

# Empa Quarterly

Forschung & Innovation #57 | Juli 17

## Der Fruchtspion

Das grösste Elektro-  
auto der Welt

Ein Wundpflaster  
erkennt Infektionen

Kinder kriegen  
dank Sensortechnik



**Empa**

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

## Wir fühlen was

Liebe Leserin, lieber Leser

Normalerweise spielen Gefühle und Empfindungen in den nüchternen, faktenbasierten Natur- und Ingenieurwissenschaften nicht die erste Geige. Es sei denn, es geht um Sensoren (von lat. sentire für fühlen, empfinden) – das sind meist elektronische Bauteile, die uns Informationen über physikalisch-chemische Messgrößen in ihrer Umgebung liefern. Sensoren sind gewissermassen die Sinnesorgane der Wissenschaftler, mit deren Hilfe sie die Veränderungen in der Welt um uns herum – oder sogar in unserem Körper – möglichst exakt beschreiben und so besser verstehen lernen. Nur wenn man seine Umgebung möglichst vollständig erfasst und wahrnimmt, kann man mit ihr zielgerichtet und sinnvoll interagieren, nur mit Sensoren ist eine Technologie wirklich «smart».

Mit Sensoren kann man nahezu alles messen, von recht einfachen Dingen wie Temperatur, Druck, Helligkeit oder Beschleunigung bis zu komplex-abstrakten Sachverhalten wie der Kraft zwischen zwei Molekülen oder der Konzentration bestimmter Stoffwechselprodukte in biologischen Proben wie Speichel oder Blutserum. Sensoren sind daher in zahlreichen Forschungsbereichen von enormer Bedeutung – auch an der Empa, wie die aktuelle Ausgabe des EmpaQuarterly illustriert.

Vor allem in der Medizin, also zur Überwachung physiologischer Parameter, kommen immer mehr Sensoren zum Einsatz. Funktionalisierte Fasern und Textilien haben sich hierbei als Alleskönner erwiesen, sei es als smarter Wundverband zur Kontrolle der Wundheilung, als EKG-Gurt für Herz-Kreislauf-PatientInnen oder als Ammoniak-Sensor, der Lungenkrankheiten durch Analyse der Atemluft erkennt. Unser gläserner Patient im Centerfold auf den Seiten 14 und 15 zeigt weitere interessante Anwendungsbeispiele.

Eine spannende Lektüre und bis zum nächsten Heft!



08



06



10



16

Fokus:

## Sensoren machen uns schlauer

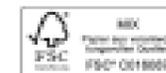
- 10 Allein unter Früchten  
Apfel-, Bananen- und Mangosensoren mindern Verluste in der Lieferkette
- 12 Biosensor für Schwermetalle  
Leuchtende Enzyme auf Spezialpapier sparen Kosten und Aufwand
- 14 Centerfold: Hautnahe Sensorik  
Den Körperfunktionen des Menschen auf der Spur
- 16 Magie aus dem Handgelenk  
Bewegungssensor für die Drohnensteuerung von morgen
- 18 Das Pflaster redet mit  
Ein Spezialpflaster überwacht die Wundheilung
- 21 CO<sub>2</sub> unter Totalüberwachung  
Schweizweites Sensornetzwerk klärt die Herkunft von Treibhausgasen
- 24 Die App zum Elternglück  
Sensortechnik erkennt die fruchtbaren Tage der Frau
- 04 Zweites Leben für gebrauchte Akkus  
Wie die Schweizer Post ihre Elektrodreräder rezyklieren will
- 06 Das grösste Elektroauto der Welt  
Schweizer Firmen bauen einen Muldenkipper mit 65 Tonnen Nutzlast
- 26 Ein Kraftwerk aus Gummi  
Piezoelektrische Polymere als Stromlieferant für Herzschrittmacher

### Titelbild

Der Spion in der Apfelkiste: Ein Jonagold-Sensor, in puncto Gewicht, Wasser- und Zuckergehalt seinem natürlichen Vorbild genau nachempfunden, reist vom Bauern bis zum Händler mit. So lassen sich Lücken in der Kühlkette erkennen und vermeiden. **Seite 10.** Bild: Empa.

### Impressum

Herausgeberin Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Schweiz, [www.empa.ch](http://www.empa.ch) /  
Redaktion & Gestaltung Abteilung Kommunikation /  
Tel. +41 58 765 47 33 [empaquarterly@empa.ch](mailto:empaquarterly@empa.ch),  
[www.empaquarterly.ch](http://www.empaquarterly.ch) // Erscheint viermal jährlich  
Anzeigenmarketing [rainer.klose@empa.ch](mailto:rainer.klose@empa.ch)  
ISSN 2297-7406 EmpaQuarterly (deutsche Ausg.)



# Zweites Leben für gebrauchte Akkus

Was tun mit Akkus von Elektromobilen, die in die Jahre gekommen sind? Statt sie zu schreddern und die Bestandteile zu recyceln, könnte man die intakten Akkus in einem Solarstrom-Speicherschrank weiter nutzen. Ein Pilotprojekt der Schweizerischen Post versucht genau das.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Kyburz Switzerland AG, Ökozentrum

Das erste Leben: in solchen Elektrodreirädern vom Typ Kyburz DXP liefern die Akkus die Antriebsenergie.

Seit Januar 2017 sind Schweizer Postboten nur noch elektrisch unterwegs, mehrheitlich mit Elektro-Dreirädern vom Typ Kyburz DXP. Sämtliche benzinbetriebenen Roller wurden ausgemustert. Die ersten Kyburz-Dreiräder wurden 2010 angeschafft; inzwischen hat die Post insgesamt 6300 Elektroroller im Einsatz. Doch nach sieben Jahren hartem Pöstler-Alltag ist die Kapazität der Antriebsakkus auf 70 bis 95 Prozent gefallen. Für den Zustellereinsatz sind sie nicht mehr leistungsfähig genug. In den nächsten Jahren, das steht fest, werden daher tausende gebrauchter Akkus anfallen. Was also tun? Muss man die Stromspeicher schreddern? Oder gibt es eine vernünftige Idee zur Weiterverwendung?

Ein Pilotprojekt, initiiert vom Ökozentrum in Langenbruck und gefördert vom Bundesamt für Energie (BFE), nimmt sich der gebrauchten-Akkus nun an. «Second Life» heisst das Projekt passenderweise. Die Akkus, so ist die Idee, sollen in einem Speicherschrank weiterarbeiten und Solarstrom stationär speichern. So liesse sich tagsüber Strom vom Dach ernten, der abends und nachts zur Verfügung stünde. Das Problem: Die Anlage muss kostengünstig sein und wartungsfrei und zuverlässig mehrere Jahre laufen – trotz der darin tätigen «Senioren», deren Restlebenszeit und Leistungsfähigkeit man nicht genau einschätzen kann.

## Einzelbetreuung für Akku-Senioren

«Kostengünstig geht das nur, wenn man die Akkus nicht vorsortieren muss», sagt Marcel Held, Batterieexperte vom Zentrum für Zuverlässigkeitstechnik der Empa. «Wir brauchen also ein Batteriemanagement, das jeden der gebrauchten Akkus einzeln überwacht – und eine Speichertechnik, die auch dann noch funktioniert, wenn 30 Prozent der Zellen ausgefallen sind.» Held betreut das Pilotprojekt wissenschaftlich. Er hat die Restkapazität von rund 150 Akkus, die für den Pilotversuch ausgewählt wurden, ermittelt. Zwölf Stück hat er zu Testzwecken an der Empa behalten – vier gute, vier mittlere und vier schlechte. Sie werden in den nächsten Monaten einer Reihe von Lade- und Entladezyklen ausgesetzt, die zwei bis drei Jahren realer Betriebszeit entsprechen. Held will sehen, wie viel Kapazität übrig bleibt, auf welche Weise man die Akkus schonend einsetzen kann – und wie eine Akkuzelle reagiert, wenn sie ihr Leben aushaucht. «Wir werden die Akkus überwachen, ohne sie zu zerlegen», sagt Held. «Dazu nutzen wir unter anderem Impedanzspektroskopie und

schaun uns die innere Struktur der Zellen mit Hilfe von Röntgentomografie an.»

Anfang 2017 ist der Versuch angelaufen. Vier Prototypen-Schränke mit gebrauchten Kyburz-Akkus gibt es bereits. Der Pilotspeicher ist in der Umwelt-Arena Schweiz in Spreitenbach im Einsatz und kann im Rahmen der Führung «Blick hinter die Kulissen» besichtigt werden. Drei weitere sind in der Poststelle beim Hauptbahnhof Neuenburg in Betrieb. Das Batteriemanagementsystem für die alten Akkus entwickelte das Ökozentrum Langenbruck; die Firmen Batteriewerk AG und Helion Solar sind für Produktion und Vertrieb der Speicherschränke zuständig, falls der Pilotversuch erfolgreich verläuft.

Das Risiko liegt vor allem beim Preis. «Wir sind nicht allein auf dem Markt», erläutert Michael Sattler, der am Ökozentrum das Projekt leitet. «Es gibt mehr als 50 Anbieter für stationäre Stromspeicher. Sie alle arbeiten mit neuen Akkus – und deren Preise sinken dramatisch.» Der «Second Life»-Schrank, das ist bereits heute klar, wird nicht wesentlich preisgünstiger als ein Speicher mit neuen Batterien sein. «Wenn wir erfolgreich sind, sind wir am Ende am Markt konkurrenzfähig», sagt Sattler. «Aber betreffend Ökobilanz hätte unser Speicher zweifellos die Nase vorn.»



**Solarstrom-Speicher**

In einen solchen Speicherschrank werden die gebrauchten Post-Akkus eingebaut. Gesamtkapazität: 7 bis 10 kWh.

