

# Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #68 II MAI 2020

FOKUS

Mit frischen Ideen aus der Krise



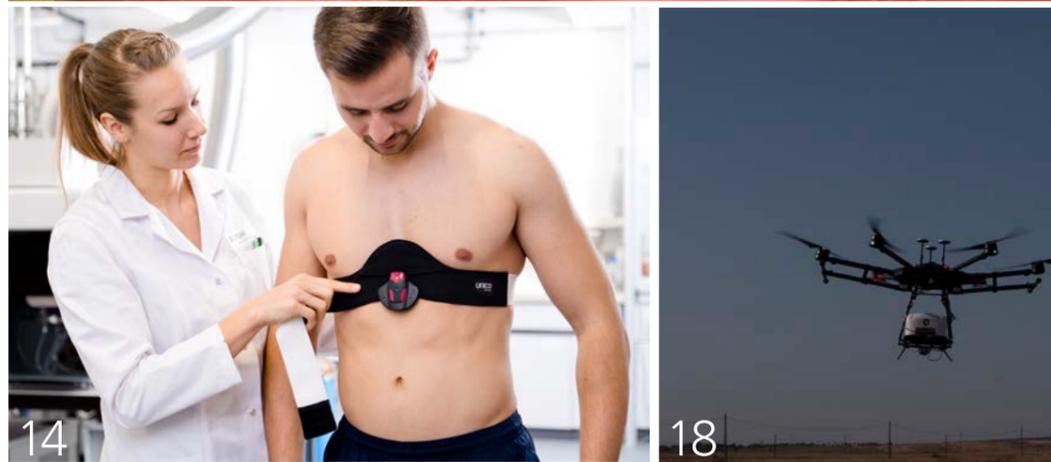
LEGIERUNGEN NACH MASS  
INTELLIGENTE TEXTILIEN  
HALTBARE FRÜCHTE DANK PLATIN

# [ INHALT ]

[ FOKUS: MIT FRISCHEN IDEEN AUS DER KRISE ]

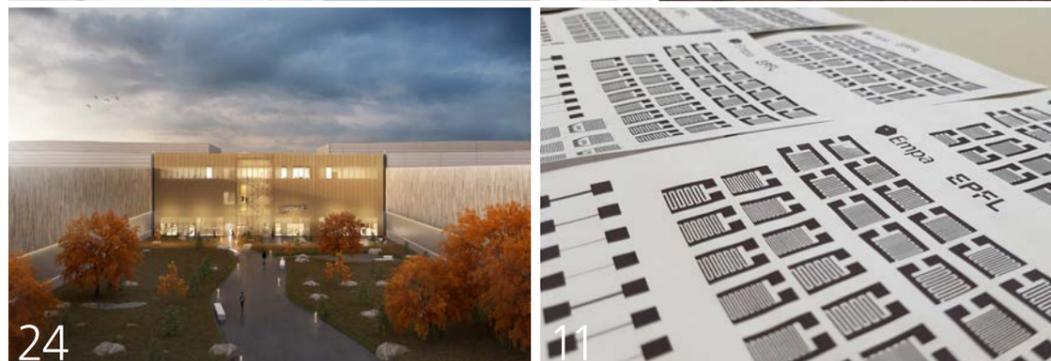


32



14

18



24

11

[ FOKUS ]

**08** 3D-DRUCK  
Neue Legierungen nach Mass herstellen

**11** ELEKTRONIK  
Von der Tinte zum Schaltelement

**14** SMARTE TEXTILIEN  
Vom Sensor bis zum regulierten Körperklima

**18** UMWELT-ANALYTIK  
Schadstoffe im Flug messen

**21** LEICHTBAU  
Selbstvorgespannter Beton spart Material

**24** FAHRZEUG-BATTERIEN  
Auf dem Weg zur europäischen Gigafactory

**27** ENERGIE  
Umwelt- und wirtschaftsfreundlich Strom erzeugen

**28** ENERGIE-SPEICHER  
Was kommt nach der Lithium-Ionen-Batterie?

**32** LEBENSMITTEL  
Wie Früchte länger frisch bleiben

[ RUBRIKEN ]

**04** WISSEN IM BILD

**06** IN KÜRZE

**34** UNTERWEGS

[ TITELBILD ]



FrISCHE Ideen mit Innovationskraft sind eine wichtige Trumpfkarte, um die Schweizer Wirtschaft neu anzukurbeln.  
Bild: istock

[ IMPRESSUM ]

**HERAUSGEBERIN** Empa  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf, Schweiz  
www.empa.ch  
**REDAKTION** Empa Kommunikation  
**ART DIREKTION** PAUL AND CAT.  
www.paul-and-cat.com  
**KONTAKT** Tel. +41 58 765 47 33  
empaquarterly@empa.ch  
www.empaquarterly.ch  
**VERÖFFENTLICHUNG**  
Erscheint viermal jährlich  
**ANZEIGENMARKETING**  
rainer.klose@empa.ch

ISSN 2297-7406  
Empa Quarterly (deutsche Ausg.)



Fotos: Unsplash, iStock, Empa

Foto: istock

## NORMAL WAR GESTERN

Liebe Leserin, lieber Leser



Sie können «Home Office», «Coronakrise» und «Social Distancing» nicht mehr hören? Geht uns ähnlich. Und doch kann ich nicht umhin, zumindest kurz auf dieses Thema einzugehen. So ist denn dieses Heft sozusagen im «remote control»-Modus entstanden. Und da wir auf Anfang Mai einen Tag der offenen Türe geplant hatten – der dann natürlich ins Wasser gefallen ist –, haben wir dabei gleich kurzerhand die aktuelle Ausgabe des EmpaQuarterly neu konzipiert.

Darin richten wir den Blick nach vorne. Und zwar voller Optimismus. Denn auch nach dieser turbulenten Zeit dürfte eine Trumpfkarte der Schweiz nach wie vor stechen – unsere Innovationskraft. Die gilt es, hoch zu halten, damit wir als Volkswirtschaft möglichst geringen Schaden davontragen. Einige Ideen aus unseren Labors, die illustrieren, wie uns dies gelingen kann, finden Sie auf den folgenden Seiten.

Was wir für die Zukunft ebenfalls gut gebrauchen könnten, wäre ein weiterhin offenes Ohr für WissenschaftlerInnen bei der Beurteilung verschiedenster Sachverhalte – von der angestrebten Energiewende bis zur besseren Bewirtschaftung dringend benötigter Güter wie Schutzkleidung. Denn trotz aller Unstimmigkeiten in den Prognosen über den Epidemieverlauf ist mir persönlich eine möglichst faktenbasierte Politik allemal lieber als das erratische Verhalten politischer Dampfplauderer, denen es (vor allem im Ausland) nur um die Sicherung beziehungsweise um die Erringung der Macht geht. Mögen uns also Forscher und Forscherinnen auf Pressekonferenzen und im Scheinwerferlicht noch möglichst lange begleiten!

Ihr MICHAEL HAGMANN



**WELTPREMIERE IM BRÜCKENBAU**  
Ein Meilenstein für einen äusserst vielfältigen Werkstoff mit Schweizer Wurzeln: Am 3. Mai 2020 wird eine 127 Meter lange Eisenbahnbrücke über die Autobahn A8 bei Stuttgart geschoben. Es ist die erste Brücke, deren 72 Hängeseile komplett aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) bestehen. Dieser ultraleichte und trotzdem enorm stabile Werkstoff wurde massgeblich an der Empa entwickelt und kommt seither in immer mehr Bauwerken zum Einsatz.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:  
[www.empa.ch/web/s604/cfk-stuttgart](http://www.empa.ch/web/s604/cfk-stuttgart)

Foto: L. Haspel, sbp Stuttgart

## «REMASK»: MIT VEREINTEN KRÄFTEN GEGEN DEN MASKEN-NOTSTAND



**WIEDERVERWENDEN**  
Mit geeigneten Desinfektionsmethoden lässt sich die Lebensdauer von Gesichtsmasken erhöhen

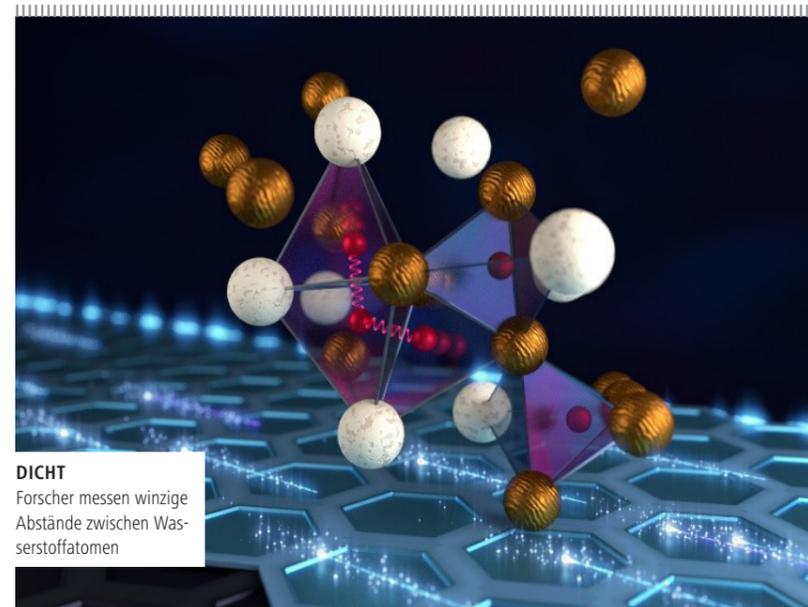
Während der Corona-Krise sind Schutzmasken zu einem raren Gut geworden. Um die Schweiz künftig in Pandemiezeiten mit effizientem Schutzmaterial auszurüsten, arbeiten Empa-Forschende gemeinsam mit einem landesweiten Konsortium aus Forschung, Gesundheitswesen und Industrie am Projekt «ReMask»: Neue Maskentypen sowie Technologien zur Wiederverwendung von vorhandenem Schutzmaterial werden entwickelt – für jetzt, aber auch für künftige Pandemien. Zudem wurden bereits Hinweise zur Herstellung von Masken und textilen Schutzsystemen sowie Informationen zu normierten Testmethoden öffentlich verfügbar gemacht.

<https://masken.empa.ch>

## SUPRALEITUNG BEI RAUMTEMPERATUR?

Ein Forscherteam aus der Schweiz, den USA und Polen hat eine einzigartig hohe Dichte von Wasserstoffatomen in einem Metallhydrid nachgewiesen. Die kleineren Abstände zwischen den Atomen könnten es ermöglichen, deutlich mehr Wasserstoff in das Material zu packen – bis zu einem Punkt, an dem es bei Raumtemperatur und Normaldruck zum Supraleiter werden könnte.

[www.empa.ch/web/s604/hydrogen\\_density](http://www.empa.ch/web/s604/hydrogen_density)

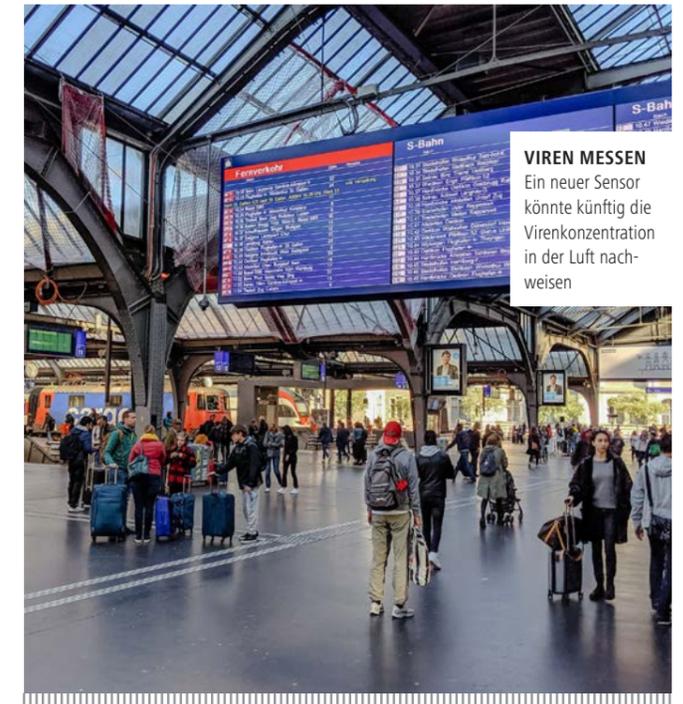


**DICHT**  
Forscher messen winzige Abstände zwischen Wasserstoffatomen

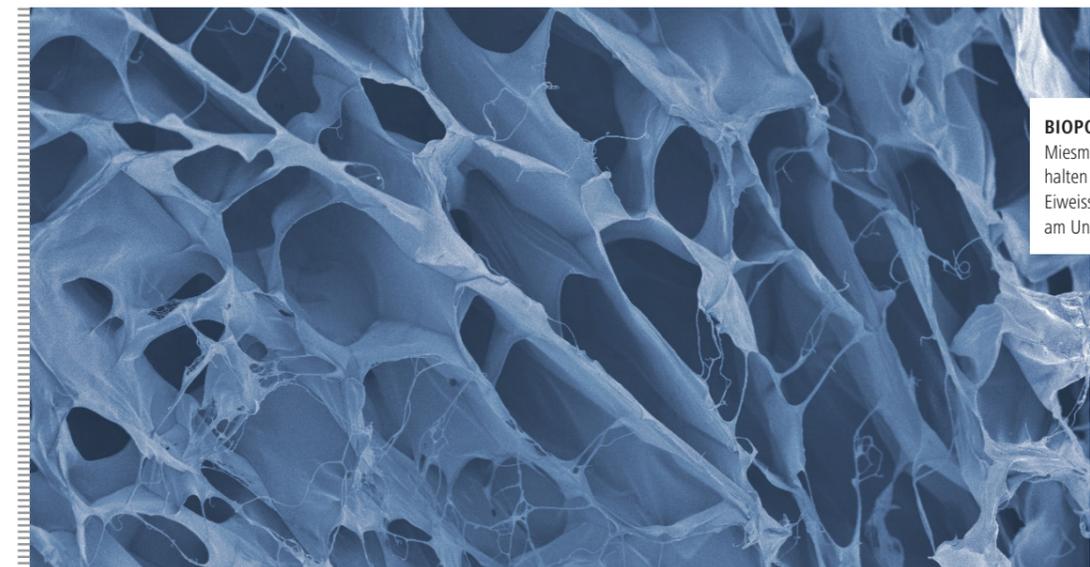
## EIN BIOSENSOR FÜR DAS COVID-19-VIRUS

Einem Team von Forschern der Empa, der ETH Zürich und des Universitätsspitals Zürich ist es gelungen, einen neuartigen Sensor zum Nachweis des neuen Coronavirus zu entwickeln. Er könnte künftig eingesetzt werden, um die Virenkonzentration in der Umwelt zu bestimmen – beispielsweise an Orten, an denen sich viele Menschen aufhalten oder in Lüftungssystemen von Spitälern.

