

## **FORSCHUNG KOMPAKT**

06 | 2015 ||

### **1 Jeden Ton verstehen**

Menschen mit Hörminderung tun sich im Kino und im Theater schwer. Künftig verspricht eine Fraunhofer-Technologie Abhilfe, die in zwei Apps der Sennheiser Streaming Technologies GmbH integriert wurde: Betroffene können damit den Klang optimal an ihre Bedürfnisse anpassen und das Geschehen über Kopfhörer verfolgen.

### **2 Schnell ladender Elektrobus geht in die Verlängerung**

Elektrobusse sind eine umweltfreundliche Alternative zu Dieselfahrzeugen. Fraunhofer-Forscher haben gemeinsam mit mehreren Projektpartnern ein Konzept entwickelt, um die Linienbusse im laufenden Betrieb schnell nachladen zu können. Das System ist seit November 2014 in Dresden im Test.

### **3 Banknoten-Check mit ultraschnellem Zeilensensor**

Schnelligkeit und eine exakte Bildwiedergabe sind das A und O bei der Qualitätsprüfung im Sicherheitsdruck. Herkömmliche Bildsensoren stoßen hier an ihre Grenzen. Fraunhofer-Forscher haben einen ultraschnellen Zeilensensor entwickelt, der hochwertige Bilder liefert und Banknoten mit fehlerhaften Sicherheitsmerkmalen identifiziert.

### **4 Datenbrille – alltagstauglich und dezent**

Datenbrillen entsprechen bislang nicht unbedingt modischen Kriterien – sie sind groß und klobig. Im privaten Umfeld konnten sie sich daher noch nicht durchsetzen. Eine neue Technologie von Fraunhofer-Forschern ermöglicht es nun, die »Augenläser« klein und unauffällig zu gestalten.

### **5 Herstellung von Keramikfolien präzise simulieren**

Hersteller von Keramikfolien sind bislang auf ihre Erfahrung angewiesen, wenn sie die Eigenschaften der Folien einstellen. Nun hilft erstmalig eine Kombination von makro- und mikroskopischer Simulation: Diese sagt vorher, wie der Ausgangsstoff durch die Maschine fließt und berechnet die Ausrichtung der Keramikteilchen.

### **6 Mini-Laser für die Qualitätskontrolle in Echtzeit**

Die Qualität muss präzise stimmen – das gilt auch für Produkte der pharmazeutischen und chemischen Industrie. Wird die Zusammensetzung und die Güte bei der Herstellung mitunter noch manuell kontrolliert, könnte dies künftig ein laserbasiertes System übernehmen. Statt Stichproben erlaubt der Laser eine kontinuierliche Überprüfung in Echtzeit.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 66 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von zwei Milliarden Euro. Davon erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft etwa 70 Prozent aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in Europa, Nord- und Südamerika sowie Asien gefördert.

---

**Impressum**

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Kommunikation | Hansastraße 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1302 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de) | Redaktion: Beate Koch, Britta Widmann, Tobias Steinhäuser, Janine van Ackeren, Tina Möbius | Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten. Alle Pressepublikationen und Newsletter im Internet auf: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse). FORSCHUNG KOMPAKT erscheint in einer englischen Ausgabe als RESEARCH NEWS.

## Jeden Ton verstehen

Das Theaterstück ist irre komisch, das Publikum biegt sich vor Lachen. Besucher mit eingeschränktem Hörvermögen fühlen sich in solchen Momenten oft außen vor – zu viele Pointen entgehen ihnen. Zahlreiche Hörgeschädigte machen es sich daher lieber im heimischen Sessel gemütlich, statt ins Theater oder ins Kino zu gehen. Die Zahl der Betroffenen ist groß: Studien zufolge ist etwa jede sechste Person in Deutschland schwerhörig und könnte Hörgeräte von der Krankenkasse finanziert bekommen. Tatsächlich nutzen jedoch nicht einmal 25 Prozent von ihnen diese Möglichkeit. Denn anders als bei Brillen sehen viele Menschen ein Hörgerät nach wie vor als Stigma.

## Klang individuell optimieren

Die Apps »CinemaConnect« und »MobileConnect« der Sennheiser Streaming Technologies GmbH sollen künftig dafür sorgen, dass Menschen mit Hörbehinderung in Theaterstücken und Kinofilmen wieder jedes einzelne Wort verstehen können – auch dann, wenn sie kein Hörgerät tragen. Die Hörunterstützungstechnologie haben Forscher der Oldenburger Projektgruppe für Hör-, Sprach- und Audiotheorie des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie IDMT entwickelt.

