vier Farbstoffe zeitgleich darstellen kann. Eine eigens entwickelte Software analysiert und verarbeitet die Bilder in Sekundenschnelle und präsentiert sie fortlaufend während der Operation auf einem Monitor. Dabei wird das normale Farbbild mit den Informationen aus dem Fluoreszenzbild überlagert. »Der Operateur erhält wesentlich genauere Informationen. Millimetergroße Tumorreste oder Metastasen, die er sonst womöglich übersehen würde, sind am Bildschirm im Detail zu erkennen. Patienten, die unter Fluoreszenzlicht operiert werden, haben eine bessere Chance auf Heilung«, sagt Dr. Nikolaos Deliolanis, Leiter der Gruppe »Biomedizinische Optik«. Um das multispektrale Fluoreszenz-Kamerasystem möglichst flexibel einsetzen zu können, ist es möglich, es für andere Farbstoffkombinationen umzurüsten. ■

Schlaglöcher und Spurrinnen analysieren

Wie ist es um die Qualität der Straßen bestellt? Diese Frage beschäftigt nicht nur Autofahrer, sondern auch Kommunen, Landkreise und den Bund. Ein neuartiger Laserscanner erlaubt die nötigen Bestandsaufnahmen – und zwar ohne Staus zu verursachen.

Text: Janine van Ackeren



Der RoadSTAR prüft seit 1991 Österreichs Straßen, seit 2013 ist er mit dem Messsystem PPS unterwegs (Bild links).

Der Laserscanner (Bild rechts oben) wird an der Stirnseite des Messfahrzeuges angebracht.

Hochauflösendes Straßenoberflächenmodell aus 3D-Laserscan-Daten (Bild rechts unten). Fotos © AIT Austrian Institute of Technology GmbH



Der Regen prasselt auf das Autodach. Die Scheibenwischer arbeiten auf Hochtouren, dennoch bleibt die Sicht mau. Und in den Spurrillen steht das Wasser und erhöht das Sicherheitsrisiko abermals. Doch wie betroffen sind die jeweiligen Straßen, wenn es um Schäden wie Spurrillen oder Schlaglöcher geht? Das ist eine Frage, die nicht nur die Autofahrer interessiert, sondern auch die zuständigen Behörden. Schließlich gehört das Straßennetz zum Kapital, das gepflegt und erhalten werden will. Eine Bestandsaufnahme, die die öffentlichen Behörden regelmäßig in Auftrag geben, soll einen Überblick liefern: Welche Straßen sind gut erhalten, welche müssen saniert werden? In welchem Maß sind sie von den Schäden betroffen? Wo bestehen Sicherheitsrisiken wie Spurrillen, in denen das Wasser stehen bleibt?

Bislang nutzen die beauftragten Firmen meist einen Messbalken, um den Zustand der Straßen zu untersuchen. Das mehr als drei Meter breite Gerät wird vor ein Auto montiert, etwa 20 bis 30 Zentimeter über der Straße. Doch solche wuchtigen Vermessungsfahrzeuge können den Verkehr behindern und Staus verursachen. Zudem ist das System nicht ganz billig: In dem Scanner stecken etwa 30 bis 40 Abstandssensoren, die jeweils mehrere tausend Euro kosten.

Kaum größer als ein Schuhkarton

Eine kompakte Alternative entwickelten Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg. »Statt des unhandlichen Balkens verwenden wir einen Laser«, erläutert Dr. Heinrich Höfler, Abteilungsleiter und stellvertretender Institutsleiter am IPM. »Das Besondere: Der Aufbau ist nicht wesentlich größer als ein Schuhkarton.«

Das Prinzip: In dem Kasten, der auf drei Meter Höhe an einem Fahrzeug angebracht ist, befinden sich ein Laser, eine Ablenkvorrichtung, ein Detektor und die entsprechende Auswertelektronik. Der Laser schickt seine Lichtpulse auf die Straßenoberfläche. Hier werden sie reflektiert und vom Detektor empfangen. Je weiter der Weg ist, den das Licht dabei zurücklegen muss, desto länger braucht es dafür. Trifft es also in einem Schlagloch oder einer Spurrille auf, kommt es dementsprechend später am Detektor an als das Licht, das vom ebenen Straßenbelag zurück-

geworfen wird. Damit der Laser die gesamte Straßenbreite von viereinhalb Metern vermessen kann, lenkt eine Ablenkvorrichtung das Licht entsprechend und lässt es quer über die Straße flitzen. All das geschieht extrem schnell: Zwei Millionen Laserpulse sendet der Laserstrahl pro Sekunde aus. Etwa 800-mal pro Sekunde wandert er dabei über die gesamte Straßenbreite. Auch die Genauigkeit kann sich sehen lassen: Zwischen 900 und 1 800 Messpunkte liegen auf jeder »Linie«, die der Laser quer über die Straße zieht. Die Messgenauigkeit beträgt 0,2 Millimeter. Weiterer Vorteil des Systems: Es funktioniert sogar bei Geschwindigkeiten von bis zu 80 Kilometern pro Stunde.

