

## **FORSCHUNG KOMPAKT**

10 | 2013 ||

### **1 Nanozwerge als Tumorkiller**

Chemotherapie ist oft das Mittel der Wahl im Kampf gegen Krebs, doch die Nebenwirkungen sind massiv. Eine neue Methode könnte sie künftig minimieren: In Nanopartikeln verkapselt sollen Wirkstoffe Tumorzellen gezielt abtöten. Der Patient wird geschont.

### **2 Unterschiedliche Gewebe einfach ausdrucken**

Was sich wie Zukunftsmusik anhört, wird bereits seit einigen Jahren erforscht: Gewebe und Organe einfach auszudrucken. Jetzt haben Wissenschaftler die Technologie weiter verfeinert und sind in der Lage unterschiedliche Gewebe zu produzieren.

### **3 Durchblick in jeder Größenordnung**

Sie durchleuchten ganze Schiffscontainer genauso wie winzige biologische Proben: Im Entwicklungszentrum Röntgentechnik arbeiten Forscher sowohl mit dem größten als auch mit dem kleinsten Computertomographen der Welt.

### **4 Westentaschenlabore – in Massen herstellen**

Chips, auf denen sich ganze Labore finden, gibt es zahlreich. Die meisten von ihnen lassen sich bisher jedoch nicht in Massenfertigung produzieren. Forscher entwickeln nun eine Plattform zur Serienfertigung dieser Westentaschenlabore.

### **5 Laser prüft Trinkwasser automatisch und schnell**

Um Trinkwasser rein zu halten, prüfen Wasserexperten kontinuierlich dessen Bestandteile auf Schadstoffe. Hilfe kommt jetzt von der Lasertechnologie: Ein neues System kann Wasserproben automatisch und direkt im Wasserwerk analysieren.

### **6 Flammschutzmittel ohne Gift**

Elektronik, Fahrzeuge, Textilien – kaum ein Produkt kommt heute ohne Kunststoffe aus. Doch der Werkstoff ist leicht brennbar, er muss daher vor Flammen geschützt werden. Mit neuen Verfahren lassen sich umweltverträgliche Flammhemmer einfach herstellen.

### **7 Lebenserwartung von Solarmodulen vorhersagen**

Solarmodule sind diversen Umwelteinflüssen ausgesetzt, die über die Jahre das Material ermüden. Forscher haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die Wirkung dieser Einflüsse langfristig berechnen lässt. Dies erlaubt zuverlässige Lebensdauerprognosen.

### **8 Kurzmeldungen**

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft rund zwei Drittel aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien gefördert.

---

**Impressum**

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Presse und Öffentlichkeitsarbeit | Hansastraße 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1302 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de) | Redaktion: Franz Miller, 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.

## Nanozwerge als Tumorkiller

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2013 || Thema 1

Haarausfall, Übelkeit, Erbrechen, Müdigkeit, Appetitlosigkeit, Verlust von Wimpern und Augenbrauen, Infektanfälligkeit – die Liste der möglichen Nebenwirkungen bei einer Chemotherapie ist lang. Viele Krebspatienten leiden unter den starken Begleiterscheinungen der Behandlung. Um das Wachstum des Tumors zu stoppen und auch resistente Zellen zu zerstören, werden hochdosierte Zytostatika unter die Haut gespritzt oder intravenös verabreicht. Der Wirkstoff ist umso effektiver, je häufiger sich Zellen teilen. Dies trifft vor allem bei bösartigen Tumoren zu. Aber auch gesunde Schleimhaut- und Haarzellen teilen sich schnell. Sie werden daher ebenfalls angegriffen. Wissenschaftler suchen seit langem mit Hochdruck nach einer Therapie, die Tumorzellen gezielt abtötet und gesundes Gewebe nicht schädigt. Mit einer neuen Methode wollen Forscher vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam den Teufelskreis durchbrechen: Sie verwenden Nanopartikel als Transportvehikel für den Krebs-Wirkstoff. Da die Partikel aufgrund ihres Aufbaus Zellen ähneln, eignen sie sich, um Arzneistoffe gezielt zum Tumor zu schleusen, dort anzudocken und bösartige Zellen effizient zu eliminieren.

Bei den winzigen, 200 bis 250 Nanometer großen Wirkstoffträgern setzen die Forscher auf hydrophobe, nicht wasserlösliche Lipidcarrier. Sie sind biologisch abbaubar, nach der Anwendung zersetzen sie sich im Körper. Polymere stabilisieren die Nanohülle, die mit Erkennungsmolekülen bestückt ist, die besonders gut mit Tumorzellen wechselwirken. Die Hülle der Nanoteilchen – Experten nennen sie Vesikel – ist chemisch ähnlich der einer Zelle aufgebaut. Die Wissenschaftler beladen diese Carrier mit Doxorubicin, einem in der Chemotherapie häufig verwendeten Krebsmedikament. Das Tensid Sodium Tetradecyl Sulfat (STS) sorgt dafür, dass der Wirkstoff besser aufgenommen wird.

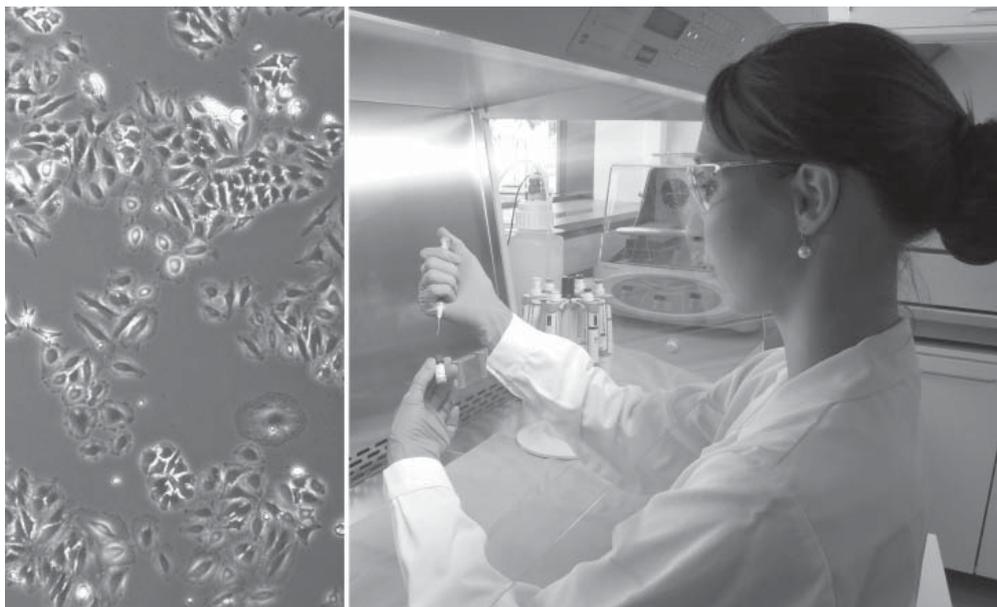
Die Wirksamkeit ihrer Methode konnten die Forscher bereits in Labortests nachweisen. »Bei den in-vitro-Tests haben wir Gebärmutterhals-Tumorzellen (HeLa) und Dickdarmkrebszellen (HCT116) verwendet, da diese sehr unterschiedlich auf Doxorubicin reagieren. Im Gegensatz zu HeLa-Zellen sind HCT116-Zellen empfindlich gegenüber dem Wirkstoff. Die Untersuchungen haben wir – wie in Kliniken – mit pharmakologisch relevanten Dosierungen durchgeführt. Das Doxorubicin wurde der Zellkultur unverkapselt und in Nanocarriern verkapselt hinzugefügt«, erläutert Dr. Joachim Storsberg. Er hat die neue Therapie gemeinsam mit Dr. Christian Schmidt und Nurdan Dogangüzel vom IAP sowie in enger Zusammenarbeit mit Kollegen aus der Pharmazie, Prof. Dr. Mont Kumpugdee-Vollrath und Dr. J. P. Krause von der Beuth University of Applied Sciences in Berlin, entwickelt.