# Das grösste Elektroauto der Welt

**Ein Schweizer Firmenkonsortium baut das grösste Elektrofahrzeug der Welt – in Rekordzeit. Der Prototyp ist nicht als zartes Ausstellungsstück für Messen konzipiert, sondern für harte Arbeit im Steinbruch. Spezialisten der Empa sorgen für die Betriebssicherheit.**

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Kuhn-Gruppe

Es wird das grösste Elektroauto der Welt: 45 Tonnen Leergewicht, 65 Tonnen Zuladung – und ein Akkupaket mit 700 kWh Speicherkapazität. Das ist so viel wie acht Exemplare des Tesla Model S. Der Fahrer erreicht seinen Arbeitsplatz über neun Treppenstufen; die Reifen des E-Mobils haben einen Durchmesser von knapp zwei Metern. Nicht alles an dem Fahrzeug ist neu: Das Monster-Elektromobil basiert auf einem gebrauchten Muldenkipper der Marke Komatsu, der bei der Kuhn Schweiz AG in Lommis zerlegt und neu aufgebaut wird. Der Dieselmotor ist bereits entfernt, rund ums Chassis wird Platz für die Akku-Pakete geschaffen, die das Fahrzeug in seiner zweiten Lebenshälfte antreiben sollen.

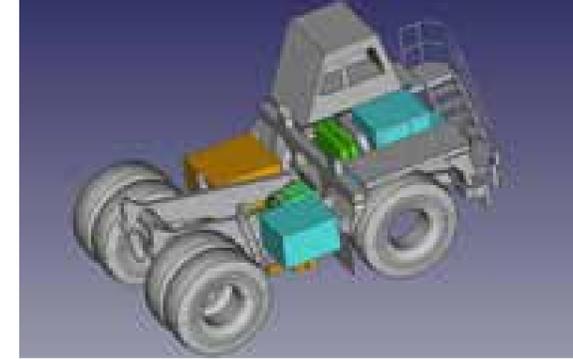
## Arbeitsperspektive: zehn Jahre im Steinbruch

Dem elektrisch angetriebenen Komatsu HD 605-7 stehen zehn harte Arbeitsjahre bevor. 20 Mal täglich soll er Material zu Tal befördern – von einem Steinbruch an den Hängen des Chasserals ins Zementwerk der Firma Ciments Vigier SA nahe Biel. Der Elektroantrieb bringt genau für diese Fahrten entscheidende Vorteile: Statt die Bremsen bei der Talfahrt zu erhitzen, wirkt der gewaltige Elektromotor wie ein Generator und lädt das Akkupaket auf. Mit dieser Energie bewegt sich der leere Lastwagen dann wieder den Berg hinauf. Wenn alles gut geht, erntet der Elektro-Muldenkipper bei der Talfahrt sogar mehr Strom, als er für die Bergfahrt benötigt. Statt fossile Brennstoffe zu verbrauchen, würde er dann überschüssigen Strom ins Netz einspeisen.

Diese scheinbar verrückte Idee lässt sich der Zementwerk-Betreiber Ciments Vigier SA einen siebenstelligen Franken-Betrag kosten. Zwei Firmen sollen das Fahrzeug auf die Räder stellen: die Firma Lithium Storage GmbH aus Illnau, die Erfahrung mit Elektrolastwagen mitbringen, und die Kuhn-Gruppe, die europaweit Muldenkipper von Komatsu vertreibt. Das Bundesamt für Energie (BFE) fördert das Projekt.

Die Empa ist mit von der Partie: Batteriespezialist Marcel Held ist für die Sicherheitsanalyse zuständig. Er evaluiert die Batteriepacks des chinesischen Herstellers Shenzen Westart und checkt die Bauweise des riesigen Akkupakets sowie die Programmierung des Batteriemanagementsystems, das vom Schweizer Hersteller Esoro

Ein Bild aus alten Zeiten: Der Komatsu-Muldenkipper fuhr bis letztes Jahr dieselbetrieben durch den Steinbruch des Zementwerks. In wenigen Monaten soll er, elektrisch betrieben, den gleichen Job erfüllen.



Der Dieselmotor und der 700-Liter-Tank werden ausgebaut. Zwei Akkupakete (blau) belegen den Platz.

stammt. Die Eckpunkte stehen bereits fest: Das Batteriepaket für den e-Dumper wird 4,5 Tonnen wiegen und besteht aus 1440 Nickel-Mangan-Kobalt-Zellen.

Nie zuvor ist ein Landfahrzeug mit einem solch gewaltigen Akkupaket bestückt worden. «Nickel-Mangan-Kobalt-Zellen sind auch die Wahl der deutschen Autoindustrie, wenn es um Elektroautos der nächsten Generation geht», erklärt Empa-Experte Held. Ihn interessiert vor allem, wie die Zellen reagieren, wenn sich ein Unfall ereignet. Was passiert, wenn eine Zelle mechanisch beschädigt wird? Wenn ein Schalter versagt und die Batterie nach dem Ladevorgang nicht vom Strom trennt? «Manche Batterien rauchen dann ab, manche geraten in Brand», weiss Held. «Dann ist entscheidend, dass die Nachbarzelle nicht vom Feuer und der Hitze mitbeschädigt wird, sonst droht eine Kettenreaktion.» Held wird im Empa-Teststand

Überladeversuche durchführen und auch die eine oder andere Zelle mit einem Stahl Nagel malträtieren.

Noch nie wurde ein Fahrzeug dieser Leistungsklasse gebaut, das unter rauen Umweltbedingungen voll beladen Steigungen von bis zu 13 Prozent bewältigen soll, dabei die Batterien mit elektrischen Strömen von bis zu 3000 Ampere belastet, bei den Talfahrten aber auch um je 40 kWh auflädt und per Saldo (10 kWh pro Fahrt) noch als Energie-plus-Fahrzeug unterwegs ist. Pro Tag und Fahrzeug wird die Überschussenergie auf bis zu 200 kWh geschätzt. Bewährt sich der Elektro-Muldenkipper, dann könnte Ciments Vigier SA künftig bis zu acht Fahrzeuge rein elektrisch betreiben.

Die Kuhn Schweiz AG spekuliert auf weitere Einsatzgebiete für Elektro-Baumaschinen, etwa im Tunnelbau oder im abgas- und lärmempfindlichen Siedlungsgebiet. //

## Sensoren machen uns schlauer

Ist die Kühlkette im Lebensmittelhandel unterbrochen? Hat ein Patient Schwermetall im Blut? Kann ich eine Drohne aus dem Handgelenk steuern? Die Empa hilft, all diese Fragen zu beantworten. Textil- und Holzforscher, Lufthygieniker und Polymerspezialistinnen – sie alle arbeiten an der Sensortechnik der nächsten Generation. Auf den nächsten Seiten erfahren Sie, wie Empa-Forschende unsere Welt erspüren.

# Allein unter Früchten

Auf der langen Reise von der Obstplantage ins Ladenregal können Früchte schnell einmal verderben. Vor allem die Kühlung in den Cargo-Containern ist nicht immer gewährleistet, und bisherige Methoden messen dies nur unzureichend. Ein an der Empa entwickelter Sensor verspricht Abhilfe. Er sieht aus wie eine Frucht und verhält sich wie eine Frucht – ist in Wahrheit aber ein Spion.



1



2



3

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

**B**is Mangos, Bananen oder Orangen bei uns in den Läden liegen, haben sie meist einen weiten Weg hinter sich. Sie werden gepflückt, eingepackt, gekühlt, in Kühl-Container gepackt, verschifft, gelagert und schliesslich bei uns ausgelegt. Nicht jede Warenladung schafft es allerdings heil bis an den Zielort. Die Früchte werden regelmässig überprüft, einige davon kommen trotzdem beschädigt oder gar verdorben an. Denn das Monitoring ist deutlich verbesserungsfähig. So messen Sensoren zwar die Lufttemperatur im Frachtcontainer, ausschlaggebend für die Qualität des Obstes ist allerdings die Kerntemperatur der einzelnen Frucht. Die lässt sich bislang aber nur «invasiv» messen, also indem man mit einem Messfühler durch die Schale in den Kern sticht. Und selbst dieses Verfahren birgt Tücken. Für die Messung nimmt der Fachmann meist eine Frucht aus einem Karton der vorderen Palettenreihe im Container – das wiederum verfälscht den Eindruck. Früchte, die näher an den Aussenwänden des Transportcontainers lagern, sind nämlich besser gekühlt als Früchte im Innern.

So kann es vorkommen, dass ganze Containerladungen vernichtet werden müssen, weil die Temperatur im Inneren des Containers nicht den vorgeschriebenen Richtlinien entsprach. Es ist also dringend nötig nachzuweisen, dass die Kühlung über den erforderlichen Zeitraum tatsächlich bis zu allen Früchten in der gesamten Ladung durchgedrungen ist.

## Der Sensor geht mit auf die Reise

Um genau das zu gewährleisten und zu überwachen, haben Forschende der Empa einen Fruchtsensor entwickelt. Er besitzt Form und Grösse der jeweiligen Frucht und deren simulierte Zusammensetzung und kann zusammen mit den echten Früchten verpackt und auf die Reise geschickt werden. Nach der Ankunft am Zielort können die Daten des Sensors dann relativ einfach und schnell analysiert werden. Daraus erhoffen sich die Forschenden Aufschlüsse über den Temperaturverlauf während des Transports. Eine wichtige Information, vor allem aus versicherungstechnischen Gründen: Sollte eine Lieferung nicht den Qualitätsansprüchen genügen, lässt sich mit Hilfe des Sensors eruieren, an welcher Stelle in der Lagerungs- und Transportkette etwas schiefgelaufen ist. Erste Resultate sind vielversprechend: «Wir haben die Sensoren in der Empa-Kältekammer auf Herz und Nieren analysiert, alle Test waren erfolgreich», erklärt Projektleiter Thijs Defraeye aus der Abteilung «Multiscale Studies in Building Physics».