[www.empa.ch/web/s604/coronatest](http://www.empa.ch/web/s604/coronatest)



**VIREN MESSEN**  
Ein neuer Sensor könnte künftig die Virenkonzentration in der Luft nachweisen



**BIOPOLYMER**  
Miesmuscheln halten sich mit Eiweissfäden sicher am Untergrund fest

## MUSCHELKLEBER FÜR HERZMUSKELN

Ist der Herzmuskel geschädigt, stellt die Reparatur des stets aktiven Organs eine Herausforderung dar. Empa-Forschende entwickeln daher einen von der Natur inspirierten Gewebekleber, der Defekte im Muskelgewebe wieder perfekt zusammensetzen kann. Sie haben sich dazu die phänomenale Haftfähigkeit von Meeresmuscheln zunutze gemacht.

[www.empa.ch/web/s604/gewebekleber](http://www.empa.ch/web/s604/gewebekleber)

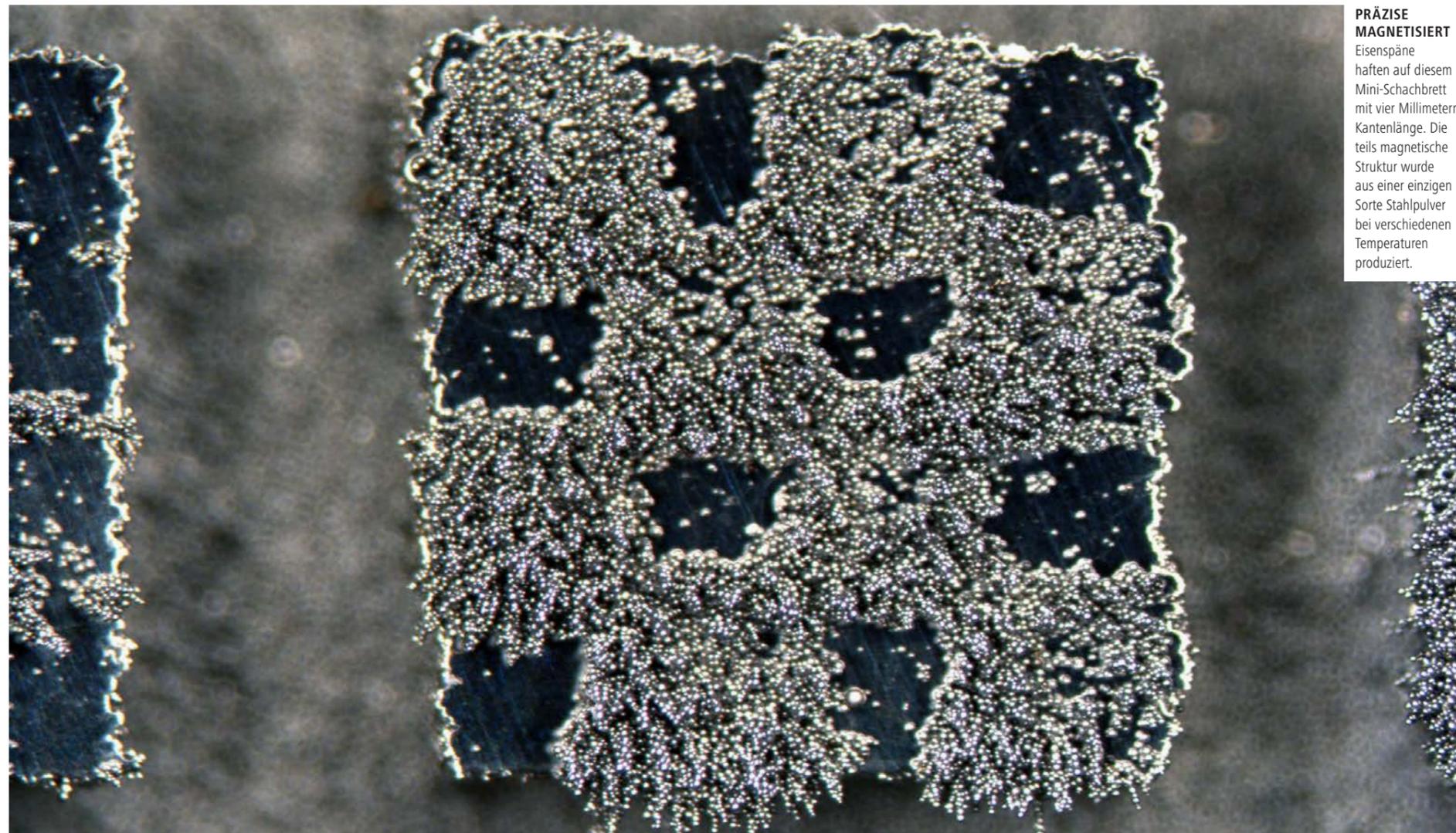
Fotos: Jill Hemman / Oak Ridge National Laboratory, US Dept of Energy; iStock

Fotos: Tomek Baginski, Unsplash; Empa

# FRISCH AUS DEM OFEN

Bei der Metallverarbeitung im 3D-Laserdrucker werden innerhalb von Millisekunden Temperaturen von mehr als 2500 Grad Celsius erreicht, bei denen manche Bestandteile aus den Legierungen verdampfen. Empa-Forscher erkannten in diesem Problem eine Chance – und nutzen nun den Effekt, um während des Druckprozesses neue Legierungen mit unterschiedlichen Eigenschaften zu erzeugen und diese mikrometergenau in 3D-gedruckte metallische Werkstücke einzubetten.

Text: Rainer Klose



**PRÄZISE  
MAGNETISIERT**  
Eisenspäne haften auf diesem Mini-Schachbrett mit vier Millimetern Kantenlänge. Die teils magnetische Struktur wurde aus einer einzigen Sorte Stahlpulver bei verschiedenen Temperaturen produziert.

Die Innovation ist mit blossen Auge kaum richtig einzuschätzen: ein kleines metallisches Schachbrett mit vier Millimetern Kantenlänge. Auf den ersten Blick glänzt es wie polierter Stahl; auf den zweiten Blick sind minime Farbunterschiede erkennbar: 16 Flächen hat das winzige Schachbrett, acht erscheinen etwas dunkler, acht heller.

Die unscheinbare Materialprobe beweist: 3D-Druck mit Hilfe von Laserstrahlen und Metallpulver eignet sich nicht nur

dazu, neue geometrische Formen zu erschaffen, sondern es lassen sich so auch neue Materialien mit völlig neuen Funktionalitäten herstellen. Das kleine Schachbrett ist ein besonders augenscheinliches Beispiel: Acht Flächen sind magnetisch, acht unmagnetisch – dabei ist das gesamte Werkstück aus einer einzigen Sorte Metallpulver 3D-gedruckt worden. Nur Stärke und Dauer des eingestrahlten Laserlichts wurden variiert.

Als Ausgangsbasis nutzte ein Empa-Team um Ariyan Arabi-Hashemi und Christian Leinenbach eine besondere Sorte

Edelstahl, die vor rund 20 Jahren u.a. von der Firma Hempel Special Metals in Dübendorf entwickelt wurde. Der sogenannte P2000-Stahl enthält kein Nickel, sondern rund ein Prozent Stickstoff. P2000-Stahl verursacht keine Allergien und ist für medizinische Zwecke gut geeignet. Er ist besonders hart, was die herkömmliche Bearbeitung mittels Fräsen erschwert. Leider scheint er auch als Basismaterial für den 3D-Laserdruck auf den ersten Blick ungeeignet zu sein: In der Schmelzzone des Laserstrahls wird es schnell sehr heiss. Deshalb verdampft normalerweise ein grosser Teil des

enthaltenen Stickstoffs, und der P2000-Stahl verändert seine Eigenschaften.

## AUS DEM PROBLEM EINEN VORTEIL MACHEN

Arabi-Hashemi und Leinenbach gelang es, diesen Nachteil in einen Vorteil zu verwandeln. Sie modifizierten die Scangeschwindigkeit des Lasers und die Intensität des Laserlichts, das im Metall-Pulverbett die einzelnen Partikel aufschmilzt, und variierten somit gezielt die Grösse und Lebensdauer des flüssigen Schmelzpool. Dieser war im kleinsten Fall 200 Mikrometer im Durchmesser

und 50 Mikrometer tief, im grössten Fall 350 Mikrometer breit und 200 Mikrometer tief. Der grosse Schmelzpool lässt viel Stickstoff aus der Legierung verdampfen; der erstarrende Stahl kristallisiert mit einem hohen Anteil an magnetisierbarem Ferrit. Beim kleinsten Schmelzpool erstarrt die Schmelze deutlich schneller. Der Stickstoff verbleibt in der Legierung; der Stahl kristallisiert dann vor allem in Form von nichtmagnetischem Austenit.

Im Rahmen des Experiments mussten die Forscher den Stickstoffgehalt in winzigen, millimetergrossen Metallproben sehr präzise bestimmen und die lokale Magnetisierung auf wenige Mikrometer genau messen, ebenso das Volumenverhältnis von austenitischem und ferritischem Stahl. Hierfür kamen eine Reihe hochentwickelter Analysemethoden zum Einsatz, die an der Empa zur Verfügung stehen.

## GEZIELTE METALLHERSTELLUNG

Der Versuch, der wie eine Spielerei wirkt, könnte die Methodik der Metallherstellung und -verarbeitung bald um ein entscheidendes Werkzeug erweitern. «Beim 3D-Druck erreichen wir lokal spielend Temperaturen von mehr als 2500 Grad Celsius», so Leinenbach. «Damit können wir gezielt verschiedene Bestandteile einer Legierung verdampfen – z.B. Mangan, Aluminium, Zink, Kohlenstoff und mehr – und so die chemische Zusammensetzung lokal verändern.» Die Methode ist dabei nicht auf Edelstähle beschränkt, sondern kann auch für viele andere Legierungen nützlich sein.

Leinenbach denkt zum Beispiel an Nickel-Titan-Legierungen, die als Formgedächtnislegierungen («shape memory alloys») bekannt sind. Bei welcher Temperatur sich die Legierung an ihre vorgegebene Form «erinnert», hängt von gerade einmal

0.1 Prozent mehr oder weniger Nickel in der Mischung ab. Mit Hilfe eines 3D-Laserdruckers liessen sich Bauteile schaffen, die örtlich gestaffelt auf unterschiedliche Temperaturen reagieren.

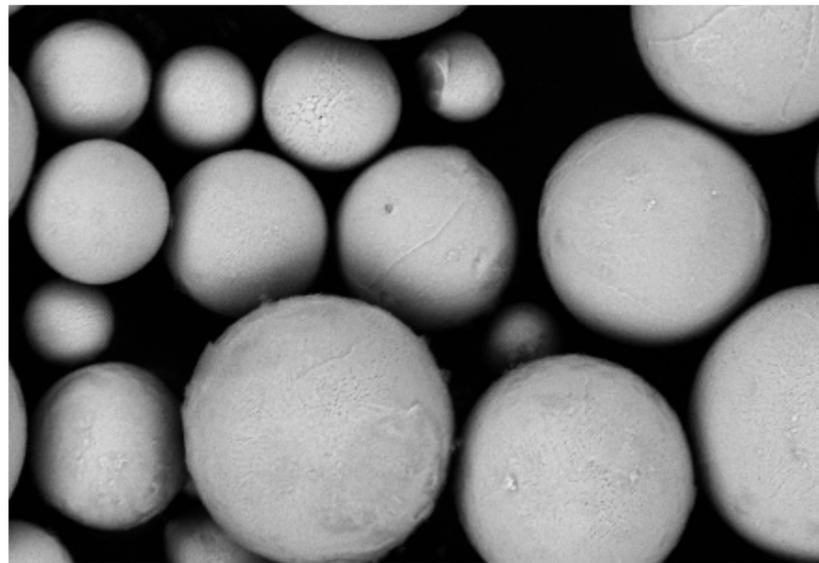
#### FEINSTRUKTUREN FÜR ELEKTRO-MOTOREN VON MORGEN

Die Möglichkeit, Legierungen mikrometern genau in einem Bauteil zu erzeugen, könnte auch beim Bau neuer, effizienterer Elektromotoren hilfreich sein. Erstmals bietet sich so die Möglichkeit, Stator und Rotor des E-Motors aus magnetisch feinstrukturierten Materialien zu bauen, um die Geometrie der Magnetfelder besser auszunutzen.

«Beim 3D-Druck erreichen wir spielend Temperaturen von mehr als 2500 Grad Celsius.»

Entscheidend für die Entdeckung des Zusammenhangs zwischen Laserleistung-Grösse des Schmelzpool und Materialeigenschaften war das Knowhow im Bereich «Additive Manufacturing», das an der Empa seit rund neun Jahren aufgebaut wird. Seither widmet sich das Team um Christian Leinenbach als eine der weltweit führenden Arbeitsgruppen den materialwissenschaftlichen Fragestellungen rund um 3D-Laserdruckverfahren. Zugleich sammelten die Empa-Forscher Erfahrung bei der Prozessüberwachung, speziell dem Vermessen der Schmelzpool, deren Grösse und Lebensdauer entscheidend fürs gezielte Modifizieren von Legierungen ist. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s204](http://www.empa.ch/web/s204)



**MIKROKUGELN**  
Aufnahme des P2000-Stahlpulvers im Elektronenmikroskop. Durch die spezielle Kugelform fliesst das Pulver besonders gut. (oben)



**3D-LASERDRUCKER**  
Ariyan Arabi-Hashemi und Christian Leinenbach nutzen einen 3D-Laserdrucker zur Feintuning von Edelstahl-Legierungen. (Mitte und unten)

Fotos: Empa

# DER TRANSISTOR AUS DEM DRUCKER

Eine neue Revolution in der Herstellung von elektronischen Schaltkreisen bahnt sich an: Empa-Forscher arbeiten an Elektronik, die aus dem Drucker kommt. Das ermöglicht, die Schaltkreise auf allen möglichen Unterlagen herzustellen, etwa Papier oder Kunststofffolien – doch es gibt noch einige Hürden zu überwinden.

Text: Karin Weinmann

**W**ie wäre es, Elektronik einfach auf eine beliebige Unterlage drucken zu können? Das ist heute keine Utopie mehr: «Printed Electronics», also gedruckte Elektronik, ist eine aufstrebende Technologie, die es ermöglicht, Schaltkreise auf verschiedenen Substraten aufzubringen – mit Tinte und speziellen Druckern. Das ist keineswegs ein kleiner Markt: Ein neuer Report des Branchenverbands für organische und gedruckte Elektronik zeigt, dass sich der Bereich bereits heute zu einem Weltmarkt von über 35 Milliarden US-Dollar entwickelt hat – der in den nächsten Jahren kräftig weiterwachsen soll.