### Chemotherapie verträglicher machen

Das Ergebnis der Labortests: Nach drei Tagen überlebten 43,3 Prozent der HeLa-Zellen unter der Zugabe von 1 Micromolar ( $\mu\text{M}$ ) unverkapseltem Doxorubicin. Wird der Wirk-

stoff in Vesikeln verkapselt hinzugefügt, überleben hingegen nur 8,3 Prozent der bösartigen HeLa-Zellen. »Der Arzneistoff in der Nanohülle wirkt fünfmal effektiver«, sagt Storsberg. Dies lässt sich auch bei den Tests mit den Dickdarmkrebszellen beobachten: Hier überleben nach zwei Tagen 46,5 Prozent der HCT116-Zellen bei der Gabe von 0,1  $\mu\text{M}$  Doxorubicin, während nur 13,3 Prozent der bösartigen Tumorzellen bei der Zugabe des verkapselten Wirkstoffs nicht eliminiert werden. Bei keinem der Tests wurden die gesunden Zellen angegriffen. »Mit Nanopartikeln als Trägerzellen ist eine wirkungsvollere und zugleich geringere Dosierung möglich. Dadurch und durch die zielgenaue Zufuhr des Wirkstoffs werden gesunde Zellen geschont und Nebenwirkungen minimiert«, ist Storsberg überzeugt. Ein weiteres Testergebnis: Das Verkapselungsmaterial ist nur in Kombination mit dem Wirkstoff wirksam. Unbeladen greift es die empfindlichen HCT116-Zellen nicht an. Mit ihrer Methode können Storsberg und sein Team sowohl untersuchen, wie effektiv ein verkapselter Arzneistoff wirkt, als auch wie »giftig« das eigentliche Nanomaterial ist. »Das gibt es bis dato so noch nicht«, betont der Chemiker.

Ihre Ergebnisse stellen die Forscher vom 28. bis 30. Oktober auf der Konferenz Nanotech Dubai 2013 vor. Jedoch erst wenn in-vivo-Experimente ebenfalls erfolgreich verlaufen sollten, können klinische Testreihen mit Krebspatienten vorbereitet werden.



**Gebärmutterhalskarzinomzellen lassen sich mit verkapseltem Krebs-Wirkstoff effektiv und zielgenau abtöten (links). Hier wird der Wirkstoff Doxorubicin vorbereitet – ein in der Chemotherapie häufig verwendetes Medikament (rechts). (© Fraunhofer IAP) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Unterschiedliche Gewebe einfach ausdrucken

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2013 || Thema 2

Die jüngsten Skandale haben das Problem noch verschlimmert: Laut der Deutschen Stiftung für Organtransplantation (DSO) ging die Zahl der Organspender im ersten Halbjahr 2013 um über 18 Prozent im Vergleich zum Vorjahreszeitraum zurück. Gleichzeitig darf man davon ausgehen, dass die Nachfrage in den nächsten Jahren kontinuierlich steigt: Denn wir werden immer älter und die Transplantationsmedizin macht immer mehr Fortschritte. Indem man Zellen, Gewebe oder Organe ersetzt, können schon heute viele schwerwiegende Krankheiten geheilt werden. Politik, Industrie und Forschung arbeiten deshalb schon seit geraumer Zeit intensiv daran, Methoden und Verfahren zu verbessern, mit deren Hilfe sich Gewebe künstlich herstellen lassen. So soll die Versorgungslücke geschlossen werden.

