

Elektronisch ertüchtigtes Gewebe lässt sich sogar einfärben, ohne seine Funktion zu beeinträchtigen.

Kleidung 4.0

In einen gewebten Stoff sind Display, Tastatur und Batterie vollständig integrierbar.

Die Zahl der Demonstratoren und Entwicklungen rund um elektronisch ertüchtigte Textilien ist kaum noch zu überblicken. Dabei gibt es so ziemlich alle Varianten – von der „Aufrüstung“ existierender Stoffe bis zur Integration der elektronischen Funktionalität in Gewebe. Das, was nun ein Team unter maßgeblicher Führung mehrerer chinesischer Forschungseinrichtungen vorgelegt hat, überbietet nochmals viele bisherige Ansätze in puncto Praxistauglichkeit und Langlebigkeit. Das Team demonstrierte Display, Tastatur und Stromversorgung, und zwar vollintegriert in ein meterlanges Gewebe.¹⁾ An dem Projekt beteiligt waren die Fudan University in Shanghai, die TU Darmstadt, das Ji Hua Laboratory in Foshan, die University of California in Los Angeles, die University of Sydney und die Southern University of Science and Technology in Shenzhen.

Das Display ist aus drei Basisfäden aufgebaut: Leitfähige und lumineszierende Fäden sind mit Baumwollfäden so verwebt, dass die Kreuzungspunkte der funktionalisierten Fäden zu den Pixeln des Displays werden, wenn eine Wechselspannung anliegt. Die

Wärmeentwicklung ist vernachlässigbar. Auf einer sechs Meter langen und 25 Zentimeter breiten Stoffbahn platzierte das Team 50 000 Pixel, mit 800 Mikrometer Rasterweite. Der leitfähige Faden besteht aus Polyurethan, das mit einer ionischen Flüssigkeit versetzt wurde. Der Leuchtfaden besteht aus einem silberbeschichteten Garn, das mit einem Zinksulfid-Leuchtstoff überzogen wurde. Die Leuchtdichte des Gewebedisplays beträgt 122 cd/m^2 , was am unteren Ende kommerziell erhältlicher gewöhnlicher Displays liegt. Nach häufig wiederholten mechanischen Verformungen unterschieden sich die Pixel-Helligkeiten um weniger als acht Prozent voneinander. Wasch- und Trockenvorgänge bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$ wirkten sich nicht negativ aus.

Mit anderen Fäden gelang es zudem, eine Tastatur mit 16 Tasten sowie eine Batterie mit einem Gel-Elektrolyten zu realisieren. Das Team demonstrierte mehrere Anwendungen, etwa die Anzeige von Navigationsinformationen.

Kühle Energiequelle

Ein Hochtemperatursupraleiter erlaubt es, elektrische Leistung im kW-Bereich drahtlos zu übertragen.

Während drahtloses Laden im niedrigen Leistungsbereich etabliert ist, zum Beispiel bei Zahnbürsten oder Smartphones, spielt es bei der Übertragung hoher Leistungen nur in Nischen eine Rolle, etwa bei Elektrobussen oder in der Industrieautomation. Klassische Kupferspulen erreichen bei resonanter Kopplung Wirkungsgrade von deutlich über 90 Prozent. Allerdings schneiden sie hinsichtlich der flächen- und gewichtsspezifischen Leistungsdichte schlecht ab, was ihren Einsatz bei autonomen Robotern oder Fluggeräten erschwert oder gar verhindert. Ein Team aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen hat nun einen Ansatz ohne diese Nachteile umgesetzt. Beteiligt waren die TU München, die Bayerische Akademie der Wissenschaften und die Slowakische Akademie der Wissenschaften sowie Würth Elektronik eiSos und Theva Dünnschichttechnik.²⁾

Die Beteiligten haben supraleitende Spulen entwickelt, die bei einer Leistung von 6 kW einen Gleichstrom-zu-Gleichstrom-Wirkungsgrad von 97 Prozent erreichen. Die flächen- beziehungsweise gewichtsspezifische Leistungsdichten betragen $1,59 \text{ kW/dm}^2$ bzw. $5,71 \text{ kW/kg}$. Da die Spule nur zwei Zentimeter dick ist, fällt die volumetrische Leistungsdichte mit $7,95 \text{ kW/dm}^3$ hoch aus. Die gemessenen Gütefaktoren der Spulen liegen bei Werten über 1000.

Für diese Entwicklung kamen kommerziell verfügbare Bandleiter aus einem Hochtemperatursupraleiter zum Einsatz. Die Spule war so gewickelt, dass die Wechselstromverluste gering bleiben. Dazu optimierte das Team die Abstände der Wicklungen mittels analytischer und numerischer Simulationen. Der Durchmesser des Labormusters beträgt 22 Zentimeter, die Kühlung erfolgt mit flüssigem Stickstoff. Bevor sich solche Spulen in eine autonome Maschine integrieren lassen, gilt es, die Probleme der Kühlung und des Kryostaten zu lösen, der nicht metallisch sein darf.

1) X. Shi et al., Nature **591**, 240 (2021)

2) C. Utschick et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. **31**, 5500110 (2021)

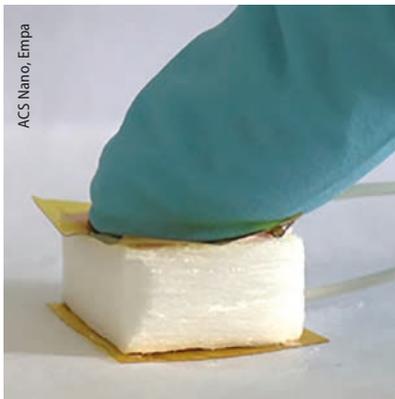
3) J. Sun et al., Sci. Adv. **7**, eabd9138 (2021)

Generator aus Holz

Umweltfreundlich modifiziertes Balsaholz wandelt effizient mechanische in elektrische Energie.

In der Zukunft wird Sensorik nach heutigen Vorstellungen allgegenwärtig sein. Viele Anwendungen müssen dafür möglichst energieautark und nachhaltig sein. Dies erfordert neue Materialien und Herstellungsprozesse. Ein Beispiel hierfür ist Holz, das sich dank des piezoelektrischen Effekts als elektrischer Mikrogenerator eignet. Allerdings muss Holz dafür modifiziert werden. Ein gemeinsames Team der ETH Zürich und der Empa, an den Standorten Dübendorf und St. Gallen, hat nun einen Mikrogenerator aus Balsaholz vorgestellt, der aus einem natürlich vorkommenden Fäulnispilz hergestellt ist.³⁾

Dass Holz piezoelektrisches Verhalten zeigt, ist seit Jahrzehnten bekannt: Die Zellulose in den Zellen des Holzes weist nicht nur amorphe, sondern auch kristalline Bereiche auf. Allerdings ist das resultierende Spannungssignal so gering, dass es kaum praktische Anwendungen ermöglicht. Das Schweizer Team hat daher Balsaholz gezielt destabilisiert, um es elastischer zu machen. Die Zellwände von Holz bestehen aus Lignin, Hemizellulosen und Zellulose – eine teilweise Zerstörung von Lignin und Hemizellulose erhöht die Elastizität. Dass sich dies durch Wasserstoffperoxid und Essigsäure erreichen lässt, hat das Team im vergangenen Jahr gezeigt, nun nutzt es den – ansonsten bei Holz unerwünschten – Pilz *Ganoderma applanatum*, der im



Der Generator aus modifiziertem Balsaholz erinnert an einen Schwamm.



Mehrkanalige Kohlenstoffmembransysteme erhöhen den Stoffdurchsatz.

Verlauf mehrerer Wochen ebenfalls Lignin abbaut.

Würfel aus Balsaholz, das 45 Prozent seines Gewichts verloren hatte, erzielten in Tests nach 500 Zyklen mit 45 Kilopascal mechanischem Druck eine weitgehend unveränderte Spannung von 0,84 Volt und eine maximale Stromstärke von 13,3 Nanoampere. Das ist um zwei Größenordnungen höher als bei unbehandeltem Balsaholz. Die Testwürfel hatten eine Kantenlänge von rund 1,5 Zentimeter. Das Team schaltete sie in Serie und parallel, um ihre Skalierbarkeit zu demonstrieren. Zum Beispiel erreichten neun parallel geschaltete Balsawürfel 150 Nanoampere und brachten ohne Pufferung eine LED zum Leuchten.

Nun gibt es Gespräche mit möglichen Kooperationspartnern, um die Technologie an industrielle Anwendungen anzupassen.

Membran für grünen Energieträger

Eine Kohlenstoffschicht trennt Wasserstoff und Methan am Anwendungsort.

Eine Herausforderung für eine künftige nachhaltige Wasserstoffwirtschaft sind die Speicherung des leichten Gases und seine Verteilung über große Distanzen. Prinzipiell kämen dafür existierende Gasspeicher und das bundesweite Erdgasnetz infrage, sozusagen im Mischbetrieb. Das setzt jedoch voraus, dass sich der Wasserstoff am Nutzungsort vom Erdgas,

im Wesentlichen Methan, abtrennen lässt. Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien ITKS in Dresden hat nun zusammen mit der Leipziger Firma DBI Gas- und Umwelttechnik eine anorganische Membran vorgestellt, die eine kostengünstige Abtrennung ermöglichen würde.

Die Projektbeteiligten bringen dazu auf eine poröse Oxidkeramik eine Kohlenstoffschicht auf. Diese weniger als ein Mikrometer dünne Schicht bildet sich durch Erhitzen eines Polymers unter Sauerstoffausschluss. Die Poren der Schicht sind deutlich kleiner als ein Nanometer und damit für die Trennung von Wasserstoff und Methan geeignet. Der Wasserstoff hat mit dem vorliegenden Demonstrator eine Reinheit von 80 Prozent. Höhere Reinheiten sind möglich, die konkrete Auslegung des Membransystems hängt jeweils von der Anwendung ab. Wasserstoff mit einer Reinheit von über 90 Prozent wäre zum Beispiel in der Stahlproduktion nutzbar.

Das Projektteam ist derzeit in der Lage, 500 Millimeter lange Einkanalrohre zu fertigen. Für eine wirtschaftliche Trennung von Wasserstoff und Methan sind jedoch Mehrkanalrohre erstrebenswert. Das Ziel ist daher ein System mit 19 Kanälen.

Michael Vogel