Das Prinzip: Ein Streaming-Server überträgt das Audiosignal der Bühne oder des Kinofilms direkt auf das Smartphone der Besucher. Dieses gibt die Daten direkt über die Kopfhörer wieder, während sie über das geschlossene Netzwerk geladen werden. Trägt man ein Hörgerät, das auf das Smartphone angepasst wurde, kann man sich die Tonsignale von der App via Bluetooth auch alternativ direkt auf die Hörhilfe schicken lassen. »Unsere in die Apps integrierte Technologie verstärkt nicht einfach nur die Lautstärke, sondern erlaubt es dem Theaterbesucher, den Klang individuell anzupassen«, bestätigt Dr. Jan Rannies, Gruppenleiter am IDMT. Denn der jeweils optimale Lautstärkegrad ist schmal: So erscheinen laute Geräusche schnell zu laut, sie müssen daher reduziert werden. Ruhige Sprachanteile dagegen brauchen deutlich mehr Verstärkung. Und je nach Art des Hörverlusts nimmt der Betroffene nicht alle Frequenzen gleich intensiv wahr: Viele Personen können tiefe Töne noch recht gut erkennen, während es bei höheren Tonlagen schwierig wird.

Die Herausforderung bei der Entwicklung der Hörhilfe lag vor allem darin, ihre Bedienung intuitiv zu gestalten: Schließlich sollen die Menschen den Klang jederzeit selbst verbessern können – ohne wie bei den Hörgeräten einen Akustik-Experten zu Rate zu ziehen. Das ist gelungen: Der Nutzer fährt mit seinem Finger über den Touchscreen seines Smartphones und »schiebt« so einen kleinen Punkt über den Bildschirm. Zieht man den Punkt nach oben oder unten, steigt oder fällt die Lautstärke. Verschiebt man ihn waagrecht, wird der Ton heller oder tiefer.

## In bestehende Sennheiser-Apps integriert

Noch in diesem Sommer soll die Funktion »Personal Hearing« in zwei von der Firma Sennheiser kostenlos vertriebene Apps integriert werden. Welche Kinos und Theater die Technologie anbieten, erfahren die Nutzer über das Kulturportal »Culture Inclusive« ([www.culture-inclusive.com](http://www.culture-inclusive.com)).

Auch in anderen Anwendungen kommt die Fraunhofer-Hörunterstützung zum Einsatz: Die Forscher entwickeln aktuell eine App, die das iPhone als Mikrofon nutzt und eine individuelle Hörverstärkung bietet. Erst Anfang des Jahres stellte die Sennheiser electronic GmbH & Co. KG einen Drahtlos-Kopfhörer mit individueller Klanganpassung von Fraunhofer vor. Ein weiteres Forschungs- und Einsatzgebiet ist die Hörunterstützung im Telefon. »Unsere Nutzerstudien haben gezeigt, dass die Technologie für Hörgeschädigte in unterschiedlichen Anwendungsszenarien wie im Kopfhörer oder im Telefon sehr hilfreich ist und oft auch von Normalhörenden als vorteilhaft empfunden wird«, sagt Dr. Jens Appell, Abteilungsleiter der Projektgruppe Hör-, Sprach- und Audiotechnologie. »Bisher war ein Großteil der Probanden begeistert – ob mit oder ohne Hörgerät.«



Menschen mit Hörminderungen können den Ton über die Smartphone-App optimal an das eigene Gehör anpassen. (© Sennheiser Streaming Technologies GmbH) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Schnell ladender Elektrobus geht in die Verlängerung

