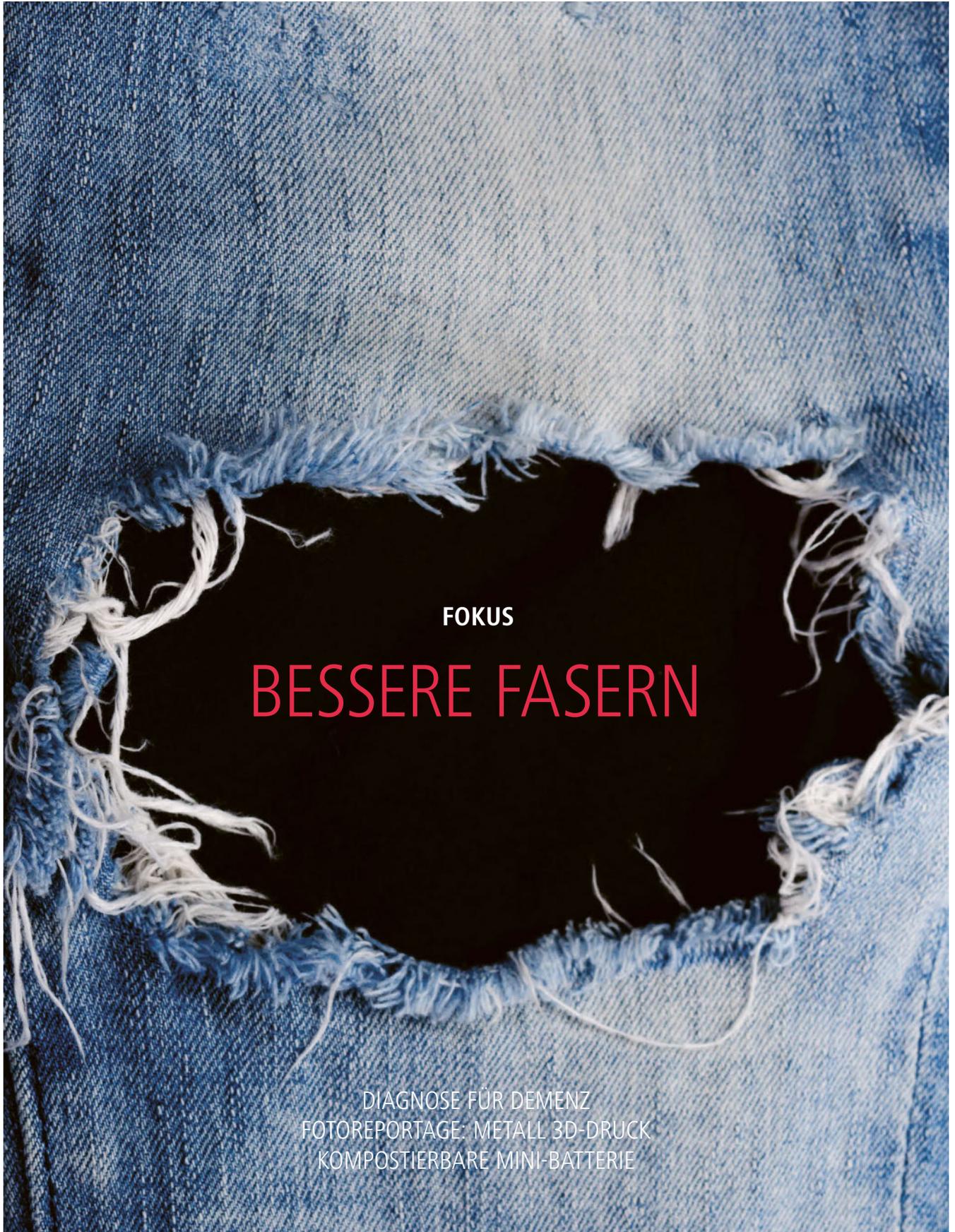


Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #72 II JULI 2021



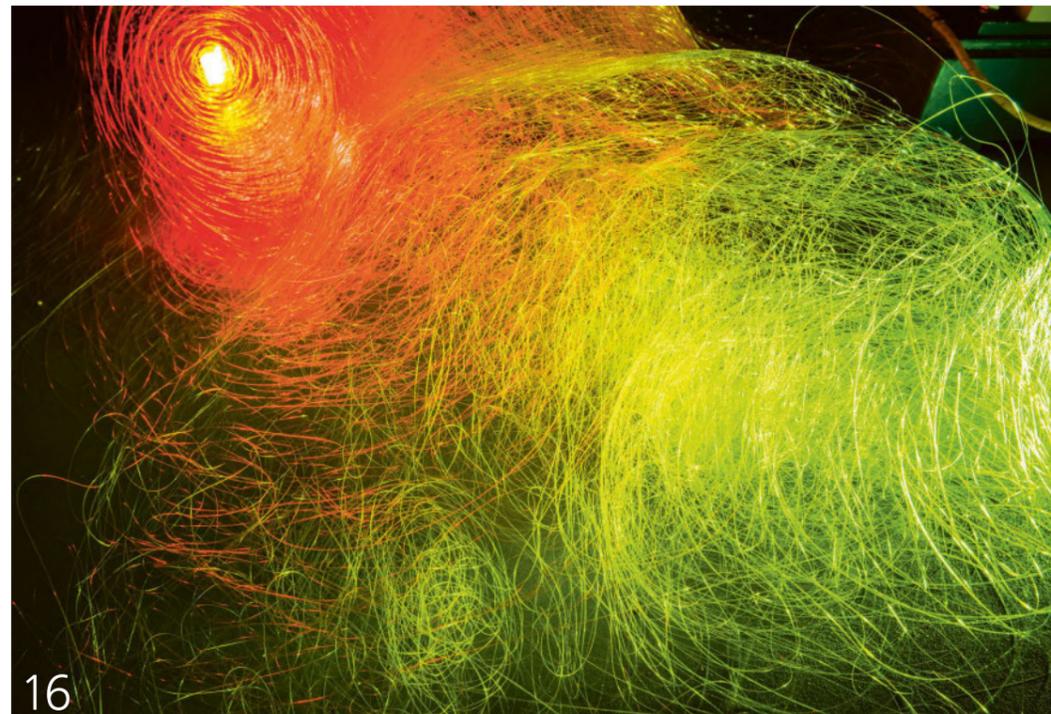
FOKUS

BESSERE FASERN

DIAGNOSE FÜR DEMENZ
FOTOREPORTAGE: METALL 3D-DRUCK
KOMPOSTIERBARE MINI-BATTERIE

[INHALT]

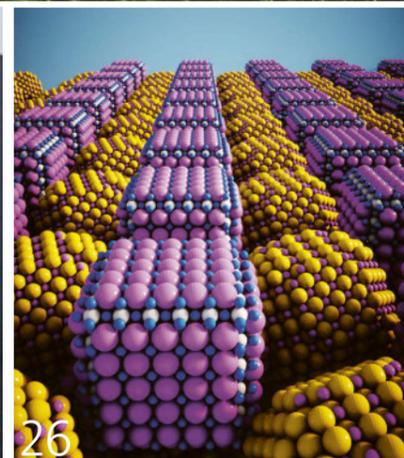
[FOKUS: BESSERE FASERN]



16



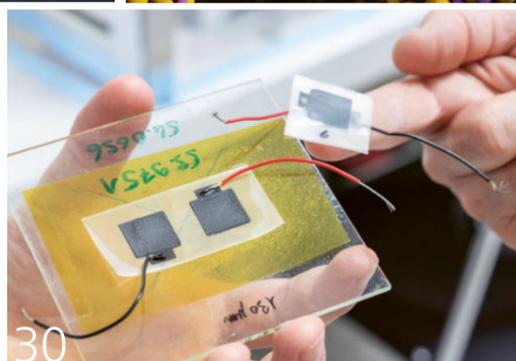
20



26



24



30

[FOKUS]

08 KLEIDUNG

Outdoor-Jacke aus
Recyclingmaterial

11 NACHHALTIGKEIT

Interview mit Umwelt-
expertin Claudia Som

13 DIAGNOSTIK

Ein Sensor-Gurt erspürt
Demenz

16 FASERN

Flüssig gefüllte Fasern
leiten Datenströme

18 FLAMMSCHUTZ

Schutzanzüge aus
angenehmer Baumwolle

[THEMEN]

20 FOTOREPORTAGE

Vom Titanpulver zum
Hüftimplantat

24 ENERGIEWENDE

Kühlaggregate fressen
immer mehr Strom

26 FESTKÖRPER

Mega-Kristalle, die sich
selbst aufbauen

30 BATTERIEN

Kompostierbare
Stromspeicher

32 BETONBAU

Verstärkung durch
vorgespanntes CFK

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

29 GLOSSE

34 UNTERWEGS

3D-DRUCK FÜR PROFIS

Liebe Leserin,
lieber Leser

3D-Druck ist mittlerweile «Mainstream»; auf dem Internet wimmelt es nur so von mehr oder weniger sinnvollen Vorlagen für 3D-Drucker, die es mittlerweile auf fast allen eCommerce-Plattformen gibt. So weit, so langweilig.

Ein medizinisches Implantat, um etwa ein defektes Hüftgelenk zu ersetzen – daran dürften sich wohl die wenigsten Hobby-3D-Drucker wagen. Und das völlig zu Recht, wie unsere Fotoreportage aus dem «Swiss m4m Center» im solothurnischen Bettlach zeigt (ab S. 20). Dort sollen künftig patientenspezifische Implantate Schicht für Schicht aus dem Metallpulverbett entstehen. Ein vielstufiger, äusserst komplexer Prozess, für den enorm viel material- und prozesstechnisches Know-how notwendig ist.

Das «Swiss m4m Center» ist das erste «Advanced Manufacturing Technology Transfer Center», ein schweizweites Netzwerk, das der hiesigen Industrie auf dem Gebiet der fortschrittlichen Fertigungstechnologien – eben «Advanced Manufacturing» – einen technologischen Vorsprung im internationalen Wettbewerb verschaffen soll.

Entstanden ist diese Idee übrigens an der Empa als eine Art Erweiterung unseres «Coating Competence Center». Schön zu sehen, dass dies nun Früchte trägt: Zum m4m-Netzwerk gehören inzwischen knapp 50 Partnerinstitutionen.

Viel Vergnügen beim Lesen und bis zur nächsten Ausgabe!

Ihr MICHAEL HAGMANN

[TITELBILD]



Das Heizen und Kühlen von Gebäuden gehört zu den grössten CO₂-Quellen in der Schweiz. 1,8 Millionen Wohngebäude gibt es. Wenn die Energiewende gelingen soll, müssen die meisten davon saniert werden. Was man tun kann und wie man Prioritäten setzt, zeigt dieses Heft.
Bild: iStockphoto

[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

PRODUKTION

rainer.klose@empa.ch

ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

myclimate
neutral
Drucksache
myclimate.org/01-21-848690



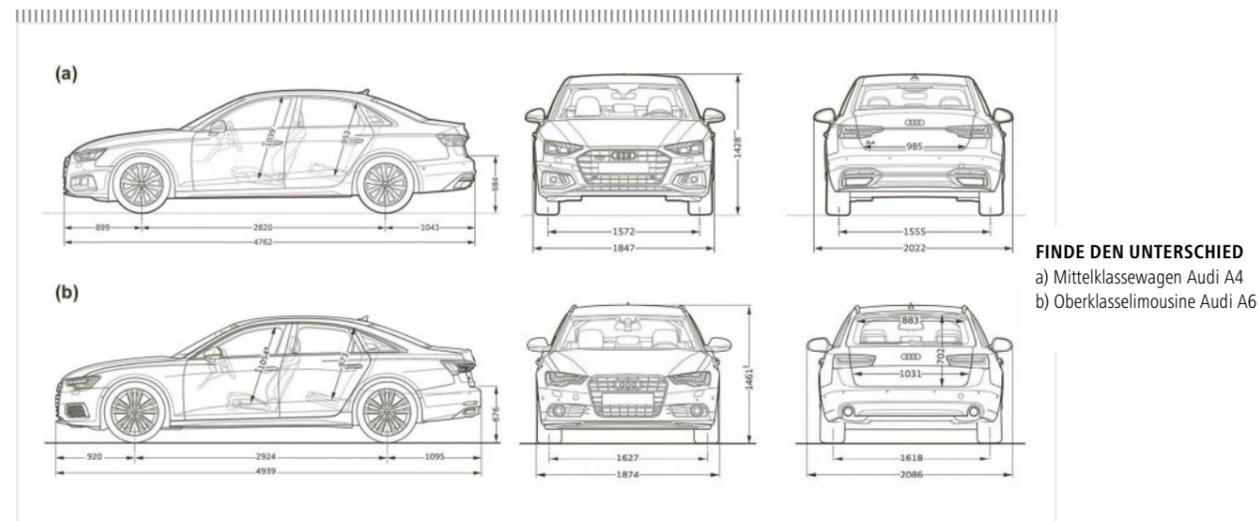


CURRYPULVER? NEIN, TITAN!

Das feine Pulver in diesem Behälter mag Freunden gesunder Gewürze verlockend erscheinen – doch es ist definitiv ungeniessbar: eine Titanlegierung aus feinen Körnchen von durchschnittlich 35 Mikrometern Durchmesser. Im Dienste der Gesundheit steht das Pulver dennoch: Die feinrauen Strukturen, die ein Experte behutsam von Hand freiwischt, sind Oberseiten von medizinischen Implantaten: Hüftpfannen für Menschen, die ein neues Gelenk benötigen. Entstanden sind sie mithilfe von Laserstrahlen, die sie Schicht für Schicht aus dem Pulver gebrannt haben – das Foto zeigt also das Endstadium einer Produktion in einem 3D-Drucker. Mehr zu dieser innovativen Medizintechnologie und ihren Chancen und Tücken erfahren Sie in unserer Fotoreportage ab Seite 20.

Mehr Information zum Thema finden Sie unter:
<https://www.empa.ch/web/s204>

MITTELKLASSE ODER OBERKLASSE?