Augensicher trotz hoher Laserleistung

Damit Lasersysteme zur Vermessung von Straßen eingesetzt werden können, müssen sie zwei wesentliche Anforderungen erfüllen. Erstens: Der Laserstrahl darf keine Gefahr für die Augen von Passanten darstellen. Deshalb können nur Lasersysteme der Klasse 1 genutzt werden, die für den öffentlichen Raum zugelassen sind. Dennoch muss die Leistung des Lasers sehr hoch sein, denn der Straßenbelag ist alles andere als ein »dankbares« Vermessungsobjekt, er ist oftmals sehr dunkel und reflektiert damit wenig Licht. Dreht man jedoch die Leistung des Lasers hoch, um auch auf fast schwarzem Belag gute Ergebnisse zu erzielen, hapert es meist an der Augensicherheit.

Die Forscher am IPM wandten einen speziellen Kniff an, um beide Anforderungen unter einen Hut zu bringen. »Wir sind mit der Wellenlänge so weit in den infraroten Bereich gegangen, dass der Laser auch bei hoher Leistung noch augensicher ist«, beschreibt Höfler. Denn das Laserlicht liegt mit seiner Wellenlänge so weit außerhalb des sichtbaren Lichts, dass das menschliche Auge es nicht mehr fokussieren kann. Die Netzhaut wird nicht geschädigt.

Bereits auf den Straßen unterwegs

»Unser Lasersystem ist daher das erste, das von der Bundesanstalt für Straßenwesen zugelassen ist«, freut sich der Forscher. Es ist bereits auf den Straßen unterwegs: So kam das System beispielsweise schon in vielen deutschen Städten

sowie bei der Bauabnahme der A5 zum Einsatz und auch in Indien analysierten die Mitarbeiter des Dienstleisters Lehmann + Partner GmbH mit dem Laserscanner verschiedene Straßen. In Österreich hat das System sogar das gesamte Autobahnnetz gescannt, insgesamt mehr als 4 000 Kilometer Fahrbahn.

Momentan arbeiten die Forscher daran, das System zu erweitern: Künftig könnte es dann auch als eine Art Kamera fungieren. »Bislang nutzen wir das Laserlicht nur dazu, den Abstand zur Straße zu ermitteln. In einem weiteren Schritt betrachten wir auch die rückgestreute Lichtmenge, wie es eine herkömmliche Kamera macht«, erklärt Höfler. Um die Auflösung zu erhöhen, integrieren die Wissenschaftler einen zweiten Laser in das System. 2016 soll das erweiterte System auf die Straße kommen. Dann bietet die Kamerafunktion einen großen Vorteil: Sie ist unabhängig von der externen Beleuchtung. Egal, ob die Sonne vom Himmel knallt oder es düstere Nacht ist, der Laserstrahl liefert ein hochauflösendes, gut ausgeleuchtetes Kamerabild. Eine externe Lichtquelle, wie sie bei herkömmlichen Kameras notwendig ist, wird nicht benötigt. »Mit einer solchen Kombination von Querprofilbild und hochauflösendem Kamerabild könnte man selbst feine Risse im Straßenbelag erkennen«, ist sich Höfler sicher.

Hilfreich auch auf Schienen

Der Scanner ist keineswegs auf die Straßen begrenzt – auch auf Schienen ist er von Nutzen, etwa wenn es um die Vermessung des Gleisbetts geht. In der Schweiz wird er bereits auf diese Weise eingesetzt. Ein anderes Einsatzgebiet dreht sich um die Züge an sich: Verrutscht etwa die Ladung auf Güterzügen, kann dies zu schwerwiegenden Unfällen führen, beispielsweise wenn der Zug in einen Tunnel fährt. Die italienische Bahn prüft daher momentan verschiedene Systeme, die die Züge dreidimensional vermessen und alles melden, was nicht dem Soll-Zustand entspricht. Unter anderem sind bei den Tests auch mehrere Lasersysteme aus dem IPM im Einsatz: Dabei analysieren jeweils vier Laser die dreidimensionale Form des Zuges. Künftig könnte dann, so der Plan, vor jedem Tunnel auf dem italienischen Gleisnetz ein solches Scansystem stehen – und dabei helfen, Unfälle zu verhindern. ■



Impressum

Fraunhofer-Gesellschaft
Kommunikation
© Fraunhofer-Gesellschaft

Graphik + Layout:
Vierthaler & Braun

www.fraunhofer.de