FORSCHUNG KOMPAKT

06 | 2015 || Thema 2

Elektrofahrzeuge sollen den Stadtverkehr künftig umweltfreundlicher gestalten. Um diese Vision umzusetzen, bieten sich Busse im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) an: Feste Routen und Haltestellen erleichtern es, die dafür nötige Infrastruktur zu planen und bereitzustellen. Darüber hinaus haben öffentliche Verkehrsmittel Vorbildfunktion. »Elektrobusse werden sich aber nur durchsetzen, wenn sie sich etablierten Betriebsabläufen anpassen und nicht zu einem Mehrbedarf an Fahrzeugen oder Personal führen«, sagt Dr. Thoralf Knotte vom Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI. Dies birgt einige Herausforderungen: Linienbusse legen am Tag bis zu 400 Kilometer zurück, ohne in den Betriebshof zurückzukehren. Um die nötige elektrische Energie abzudecken, wären riesige Speicher nötig, für die im Bus nicht genügend Raum zur Verfügung steht. Die Alternative: Der Energiespeicher im Fahrzeug muss im laufenden Betrieb in kurzer Zeit wieder aufgeladen werden, etwa während der Wendezeiten an den Endhaltestellen. Dies setzt eine hohe Ladeleistung voraus.

### Kontaktsystem zum Nachladen auf dem Dach des Busses angebracht

Fraunhofer-Wissenschaftler haben im Projekt »EDDA-Bus« mit mehreren Partnern eine Lösung erarbeitet, die ein schnelles und unkompliziertes Nachladen ermöglicht. »EDDA-Bus« ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Verbundprojekts »Schnellladesysteme für Elektrobusse im ÖPNV«. Die Entwicklung basiert auf vier Kerntechnologien: So konzipierte das Dresdener Unternehmen M&P GmbH eine Ladestation mit sehr hohen Ladeleistungen. Die HOPPECKE Advanced Battery Technology GmbH lieferte spezielle Batterien, die für solch hohe Leistungsaufnahmen ausgelegt sind. Für die Anpassung der Leistungselektronik zeichnet die Vossloh Kiepe GmbH verantwortlich. Herzstück der Entwicklung ist das Kontaktsystem, das sich auf dem Dach des Busses befindet – diesen Teil hat das IVI gemeinsam mit der Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH umgesetzt.

Für den Kontaktkopf wurden auf kleinem Bauraum sechs leistungsfähige Kontakte untergebracht. An den Seiten befinden sich jeweils zwei für den Plus- und Minus-Anschluss. Oben angebracht sind ein Erdungskontakt sowie ein »control pilot«, der die Erdung überwacht. »Dadurch genügt unser System höchsten Sicherheitsanforderungen«, erläutert Knotte. Die Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH hat für das Kontaktsystem thermostabile Bauteile entwickelt. Denn anders als etwa bei Straßenbahnen, wo die Energieübertragung während der Fahrt stattfindet, entstehen bei einer Übertragung im Stillstand lokal hohe Temperaturen, die bei herkömmlichen Bauteilen zu Schäden führen würden.

Der Ladevorgang funktioniert unkompliziert: »Wir wollen den Fahrer nicht mit zusätzlichen Aufgaben belasten«, betont Knotte. Er muss den Bus lediglich unter der Kontakt-

haube an der Ladestation positionieren. Dabei kann er sich an einer Markierung am Fahrbahnrand orientieren. Ein akustisches Signal unterstützt den Fahrer beim Positionieren des Busses an der Haltestelle. Um etwas Spielraum zu gewährleisten, justiert sich der Kontaktkopf auf einer Gleitschiene selbst und dockt anschließend an der Kontakthaube an. Der Ladevorgang startet automatisch. Während des Aufladens bekommt der Fahrer den Ladezustand der Batterie angezeigt. Bei Bedarf lässt sich der Ladevorgang auch unterbrechen.

Erste Praxiseinsätze im Dresdener Linienbetrieb hat der EDDA-Bus mit Bravour bestanden: Im Anschluss an die Testphase verkehrte das Fahrzeug auf einer Strecke, die mit rund 20 Kilometern Länge und einigen Steigungen anspruchsvoller ist. »Auch in dieser zweiten Phase übertreffen die Ergebnisse unsere Erwartungen«, freut sich Knotz. Der durchschnittliche Energieverbrauch liegt bei 1,19 kWh pro Kilometer – dabei ist zu berücksichtigen, dass der Bus nicht elektrisch, sondern mittels Dieselstandheizung geheizt wird. Die Nachladezeit beträgt weniger als 6,5 Minuten.