Traditionell ist die Fabrikation von Elektronik eine aufwändige Angelegenheit, die eine teure Ausrüstung erfordert. Das Internet der Dinge benötigt aber eine neue Art von Elektronik: Die Schaltkreise müssen nicht mehr um jeden Preis so winzig und schnell wie möglich, sondern

günstig und einfach herzustellen sein – und gleichzeitig sollen sie auf dünnen und flexiblen Substraten realisierbar sein. Dazu gehören zum Beispiel RFIDs auf Produktverpackungen. Denkbar sind künftig auch Anwendungen für einfache Sensoren auf Milchpackungen, die anzeigen, wenn der Inhalt nicht mehr geniessbar ist, oder auf tiefgefrorenen Produkten, die signalisieren, ob die Kühlkette unterbrochen wurde.

#### TRANSISTOREN AUF PAPIER UND FOLIE

Die Empa-Forscher Jakob Heier vom Labor für funktionelle Polymere und Yaroslav Romanyuk vom Labor für Dünnschichten und Photovoltaik forschen mit ihren Teams daran, die Technologie weiterzubringen. Gemeinsam mit Forschern des Paul Scherrer Instituts und der EPFL Lausanne arbeiten sie am Forschungsprojekt «FOXIP», kurz für «Functional Oxides Printed on Polymers and Paper». Ziel des Projekts ist es, Dünnschichttransistoren auf Papier- und PET-Folien zu drucken – und zwar mit einer Druck-

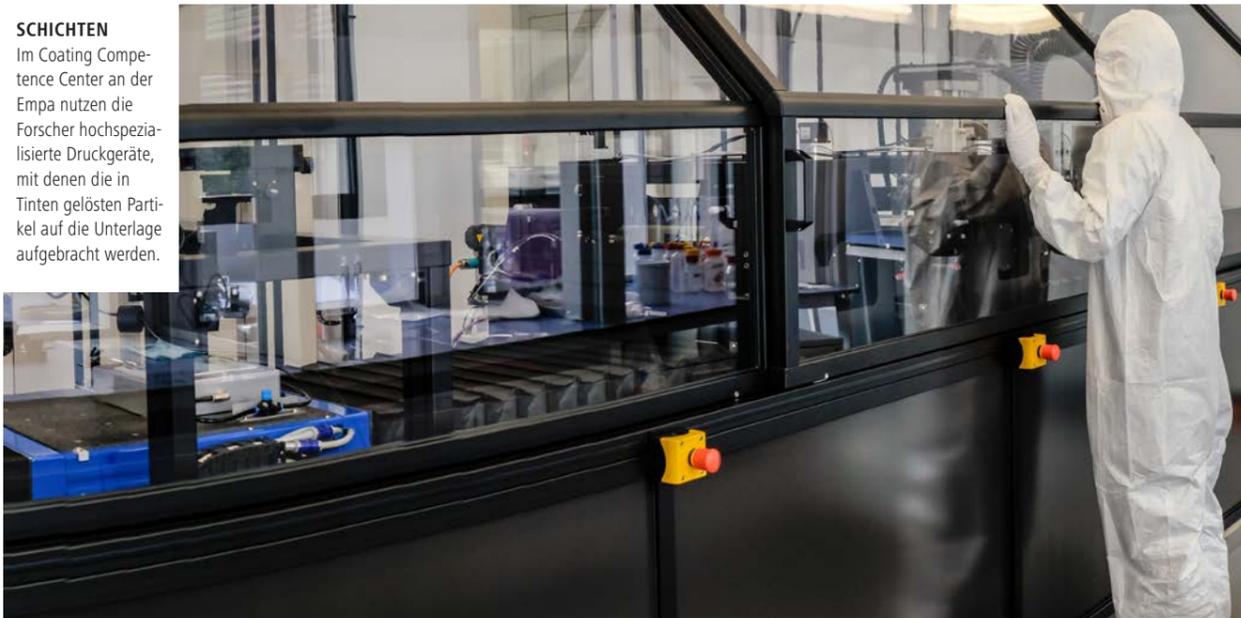
#### EIN KOMPETENZZENTRUM FÜR BESCHICHTUNGEN

Die Lücke zwischen Laborforschung und industrieller Produktion für Beschichtungen zu schliessen – das ist das Ziel des Coating Competence Centers (kurz CCC) an der Empa. Geforscht wird am CCC nicht nur an gedruckter Elektronik, sondern an Materialien, Prozessen und Technologien für Beschichtungen: Methoden, mit denen dünne Schichten auf Substrate aufgedampft werden, oder additive Fabrikation, bei dem Bauteile Schicht für Schicht aufgebaut werden. Das CCC ist als Private-Public Partnership aufgebaut: die Idee ist, dass alle Partner entlang der Wertschöpfungskette von der Wissenschaft bis zur Industrie zusammenarbeiten, um neue Technologien zu entwickeln und kreative Lösungen zu finden. Das Zentrum ist offen für Kollaborationen für Partner aus Industrie und Forschung.

[www.empa.ch/web/coating-competence-center](http://www.empa.ch/web/coating-competence-center)

**SCHICHTEN**

Im Coating Competence Center an der Empa nutzen die Forscher hochspezialisierte Druckgeräte, mit denen die in Tinten gelösten Partikel auf die Unterlage aufgebracht werden.



technik, die sich für den Einsatz in der Industrie eignen könnte. Verwendet werden dafür Tinten, in denen winzige Partikel von Metalloxiden gelöst sind. Diese werden mit verschiedenen Drucktechniken auf die Unterlage aufgebracht – per Kontaktdruck oder aber mit einem Tintenstrahldrucker. «Dazu kommen natürlich nicht gewöhnliche Bürodrucker zum Einsatz, sondern hochspezialisierte Geräte», erklärt Romanyuk. Im Coating Competence Center der Empa finden sich diese Druckgeräte. (siehe Kasten)

Doch um Schaltkreise zuverlässig auf flexiblen Unterlagen drucken zu können, müssen zunächst einige Herausforderungen gelöst werden: Von der Optimierung der Unterlage selbst über die Zusammensetzung der Tinte und der Genauigkeit bei der Drucktechnologie bis hin zum thermischen Aushärten der Schichten, ohne dass das Papier oder die Folie dabei Schaden nimmt.

Angefangen bei der Druckunterlage: Oftmals ist diese flexibel – etwa Papier oder Kunststoffolie – und hat keine komplett glatte Oberfläche, wie bei

Siliziumscheiben, die für die Fabrikation herkömmlicher Elektronikbauteile verwendet werden. Dies macht es viel schwieriger, die nötige Präzision bei der Fabrikation der Schaltkreise zu erreichen. Im Moment sind daher die Bauteile der gedruckten Elektronik um etwa einen Faktor 1000 grösser als durch den herkömmlichen Fabrikationsprozess hergestellte Mikroelektronik. «Das heisst aber nicht, dass die Schaltkreise riesig sind: Wir reden beim Drucken von Genauigkeiten im Bereich von zehn Mikrometern, das ist weniger als der Durchmesser eines Haares», präzisiert Heier.

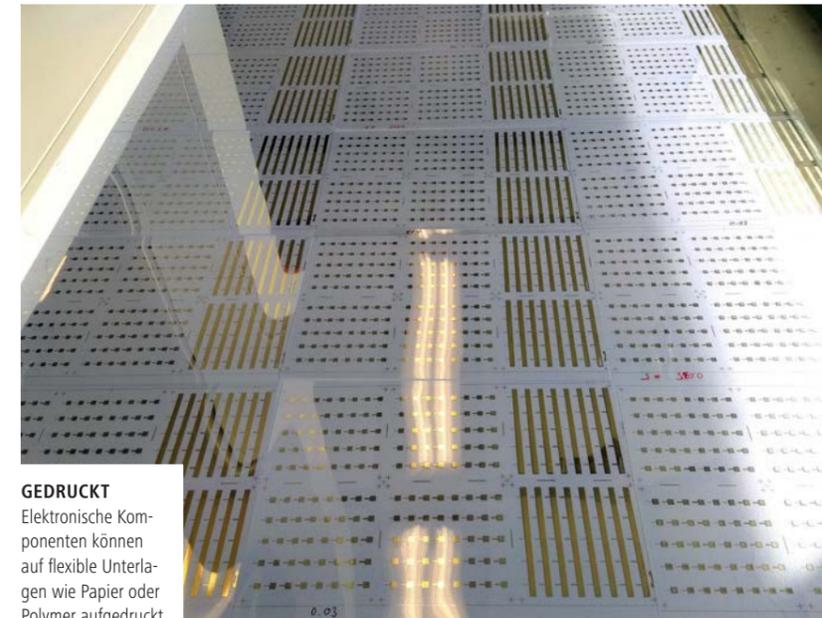
**WERKSTOFFE IN TINTENFORM**

Eine weitere grosse Herausforderung liegt darin, wie leitende, halbleitende und isolierende Werkstoffe, die für den Aufbau von Schaltkreisen notwendig sind, in Tintenform gebracht werden können – und wie daraus nach dem Druckprozess wieder ein durchgängiges Material mit der gewünschten Eigenschaft wird.

Jakob Heier forscht daran, wie diese speziellen Tinten aufgebaut werden.

Eine Tinte besteht zum einen aus kleinen Partikeln des funktionalen Materials, zum anderen aus Lösungsmitteln, die nach dem Auftragen von selber verdampfen. Oftmals reichen diese zwei Komponenten aber nicht aus: Es müssen zusätzliche Bindemittel und Zusatzstoffe hinzugefügt werden, damit die Tinte stabil bleibt und auch druckbar ist. Diese sind aber ein Problem: Wenn sie nach dem Auftragen in der Schicht verbleiben, so stören sie die gewünschte Funktion der Schaltkreise. Sie müssen also ausgebrannt werden. Nur: Das braucht relativ hohe Temperaturen – und dies wiederum kann dem Papier oder der Folie schaden, auf der die Elektronik aufgedruckt wird.

Heier und sein Team arbeiten daran, eine druckfähige Tinte für Graphenschichten zu entwickeln, die nur mit den Graphenteilchen und dem Lösungsmittel auskommt – in anderen Worten, ganz ohne Zusatzstoffe, die ausgebrannt werden müssen. Die gedruckten Schichten sollen dabei so stabil sein, dass sie dieselben Leiteigenschaften beibehalten – egal, ob das Trägermaterial samt der gedruckten Schicht gebogen



**GEDRUCKT**

Elektronische Komponenten können auf flexible Unterlagen wie Papier oder Polymer aufgedruckt werden: Im Bild oben Elektroden aus Silber für Transistoren. Dafür sind spezialisierte Druckgeräte nötig (Bild unten).



oder gar verdreht wird. «Wenn dies erfolgreich ist, so sind wir dem Druck auf Plastik oder Papier einen grossen Schritt nähergekommen: zumindest der Druck von Leiterbahnen erfordert dann keine Nachbehandlung bei erhöhten Temperaturen mehr», erklärt Heier.

**MIT BLITZEN VON DER TINTE ZUM SCHALTELEMENT**

Anders ist es bei Tinten, die auf Metalloxid-Nanopartikeln basieren. Hier

ist das sogenannte Sintern, also die thermische Behandlung der gedruckten Schichten, nötig, um die einzelnen in der Tinte gelösten Partikeln wieder miteinander zu verbinden und so eine funktionale Schicht zu erhalten. Doch sowohl Papier als auch die eingesetzten Folien sind sehr temperaturempfindlich. Idealerweise sollten also nur die Metalloxidschichten erhitzt werden – das Substrat aber kühl bleiben. Wir verwenden dazu eine Methode namens «Flash

Sintering» erklärt Romanyuk. Dabei wird die gedruckte Schicht mit ultrakurzen Blitzen erhitzt, so schnell, dass das Substratmaterial nicht miterhitzt wird.

Materialien, die auf Metalloxiden basieren, sind eine vielversprechende Materialklasse für gedruckte Elektronik: Sie können leitend, halbleitend oder isolierend sein. Verglichen mit Tinten, die auf organischen Materialien basieren, haben Oxidmaterialien eine höhere Beweglichkeit der Elektronen, das bedeutet, sie haben das Potenzial, die Leistung von gedruckten elektronischen Schaltkreiselementen zu erhöhen. Gleichzeitig sind die Oxidmaterialien stabiler, wenn sie auf Luft treffen. «Besonders spannend ist Indium-Zinn-Oxid: Es ist zugleich hoch leitend und transparent», erklärt Romanyuk. Seinem Team ist es erst kürzlich gelungen, oxidbasierte Feldeffekt-Transistoren per Tintenstrahldrucker zu drucken – damit könnten künftig transparente Schaltungen auf einer transparenten Unterlage ermöglicht werden.

Dank den Möglichkeiten, die das Coating Competence Center (CCC) an der Empa bietet, sind die Resultate der beiden Forschungsgruppen nicht auf das Labor beschränkt. «Die entwickelten Drucktechnologien basieren auf Geräten, mit denen die Industrie bereits arbeitet», erklärt Romanyuk. Das ermöglicht eine schnelle Umsetzung vom wissenschaftlichen Durchbruch zur industriellen Produktion von neuer gedruckter Elektronik. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s209](http://www.empa.ch/web/s209) und [www.empa.ch/web/s207](http://www.empa.ch/web/s207)

Fotos: Empa

# GESUNDHEIT ZUM ANZIEHEN

Cooler Kleidung für Spitzenleistungen kann weit mehr, als einfach nur gut aussehen: Dank einer Vielzahl von smarten Technologien analysiert High-Tech-Bekleidung heute Körperfunktionen oder optimiert aktiv das Mikroklima. Als Basis dieser neuen Textilien dienen «smarte» Fasern und biokompatible Verbundwerkstoffe, die als Sensoren, Medikamentenabgabesysteme oder Gewebeersatz auch in der Medizinforschung zu Innovationen beitragen.

Text: Andrea Six

Sport im Winter hat seine Tücken. Draussen ist es bitterkalt und warme Kleidung ist gefragt. Bewegt man sich jedoch intensiv, setzt die körpereigene «Klimaanlage» ein: Die Haut sondert literweise kühlenden Schweiß ab. Damit wir dann bei der wohlverdienten Pause nicht in der nassen Bekleidung frieren, haben Empa-Forscher in St. Gallen in Zusammenarbeit mit Industriepartnern eine elektroosmotische Membran entwickelt, die die Bekleidung (und den Sportler) trocken und somit auch warmhält. Das schweizerische Sportbekleidungsunternehmen KJUS hat die Technologie in eine Skijacke eingearbeitet, die sich per Smartphone bedienen lässt. In Experimenten in der Empa-Klimakammer bestätigten die Forschenden zudem die Funktionalität und den Tragekomfort der Kleidung mit «Pumpeffekt».