## Ein künstlicher Fruchtsensor für Braeburn und Jonagold

Ein und derselbe Sensor funktioniert allerdings nicht für alle Früchte, wie Defraeye erklärt. «Wir entwickeln für jede Frucht einen eigenen Sensor, sogar für Unterarten.» So gibt es zurzeit separate Sensoren für die Apfelsorte Braeburn und Jonagold, für die Kent-Mango,

für sämtliche Orangen sowie für die klassische Cavendish-Banane. Um die Eigenschaften der einzelnen Fruchtsorten nachbilden zu können, wird das Obst geröntgt, und ein Computeralgorithmus erstellt daraus die durchschnittliche Form und Beschaffenheit der Frucht. Aus der Literatur oder eigenen Messungen bestimmen die Forschenden dann die genaue Zusammensetzung des Fruchtfleisches (meist eine Kombination aus Wasser, Luft und Zucker) und bilden sie im Labor im exakten Verhältnis nach – allerdings nicht mit Originalzutaten, sondern aus einem Mix aus Wasser, Kohlenhydraten und Polystyrol.

## Erste Feldversuche laufen bereits

Mit diesem Gemisch wird die fruchtförmige Schalung des Sensors befüllt. Die Schalungen entstehen dabei im 3-D-Drucker. Im Inneren der künstlichen Frucht platzieren die Forschenden den eigentlichen Sensor, der die Daten – unter anderem die Kerntemperatur der Frucht – aufzeichnet. Erste Feldversuche mit den Sensoren laufen, und die Forschenden sind nun auf der Suche nach Industriepartnern, um die Fruchtspione herzustellen. Löhnen dürfte sich die Investition auf jeden Fall: Schätzungen zufolge belaufen sich die Kosten für einen Sensor auf unter 50 Franken. Die Daten müssten nur ausgewertet werden, wenn mit der Ware etwas nicht stimmt. Damit liesse sich erkennen, wo in der Lieferkette der Fehler unterlaufen ist. //

**1** Die Hüllen um die Sensoren müssen Gewicht, Zucker- und Wassergehalt der Originalfrucht exakt nachbilden. Modelle gibt es für Braeburn- und Jonagold-Äpfel, für die Kent-Mango, alle Orangen und die klassische Cavendish-Banane.

**2** Das frühere Sensorverfahren war fehleranfällig: die Sensoren wurden in aufgeschnittene Früchte gesteckt. Doch sobald Fäulnis eintritt, sind die Messwerte verfälscht.

**3** Die Sensorfrüchte reisen auf der gesamten Lieferkette mit. Die Daten müssen nur ausgewertet werden, falls etwas schiefgelaufen ist.

# Biosensor für Schwermetalle

Ein Empa-Team hat einen Biosensor entwickelt, der günstig, einfach und schnell erhöhte Kupferwerte messen kann. Kupfer ist – genau wie andere Schwermetalle – problematisch für Mensch und Umwelt. Das Trägermaterial für den Sensor – mikrofibrillierte Zellulose – ist ebenfalls eine Empa-Entwicklung.

TEXT: Celine Elber / BILDER: Empa



Schwermetalle wie Kupfer sind gefährlich, das ist kein Geheimnis. Sowohl auf die Umwelt als auch auf die menschliche Gesundheit können sie sich gravierend auswirken. Leberschäden, Alzheimer oder sogar Krebs wurden bereits mit einer Überbelastung an Kupfer in Zusammenhang gebracht. Trotzdem sind die Schwermetallkonzentrationen in Luft und Wasser, vor allem in einigen Entwicklungsländern, oft sehr hoch.

Um eine Überbelastung frühzeitig zu entdecken und Folgeschäden zu vermeiden, sind hochsensible Schwermetallanalysen, beispielsweise von Blutproben, unerlässlich. Sie sind aber oft aufwändig und teuer und benötigen eine entsprechende Laborinfrastruktur – was gerade in Entwicklungsländern, wo die Belastungen am höchsten sind, oft ein Problem darstellt.

## Protein mit einer Schwäche für Kupfer

Der Empa-Doktorand Ramon Weishaupt hat nun einen günstigeren und schnelleren Nachweis für Kupfer entwickelt. Er kombinierte dazu C-Phycocyanin – ein rot fluoreszierendes Protein das in der Fotosynthese von Cyanobakterien eine Rolle spielt und Kupfer-Ionen selbst in niedrigen Konzentrationen binden kann – mit einer Matrix aus Zellulose zu einem dünnen Film. Das Basismaterial, mikrofibrillierte Zellulose, ist ebenfalls eine Empa-Entwicklung: Der vielfältig einsetzbare Faserstoff aus nachwachsenden Rohstoffen wurde in der Abteilung Angewandte Holzforschung entwickelt.

In diesem Fall bildet die Zellulose das Trägermaterial für einen leicht zu detektierenden optischen Effekt: Binden Kupfer-Ionen an das bakterielle Protein, dann wird die Fluoreszenz schwächer, was sich etwa mit einem Spektrometer einfach und schnell messen lässt.

Getestet haben die Empa-Forschenden den neuen Biosensor namens Cysense zum Beispiel an Blutproben. «Ein Tropfen Blut reicht bereits aus, um gesundheitlich relevante Mengen an Kupfer darin aufzuspüren», erklärt Empa-Forscherin Greta Faccio. Cysense kann günstig hergestellt werden, ist einfach in der Handhabung, schnell und genau. Ausserdem kann der Biosensor nach dem Waschen mit Wasser und speziellen Chemikalien während einer Woche mehrmals wiederverwendet werden.

## Einfach wie eine Blutzuckermessung

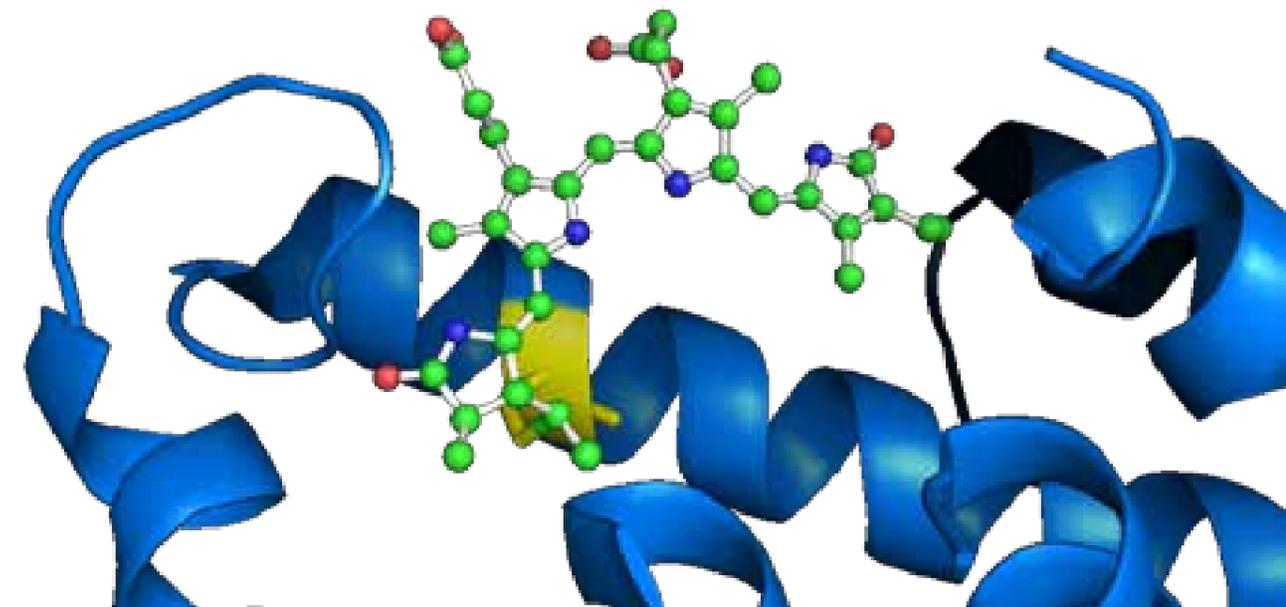
Die vor kurzem im Fachblatt «Advanced Functional Materials» veröffentlichte Studie eröffnet neue Möglichkeiten für die Schwermetall-Analyse. Wasser- und Bodenproben könnten zum Beispiel vor Ort untersucht werden, was sowohl Kosten als auch Zeit sparen würde. Oder betroffene Menschen könnten mit Cysense und einem Lesegerät ähnlich wie mit einem Blutzuckermessgerät die Kupferkonzentration im Blut selbst messen; grosse, teure Apparaturen und gut ausgebildetes Laborpersonal wären dafür nicht mehr nötig. «Es ist zwar erst ein Prototyp, einmal umgesetzt könnte Cysense aber die Gesundheit vieler Menschen verbessern helfen», meint Greta Faccio. //

### links:

Ramon Weishaupt bei Versuchsreihen mit Blutserum.

### unten:

C-Phycocyanin, ein rot fluoreszierendes Protein, dient zum Nachweis von Kupfer-Ionen. Schon ein Tropfen Blut genügt für die Analyse.



# Sensorik hautnah

Viele Körperfunktionen, aber auch Krankheitssymptome können mittels Sensoren hochpräzise erfasst und behandelt werden. Die Empa ist spezialisiert auf Textilsensoren, die nicht nur Punkte, sondern grössere Flächen am menschlichen Körper überwachen. Die Empa-Sensoren basieren auf optisch oder elektrisch leitenden Fasern und müssen eng auf der Haut aufliegen.

## Temperatur und Feuchtigkeitssensor

Lokale Temperaturmessung am ganzen Körper, Berechnung der Körpertemperatur mit Hilfe von physiologischen Modellen  
Einsatz: Schutzjacken der Feuerwehr, die Einsatzkräfte vor Hitze kollaps warnen

## Sensormütze mit optischer Faser

Misst Sauerstoffsättigung im Blut, Hautdurchblutung, Herzfrequenz  
Einsatz: Überwachung bei Frühgeborenen, Paraplegikern und anderen Patienten mit empfindlicher Haut

## Ammoniaksensor für die Atemluft

Optische Fasern oder Textilien mit Spezialbeschichtung.  
Erkennt Spuren von Ammoniak  
Einsatz: Überwachung von Patienten mit Mageninfektion oder Nierenstörung

## Beschleunigungs- und Lagesensor

Kommerziell verfügbare Sensoren werden zu «smarter» Kleidung kombiniert  
Einsatz: thermischer Komfort für Motorradfahrer, Airbags-Auslösung bei Sturz.