Seit Februar dieses Jahres fährt der EDDA-Bus auf einer neuen, 20 Kilometer langen Strecke.  
(© Fraunhofer IVI) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Banknoten-Check mit ultraschnellem Zeilensensor

FORSCHUNG KOMPAKT

06 | 2015 || Thema 3

Allein im ersten Halbjahr 2014 wurden nach Angaben der Deutschen Bundesbank knapp 25 000 falsche Euro-Banknoten im Wert von 1,5 Millionen Euro registriert. Um Geldfälschern ihr kriminelles Handwerk zu erschweren, werden Banknoten mit speziellen Sicherheitsmerkmalen ausgestattet. Dazu zählen winzige Strukturen, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, sowie Hologramme mit Kippeffekten. Dabei verändert sich das Motiv, wenn man es aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Qualitätsprüfungen beim Druck sollen mit Hilfe spezieller Kameras sicherstellen, dass diese Merkmale auf jeder Banknote fehlerfrei vorhanden sind.

Das AIT Austrian Institute of Technology ist am internationalen Markt führend in der Herstellung solcher Prüfsysteme für den Sicherheitsdruck. Für die Entwicklung eines neuen Sensors hat die österreichische Forschungseinrichtung das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in Duisburg mit ins Boot geholt. Denn heute verfügbare Sensoren stoßen mittlerweile an ihre Grenzen: Ihre Geschwindigkeit reicht oft nicht aus, um die Qualität in Echtzeit während des Produktionsprozesses zu prüfen.

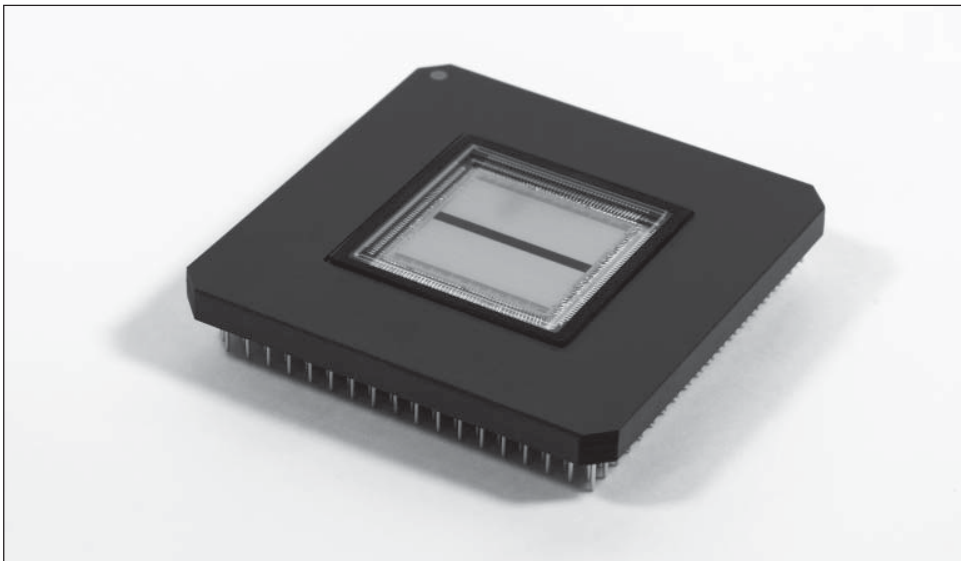
### Kamera nimmt 200 000 Farbbilder pro Sekunde auf

Mit dem 60-Zeilen-Sensor, den die Duisburger Experten entwickelt haben, gehören diese Nachteile der Vergangenheit an: »Unser Sensor ist doppelt so schnell wie heute verfügbare Lösungen und liefert gleichzeitig qualitativ hochwertige Bilder in sehr hoher Auflösung«, erklärt Werner Brockherde vom IMS. Der Sensor erfasst die Geldscheine – ähnlich wie ein Scanner – Zeile für Zeile, wenn sie aus der Druckerpresse kommen. Pro Sekunde nimmt die Kamera dabei bis zu 200 000 Farbbilder auf, bei Belichtungszeiten von Millionstel Sekunden. Eine Software vergleicht die Bildaufnahmen mit einem Sollbild und identifiziert Banknoten mit fehlerhaften Sicherheitsmerkmalen. Um die hohe Geschwindigkeit zu erreichen, haben die IMS-Wissenschaftler für jede Pixelspalte eine eigene Auslekette auf dem Chip integriert. Zudem entwickelten sie spezielle Photopixel, dank derer man trotz der kurzen Belichtungszeiten mit herkömmlichen Optiken arbeiten kann. In jeder Pixelspalte werden die drei Farben Rot, Grün und Blau gleichzeitig und über die gesamte Pixelfläche erfasst. Dies sorgt für eine qualitativ hochwertige Farbwiedergabe. Eine weitere Besonderheit des Sensors: Die hohe Anzahl an Zeilen ermöglicht es, Objekte aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu erfassen. »Damit lassen sich erstmalig auch Oberflächenstrukturen in 3D wie etwa Kippeffekte von Hologrammen überprüfen«, sagt Brockherde.