Um Fahrzeuge beispielsweise für das Mobility-Pricing korrekt in Klassen einteilen zu können, muss man Mittelklasseautos von der Oberklasse und Kleinwagen von Kompaktfahrzeugen klar unterscheiden können. Doch das wird immer schwerer: Ein Audi A4 sieht auf Fotos fast gleich aus wie ein Audi A6, ein Mini One sieht ähnlich aus wie ein Mini Countryman. Bis jetzt werden die Klassen in jedem Land von Experten eingeteilt – zu einem grossen Teil nach eigenem Ermessen. Die Empa-Forscherin Naghmeh Niroomand hat nun ein System entwickelt, das weltweit Autos anhand der Abmessungen klassifizieren kann. Rein mathematisch und fair. Die bisherige Einteilung durch Experten könnte also bald ein Ende finden. Zugleich wären Autoklassen weltweit leichter und objektiver vergleichbar. Denn in Italien ist ein Mittelklassewagen etwas anderes als in den USA.

www.empa.ch/web/s504



DESINFEKTIONSMITTEL
 Die Wirkung von «Disigel» wird derzeit im Labor erprobt.

SCHUTZ VOR KEIMEN – STUNDENLANG

Ein Team der Medtech-Firma Lumendo (VD) und der Empa entwickelt derzeit ein Handdesinfektionsmittel für einen mehrstündigen Schutz. Die Langzeitwirkung von «Disigel» basiert auf einem Gel, das die Haut schont, Keime hingegen abtötet. So soll das Gel vor antibiotikaresistenten Bakterien und Pandemie-Viren schützen. Das Projekt wird von Innosuisse, der schweizerischen Agentur für Innovationsförderung, unterstützt.

www.empa.ch/web/s404

Foto: Johanne Stettler (Innosuisse), Grafik: Audi AG

VOM RÜCKBAU ZUM RE-USE

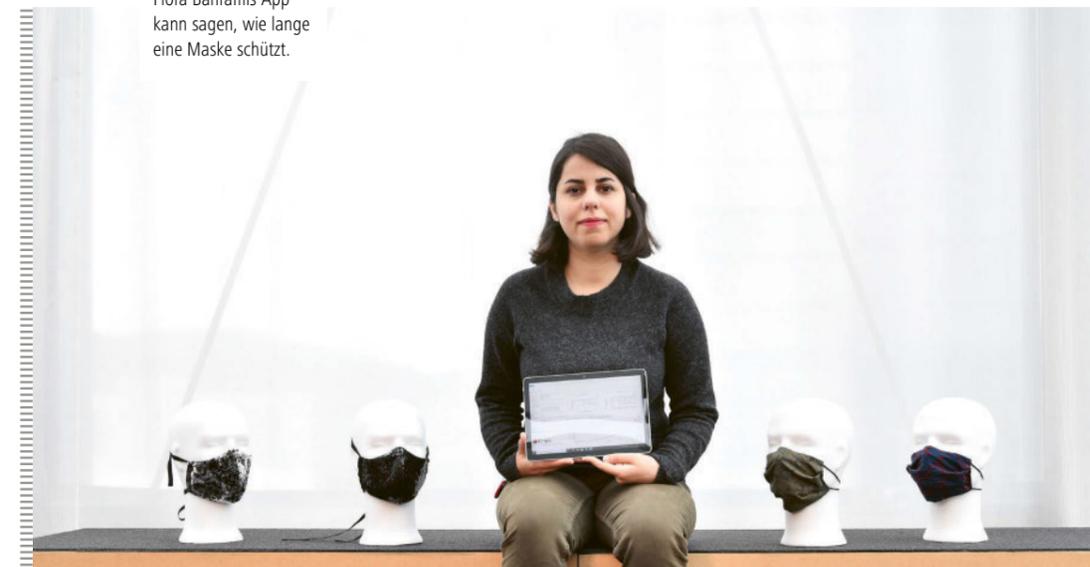
Bauarbeiten im NEST: Mit der neuen Unit «Sprint» entsteht eine Büroeinheit, die grösstenteils aus wiederverwendeten Materialien gebaut sein wird. Damit will «Sprint» zum einen neue Massstäbe für ein kreislaufgerechtes Bauen setzen. Zum anderen ist die Büro-Unit aber auch eine Reaktion auf die COVID-19-Situation, die verdeutlicht hat, dass wir unsere Gebäude flexibler und schneller auf sich ändernde Bedürfnisse anpassen müssen.

www.empa.ch/web/next/sprint



NACHHALTIG
 Die flexiblen Büroräumlichkeiten der neuen Unit «Sprint» werden auf der untersten Plattform des NEST-Gebäudes eingebaut.

VORHERSAGE
 Flora Bahramis App kann sagen, wie lange eine Maske schützt.



MOBILER MASKEN-CHECK

Ob die Corona-Maske im Gesicht in einer bestimmten Situation den Träger ausreichend schützt, wusste bisher nur die Maske selbst. Empa-Forscherin Flora Bahrami hat nun eine App entwickelt, mit der sich die maximale Schutzdauer in der Gegenwart von erkrankten Mitmenschen vorhersagen lässt. Je nach Maskentyp, Ort und Aktivitätsniveau modelliert die App, wie lange die Situation unbedenklich ist. So ergeben sich verschiedene Zeitangaben für den Workout mit hustenden Sportlern im Fitnessstudio oder die Fahrt mit schweigenden Passagieren im Bus. Ebenfalls sichtbar: Wie viele Viren man je nach Maskenart und Aufenthaltsdauer potenziell inhaliert hat. «Maskenhersteller können zudem mit der App die Produktentwicklung optimieren», so Bahrami.

www.empa.ch/web/s401

Fotos: Empa, Martin Zeller

JACKEN AUS JACKEN AUS JACKEN ...

Herstellen, tragen, waschen, verbrennen: Dieser typische Lebenslauf von Kleidungsstücken, der die Umwelt belastet, soll in Zukunft verändert werden – hin zu Kreislauf-wirtschaftlichen Prinzipien mit Recycling. An einer Outdoor-Jacke aus PET-Flaschen und Recyclingmaterial haben Empa-Forschende untersucht, ob das Produkt tatsächlich hält, was die Idee verspricht.

Text: Norbert Raabe



ZWEI VARIANTEN
Blau oder grün? Die Aussenschicht der «Startversion» der neuen Jacke links enthält Polyester aus PET-Flaschen. Die grüne Farbe zeigt, dass Material aus dem Recyclingprozess verarbeitet ist.

Auf den ersten Blick eine normale Regenjacke: drei Schichten Polyester, innen ein Futter, darüber eine wasserdampfdurchlässige Membran und aussen wasserabweisendes Gewebe, mit einer Kapuze. Doch der Reissverschluss lässt stutzen. Statt in Kragenhöhe zu enden, zieht er sich hoch bis über die Stirn – wer würde ihn so weit zuziehen?

Die Erklärung liefert Annette Mark vom Textilhersteller BTK Europe, die an diesem Produkt mitgewirkt hat. Der Reissverschluss soll optisch auffallen und dient vor allem dem Recycling: Festgenäht mit einem Garn, das sich in kochendem Wasser auflöst, lässt er sich leichter entfernen als zwei Verschlüsse. «Einmal ziehen, fertig», sagt die Expertin für Textilien und Recycling. Auch die hellgrüne Farbe entsteht durch Recycling: Das Rohmaterial, ein Granulat aus einem Gemisch unterschiedlicher, aber sortenreiner Textilien, ist dunkelgrün – und das Aufschmelzen und Ausspinnen des Materials für neue Garne hellt es auf.

Magnetknöpfe, Nähte, Säume: Jedes Detail der Jacke folgt dem «Design2Recycle»-Ansatz, wie es auf der Website von «wear2wear» heisst. Zu diesem Konsortium haben sich sechs Firmen aus Europas Textilbranche vereint, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern. Schliesslich enden mehr als 70 Prozent aller weltweit produzierten Textilien auf einer Deponie oder in der Müllverbrennung, ohne recycelt zu werden.

Was kann Kreislaufwirtschaft in dieser Branche ausrichten? Ein Team der Empa-Abteilung «Technologie und Gesellschaft» hat die Jacke und ihre Umweltwirkungen genauer angeschaut – mit Hilfe einer Lebenszyklus-Analyse über eine Gebrauchsdauer von vier Jahren; dreimaliges Waschen eingerechnet.

Fotos: wear2wear



WETTERFEST
Die Gewebestruktur der Outdoor-Jacke im Detail.

MIKROPLASTIKFASERN AUS ...

Textilien aus Polyester sind wegen der Freisetzung von Mikroplastikfasern – etwa beim Waschen – in den Schlagzeilen, was zuweilen als Gefahr für Mensch und Umwelt dargestellt wird. Empa-Fachleute haben Entstehung und Freisetzung von Mikroplastikfasern untersucht. Die Ergebnisse: Fasern werden vor allem an Stoffrändern freigesetzt. Ihre Entstehung und Freisetzung hängt unter anderem von der Art der Faser ab, von Oberflächenbehandlung und der Art des Schneidens. Aus lasergeschnittenen Textilien werden gegenüber anderen beim Waschen deutlich weniger Fasern freigesetzt. Die Empa forscht mit Industriepartnern daran, die Entstehung dieser Fasern bei der Herstellung weiter zu reduzieren. In Schweizer Kläranlagen werden Mikrofasern allerdings grösstenteils aus dem Abwasser entfernt und mit dem Klärschlamm verbrannt.

Die Kandidaten: eine ohne kreislaufwirtschaftliche Methoden produzierte Variante, die «Startversion» der seit 2019 erhältlichen Jacke in blauer Farbe – mit

einer Aussenschicht aus Polyester, das aus dem Material gebrauchter PET-Flaschen stammt – und die grüne Version aus dem nachfolgenden Recycling-Prozess, in der unvermeidliche Materialverluste durch neues Polyester ersetzt sind. Die Analysen der Empa-Forschenden zeigen, dass die Recyclingprodukte besser abschneiden – in elf untersuchten Umweltrisikokategorien, darunter Erderwärmung, Toxizität für Ökosysteme und Wasserknappheit. Auffällig grosse Vorteile zeigen sich etwa bei der Luftverschmutzung, weil ohne Verbrennung weniger Schadstoffe freigesetzt werden. Und bei der Wasserknappheit, vor allem bei der grünen Jacke nach der ersten Recycling-«Schleife», für die keine PET-Flaschen mehr verwendet werden.

Weitere Einsichten aus den Analysen: Beim Treibhauseffekt liegt der maximale Umweltnutzen bei gut 30 Prozent. Und die Verwendung von PET-Flaschen bringt für die Bilanz keine grossen Vorteile. Entscheidend ist dagegen die Zahl der Rezyklierdurchgänge zu immer neuen ▶

Jacken: Die Bilanz verbessert sich von Jacke zu Jacke – vorausgesetzt, die Qualität des Polyesters bleibt hoch genug.

In der Praxis ist das anspruchsvoll, wie Mark erklärt: Je nach Herkunft unterscheidet sich das Rohmaterial teils deutlich. Wurden die Fasern mit bestimmten Hilfsstoffen beschichtet, können die Düsen der Spinnmaschinen verstopfen. Und allgemein sinkt die Qualität mit der Anzahl der Rezyklierungen: unregelmässige Strukturen des Garns und geringere Festigkeit.



WIE ÖKOLOGISCH IST BIO-POLYESTER?

Bisher wurden Kunststoff-Textilien aus Erdöl hergestellt. Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe wie Cellulose könnte die Umweltverträglichkeit unserer Kleidung verbessern. Die Empa-Forscherinnen Tijana Ivanović und Claudia Som haben nun die Umweltauswirkungen von konventionellem Polyester mit denjenigen biologisch basierter Varianten verglichen. Dabei kamen sie zum Schluss, dass lediglich drei der neun Ersatzprodukte eine ähnlich grosse Umweltbelastung wie Polyester erreichen. Die restlichen «Bio-Polymere» schnitten schlechter ab. Der Grund: Die Rohstoffe werden derzeit intensivlandwirtschaftlich produziert, und die Umwandlungsrate vom Rohstoff zur Textilfaser ist nicht effizient – so werden etwa vier Kilogramm Mais für ein Kilogramm Fasern benötigt. Als Nächstes werden die Forscherinnen deshalb alternative Prozesse unter die Lupe nehmen, die beispielsweise Laubblätter nutzen.

Annette Marks Fazit zu den Empa-Analysen: «sehr realistisch» und nützlich für Verbesserungen. «Die Zusammenarbeit war sehr angenehm», sagt sie, «volle Transparenz und keine Kompromisse.» Auch die Forschenden fanden die Kooperation fruchtbar. «Eine offene Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft ist enorm wichtig», sagt Gregor Braun aus dem Empa-Team. «Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft können gut miteinander harmonieren.»

Ob die Jacke ein Markterfolg wird? «Die Textilbranche ist im Umbruch.



WELCHE IST DIE BESSERE FASER?

Bei Textilien, so meinte man bisher, lassen sich umweltfreundliche und -schädliche relativ einfach auseinanderhalten. Polyester galt aufgrund grober Schätzwerte als die Manifestation des Bösen, während man Baumwolle als «gute» Naturfaser sah. Empa-Forscherin Mélanie Schmutz ist nun der Umweltverträglichkeit der Faserproduktion nachgegangen. Ihre Berechnungen zeigen, dass in puncto CO₂-Ausstoss beide Fasertypen gleichauf liegen. Anders beim Wasserverbrauch: Die Faserproduktion für ein Baumwoll-T-Shirt hinterlässt einen Wasser-Fussabdruck von 50 Kubikmetern, was einem 20-m²-Zimmer entspricht, das man bis unter die Decke mit Wasser füllt. Bei Polyester ist es dagegen weniger als ein Kubikmeter. Beim Verbrauch fossiler Brennstoffe steht die Faserproduktion für ein T-Shirt aus Polyester allerdings schlechter da; sie benötigt mit knapp 25 MJ-Äquivalenten so viel wie 2000 AA-Batterien (Baumwolle: 750 AA-Batterien). Fazit: «Wirklich gut oder böse ist keiner der Stoffe. Es hängt von den Anforderungen an die Faser und vom spezifischen Herstellungsprozess ab», so Mélanie Schmutz.