## EKG-Brustgurt

Elektrisch leitende Faser mit Feuchtigkeitreservoir zur besseren Signalübermittlung  
Einsatz: Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion; Langzeit-EKG

## Smarter Wundverband

Fluoreszierende Farbstoffe überwachen ganzflächig den pH-Wert und die Glukosekonzentration einer Wunde  
Einsatz: kostengünstige Überwachung chronischer Wunden bei Diabetikern und Dekubitus-Patienten (siehe S. 18)

## Anti-Tremor-Handschuh

Kommerziell verfügbare Bewegungssensoren, aufblasbare Fixatur\*  
Einsatz: Parkinson-Patienten; Handschuh erkennt Muskelzittern und stabilisiert das Handgelenk automatisch  
\* *Industriepartner: Nahtlos GmbH, St. Gallen*

## Sitzkissen, Luftstrukturen

Adaptive aufblasbare Sitzkissen, sensorgesteuert  
Einsatz: Schmerzlinderung bei Hämorrhoiden, Unterstützung von Frauen nach Dammschnitt

## Brust- und Bauchatmungssensor

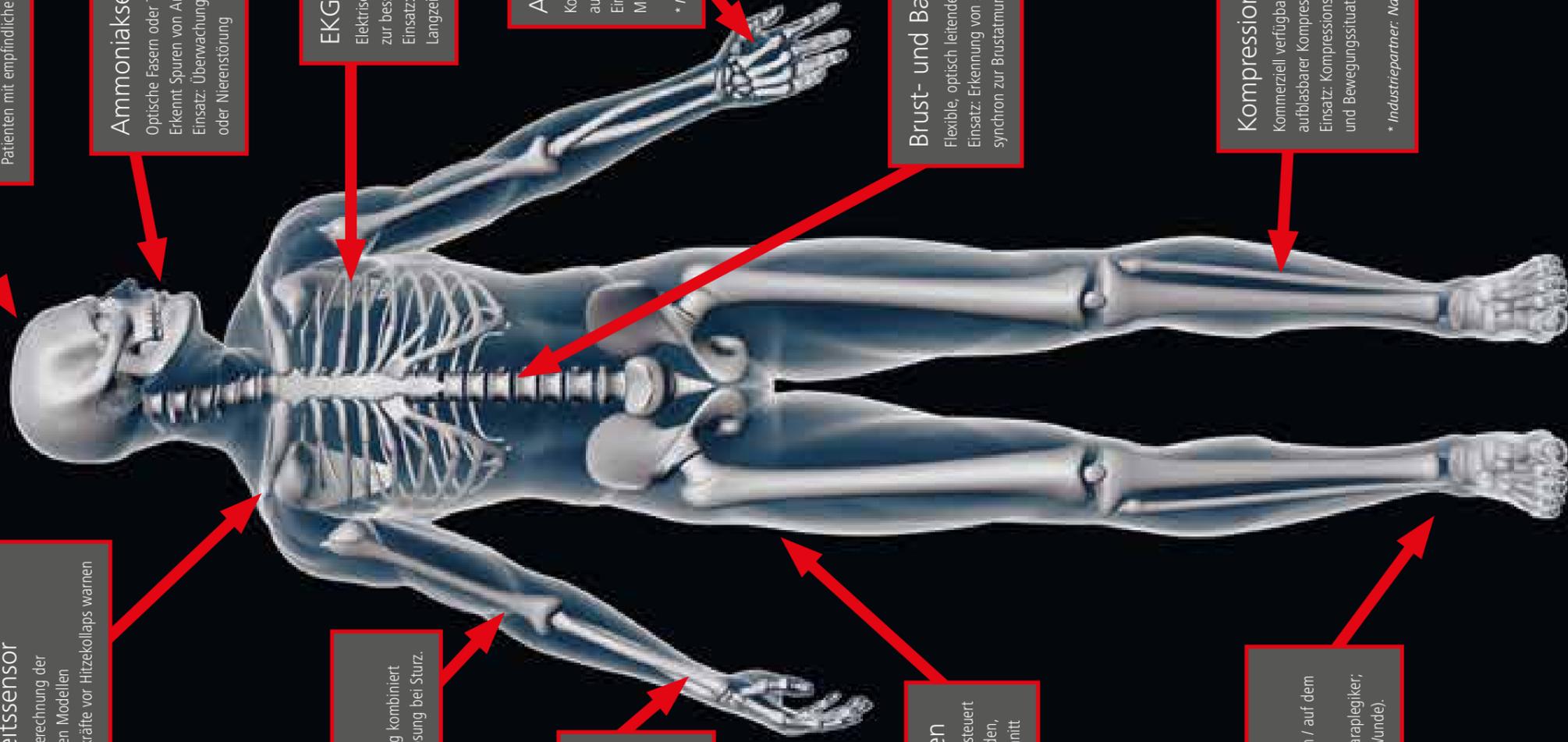
Flexible, optisch leitende Faser, misst Brust- und Bauchatmung.  
Einsatz: Erkennung von Apnoe – falls die Bauchatmung nicht synchron zur Brustatmung ist

## Drucksensor

Optische Faser, misst den auf dem Fussballen / auf dem Gelenk lastenden Druck  
Einsatz: Rehabilitation nach Sportunfällen; Paraplegiker; Prävention von Diabetiker-Fuss (chronische Wunde).

## Kompressionsstrumpf

Kommerziell verfügbare Lage- und Bewegungssensoren, aufblasbarer Kompressionsstrumpf\*  
Einsatz: Kompressionsstrumpf passt sich Krankheitsverlauf und Bewegungssituation automatisch an  
\* *Industriepartner: Nahtlos GmbH, St. Gallen*



# Magie aus dem Handgelenk

Dinge bewegen mit dem Wink einer Hand: Was nach Science-Fiction klingt, könnte dank Empa-Technologie bald Wirklichkeit werden. Ein Sensor aus piezoresistiven Fasern, integriert in einem Armband, misst die leichteste Bewegung am Handgelenk und wandelt sie in elektrische Signale um. Damit lassen sich etwa Drohnen steuern oder andere elektronische Geräte ohne Fernbedienung kontrollieren.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa



Ein Wink nach links, die Drohne schwenkt nach links. Ein Wink nach rechts, die Drohne steuert nach rechts. Mit der Hand eine Faust formen, die Drohne landet sanft auf dem Tisch. Das ist keine Spinnerei, sondern Wirklichkeit. Empa-Forschende um Frank Clemens aus der Abteilung «Hochleistungskeramik» haben einen Sensor aus piezoresistiven Fasern entwickelt und ihn in ein Armband integriert, das, am Handgelenk getragen, feinste Bewegungen der Hand registriert. Die piezoresistive Faser ist elektrisch leitend, erkennt eine Deformation und wandelt sie in ein elektrisches Signal um, das dann von einem Endgerät ausgelesen und interpretiert werden kann. So lassen sich beispielsweise Roboter mit einem einfachen Fingerzeig bewegen.

Bewegungssensorik ist zwar nicht neu, bislang wurden Bewegungen allerdings hauptsächlich über visuelle Sensoren (Kameras) sowie Accelerometer (Beschleunigungsmesser) und Gyroskope (Rotationsmesser) erfasst. Diese Art, Bewegungen zu registrieren, setzt indes grosse, deutliche Bewegungen in einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich voraus, die für den Menschen teilweise unnatürlich sind. Der neue Empa-Sensor reagiert dagegen bereits auf kleinste Bewegungen, die natürlich von der Hand gehen. Auf bishe-

rige Technologien will Clemens aber keinesfalls verzichten. «Es braucht eine Kombination verschiedener Sensoren, um erfolgreich neue Konzepte zu entwickeln. Nur so können wir Bewegungen erkennen und nutzen, die mit den bisherigen Technologien nicht erfassbar waren.» So ermögliche etwa die Kombination aus Beschleunigungs-, Rotations- und Orientierungssensoren, zusammen mit dem Faser-Sensor, vollkommen neue Kommandos zur Steuerung von technischen Geräten, sei es eine Drohne oder das Garagentor.

## Ein Algorithmus übersetzt Bewegungen

Die Forschenden haben den Sensor zu Testzwecken in ein herkömmliches Uhrenarmband integriert, denn in Zukunft soll der Sensor unauffällig am Handgelenk getragen werden können, um den Träger möglichst wenig einzuschränken. Auch ganz normale Schmuckarmbänder sind denkbar. Bis zu diesem Schritt war allerdings einige Forschungsarbeit nötig. In ersten Prototypen war es Frank Clemens und Mark Melnykowycz gelungen, die piezoresistiven Fasern auf einem Textil anzubringen. Um den Sensor allerdings in gewünschtem Mass einzusetzen, war das nicht ausreichend. «Mit Hilfe von Additiver Fertigung haben wir es geschafft, die Sensorstruktur in nicht-textile Materialien zu integrieren», so Clemens. So liess sich der Sensor schliesslich problemlos in bestehende Uhrenarmbänder einsetzen. In Zusammenarbeit mit den Firmen STBL Medical Research AG und Idezo gelang es Clemens' Team, den Sensor so zu programmieren, dass sich damit eine Drohne mit nichts weiter als Handbewegungen steuern liess. Zurzeit wird der Algorithmus, der diese Übersetzungsarbeit zwischen Sensorik und Drohnensteuerung übernimmt, im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Fachhochschule Bern unter der Leitung von Marx Stampfli weiter verfeinert, um auf noch einfachere Gestik reagieren zu können. So soll der Sensor beispielsweise nicht nur einzelne Bewegungen, sondern auch ganze Bewegungsfolgen erkennen können. Zum Beispiel, zweimal kurz hintereinander die Faust ballen löst ein anderes Kommando aus als einmal kurz und einmal lang.

Auch das Tragen des Sensors in einem Armband ist vielleicht bereits bald wieder Geschichte. Eine ETH-Studentin untersucht in ihrer Semesterarbeit die Möglichkeit, den piezoresistiven Sensor in ein Pflaster zu integrieren. Es bräuchte dann nicht einmal mehr ein Armband, sondern nur noch ein kaum sichtbares Pflaster am Handgelenk, um diverse Interaktionen mit technischen Geräten und Robotern durchzuführen. Das Projekt steckt zwar noch in den Kinderschuhen, technisch funktioniert jedoch bereits alles einwandfrei. «Gemeinsam mit unserem Umsetzungspartner STBL Medical Research AG diskutieren wir derzeit mit weiteren Partnern aus diversen Bereichen eine industrielle Umsetzung», so Clemens. //

Im Uhrenarmband stecken piezoresistive Fasern, gedruckt in einem 3-D-Drucker. Die Bewegungen des Arms werden auf die Drohne übertragen.

## Piezoelektrische Sensoren aus dem 3-D-Drucker – und ganz ohne Blei

Nicht nur piezoresistive, sondern auch piezoelektrische Sensoren werden in der Abteilung «Hochleistungskeramik» entwickelt. Piezoelektrische Materialien sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie werden hauptsächlich für Sensoren benötigt, die uns das Leben erleichtern, zum Beispiel die Parkhilfe beim Auto. Dabei wird eine Schallwelle ausgesendet, und die reflektierten Wellen werden von einem piezoelektrischen Sensor aufgenommen und ausgewertet. Im Gegensatz zur piezoresistiven Faser, bei der nur der Widerstand verändert wird, wird bei piezoelektrischen Sensoren eine elektrische Spannung erzeugt. Ein Forscherteam der Empa hat nun piezoelektrische Strukturen aus Keramik entwickelt, die in einem herkömmlichen 3-D-Drucker gedruckt werden können. Der keramische 3-D-Druck erlaubt es, ganz andere, neuartige Strukturen für die Sensoren herzustellen. Auch am Material wird gearbeitet: Bisherige piezoelektrische Sensoren waren bleihaltig, was heute kaum mehr tragbar ist. So hat etwa die EU entschieden, künftig auf bleifreie Alternativen umzusteigen – sie befinden sich allerdings noch in der Entwicklung. Die piezoelektrischen Sensoren der Empa kommen komplett ohne Blei aus und könnten in Zukunft bleihaltige Sensoren in verschiedenen Anwendungsfeldern ersetzen.



Per UV-Lampe kann der pH-Wert in der Wunde überprüft werden, ohne das Pflaster zu entfernen. Der Heilungsprozess kann ungestört weiterlaufen.

## Das Pflaster redet mit

Eine neuartige Wundauflage warnt das Pflegepersonal, sobald eine Wunde schlecht verheilt – ohne dass dafür der Verband entfernt werden muss. Sensoren, die im Trägermaterial eingebaut sind, ändern die Intensität ihrer Fluoreszenz, wenn sich der pH-Wert der Wunde ändert. Damit soll das Überwachen chronischer Wunden auch zuhause möglich werden.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa

Of t ist es selbst bei kleineren Alltagsverletzungen schon äusserst unangenehm, wenn der Verband gewechselt wird. Es zieht und zwickelt, und manchmal fängt eine verschorfte Wunde auch wieder an zu bluten. So wartet man am liebsten, bis der Verband sich von allein löst.

Anders ist das bei chronischen Wunden. In der Regel muss das Pflegepersonal den Wundverband regelmässig wechseln, nicht nur aus hygienischen Gründen, sondern auch, um die Wunde zu untersuchen, Abstriche zu nehmen und sie zu reinigen. Die Haut wird auf diese Weise nicht nur unnötig irritiert; es können sich auch Bakterien ansiedeln – das Risiko für Infektionen steigt. Besser wäre es, der Verband bliebe länger auf der Haut und die Pflegenden könnten den Zustand der Wunde von aussen ablesen.

Die Idee, durch einen Wundverband hindurchzublicken, steht am Anfang des Projekts Flusitex (Fluorescence sensing integrated into medical textiles), das von der Schweizer Initiative Nano-Tera finanziert wird. Forscherinnen und Forscher der Empa entwickeln zusammen mit der ETH Zürich, dem Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) und dem Universitätsspital Zürich ein Hightech-System, das dem

Pflegepersonal relevante Daten über den Zustand einer Wunde liefern soll. Luciano Boesel von der Empa-Abteilung «Biomimetic Membranes and Textiles», der das Projekt an der Empa koordiniert, erklärt: «Ein smarterer Wundverband mit eingebauten Sensoren soll dereinst fortlaufend Aufschluss über den Stand des Wundheilprozesses geben – so muss der Verband nicht häufiger gewechselt werden als nötig.» Das ermöglicht eine sanftere Behandlung für die PatientInnen und bedeutet weniger Aufwand für das Pflegepersonal. Weniger Aufwand bedeutet in diesem Fall auch weniger Kosten: Weltweit wurden für Wundbehandlungen im letzten Jahr 17 Milliarden US-Dollar ausgegeben.

### Wundheilung in Phasen

Wenn Wunden heilen, produziert der Körper spezifische Substanzen in einer komplexen Abfolge verschiedener biochemischer Prozesse, die Stoffwechselfparameter variieren. Je nach Phase steigt oder fällt etwa die Menge an Glukose und Sauerstoff, auch der pH-Wert verändert sich. All diese Substanzen lassen sich mit speziellen Sensoren nachweisen. Dazu entwickelt der Projektpartner CSEM zusammen mit der Empa im Flusitex-Projekt ein Fluoreszenz-Messgerät, das

mehrere Parameter gleichzeitig überwachen kann, das tragbar und günstig sowie einfach zu verwenden sein soll. Es soll erlauben, den pH-Wert, den Glukose- und den Sauerstoffspiegel während der Wundheilung im Auge zu behalten. Verändern sich die Werte, erlaubt dies Rückschlüsse auf weitere biochemische Prozesse der Wundheilung.

### pH-Wert zeigt chronische Wunde an

Ganz besonders nützlich bei chronischen Wunden ist der pH-Wert. Verheilt die Wunde normal, so steigt er beispielsweise bis zu einem Wert von 8, dann sinkt er auf einen Wert von 5 bis 6. Schliesst eine Wunde jedoch nicht mehr und wird sie chronisch, oszilliert der pH-Wert zwischen 7 und 8. Es wäre also hilfreich, wenn das Pflegepersonal am Wundverband mit einem Signal darauf aufmerksam gemacht werden könnte, dass der Wert konstant hoch ist. Muss der Verband nicht ohnehin aus hygienischen Gründen entfernt werden, könnte man bei tiefen pH-Werten noch zuwarten.

Und wie funktionieren die Sensoren? Die Idee dahinter: Treten in der Wundflüssigkeit bestimmte Substanzen auf, so reagieren «massgeschneiderte» fluoreszierende Sensor-Moleküle mit einem physikalischen



Guido Panzarasa mit einer Kollegin bei der Auswertung der Ergebnisse.

Signal. Sie beginnen zu fluoreszieren, und manche ändern sogar ihre Farbe im sichtbaren oder im Ultraviolett-Bereich. Dank einer Farbskala kann man schwächere und stärkere Farbveränderungen interpretieren und daraus ableiten, wie gross die Menge der abgegebenen Substanzen ist.

#### Leuchtende Moleküle

Anschaulich zeigt Chemiker Guido Panzarasa von der Abteilung «Biomimetic Membranes and Textiles» im Labor, wie eine Probe mit Sensormolekülen zu fluoreszieren beginnt. Dazu lässt Panzarasa vorsichtig eine Lösung mit einem pH-Wert von 7,5 in eine Schale tropfen. Im UV-Licht ist die Veränderung deutlich zu erkennen. Fügt er eine weitere Lösung dazu, verblasst die Leuchtkraft wieder. Ein Blick auf das Fläschchen mit der Lösung bestätigt: Der pH-Wert der zweiten Flüssigkeit ist tiefer.

Das Empa-Team hat ein Molekül entworfen, das aus Benzalkonium-Chlorid und Pyranin zusammengesetzt ist. Während Benzalkonium-Chlorid eine Substanz ist, die auch für gewöhnliche medizinische Seife verwendet wird und gegen Bakterien, Pilze und andere Mikroorganismen wirkt, ist Pyranin ein Farbstoff, der in Textmarkern zu finden ist und unter UV-Licht fluoresziert. «Dieser Biomarker funktioniert sehr gut», so Panzarasa, «am besten bei pH-Werten zwischen 5,5 und 7,5. Die Farben können mit einfachen UV-Lampen sichtbar gemacht werden, wie sie im Elektrogeschäft erhältlich sind.» Ihre Ergebnisse hat das Empa-

Team vor kurzem in der Fachzeitschrift «Sensors and Actuators B – Chemical» veröffentlicht.

Das «Designer-Molekül» hat einen weiteren Vorteil: Dank des Benzalkonium-Chlorids wirkt es auf der Haut antimikrobiell, das haben ForscherInnen der Empa-Abteilung «Biointerfaces» für den Bakterientyp *Staphylococcus aureus* bestätigt. Unerwünschte Bakterien könnten also in Zukunft durch die Wahl des richtigen Verbandmaterials bekämpft werden. Weitere Auswertungen, etwa zur Verträglichkeit mit Zellen und Geweben, fehlen jedoch noch. Wie ihr Sensor in einer komplexen Wunde funktioniert, wissen die ForscherInnen daher nicht.

#### Reges Interesse der Industrie

Um zu veranschaulichen, wie eine smarte Wundauflage in Zukunft praktisch aussehen könnte, legt Boesel einen Prototyp auf den Labortisch. «Auf Wundverbänden muss nicht die ganze Fläche mit Sensoren bestückt werden. Es reicht, wenn einige kleine Zylinder mit dem Pyranin-Benzalkonium-Molekül imprägniert sind und in das Trägermaterial eingefügt werden. Das lässt die industriellen Wundverbände nicht viel teurer werden, als sie es jetzt sind. Sie werden höchstens ein Sechstel bis ein Fünftel teurer», erklärt Boesel. Daran arbeiten die Empa-ForscherInnen im Nachfolgeprojekt «FlusiTex-Gateway» zusammen mit den Industriepartnern Flawa, Schöller, Kenzen

und Theranoptics. Guido Panzarasa lässt nun auf all die kleinen Zylinder des Wundpad-Prototyps verschiedene

Flüssigkeiten mit unterschiedlichem pH-Wert tropfen. Tatsächlich erkennt man auch hier deutlich die heller und dunkler leuchtenden Punkte, sobald er die UV-Lampe anschaltet. Sie sind sogar von blossen Auge zu erkennen. Grell gelb leuchtet es, wenn Flüssigkeiten mit hohem pH-Wert mit dem Sensor in Kontakt kommen. Die Wissenschaftler sind sich sicher: Da der pH-Wert derart einfach ausgelesen werden kann und exakt über den sauren oder basischen Zustand der Probe informiert, eignet sich ein derartiger Wundverband gut als diagnostisches Tool. Mit dem vom CSEM entwickelten Fluoreszenz-Messgerät können genauere quantitative Messungen des pH-Werts für medizinische Zwecke erzielt werden.

In Zukunft könnten die Signale auch mit Hilfe einer Smartphone-Kamera ausgelesen werden, so Boesel. Kombiniert mit einer einfachen App, hätten Pflegepersonal und ÄrztInnen ein Werkzeug, mit dem sie den Wundstatus auch ohne UV-Lampe bequem «von aussen» ablesen könnten. Auch zuhause hätten Patientinnen und Patienten dann die Möglichkeit, eine sich anbahnende chronische Wunde frühzeitig zu erkennen. //

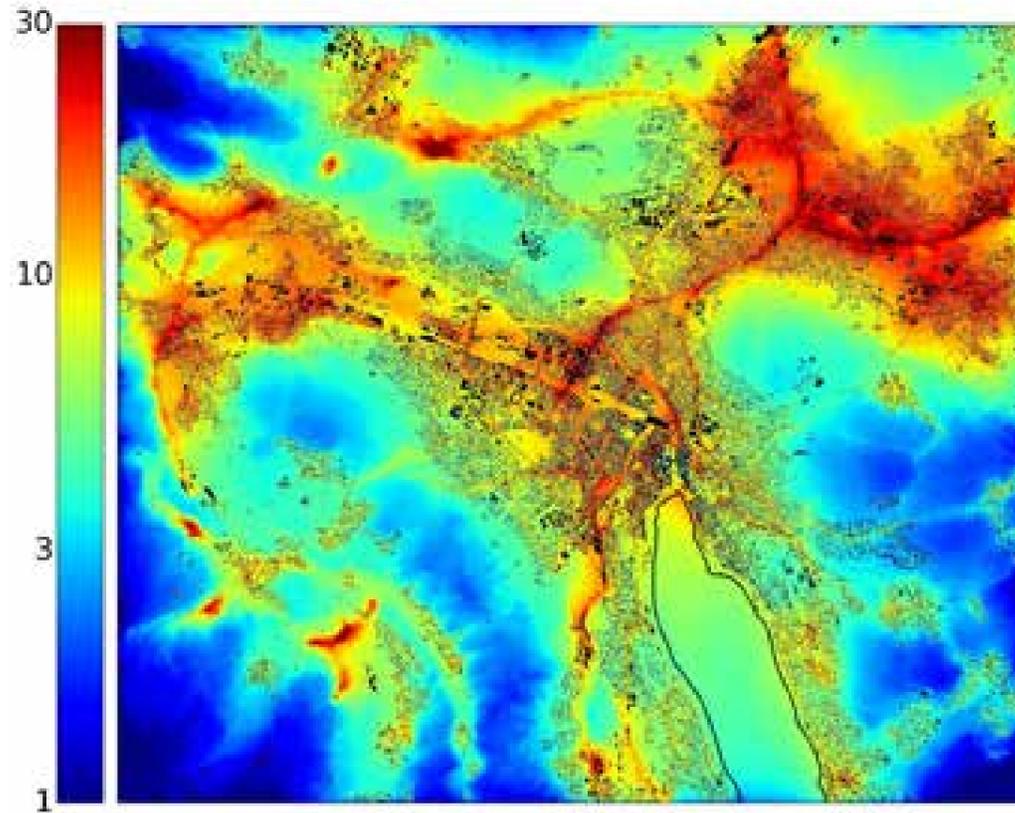
# CO<sub>2</sub> unter Totalüberwachung

Die Schweiz erhält ein weltweit einzigartig dichtes CO<sub>2</sub>-Messsystem: 300 Sensoren sammeln für die Wissenschaft laufend aktuelle Messwerte – die Basis für atmosphärische Modellrechnungen der Empa.

TEXT: Martina Peter, Michael Lieberherr / BILDER: Empa / Google Maps

An diesen Standorten in der Schweiz wird das CO<sub>2</sub>-Sensornetz künftig Daten sammeln.





Verteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Stadt Zürich, gemittelt über die Jahre 2013 und 2014. Dank der Messwerte aus dem Sensornetz werden solche Modellrechnungen künftig exakter.

in Echtzeit zu verfolgen. Ausserdem werden die Messungen wertvolle Informationen über die Ausbreitung von anderen Luftschadstoffen liefern.» Die wissenschaftlichen und technischen Anwendungen auf Basis dieser schweizweit erfassten Sensordaten bieten wiederum Anschlusspunkte für die Verkehrsplanung, für die Gesundheitsprävention, für Entwicklungen im Zusammenhang mit «Smart Cities» und für ein besseres Verständnis des Austauschs von CO<sub>2</sub> zwischen der Atmosphäre und der Vegetation.

Swisscom montiert die CO<sub>2</sub>-Sensoren an Antennenstandorten. Die 300 batteriebetriebenen Sensoren senden ihre Messwerte über das «Low Power Network» von Swisscom in die Rechenzentren des «Swiss Data Science Center» des ETH-Bereichs. Das «Low Power Network» bietet eine schmale Bandbreite, dafür reicht es weit, übermittelt energiesparend und senkt die Vernetzungskosten. So eignet es sich für die Vernetzung von Umweltsensoren, Parkplätzen, Containern oder sonstiger kommunaler Infrastruktur.

Das Sensornetzwerk hat nicht nur einen Nutzen für die Wissenschaft, sondern auch für das «Low Power Network» selbst: Die über die ganze Schweiz verteilten Sensoren sind ein gutes Mittel, um die Netzqualität laufend zu prüfen. Carbosense ist eine Zusammenarbeit zwischen der Empa, dem Swiss Data Science Center (SDSC), dem Empa-Spin-off Decentlab sowie Swisscom. Ins Leben gerufen wurde das Projekt von der Empa und Swisscom. Es wird durch nanotera.ch mitfinanziert. //



Video  
«CO<sub>2</sub>-Messnetz in der SRF-«Tagesschau» vom  
6. Februar 2017

<https://goo.gl/o2QyFJ>

Mit dem Übereinkommen von Paris hat sich die Staatengemeinschaft im Jahr 2015 verpflichtet, die weltweiten Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Inzwischen haben über 190 Staaten das Abkommen ratifiziert. Einzelne Städte haben sich selbst noch ambitioniertere Ziele auferlegt. Was derzeit jedoch fehlt, sind die Werkzeuge, um die eigenen Fortschritte zu messen – zum Beispiel solche, die laufend Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration ermöglichen.

Das Projekt «Carbosense» schafft hier neue Möglichkeiten. Bald sind 300 über das ganze Land verteilte CO<sub>2</sub>-Sensoren im Einsatz, die in Echtzeit ihre Daten über das Internet der Dinge übermitteln. Bisher gab es schweizweit für die Messung von CO<sub>2</sub> nur wenige Standorte. Dieses weltweit einzigartig dichte Sensornetzwerk erfasst die räumlichen und zeitlichen Änderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre. Lukas Emmenegger, Projektleiter bei der Empa und Leiter des Labors für Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, sagt: «Das CO<sub>2</sub>-Sensornetzwerk wird Grundlagen liefern, um die natürlichen und vom Menschen verursachten Quellen und Senken von CO<sub>2</sub> in der Schweiz besser zu verstehen.»

#### Der Röntgenapparat für CO<sub>2</sub>

Für die Stadt Zürich, in der das Sensornetzwerk besonders dicht sein wird, hat die Empa ein Modell entwickelt, das die CO<sub>2</sub>-Konzentration von zehn verschiedenen Quellen simuliert. Zu diesen Emissionsquellen gehören zum Beispiel verschiedene Arten des Verkehrs, die Industrie oder Heizungen von Wohnhäusern. Durch eine Verknüpfung dieser Simulationen mit den Sensordaten wird die Empa in der Lage sein, die aktuellen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt sichtbar zu machen. Emmenegger: «Damit wird es Messungen in genügender Dichte geben, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoss der Stadt Zürich praktisch

#### Empa-Spinoff Decentlab

Das Rückgrat des neuartigen CO<sub>2</sub>-Sensornetzes bilden 300 Messgeräte, welche über die ganze Schweiz verteilt sind. Decentlab, ein Spin-off der Empa, hat dafür je einen Sensor für CO<sub>2</sub>, Temperatur und Feuchtigkeit zusammen mit einem Kommunikationsmodul in einem Gerät integriert und sorgt für die drahtlose Übermittlung der Daten an den nächsten Gateway. Dort holt das auswertende Labor der Empa die Daten ab.

Gegenwärtig evaluieren die Empa-Forscher die Daten: Je nach Tageszeit können die CO<sub>2</sub>-Werte durch Temperatur und Feuchtigkeit verzerrt sein. Dank neuer mathematischer Sensormodelle können solche Abweichungen korrigiert und auch Verluste einzelner Datenpakete «überbrückt» werden.

In diesen Sensormodulen wird CO<sub>2</sub>-Gehalt, Temperatur und Feuchtigkeit gemessen. Jeder Sensor ist drahtlos mit dem Internet verbunden und sendet Daten an einen Gateway, auf den Forscher zugreifen können.



# Per App zum Eltern Glück

Seit Januar ist ein Sensorarmband auf dem Markt, welches fruchtbare Tage im Zyklus einer Frau mit, laut Hersteller, 89-prozentiger Sicherheit bestimmen kann. Die Empa hat die Sensortechnik von Anfang an mitentwickelt.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Ava AG

**W**ann kommt der Moment zum Schwangerwerden? Für Paare mit Kinderwunsch ist das eine schwierige Frage. Eine Bestimmung der fruchtbaren Tage nach der Temperatur- oder Kalender-Methode gilt vielen als zu ungenau, andere Methoden benötigen spezielle Laboruntersuchungen und sind daher umständlich.

Das Medtech-Startup Ava will die Frage nun mit einem modernen Sensorarmband beantworten. Das Armband wird nachts getragen und registriert in den ruhigen Schlafphasen der Frau neun physiologische Parameter: Ruhepuls, Hauttemperatur, Herzfrequenzvariabilität, Schlaf, Atemfrequenz und Bewegungsmuster sowie Durchblutung, Bioimpedanz und Wärmeverlust der Haut. Am Morgen werden die Daten dann mit einer Smartphone-App synchronisiert, die daraus den Anstieg der Sexualhormone Östradiol und Progesteron berechnet.

Das Ava-Armband könne 5,3 fruchtbare Tage pro Monat mit einer Genauigkeit von 89 Prozent anzeigen, schreibt die Herstellerfirma in einer Pressemitteilung mit Verweis auf eine Studie des Universitätsspitals Zürich. Seit Herbst 2016 ist das Ava-Armband in den USA auf dem Markt, seit Januar 2017 auch in der Schweiz.

## Forschungspartner von Beginn an

Begonnen hatte das Ganze im Herbst 2014 mit einem von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geförderten Forschungsprojekt an der Empa. Empa-Forscher Simon Annaheim von der Abteilung «Biomimetic Membranes and Textiles» erinnert

sich: «Es ging darum, den hormonellen Status einer Frau mit nicht-invasiven Methoden möglichst genau zu bestimmen.» Annaheim startete mit handelsüblichen Smartwatches und Monitoringshirts, die verschiedene Sensoren enthielten, etwa für Körpertemperatur, Herzfrequenz, Beschleunigung, Bewegung und Körperlage. Im nächsten Schritt entwickelte das Empa-Team Prototypen des Ava-Armbands und testete es an Probandinnen.

## Schwierige Temperaturmessung

Schnell stellte sich heraus, wie schwierig exakte Temperaturmessungen mit einem nachts getragenen Armband sind: Die Messung muss auf ein Zehntelgrad genau sein, um Aussagen über den Hormonzyklus zu erlauben. Doch das Verhalten der Probandinnen führte zu deutlich grösseren Abweichungen. So hat etwa Alkoholgenuß, ein Sonnenbad am Nachmittag oder eine Joggingrunde am Abend einen Temperaturanstieg zur Folge. Auch die Lage der Hand mit dem Armband – über oder unter der Bettdecke – beeinflusst die Messung merklich.

Die Lösung: Die Forscher nutzten zwei Temperatursensoren, einen für die Umgebung des Armbands und einen für die Haut. Ausserdem wurden die Messungen von den frühen Schlafphasen auf die Mitte der Nacht verlegt, weil dann alle Körperfunktionen besser im Gleichgewicht sind und die Messwerte stabiler werden. «Das Wichtigste aber ist: Wir müssen die Hauttemperatur mit einer Reihe anderer physiologischer Parame-



Das Ava-Armband (grosstes Bild unten links) wird nur nachts getragen und zeichnet in der zweiten Nachthälfte die Daten auf.

Am Morgen synchronisiert die Benutzerin die Daten mit einer Smartphone-App – und erhält die Berechnung der fruchtbaren Tage.



ter in Beziehung setzen», so Annaheim. «Nur so lassen sich hinreichend genaue Aussagen über den Zyklus machen.» Die Software, die die Messwerte zueinander in Beziehung setzt, wurde am «Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique» (CSEM) in Neuenburg entwickelt.

Die Forschungsarbeit der Empa trug schnell Früchte: Im Dezember 2015 war das Empa-Projekt abgeschlossen, und bereits im Sommer 2016 kam das Armband in den USA auf den Markt. Schon jetzt seien mehr als 50

Schwangerschaften unter Nutzerinnen des Armbands bestätigt worden, schreibt die Herstellerfirma in einer Presseerklärung

«Die Empa war einer der ersten Forschungspartner der Ava und hat die Entwicklung des Grundkonzepts stark unterstützt. Wir freuen uns, dass wir das unter anderem mit gemeinsamen Publikationen unterstreichen konnten», sagt Peter Stein, Vice President R&D bei der Ava AG. //



# Ein Kraftwerk aus Gummi

**Forschende der Empa haben ein elastisches Material entwickelt, das bei Verformung Strom erzeugt. In Zukunft könnte es als Sensor zum Einsatz kommen, in Kleidung eingebunden oder gar in den menschlichen Körper implantiert werden, um etwa Herzschrittmacher mit Strom zu versorgen.**

Der piezoelektrische Gummi im Empa-Labor.

TEXT: Celine Elber / BILDER: Empa, Wikipedia

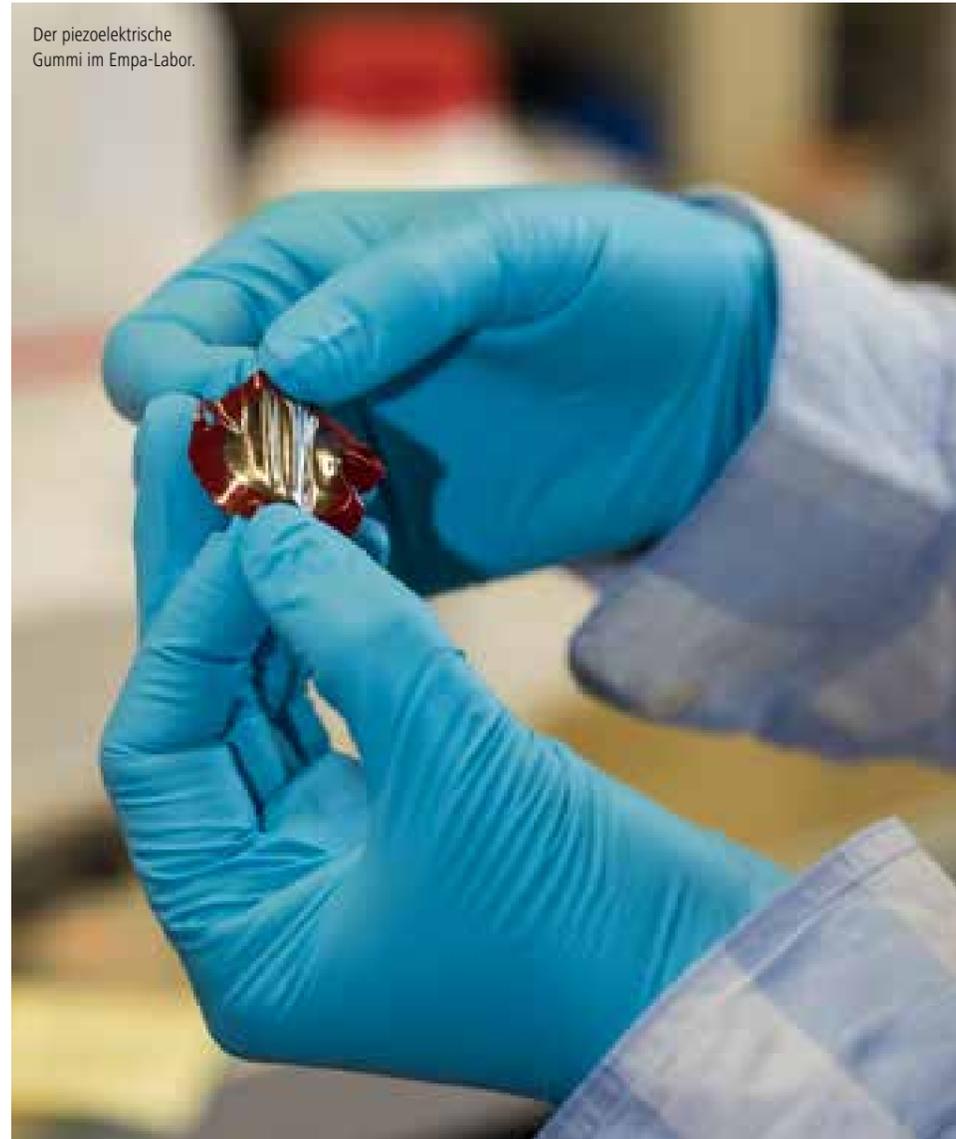
**E**lastisch, organisch, dünn – alles Eigenschaften, die man weder einem Kraftwerk noch einem Sensor zuschreiben würde. Doch das neue Material, das Forschende der Empa entwickelt haben, ist genau das: ein dünner, organischer, elastischer Film, der Strom produziert, wenn er auseinandergezogen oder zusammengepresst wird. Dieser Film, eine Art Gummi, könnte in Schaltknöpfe, Kleidung, Roboter oder sogar Menschen eingebaut werden und Aktivitäten überwachen, Berührungen aufzeichnen oder bei Verformung Strom generieren, etwa um implantierte Geräte wie Herzschrittmacher zu betreiben.

## Aus Bewegung wird Strom

Die Fähigkeit, mechanische Bewegungen in elektrische Ladung umzuwandeln, verdankt der Gummi dem piezoelektrischen Effekt. Der Trick dahinter ist einfach: Bei piezoelektrischen Materialien überlagern sich die Ladungsschwerpunkte der positiven und der negativen Ladungsträger, die Ladungen gleichen sich also aus, und das Material ist nach aussen hin elektrisch neutral. Durch Druck oder Zug wird die innere Struktur des Materials deformiert, die Ladungsschwerpunkte verschieben sich in unterschiedliche Richtung. Zwischen dem Schwerpunkt der positiven und dem der negativen Ladung entsteht daher eine elektrische Spannung.

Dieser Effekt wird zum Beispiel bei Tonabnehmern von Analog-Plattenspielern genutzt. Die Nadel wird durch die Rillen in der Platte so gelenkt, dass sie mechanische Schwingungen erzeugt. In einem piezoelektrischen Kristall werden diese Schwingungen in elektrische Impulse umgewandelt, die wiederum verstärkt und in Schallschwingungen umgewandelt werden können.

Lange Zeit war der piezoelektrische Effekt nur von Kristallen bekannt. Da sie schwer und starr sind, konnte der Effekt nur

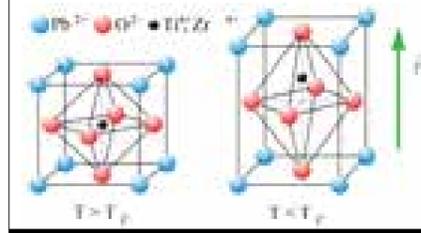


in bestimmten Anwendungen genutzt werden. Doch der Empa-Forscherin Dorina Opris und ihren Kollegen gelang es nun, Elastomere mit piezoelektrischen Eigenschaften zu versehen. Einfach in der Herstellung ist das neue Material indes nicht. Der Gummi ist ein Verbundstoff aus polaren Nanopartikeln und einem Elastomer, im Prototyp Silikon. Yee Song Ko, Doktorand an der Empa, muss zuerst beide Stoffe in die gewünschte

Form bringen und sie anschliessend miteinander vernetzen. Es entsteht ein dünner, elastischer Film, in dem die polaren Reste der Nanopartikel noch zufällig orientiert sind. Um ein piezoelektrisches Material zu erhalten, muss Song Ko die polaren Reste richtig orientieren; sie werden durch ein starkes elektrisches Feld gepolt. Gleichzeitig wird der Film erhitzt, bis die Glasübergangstemperatur der Nanopartikel überschritten

## Piezoelektrischer Effekt

Der Piezoeffekt bei Kristallen wurde im Jahr 1880 von den Brüdern Jacques und Pierre Curie entdeckt. Bei Versuchen mit Turmalinkristallen fanden sie heraus, dass bei mechanischer Verformung auf der Kristalloberfläche elektrische Ladungen entstehen. Grund dafür sind Dipole in der Kristallstruktur, die durch die Verformung entstehen. Die ersten Anwendungen waren piezoelektrische Ultraschallwandler und Schwingquarze für die Frequenzstabilisierung. Daraus entstand 1928 in den Bell Laboratories in den USA die erste Quarzuhr. Industriell hergestellte Piezokeramiken bestehen oft aus Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), siehe Grafik.



wird und von einem festen, glasartigen Zustand in einen gummiartigen, zähflüssigen Zustand übergehen. Unter diesen Bedingungen orientierten sich die polaren Reste an dem elektrischen Feld. Die erreichte Orientierung wird schliesslich durch Abkühlen des Materials eingefroren.

## Den Körper zum Kraftwerk machen

Die Anwendungsmöglichkeiten für die neuartige Gummifolie sind vielfältig. Daraus könnten zum Beispiel Drucksensoren gebaut werden. Wird das Material zusammengedrückt, entsteht ein elektrischer Impuls, der von Geräten empfangen und interpretiert werden kann. So könnten nicht nur Schaltknöpfe konzipiert werden, sondern auch eine sensible Haut für Roboter, die (Druck-)Berührungen fühlt. Ausserdem könnte die Folie in Kleidung nützlich sein, um entweder die Aktivitäten des Trägers zu überwachen oder aus dessen Bewegung Strom zu generieren. «Wahrscheinlich könnte man dieses Material sogar nutzen, um Energie aus dem menschlichen Körper zu gewinnen. Man könnte es zum Beispiel in der Nähe des Herzens implantieren und aus den Herzschlägen Strom erzeugen», meint Dorina Opris. Damit könnten Herzschrittmacher oder andere implantierte Geräte angetrieben werden, operative Eingriffe für einen Batteriewechsel wären dann nicht mehr nötig. //

## 3-D-Druckertinte aus dem Wald

Gilberto de Freitas Siqueira und Tanja Zimmermann aus der Abteilung «Angewandte Holzforschung» ist es in Zusammenarbeit mit der Harvard University und der ETH gelungen, eine umweltfreundliche Tinte aus Cellulose-Nanokristallen für den 3-D-Druck zu entwickeln. Dadurch lassen sich Mikrostrukturen mit herausragenden mechanischen Eigenschaften herstellen. «Die grösste Herausforderung bestand darin, eine visko-elastische Konsistenz zu erreichen, die auch durch die Düsen des 3-D-Druckers gepresst werden kann», sagte Siqueira. Cellulose ist das am häufigsten vorkommende natürliche Polymer der Erde und findet sich nicht nur in Bäumen, sondern auch in anderen Pflanzen und gar in Bakterien. Die neuartige Tinte kann so nicht nur für die Automobil- oder Verpackungsindustrie verwendet werden, sondern auch in der Biomedizin, etwa für Implantate oder Prothesen.



## 100 Leute lauschen Laserexperten

Am Empa-Standort Thun trafen sich im Mai mehr als hundert Gäste aus Wirtschaft und Politik, um das Laser-Know-how der Empa aus erster Hand zu erleben. Die Infoveranstaltung «Laser – das perfekte Werkzeug» markiert einen ersten Schritt zum Aufbau eines Kompetenzzentrums, das zukünftige Lasermethoden zur Produktion erforscht und weiterentwickelt. Neben etablierten, abtragenden Prozessen, wie Schneiden, Bohren und Fräsen, werden auch fügende Verfahren, wie Schweißen oder Laser-3-D-Drucken, für Hersteller von Präzisionsteilen interessant. Es sollen Kooperationen mit Unternehmen aus dem Mittelland sowie aus der Westschweiz entstehen. Das Kompetenzzentrum «Additive Fertigung» in Thun wird mit finanzieller Unterstützung des Kantons Bern und der Stadt Thun aufgebaut.



## Fabrik der Zukunft – Herausforderung für Mensch und Technik

Hauptveranstaltung am **Mittwoch, 4. Oktober 2017**  
Empa, Dübendorf, **AKADEMIE**



Wir stehen heute mitten in der vierten industriellen Revolution. Der Kern – auch als Industrie 4.0 bekannt – ist die durchgehende Digitalisierung und Vernetzung der Wertschöpfungsprozesse. Die «intelligente» Fabrik erlaubt eine individualisierte, flexible und maximal effiziente Fertigung. Alle Produktionseinheiten sollen miteinander kommunizieren und sich auch selbst organisieren. Additive Herstellungsverfahren ermöglichen neuartige technische Produktionsformen.

Wie sich diese Transformation konkret auswirken wird, darüber wird heute viel diskutiert und spekuliert. Nur eines ist sicher: Veränderungen kommen auf uns alle zu. Industrie, Wirtschaft, Bildung und Gesellschaft werden nachhaltig geprägt werden und müssen sich damit auseinandersetzen. Industrie 4.0 ist deshalb nicht nur als Vision zu verstehen, sondern auch als eine Aufforderung zum Handeln

Die Tage der Technik 2017 greifen diese vielschichtige Thematik auf und beleuchten sie aus den verschiedenen Blickwinkeln von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft.

Die Veranstaltungen sind öffentlich, der Eintritt gratis. Anmeldung und Programm unter: [www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch) (Anzahl der Plätze ist beschränkt). Im Rahmen der Tage der Technik 2017 finden auch weitere Partnerveranstaltungen statt, die über [www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch) zu finden sind.

Organisation

**SWISS  
ENGINEERING**  
STV UTS ATS

 **Empa**  
Materials Science and Technology

**satw**  
it's all about technology

## Veranstaltungen

22. August 2017

Seminar: Innovative Baustoffe

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa-akademie.ch/rfa](http://www.empa-akademie.ch/rfa)

Empa, Dübendorf

24. August 2017

Innovation Day 2017

Textil- und Bekleidungsindustrie und Zulieferer

[www.swisstextiles.ch](http://www.swisstextiles.ch)

Empa, Dübendorf

27.–31. August 2017

19th WMO / IAEA Meeting on CO<sub>2</sub> other Greenhouse Gases and Related Measurement Techniques

Zielpublikum: Forschende

[www.empa-akademie.ch/ggmt2017](http://www.empa-akademie.ch/ggmt2017)

Empa, Dübendorf

11.–12. September 2017

Alloys for Additive Manufacturing Symposium

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.mpie.de/aams2017](http://www.mpie.de/aams2017)

Empa, Dübendorf

4. Oktober 2017

Hauptveranstaltung der Tage der Technik

Zielpublikum: Fachleute aus den Bereichen Energie und Umwelt, Politikerinnen, Öffentlichkeit

[www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch)

Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter

[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

Ihr Zugang zur Empa:



[portal@empa.ch](mailto:portal@empa.ch)  
Telefon +41 58 765 44 44  
[www.empa.ch/portal](http://www.empa.ch/portal)