Die spezielle Architektur des Sensors eröffnet Spielräume für weitere Anwendungen. Dank der hohen Zeilenanzahl ließe sich sein Wellenlängenspektrum noch erweitern – bis in den UV- oder Infrarotlicht-Bereich. Das wäre auch für das Recycling von Kunststoffen interessant, wo der Sensor geschredderte Materialien anhand ihrer Farbinfor-

mationen identifizieren und so eine Trennung erleichtern könnte. Mit der Fähigkeit, auch 3D-Oberflächen zu analysieren, eignet er sich zudem für die Qualitätsprüfung unterschiedlicher Materialien in der industriellen Fertigung. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Untersuchung von Schienen oder Fahrdrähten der Bahn: Selbst bei einer Geschwindigkeit von rund 300 km/h könnte der Sensor gestochen scharfe Bilder mit einer Auflösung von bis zu 0,4 mm liefern und so winzigste Haarrisse erkennen. Erdnahe Satelliten, die mit einem solchen Sensor ausgestattet sind und die Erde mit einer Geschwindigkeit von 26 000 Kilometern pro Stunde umkreisen, könnten Farbaufnahmen von der Erdoberfläche mit einer Auflösung von drei Zentimetern machen.

Die Markteinführung des neuen Sensors als Herzstück der AIT-Prüfkameras ist für Ende 2015 geplant.



**Dieser 60-Zeilen-Sensor ist doppelt so schnell wie bisher verfügbare Systeme. (© Fraunhofer IMS) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**



## Datenbrille – alltagstauglich und dezent

.....  
**FORSCHUNG KOMPAKT**

06 | 2015 || Thema 4  
.....

Die pittoresken Straßen des Örtchens ziehen den Urlauber in ihren Bann. Doch die historischen Informationen zu den Gebäuden bleiben ihm zunächst verborgen – es sei denn, er zückt einen Reiseführer. Künftig könnten Besucher all die interessanten Angaben auf Anhieb sehen, eingeblendet in das Sichtfeld einer Datenbrille. Sie erblicken dann nicht nur die Gebäude, sondern jeweils daneben – ähnlich wie in Sprechblasen in einem Comic – die entsprechenden Informationen. Und sucht man den richtigen Weg in der fremden Stadt, könnte die Brille die Navigationsdaten aus dem Smartphone direkt in das Sichtfeld einblenden. Man spricht dabei von »see-through-Datenbrillen«.

### Klein und elegant

Die Datenbrille, die Forscher vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena entwickelt haben, kann noch mehr als das: Sie könnte ein Problem lösen, mit denen Hersteller solcher Optiken bislang zu kämpfen haben. Denn die Gestelle sind nach wie vor groß und klobig. Im privaten Umfeld gibt es daher nur wenige Menschen, die sich die Datenbrille auf die Nase setzen. »Wir haben unsere Brille so gestaltet, dass sie einen kleinen, unauffälligen Aufbau erlaubt«, sagt Dr. Peter Schreiber, Gruppenleiter in der Abteilung Mikrooptische Systeme am IOF.

Übliche Modelle bestehen aus einem Mikrodisplay, der das Bild erzeugt, und einer Optik, die das Bild an die gewünschte Stelle projiziert. Beide Einheiten sind am Brillenbügel befestigt. Zwar ist das Mikrodisplay der neuen Brille mit 8 mal 15 Millimetern ähnlich groß wie herkömmliche Modelle. Die Optik dagegen ist mit fünf Millimetern nur etwa ein Fünftel so lang wie bisherige Ausführungen. Denn statt einer langen Optik setzen die Wissenschaftler viele kleine Optiken nebeneinander – Experten nennen dies Array. »Wir erreichen so mit einem sehr viel kürzeren Aufbau das gleiche Ergebnis«, erläutert Schreiber.

Eine weitere Neuerung: Während handelsübliche Datenbrillen das Bild oft an den Rand des Sichtfelds projizieren – der Nutzer muss beispielsweise nach rechts oben schauen – sieht er die Infos beim neuen Modell genau dort, wo sie inhaltlich hinpassen, also etwa direkt neben dem Baudenkmal. Dazu bringen die Forscher eine – für das menschliche Auge unsichtbare – Gitterstruktur im Nanomaßstab auf die Brillengläser auf und funktionieren sie somit zum Lichtleiter um. Kurzum: Das Lichtbild wird durch ein Gitter in das Brillenglas eingekoppelt, bis zur gewünschten Stelle geleitet, dort ebenfalls durch ein Gitter ausgekoppelt und in das Sichtfeld des Trägers eingespiegelt. »Die entsprechenden Herstellungsverfahren sind massentauglich und werden in der Industrie bereits angewandt. Die Brille lässt sich einfach und kosteneffizient herstellen«, sagt Schreiber.

---

## Brille kompensiert Fehlsichtigkeit

Brauchen Menschen eine Lesebrille, hätten sie üblicherweise auch Schwierigkeiten, die eingeblendeten Informationen zu lesen. Deshalb gleicht die Brille Weitsichtigkeit aus. »Unser Multikanalansatz ermöglicht es, Weitsicht gänzlich ohne mechanisch bewegte Elemente wie beispielsweise am verstellbaren Okular eines Feldstechers auszugleichen und die Bildschärfe individuell rein elektronisch einzustellen«, erklärt Schreiber. Für den Nutzer heißt das: Auf seinem Smartphone, das via Bluetooth die entsprechenden Inhalte und Informationen an die Brille sendet, gibt er in der entsprechenden App die Werte seiner Fehlsichtigkeit ein. Alles weitere geschieht automatisch: Die Brille verzerrt die eingeblendeten Bilder so vor, dass sie dem Anwender scharf erscheinen. Auch andere Sehfehler wie Astigmatismus oder Kurzsichtigkeit kann die Brille teilweise kompensieren.

Die Grundlagen für die Datenbrille haben die Forscher bereits erarbeitet. Auf der Messe Laser – World of Photonics vom 22. bis 25. Juni in München stellen sie ein Demonstrationmuster vor (Halle B3, Stand 341). Die Anwendungsgebiete der Datenbrille sind keineswegs auf den Tourismus beschränkt: So könnte man sich beim Sport die persönlichen Belastungswerte und die Herzfrequenz anzeigen lassen. Auch den Arbeitsalltag könnte eine solche Brille erleichtern: Beispielsweise bräuchten Mechaniker, die große Maschinen warten oder reparieren, keine dicken Anleitungen wälzen, sondern sehen die Arbeitsschritte in ihr Sichtfeld eingeblendet.



**Das near-to-eye Display mit Durchsichtsfunktionalität ermöglicht einen kleinen, unauffälligen Aufbau. (© Fraunhofer IOF) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Herstellung von Keramikfolien präzise simulieren

FORSCHUNG KOMPAKT

06 | 2015 || Thema 5

Tassen, Zahnimplantate, Waschbecken – all diese Dinge bestehen bekanntermaßen aus Keramik. Weniger bekannt ist dagegen, dass das Material auch in Abgas- und Temperatursensoren im Auto verbaut ist, und zwar in Form von Folien. Hier dienen sie beispielsweise als Trägermaterial für elektrische Leiterbahnen, das extrem hohe Temperaturen aushält. Auch in Filteranlagen kommen poröse Keramikfolien zum Einsatz: So sehen sie etwa in der Lebensmittelindustrie Wasser, Milch, Bier oder Wein. Grundlegend dabei ist es, die Eigenschaften der Folien bei ihrer Produktion genau einzustellen. Bislang können sich die Hersteller jedoch nur über ihre Erfahrung an die gewünschten Eigenschaften herantasten, denn die teuren Produktionsanlagen laufen Tag und Nacht. Für groß angelegte Versuchsreihen bleibt keine Zeit. Und die Ergebnisse, die kleine Laboranlagen liefern, lassen sich nicht ohne weiteres auf die großen übertragen. Das Einstellen der Keramikfolien-Eigenschaften ist daher ein »Spiel mit vielen Unbekannten«.

Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg ermöglichen es nun mit einer neuen Kombination von Simulationsmethoden, die Anzahl der Unbekannten im Spiel deutlich zu verringern. Sie können im Computer simulieren, was bei Gießprozessen für Keramikfolien passiert – und zwar sowohl auf makroskopischer als auch auf mikroskopischer Ebene. Makroskopisch berechnen die Forscher, wie sich die flüssige Keramik, der Keramikschlicker, durch die Maschine bewegt. Mikroskopisch analysieren sie, wie sich die mikrometerfeinen Keramiktteilchen im Schlicker und später in der Folie ausrichten. Das ist europaweit einzigartig. »Mit unserer Software SimPARTIX® können wir den Foliengießprozess auf verschiedenen Größenskalen betrachten und genau untersuchen, wie sich die einzelnen Parameter auf die Eigenschaften der Folie auswirken«, sagt Pit Polfer, Wissenschaftler am IWM. Für die Hersteller heißt das: Sie können die Prozessführung optimieren, den Ausschuss verringern und die Qualität des Produkts verbessern.

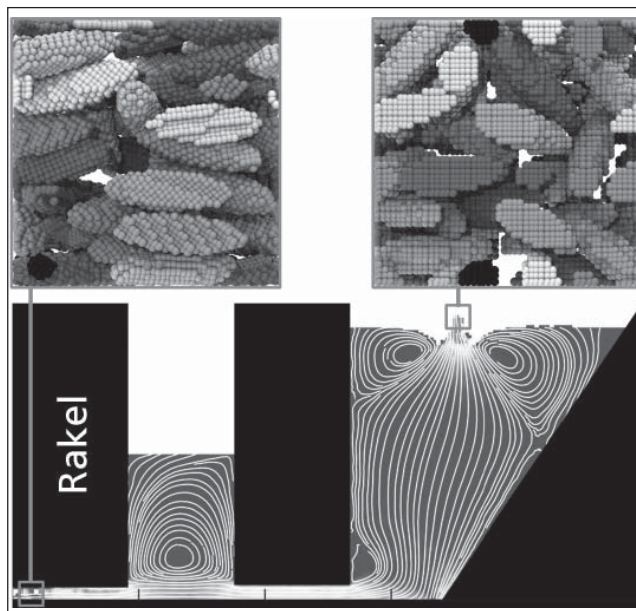
Doch zunächst zum Prinzip der Herstellung: Ein Keramikpulver mit unterschiedlichen Partikelgrößen und -formen wird mit Lösungsmitteln und Additiven vermischt, es entsteht ein fließfähiger Gießschlicker. Dieser wird in Gießkästen gefüllt. Der nach unten geöffnete Kasten lässt den Schlicker auf ein Förderband fließen, das sich darunter fortbewegt. Eine Rakel – eine Art am Gießspalt montierter Abstreicher – sorgt dabei für die gewünschte Dicke des abtransportierten Keramikschlickers. Es entsteht eine glatte Schicht, die anschließend getrocknet wird.

### Makroskopische und mikroskopische Simulation

Die Forscher simulieren makroskopisch, wie der Keramikschlicker durch die Anlage strömt. Denn welche Eigenschaften die Folie später besitzt, hängt auch von der Geometrie der Anlage ab. Bleibt der Schlicker etwa lange in »toten Winkeln« des Gießkastens hängen, altert er dort. Landet er dann schließlich doch in der Folie, führt dies

zu Qualitätseinbußen – und damit zu unerwünschtem Ausschuss. Die Simulation verrät den Herstellern, wie die Gießkastengeometrie die Strömung des Schlickers beeinflusst. Wo bleibt die flüssige Keramik hängen? Wie ändert sich das Strömungsbild, wenn man die Geometrie der Rakel verändert? So können Keramikhersteller vielversprechende Gießkastengeometrien zunächst virtuell testen und teure reelle Versuchs-Rakel einsparen.

Gekoppelt mit dieser makroskopischen Simulation berechnen die Forscher den Schlicker auch auf der mikroskopischen Ebene – und genau darin liegt die Besonderheit des Systems. So untersuchen sie, wie die einzelnen Keramik-Teilchen sich gegenseitig beeinflussen und wie sie im Raum ausgerichtet sind. Da es jedoch zu aufwändig wäre, den gesamten Schlicker auf diese Weise zu berechnen, wählen die Forscher verschiedene »Flüssigkeitstropfen« aus dem Material aus. Wie durchlaufen diese Tropfen die Anlage? Wie richten sich die Keramikpartikel in ihnen aus? »Aus diesen Berechnungen können wir dann auf das Verhalten des gesamten Keramikschlickers rückschließen«, sagt Polfer. So ist es möglich, die Ausrichtung der Partikel oder Größengradienten in der Folie einzustellen, um etwa Spezialanwendungen gezielter herstellen zu können.



**Unten – makroskopische Simulation: Stromlinien während des Gießprozesses, bei dem der Keramikschlicker rechts eingefüllt wird und links unten als Folie den Gießkasten verlässt. Oben – mikroskopische Simulation: Ausrichtung der Keramikpartikel an zwei Stellen im Prozess. (© Fraunhofer IWM) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Mini-Laser für die Qualitätskontrolle in Echtzeit

Pharmaindustrie, Lebensmittelherstellung oder industrielle Fertigung – ständig werden neue Produkte auf den Markt gebracht, mit verbesserten Wirkstoffen oder verträglicheren Zusammensetzungen. Ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung stofflicher Zusammensetzungen, wie beispielsweise Pillen, Kapseln und Co.: Ihre Qualität muss stimmen. Um zu überprüfen, ob die chemische Reaktion wie gewünscht abläuft, nehmen Laboranten Proben aus den Reaktionsgefäßen und untersuchen sie im Labor per Chromatografie 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. Entwickelt wurde er von Forschern an den Fraunhofer-Instituten für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden. »Unser Quantenkaskadenlaser ermöglicht eine neue Art der Spektroskopie«, erläutert Dr. Ralf Ostendorf, Projektleiter am Fraunhofer 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 – so 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 im Reaktionsbehälter 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 1000 steigern:

.....  
**FORSCHUNG KOMPAKT**

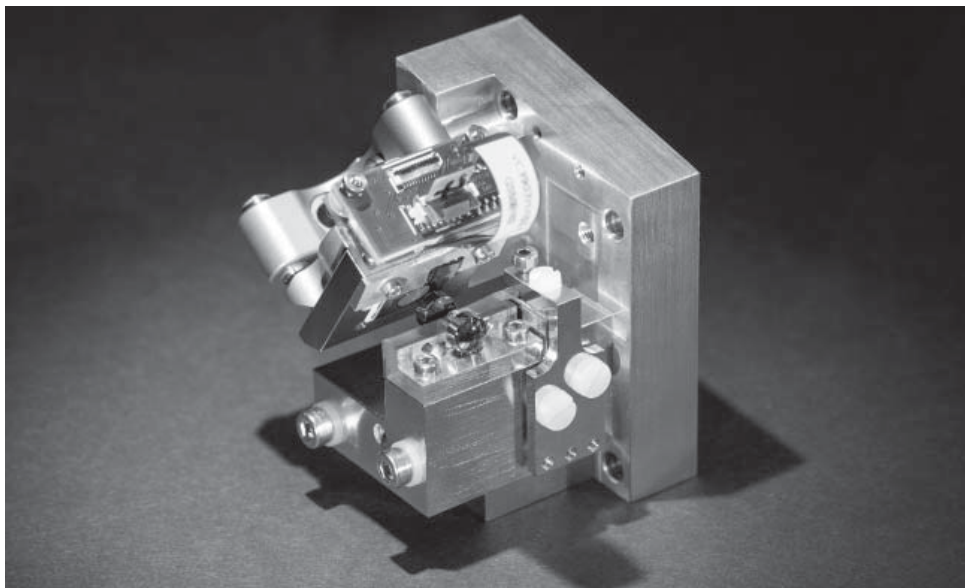
06 | 2015 || Thema 6  
.....

Mit einem von ihnen entwickelten mikromechanischen Scannerspiegel. Statt eines Spektrums pro Sekunde können sie nun tausend Spektren pro Sekunde aufnehmen.

### **Kaum größer als eine Streichholzschachtel**

Der Laser 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 die Forscher bis Ende 2015 entwickeln. Auf der Messe »Laser – World of Photonics« vom 22. bis 25. Juni in München stellen sie den Laser vor und demonstrieren sein Potenzial für die Spektroskopie (Halle A3, Stand 121 und Halle B3, Stand 341).



**Künftig lässt sich der Verlauf chemischer Reaktionen in Echtzeit verfolgen. Möglich macht es ein Quantenkaskadenlaser, der pro Sekunde 1000 Spektren aufnimmt. (© Fraunhofer IAF) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**