Es findet ein Umdenken statt, das wir nicht verpassen sollten», sagt Annette Mark. Doch Grosskonzerne, die bereits ähnliche Produkte entwickeln, «haben ganz andere Möglichkeiten». Immerhin sind Gespräche mit einem Hersteller von Sportbekleidung im Gange – für eine Fleece-Jacke, bei der auch die Erkenntnisse der Empa helfen könnten.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s506



T-SHIRTS LÄNGER LEBEN LASSEN

Vieles muss ein T-Shirt leisten – Geruch absorbieren, haptisch beeindrucken und eine optische Augenweide sein. Damit aber nicht genug: Empa-Forschende haben nun die Umwelt-Performance eines Baumwoll-T-Shirts untersucht. Die grösste Auswirkung auf die Umweltbilanz hatte dabei die Nutzungsdauer. Demnach haben jene Shirts die Nase vorn, die erst nach 44-maligem Waschen entsorgt werden. Wer bereits nach einer Saison (rund 11-mal waschen) das Hemd an den Nagel hängt, verschlechtert damit den CO₂-Fussabdruck etwa um das 2,5-Fache. Immerhin um rund 30 Prozent steigt der Energieverbrauch des Kleidungsstücks, wenn man es nach jedem Waschen im Tumbler trocknet.

Fotos: Unsplash, Empa

«RECYCLING IST NICHT AUTOMATISCH NACHHALTIG»

Kreislaufwirtschaft und Wiederverwertung in der Textilindustrie: Die Schweiz und die EU wollen nachhaltiges Wirtschaften forcieren. Grundlagen dazu werden an der Empa seit Jahren erforscht. Nachhaltigkeits-expertin Claudia Som äussert sich im Interview zu Chancen, Fallstricken und Ideen für die Zukunft.

Interview: Norbert Raabe

Frau Som, mit Ihren KollegInnen an der Empa haben Sie die Umweltbilanz einer Outdoor-Jacke aus Recycling-Material untersucht (siehe Seite 8). Heraus kam dabei unter anderem, dass die Verwen-

dung von Polyester aus PET-Flaschen keinen grossen Vorteil bringt – für Laien vielleicht überraschend. Hätten Sie das erwartet?

Schon vor unserer Studie hatten wir von Experten aus der Verpackungsindustrie vernommen, dass das «Flaschen-PET» aus Qualitätsgründen besser im Flaschen-Kreislauf bleiben sollte. Es gab sogar Gerüchte, dass findige Unternehmer im Ausland PET-Flaschen gar nicht für Getränke herstellen, sondern um von der hohen Nachfrage nach «Recycling-PET» zu profitieren.



CLAUDIA SOM

Nach ihrem Biologiestudium an der ETH und Universität Zürich hat Claudia Som Mitte der 1990er-Jahre an der Empa die Abteilung Ökologie verstärkt und mit der Durchführung von Ökobilanzen begonnen. Bald darauf baute sie eine Forschungsgruppe zur nachhaltigen industriellen Produktion in Schwellenländern auf. Seit gut zwei Jahrzehnten widmet sie sich der Forschung zu «Nachhaltiger Innovation». Neben zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen hat sie drei Leitfäden als Basis für informierte Entscheidungen in der frühen Innovationsphase für die Industrie veröffentlicht.



Daher muss man genau hinschauen, woher das PET kommt und welche Qualitätsanforderung es für die Recycling-«Loops» erfüllen muss – vor allem, wenn viele Durchgänge erzielt werden sollen. ▶

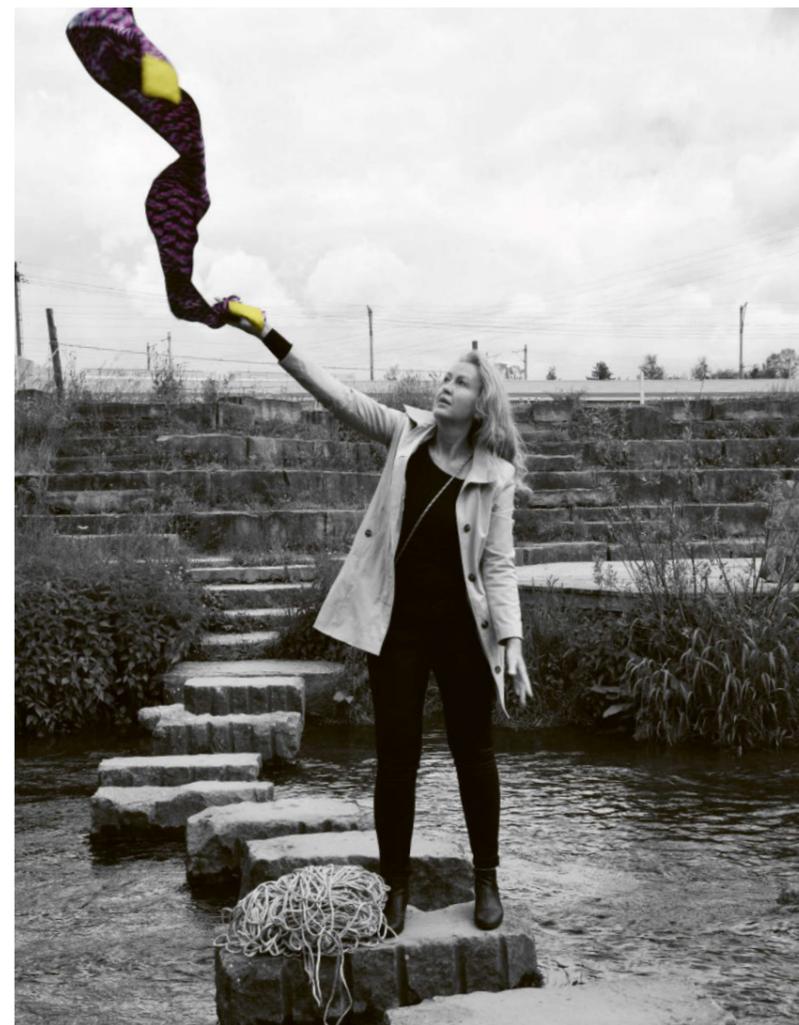


Foto: Empa

Recycling und Kreislaufwirtschaft im Textilbereich ist längst auch in der Politik ein Thema. Sie haben kürzlich eine Umfrage unter Schweizer Textilfirmen gemacht, um das Potenzial zu erkunden. Was waren Ihre Erkenntnisse?

Die Idee, die Produktionsabfälle in der Textilindustrie genauer anzuschauen, kam uns bei einem Firmenbesuch. Obwohl die Firma versucht hat, Abfälle zu reduzieren und eine sinnvolle Weiternutzung zu finden, landete ein grosser Teil von hochwertigen Materialien in der Kehrlichtverbrennung. Oft bleiben Unternehmen auch im Ungewissen, was Abnehmer mit dem Material tun. Interessant für uns war, dass auch Designer beitragen können, Produktionsabfälle zu vermeiden – zum Beispiel indem sie Farbabweichungen tolerieren.

Der grösste Teil der Kleidung landet heute am Ende der Lebensdauer in der Verbrennung oder auf einer Deponie – ungenutzt. Wie hoch schätzen Sie das Potenzial für Recycling ein?

Aus unseren Kontakten zur Schweizer und europäischen Industrie haben wir gelernt, dass erfolgreiches Recycling davon abhängt, wie gut man Zusammensetzung und Qualität des Materials kennt. Ausserdem braucht es genügend grosse Mengen, damit die Prozesse wirtschaftlich werden. Unsere Kleidung aus zum Teil wilden Materialmischungen und die «Fast fashion» mit tiefer Materialqualität machen erfolgreiches Recycling schwieriger. Deshalb hoffen wir, dass unsere Forschung zu Schweizer Produktionsabfällen einen Beitrag leistet, schneller eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft aufzubauen. Denn in der Schweizer wie auch in der europäischen Produktion ist die Qualität des Materials relativ hoch, die Zusammensetzung weitgehend bekannt, und es fallen relativ grosse Mengen desselben Materials an.

Ist Recycling überhaupt in jedem Fall sinnvoll?

Recycling ist nicht automatisch nachhaltig. Zum einen kann der notwendige Aufwand fürs Recycling hoch sein – nur schon wegen der Logistik. Zum anderen können durch Material- und Qualitätsverluste oder durch Verunreinigungen bei jedem Recycling-Durchgang Probleme entstehen. Die EU und die Schweiz wollen das Recycling stark forcieren. Das könnte aber sogar zu noch grösseren Umweltproblemen führen – zum Beispiel, wenn die Recyclingtechnologie viele Ressourcen benötigt.

Mittlerweile gibt es von Herstellern viele Initiativen, etwa Labels für nachhaltige Produkte oder Recycling – für Kunden kann das verwirrend sein. Haben Sie einen Tipp für Konsumenten, sich zu orientieren?

Selbst Experten haben Mühe, das Thema zu überblicken. Ich empfehle die Label-Ratgeber von Nicht-Regierungsorganisationen. Konsumenten sollten auch kritische Fragen stellen, etwa, woher das PET kommt, wo produziert wird. So bekommt man zumindest einen Eindruck, wie viel die Anbieter wissen und wie engagiert sie sind.

Bei der Forschungsinitiative «Subitex» (s. Infobox) arbeiten Empa-Forschende fachübergreifend mit der Textilbranche zusammen. Was sind die häufigsten Fragen, mit denen Unternehmen zu Ihnen kommen?

Ein grosses Thema sind Substitute aus bio-basierten Materialien: Sind sie wirklich besser als die auf fossiler Basis? Sind synthetische Textilien ein Problem für die Umwelt wegen Mikroplastik? Macht es Sinn, auf kompostierbare Materialien zu setzen, oder ist vielleicht die Langlebigkeit des Produkts wich-

SUBITEX – GEMEINSAM FÜR TEXTILE NACHHALTIGKEIT

Die Forschungsinitiative «Subitex» der Empa und des Branchenverbands «Swiss Textiles» hat zum Ziel, ein nachhaltiges Wirtschaften in der Textilindustrie zu ermöglichen. Durch innovative Ansätze und einen effizienten Wissens- und Technologietransfer sollen Neuerungen schneller auf den Markt kommen. Die Forschenden erstellen unter anderem Analysen zur ökologischen Nachhaltigkeit, entwickeln Fasern aus biobasierten Kunststoffen und Technologien für alternative Materialien. Die Initiative wurde bereits 2014 gestartet und hat sich mit einer kürzlich erfolgten Neuausrichtung auf textile Nachhaltigkeit zu einem weitverzweigten Innovationsnetzwerk entwickelt, an dem sich derzeit 15 Firmen beteiligen. Weitere Informationen: <https://subitex.empa.ch/>

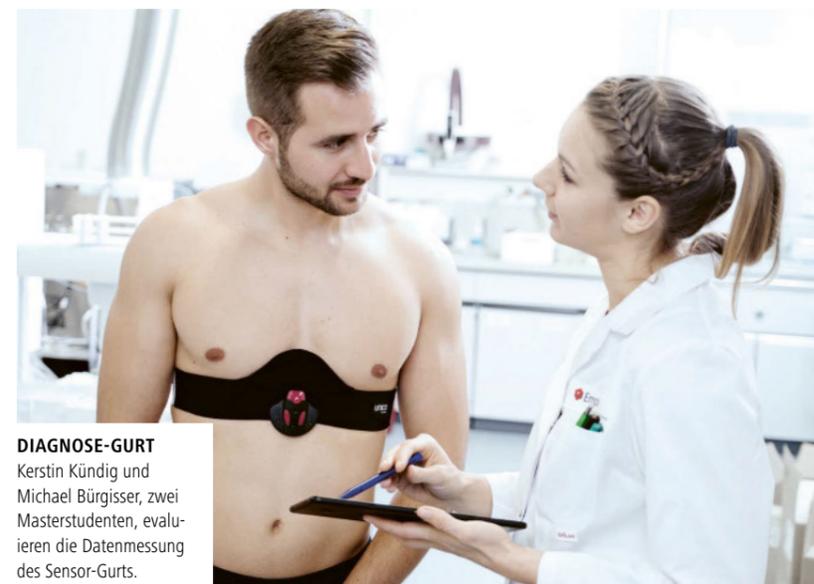
tiger? Solche Fragen motivieren uns, Grundlagen für informierte Entscheidungen in der Industrie zu erforschen.

Die Schweizer Textilbranche setzt vermehrt auf innovative Lösungen, auch bei neuartigen Materialien, dem Forschungsterrain der Empa. Sie haben etwa konventionelles Polyester mit bio-basiertem verglichen. Welche Materialien sind für Sie die Hoffnungsträger für die Zukunft?

Spannend sind holzbasierte Materialien. Interessant wäre auch ein Material, das wie innovativer Beton CO₂ direkt aus der Luft bindet – also Textilien als Speicher für Treibhausgase. Aber das ist vielleicht schon etwas futuristisch (lacht).

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s506

FRÜHWARN-SYSTEM FÜR DEMENZ



DIAGNOSE-GURT
Kerstin Kündig und Michael Bürgisser, zwei Masterstudenten, evaluieren die Datenmessung des Sensor-Gurts.



WARNSYSTEM
Die Empa-Forscher Patrick Eggenberger und Simon Annaheim (rechts) statten den Textilgurt mit Bio-Sensoren aus.

Alzheimer und andere Demenzerkrankungen gehören heute zu den grossen Volksleiden. Die Diagnose ist aufwendig und lässt sich oft erst spät im Krankheitsverlauf zweifelsfrei stellen. Ein Forscherteam der Empa entwickelt nun gemeinsam mit klinischen Partnern eine neue Diagnose-Methode, die bereits erste Anzeichen von neurodegenerativen Veränderungen über einen Sensor-Gurt nachweist.

Text: Andrea Six

Vergesslichkeit und Verwirrtheit können Anzeichen für ein bisher unheilbares Leiden sein: die Alzheimer-Krankheit. Sie ist die häufigste Demenzerkrankung, die derzeit insgesamt rund 50 Millionen Menschen weltweit betrifft. Es erkranken vor allem ältere Menschen. Dass diese Zahl künftig stark zunehmen wird, hängt daher auch mit der allgemein steigenden Lebenserwartung zusammen.

Soll ein Verdacht auf Demenz abgeklärt werden, stehen für die Betroffenen neuropsychologische Untersuchungen, Labortests und aufwendige Prozeduren im Spital an. Doch bereits Jahrzehnte bevor eine verminderte Denkleistung auffällt, sind erste neurodegenerative Veränderungen im Gehirn nachweisbar. Derzeit lassen sich diese lediglich durch teure oder invasive Verfahren feststellen. Für ein ausgedehntes frühzeitiges Screening im grösseren Massstab eignen sich diese Methoden daher nicht. Empa-Forscher arbeiten gemeinsam mit Partnern des Kantonsspitals und der Geriatriischen Klinik St. Gallen an einer nicht-invasiven Diagnose-Methode, die die frühen Prozesse einer Demenzerkrankung erfasst.