## AVATAR MIT ANZUG UND KRAWATTE

Ob Jacken und Hosen bequem zu tragen sind und die Körperwärme angenehm abgeben, lässt sich mittlerweile dank virtueller Modellierungen vorhersagen. Empa-Forscherin Agnes Psikuta und ihr

Team vom «Biomimetic Membranes and Textiles» Labor in St. Gallen haben hierzu eine Software erarbeitet, die Stoffeigenschaften, Körperbau und isolierende Luftpolster zwischen Haut und Kleidung einberechnet. «Anhand eines anatomisch individualisierbaren Avatars lässt sich simulieren, wie ein Kleidungsstück am Körper anliegt, und welche thermischen Auswirkungen es hat, sogar wenn sich der Mensch bewegt», erklärt Psikuta. So kann ein Schnittmuster für einen Anzug bereits am Avatar optimiert werden, bevor dieser aus echtem Tuch genäht wird.

Es gibt aber auch Anzüge, deren Träger sich vor äusserlicher Hitzeeinwirkung schützen müssen: Die Schutzkleidung von Feuerwehrleuten muss thermoisolierend, feuerfest, wasserdicht und noch dazu atmungsaktiv sein, darf dabei aber weder allzu schwer noch unflexibel sein. Isolierende Luftpolster sind daher von zentraler Bedeutung. Mittels anatomischer Puppen – sogenannter Manikins – kann derartige Schutzbekleidung im Labor optimiert werden. «So können wir in realitätsnahen Experimenten herausfinden, wie sich die Isolation in einem

Schutzanzug verändert, je nachdem, ob der Träger gerade im Knien mit dem Löschschlauch aufs Feuer zielt oder auf allen Vieren durch ein brennendes Gebäude kriecht», erläutert Psikuta.

## SENSOREN FÜR SPORTLERFÜSSE

Um Bewegung geht es auch bei einem «Kleidungsstück», das auf der Basis von Holz entworfen wurde: Innerhalb des Projekts «D-Sense» entsteht ein flexibler Gelenksensor aus Nanocellulose. Der 3D-gedruckte Sensor aus nachwachsenden Rohstoffen ist bioverträglich und liegt direkt auf der Haut. Elektrisch leitfähig ist er, da die Nanocellulose-«Tinte» beim 3D-Druckverfahren mit Silber-Nanodrähten versetzt ist. Als Einlegesohle beispielsweise im Sportschuh eines Hochleistungssportlers getragen, misst der Sensor unter anderem Belastung, Druck und Krafteinwirkung, so dass sich die Bewegung der Gelenke exakt analysieren lässt. «Gerade aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften eignet sich Nanocellulose besonders gut, um neue Verbundwerkstoffe zu kreieren», sagt Gustav Nyström, der das Empa-Labor für «Cellulose & Wood ▶



### WETTERFEST

Trotz Minustemperaturen kommt man beim Ski- und Snowboardfahren leicht zum Schwitzen. Hightech-Kleidung soll hier Abhilfe schaffen.

Foto: Mauro Paillex / Unsplash

Materials» in Dübendorf leitet. Der mehrschichtige Sensor ist denn auch eines der Projekte des strategischen Fokusbereichs «Advanced Manufacturing» des ETH-Bereichs. Die Anwendung eines derartigen Gelenksensors könnte künftig zudem bei Patienten mit Gelenk-Implantaten eingesetzt werden, um den optimalen Heilungsprozess zu begleiten.

#### DATENANALYSE IM SCHLAF

Auch andere High-Tech-Kleidungsstücke bieten sich für den Einsatz in der modernen Medizin an. So sind beispielsweise selbst bei scheinbarer Unbeweglichkeit, etwa im Schlaf, viele Muskeln aktiv: Das Herz schlägt unaufhörlich, und der Brustkorb hebt und senkt sich. Wie aber schlägt das Herz im Schlaf? Und stockt der Atem, oder geht er ruhig und stetig durch die Nacht? Empa-Forscher haben einen Cardio-Gurt entwickelt, der dank gestickter Elektroden die Herzrhythmickeit über die ganze Nacht aufzeichnen kann. Mit der Empa-Plasmabeschich-

tungsanlage wurden Nanometer-feine metallische Schichten auf die Stickfäden appliziert, wodurch sie leitfähig, hautverträglich und waschbar sind. Verwendet wird das anschmiegsame Messgerät beispielsweise bei Menschen, die während des Schlafs an Atemstillstand, sogenannter Schlafapnoe, leiden.

Weitere klinische Anwendungen des Sensor-Gurts finden derzeit mit Partnern aus der Industrie und dem Medizinbereich statt. So soll der EKG-Gurt – ergänzt mit Sensorik zur Messung der Körpertemperatur – die Diagnose von Demenzerkrankungen wie Alzheimer unterstützen, da die Langzeitmessung von Vitalparametern Hinweise auf die kognitive Hirnleistung geben kann. Gemeinsam mit Forschern der «Université de Haute-Alsace» in Mulhouse arbeiten die Empa-Textilforscher auch daran, Textilien mit weiteren Sensoren zu bestücken. So kann das Einsatzgebiet in Medizin und Sport und der Tragekomfort

noch zusätzlich erweitert werden. «Wir werden ein komplettes Kleidungsstück, etwa ein T-Shirt, mit Sensoren für die Analyse verschiedener Gesundheitsparameter ausstatten», sagt Simon Annaheim. Das Herzstück für die Messung weiterer Parameter wie Atemfrequenz oder Sauerstoffsättigung sind dabei optische Polymerfasern, die im Schmelzspinnverfahren hergestellt werden.

#### TARNKAPPE FÜR HERZPUMPEN

Da sich das Mikro-Design von Textilfasern durch verschiedene Spinnverfahren präzise steuern lässt, entwickeln Empa-Forscher zudem Membranen, die biologischen Geweben ähneln. Polymermembranen aus hochelastischen Kern-Mantelfasern werden beispielsweise mit menschlichen Zellen besiedelt, so dass ein mehrschichtiges, funktionstüchtiges Gewebe heranwachsen kann. Integriert sind diese Arbeiten in das Grossprojekt «Zürich Heart», an dem die Empa gemeinsam

mit Universität und ETH Zürich und dem Zürcher Universitätsspital arbeitet. Die «lebenden» Membranen sollen hierbei die innere Oberfläche von Herzpumpen als «Tarnkappe» auskleiden, damit der Körper das Gerät besser annimmt und Fehlfunktionen vermieden werden.

#### BAKTERIEN-DETEKTIVE

Polymerfasern lassen sich zudem zu Sensoren für flüchtige Stoffe in der Atemluft verarbeiten. Das Team um Luciano Boesel stellt mittels Elektrospinnen mehrschichtige Polymermembranen her, die bestimmte Gase im Atem aufspüren sollen. «Flüchtige Amine entstehen bei bakteriellen Infektionen wie einer Lungenentzündung oder einer chronischen Nierenerkrankung», so Boesel. Sein Team entwickelt nun einen hochsensitiven Amin-Sensor, der Spuren von verschiedenen Aminen in der Atemluft anzeigen soll, um so Erkrankungen möglichst früh und nichtinvasiv zu diagnostizieren.

#### MEDIKAMENTE ZUM ANZIEHEN

Textile Fasern können aber auch in Form von «intelligenten» Pflastern frühzeitig einen gestörten Heilungsverlauf bei komplexen Wunden anzeigen. Ausserdem können sie Substanzen wie Antibiotika, Schmerzmittel oder natürliche Heilmittel freisetzen. Damit die Dosierung dieser Wirkstoffe präzise abläuft, haben die Forscher einen trickreichen Kontrollmechanismus erdacht: Ein leichter Druck auf den Verband oder ein Lichtsignal steuert die Abgabe der Medikamente. Auch chemische Reize vom Patienten, wie der veränderte pH-Wert einer Wunde, können die Medikamentenabgabe auslösen.

#### NANO-TASCHEN FÜR WIRKSTOFFE

Noch tiefer in die Mikro- und Nanostruktur unserer Kleidung dringt der Empa-Forscher Amin Sadeghpour vor. Er konstruiert winzige Nanowürfel, die einer Zellmembran nachempfunden sind. Mit einer Kantenlänge von rund 10 Nanometern fassen die Würfel zwar

nur kleinste Mengen an Wirkstoffen. Allerdings ist es dank ihrem Aufbau aus kleinen Röhrchen möglich, verschiedene Substanzen gemeinsam zu verpacken, die normalerweise nicht mischbar wären. Dies bietet sich für die Kombination mehrerer Medikamente oder Vitamine an. Zusammengefasst werden die biokompatiblen Würfel in «Nano-Taschen», sogenannten Cubosomen. Sie lassen sich beim Elektrospinn-Prozess an Fasern anheften, mit denen Wundverbände oder pflegende Textilien hergestellt werden können.

Anhand dieser Nano-Elemente, biokompatiblen Materialien und smarten Fasern lassen sich künftig Kleidungsstücke herstellen, die nicht nur dem Avatar perfekt passen, sondern auch in Sport und Medizin zu Spitzenleistungen führen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s401](http://www.empa.ch/web/s401) und [www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)



#### TARNKAPPE

Damit Herzpumpen von Patienten besser toleriert werden, kann ihre Oberfläche mit «lebenden» Membranen ausgekleidet werden. Die Zellen (gelb) integrieren sich in ein Geflecht elektrogespinnener Fasern (weiss), wodurch ein Gewebe heranwächst. (Kolorierte Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme, 2000-fache Vergrösserung)

#### LANGZEITMESSUNG

Mit dem Cardiogurt aus anschmiegsamem Gewebe und gestickten Elektroden lassen sich physiologisch wichtige Parameter bequem über längere Zeit messen.



Foto: Empa

Foto: Robert Stürmer

# IM FLUG ERWISCHT

Der Mensch ist zahlreichen belastenden Umwelteinflüssen ausgesetzt, und es ist ein internationales Anliegen, diese Emissionen möglichst exakt zu quantifizieren, um daraus Massnahmen zu deren Eindämmung einleiten zu können. Auch die Empa ist Teil dieser Bestrebungen und hat unter anderem eine mit modernsten Messgeräten ausgestatteten Drohne entwickelt, die Methanlecks aufspüren kann. Ausserdem steht sie der europäischen Raumfahrtbehörde ESA bei der Entwicklung neuer Satelliten zur Seite, die CO<sub>2</sub>-Quellen aus dem All detektieren können.

Text: Cornelia Zogg

**M**ethan (CH<sub>4</sub>) ist einer der Hauptverursacher der globalen Erwärmung, dennoch ist der Beitrag der einzelnen Methanquellen noch immer nicht exakt bekannt. Eine solche Quantifizierung wäre allerdings dringend nötig, um Massnahmen zu ergreifen, mit denen die Klimaziele der Vereinten Nationen (UN) erreicht werden können. Im Rahmen des Horizon2020-Projektes MEMO2 («Methane goes Mobile, Measurements and Modelling») fokussieren sich 20 Forschungsgruppen aus sieben Ländern auf die Ermittlung der Methanquellen und die Quantifizierung von deren Emissionen mittels mobiler Analysegeräte – darunter auch die Empa.

Einen besonderen Fokus legten die MEMO2 Forschenden auf Rumänien. Mit seinen zahlreichen Öl- und Gasfeldern ist das Land eine der Hauptquellen der europäischen Methanemissionen. Methan tritt über die Bohrschächte dieser Felder

an die Oberfläche und entweicht teilweise in die Atmosphäre. Bislang konnten sehr genaue Methanmessungen nur mit stationäre Messgeräte durchgeführt werden. Diese werden zwar manchmal in Fahrzeuge eingebaut, können dann aber nur genau entlang der Strasse eingesetzt werden – ein aufwändiges und unbefriedigendes Unterfangen.

Empa-Forschenden gelang es nun jedoch, ein präzises und leichtes Messgerät zu entwickeln, das auf eine Drohne montiert werden kann um die CH<sub>4</sub>-Konzentrationen zu messen und damit die Emissionen zu bestimmen. «Das neue Spektrometer ist ein Durchbruch in der Analytik von Spurengasen bezüglich Messgenauigkeit, Grösse und Gewicht», erklärt Lukas Emmenegger, Leiter der Empa-Abteilung «Luftfremdstoffe / Umwelttechnik».

Um das Methan zu quantifizieren, nutzen Emmenegger und sein Team einen Quantenkaskaden-Laser (QCL). Mit Hilfe

des auf der Drohne montierten Spektrometers kann die dreidimensionale Verteilung von Methan in der Umgebung einer Quelle bestimmt werden. Kombiniert man diese Daten mit Windmessungen, dann können die Forschenden daraus die Emission einer Quelle berechnen. Die

Foto: Empa

Drohne hat zudem den Vorteil, dass sie Messungen an vom Boden aus schwer zugänglichen Orten erlaubt. So lassen sich mit der Drohne etwa grössere Quellen oder Teile von Ölfeldern überfliegen um daraus zu bestimmen, an welchen Orten Methan in welchen Mengen an

die Oberfläche gelangt. Mit solchen detaillierten Messungen lassen sich künftig konkrete Massnahmen treffen und überprüfen, um die Methanemissionen weiter einzudämmen. Daran ist auch die Industrie interessiert, bestätigt Emmenegger. «Unsere neue Messtechnik

hat schon zu zahlreichen Anfragen aus Industrie und Forschung geführt. Daraus ergeben sich viele spannende Projekte im Bereich der natürlichen und vom Menschen verursachten Methanquellen.»

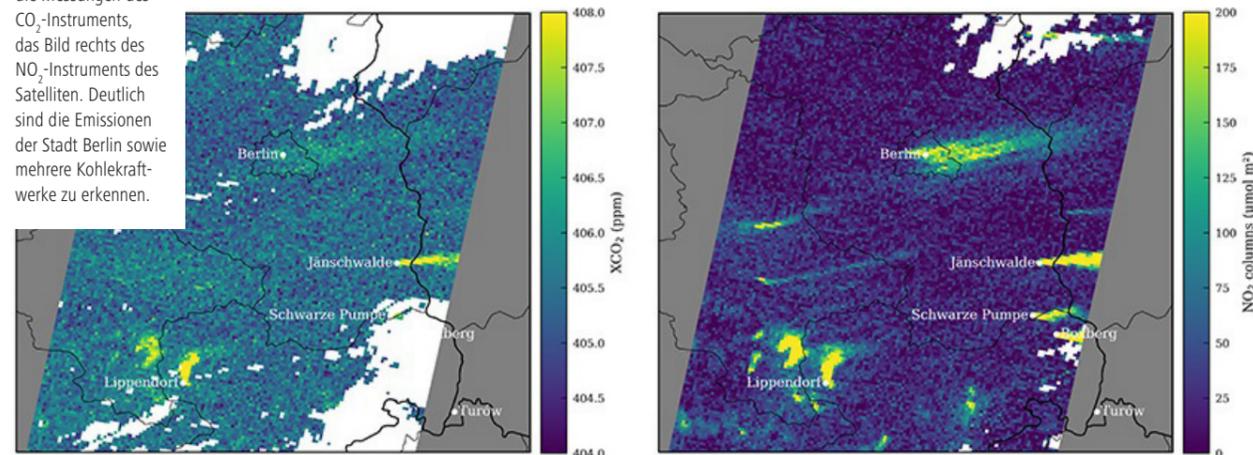


#### ÜBERFLIEGER

Die leichte Drohne mit dem aufmontierten Quantenkaskaden-Laser kann mobil die Methan-Emissionen auf Öl- und Gasfeldern messen.

