

## ■ Lokal nachgiebig

**Mikrostrukturen ermöglichen es, die Elastizität eines Objekts beim 3D-Druck gezielt einzustellen.**

Der 3D-Druck hat sich in den vergangenen Jahren rasant von der Labor- zur praxisnahen Anwendung entwickelt. Inzwischen gibt es sogar erste Online-Dienste, die dieses additive Herstellungsverfahren als Service anbieten. Allerdings ist die

fahren, um Volumen und Kontur der Objekte möglichst optimal mit den vorhandenen Basiselementen auszufüllen. Selektives Lasersintern erlaubte es letztlich, einen einfachen Greifarm – Stichwort „Soft Robotics“ – sowie verschiedene Figuren herzustellen. Die berechnete räumlich variierende Elastizität stimmte erstaunlich gut mit Testmessungen überein. Die Forscher beabsichtigen, die Datensätze ihrer Basiselemente öffentlich verfügbar zu machen.

## ■ Filmkamera für die Nanowelt

**Die Kombination von Nahfeldmikroskopie und Ultrakurzzeitspektroskopie führt zu zeitlich und räumlich hochaufgelösten Bildern.**

Viele physikalische und biologische Vorgänge sind bislang nicht gleichzeitig mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu erfassen. Nicht zuletzt deswegen bleiben viele Prozesse – zumindest im Detail – unverstanden. Daher ist die Entwicklung von geeigneten mikroskopischen und spektroskopischen Verfahren wichtig. Der Arbeitsgruppe von Lukas Eng an der TU Dresden ist es nun zusammen mit Wissenschaftlern des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf und der FU Berlin gelungen, zwei etablierte Methoden geschickt miteinander zu verbinden: die Nahfeldmikroskopie und die Ultrakurzzeitspektroskopie.<sup>2)</sup>

Bei der Nahfeldmikroskopie fällt Laserlicht auf eine sehr feine Metallspitze. Das so gebündelte Licht wechselwirkt im Nahfeld mit der Probe, und die Beobachtung des zurückgestreuten Lichtanteils liefert eine Auflösung bis in den Nanometerbereich. Bei der Ultrakurzzeitspektroskopie können Forscher dynamische Vorgänge mit extrem hoher Empfindlichkeit messen, allerdings nur mit einer räumlichen Auflösung im Mikrometerbereich. Dazu regt man die Probe mit einem ersten Puls an und misst mit einem zweiten Puls, wie sich die Probe verändert hat. Durch unterschiedliche Zeitabstände zwi-

schen den beiden Pulsen entstehen Momentaufnahmen wie bei einem Film. Das funktioniert beispielsweise mit Licht-, Druck- oder Spannungspulsen.

Die Wissenschaftler haben nun beide Verfahren kombiniert und eine Demodulationstechnik entwickelt, damit das Nanoskop nur noch die Änderungen in der Probe erfasst, nicht das stark verrauschte integrale Nahfeldsignal. Sie haben das Verfahren an einer Halbleiterschicht demonstriert und damit gezeigt, dass es sich prinzipiell vom tiefen Terahertz bis zum Ultraviolett eignet, mit Zeitschritten von Femtosekunden bis Sekunden.

## ■ Alternativ wärmen

**Eine Schicht aus Kohlenstoff-Nanoröhren dient als Heizelement in Elektrofahrzeugen.**

Die Elektromobilität steht noch am Anfang. Aufgrund der stark beschränkten Reichweiten heutiger Akkus sind die Autobauer gefordert, ihre E-Mobile in jeder Hinsicht möglichst energieeffizient zu machen. Ein Ansatzpunkt ist die Heizung, über deren Effizienz man sich im heutigen Automobilbau kaum Gedanken machen muss. Für Elektrofahrzeuge dagegen könnte es energetisch interessant sein, nicht mehr mit einer Gebläseheizung zu arbeiten, sondern die Heizelemente direkt in die Türverkleidung zu integrieren. Dabei sollen sie möglichst wenig Raum beanspruchen und großflächig homogen Wärme abgeben. Wie



Beispiele für Figuren, die unterschiedlich elastische Bereiche haben.

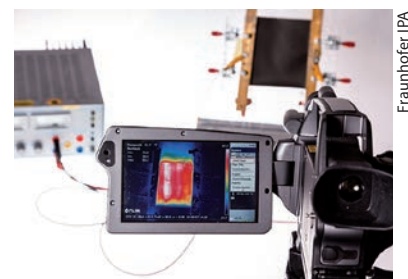
Zahl an Materialien begrenzt, mit denen sich die gewünschten Eigenschaften eines Objekts erzeugen lassen müssen – häufig gibt es nur eines. Wissenschaftler von Disney Research Zürich, der ETH Zürich, des Institute of Science and Technology Austria in Klosterneuburg und der Cornell University in Ithaca (New York) haben diese Beschränkung nun geschickt umgangen.<sup>1)</sup>

Sie entwickelten mehrere Klassen von unterschiedlich strukturierten Basiselementen, aus denen sich am Computer dreidimensionale Strukturen zusammensetzen lassen, deren makroskopische Elastizität örtlich variiert. Die Basiselemente sind sozusagen Metamaterialien, weil sich – analog zu optischen Metamaterialien – die makroskopischen Eigenschaften aus der Form und Anordnung der Strukturen ergeben, nicht aus der Materialzusammensetzung. Die Basiselemente müssen einen großen Bereich unterschiedlicher elastischer Materialparameter abdecken und an den Übergängen untereinander vernünftig interpolierbar sein.