ANZEICHEN IM UNBEWUSSTEN

Für das neue Verfahren baute das Team um die Studienleiter Patrick Eggenberger und Simon Annaheim vom «Biomimetic Membranes and Textiles» Labor der Empa in St. Gallen auf einen Sensor-Gurt, der bereits erfolgreich für EKG-Messungen eingesetzt und nun mit Sensoren für weitere Vitalparameter ausgerüstet wurde. Denn bevor bei einer Demenz das Erinnerungsvermögen nachlässt, tauchen feinste Veränderungen im Gehirn auf, die sich über das autonome Nervensystem, das unbewusste Körpervorgänge steuert, äussern. Präzise erfasst werden diese Veränderungen aber erst bei Messungen über einen längeren Zeitraum. «Die



MONITORING
Lassen sich anhand der Sensor-Messungen die Trainingseffekte bei kognitiv-motorischen Fitnessspielen überwachen?

Langzeitmessungen sollten in den Alltag integrierbar sein», betont Simon Annaheim. Für alltagstaugliche Messungen sind hautverträgliche und komfortable Messsysteme unabdingbar. Der Diagnostik-Gurt basiert daher auf flexiblen Sensoren mit elektrisch leitfähigen bzw. lichtleitenden Fasern sowie Sensoren für Bewegungs- und Temperaturmessung.

Damit derartigen Langzeitmessungen für die Kontrolle der neurokognitiven Gesundheit genutzt werden können, werden die erfassten Daten von den Forschenden in eigens entwickelte mathematische Modelle integriert. Das Ziel: ein Frühwarnsystem, das den Verlauf von kognitiven Einschränkungen abschätzen kann. Ein weiterer Vorteil: Die Datenmessungen lassen sich in Telemonitoringlösungen einbinden und können so die Zahl der Arztbesuche für Voruntersuchungen reduzieren.

VERDÄCHTIGE MONOTONIE

Grundsätzlich ist der menschliche Körper in der Lage, seine Temperatur konstant zu halten. Dennoch schwanken die Werte natürlicherweise im Tagesverlauf. Dieser tägliche Rhythmus ändert sich im Alter und ist bei

neurodegenerativen Krankheiten wie Demenz oder Parkinson auffällig. Bei Alzheimer-Patienten ist beispielsweise die Körperkerntemperatur um bis zu 0,2 Grad Celsius erhöht. Gleichzeitig sind die Ausschläge der täglichen Temperaturschwankungen gedämpft.

In einer kürzlich publizierten Studie konnten die Forschenden nun zeigen, dass mit dem Sensor-Gurt gemessene veränderte Hauttemperaturwerte tatsächlich einen Hinweis auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Testpersonen geben – und zwar bevor eine Demenzerkrankung auftritt. Unter den Testpersonen der Studien waren gesunde Menschen mit oder ohne leichte Hirnleistungsstörung. Diese milde kognitive Beeinträchtigung (engl. mild cognitive impairment, MCI) stellt keine Behinderung im Alltag dar, sie gilt aber als eine mögliche Vorstufe von Alzheimer. Die Versuchspersonen nahmen an Langzeitmessungen und an neuropsychologischen Tests teil. Es stellte sich heraus, dass eine niedrigere Körpertemperatur, die über den Tag stärker schwankt, mit einer besseren Hirnleistung verknüpft war. Bei Personen mit MCI variierte die Körpertemperatur weniger und war insgesamt leicht erhöht.

TANZEN FÜR DIE GEISTIGE FITNESS

Auch der Herzschlag ist natürlichen Schwankungen unterworfen, die zeigen, wie sich unser Nervensystem an momentane Herausforderungen anpasst. Die kleine Stille zwischen zwei Herzschlägen, rund eine Sekunde kurz, hat grosse Aussagekraft für unsere Gesundheit: Bleibt die Pause stets gleich, ist das Nervensystem nicht in Höchstform.

In einer Studie mit Forschenden der ETH Zürich ermittelte das Empa-Team bereits, dass sich schlechtere Messwerte bei älteren, gesunden Menschen durch ein kognitiv-motorisches Tanztraining innerhalb von sechs Monaten verbessern liessen. Die Versuchspersonen tanzten bei diesen «Exergames» Schrittfolgen eines Videos nach. Teilnehmende, die stattdessen lediglich geradeaus auf einem Laufband trainierten, zudem aber ihr Gedächtnis schulten, profitierten dagegen weniger.

«Es geht darum, mit einem geeigneten Training frühzeitig einzugreifen, wenn sich erste negative Anzeichen messen lassen», sagt Patrick Eggenberger. «Mit unserem Sensor-System lassen sich allfällige Verbesserungen der kognitiven Leistung durch bewegungsbasierte Therapieformen verfolgen.» Über Studien mit Langzeitmessungen soll nun geklärt werden, wie sich anhand der Sensor-Messungen der Verlauf von milden Hirnleistungsstörungen vorhersagen lässt. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s405/biosensing>

Fotos: Dividat/AG

Fotos: Empa / Science Advances

ALZHEIMER IM BLUT AUFSPÜREN

Empa-Forscher Peter Nirmalraj will Peptide in nie gekannter Präzision ablichten – und damit Einblicke in das molekulare Krankheitsgeschehen von Alzheimer gewinnen. Dies könnte den Weg zu neuen Therapien ermöglichen.

Text: Andrea Six



UNSCHENBAR
Die Eiweisspartikel (rot) im Hintergrund sind zwar nur wenige Nanometer gross, könnten aber eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Alzheimer spielen.

Am Anfang stand für den Physiker Peter Nirmalraj der Wunsch, das Krankheitsgeschehen von Alzheimer zu verstehen, um neue Wege in Diagnostik und Therapie zu ermöglichen. Einen Schritt weiter wäre man, wenn die Rolle der Beta-Amyloid-Peptide und der Tau-Proteine, die im Zusammenhang mit der neurodegenerativen Krankheit stehen, entschlüsselt wäre. Nähert man sich den winzigen Peptidstrukturen jedoch mit dem Mikroskop, verzerrt sich der tiefe Blick ins molekulare Universum allzu leicht. «Ein bildgebendes Verfahren darf den ursprünglichen Zustand der Peptide nicht verändern, sonst gehen wertvolle Informationen zu deren charakteristischen Eigenschaften verloren», so Nirmalraj. Daher tüftelte der Empa-Forscher an

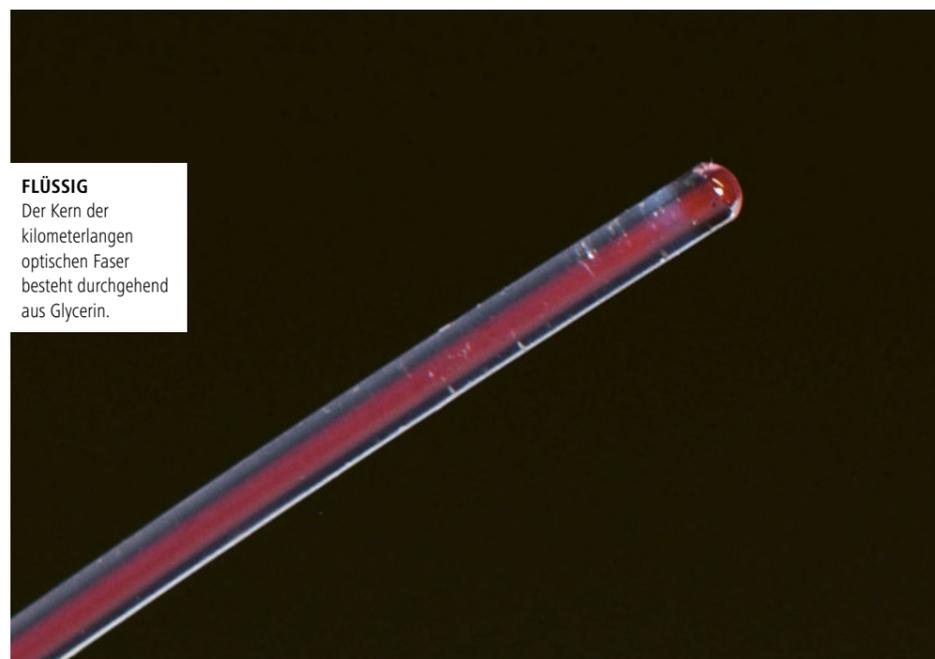
einer Technik, die die Peptide unberührt belässt. Dank einer ultrareinen, vorbehandelten Graphen-Oberfläche konnte er Beta-Amyloide schliesslich in ihrer natürlichen Gestalt mit dem Rasterkraftmikroskop (AFM) ablichten. Neben den Amyloid-Fasern sind zudem kleinere Peptid-Partikel, sogenannte Oligomere, zu erkennen. Ihre Rolle im Krankheitsprozess könnte wichtiger sein als bisher angenommen, vermutet Nirmalraj. Derzeit findet eine Pilotstudie mit dem Kantonsspital St. Gallen statt. Diese soll zeigen, ob und wie die AFM-Technologie Amyloid und Tau-Proteine im Blut von Alzheimer-Patienten nachweisen kann. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s405/biosensing>

DATENFLUSS IN GLYCERIN

Daten und Signale lassen sich mit Glasfasern schnell und zuverlässig übertragen – solange die Faser nicht bricht. Eine starke Biegung oder Zugbelastung kann sie schnell zerstören. Ein Empa-Team hat nun eine Faser mit flüssigem Glycerin-Kern entwickelt, die sehr viel robuster ist und Daten ebenso sicher übertragen kann. Und aus solchen Fasern lassen sich sogar mikrohydraulische Bauteile und Lichtsensoren bauen.

Text: Rainer Klose



FLÜSSIG
Der Kern der kilometerlangen optischen Faser besteht durchgehend aus Glycerin.

«Die beiden Komponenten der Faser müssen bei 200 bis 300 Grad Celsius durch unsere Spinnöse laufen.»

Zum Thema optisch leitender Polymerfasern haben wir schon alles Mögliche ausprobiert», sagt Rudolf Hufenus. «Aber selbst mit den besten festen Faserkernen erreichen wir nie eine solche Elastizität wie mit unserer flüssig gefüllten Faser.»

Die besondere Kombination aus optischen und mechanischen Eigenschaften

könnte der Zweikomponentenfaser der Empa nun neue Marktnischen neben der etablierten Glasfaser eröffnen.

Glasfaserkabel sind für die Datenübertragung über lange Strecken ideal. Die Technik ist erprobt und wird in grossem Massstab eingesetzt. Doch Glasfasern lassen sich nur bedingt biegen und reagieren sehr empfindlich auf Zugbelastung.

Kunststofffasern dagegen werden typischerweise für kürzere Übertragungsstrecken eingesetzt: für einzelne Gebäude, Firmenareale oder in Fahrzeugen. Der Kern dieser Fasern besteht oft aus PMMA – bekannt auch als Plexiglas – oder aus dem Kunststoff Polycarbonat. Diese transparenten Materialien sind zwar biegsamer als Glas, aber fast ebenso empfindlich gegen Zugkräfte. «Sobald sich ein Mikroriss im Faserkern bildet, wird Licht daran gestreut und geht verloren», erläutert Hufenus. «Die Datenübertragung wird also zunächst schlechter, später kann der Faserkern an dieser geschwächten Stelle sogar ganz reissen.»

komplexer. Da muss schon alles genau zusammenpassen, damit das gelingt.»

«Könnte man diesen flüssigen Kern nicht auch zur Lichtübertragung nutzen?», überlegte sich der Empa-Forscher. Er steht damit in guter schweizerischer Tradition: Es war der Genfer Physiker Jean-Daniel Colladon, der 1842 erstmals Licht im Inneren eines Wasserstrahls entlangleitete – und damit eine der physikalischen Grundlagen für die heutige Glasfasertechnik entdeckte. Für die Lichtleitung in Hohlfasern mit Flüssigkern muss nun aber erneut alles zusammenpassen. Entscheidend ist der Unterschied

nenen der Faser müssen zusammen unter hohem Druck und bei 200 bis 300 Grad Celsius durch unsere Spinnöse laufen», sagt der Empa-Forscher. «Wir brauchen also eine Flüssigkeit mit passendem Brechungsindex für die Funktionalität und mit möglichst geringem Dampfdruck für die Herstellung der Faser.» Das Team entschied sich für einen Flüssigkern aus Glycerin und eine Hülle aus einem Fluoropolymer.

BIS ZU 10 PROZENT REVERSIBLE DEHNUNG

Das Experiment gelang: Die erzeugte Faser hält bis zu zehn Prozent Dehnung aus und findet dann wieder in ihre Ursprungslänge zurück – das kann keine andere optische Festkernfaser! Doch die Faser ist nicht nur extrem dehnbar, sie kann auch messen, wie weit sie gedehnt wurde. Hufenus und sein Team versetzten das Glycerin mit einer kleinen Menge fluoreszierenden Farbstoffs und untersuchten die optischen Eigenschaften dieser Leuchtfaser während des Dehnungsvorgangs. Ergebnis: Beim Dehnen der Faser verlängert sich der Weg des Lichts, die Zahl der Farbstoffmoleküle in der Faser bleibt hingegen konstant. Dies führt zu einer kleinen Farbänderung des abgestrahlten Lichts, die man durch geeignete Elektronik messen kann. So kann die flüssig gefüllte Faser eine Längenänderung oder eine auftretende Zugbelastung anzeigen.

«Wir erwarten, dass sich unsere flüssig gefüllten Fasern nicht nur für Signalübertragung und Sensorik, sondern auch für Kraftübertragung in der Mikromotorik und Mikrohydraulik einsetzen lassen», sagt Hufenus. Die exakte Zusammensetzung von Faserhülle und Füllung kann dann spezifisch auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung angepasst werden. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s402>



PRÄZISION
Die Mannschaft von Rudolf Hufenus ist weltweit führend bei der Herstellung flüssig gefüllter Fasern.