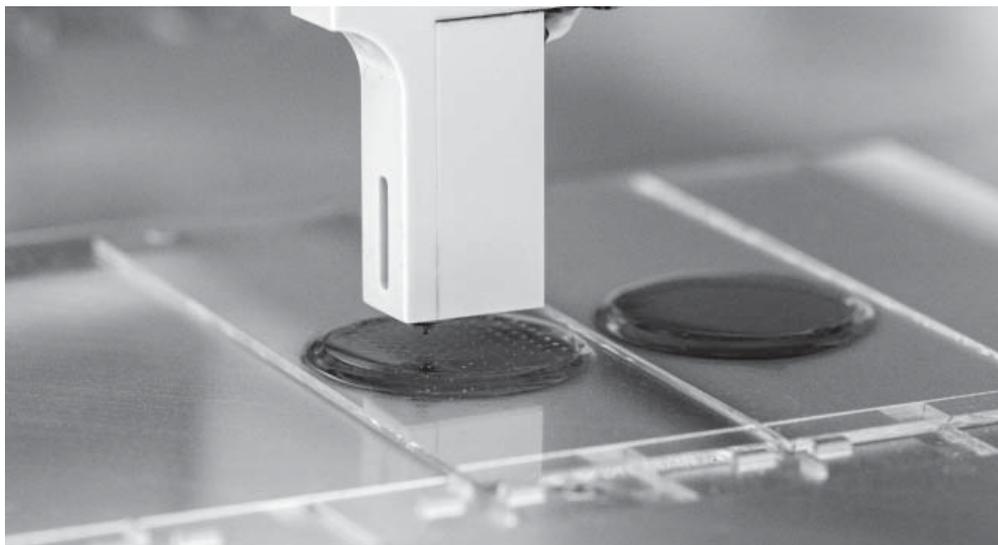
### Biotinte aus lebenden Zellen

Dabei könnte eine Technologie eine entscheidende Rolle übernehmen, die wir alle aus dem Büro kennen und die meisten von uns zunächst wohl nicht mit der Produktion künstlicher Organe in Verbindung bringen: der Tintenstrahldruck. Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB aus Stuttgart ist es gelungen, für diese Drucktechnik geeignete Biotinten zu entwickeln. Die durchsichtigen Flüssigkeiten bestehen aus tierischem Material und lebenden Zellen. Die Basis bildet eine Substanz, die aus natürlichen Geweben gewonnen wird: Gelatine. Sie ist ein Abbauprodukt der Kollagene, die den Hauptbestandteil der Matrix natürlicher Gewebe bilden. Um die Biomoleküle fit für den Druck zu machen, haben die Forscher deren Gelierverhalten chemisch angepasst. Während des Drucks bleiben die Biotinten flüssig und somit druckbar. Werden sie danach mit UV-Licht bestrahlt, vernetzen sie zu Hydrogelen. Das sind Polymere, die Wasser enthalten, sich aber weder unter Wärmeinfluss noch in Wasser auflösen. Die chemische Modifizierung der Biomoleküle können die Forscher so steuern, dass die resultierenden Gele unterschiedliche Festigkeiten und Quellbarkeiten besitzen. Damit lassen sich die Eigenschaften von natürlichen Geweben nachbilden – von festem Knorpel- bis hin zu weichem Fettgewebe.

Auch aus künstlichen Ausgangsmaterialien lassen sich mit den Druckern der Stuttgarter Forscher Gele produzieren, die als Ersatz für die extrazelluläre Matrix dienen können. Zum Beispiel haben sie ein System entwickelt, das ohne die Ausbildung von Nebenprodukten zu einem Hydrogel vernetzt und direkt mit echten Zellen besiedelt werden kann. »Aktuell konzentrieren wir uns aber auf die »natürliche« Variante. Wir bleiben damit sehr nah am Original. Auch wenn das Potenzial von künstlich hergestellten Biotinten groß ist, müssen wir erst noch einiges über die Wechselwirkungen zwischen den Kunststoffen und dem natürlichen Gewebematerial lernen. Unsere Variante dagegen gibt den Zellen ihre natürliche Umgebung und kann so direkt die Selbstorganisation der gedruckten Zellen zu einem funktionalen Gewebemodell fördern«, schildert Dr. Kirsten Borchers den Ansatz am IGB.

Die Drucker in den Stuttgarter Laboren haben viel gemeinsam mit herkömmlichen Bürodruckern: Tintenreservoir, Düsen – alles wie gehabt. Erst beim genaueren Hinsehen entdeckt man die Unterschiede. Zum Beispiel die kleine Heizung am Tintenbehälter, mit der die passende Temperatur der Biotinte eingestellt wird. Auch die Anzahl der Düsen und der Tanks ist noch geringer als beim Büro-Pendant. »Zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten und der Industrie wollen wir deren Zahl erhöhen, um gleichzeitig verschiedene Tinten mit unterschiedlichen Zellen und Matrices auszudrucken. So nähern wir uns der Herstellung komplexerer Strukturen und unterschiedlicher Gewebe«, erklärt Borchers.

Die größte Herausforderung ist es derzeit, vaskularisiertes Gewebe zu produzieren. Dabei handelt es sich um Gewebe, das über ein eigenes Blutgefäßsystem verfügt und darüber mit Nährstoffen versorgt werden kann. Daran arbeitet das IGB zusammen mit anderen Partnern in dem von der Europäischen Union geförderten Projekt »ArtiVasc 3D«. Im Mittelpunkt steht hier eine Technologie, mit der es möglich ist, feine Blutgefäßmodelle aus synthetischen Materialien zu produzieren und damit erstmals künstliche Haut mit dem darunterliegenden Fettgewebe zu erzeugen. »Um zukünftig ganze Organe drucken zu können, ist dieser Schritt sehr wichtig. Erst wenn es uns gelingt, Gewebe zu produzieren, die durch ein Blutgefäßsystem versorgt werden können, ist der Druck von größeren Gewebestrukturen möglich«, schließt Borchers. Sie zeigt die IGB-Technologie auf der »Biotechnica« von 8. bis 10. Oktober 2013 in Hannover (Halle 9, Stand E09).



**Labor statt Büro: Forscher drucken mit Hilfe von Tintenstrahldruckern Zellsuspensionen auf rosa schimmernde Hydrogel-Pads, die das Austrocknen verhindern. (© Fraunhofer IGB) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Durchblick in jeder Größenordnung

Nach dem Crashtest mit 50 km/h ist von dem PKW nur noch ein Haufen Blech übrig – doch der liefert wertvolle Informationen darüber, wie sich die Fahrzeugsicherheit verbessern lässt. Voraussetzung dafür: Die Ingenieure müssen ins Innere des Fahrzeugs hineinsehen können, um zu analysieren, wie einzelne Bauteile auf die Belastung reagiert haben. Klassische zweidimensionale Röntgenbilder, wie sie in der konventionellen Werkstoffprüfung eingesetzt werden, sind hierfür oft zu ungenau: Sie zeigen lediglich eine Art »Schattenwurf« aus einer einzigen Position. Wesentlich mehr Möglichkeiten bietet die industrielle Computertomographie (CT): Bauteile können damit vollständig dreidimensional erfasst, berührungslos und zerstörungsfrei vermessen und inspiziert werden. Doch wie bekommt man ein ganzes Auto in einen Computertomographen?

### Überdimensionaler Computertomograph durchleuchtet Schiffscontainer

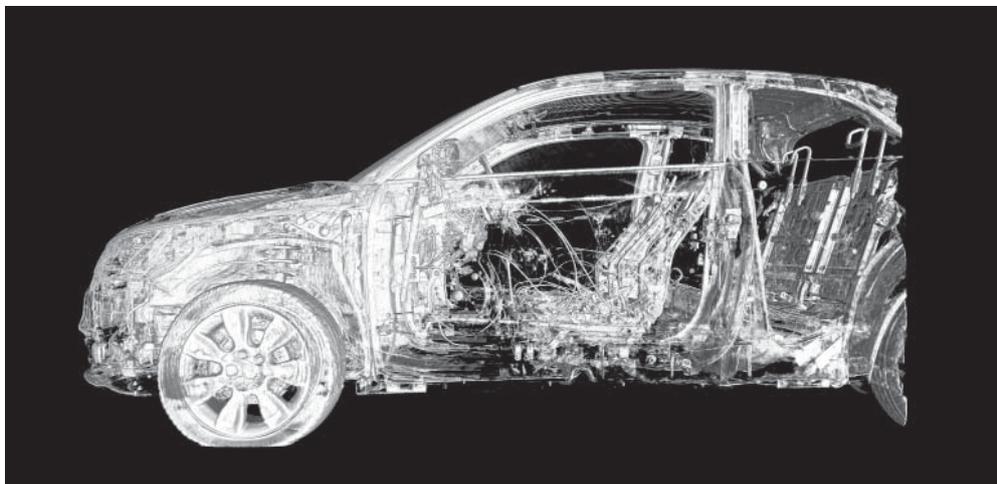
Die Antwort liefern Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS: Sie haben am Standort Fürth einen überdimensionalen Computertomographen entwickelt, der künftig Autos, Flugzeugflügel und sogar ganze Schiffscontainer durchleuchten soll. Das Untersuchungsobjekt wird dazu auf einen riesigen Drehtisch gehievt. Während dieser langsam rotiert, fahren eine Röntgenquelle auf der einen und ein vier Meter langer Röntgendetektor auf der anderen Seite neben dem Objekt auf und ab. Aus den so entstandenen Aufnahmen lässt sich am Computer ein dreidimensionales Bild errechnen. »Das ist in dieser Größenordnung eine bislang einzigartige Möglichkeit zur zerstörungsfreien Materialprüfung«, sagt Prof. Randolph Hanke, der das Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT leitet. Dank der heute schon extrem hohen Auflösung von 0,8 Millimetern an metergroßen Objekten sind auf den Aufnahmen selbst winzige Details gestochen scharf zu erkennen – kurzfristig streben die Forscher eine Auflösung von 0,4 Millimetern an. Die Technologie ermöglicht es beispielsweise, Prototypen neuer Autos mit den Konstruktionsdaten abzugleichen oder Materialfehler wie winzige Risse in Automobil- oder auch Flugzeugbauteilen zu erkennen. Sicherheitskräfte könnten mithilfe des XXL-Tomographen Sprengstoff oder andere unerlaubte Gegenstände in Frachtcontainern aufspüren, ohne sie öffnen zu müssen.

### CT-Gerät für den Nanobereich

Das Gegenstück zu dieser Riesenröhre kann Einrichtungsleiter Hanke bequem mit sich herumtragen: Das Gerät ist nicht größer als eine Mikrowelle und durchleuchtet mit einer Auflösung von 0,02 Millimetern kleinste Kunststoffteile bis hin zu biologischen Proben. Es ist derzeit der kleinste Computertomograph der Welt – doch Hanke und sein Team arbeiten bereits an der nächsten Innovation: Einem Gerät, das bis in den Nanobereich, also unter 100 Nanometer, vordringen soll. Diese Vision treibt Hanke schon seit 15 Jahren um, nun ist ihm gemeinsam mit Studenten und Doktoranden seines Lehrstuhls für Röntgenmikroskopie an der Universität Würzburg ein entscheidender Durch-

bruch gelungen. »Wir haben jetzt ein Elektronenmikroskop zu einer speziellen Nano-röntgenquelle weiterentwickelt«, erläutert der Forscher. Der Clou: Die elektrischen Ladungsträger, die das Röntgenlicht erzeugen, werden seitlich auf eine dünne Nadel geleitet. Dadurch tritt aus der Nadelspitze Röntgenlicht aus und liefert mit 50 Nanometern Durchmesser einen exakten Brennfleck. Damit lassen sich Objekte in Nanogrößenordnung scharf beleuchten. Biologen könnten mithilfe dieser Technologie etwa den Wassertransport in Holzfasern analysieren.

Im Juli wurde in Fürth-Atzenhof das neue EZRT-Gebäude eingeweiht. »Hier bündeln wir zukünftig im Bereich der industriellen Computertomographie die Kompetenzen für Aufgabenstellungen aus unterschiedlichsten Bereichen und in jeder Größenordnung. Mit unserem Equipment sowie unserem verfahrenstechnischen Know-how können wir Kunstgegenstände aus dem Altertum genauso durchleuchten wie ganze Windräder«, freut sich Prof. Hanke.



**Im Auge des Computertomographen: Ein Auto offenbart sein Innerstes am Entwicklungszentrum Röntgentechnik in Fürth. (© Fraunhofer IIS) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Westentaschenlabore – in Massen herstellen

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2013 || Thema 4

Wie ein chemisch-analytisches Labor aussieht, stellen sich wohl die meisten so vor: Ein großer Raum mit elektrischen Geräten, Abzügen und chemischen Substanzen, in dem Wissenschaftler mit weißen Kitteln damit beschäftigt sind, unterschiedlichsten Abläufen ihre Geheimnisse zu entlocken. Dass es jedoch auch ganz andere Labore gibt, zeigen Lab-on-a-Chip-Systeme: Nur wenige Zentimeter groß vereinen diese »Westentaschenlabore« alle notwendigen Funktionalitäten auf sich. Winzige Mengen an Flüssigkeiten lassen sich mit einem solchen Chip vollständig und automatisch analysieren. Zwar haben Experten aus aller Welt in den letzten Jahren viele leistungsfähige Lab-on-a-chip-Systeme entwickelt. Nur ganz wenige davon schaffen jedoch den Sprung auf den Markt.

Die Gründe für dieses Scheitern wollen Forscher aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen nun finden und ausmerzen – gemeinsam mit ihren Kollegen des Spin-Offs Polyscale GmbH & Co KG sowie zehn weiteren Industriepartnern aus Deutschland, Finnland, Spanien, Großbritannien, Frankreich und Italien. Das EU-Projekt mit dem Namen ML<sup>2</sup> wird bis zum Herbst 2016 mit 7,69 Millionen Euro gefördert. »Ein Hauptgrund für die fehlende Markteinführung liegt in den Fertigungstechniken, mit denen die Lab-on-a-chip-Systeme hergestellt werden«, sagt Christoph Baum, Gruppenleiter am IPT. »Sie lassen sich oft nicht in die industrielle Produktion überführen.« Zudem gestaltet es sich problematisch, elektrische Funktionen auf dem Westentaschenlabor zu integrieren: Hier gibt es zwar Ansätze – massentauglich sind sie jedoch noch nicht.

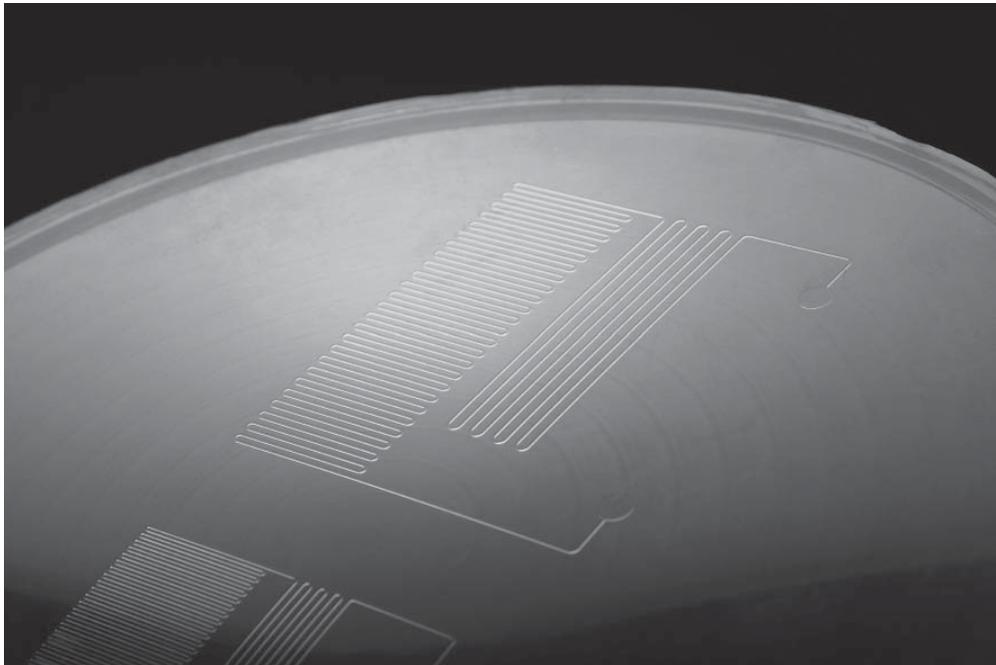
### Plattform für die Serienfertigung

Im Projekt ML<sup>2</sup> wollen die Wissenschaftler daher den gesamten Herstellungsprozess der Westentaschenlabore fit machen für die Serienfertigung. »Ziel ist es, eine Plattform zu schaffen, mit der wir alle nötigen Komponenten herstellen können«, sagt Baum. Dazu gehören sowohl die winzigen Kanalstrukturen, in denen die Flüssigkeiten fließen und miteinander reagieren, als auch die Versiegelung der Oberflächen, damit bioaktive Substanzen anbinden können. Hinzu kommen optische Komponenten und die elektrischen Leiterbahnen, die beispielsweise die Kanäle beheizen. Diese einzelnen Komponenten bringen die Fachleute jeweils auf einzelne Folien auf, die sie anschließend zum gesamten »Labor« zusammensetzen. Ein Laser brennt senkrechte Kanäle durch die einzelnen Schichten und schafft somit Verbindungen zwischen ihnen.

Zunächst passen die Forscher die Herstellungsverfahren für die jeweiligen Schichten an die Anforderungen an, die eine Massenproduktion stellt. Statt die Kanalstrukturen wie meist üblich über Spritzguss oder nasschemische Verfahren herzustellen, haben sie daher Folienprägeprozesse gewählt. Dabei bringen sie die Negativstruktur der Kanäle auf eine Walze auf. Diese läuft über eine Endlosfolie und drückt die entsprechenden

Vertiefungen hinein. Die elektrischen Leiterbahnen drucken die Wissenschaftler mit einem Tintenstrahldrucker auf eine Folie auf – mit Tinte, die Kupfer- oder Silbernanopartikel enthält.

Die einzelnen Herstellungsschritte optimieren die Forscher anhand bestimmter Demonstratoren – beispielsweise an einem Schwangerschaftstest mit digitaler Anzeige. Momentan werden diese Tests in Niedriglohnländern gefertigt. Künftig sollen sie sich – bedingt durch den höheren Automatisierungsgrad – um bis zu 50 Prozent günstiger fertigen lassen. Somit würde sich auch eine Fertigung in Deutschland wieder rentieren. 2014 sollen sämtliche Demonstratoren aufgebaut und die einzelnen Herstellungsverfahren optimiert sein. Dann geht es darum, die einzelnen Schritte miteinander zu koppeln, bestmöglich aufeinander abzustimmen und den Gesamtprozess in die Massenproduktion zu überführen.



**Mikrofluidisches Negativ zur Folienstrukturierung. (© Fraunhofer IPT) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Laser prüft Trinkwasser automatisch und schnell

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2013 || Thema 5

Laser sind aus unserer Welt nicht mehr wegzudenken: Sie drucken Dokumente, spielen CDs oder DVDs ab, fertigen durch Schweißen, Schneiden oder Biegen Fahrzeuge, vermessen Straßen, beobachten unseren Blutstrom oder entfernen Tumore aus unserem Körper. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg haben die Technologie nun für ein weiteres Anwendungsfeld optimiert: Ihr Quantenkaskadenlaser, ein spezieller Infrarotlaser, das Herzstück eines Analysators, kann automatisch Trinkwasser direkt im Wasserwerk prüfen. Wasserversorger sind so in der Lage, innerhalb weniger Minuten festzustellen, nicht nur ob, sondern auch mit welcher Substanz das Wasser verunreinigt ist. Der Analysator ist insbesondere darauf spezialisiert, gesundheitsgefährdende chemische Schadstoffe sofort zu identifizieren. »Die Apparatur testet direkt im ständigen online-Betrieb am Wasserwerk das Wasser auf gefährliche Inhaltsstoffe und ermöglicht bei Auffälligkeiten eine schnelle Reaktion«, fasst Dr. Frank Fuchs die Vorteile zusammen. Er koordiniert am IAF das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt »IRLSSENS«.

Um die Bestandteile des Wassers zu überprüfen, nutzen die Experten die Molekülspektroskopie: Sie untersuchen die optischen Spektren der im Wasser enthaltenen Moleküle. Diese sind für jede chemische Verbindung einzigartig, da das einzelne Molekül bei charakteristischen Frequenzen schwingt und Licht absorbiert. Wasser selbst schluckt infrarotes Licht sehr stark und die bisher eingesetzten Lichtquellen liefern wenig Leistung. Daher war eine derartige Untersuchung bisher nur im Labor möglich. »Der Knackpunkt ist vor allem die Intensität des Lichts. Um direkt am Wasserwerk zu spektroskopieren, mussten wir eine leistungsstärkere Quelle finden«, erläutert Fuchs.

### Wasserproben im laufenden Betrieb entnehmen

Der Quantenkaskadenlaser des IAF produziert bis zu 1000 Mal intensiveres Licht als der bisher im Labor verwendete thermische Strahler aus Siliziumcarbid. Per Infrarotstrahlung – im langwelligen, für das menschliche Auge nicht sichtbaren Bereich des Lichts – lassen sich Verunreinigungen des Wassers analysieren. Die für die Molekülspektroskopie relevanten Wellenlängen liegen zwischen 7,3 und 11 Mikrometern. Die Wasserproben müssen nun nicht mehr aufwändig und zeitintensiv im Labor präpariert, sondern können direkt im laufenden Betrieb entnommen werden. Das Messsystem ist nur wenig größer als ein Schuhkarton, funktioniert autonom und benötigt kaum Wartung.

Ein Demonstrator hat den ersten Praxistest bereits erfolgreich bestanden: Im badischen Wasserwerk Kleine Kinzig musste der Laser testweise eingebrachte Süsstoffproben in unterschiedlichen Dosen aufspüren. Sechs Wochen lang wurde alle drei Minuten gemessen. Insgesamt 21 000 Proben erfasste das System im vollautomatischen Betrieb. Das Ergebnis: Jede einzelne Probe wurde exakt erfasst. Es gab keinen einzigen Fehler. Auch die Bedenken hinsichtlich der Vibrationsanfälligkeit des Laserspektrometers er-

wiesen sich als unbegründet: Die laufenden Maschinen und Pumpen in der Maschinenhalle hatten keine negativen Auswirkungen auf das Testergebnis. Abhängig von der Nachfrage will der Projektpartner Bruker Optik, der den Demonstrator gebaut hat, das Messsystem zu einem Produkt weiterentwickeln.

Das deutsche Trinkwassersystem verfügt über sehr hohe Qualitätsstandards. Alle deutschen Wasserwerke lassen ihre Wasserproben in Laboren wie dem Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe regelmäßig prüfen. Gleichzeitig hat jedes einzelne Werk ununterbrochen Trübung, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit im Blick, um bei Auffälligkeiten sofort eingreifen zu können. »Für den Fall solcher Auffälligkeiten ermöglicht die neuartige Lasertechnologie eine schnelle Identifikation von Gefahrstoffen vor Ort und kann die Wasserexperten bei ihrer Analyse der Lage unterstützen«, schließt Fuchs.



**Wenig größer als ein Schuhkarton ist der im Projekt »IRLENS« entstandene Demonstrator. Er analysiert Wasserproben direkt am Werk automatisch und schnell. (© Martin Wagenhan/ Fraunhofer IAF) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Flammschutzmittel ohne Gift

Die Zahl ist besorgniserregend: Jedes Jahr sterben in Deutschland etwa 600 Menschen durch Wohnungsbrände. Oftmals war der Auslöser des Feuers ein kleines Teelicht. Sobald mehrere Gegenstände in Flammen stehen, schnellt die Temperatur im Raum auf bis zu 800 Grad, das Feuer greift rasch auf andere Zimmer über. Den Bewohnern bleibt nur wenig Zeit zur Flucht – nach Brandausbruch sind es gerade einmal zwei Minuten.

Heutzutage enthalten Wohnungen und Büros wesentlich mehr brennbare Materialien als noch vor Jahrzehnten: Möbel, Elektronik- und Elektrogeräte etwa bestehen größtenteils aus leicht entzündlichen Materialien. Ohne den Zusatz von Flammschutzmitteln würden diese Produkte unter Einfluss einer Zündquelle in kürzester Zeit lichterloh brennen. Beispielsweise geht ein Fernseher ohne die schützenden Additive nach acht Minuten in Flammen auf, während ein TV-Gerät mit Flammschutz nach dieser Zeit noch unbeschädigt ist. Am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF entwickeln Prof. Dr. Manfred Döring und sein Team Flammschutzmittel (FSM) für polymere Werkstoffe, unter anderem für den Transportbereich, die Baubranche und für elektrische und elektronische Anwendungen. »Flammschutzmittel sollen Brände verhindern und die Ausbreitung des Feuers verzögern. Die Fluchtzeit erhöht sich auf bis zu 20 Minuten. Die Wahrscheinlichkeit, einen Brand unbeschadet zu überstehen, steigt somit deutlich«, so Döring.

### Flammschutzmittel müssen hohe Anforderungen erfüllen

Doch die Anforderungen an die Flammschutzmittel sind hoch: Sie sollen umweltverträglich, für Mensch, Tier und Pflanzen unbedenklich sein und bei einem Brand keine zusätzlichen toxischen Rauchgase freisetzen. Darüber hinaus dürfen sie nicht aus dem fertigen Produkt in die Luft oder ins Wasser freigesetzt werden. Die Forscher müssen sicherstellen, dass das Flammschutzmittel nicht mit dem Kunststoff oder anderen Bestandteilen unerwünscht reagiert und damit das Material verändert oder dessen Funktionalität und Aussehen beeinflusst. »Flammgeschützte Berufskleidung etwa muss waschbar sein, ohne dass der Flammschutz dadurch beeinträchtigt wird. Leiterplatten in elektronischen Geräten müssen sowohl bei  $-40^{\circ}\text{C}$  als auch bei  $+60^{\circ}\text{C}$  über viele Jahre flammgeschützt funktionstüchtig bleiben, damit bei einem möglichen Kurzschluss kein Brand entstehen kann«, sagt Döring. Daher stimmen der Wissenschaftler und seine Kollegen das Flammschutzmittel exakt auf den jeweiligen Kunststoff ab, wobei sie auf halogenfreie, toxisch unbedenkliche FSM setzen. Je nach Anwendung handelt es sich dabei um anorganische, phosphor- und stickstoffhaltige Verbindungen.

Vom 16. bis 23. Oktober stellen die Forscher auf der Messe K in Düsseldorf ein halogenfreies, polymeres Flammschutzmittel für Fasern vor, das sich beispielsweise für flammhemmend ausgerüstete Sitzbezüge eignet. Einzigartig ist die Einbringung des polymeren Flammschutzmittels während der Extrusion, einer in der Kunststoffindustrie

gängigen Verfahrenstechnik: Die Wissenschaftler mischen ein fasergeeignetes Polymer mit einem flammgeschützten Polymer im Extruder – einem Fördergerät, das die zugeführte Kunststoffmasse verdichtet und unter Druck einem profilgebenden Werkzeug zuführt. Das FSM kann durch einfaches physikalisches Vermischen gleichmäßig im Grundpolymer verteilt werden. Der Vorteil für die Verarbeiter von Kunststoffen: Sie können nun erstmals die Quantität des Flammschutzpolymers selbst wählen und somit das flammhemmend ausgerüstete Polymer nach eigener Rezeptur produzieren.

Derzeit bauen die Forscher vom LBF ein Brandschutzlabor auf, das Ende 2014 mit einem breit gefächerten Leistungsangebot in Betrieb gehen soll: Die Chemiker und Ingenieure testen die Effizienz von Flammschutzmitteln in Polymeren und entwickeln Rezepturen für Kunststoffe wie Thermoplaste, Duromere und Composite. Zudem prüfen sie Systeme, die aus mehreren Komponenten bestehen und untersuchen sie auf ihre Effizienz – synergistische Abmischungen nennen die Experten diese Zusammensetzungen, die sich in ihrer Wirkung vervielfältigen. Darüber hinaus synthetisieren sie halogenfreie Flammschutzmittel und führen gegebenenfalls eine Maßstabsvergrößerung der Synthese durch. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, schließlich müssen immer mehr Bauteile aus Kunststoff flammhemmend ausgerüstet werden.



**Viele Steckerleisten sind brandgefährlich – bei hohem Stromfluss überhitzen sie. Flammschutzmittel in der Leiste können Brände verhindern oder die Ausbreitung von Feuer verzögern.**

**(© Fraunhofer LBF) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Lebenserwartung von Solarmodulen vorhersagen

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2013 || Thema 7

Wer in eine eigene Solaranlage auf dem Dach investiert, möchte in der Regel langfristig davon profitieren – doch wie alt wird die Technik eigentlich? Obwohl die meisten Hersteller ihren Kunden bis zu 25 Jahre Garantie gewähren, können sie selbst keine verlässlichen Aussagen über die voraussichtliche Lebensdauer treffen. Um zum Betrieb zugelassen zu werden, müssen die Module zwar bestimmte Normen erfüllen. Dazu werden sie in verschiedenen Versuchen hohen Temperaturen oder starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. »Die Ergebnisse sagen aber lediglich etwas über die Robustheit eines fabrikneuen Exemplars gegenüber kurzzeitigen extremen Belastungen aus. Für die tatsächliche Lebensdauer sind dagegen alterungsbedingte Effekte wie Materialermüdung relevant, die erst im Laufe der Zeit auftreten«, erklärt Alexander Fromm vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg.

Der Wissenschaftler arbeitet im Rahmen des vom BMU geförderten Projekts »Zuverlässigkeit von PV-Modulen II« an einem neuen Verfahren, das die Lebensdauer von Solarmodulen prognostiziert. »Bei unserem zweigleisigen Prinzip kombinieren wir reale Messdaten mit einer numerischen Simulation«, so Fromm. Dazu untersuchen die Freiburger zunächst im Feldtest, wie sich mechanische Belastungen auf die Anlage auswirken. Denn Schneelasten, Temperaturschwankungen und Windböen erzeugen in den Modulen mechanische Spannungen beziehungsweise Dehnungen. Das führt langfristig zu einer Materialermüdung. Anfällig sind das Einbettmaterial aus Kunststoff und insbesondere die Zellverbinder – das sind dünne Bändchen aus Kupfer, über die die Solarzellen miteinander verknüpft sind. »Das ist, als würden sie eine Büroklammer immer auf und ab biegen. Irgendwann bricht sie«, erklärt Fromm.

### Schon leichter Wind bewirkt Schwingung im Modul

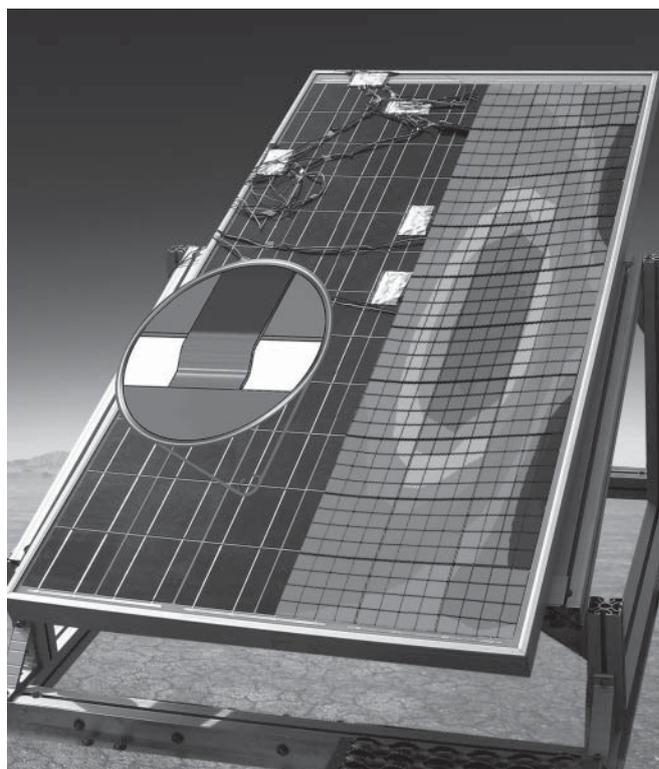
Um die Einflüsse auf das Material erfassen zu können, haben die Forscher ein komplettes Solarmodul mit Sensoren ausgestattet, die über Widerstandsänderungen Dehnungen an der Oberfläche von Bauteilen messen. Daraus wiederum lassen sich mechanische Spannungen im Material berechnen. Bei der Auswertung stellten Fromm und sein Team fest, dass schon leichter Wind ausreicht, um im Modul eine Schwingung zu erzeugen. Diese Schwingung ist ausgeprägter, je höher die Umgebungstemperatur ist. Darüber hinaus erhöht sich im Laufe der Zeit die Schwingungsfrequenz, da das Kunststoffmaterial durch UV-Strahlung steifer und spröder wird. »Die spannende Frage ist nun, wie sich diese Einflüsse langfristig auf die Lebensdauer der Komponenten auswirken. An dieser Stelle kommt unser Simulationstool ins Spiel«, so Fromm.

Dazu wird für das Solarmodul ein detailliertes 3D-Simulationsmodell erstellt. Auf Basis der Messergebnisse aus dem Feldtest lässt sich dann anhand von numerischen Berechnungen ableiten, wie umweltbedingte Einflüsse langfristig auf die Modulkomponenten wirken und welche mechanischen Spannungen im Material auftreten. »Wir haben

anhand der Simulation beispielsweise herausgefunden, dass die UV-bedingte Versprödung eine weitaus größere Rolle bei der Materialermüdung spielt als bislang angenommen«, sagt Fromm. Um die Lebensdauer eines Moduls vorhersagen zu können, kombinieren die Forscher die Messwerte aus dem Feldversuch mit bekannten Festigkeitskennwerten der entsprechenden Materialien. Diese Zahlen sagen aus, ab welcher Belastung das Material voraussichtlich bricht oder sich ablöst.

### **Kein Massentest von der Stange**

Das Verfahren ist ab sofort einsatzbereit. Um optimale und zuverlässige Prognosen zu erstellen, benötigen die Entwickler jedoch möglichst detaillierte Materialkenndaten und Informationen zur Geometrie des Moduls, das getestet werden soll. »Unser Verfahren bietet keinen Massentest von der Stange, sondern wird individuell auf den jeweiligen Kunden abgestimmt«, erklärt Fromm. Anhand ihrer Berechnungen können die Forscher dann nicht nur Aussagen zur voraussichtlichen Lebensdauer treffen. Es lassen sich auch Verbesserungspotenziale hinsichtlich Geometrie und Material aufzeigen oder die Auswirkungen von unterschiedlichen Materialien auf die mechanischen Spannungen im Modul vorhersagen.



**Sensoren messen die Dehnungen, die an Solarmodulen entstehen. Aus diesen Daten lässt sich deren Lebensdauer errechnen.**

**(© Fraunhofer IWM) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Mikrotechnik spart Kerosin

Mal eben für ein langes Wochenende in den Süden fliegen – das ist mittlerweile keine Seltenheit mehr. Kurzum: Fliegen boomt. Flugzeuge sollten daher so kerosinsparend wie möglich zum Ziel kommen. Dabei helfen können unter anderem Aktoren. Sie sitzen in den Klappen, die bei Start und Landung am hinteren Teil der Flugzeugflügel ausgefahren werden, und pusten Luft durch kleine Löcher in der Klappenoberfläche. Damit verzögern sie den Strömungsabriss und erhöhen den Auftrieb des Flugzeugs. Forscher am Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS in Chemnitz konnten die Leistungsfähigkeit dieser Aktoren nun erhöhen – im industriellen Großprojekt »Clean Sky«, an dem sich über 80 Partner aus Forschung und Industrie beteiligen. So haben sie »Synthetic-Jet-Aktoren« derart optimiert, dass die Luft eineinhalbmal so schnell aus dem Loch strömt. Zudem sind sie kleiner als üblich: Statt wie bisher vier bis fünf, sind sie jetzt nur etwa einen Zentimeter breit. Es passen daher sehr viel mehr Aktoren in eine Flugzeugklappe.

Auch die »Pulsed-Jet-Aktoren« haben die Forscher optimiert. Bei diesen strömt Druckluft aus einem Ventil am Boden, füllt eine Kammer und entweicht über das Loch auf die Flügeloberfläche. Die Wissenschaftler konnten das Ventil nun mit Hilfe der Mikrofertigung so klein gestalten, dass es direkt neben dem Loch Platz findet. Dies führt ebenfalls zu einer verbesserten Leistung. Während es vom »Synthetic-Jet-Aktor« bereits einen getesteten Prototypen gibt, ist der Pulsed-Jet-Aktor noch in der Entwicklung.

### Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

Technologiecampus 3 | 09126 Chemnitz | [www.enas.fraunhofer.de](http://www.enas.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Martin Schüller | Telefon +49 371 45001 242 | [martin.schueller@enas.fraunhofer.de](mailto:martin.schueller@enas.fraunhofer.de)

**Presse:** Dr. Martina Vogel | Telefon +49 371 45001-203 | [martina.vogel@enas.fraunhofer.de](mailto:martina.vogel@enas.fraunhofer.de)

## Sensoren schützen Rotterdamer Kaimauer

Ohne Unterlass nagt das salzige Meerwasser am Beton der Kaimauer, Tag für Tag, Jahr für Jahr. Schwerste Bedingungen also, die der Stahlbeton aushalten muss. Das Salz dringt in Form von Salzionen in den alkalischen Beton ein und neutralisiert ihn, es verändert ihn also chemisch. Kritisch wird es vor allem dann, wenn die Ionen die Stahlbewehrung erreichen: Die Stahlstäbe korrodieren, es bilden sich Risse, Betonstücke können abbrechen. Kurzum: Die Kaimauer verliert ihre Stabilität. Wann die Eindringlinge sich allerdings soweit durch den Beton gekämpft haben, dass sie auch dem Stahl zusetzen, ist schwer zu sagen.

Anders in einer neuen Kaimauer in Rotterdam: Bei ihrem Bau integrieren die Bauherren passive RFID-Sensoren an den Bewehrungsstäben. Erreichen die Salzionen einen Sensor, »zertifressen« sie dessen spezielle Drähte. Je mehr von ihnen korrodiert sind, desto wei-

ter ist auch die Korrosion des Stahls fortgeschritten. Ein Transponder im Sensor übermittelt die Daten an ein Lesegerät. Dieses zeigt dem verantwortlichen Hafenmitarbeiter, wie gefährdet die Kaimauer ist. Er kann das Bauwerk somit instandsetzen lassen, bevor die Bewehrung Schaden nimmt. Auf diese Weise können bei vielen Betonbauwerken Kosten in Millionenhöhe eingespart werden. Der Sensor wurde von Mitarbeitern der Firma BS2 Sicherheitssysteme Boppard entwickelt. Die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in Duisburg integrierten das passive, kabellose Transpondersystem. Auf der Messe Euro-ID vom 5. bis 7. November 2013 in Frankfurt stellen die Wissenschaftler das System vor (Halle 4, Stand D08).

**Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS**

Finkenstr. 61 | 47057 Duisburg | [www.ims.fraunhofer.de](http://www.ims.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Frederic Meyer | Telefon +49 203 3783-193 | [frederic.meyer@ims.fraunhofer.de](mailto:frederic.meyer@ims.fraunhofer.de)

**Presse:** Martin van Ackeren | Telefon +49 203 3783-130 | [martin.van.ackeren@ims.fraunhofer.de](mailto:martin.van.ackeren@ims.fraunhofer.de)

## 95 Prozent weniger Schmierstoff verbrauchen

Je weniger Schmierstoff in der Fertigung verbraucht wird, desto besser ist das für die Umwelt, die Produktionskosten und nicht zuletzt auch für die Arbeitssicherheit. Der Trend geht deshalb zur Mikroschmierung. Bislang erweist sich hier vor allem die Zuverlässigkeit des Dosiersystems als limitierender Faktor: Bei Förderraten von unter 25 Mikrogramm pro Sekunde ( $\mu\text{g/s}$ ) können schon kleinste Unregelmäßigkeiten zum Trockenlaufen des Maschinenlagers führen.

Forscher der Fraunhofer-Einrichtung für Modulare Festkörper-Technologien EMFT haben jetzt gemeinsam mit der GMN Paul Müller Industrie GmbH ein Mikroschmiersystem entwickelt, mit dem sich der Ölverbrauch um bis zu 95 Prozent reduzieren lässt. Um dennoch einen sicher geschlossenen Schmierfilm auf den Lageroberflächen zu gewährleisten, kommt eine neuartige Dosierüberwachung der Münchner Wissenschaftler zum Einsatz: Zum Abschluss eines Dosierintervalls wird jeweils eine Gasblase in den Dosierkanal injiziert. Mehrere Sensoren in diesem Kanal können deren exakte Größe und Geschwindigkeit erfassen und daraus die dosierte Ölmenge genau bestimmen. Die Messergebnisse verarbeitet ein Mikrochip, der die Pumpfrequenz je nach gewünschter Fördermenge neu einstellen kann. Die geringere Ölmenge bringt weitere Vorteile: Sie reduziert den Verschleiß und erhöht die Effizienz der Anlage. Gegenwärtig verbessert das Projektteam den Dosieralgorithmus, um noch geringere Dosiermengen von bis zu 5  $\mu\text{g/s}$  zu erreichen.

**Fraunhofer-Einrichtung für Modulare Festkörper-Technologien EMFT**

Hansastraße 27 d | 80686 München | [www.emft.fraunhofer.de](http://www.emft.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Dipl.-Ing. Sebastian Kibler | Telefon +49 89 54759-227 | [sebastian.kibler@emft.fraunhofer.de](mailto:sebastian.kibler@emft.fraunhofer.de)

**Presse:** Pirjo Larima-Bellinghoven | Telefon +49 89 54759-542 | [Pirjo.Larima-Bellinghoven@emft.fraunhofer.de](mailto:Pirjo.Larima-Bellinghoven@emft.fraunhofer.de)

---