Für den Druck realer Objekte entwickelten die Forscher ein Ver-

1) C. Schumacher et al., Proc. ACM SIGGRAPH 2015, Preprint: [www.disneyresearch.com/publication/microstructures](http://www.disneyresearch.com/publication/microstructures)

2) F. Kuschewski et al., Sci. Rep. 5, 12582 (2015)



Mit einer Wärmebildkamera demonstrieren Fraunhofer-Forscher die Heizwirkung einer Folie, auf die eine dünne Schicht aus Kohlenstoff-Nanoröhren aufgesprüht wurde.

sich das Erreichen lässt, haben nun Forscher des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart demonstriert.

Sie haben eine Dispersion für ein Sprühverfahren entwickelt, mit dem sich kommerziell erhältliche Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) als wenige Mikrometer dünne Schicht auf eine Trägerfolie aufbringen lassen. Die Kontaktierung zu den Elektroden erfolgt per Siebdruck mit Silberpaste. Die Heizwirkung beruht auf dem Kontaktwiderstand zwischen den einzelnen CNTs in der Schicht. Bei der Herstellung der Schicht müssen verschiedene Additive verhindern, dass die CNTs agglomerieren, sonst wäre die Schichtdicke zu unregelmäßig und der Stromfluss – und damit die Wärmeabgabe – unerwünscht inhomogen.

Im Vergleich zu einer Silikonmatte mit eingearbeitetem Kupferdraht ist das CNT-Heizelement etwa um einen Faktor 50 dünner. Das Labormuster der Folie hat eine Fläche von  $10 \times 5$  Quadratzentimeter, mit dem Sprühverfahren lassen sich aber auch quadratmetergroße Flächen herstellen. Prinzipiell wäre es mit dem Sprühverfahren sogar möglich, die CNT-Schicht direkt auf die Türverkleidung aufzubringen. Nun sind die Forscher mit Automobilzulieferern im Gespräch, um die Technologie weiterzuentwickeln.

## ■ Alternative zum Rauchmelder

### Ein kolorimetrischer Gassensor kann Brände früher erkennen.

Rauchmelder sind inzwischen in vielen Bundesländern Pflicht. Sie detektieren den Brand optisch anhand der Lichtstreuung durch die entstehenden Rußteilchen. Doch noch bevor diese Rußteilchen in größeren Mengen nachweisbar sind, bildet sich bei einem Schwellbrand Kohlenstoffmonoxid. Um dieses kostengünstig zu detektieren und so ein Feuer noch früher zu erkennen, haben Forscher des Fraunhofer-Instituts für Physika-



K.-U. Wudtke / Fraunhofer IPM

Die Halterungen am linken und rechten Rand des Sensorgehäuses sind für die Wellenleiter vorgesehen.

lische Messtechnik IPM in Freiburg den Demonstrator eines Gassensors entwickelt.

Solche Gassensoren gibt es zwar bereits, allerdings sind sie viel teurer als die etablierten Rauchmelder und zudem wartungsbedürftig oder erfordern einen 220-Volt-Anschluss. Die IPM-Forscher haben dagegen ihren Sensor von vornherein so entworfen, dass er in hohen Stückzahlen mit mikro-systemtechnischen Methoden sehr kostengünstig zu fertigen ist. Ihr Ziel ist es, dass ein Hersteller dadurch den Melder mit diesem Sensor zu einem ähnlichen Preis anbieten kann wie heutige Rauchmelder.

Der IPM-Sensor detektiert Kohlenstoffmonoxid optisch: Das Licht einer LED fällt in eine Polymerfaser und trifft anschließend auf einen Fotodetektor. Die Innenseite des Wellenleiters ist mit einem am IPM entwickelten Farbstoff beschichtet, einem Rhodiumkomplex. Kommt dieser Farbstoff mit dem Kohlenstoffmonoxid in Kontakt, schlägt seine Farbe um. Dadurch verändert sich das Absorptionsverhalten des Wellenleiters. Im Sensor befinden sich eine Messstrecke – der Wellenleiter mit Farbstoff – und eine Referenzstrecke, der Wellenleiter ohne Farbstoff. Dies stellt sicher, dass die Luftfeuchtigkeit, die das Polymer im Lauf der Zeit aufnimmt, nicht das Messsignal verfälscht. Messungen im Brandlabor zeigten, dass die Nachweisempfindlichkeit des Sensors im einstelligen ppm-Bereich liegt.

Michael Vogel