**SIMULATIONEN**

Satellitenbilder aus den Simulationen der Empa-Forschenden: Das Bild links zeigt die Messungen des CO<sub>2</sub>-Instruments, das Bild rechts des NO<sub>2</sub>-Instruments des Satelliten. Deutlich sind die Emissionen der Stadt Berlin sowie mehrere Kohlekraftwerke zu erkennen.



**ZEHN AUF EINEN STREICH**

Doch nicht nur Methan steht auf der Liste der Umweltschadstoffe. Dazu gehören auch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>). Instrumente, die diese Gase messen können, sind jedoch komplex, teuer und benötigen viel Energie, denn jedes Gas muss mit einer separaten Methode gemessen werden – zumindest bis jetzt. Die beiden ehemaligen Empa-Forschenden Morten Hundt und Oleg Aseev haben ein QCL-Spektrometer entwickelt, das zehn Umweltgase gleichzeitig detektieren kann. Vor kurzem gründeten sie damit das Empa-Spin-off «MIRO Analytical Technologies» und konnten bereits zahlreiche Erfolge feiern. Unter anderem erhielten sie Anfang 2020 im Rahmen des Accelerator-Programms des «European Innovation Council» 1.25 Millionen Euro an Fördergeld. Zudem sind sie seit Januar 2019 Teil des Business Inkubators der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA, denn ihr High-Tech-Sensor kann als wichtige Referenz – am Boden oder flugzeuggestützt – für die Beobachtung von Umweltgasen mittels Satelliten dienen.

**BEOBACHTUNGEN AUS DEM ALL**

Die ESA setzt bei den Vorbereitungen für die CO2M-Satellitenmission («Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring») ebenfalls auf die Expertise der Empa. Ab 2025 sollen die ersten CO2M-Satelliten in den Orbit geschickt werden, die mit Hilfe von spektroskopischen Messungen globale Karten der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre erstellen. So lässt sich bestimmen, wo wieviel CO<sub>2</sub> von Industrieanlagen, Städten und Ländern emittiert wird. «Wir konnten der ESA verschiedene Empfehlungen für die analytische Ausstattung der Satelliten geben», so Empa-Forscher Gerrit Kuhlmann. So muss der Satellit etwa in der Lage sein, die vom Mensch erzeugte CO<sub>2</sub>-Emission von den Signalen der Biosphäre – also dem natürlich vorkommenden CO<sub>2</sub> – zu unterscheiden. Die Idee dahinter: Ein kombiniertes Messgerät, das CO<sub>2</sub>, aber auch zusätzlich Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) detektiert. «Bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas entsteht nämlich nicht nur CO<sub>2</sub>, sondern auch grosse Mengen an Stickoxiden, nicht jedoch bei der natürlichen

‘Atmung’ der Biosphäre, die ausschliesslich CO<sub>2</sub> produziert», so Kuhlmann. Ein zusätzliches NO<sub>2</sub>-Instrument sollte also in der Lage sein, anthropogene und biosphärische CO<sub>2</sub>-Signale voneinander zu trennen. Um diese Idee zu überprüfen, simulierten Kuhlmann und sein Team die Verteilung der CO<sub>2</sub>- und der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen für das Jahr 2015. Die aufwändigen Simulationen wurden auf dem schnellsten Hochleistungsrechner Europas durchgeführt, dem «Piz Daint» am Schweizer Rechenzentrum CSCS in Lugano. Dabei konnten die Empa-Forscher zeigen, dass eine Kombination der Messungen von CO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> bessere und verlässlichere Resultate liefert, als wenn nur ein CO<sub>2</sub>-Messgerät auf dem Satelliten verbaut wäre. Die Empfehlung für den Einbau eines zusätzlichen NO<sub>2</sub>-Messinstruments wurde von der ESA bereits in die Planung der neuen Satelliten übernommen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/503](http://www.empa.ch/web/503)

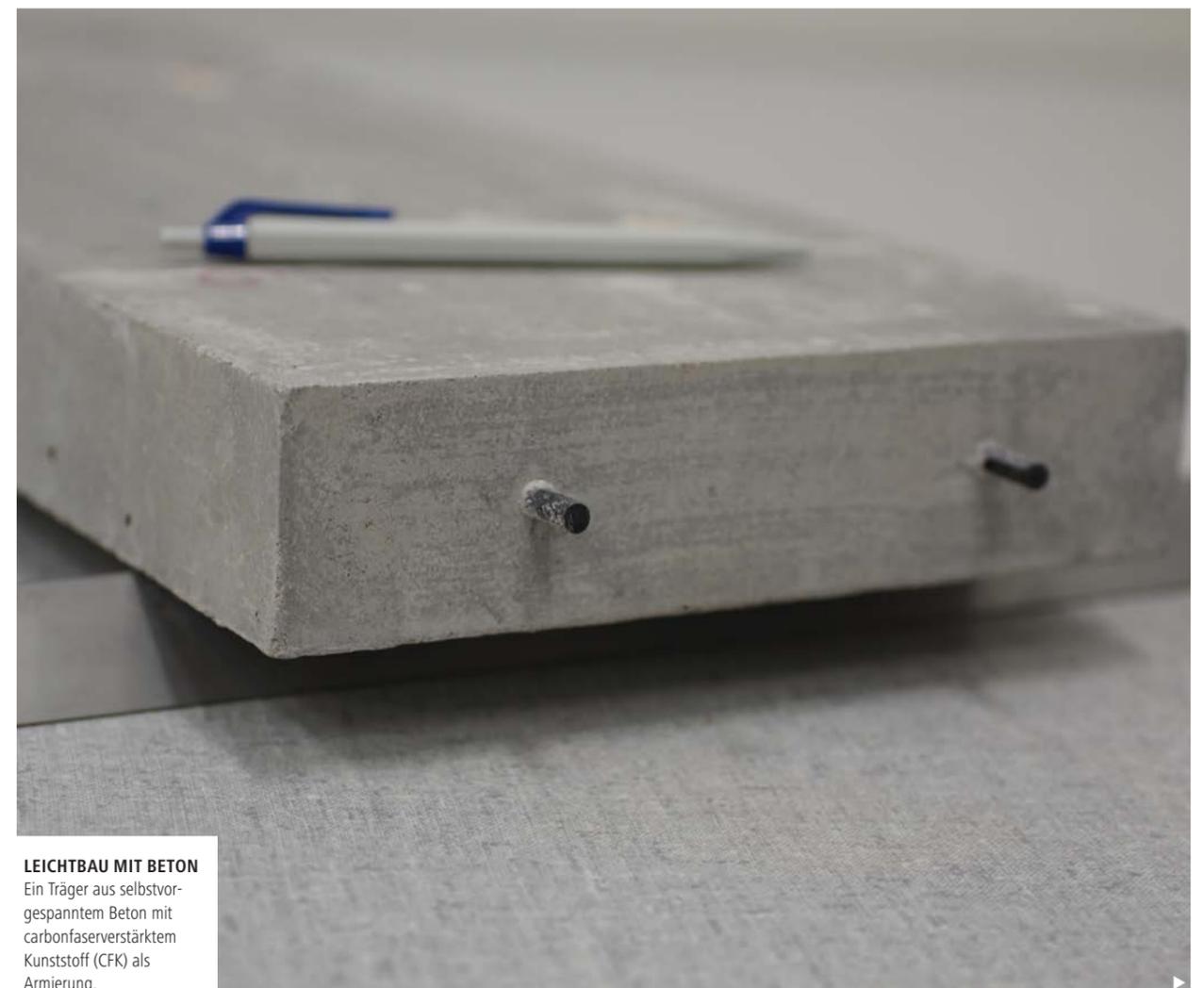
Foto: Empa

Foto: Empa

# SPANNENDER BETON

Beton ist mit Abstand das meistgenutzte Baumaterial der Welt – Tendenz steigend. Mit einer neuartigen Betonrezeptur ist es einem Empa-Team gelungen, selbstvorgespannte Betonelemente herzustellen. Dadurch lassen sich schlanke Strukturen deutlich kostengünstiger bauen – und dabei gleichzeitig Material einsparen.

Text: Stephan Kälin



**LEICHTBAU MIT BETON**  
Ein Träger aus selbstvorgespanntem Beton mit carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) als Armierung.

**W**eltweit werden jährlich über zehn Milliarden Tonnen Beton hergestellt und verbaut. Das ist mehr als alle anderen Baumaterialien zusammen. Zum Vergleich: Bei Stahl und Asphalt – beides ebenfalls sehr häufig genutzte Materialien – liegt die jährliche Produktion bei je rund 1,5 Milliarden Tonnen. Auch wenn die verursachten Emissionen und die benötigte Energie bei der Herstellung einer Tonne Beton tiefer sind als bei anderen Baumaterialien, haben die riesigen Mengen einen erheblichen Einfluss auf die globale Umweltbelastung. Hauptverantwortlich ist dabei Zement, das Bindemittel im Beton. Für die vier Milliarden Tonnen Zement, die jährlich benötigt werden, wird knapp drei Prozent der weltweiten Primärenergie aufgewendet. Ausserdem ist die Zementproduktion für bis zu acht Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Schätzungen zufolge könnte die jährliche Produktion von Beton und Zement aufgrund der wachsenden Nachfrage in Entwicklungsländern bis 2050 sogar noch um weitere 50 Prozent ansteigen. Ein Ersatz für Beton ist dabei nicht absehbar: Dazu bietet der Baustoff schlicht zu viele Vorteile. Die Zahlen machen deutlich, dass ein nachhaltiger Umgang mit Beton – von der Produktion über den sparsamen Materialeinsatz bis zum Abbruch und Recycling – einen enormen Einfluss auf unsere Umwelt und unsere Gesellschaft hat.

#### PATENTE IN EUROPA UND DEN USA

An der Empa werden Methoden entwickelt, wie Beton-Elemente schlanker, aber dennoch langlebig und stabil gemacht werden können, so dass der Materialverbrauch sinkt. Eine Forschergruppe rund um Giovanni Terrasi, Pietro Lura und Mateusz Wyrzykowski hat kürzlich ein europäisches und ein US-amerikanisches Patent erhalten für eine selbstvorspannende Betontechnologie, die dies ermöglicht. Vorspannung kommt in

der Regel dann zum Einsatz, wenn ein Betonelement sehr grosse Lasten aufnehmen muss – zum Beispiel bei Balken, Brücken oder auskragenden Bauteilen. In einer Spannbettvorrichtung werden die Bewehrungen beziehungsweise Spannglieder – meist aus Stahl – vor dem Einbringen des Betons auf beiden Seiten des Elements verankert, unter Zug gesetzt und nach dem Aushärten des Betons wieder gelöst. Die in den Spanngliedern erzeugten Kräfte setzen den Beton dann unter Druckspannung: Das Element wird durch die vorgespannte Bewehrung in seinem Innern quasi von beiden Seiten zusammengezogen – und damit deutlich stabiler. Das Problem: Stahl ist rostanfällig. Aus diesem Grund muss die Betonschicht rund um den Spannstahl eine bestimmte Mindestdicke aufweisen.

«Unsere Technologie eröffnet völlig neue Möglichkeiten im Leichtbau.»

#### CARBONFASERN STATT STAHL

Bereits in den 1990er-Jahren wurde zum ersten Mal carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) anstelle von Stahlarmerungen verwendet. Weil CFK nicht korrodiert, lassen sich dadurch bereits deutlich schlankere Betonbauteile produzieren – mit gleichwertigen statischen Eigenschaften. «Will man diese CFK-Armerungen ebenfalls vorspannen, um damit noch dünner und stabiler bauen zu können, stösst man aber an Grenzen», sagt Wyrzykowski. Es sind sehr teure Spannbettvorrichtungen nötig und die Verankerung von CFK-Stäben ist deutlich komplizierter als diejenige von Spannstahl. Deshalb ist vorgespannter CFK-Hochleistungsbeton noch immer nicht sehr weit verbreitet.

#### EXPANDIERENDER BETON

Dem Empa-Team ist es nun gelungen, auf die Verankerung auf beiden Seiten des Elements komplett zu verzichten, der Beton macht die Arbeit nämlich selbst: Dank einer speziellen Rezeptur dehnt sich der Beton beim Aushärten aus. Durch diese Expansion setzt der Beton die CFK-Stäbe in seinem Innern unter Zug und spannt sie dadurch automatisch vor. In ihren Laborversuchen konnten die Forschenden nachweisen, dass die selbstvorspannten CFK-Betonelemente vergleichbare Lasten tragen konnten wie jene, die mit grossem Aufwand konventionell vorgespannt wurden – und zwar rund dreimal mehr als ein nicht vorgespanntes CFK-Betonelement. «Unsere Technologie eröffnet völlig neue Möglichkeiten im Leichtbau», sagt Wyrzykowski. «Wir können nicht nur stabiler bauen, sondern brauchen dafür auch erheblich weniger Material.» Der Empa-Forscher sieht auch bereits neue Anwendungsfelder: «Wir können sehr einfach gleichzeitig in mehrere Richtungen vorspannen, etwa für dünne Betondecken oder filigrane gekrümmte Betonschalen», meint er mit Blick in die Zukunft. Diese neuen Anwendungen werden nun mit Unterstützung des Industriepartners BASF weiterentwickelt. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s308](http://www.empa.ch/web/s308)



**NEUER BETONMIX**  
Die Empa-Forschenden Mateusz Wyrzykowski und Volha Semianuk untersuchen mit Hilfe von Labortechniker Sebastiano Valvo neue Möglichkeiten für selbstvorspannte CFK-Betonelemente.



Fotos:Empa

# EUROPAS ANTWORT AUF ELON MUSK

Fünf Forschungsinstitute und sechs Industrieunternehmen aus sieben europäischen Ländern suchen – koordiniert von der Empa – in den kommenden vier Jahren gemeinsam nach Lösungen für die Lithium-Ionen-Batterie der nächsten Generation. Partner ist auch die schwedische Firma Northvolt, die in den nächsten Jahren zwei Gigafactories für Fahrzeugbatterien in Europa errichten will.

Text: Rainer Klose



**PROJEKT SeNSE**  
Fahrzeugbatterien der Zukunft müssen in Gigafactories hergestellt werden – Tesla hat dies vorgemacht. So könnte die Gigafactory der schwedischen Firma Northvolt aussehen, die gemeinsam mit der Empa am Forschungsprojekt SeNSE arbeitet.



## DIE KONKURRENZ SCHLÄFT NICHT

**COBRA** Dieses Projekt wird vom Katalanischen Institut für Energieforschung (IREC) geleitet und zielt auf die Entwicklung einer neuartigen Lithium-Ionen-Batterietechnologie mit überlegener Energiedichte, niedrigen Kosten, erhöhten Zyklen und weniger kritischen Materialien ab. Die Wissenschaftler wollen sich auf eine kobaltfreie Kathode und fortschrittliche Silizium-Verbundwerkstoffe als Anode und als Separatormaterial konzentrieren. Drei Universitäten und neun Unternehmen, die die gesamte Wertschöpfungskette abdecken, sind an COBRA beteiligt.

**3BELIEVE** wird vom Austrian Institute of Technology (AIT) geleitet und arbeitet an Zellen der Generation 3b für Elektrofahrzeuge ab 2025 und danach. Das Team wird Lithium-Nickel-Manganoxid als Kathodenmaterial, LiFSI als Elektrolyt und ein Portfolio von internen und externen Sensoren (22 Sensoren pro Modul) verwenden. Die Batterie soll ein adaptives Flüssigkeitskühlungssystem erhalten, das von einem Batteriemanagementsystem mit neuartigen Diagnose- und Betriebsfunktionen verwaltet wird.

**D**er Bedarf an Antriebsbatterien für Elektroautos wird in den nächsten Jahren dramatisch steigen. Gegenwärtig kommen mehr als 90 Prozent dieser Akkus aus Asien. Die EU-Kommission hat daher 2017 die «European Battery Alliance» ins Leben gerufen, um Kompetenz und Fertigungskapazitäten dieser Schlüsseltechnologie in Europa aufzubauen. Alleine die europäische Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien wird 10 bis 20 sogenannte «Gigafactories» – Grossproduktionsanlagen für Batterien – notwendig machen, so schätzen Experten.

Fotos: Northvolt AB

## GENERATION 3B

Die Forschung im Rahmen des Projekts SeNSE ist Teil dieser Initiative «European Battery Alliance» und wird vom EU-Forschungsförderprogramm Horizon 2020 getragen. Die elf Forschungspartner von SeNSE – fünf Forschungsinstitute und sechs Industrieunternehmen – forschen in ihren Arbeiten an Lithium-Ionen-Batterien der nächsten Generation – der sogenannten «Generation 3b». Im Unterschied zu aktuellen Antriebsbatterien wird diese nächste Generation eine höhere Energiedichte, sowie eine verbesserte Zellchemie und ein verbessertes Batteriemangement besitzen:

Statt Anoden aus reinem Graphit werden solche aus Silizium-Graphit-Composites angestrebt. In der Kathode wird der Anteil an kritischem Kobalt weiter gesenkt. Neue Additive in der Elektrolytflüssigkeit sowie Schutzschichten sollen die Batterie langsamer altern lassen und mehr Ladezyklen möglich machen. Zu einer längeren Lebensdauer und besseren Schnelladefähigkeit werden auch neue Sensoren beitragen, die vom Inneren der Batteriezellen her Daten ans Batteriemangement liefern. Diese Daten sollen ein deutlich verfeinertes Temperaturmanagement im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen erlauben.

**SERIENPRODUKTION UND RECYCLING**

Die Nachhaltigkeit der Generation 3b-Zellen soll die heutige Generation ebenfalls übertreffen: Die Kathode soll ohne den Einsatz von brennbaren und toxischen Lösungsmitteln hergestellt werden, was die Serienproduktion der Zellen stark vereinfacht und verbilligt. Alle Aspekte der SeNSE-Forschung sind darauf ausgerichtet, die Zellen der nächsten Generation in europäischen Gigafactories herzustellen. Um im Wettbewerb der Zukunft zu bestehen, sind deshalb besonders kostengünstige und Rohstoff sparende Produktionsmethoden entscheidend. Auch die Weiterverwendung gealterter Fahrzeugbatterien als stationäre Speicher und schliesslich das Recycling der Batterien wird im Projekt SeNSE berücksichtigt. Forschungspartner der Empa (CH), die das Projekt leitet, sind die Westfälische Wilhelms-Universität Münster (D), das Forschungszentrum Jülich (D), die Coventry University (UK), das Austrian Institute of Technology (A) sowie die Firmen

«Gemeinsam mit vier anderen Forschungsinstituten und sechs Industrieunternehmen forschen wir an Lithium-Ionen-Batterien der nächsten Generation.»

Solvionic (F), FPT Motorenforschung (CH), Lithops (I), Northvolt (S), Enwires (F) und Huntsman Advanced Materials (CH).

**AUF DEM WEG ZUR GIGAFACTORY**

Eine entscheidende Rolle in dem Forschungsprojekt spielt die schwedische Firma Northvolt. Das Unternehmen wurde 2016 von zwei ehemaligen Tesla-Mitarbeitern mitgegründet, die am Bau der Tesla Gigafactory in Nevada (USA) beteiligt waren. Northvolt plant derzeit die erste europäische Gigafactory mit einer Fertigungskapazität von 32 GWh pro Jahr, die in Schweden errichtet werden soll. Eine weitere Gigafactory mit 16 GWh Jahresproduktion soll

als Joint-Venture mit Volkswagen in Salzgitter (D) entstehen. Zum Vergleich: die Tesla Gigafactory in Nevada produziert nach Angaben des Managements derzeit rund 30 GWh Batterien pro Jahr.

Experten von Northvolt werden die SeNSE-Forschenden mit regelmässigen Briefings begleiten. Am Ende des Projekts soll eine Reihe von Batteriezell-Prototypen entstanden sein. Die Fähigkeiten der Batteriezellen-Generation 3b wird ein Demonstrator mit 1 kWh Speicherkapazität beweisen. Am Schluss soll die entwickelte Fertigungstechnologie in Form von Patenten den Weg in die Industrie finden. Das Forschungsprojekt SeNSE endet nach 48 Monaten im Frühjahr 2024.

**FESTKÖRPERBATTERIEN – GENERATION 4B**

Das Team von Corsin Battaglia an der Empa ist an einem weiteren europäischen Forschungsprojekt beteiligt: Das Projekt namens SOLIDIFY blickt noch weiter in die Zukunft und entwickelt Batterien der übernächsten Generation – sogenannte Festkörper-Lithium-Metall-Batterien. Im Unterschied zu heutigen Lithium-Ionen Batterien und denen der Generation 3b werden diese Festkörperbatterien keine flüssigen, feuergefährlichen Bestandteile mehr enthalten. Daher sind sie sicherer und resistenter gegen Hitze. Sie können also höhere Leistung abgeben, schneller geladen und entladen werden.

Diese Batterien – genannt Generation 4b – könnte nach Meinung der Experten in etwa zehn Jahren marktreif sein. Sie sollen bei halbem Gewicht und der Hälfte der Baugrösse die gleiche Speicherkapazität liefern wie heutige Lithium-Ionen-Batterien. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s501](http://www.empa.ch/web/s501)

Foto: Empa



**FORSCHUNGSPROJEKT**  
Das EU-Forschungsprojekt SeNSE mit insgesamt elf Partnern wird von Ruben-Simon-Kühnel, Stephan Fahlbusch und Corsin Battaglia (rechts) koordiniert.

# FRISCHER WIND FÜR UMWELT UND WIRTSCHAFT



**PROTOTYP**  
Ein TwingTec Prototyp TT100 landet am Ende eines Arbeitstages automatisch auf seinem Container.

Die Stiftung Solar Impulse sucht 1000 Lösungen, welche die Wirtschaft voranbringen sollen – und gleichzeitig die Umwelt schützen. Das Empa-Spin-Off Twingtec hat es auf die Liste geschafft: Es ist nun Teil der #1000solutions der Solar Impulse Foundation von Bertrand Piccard.

Text: Rainer Klose

Nach dem ersten erfolgreichen Solarflug um die Welt haben Bertrand Piccard und die Stiftung Solar Impulse die zweite Phase ihrer Aktion gestartet: die Auswahl von 1000 Lösungen (#1000solutions), die die Umwelt auf profitable Weise schützen können.

Bislang haben fünf Lösungen aus der Schweiz das Label erhalten, darunter zwei, die nach der jüngsten Auswahl im März nominiert wurden. Das Empa-Spin-off Twingtec ist ebenfalls Teil der 1000solutions-Liste der Stiftung Solar Impulse.

**WINDENERGIE 2.0**

Zur Förderung der Windenergie 2.0 entwickelte TwingTec eine innovative

und nachhaltige Energiequelle, die die volle Kraft des Windes nutzt. Herkömmliche Windturbinen sind jedoch in ihren Möglichkeiten begrenzt, was sowohl wirtschaftlich als auch technisch ihr Verbreitungspotential einschränkt.

TwingTec füllt diese Lücke, indem es eine neue Windenergietechnologie anbietet, die gegenüber Windkraftanlagen entscheidende Vorteile bietet. TwingPower setzt auf einen minimalen Materialeinsatz (es wird kein Turm und kein Fundament benötigt), die kompakten und mobilen Einheiten können schnell und einfach aufgestellt werden, es können grössere Höhen und stärkere Winde erreicht werden, ebenso wie die starken Offshore-Winde über grösseren Wassertiefen, bei denen das Potenzial

für Europa allein auf 4 TW geschätzt wird. TwingPower ermöglicht neue Standorte für die Windenergie, höhere Auslastungsfaktoren von bis zu 60% und mehr, die den Bedarf an Speicherung reduzieren und die Möglichkeit bieten, die Kosten der Windenergie auf weniger als die Hälfte zu senken

Das Ziel von TwingTec ist es, den Übergang zu nachhaltiger Energie zu beschleunigen, indem die volle Kraft des Windes genutzt wird, ein Schlüsselement einer zu 100 Prozent erneuerbaren Welt. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.twingtec.ch](http://www.twingtec.ch)

Foto: Twingtec

# GESUCHT: DIE NÄCHSTE SUPERBATTERIE

Der Bedarf an Batteriespeichern für erneuerbare Energien wird in Zukunft massiv steigen. Könnten wir neben den bekannten Lithium-Ionen-Batterien auch umweltfreundlichere Modelle bauen, um wertvolle Ressourcen zu sparen?

Text: Rainer Klose



## ÖKOSTROM

Speicherbatterien müssen preisgünstig und umweltfreundlich herzustellen sein. Grösse und Gewicht sind weniger wichtig.

Die Weltwirtschaft verlangt nach immer mehr Lithium-Ionen-Batterien. Elektroautos sind darauf angewiesen, ebenso Laptops, Smartphones und elektrische Werkzeuge für den Baubereich und den Heimwerkersektor. Bald wird ein weiterer Bereich hinzukommen, der im grossen Stil aufladbare Batterien benötigt: die Speicherung von erneuerbaren Energien, die nicht direkt genutzt werden können. Die wachsenden Mengen an temporär verfügbarem Ökostrom können nicht mehr allein in Pumpspeicherkraftwerken gespeichert werden – das lässt schon das überlastete Stromnetz kaum noch zu. In vielen Weltregionen sind

Pumpspeicherkraftwerke aus Mangel an Wasser und geeigneten Gebirgsformationen ohnehin nicht machbar.

Der Bedarf an preisgünstigen, ortsfesten Speicherbatterien wird also kräftig steigen. Sie sollten zudem möglichst aus umweltfreundlichen Materialien gebaut sein, um die Weltvorräte an Lithium, Kobalt und anderen teuren Metallen nicht noch weiter zu belasten – diese Substanzen stecken in Lithium-Ionen-Akkus.

Die Empa- und ETH Zürich-Forscher Kostiantyn Kravchyk und Maksym Kovalenko haben sich mögliche Alternativen zum Lithium-Ionen-Akku genauer angeschaut. Sie haben Dut-

zende Veröffentlichungen von Forschungsgruppen weltweit studiert und systematisch eigene Versuche angestellt. Ihre Einschätzungen wurden Anfang des Jahres u.a. im Fachblatt «New Journal of Chemistry» veröffentlicht.

## WEG VOM LITHIUM – HIN ZUM NATRIUM?

Eine der einfachsten Ideen wäre es, Lithium durch Natrium zu ersetzen. Es ist alles andere als rar: Natriumchlorid findet sich im Meerwasser und ist überall auf der Welt zugänglich. Doch damit hören die Vorteile schnell einmal auf. Weil ein Natrium-Ion rund 50 Prozent grösser ist als ein Lithium-Ion sind die Materialien an der Kathode elektrochemisch weniger stabil. So hält etwa Natrium-Kobaltoxid

(das dem Lithium-Kobaltoxid in einem handelsüblichen Lithium-Ionen-Akku entspricht) sehr viel weniger Ladezyklen aus. Damit wäre der Kostenvorteil dahin.

Auch auf der Gegenseite der Batterie, beim Anodenmaterial gibt es Probleme. Graphit (wie beim Lithium-Ionen-Akku) ist für Natrium-Batterien unbrauchbar, denn es speichert zu wenige Natrium-Ionen. Versuche mit preisgünstigem Zinn, Antimon oder Phosphor ergaben zwar gute Ergebnisse beim Speichern von elektrischen Ladungen, doch beim Aufladen bläht sich die Anode auf das Dreifache ihres ursprünglichen Volumens auf. Das beeinträchtigt die mechanische Stabilität: Bei Erschütterungen kann das

geblähte Material leicht zerfallen, die Batterie wäre kaputt. Bei Phosphor-Anoden gibt es ein noch gravierenderes Problem: Beim Aufladen entsteht in der Anode Natriumphosphid ( $\text{Na}_3\text{P}_7$ ), das zusammen mit Wasser Monophosphan ergibt, ein extrem giftiges Gas, das zu Atemstillstand führt. Auf die gleiche Weise wirken auch Metallphosphide, die als Rattengift eingesetzt werden. Kaum jemand dürfte eine solche Batterie, vollgeladen mit Solarstrom, in seinem Keller haben wollen.

## WIE WÄRS MIT MAGNESIUM?

Auf Natrium folgt im chemischen Periodensystem Magnesium. Es ist ein kleines, leichtes Atom und kann zwei Elektronen

auf einmal übertragen. Magnesium ist günstig und ungiftig. Könnte man daraus Batterien bauen? Auf der Anoden-Seite der Batterie bringt Magnesium in der Tat Vorteile: Man braucht kein Graphit (wie bei Lithium-Ionen-Batterien), sondern kann metallisches Magnesium direkt als Anode einsetzen.

Doch das kleine, zweifach geladene Magnesium-Ion bringt Nachteile auf der Kathoden-Seite mit sich. Die hohe elektrische Ladung auf kleinem Durchmesser führt zu hohen elektrischen Anziehungskräften. So schlüpft das Ion nur mit hohem Kraftaufwand in ein Gitter aus Kobaltoxid, und wenn es dort steckt, ist es nur noch schwer wie-

der herauszuholen. Wer es mit Gewalt versucht – also mit höheren Spannungen – läuft Gefahr, Oxidations- und Reduktionsprozesse in den chemischen Bestandteilen der Batterie auszulösen und sie damit zu zerstören. Solche Batterien sind also nicht schnellladefähig und nur in einem kleinen Spannungsbereich nutzbar, wenn sie lange halten sollen. Sie sind auch sehr ineffizient, denn durch ihre widerspenstige Chemie brauchen sie besonders hohe Ladeströme.

### ALUMINIUM-GRAPHIT-BATTERIEN

Geht man im Periodensystem vom Magnesium noch einen Schritt weiter nach rechts, landet man bei Aluminium. Auch dieses Metall ist in grossen Mengen verfügbar, ungiftig und günstig. Es kann drei Elektronen übertragen. Ähnlich wie bei der Magnesium-Batterie ist die Anode leicht zu bauen; ein Aluminium-Blech genügt.

Doch der Rest einer Aluminium-Batterie funktioniert grundlegend anders als eine Lithium-Ionen-Batterie: Bei Lithium-Ionen-Akkus spricht man vom Schaukelstuhl-Prinzip (engl. rocking chair principle). Beim Entladen wandern die Lithium-Ionen von der Anode zur Kathode, beim Laden wandern sie zurück. Bei einer Aluminium-Graphit-Batterie hingegen wandern die Aluminium-Ionen nicht auf direktem Weg zwischen Anode und Kathode hin und her. Vielmehr werden beim Laden Bestandteile der Elektrolytflüssigkeit von beiden Elektroden «verbraucht» (siehe Grafik rechts): Der Elektrolyt liefert auf der einen Seite Aluminium, das in Form von Metall an der Anode abgeschieden wird. Auf der anderen Seite der Batterie werden der Elektrolytflüssigkeit  $AlCl_4^-$ -Ionen entzogen und in die Graphit-Anode eingelagert.

Die verfügbare Menge an Elektrolyt ist also entscheidend für die Kapazität der Batterie. Auf Grund dieses che-

mischen Funktionsprinzips wird eine Aluminium-Graphit-Batterie immer etwa fünf Mal schwerer sein als eine vergleichbare Lithium-Ionen-Batterie.

Zusätzlich ergibt sich ein weiteres Problem: Die Graphit-Kathode bläht sich bei jedem Ladevorgang auf mehr als das doppelte ihres ursprünglichen Volumens auf und schrumpft beim Entladen wieder. Das bedeutet: Auf jeden Fall brauchen solche Batterien flexible Aussenhüllen und Schutzgehäuse mit ausreichend Raum zum «Atmen». Das Aufblähen und Schrumpfen wirkt sich nachteilig auf die Erschütterungsfestigkeit und die Langzeitstabilität aus. Hier sind neue konstruktive Lösungen erforderlich.

### NEUES BATTERIEMANAGEMENT

Eine zusätzliche Herausforderung ist der Lade-Algorithmus für solche Nicht-Lithium-Ionen-Batterien. Die Forschungsgruppe um Kravchyk und Kovalenko fand heraus, dass sich die Leistung einer Aluminium-Graphit-Elektrode durch geschicktes, stufenweises Aufladen um bis zu 25 Prozent steigern liess. Eine internationale Forschergruppe aus Taiwan, China, den USA und Deutschland entdeckte, dass solche Elektroden deutlich leistungsfähiger sind, wenn sie auf  $-10$  Grad Celsius abgekühlt werden. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass für die chemisch völlig andersartigen Batterien ein völlig neues Batteriemangement, also neue Sensoren, Ladegeräte und -algorithmen entwickelt werden muss.

Noch ist unklar, welche der hier beschriebenen Batterie-Technologien sich durchsetzen wird und in einigen Bereichen die Lithium-Ionen Akkus ersetzen kann. Die Forscher betonen in ihrer Analyse auch, dass keine der vorgestellten Technologien bezüglich Energiedichte mit Lithium-Ionen-Akkus mithalten kann. Sehr wahrscheinlich wird das auch in Zukunft so bleiben. Diese Alternativ-Batterien

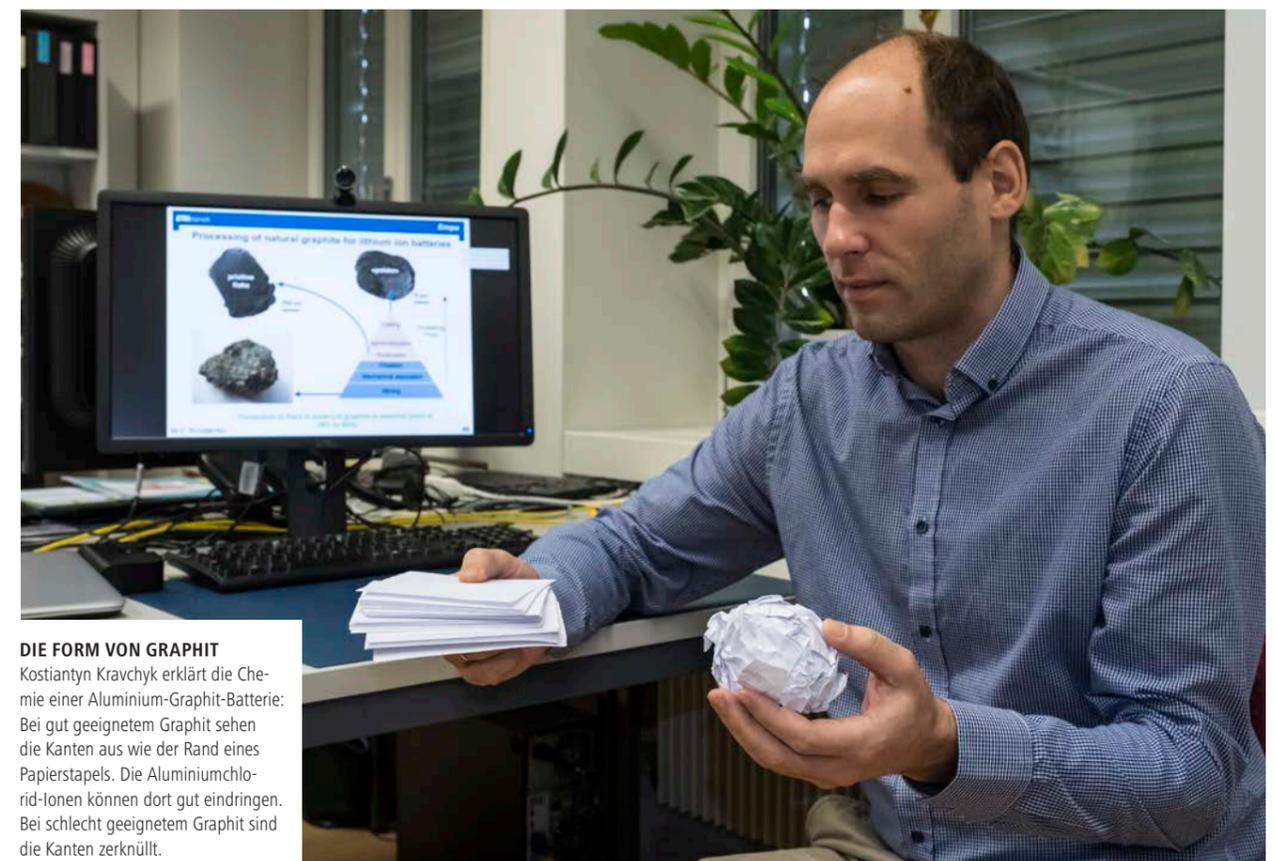
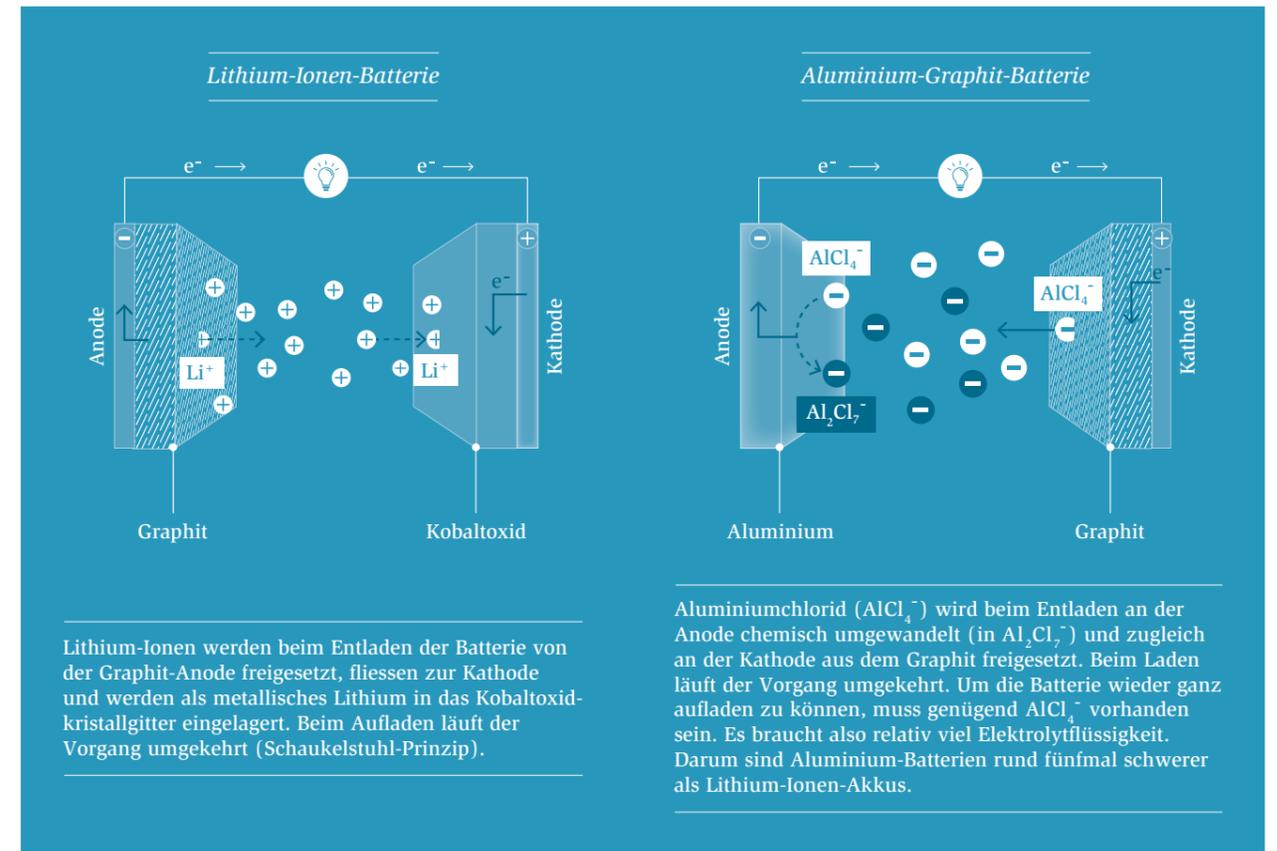
sind deshalb nur für Anwendungen denkbar, bei denen Elektrizität möglichst preisgünstig gespeichert werden soll und der Fokus auf der umweltfreundlichen Herstellung der Batterien liegt.

### MEHR ANWENDUNGSNAHE FORSCHUNG NÖTIG

Bis zum Durchbruch alternativer Batterien gibt es für die Forschungsgruppen weltweit also noch viel zu tun. Kostiantyn Kravchyk und Maksym Kovalenko wünschen sich einen ganzheitlicheren Ansatz. «Oft wird in der Forschungswelt mit einem Experiment nur die Machbarkeit einer Idee bewiesen – die Kosten für alle nötigen Bauteile und das voraussichtliche Gesamtgewicht des kompletten Batteriesystems werden dagegen oft vernachlässigt», sagt Kravchyk. Genau diese Parameter seien aber entscheidend für eine mögliche Kommerzialisierung. «Sie sollten daher bei Forschungsarbeiten stärker berücksichtigt werden als bisher.»

Trotz ihrer einigermaßen ernüchternden Studie wird Kostiantyn Kravchyk auch in Zukunft weiter an alternativen Speicherbatterien forschen. «Systeme mit Graphit als Kathode bleiben weiterhin sehr interessant. Wir konnten bereits zeigen, dass auch das Schwellen und Schrumpfen des Kathodenmaterials ein durchaus überwindbares Problem ist. Mit seinen Kolleginnen und Kollegen erforscht er nun «halb feste» Graphit-Elektroden, die lange halten und zugleich Strom gut übertragen können. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s207/materials-for-batteries](http://www.empa.ch/web/s207/materials-for-batteries)

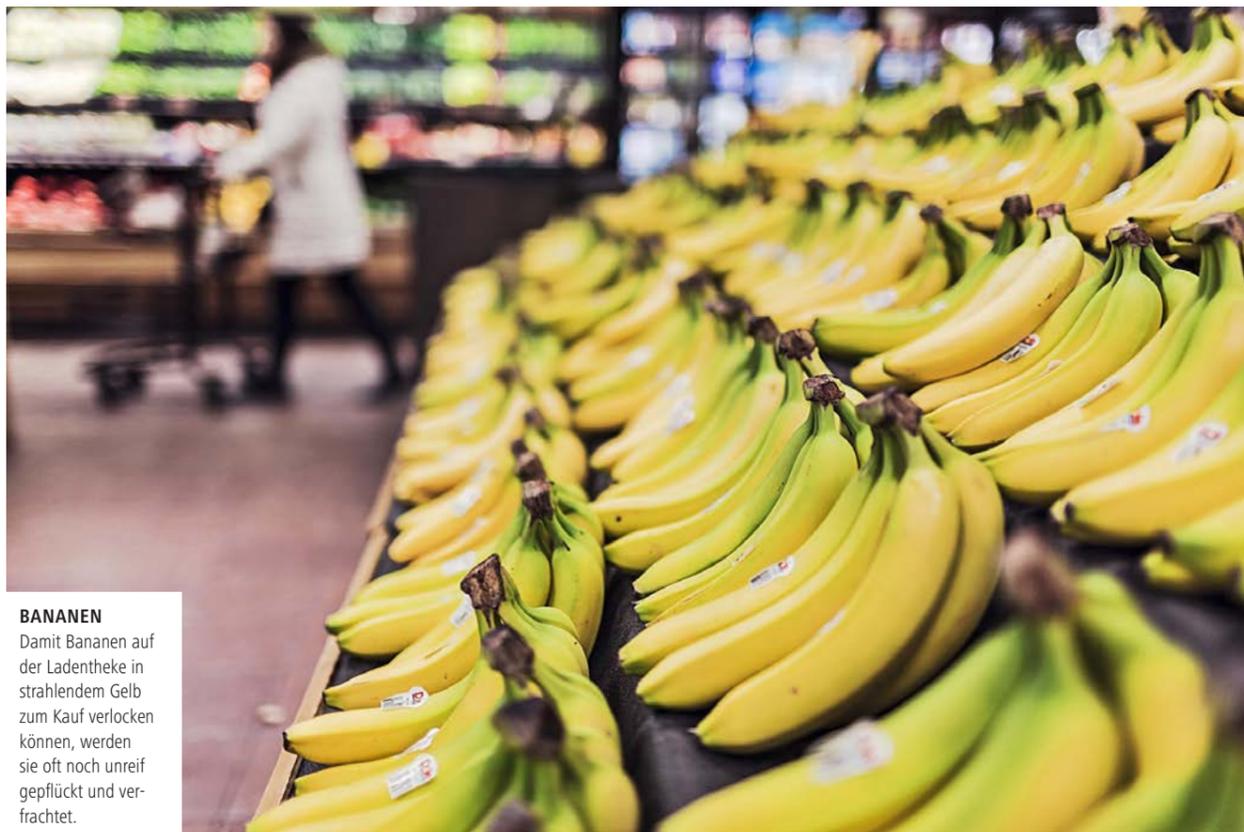


Grafik: Hug & Dorfmueller Design AG, Foto: Empa

# PLATIN HÄLT FRÜCHTE LÄNGER FRISCH

Werden verschiedene Gemüse- und Früchtesorten zusammen gelagert, so beeinflussen sie sich im Reifeprozess gegenseitig. Schuld daran ist Ethen, das von einigen pflanzlichen Lebensmitteln abgegeben wird und die Fruchtreife beschleunigt. Um eine übermässige Verschwendung von Lebensmitteln durch die beschleunigte Reifung zu verhindern, entwickeln Forschende der Empa und der ETH Zürich einen neuen Katalysator, der das Pflanzenhormon in Wasser und Kohlenstoff zersetzt.

Text: Mara Hausammann



## BANANEN

Damit Bananen auf der Ladentheke in strahlendem Gelb zum Kauf verlocken können, werden sie oft noch unreif gepflückt und verfrachtet.

**G**elb bleiben die frisch gekauften Bananen im vollen Fruchtkorb nie lang. Schon einige Tage später nehmen die Früchte eine braune Farbe an und werden eher weggeworfen als gegessen. Grund für diese beschleunigte Reifung ist der Stoff Ethen. Durch seinen gasförmigen Aggregatzustand funktioniert Ethen nicht nur als Botenstoff innerhalb einer Frucht, sondern beeinflusst auch andere Früchte in der Nähe. So löst das Pflanzenhormon eine wahre Kettenreaktion aus, indem er in anderen Pflanzen und Früchten ebenfalls die Produktion von Ethen anregt. Mehr Ethen bedeutet eine schnellere Reifung. Äpfel, die zum Beispiel besonders viel Ethen abgeben, sorgen dann bei Früchten wie Bananen, die besonders empfindlich auf den Stoff reagieren, zu einer vorzeitigen Reifung. Früchte lassen sich weniger lange lagern – das führt nicht nur im Kühlschrank zu Hause zum unnötigen Wegwerfen, sondern auch in der Lieferkette vom Importeur über den Grosshandel bis zum Einzelhandel.

## EIN KATALYSATOR FÜR EINE VERLANGSAMTE REIFUNG

Um den Reifeprozess zu verlangsamen, muss Ethen von Früchten und Gemüse ferngehalten werden. Huizhang Guo und Mirko Lukovic, Forscher der Empa und der ETH Zürich, haben hierfür ein Konzept entwickelt, um das Ethen, das von Früchten und Gemüse abgegeben wird, zu zersetzen. Als Grundlage dient eine «delignifizierte» Holzstruktur, die mit einem atomar verteilten Katalysator auf Platin-Basis ausgestattet wird. Holz besteht aus drei Grundstoffen: Zellulose, Hemizellulose und Lignin, der Bindestoff im Holz. Aufbauend auf frühere Forschungsergebnisse lösten die Forscher mit Hilfe einer Säure sowohl Lignin wie auch Hemizellulose aus dem Holz heraus. Dadurch wird das Holz extrem porös und bekommt eine enorm grosse



## HOLZWÜRFEL

Der einfache Holzwürfel, den Mirko Lukovic hier in der Hand hält, bildet die Basis für den neuen Frischhalteprozess.

spezifische Oberfläche. Dadurch wird delignifiziertes Holz zum idealen natürlichen Gerüst für den Platin-Katalysator.

In einem weiteren Schritt wird das delignifizierte Holz in zwei unterschiedliche Lösungen gegeben. Die erste schafft die Basis dafür, dass sich die Platinpartikel später an den Zellwänden des Holzes festsetzen können; in der zweiten befinden sich die Platinpartikel, die dann in die Holzstruktur gelangen. Das Konzept funktioniert ähnlich wie bei einem Dreiweg-Katalysator in Automotoren. Strömt das Ethen nun durch die poröse Struktur, trifft es immer wieder auf die Platinpartikel, die das Pflanzenhormon zu Wasser und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zersetzen. Das Empa-Team konnte zeigen, dass der Katalysator bei einer Raumtemperatur nahezu 100 Prozent des ausgestossenen Ethens zersetzt. Sinkt die Temperatur auf 0 Grad, kann das entstehende Wasser jedoch nicht mehr verdampfen und setzt sich auf dem Katalysator ab. Dadurch wird der chemische Umwandlungsprozess blockiert. Um den Katalysator vom Wasser zu befreien und wieder funktionsfähig zu machen, genügt es, die komplette Struktur alle zwei Stunden für einige Minuten zu erwärmen, sagt Lukovic.

Die Ergebnisse demonstrieren die Funktionsfähigkeit des mit dem Katalysator ausgestatteten delignifizierten Holz. Als nächster Schritt stünde ein Upscaling des Konzepts auf Industriemassstab an, meinen die Forscher. Grössere Prototypen des Katalysators könnten in Kühlschränken und Kühlhäusern verbaut werden und so den Reifeprozess von Früchten und Gemüse verlangsamen. Die Lebensdauer eines solchen Katalysators ist dabei ähnlich lange wie die Nutzungsdauer des Kühlschranks selbst.

## VORREITER BEREITS AUF DEM MARKT

Das Konzept des katalytischen Abbaus von Ethen zur Verlängerung der Haltbarkeit von Obst ist nicht neu; seit 2015 produziert das japanische Unternehmen Hitachi Kühlschränke mit Platinkatalysatoren, um die gelagerten Lebensmittel länger haltbar zu machen. Hitachi verwendet Kieselsäure als Gerüst für die Platin-Nanopartikel. Die Empa-Forschenden haben dieses Konzept optimiert, indem sie ein Gerüst auf Holzbasis entwickelt und eine effizientere Nutzung des (eher teuren) Platinkatalysators erreicht haben. Delignifiziertes Holz ist eine umweltfreundliche und erneuerbare Ressource mit einer bemerkenswert porösen und hierarchischen Struktur. Dadurch können Platin-Nanopartikel mit einer Grösse von 20 Nanometern in einem sehr kleinen Volumen gleichmässig und effizient verteilt werden, um den gewünschten katalytischen Effekt zu erzielen. Zudem vermeidet die an der Empa entwickelte Technologie eine mögliche Kontamination des Lebensmittels mit Platin-Nano-/Mikropartikeln, indem der Katalysator fest auf der Oberfläche der porösen Holzstruktur gebunden wird. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)

Foto: pixabay

Foto: Empa

## BETON- UND ASPHALTFORSCHUNG VERSTÄRKT



**NACHHALTIG**  
Beton und Asphalt sind die beiden meistgenutzten Baustoffe der Welt

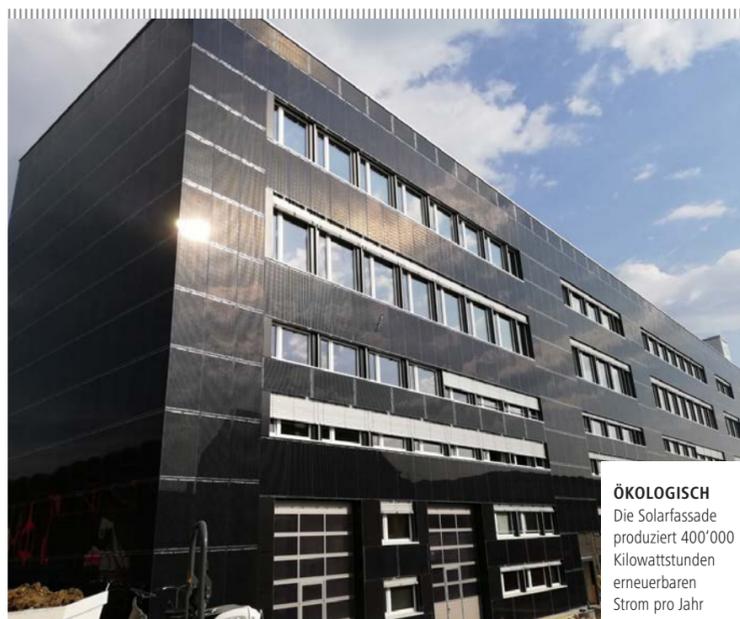
Die neue Abteilung «Beton und Asphalt» verstärkt seit März 2020 die Forschung der Empa im Bereich der Baumaterialien. Innovative Technologien und Materialien für eine nachhaltige Produktion und Nutzung sind gerade in diesen Fachgebieten gefragt, machen doch die beiden Baustoffe mit einem jährlichen Volumen von mehr als 4.5 Milliarden Tonnen den weitaus grössten Anteil aller weltweit verwendeten Materialien aus.

[www.empa.ch/web/s604/abteilung-beton-asphalt](http://www.empa.ch/web/s604/abteilung-beton-asphalt)

## SCHWEIZER SOLARFASSADE BRICHT EUROPAREKORD

Die K3 Immobilien AG und die werke versorgung wallisellen ag (die werke) haben die ertragreichste Fassaden-Solaranlage Europas im Gewerbe-Neubau «K3 Handwerkcity» in Betrieb genommen. Das wegweisende Energiekonzept des Gewerbeparks wird von der Empa wissenschaftlich begleitet. Ziel ist, den Gewerbepark so ökologisch und autark wie möglich zu betreiben.

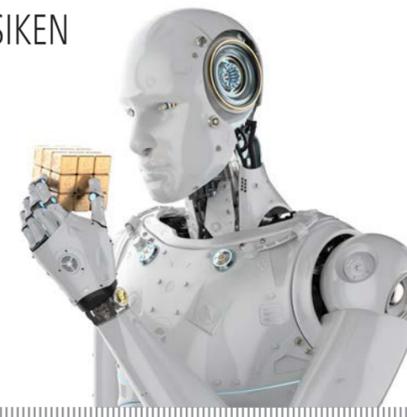
[www.empa.ch/web/s604/k3-building](http://www.empa.ch/web/s604/k3-building)



**ÖKOLOGISCH**  
Die Solarfassade produziert 400'000 Kilowattstunden erneuerbaren Strom pro Jahr

Fotos: iStockphoto, Empa

## CHANCEN UND RISIKEN DER KÜNSTLICHEN INTELLIGENZ



**KLUG?**  
Die Verbreitung künstlicher Intelligenz wirft ethische Fragen auf

Künstliche Intelligenz (KI) wird immer leistungsfähiger und für immer komplexere Aufgaben eingesetzt. Das wirft ethische Fragen auf, etwa wenn mit Hilfe von KI für Menschen entschieden oder über sie geurteilt wird. Ein Team der Empa war massgeblich an einer neuen Studie der TA-SWISS beteiligt, in der Chancen und Risiken der KI für die Gesellschaft untersucht wurden und die am 15. April 2020 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde.

[www.ta-swiss.ch/themen-projekte-publikationen/informationsgesellschaft/kuenstliche-intelligenz](http://www.ta-swiss.ch/themen-projekte-publikationen/informationsgesellschaft/kuenstliche-intelligenz)

## SYNTHETISCHES GAS STATT FOSSILE ENERGIE



**SAUBER**  
Überschüssiger Strom kann in synthetisches Gas umgewandelt werden

Bei der Umstellung unseres Energiesystems auf rein erneuerbare Energiequellen gibt es eine grosse Herausforderung: den Winter beziehungsweise die Versorgungslücke zu dieser Zeit. Die Umwandlung von überschüssigem Sommerstrom in synthetisches Gas bietet einen Weg, wie erneuerbar erzeugte Energie auch im Winterhalbjahr ausreichend zur Verfügung stehen könnte. Zudem könnten damit Langstreckenlastwagen betrieben werden. Der Kanton Zürich unterstützt das Vorhaben mit insgesamt 500'000 Franken aus dem Rahmenkredit zur Unterstützung von Pilotprojekten im Energiebereich.

[www.empa.ch/web/s604/move-mega](http://www.empa.ch/web/s604/move-mega)

## VERANSTALTUNGEN DER EMPA-AKADEMIE

4. SEPTEMBER 2020

**Kurs:** Klebtechnik für Praktiker  
**Zielpublikum:** Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/klebetechnik](http://www.empa-akademie.ch/klebetechnik)  
Empa, Dübendorf

9. SEPTEMBER 2020

**Kurs:** Neue Trends in der Füge-technologie  
**Zielpublikum:** Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/fuegetech](http://www.empa-akademie.ch/fuegetech)  
St. Moritz

28. OKTOBER 2020

**Kurs:** Additive Fertigung von Metallen  
**Zielpublikum:** Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/addfert](http://www.empa-akademie.ch/addfert)  
Empa, Dübendorf

Die komplette Liste der Veranstaltungen finden Sie unter:  
[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

# KOSTENLOSES ABONNEMENT

## Lesen Sie Empa Quarterly

- Printausgabe in Deutsch, Englisch oder Französisch
- E-Paper unter [www.empaquarterly.ch](http://www.empaquarterly.ch)

Empa Quarterly erscheint viermal jährlich und ist kostenlos erhältlich.

Empa  
Redaktion Empa Quarterly  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf  
Schweiz

Geschäftsvorstellung Invia commerciale-risposta  
Envoi commercial-réponse

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir  
Non affrancare

JETZT KOSTENLOS

ABONNIEREN



[www.empa.ch/web/s604/subscribenews](http://www.empa.ch/web/s604/subscribenews)

# Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION

Ja, ich möchte Empa Quarterly kostenlos abonnieren.

Englisch

Deutsch

Französisch

Ich habe eine neue Adresse:

Abonnenten-Nr. \_\_\_\_\_

Anrede

Frau  Herr

Vorname, Name

Firma

Strasse

Postfach

PLZ, Ort

Land

E-Mail

Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology