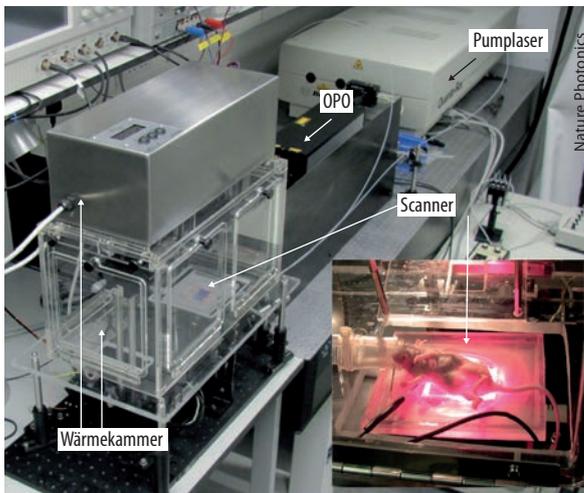


## Mit Schall sehen

Ein fotoakustischer Scanner löst bei relativ großer Eindringtiefe Tumorzellen im lebenden Organismus hoch auf.



Der fotoakustische Scanner: Die Messkammer mit Maus und Detektorkopf ist im kleinen Bild zu erkennen.

Rein optische bildgebende Verfahren wie die Fluoreszenzmikroskopie werden heute bei der Untersuchung von biologischem Gewebe breit eingesetzt. Die starke optische Streuung in lebenden Organismen begrenzt allerdings die Eindringtiefe oder die räumliche Auflösung des Verfahrens. Tomografische optische Verfahren erweitern die Eindringtiefe zwar auf die Größenordnung von Zentimetern, allerdings liegt die Auflösung dann nur noch im Millimeterbereich. Einen Ausweg bietet die fotoakustische Bildgebung, die auf dem gleichnamigen Effekt beruht: Bestrahlt man ein Medium mit kurzen Lichtblitzen, erwärmt sich dieses plötzlich, was letztlich Ultraschallwellen im absorbierenden Medium erzeugt. Da Ultraschallwellen sehr viel weniger als Photonen in biologischem Gewebe gestreut werden, erlaubt die fotoakustische Bildgebung hohe Auflösungen bei gleichzeitig großer Eindringtiefe. Bislang ließ sich das Verfahren nur bei der Visualisierung von Blutgefäßen ohne Weiteres anwenden, nicht bei Tumorzellen, weil diese für die anregenden Wellenlängen fast transparent sind. Wissenschaftler des University College London, der Charité Berlin und der TU Berlin haben

nun einen fotoakustischen Scanner und ein Verfahren zur Einfärbung von Tumorzellen entwickelt, die diese Hürde beseitigen.<sup>1)</sup>

Sie modifizierten Tumorzellen genetisch, sodass diese den körpereigenen Farbstoff Melanin produzieren und dadurch für den Scanner sichtbar werden. Der Scanner nutzt ein Fabry-Pérot-Interferometer, um die gestreuten Ultraschallwellen an der Gewebeoberfläche zu detektieren: Treffen die Ultraschallwellen auf das Interferometer, ändert sich dessen optische Weglänge, was sich wiederum per Laser erfassen lässt. Die Forscher erreichten mit ihrem Verfahren an einer lebenden Maus eine Eindringtiefe von rund einem Zentimeter, verbunden mit einer räumlichen Auflösung von unter 100  $\mu\text{m}$ .

## Zuverlässigere Energiespeicher

**Lithium-Ionen-Technologie: Festkörperelektrolyte beseitigen die Nachteile von Flüssigelektrolyten.**

Lithium-Ionen-Akkus sind für mobile elektronische Geräte und Elektrofahrzeuge die erste Wahl, weil sie im industriellen Maßstab die derzeit höchsten Energiedichten ermöglichen. Allerdings handelt man sich mit Lithium-Ionen-Akkus auch Probleme ein: Sie können auslaufen, überhitzen und enthalten giftige flüssige Bestandteile. Daher wird intensiv an Alternativen geforscht. Seit Toyota 2010 die Machbarkeit einer Festkörperbatterie gezeigt hat, gibt es verstärkte Anstrengungen, Lithium-Ionen-Akkus durch

einen keramischen Elektrolyten zuverlässiger zu machen – bei mindestens gleichbleibend hoher Energiedichte. Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich haben nun das Labormuster einer fertig konfektionierten Festkörperbatterie vorgestellt.<sup>2)</sup>

Bei Festkörper-Akkus auf Lithium-Ionen-Basis besitzt der Elektrolyt Leerstellen in seiner Gitterstruktur. Lithium-Ionen können sie besetzen und so aufgrund des elektrischen Feldes zwischen Kathode und Anode von Leerstelle zu Leerstelle springen. Da dies langsamer als die Diffusion in flüssigen Elektrolyten vonstatten geht, haben Festkörperelektrolyte einen höheren elektrischen Innenwiderstand und damit eine geringere Leistungsdichte. Deshalb müssen Festkörperelektrolyte dünner als die Flüssigelektrolyte in konventionellen Zellen sein – wenige Mikrometer statt 30  $\mu\text{m}$ .

Die zweite Herausforderung ist grundlegender und betrifft die Grenzfläche. Während ein flüssiger Elektrolyt problemlos in die Hohlräume feinstrukturierter Elektroden eindringen kann, ist bei einem Festkörper-Akku eine aufwändige Grenzfläche zwischen Elektrolyt und Elektrode erforderlich. Die Jülicher Forscher versuchen, die Elektroden defektfrei mit dem Elektrolyt zu bedecken. Dazu bedienen sie sich Verfahren wie der physikalischen Gasphasenabscheidung. Inzwischen ist es den Forschern gelungen, den Gesamtinnenwiderstand einer Festkörper-Lithium-Ionen-Zelle um eine Größenordnung auf 2  $\text{k}\Omega/\text{cm}^2$  zu reduzieren. Heutige Zellen mit flüssigen Elektrolyten haben 50  $\Omega/\text{cm}^2$ .



Festkörper-Akku mit Lithium-Kobalt-Oxid-Kathode, Lithium-Metall-Anode und teilsubstituiertem Lithium-Lanthan-Zirkonat als Elektrolyt.

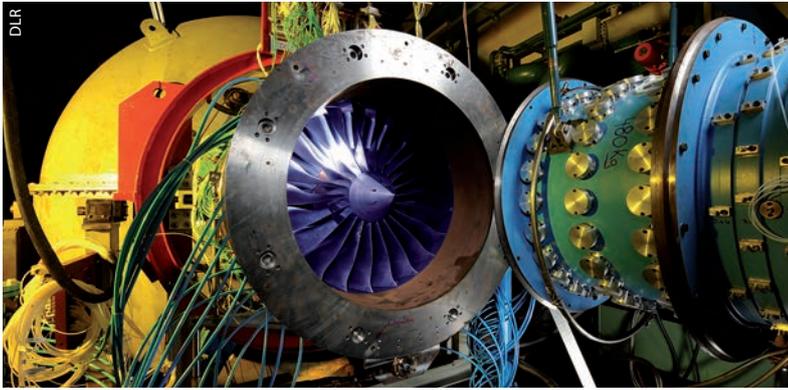
## Leiser fliegen

**Der Lärm von Flugzeugtriebwerken lässt sich durch ein mit passiven Komponenten erzeugtes Gegen-schallfeld halbieren.**

Das abgestrahlte Schallspektrum eines Flugzeugs setzt sich aus einem breitbandigen Anteil und den Triebwerkstönen zusammen, die bei klar definierten Frequenzen

1) A. P. Jathoul et al., Nature Photonics 9, 239 (2015)

2) A. Bünting et al., J. Power Sources 281, 326 (2015), siehe auch: D. Weber et al., Nachrichten aus der Chemie 63, 320 (2015)



Der Großversuch am DLR zur Lärmmin-  
derung erfolgte an einem Rotor mit  
80 cm Durchmesser bei realistischen

Strömungsgeschwindigkeiten und  
Druckunterschieden.

auftreten. Diese Töne heben sich um 20 bis 30 dB vom Breitbandlärm ab und sind bei Flugzeugen im Landeanflug für Anwohner in der Einflugschneise als Pfeifen zu hören. Sie ergeben sich aus zwei charakteristischen Größen des Rotors im Triebwerk: seiner Drehzahl und der Anzahl der Schaufeln. Im Landeanflug sind das etwa 1000 Hz und Vielfache davon. Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln und Berlin haben nun ein Verfahren entwickelt, mit dem sich der Druckpegel dieses Primärschallfelds durch ein Sekundärschallfeld um etwa 10 dB verringern lässt.

Die aktive Lärminderung durch destruktive Interferenz von Schallwellen ist an sich ein etabliertes Verfahren. Allerdings gibt es bei Flugzeugtriebwerken praktische Grenzen: Um die relevanten Schallmoden effektiv zu unterdrücken, wären rund 100 Lautsprecher erforderlich, plus Verstärker. Das Ganze wäre also nicht nur schwer, sondern müsste zudem extrem robust und langlebig sein. Die DLR-Forscher gehen daher einen anderen Weg. Sie bringen im Triebwerk hinter dem Rotor Ringe mit millimetergroßen Löchern an und leiten Druckluft durch sie. So entsteht das Sekundärschallfeld für die Lärminderung ohne aktive Komponenten. Die nötigen Phasendifferenzen erreichen die Forscher durch die richtige Positionierung der Löcher auf dem Ringumfang; durch die Einblasstärke der Druckluft variieren sie den Schalldruckpegel. In einem Flugzeug

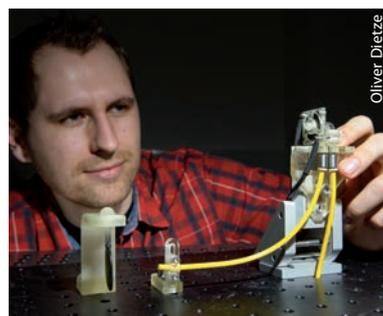
ließe sich die Druckluft ohne größere Nachteile aus dem Verdichter abzweigen.

Das DLR-Verfahren ist im Großversuch bei realistischen Druckunterschieden und Strömungsgeschwindigkeiten mit mehreren Ringen erprobt. Zugute kommt ihm, dass typische Triebwerke nur maximal vier relevante Schallmoden pro Triebwerkston haben und die Zahl der unabhängigen Freiheitsgrade auch bei der Berücksichtigung mehrerer Frequenzen überschaubar bleibt. Mit im Boot sitzen mehrere Triebwerkhersteller.

### ■ Folie statt Elektromagnet

**Elektroaktive Polymere ermöglichen Ventile ohne elektromagnetische Stellglieder.**

Aktoren auf der Grundlage von neuartigen multifunktionalen Werkstoffen gelten als eine interessante Technologie für künftige Generationen mechatronischer Systeme. Solche Werkstoffe tragen zum Beispiel dazu bei, dass Aktoren



Laboraufbau für den Machbarkeitsnachweis des Ventils mit einem Aktor aus einem elektroaktiven Polymer.

ohne Kupfer oder Seltene Erden auskommen und einen um Größenordnungen geringeren Energiebedarf haben. Wissenschaftler der Universität des Saarlandes in Saarbrücken haben nun das Labormuster eines Ventils präsentiert, das dank eines elektroaktiven Polymers (EAP) keinen Elektromagneten benötigt. Bei einem solchen Aktor handelt es sich im Prinzip um ein Sandwich aus zwei dehnbaren Elektroden, zwischen denen das Polymer steckt. Liegt ein elektrisches Feld an, ziehen sich die Elektroden an. Das Polymer wird dadurch in der Dicke komprimiert und dehnt sich gleichzeitig transversal aus. So lässt sich ein Hub in einem Stellglied erzeugen.

Die Saarbrücker Forscher versahen ihr Ventil mit einer rund 0,5 mm großen Öffnung, die ein EAP-Aktor abdeckt. Der Aktor besteht aus einer Folge von drei Graphitelektroden, zwischen denen sich jeweils eine Silikonfolie als Polymerschicht befindet. Insgesamt ist der Aktor nur einen halben Millimeter dick und wird von einer Feder gegen die Ventilöffnung gedrückt. Durch eine angelegte elektrische Spannung von maximal 2,5 kV lässt sich das System aus Membran und Feder öffnen und schließen. Die hierfür erforderlichen Energiemengen sind 500-mal geringer als für vergleichbare elektromagnetisch gesteuerte Ventile, zumal Energie im Wesentlichen nur für den eigentlichen Stellvorgang nötig ist. Das geöffnete Ventil zeigt bei drei Bar einen genauso großen Volumenstrom wie vergleichbare kommerzielle Magnetventile. Auch bei sechs Bar Druck trat keine Leckage auf.

Im nächsten Schritt wollen die Forscher die Geometrie des Membran-Aktors optimieren und das Verhalten des Ventils unter Dauerbelastung untersuchen. Ein weiterer Vorteil des elektroaktiven Polymers: Die aktuelle Stellposition lässt sich kapazitiv ermitteln und das Ventil somit als Aktor-Sensor-System nutzen.

Michael Vogel