An dieser Stelle kommt die Expertise der Empa ins Spiel: Seit sieben Jahren steht in den Labors der Forschungsabteilung «Advanced Fibers» in St. Gallen eine Maschine, die kilometerlange, mit Flüssigkeit gefüllte Fasern herstellen kann. Mit diesem Know-how ist die Empa weltweit führend. «Zweikomponentenfaser mit festem Kern gibt es seit über 50 Jahren», so Hufenus. «Aber einen durchgehenden Flüssigkern zu fabrizieren, ist erheblich

des Brechungsindex zwischen der Flüssigkeit und dem transparenten Mantelmaterial: Der Brechungsindex der Flüssigkeit muss deutlich grösser sein als der des Mantelmaterials. Nur dann wird das Licht an der Grenzfläche sauber gespiegelt und bleibt innerhalb des Flüssigkerns gefangen.

Zugleich müssen alle Zutaten temperaturstabil sein. «Die beiden Kompo-

**PREISGÜNSTIG**

Sabyasachi Gaan nutzt Dampf aus einem handelsüblichen Schnellkochtopf, um Proben von Baumwollstoff flammhemmend auszurüsten.

FEUERFEST UND ANSCHMIEGSAM

Ein neues, an der Empa entwickeltes chemisches Verfahren macht aus Baumwolle ein schwer entflammables Gewebe, das trotzdem die hautfreundlichen Eigenschaften des Baumwollstoffs behält.

Text: Rainer Klose

Herkömmliche flammhemmende Baumwolltextilien enthalten oft Rückstände von Formaldehyd und sind zudem unangenehm auf der Haut. Empa-Wissenschaftlern ist es gelungen, dieses Problem zu umgehen, indem sie ein physikalisch und chemisch unabhängiges Netzwerk im Inneren der Fasern schufen. So bleiben die positiven Eigenschaften der Baumwollfaser erhalten, die drei Viertel des weltweiten Bedarfs an Naturfasern in Kleidung und Heimtextilien ausmachen: Baumwolle ist hautfreundlich, weil sie erhebliche Mengen an Wasser aufnehmen kann und ein günstiges Mikroklima auf der Haut gewährleistet.

Für Feuerwehrleute und andere Einsatzkräfte ist die Schutzkleidung die wichtigste Barriere. Für solche Zwecke wird hauptsächlich Baumwolle als innere Textilschicht verwendet, die jedoch zusätzliche Eigenschaften benötigt: Sie muss etwa feuerfest sein oder vor biologischen Schadstoffen schützen. Dennoch sollte sie nicht wasserabweisend sein, weil dies ein unangenehmes Mikroklima schaffen würde. Diese zusätzlichen Eigenschaften können durch geeignete chemische Modifikationen in die Baumwollfasern «eingebaut» werden.

DAUERHAFT, ABER TOXISCH

«Bislang war es immer ein Kompromiss, Baumwolle feuerfest zu machen», sagt der Chemiker und Polymerexperte Sabyasachi Gaan aus der Empa-Abteilung «Advanced Fibers». Waschbeständige, flammhemmende Baumwolle wird in der Industrie durch die Behandlung des Gewebes mit Flammenschutzmitteln hergestellt, die sich chemisch mit der Zellulose in der Baumwolle verbinden. Derzeit hat die Textilindustrie keine andere Wahl, als auf Formaldehyd basierende Chemikalien zu verwenden – und Formaldehyd gilt als krebserregend. Ein jahrzehnteal-

tes Problem. Formaldehyd-basierte Flammenschutzmittel sind zwar langlebig, haben aber weitere Nachteile: Die OH-Gruppen der Zellulose werden chemisch blockiert, was die Fähigkeit der Baumwolle, Wasser aufzunehmen, erheblich mindert, und zu einem unangenehmen Tragegefühl der Textilien führt.

Gaan kennt die Chemie der Baumwollfasern gut und hat an der Empa viele Jahre lang Flammenschutzmittel auf Basis der Phosphorchemie entwickelt, die bereits in vielen industriellen Anwendungen eingesetzt werden. Nun ist es ihm gelungen, einen eleganten und einfachen Weg zu finden, Phosphor in Form eines unabhängigen Netzwerks in der Baumwolle zu verankern.

NETZWERK ZWISCHEN BAUMWOLLFASERN

Gaan und seine Forscherkollegen Rashid Nazir, Dambarudhar Parida und Joel Borgstädt nutzten eine trifunktionale Phosphorverbindung (Trivinylphosphinoxid), die die Fähigkeit besitzt, nur mit bestimmten zugesetzten Molekülen (Stickstoffverbindungen wie Piperazin) zu reagieren und ein eigenes Netzwerk im Inneren der Baumwolle zu bilden. Dadurch wird die Baumwolle dauerhaft feuerbeständig, ohne die günstigen OH-Gruppen zu blockieren. Darüber hinaus ist das physikalische Phosphinoxid-Netzwerk auch noch hydrophil und nimmt zusätzlich Feuchtigkeit auf. Diese flammhemmende Ausrüstung enthält kein krebserregendes Formaldehyd, das vor allem die Textilarbeiter bei der Herstellung gefährden würde, und die Phosphinoxid-Netzwerke waschen sich auch nicht aus: Nach 50 Wäschen sind noch 95 Prozent des Flammschutznetzwerks im Gewebe vorhanden.

Um der an der Empa entwickelten flammhemmenden Baumwolle zusätzliche Schutzfunktionen zu verleihen, brachten die Forscher

EIN GEL, DAS MEDIKAMENTE FREISETZT

Die neuartige Phosphorchemie kann auch für die Entwicklung anderer Materialien genutzt werden, etwa für die Herstellung von Hydrogelen, die gezielt Medikamente freisetzen. Wenn Bakterien oder Nekrosen die Wundheilung verzögern, steigt der pH-Wert der Hautoberfläche. Die neuen, phosphorbasierten Gele können so eingestellt werden, dass sie genau dann gezielt Medikamente auf die Wunde dosieren oder einen Farbstoff freisetzen, der Ärzte und Pflegepersonal auf das Problem aufmerksam macht. Die Empa hat auch die Herstellung solcher Hydrogele patentiert.

Silber-Nanopartikel in das Gewebe ein. Dies funktioniert in einem einstufigen Prozess zusammen mit der Erzeugung der Phosphinoxid-Netzwerke. Die Silber-Nanopartikel verleihen der Faser antimikrobielle Eigenschaften und überleben selbst 50 Waschgänge.

FINISHING IM SCHNELLKOCHTOPF

«Wir haben einen einfachen Ansatz verwendet, um die Phosphinoxid-Netzwerke im Inneren der Zellulose zu fixieren», sagt Gaan. «Für unsere Laborexperimente haben wir die Baumwolle zunächst mit einer wässrigen Lösung von Phosphor- und Stickstoffverbindungen behandelt und anschliessend in einem handelsüblichen Schnellkochtopf gedämpft, um die Vernetzungsreaktion der Phosphor- und Stickstoffmoleküle zu erleichtern.» Der Anwendungsprozess ist mit den in der Textilindustrie bereits eingesetzten Behandlungsmaschinen kompatibel. «Das Dämpfen von Textilien nach dem Färben, Bedrucken und Veredeln ist ein normaler Schritt in der Textilindustrie. Es ist also keine zusätzliche Investition nötig, um unser Verfahren anzuwenden», so der Empa-Chemiker. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s402>

VOM TITANPULVER ZUM HÜFT-IMPLANTAT

Additive Fertigung ist faszinierend: Wie von Zauberhand wachsen in 3D-Druckern komplexe Werkstücke heran: Schicht für Schicht für Schicht – ohne menschliches Zutun, wie es auf den ersten Blick erscheint. Doch die Technologie ist anspruchsvoll und erfordert viel Handarbeit mit Fingerspitzengefühl, wie ein Besuch beim Team des «Swiss m4m Center» in Bettlach zeigt.

Text: Norbert Raabe, Fotos: Nicolas Zonvi



DAS ZIEL IM VISIER

Im 3D-Drucker sollen Titan-Implantate für Hüftgelenke entstehen: Hüftpfannen mit 50 Millimetern Durchmesser. Auf dem Monitor sieht man die Oberflächenstruktur: 0,5 Millimeter dünne Stäbchen bilden ein raues Netzwerk, mit dem sich das Implantat beim Einwachsen im Knochen verankern soll. Die Löcher dienen für die Verschraubung im Hüftknochen.



FEINSTER ROHSTOFF

Das Pulver, aus dem der Drucker später das Werkstück «schmilzt», trägt den Namen «Titan Grade 23»: eine Legierung aus runden Körnchen, durchschnittlich 35 Mikrometer dick. Ihre Zusammensetzung erfüllt strenge Anforderungen für Implantate. Sie ist biokompatibel, korrosionsbeständig und lässt sich gut beschichten. Der Preis pro Kilo: zwischen 200 und 400 Franken.

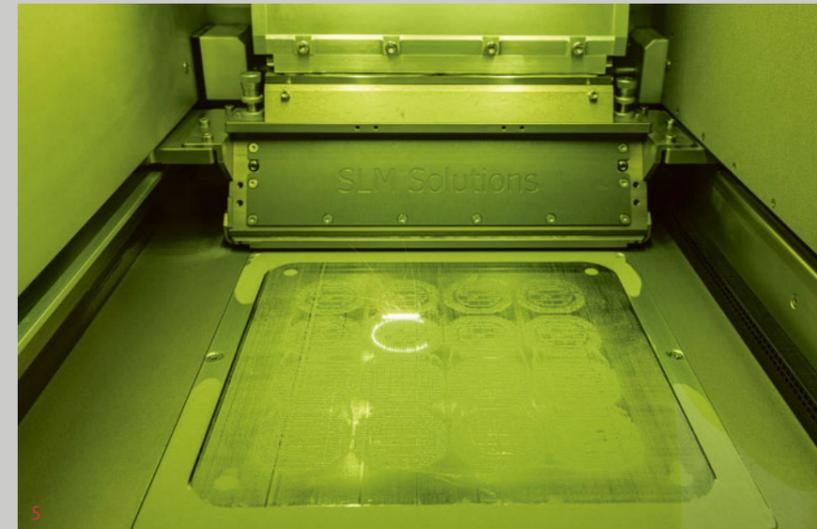


TEST AUF FEUCHTIGKEIT

Projektmanager Marco Flury, gelernter Maschinenbauingenieur, misst die Feuchtigkeit im Titanpulver. Damit das Pulver keine Klümpchen bildet und die richtige Konsistenz und Beweglichkeit für den 3D-Drucker hat, sollte der Wert laut dem Fachmann unter zehn Prozent liegen. Bei diesem Test sind es 2,2 Prozent.

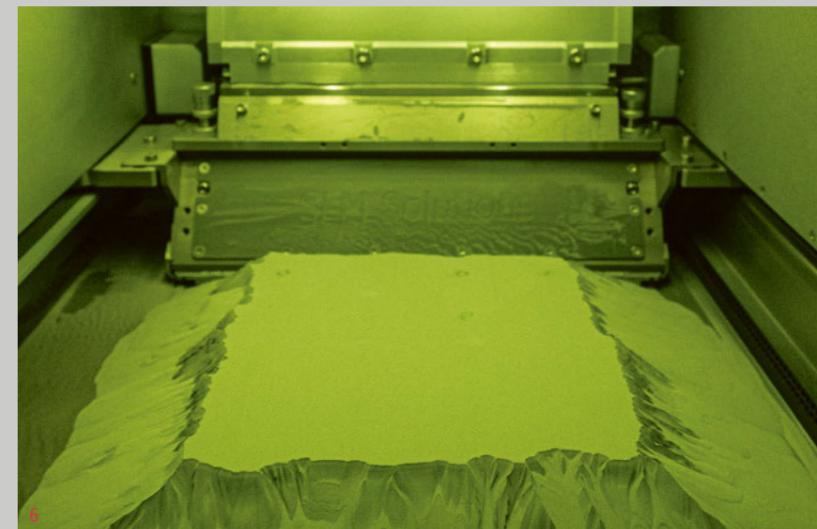
UMRECHNEN FÜR DEN DRUCK

Aus dem Entwurf im Büro errechnet der Computer in der Fabrikationshalle ein Druckmodell – inklusive feingliedriger Zusatzstrukturen, die das Implantat bei seiner Entstehung im Drucker abstützen und später wieder entfernt werden (grün). Aus dem 3D-Modell entstehen dann die Befehlsdateien für jede einzelne Lage, aus denen der Drucker das Implantat «aufschichten» wird. In diesem Fall: 902 Schichten.



EIN HAUCH VON TITAN

16 Implantate in einem Durchgang: Nur 30 Mikrometer dünn sind die Pulverschichten, die ein Laserstrahl von oben jeweils in Metall verwandelt. Ist sie fertig, sinkt die Unterlage minimal ab, und der Schlitten mit dem Schriftzug schiebt eine neue Pulverschicht darüber, die wiederum gelasert wird. Das alles umgeben vom Edelgas Argon: Es ist sehr reaktionsträge – das verhindert unerwünschte chemische Reaktionen. In gewöhnlicher Luft beispielsweise könnte ein Laserfunke beim Schmelzen des Titans bei rund 1650 Grad Celsius mit Sauerstoff sogar Explosionen auslösen.



UNTER PULVER

Ist die letzte Schicht fertig gelasert, wird die Platte wieder ganz nach oben bewegt. Ein Pulverberg erhebt sich.

«SWISS m4m CENTER»

Das Technologie-Transferzentrum in Bettlach bei Solothurn arbeitet nicht gewinnorientiert, sondern fördert den 3D-Druck in der Medizintechnik-Branche – mit Weiterbildung und innovativen Projekten. Die Zielgruppe sind Schweizer KMU, denen Erfahrung und Ausrüstung für diese zukunftssträchtige Technologie fehlt. Im September 2020 eröffnet, ist das «Swiss m4m Center» seit Mitte April zertifiziert – nach der ISO-Norm 13485:2016 für medizintechnische Produkte. Dieser Schritt erlaubt es den Fachleuten nun, mit der Produktionslinie, die sie zuvor installiert und getestet hatten, reale Produkte herzustellen. Weitere Informationen unter: www.swissm4m.ch



WERTVOLLE WERKSTÜCKE

Darin stecken 16 für die nächsten Schritte bereite Hüftpfannen aus der Titanlegierung. Bei der Herstellung von medizinischen Implantaten herrschen strengste Hygienevorschriften – die Reinigung ist eine lange Prozedur.



ZART PINSELN

Nicht ein Körnchen des Rohmaterials darf haften bleiben. Und erst recht nicht in die Lunge von «Swiss m4m»-Spezialist Patrick Stämpfli dringen: Der Techniker trägt einen Schutzanzug, inklusive eines Gebläses, das Partikel von Augen und Atemwegen fernhält.



ABSAUGEN

Im zweiten Schritt setzen die Fachleute einen speziellen Industriesauger ein.



UND SICHER ENTSORGEN

Er scheidet die Partikel in seinem Inneren in einem Wasserbad ab, damit nichts nach aussen dringen kann.



KLINISCHE VERHÄLTNISSE

Von aussen wirken die Implantate nun picobello, doch im Inneren steckt natürlich noch viel Pulver.



KRAFTVOLLE HANDARBEIT

Erst jetzt trennt Patrick Stämpfli die Implantate von der Titanplatte, auf der sie der 3D-Drucker «festgebrannt» hatte.



VIBRIEREN UND ROTIEREN

Damit auch das letzte Körnchen hinausrieselt, dreht und wendet eine eigens installierte «Depowdering»-Maschine die gesamte Palette etwa eine Viertelstunde lang.



IM OFEN ENTSPANNEN

Ein Fallstrick beim 3D-Druck ist die schichtweise Erhitzung. Während die oberste Schicht glutheiss ist, sind die unteren Schichten schon abgekühlt. Diese Unterschiede setzen das Material stark unter innere Spannung – und das sogenannte Spannungsarmglühen beseitigt sie: Die Implantate werden in diesem «Ofen» allmählich auf 600 bis zu 900 Grad erhitzt und kühlen dann langsam wieder aus.

«AM-TTC ALLIANCE»

Das «Swiss m4m Center» gehört zur «AM-TTC Alliance» («Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers»). Sie entstand auf Initiative der Empa und hat ein Mandat des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI), Anträge zu evaluieren und die Entwicklung der AM-TTC-Zentren zu überwachen. Neben dem «Swiss m4m Center» gibt es derzeit das ANAXAM («Analytics with Neutrons and X-Rays for Advanced Manufacturing») am Paul Scherrer Institut (PSI). Im laufenden Jahr wird die Allianz einen Call mit dem Ziel starten, zwei bis drei weitere Zentren aufzubauen. Zu den Mitgliedern der Allianz gehören 22 Organisationen, darunter neben der Empa die ETH Zürich und die EPFL sowie Unternehmen wie ABB, Siemens und Industrieverbände. Weitere Informationen unter: www.am-ttc.ch

FILIGRANES TITAN

Nun werden auch die Strukturen sichtbar, die den Halbkugeln beim Aufschichten die nötige Stabilität verliehen hatten: winzige Stützwände und -kanäle; gerade so viel Material wie unbedingt nötig.



AUF DER ZIELGERADEN

Gut erreichbare Stützstrukturen lassen sich nach Heimwerker-Art entfernen. Doch je nach Form des Implantats sind auch Maschinen nötig, etwa eine Fräse oder eine Drehbank, mit der sich heikle oder schwer zugängliche Bereiche präzise bearbeiten lassen.



DER LETZTE SCHLIFF

Patrick Stämpfli bearbeitet die Oberfläche – ähnlich wie beim Sandstrahlen. Hier schleifen allerdings feine Partikel aus Korund und dann aus Keramik das Implantat. Sie glätten es oder entfernen Verfärbungen durch das Glühen. Zudem verdichten die Keramikpartikel die Oberfläche ein wenig – ein Vorteil, wenn das Implantat noch beschichtet wird.



VORHER UND NACHHER

Der Unterschied ist mit blossen Auge sichtbar. Gereinigt, sterilisiert und verpackt wäre das Implantat links nun bereit für die Verwendung als Hüftpfanne im OP.

VERANSTALTUNGSTIPP

9.–10. SEPTEMBER 2021
Kurs: 3D drucken in der Medizintechnik
Ort: Swiss m4m Center, Bettlach
www.empa-akademie.ch/medizintech



HEISSE ZEITEN

Durch den klimabedingten Temperaturanstieg wird der Kühlbedarf von Gebäuden weiter zunehmen. Eine Hochrechnung von Empa-Forschenden basierend auf Daten des NEST-Gebäudes und berechneten Klimaszenarien für die Schweiz zeigt, dass dieser Anstieg des Energiebedarfs für die Kühlung erheblich sein dürfte und einen starken Einfluss auf unser künftiges – elektrifiziertes – Energiesystem haben kann.

Text: Loris Pandiani

Aufgrund des Klimawandels steigt die Durchschnittstemperatur in den kommenden Jahrzehnten an. Damit dürfte auch die Anzahl der sogenannten Kühlgradtage deutlich zunehmen. Diese messen die Anzahl Stunden, in denen die Umgebungstemperatur über einem Schwellenwert liegt, bei dem ein Gebäude gekühlt werden muss, um die Innentemperatur auf einem angenehmen Niveau zu halten. Die steigenden Werte können dazu führen, dass vermehrt Kühlgeräte in privaten Haushalten installiert

werden. Dadurch könnte der Energiebedarf für die Kühlung von Gebäuden, der bereits durch den Klimawandel und das Bevölkerungswachstum zunehmen wird, noch weiter ansteigen.

ANALYSE AUS DEM NEST

Um ein besseres Verständnis dafür zu bekommen, wie stark diese Zunahme in der Schweiz sein wird, haben Empa-Forschende den Heiz- und Kühlbedarf des Forschungs- und Innovationsgebäudes NEST analysiert. «Unter Einbezug der Umgebungstemperaturen konnten wir basierend auf den Klimaszenarien für die Schweiz eine Hochrechnung zum zukünftigen thermischen Energiebedarf von Gebäuden durchführen. Dabei haben wir neben dem Klimawandel auch das Bevölkerungswachstum und einen zunehmenden Einsatz von Kühlgeräten berücksichtigt», erklärt Robin Mutschler, Postdoc am «Urban Energy Systems Lab» der Empa.

KOPF-AN-KOPF-RENNEN

Die Ergebnisse prognostizieren einen starken Anstieg des Kühlenergiebedarfs: Geht man von einem extremen Szenario aus, bei dem die gesamte Schweiz auf Klimaanlage angewiesen wäre, würde bis Mitte des Jahrhunderts fast genauso viel Energie zum Kühlen wie zum Heizen benötigt. In Zahlen ausgedrückt, entspricht dies etwa 20 Terawattstunden (TWh) pro Jahr für das Heizen und 17,5 TWh für das Kühlen. Die benötigte Kühlenergie wurde Technologie-unabhängig berechnet: Falls diese mittels Umkehr eines Wärmepumpen-Prozesses beispielsweise mit COP 3 für das Kühlen bereitgestellt wird, beträgt der Elektrizitätsbedarf für 17,5 TWh Kühlenergie entsprechend etwa 5,8 TWh.

Der Heizbedarf der bewohnten Module im NEST-Gebäude ist vergleichbar mit dem eines modernen Mehrfamilienhauses. Die berechneten Zahlen sind daher

repräsentativ, wenn davon ausgegangen wird, dass der durchschnittliche Schweizer Gebäudepark dem NEST-Gebäude entspricht. Wann dies der Fall sein wird, hängt von der Renovationsrate ab. Auch in einem moderateren Szenario wird der Kühlbedarf in der Schweiz deutlich ansteigen. Die Forschenden gehen in diesem Szenario von einem zusätzlichen Energiebedarf von 5 TWh pro Jahr aus.

STARKER EINFLUSS AUF DIE SCHWEIZ

Der Energiebedarf von Schweizer Gebäuden macht heute rund 40 Prozent des Gesamtenergiebedarfs aus. Der Hauptteil entfällt dabei auf das Heizen. Dies wird wohl bis mindestens zur Mitte des 21. Jahrhunderts so bleiben, doch es ist zu erwarten, dass der Energiebedarf für die Gebäudekühlung stark zunehmen wird. Falls die thermische Energie durch Wärmepumpen, die auch kühlen können, zur Verfügung gestellt wird, hat dies potenziell einen starken Einfluss auf das Gesamtenergiesystem und insbesondere auf den Energieträger Elektrizität.

Derzeit besitzt mutmasslich nur ein kleiner Teil der Schweizer Haushalte eine Klimaanlage, jedoch nimmt die Anzahl der Haushalte mit Wärmepumpen zu. Die Empa-Forschenden schätzen, dass die Zahl der Haushalte mit Kühlgeräten aufgrund der Zunahme der Kühlgradtage auf über 50 Prozent ansteigen könnte. Diese Zunahme könnte zu erheblichen Bedarfsspitzen an heissen Tagen führen. Ein zusätzlicher Energiebedarf von 5 TWh für die Kühlung entspräche etwa 2 Prozent des heutigen Strombedarfs, falls mit Wärmepumpen gekühlt wird. Im extremen Szenario könnte der Bedarf für das Kühlen gar in Richtung 10 Prozent des heutigen Gesamtelektrizitätsbedarfs gehen. Dieser wird aber nicht gleichmässig über das ganze Jahr verteilt sein, sondern mit heissen Perioden korrelieren, was zu Bedarfsspitzen führen kann. Von Vorteil ist, dass sich der Kühlbedarf relativ gut

mit der Elektrizitätserzeugung aus Photovoltaik-Anlagen deckt. Die Auswirkung der Kühlung von Wohngebäuden wird dabei im Vergleich zu Bürogebäuden deutlich höher sein, da diese etwa zwei Drittel der Gebäudefläche ausmachen.

Anhand dieser Erkenntnisse steht für die Forschenden fest, dass beim Bau neuer Gebäude diese Entwicklungen berücksichtigt und die Möglichkeiten wie die passive Kühlung voll ausgeschöpft werden sollten. «Bei der Gebäudearchitektur sollte nicht mehr nur die Optimierung von Wärmeverlusten im Winter im Zentrum stehen, sondern auch die Senkung von Wärmegewinnen im Sommer», meint Mutschler. Dies liesse sich etwa durch städtebauliche Massnahmen zur Klimaanpassung auf Quartiersebene, das Umsetzen von Programmen zur Hitze-minderung oder die Reduzierung der Verglasungsanteile von Gebäuden erreichen. «Darüber hinaus ist es zentral, dass sich auch die Politik mit dieser Entwicklung auseinandersetzt und untersucht, wie der steigende Kühlenergiebedarf am besten gedeckt und gleichzeitig die Auswirkungen auf das zukünftige, dekarbonisierte Energiesystem minimiert werden können», so Mutschler. Ein möglicher Beitrag zur Kühlung von Gebäuden können Fernkühlsysteme liefern, die in der Schweiz – etwa in Genf – bereits erfolgreich umgesetzt wurden. Weitere sind am Entstehen, zum Beispiel in Zug. ■

BISLANG UNTERSCHÄTZT

Klimaanlagen könnten bis zum Jahr 2050 bis zu 40 Prozent der globalen CO₂-Emissionen ausmachen. Im Bild: eine nachgerüstete Gebäudekühlung an einer Fassade in Hongkong.

Foto: Chromatograph on Unsplash

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s313>

FILIGRANE CHEMIE FÜR MEGA-KRISTALLE

Ein Team von Empa- und ETH-Forschenden spielt mit 3D-Bausteinen, die bis zu 100-mal grösser sind als Atome und Ionen. Und obwohl zwischen diesen Nano-«Legosteinen» ganz andere, viel schwächere Kräfte wirken als jene, die Atome und Ionen zusammenhalten, bilden sie ganz von selbst Kristalle, die natürlichen Mineralien gleichen. Diese Megakristalle könnten eine neue Ära in der Materialwissenschaft einläuten.

Text: Rainer Klose



FEINCHEMIE

Maryna Bodnarchuk synthetisiert mit ihrem Team präzise geformte Bausteine, aus dem sich die vergrösserten Kristallstrukturen bilden.

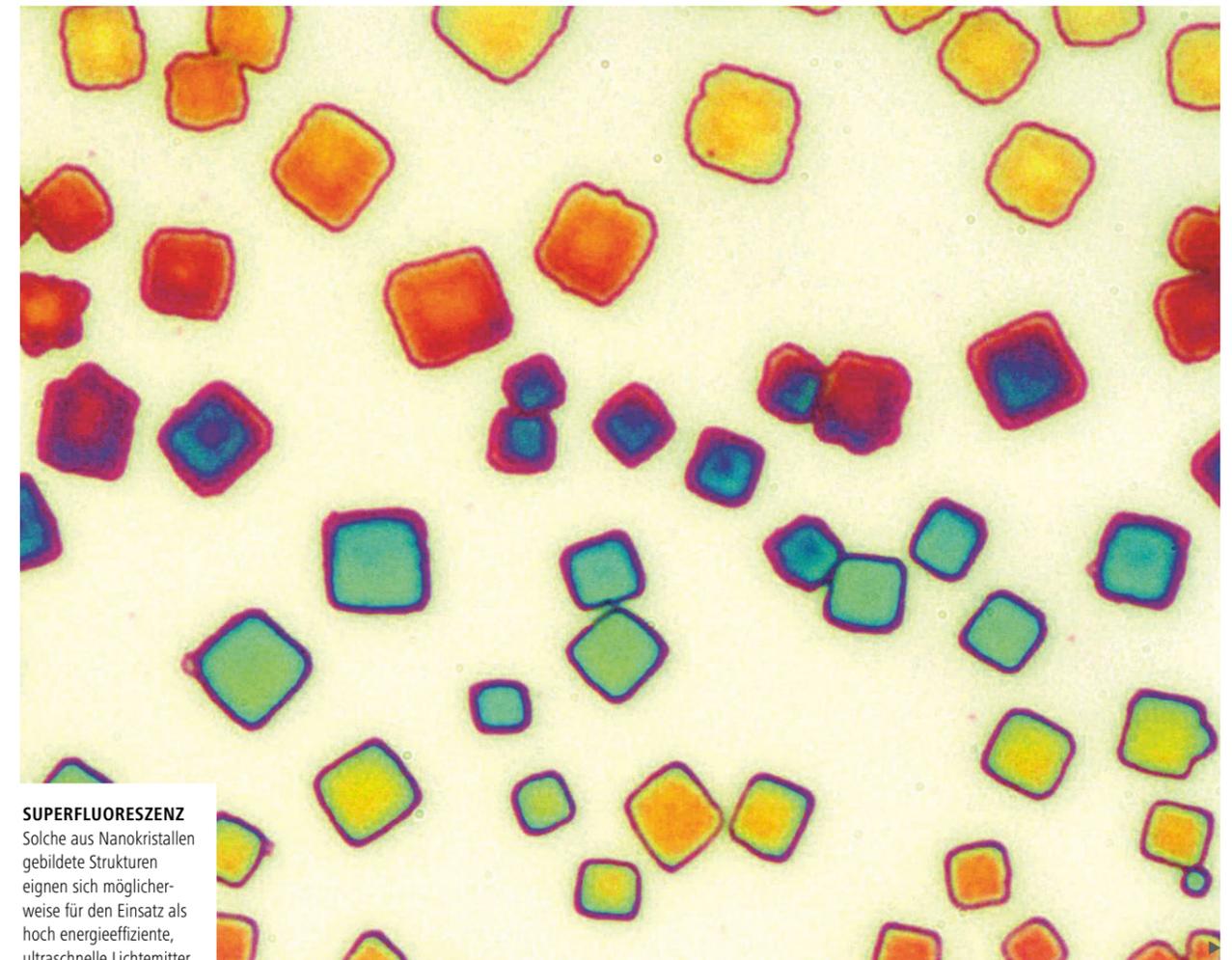
Um genau zu verstehen, was dem Forscherteam um Maksym Kovalenko und Maryna Bodnarchuk gelungen ist, fängt man am besten mit etwas Alltäglichem an: Kochsalz-Kristalle kennt jeder, der schon einmal ein allzu fades Mittagessen aufpeppen musste. Natriumchlorid – chemisch NaCl – heisst die hilfreiche Chemikalie; sie besteht aus positiv geladenen Natrium-Ionen (Na⁺) und negativ geladenen Chlorid-Ionen (Cl⁻). Man kann sich die Ionen als Kügelchen vorstellen, die sich gegenseitig stark anziehen und dicht gepackte, harte Kristalle bilden, wie wir sie im Salzstreuer sehen können.

Viele natürlich vorkommende Mineralien bestehen aus Ionen – positiven Metallionen und negativen Gegenionen, die sich je nach ihrem Grössenverhältnis in unterschiedlichen Kristallgitterstrukturen anordnen. Darüber hinaus gibt es Strukturen wie Diamant und Silizium: Diese Kristalle bestehen nur aus einer Sorte von Atomen – im Fall von Diamant aus Kohlenstoff –, aber auch hier werden die einzelnen Atome, ähnlich wie die Ionen in Mineralien, durch starke Bindungskräfte zusammengehalten.

EINE NEUE ART VON MATERIE

Was wäre, wenn man all diese starken Bindungskräfte zwischen den Atomen einfach ausschalten könnte? Im Reich

der Atome, mit all der Quantenmechanik, die im Spiel ist, würde dies kein Molekül und auch keine Festkörper ergeben, zumindest nicht bei Umgebungsbedingungen. «Aber die moderne Chemie kann alternative Bausteine herstellen, die tatsächlich ganz andere Wechselwirkungen haben können als die zwischen Atomen», sagt Maksym Kovalenko, Empa-Forscher und Professor für Chemie an der ETH Zürich. «Sie können hart wie Billardkugeln sein, in dem Sinne, dass sie sich nur bei einem Zusammenprall gegenseitig wahrnehmen. Oder sie können an den Oberflächen weicher sein, wie Tennisbälle. Ausserdem können sie in vielen verschiedenen Formen hergestellt werden, also nicht nur als



SUPERFLUORESZENZ

Solche aus Nanokristallen gebildete Strukturen eignen sich möglicherweise für den Einsatz als hoch energieeffiziente, ultraschnelle Lichtemitter.

Fotos: Empa

Kugeln, sondern auch als Würfel oder andere Polyeder oder sogar in Form von anisotropen, unregelmässigen Gebilden.»

Solche Bausteine bestehen aus Hunderten oder Tausenden von Atomen und werden als anorganische Nanokristalle bezeichnet. Kovalenkos Team aus Chemikern der Empa und der ETH Zürich ist in der Lage, sie in grossen Mengen und sehr homogen zu synthetisieren. Kovalenko, Bodnarчук und einige ihrer Kollegen auf der ganzen Welt arbeiten schon seit rund 20 Jahren mit solchen Bausteinen. Die Wissenschaftler nennen sie «Lego-Materialien», weil sie dichte, weiträumig geordnete Gitterstrukturen, sogenannte Supergitter, bilden.

Schon lange wurde spekuliert, dass sich durch das Mischen verschiedener Arten von Nanokristallen völlig neue supramolekulare Strukturen herstellen lassen. Man erwartete, dass die elektronischen, optischen oder magnetischen Eigenschaften solcher Multikomponentenanordnungen eine Mischung aus den Eigenschaften der einzelnen Komponenten sein würden. Zunächst konzentrierten sich die Forschenden auf das Mischen von Kugeln unterschiedlicher Grösse, was zu Dutzenden verschiedener Supergitter mit Strukturen führte, die gewöhnlichen Kristallstrukturen, etwa von Kochsalz, ähneln – allerdings mit 10 bis 100-mal grösseren Kristalleinheitszellen.

Dem Team um Kovalenko und Bodnarчук gelang es nun, das Wissen mit ihrer jüngsten Arbeit in «Nature» deutlich zu erweitern: Sie machten sich daran, eine Mischung verschiedener Formen zu untersuchen – zunächst Kugeln und Würfel. Diese scheinbar simple Abweichung von den bisherigen Versuchsanordnungen führte sofort zu ganz ande-

Superfluoreszenz – das heisst, sie strahlen das Licht kollektiv und viel schneller ab, als es dieselben Nanokristalle in ihrem herkömmlichen Zustand, als Flüssigkeit oder als Pulver, tun können.

ENTROPIE ALS ORDNENDE KRAFT?

Beim Mischen von Kugeln und Würfeln geschehen wundersame Dinge: Die Nanokristalle ordnen sich zu Strukturen an, die man aus der Welt der Mineralien wie Perowskiten oder Steinsalz kennt. Die neuen Strukturen sind jedoch 100-mal grösser als ihre Pendanten in herkömmlichen Kristallen. Und mehr noch: Eine Perowskit-ähnliche Struktur war zuvor noch nie in der Anordnung solcher nicht wechselwirkender Nanokristalle beobachtet worden.

Besonders kurios: Diese hochgradig geordneten Strukturen entstehen allein durch die Kraft der Entropie – also dem ewigen Bestreben der Natur, maximale Unordnung hervorgerufen. Welche Ironie der Naturgesetz! Dieses paradoxe Verhalten kommt zustande, weil die Teilchen während der Kristallbildung dazu neigen, den

Raum um sich herum möglichst effizient zu nutzen, um ihre Bewegungsfreiheit in den späten Phasen der Lösungsmittelverdampfung zu maximieren, kurz bevor sie in ihrer späteren Kristallgitterposition «fixiert» werden. In dieser Hinsicht spielt die Form der einzelnen Nanokristalle eine entscheidende Rolle – weiche Perowskit-Würfel erlauben eine viel dichtere Packung als jene, die in Mischungen nur aus Kugeln erreicht werden kann. Die



BLICKFANG

Die in der Schweiz hergestellten Supergitter schafften es im Mai auf die Titelseite des Fachblatts «Nature».

Foto: nature

Fotos: Empa

Kraft der Entropie sorgt also dafür, dass sich die Nanokristalle immer in einer möglichst dichten Packung anordnen – sofern die Oberfläche der Kristallite so gestaltet ist, dass sie sich nicht gegenseitig anziehen oder abstossen, etwa durch elektrostatische Kräfte.

AUFBRUCH IN EINE NEUE WISSENSCHAFT

«Unsere Experimente haben gezeigt, dass wir neue Strukturen mit hoher Zuverlässigkeit herstellen können», so Maksym Kovalenko. «Und das wirft nun viele weitere Fragen auf, wir stehen noch ganz am Anfang: Welche physikalischen Eigenschaften weisen solche schwach gebundenen Supergitter auf, und wie hängt ihre Struktur mit den beobachteten Eigenschaften zusammen? Können wir sie für bestimmte technische Anwendungen nutzen, etwa für optische Quantencomputer oder in der Quantenbildgebung? Nach welchen mathematischen Gesetzen bilden sie sich? Sind sie wirklich thermodynamisch stabil oder nur in einer kinetischen Barriere gefangen?» Kovalenko ist nun auf der Suche nach Theoretikern, die vielleicht vorhersagen können, was noch alles passieren könnte.

«Wir werden irgendwann ganz neue Klassen von Kristallen entdecken», vermutet er, «solche, für die es keine natürlichen Vorbilder gibt. Sie müssen dann vermessen, klassifiziert und beschrieben werden.» Nachdem er nun das erste Kapitel im Lehrbuch für eine neue Art von Chemie aufgeschlagen hat, will Kovalenko mit seinem Team dafür sorgen, dass es rasch vorangeht: «Wir experimentieren zurzeit mit scheiben- und zylinderförmigen Nanokristalliten. Und wir sind sehr gespannt auf die neuen Strukturen, die wir da bald zu sehen bekommen werden», lächelt er. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/s207/nanomat-self-assembly>

AUSGERECHNET



2010
Clusterrechner Hypatia in jungen Jahren.



2014
Hypatia in der Blüte ihres Lebens.



2021
Ein stilles Adieu: Der technische Betreuer Patrik Burkhalter und der wissenschaftliche Betreuer Daniele Passerone haben den Clusterrechner in Pension geschickt.

Hypatia, der gemeinsame Clusterrechner der Empa und der Eawag, ist nicht mehr. Am 10. März wurde die brave und schnelle Helferin für wissenschaftliche Simulationen im Keller der Empa abgebaut und auf Lastwagen einer Entsorgungsfirma verladen. Viele Komponenten des Grossrechners werden nun an anderen Orten ein neues Leben beginnen. Hypatia war nach einer der wenigen Wissenschaftlerinnen der Antike benannt, die im 4. Jahrhundert in Ägypten lebte.

Das Ende kam nicht etwa plötzlich oder unerwartet, sondern durchaus geplant. 2007 hatte die Empa mit dem Aufbau des Clusterrechners begonnen, der aus preisgünstigen Standardbauteilen bestand, die einfach zu warten sind. Damals war dies günstiger, als Daten mittels Datenleitung ins «Swiss National Supercomputing Center» (CSCS) nach Lugano zu schicken.

Hypatia war eine echte Allrounderin; sie berechnete komplexe Atmosphärenmodelle und die Luftschadstoffverteilung in Städten, Lärmsimulationen für den Flugverkehr, aber auch Molekülsimulationen für Nanowissenschaftler und Daten für chemische Materialanalysen.

Mit 14 Jahren hatte der Clusterrechner dieses Jahr nun ein stattliches Alter erreicht. Eine neuerliche Analyse ergab, dass es inzwischen günstiger und praktischer ist, Rechenaufgaben per Datenleitung ins Tessin zu senden und am CSCS durchführen zu lassen. Hypatia bleibt also an der Empa ohne Nachkommen.

R.K.

SORGENFREIE STROMSPEICHER

Die Anzahl der Daten sendenden Mikrogeräte, etwa bei Verpackungen und Transportlogistik, wird im «Internet of Things» stark zunehmen. All diese Geräte brauchen Energie, doch die dafür notwendige Menge an Batterien würde die Umwelt enorm belasten. Empa-Forscher haben einen kompostierbaren Mini-Kondensator entwickelt, der das Problem lösen kann. Er besteht lediglich aus Kohlenstoff, Zellulose, Glycerin und Kochsalz – und er funktioniert zuverlässig.

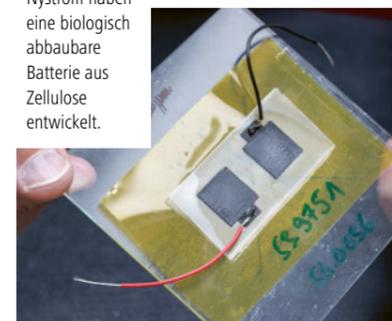
Text: Rainer Klose



KOMPOST
Nach zwei Monaten im Erdreich hat sich der Kondensator aufgelöst, nur wenige sichtbare Kohlenstoffpartikel bleiben zurück.



UNGIFTIG
Xavier Aeby und Gustav Nyström haben eine biologisch abbaubare Batterie aus Zellulose entwickelt.



Die Fabrikationsanlage für die Batterie-Revolution sieht recht harmlos aus: Es ist ein modifizierter, handelsüblicher 3D-Drucker, der in einem Raum im Empa-Laborgebäude steht. Die eigentliche Innovation liegt im Rezept für die gelatinösen Tinten, die dieser Drucker auf eine Oberfläche spritzen kann. Die Mischung, um die es dabei geht, besteht aus Cellulose-Nanofasern und Cellulose-Nanokristalliten, dazu kommt Kohlenstoff in Form von Russ, Graphit und Aktivkohle. Um all dies zu verflüssigen, benutzen die Forscher Glycerin, Wasser und zwei verschiedene Sorten Alkohol. Dazu eine Prise Kochsalz für die ionische Leitfähigkeit.

EIN SANDWICH AUS VIER SCHICHTEN

Um aus diesen Zutaten einen funktionierenden Superkondensator zu bauen, braucht es vier Schichten, die alle nacheinander aus dem 3D-Drucker fließen: eine flexible Folie, eine stromleitende Schicht, dann die Elektrode und zum Schluss den Elektrolyten. Das Ganze wird dann wie ein Sandwich zusammengefasst, mit dem Elektrolyten in der Mitte.

Was herauskommt, ist ein ökologisches Wunder. Der Mini-Kondensator aus dem Empa-Labor kann über Stunden Strom speichern und schon jetzt eine kleine Digitaluhr antreiben. Er übersteht Tausende Lade- und Entladezyklen und voraussichtlich auch jahrelange Lagerung, selbst bei frostigen Temperaturen. Ausserdem ist der Kondensator resistent gegen Druck und Erschütterung.

BIOABBAUBARE STROMVERSORGUNG

Das Beste daran aber: Wenn man ihn nicht mehr braucht, kann man ihn in den Kompost werfen oder einfach in der Natur zurücklassen. Nach zwei Monaten ist der Kondensator in seine Bestandteile zerfallen, nur ein paar sichtbare Kohlepartikel bleiben von ihm übrig. Auch das haben die Forscher bereits ausprobiert.

«Das klingt recht einfach, das war es aber ganz und gar nicht», sagt Xavier Aeby von der Empa-Abteilung «Cellulose & Wood Materials». Lange Versuchsreihen seien nötig gewesen, bis alle Parameter stimmten, bis alle Komponenten zuverlässig aus dem Drucker flossen und der Kondensator schliesslich funktionierte. Aeby: «Als Forscher wollen wir ja nicht nur herumprobieren, sondern auch verstehen, was im Inneren unserer Materialien geschieht.»

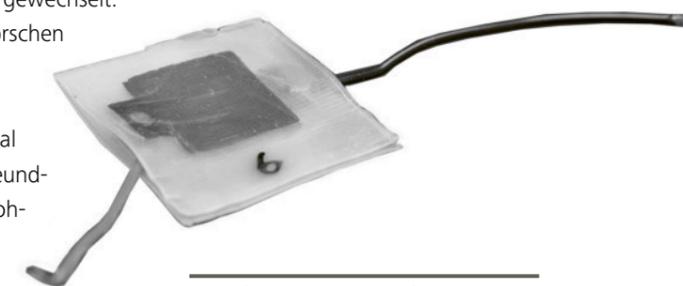
Gemeinsam mit seinem Chef Gustav Nyström hat Aeby das Konzept des bioabbaubaren Stromspeichers entwickelt und umgesetzt. Aeby hat Mikrosystemtechnik an der EPFL studiert und ist für seine Doktorarbeit an die Empa gewechselt. Nyström und sein Team forschen seit Jahren an funktionalen Gelen auf Basis von Nanozellulose. Das Material ist nicht nur ein umweltfreundlicher, nachwachsender Rohstoff, sondern durch seine innere Chemie äusserst vielseitig einsetzbar.

«Das Projekt eines kompostierbaren Stromspeichers lag mir schon lange am Herzen», so Nyström. «Wir haben uns mit unserem Projekt 'Printed Paper Batteries' um Empa-interne Forschungsgelder beworben und konnten dann mit diesen Mitteln unsere Aktivitäten starten. Nun haben wir ein erstes Ziel erreicht.»

ANWENDUNG IM «INTERNET OF THINGS»

Der Superkondensator könnte bald zu einem Schlüsselbaustein für das «Internet of Things» werden, erwarten Nyström und Aeby. «In Zukunft könnte man solche Kondensatoren etwa mithilfe eines elektromagnetischen Feldes kurz aufladen, dann würden sie über Stunden Strom für einen Sensor oder Mikrosender liefern.» So könnte man zum Beispiel den Inhalt einzelner Pakete während des Versandwegs überprüfen. Auch die Stromversorgung von Sensoren im Umwelt-Monitoring oder in der Landwirtschaft ist denkbar – man muss diese Batterien nicht wieder einsammeln, sondern könnte sie nach verrichteter Arbeit einfach in der Natur belassen.

Zur wachsenden Zahl elektronischer Kleinsteigeräte wird auch die patientennahe Labordiagnostik («Point of Care Testing») beitragen, die derzeit boomt. Kleine Testgeräte für den Einsatz am Krankenbett oder Selbsttestgeräte für Diabetiker zählen etwa dazu. Auch für solche Anwendungen könnte sich der kompostierbare Zellulose-Kondensator gut eignen, ist Gustav Nyström überzeugt. ■



Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s302>

Fotos: Gian Vaitl

VORGESPANNTE PFLASTER FÜR ALTE BAUTEN

Die Technologie, Betonbauwerke mit kohlefaserverstärktem Kunststoff zu stabilisieren und so zu einem längeren Leben zu verhelfen, entstand vor Jahrzehnten; unter anderem an der Empa. Heute arbeiten Forschende in Dübendorf an einer neuen Variante mit vorgespannten Lamellen – mit guten Aussichten für die Praxis.

Text: Norbert Raabe

DURCHGEBogene Betonbalken, Risse an Unterseiten von Brücken, Rostgefahr für die Armierung: In der Schweiz sind viele Bauwerke in die Jahre gekommen. Beispiel Nationalstrassen: Laut dem Zustandsbericht 2019 des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) wurde ein grosser Teil der Brücken von Mitte der Sechziger- bis zu den Achtzigerjahren des letzten Jahrhunderts errichtet – bei deutlich geringeren Verkehrsbelastungen als heute.

Um Tragwerke, die unter ihren Lasten ächzen, zu sanieren, kommen seit langem kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK) zum Einsatz: Flache Lamellen, auf die Unterseite geklebt, wirken der Belastung entgegen. Bei der «Ebrog»-Methode (für engl. externally bonded reinforcement on grooves) beispielsweise, die erst in den vergangenen Jahren entstand, werden dazu vorab schmale Rillen in Längsrichtung in den Träger gefräst: mehr Fläche für die Kraftübertragung, die zudem tiefer in

den Beton hineinwirkt. Bei einer Brückensanierung in Küssnacht kam dieses Verfahren 2018 erstmals zum Einsatz.

Nun entwickeln Empa-Forschende die Methode in einem Innosuisse-Projekt mit dem Industriepartner S&P Clever Reinforcement Company in Seewen weiter. Das Team um Christoph Czaderski von der Forschungsabteilung «Ingenieur-Strukturen» testet vorgespannte CFK-Lamellen, die Betonbalken «aktiv» verstärken: Sie werden unter Zugspannung mit Epoxidharz aufgeklebt. Ist die Verbindung erhärtet, werden die Enden entspannt – und die Streifen, die sich zusammenziehen «wollen», wirken der Durchbiegung noch stärker entgegen.

Was zunächst simpel klingt, ist im Detail knifflig – gerade an den Enden der Streifen, an denen gewaltige Zugkräfte von bis zu 14 Tonnen wirken. Damit sie nicht abreißen, müssen sie zuverlässig fixiert sein. Bislang geschieht das mit Aluminiumplatten, geklebt und mit Dübeln gesichert – doch das Empa-Team hat

für die neue Methode eigens U-förmige Bügel aus CFK entworfen. Die Vorteile: präziser definierte Übertragung der Kräfte und vor allem eine metallfreie Konstruktion – immun gegen allgegenwärtige und gefürchtete Korrosion.

IDEE EINER EXPERTIN AUS DEM IRAN

«Eine Lösung aus einem einzigen Material ist immer besser als aus zweien, die sich unterschiedlich verhalten», erklärt Czaderski, «gerade für die Verankerung haben wir im Labor viele Versuche gemacht.» Das Team profitierte dabei von Erfahrungen an der «Isfahan University of Technology» im Iran. «Dort wurde viel Grundlagenforschung gemacht», erklärt Czaderski. «Unsere Postdoc-Mitarbeiterin Niloufar Moshiri kam mit der Idee zu uns, das Ebrog-Verfahren mit Vorspannung zu kombinieren.»

Das Potenzial ist gross, wie Versuche im Labor zeigen: Das Verfahren mit Vorspannung und CFK-Bügel erhöhte die Belastungsfähigkeit einer Betonplatte um 77 Prozent gegenüber der «klas-

sischen» Verstärkungsmethode ohne Rillen und Vorspannung. Selbst ohne Vorspannung waren es noch 34 Prozent.

Um die Technologie marktreif zu machen, sollen zunächst Grossversuche an Betonplatten mit einer Spannweite von sechs Metern weitere Erkenntnisse liefern, bevor 2021 ein reales Sanierungsprojekt folgt. Beim Industriepartner arbeitet man derzeit schon an praktischen Aspekten. Für die U-Bügel, bislang in Handarbeit aus Carbonprofilen geformt, entwickeln die Fachleute ein industrielles Verfahren. Und die Ausrüstung, mit der die Lamellen bislang vorgespannt werden, «müssen wir für das neue Verfahren umdesignen», erklärt Martin Hüppi, der das Projekt bei S&P leitet und seit Langem erfolgreich mit den Empa-Fachleuten kooperiert.

Mühen, die sich lohnen könnten: Jedes Bauwerk, das saniert und nicht neu errichtet wird, spart nicht nur Kosten, sondern auch CO₂-Emissionen ein. Zudem wäre das Verfahren beim Einbau leichter und schneller zu handhaben. «Es wäre auch preislich für Bauherren vertretbar», sagt Hüppi, der gute Chancen für Anwendungen sieht – nicht nur bei gealterten Grossbauwerken wie Brücken, sondern auch bei Sanierungen im Wohnungsbau. «Ich sehe dafür absolut einen Markt», sagt Hüppi, «und mit der Vorspannung nutzt man das Potenzial des Materials ja erst voll aus.»

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s303>

Fotos: Empa, S&P Clever Reinforcement Company AG



PROBELAUF
Epoxidharz als Kleber für CFK-Lamellen: Empa-Forscherin Niloufar Moshiri und Industriepartner Martin Hüppi.



TESTPROJEKT Im Oktober 2018 wurde eine Brücke nahe Küssnacht mit der Ebrog-Methode verstärkt, jedoch noch ohne Vorspannung.

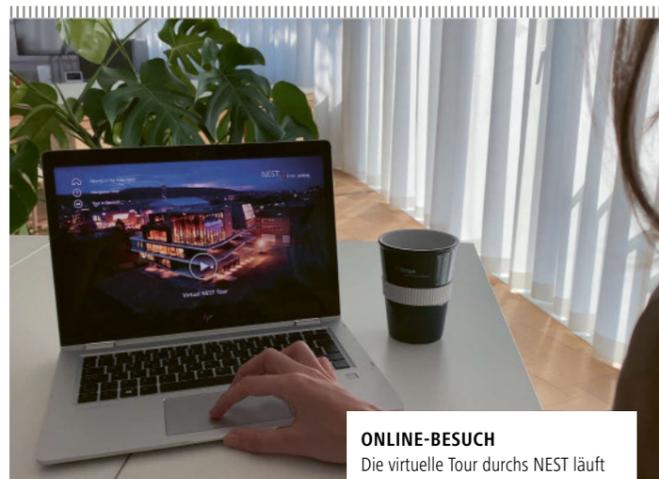


VERFORMUNGEN
Risse zeigen das Potenzial des neuen Verfahrens. Oben: Ebrog-Methode mit Vorspannung, darunter ohne, dann klassisches Verfahren und ein unverstärktes Bauteil.

NEST ÖFFNET VIRTUELL DIE TÜREN

Bisher haben die Führungen durch NEST nur physisch vor Ort stattgefunden. Seit Juni 2021 kann das gesamte Gebäude auch online und ganz spontan besichtigt werden. Die Gäste der virtuellen NEST-Tour können die einzelnen Gebäudemodule – die sogenannten Units – sowie die Forschungsplattformen Energy Hub und Water Hub besuchen und sich frei durch das Gebäude bewegen. Der Rundgang führt sie an Expertinnen und Experten vorbei, die ihr Know-how direkt mit den Gästen teilen. Zusätzlich gibt es unzählige innovative Materialien, Technologien und Prozesse zu entdecken. Die virtuelle Tour läuft auf PC und Mac, Smartphones und Tablets.

www.empa-virtual.ch/nest



ONLINE-BESUCH
Die virtuelle Tour durchs NEST läuft auf Laptops, Tablets und Smartphones.

EMPA IM RECHNER-RING FÜR BIOINFORMATIK

NETZWERK
Die Empa ist nun Teil des SIB-Partnernetzes.



Seit Januar 2021 ist die Empa Mitglied des Schweizerischen Instituts für Bioinformatik (SIB). Dieses ist eine akademische Non-Profit-Organisation, deren Vision es ist, Exzellenz in der Datenwissenschaft (Data Science) für den Fortschritt in der biologischen Forschung und Gesundheit zu fördern. Zu den Mitgliedern gehören Forschungs- und Dienstleistungsgruppen der wichtigsten Schweizer Hochschulen und renommierter Schweizer Forschungsinstitute. Die Empa ist mit der Gruppe «Multi-omics for healthcare materials» unter der Leitung von Marija Buljan vertreten. Die Gruppe ist Teil der Abteilung «Particles-Biology Interactions» von Peter Wick und konzentriert sich auf die Entfaltung von krankheitsassoziierten zellulären Signalnetzwerken, um präzise Lösungen fürs Immunoengineering zu finden. Die Aktivitäten der Gruppe konzentrieren sich auf die Generierung und Analyse biomedizinischer Multi-omics-Datensätze, die die Entwicklung neuer Materialien für personalisierte Gesundheitsanwendungen unterstützen können.

<https://www.empa.ch/de/web/5403/datasci4nanotech>

Fotos: SIB, Empa

Foto: Empa

STRATEGIE FÜR ENERGIESPEICHER



EXPERTE
Marcel Gauch kümmert sich um Nachhaltigkeitsfragen der Elektromobilität.

Die Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE Suisse) hat im Mai 2021 eine neue Arbeitsgruppe «Elektrische Energiespeicher» ins Leben gerufen. Die Gruppe besteht aus namhaften Batteriespezialisten, etwa Andrea Vezzini, Chef des Energy Storage Research Center der Berner Fachhochschule, und Jonas Mühletaler vom Institut für Elektrotechnik IET CC Electronics der Hochschule Luzern. Für die Empa sitzt Marcel Gauch im Gremium, er ist Spezialist für Elektromobilität und zugleich Nachhaltigkeitsdelegierter der Empa. Ein weiterer, an der Empa ausgebildeter Experte im Team ist Olivier Groux, Projektleiter Entwicklung bei der Kyburz AG.

<https://speicher.aeesuisse.ch/de/ueber-uns>

VERANSTALTUNGEN DER EMPA-AKADEMIE

13.–15. JULI 2021

Kurs: Aerogel Industry – Academia Forum
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/aerogel>
Empa, Dübendorf und online

1. SEPTEMBER 2021

Kurs: Introduction to Non-Destructive Analysis and X-ray Imaging
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/nda>
Webinar via Zoom

9.–10. SEPTEMBER 2021

Kurs: 3D drucken in der Medizintechnik
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/medizintech>
Swiss m4m Center, Bettlach

9. SEPTEMBER 2021

Kurs: Alkali-Silica Reaction – a Multidisciplinary Approach / Webinar via Zoom
Zielpublikum: Forschung und Industrie
<https://www.ch/asr>

8. OKTOBER 2021

Kurs: Energy Harvesting (in Englisch)
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/harvesting
Empa, Dübendorf

5. NOVEMBER 2021

Kurs: Tribologie
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
<http://www.empa-akademie.ch/tribologie>
Empa, Dübendorf

Die komplette Liste der Veranstaltungen finden Sie unter:
www.empa-akademie.ch.

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology