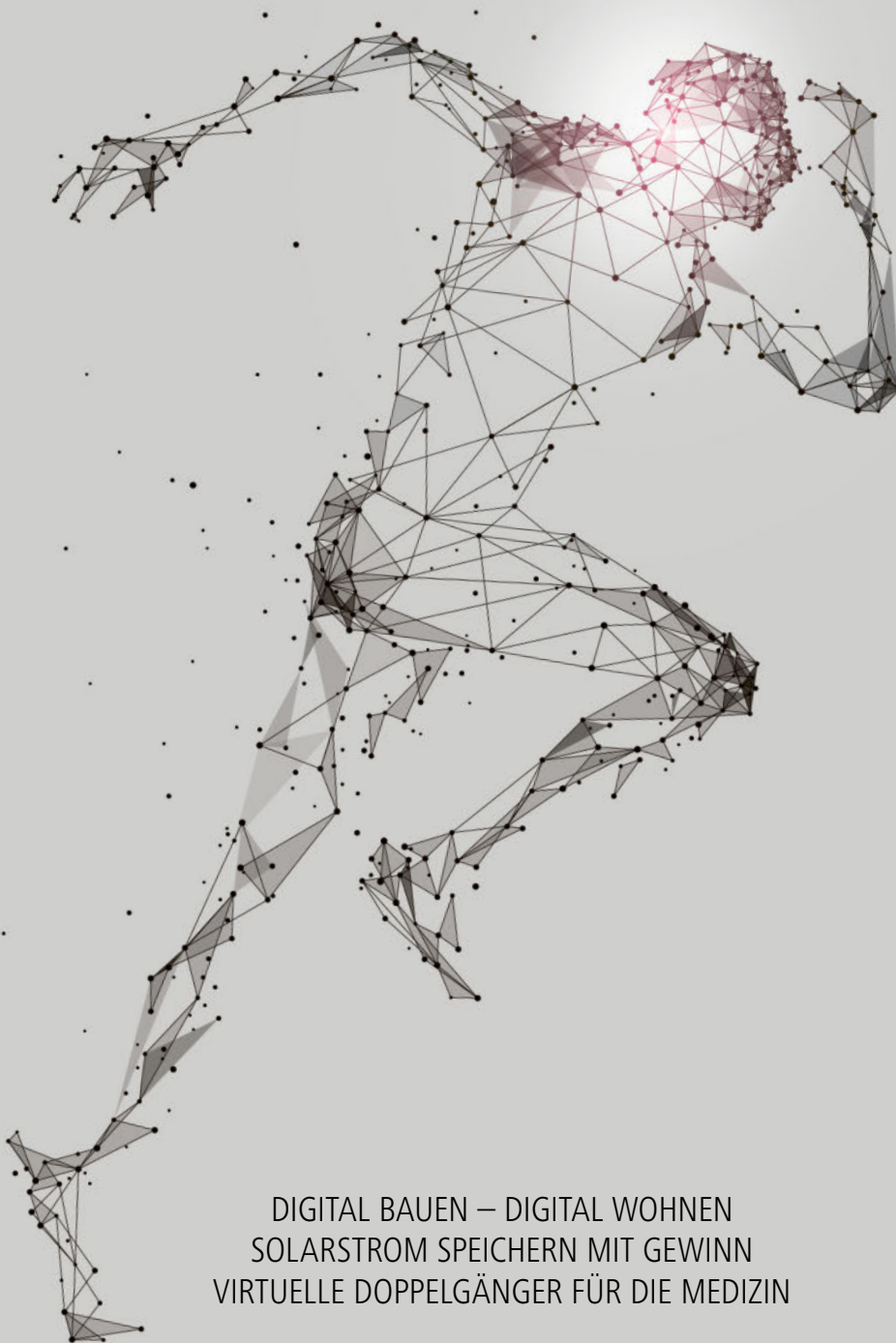


Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #64 II MAI 2019

FOKUS

DIGITALISIERUNG



DIGITAL BAUEN – DIGITAL WOHNEN
SOLARSTROM SPEICHERN MIT GEWINN
VIRTUELLE DOPPELGÄNGER FÜR DIE MEDIZIN

[INHALT]

[FOKUS: DIGITALISIERUNG]



06



20



12



27



15

[FOKUS]

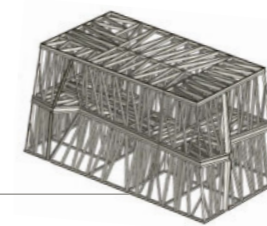
- 06 BAUEN**
Das erste digital geplante und mit Robotern gebaute Wohnhaus der Welt
- 11 INTERVIEW**
«Automatisierung ist eine Riesenchance»
- 12 MEDIZIN**
Virtuelle Doppelgänger verändern die Medizin
- 15 MATERIALIEN**
Eigenschaften von Stoffen sind kein Zufall, sondern im Voraus berechenbar

[THEMEN]

- 20 ENERGIE**
Solarstrom in Batterien speichern und damit Geld verdienen – so gehts
- 24 ENERGIE**
Eine spanische Lebensmittelfabrik will Solarkraft ernten und damit kühlen
- 27 PORTRAIT**
Gustav Nyström führt die Holzforschung der Empa in die Zukunft

[RUBRIKEN]

- 04 WISSEN IM BILD**
- 18 IN KÜRZE**
- 30 UNTERWEGS**



[TITELBILD]



Die Digitalisierung aller Lebensbereiche entfaltet eine ungeheure Dynamik. Wie die Empa unsere Gesellschaft auf die Zukunft vorzubereiten hilft, erfahren Sie in diesem Heft.
Bild: istock/Getty Images

[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.)

AUF DIE VERPACKUNG KOMMT ES AN

Liebe Leserin, lieber Leser



In Zeiten zunehmender Reizüberflutung und gleichzeitig sinkender Aufmerksamkeitsspannen kommt es immer mehr auf den ersten (meist optischen) Eindruck an. Und obwohl wir beim Empa Quarterly in erster Linie auf innere Werte – sprich: überzeugenden Inhalt – setzen, haben wir uns für einmal wieder einige Gedanken über Design gemacht. Das Ergebnis dieser Überlegungen halten Sie, liebe Leserin, lieber Leser, nun in Händen: ein Forschungsmagazin in zeitgemäsem Look, der – hoffentlich – gefällt.

Klar, aufs Wesentliche fokussiert, bildstark, mit frischem Blick und konzis – so wollen wir Sie künftig regelmässig über neue Ideen, Konzepte und Innovationen aus unseren Labors auf dem Laufenden halten. Aber da der Wurm ja bekanntlich dem Fisch schmecken muss, nicht dem Angler, sind wir ausserordentlich neugierig auf Ihre Meinung über das neue Quarterly. Was gefällt, was weniger, wo fehlt's? Über redaktion@empa.ch können Sie uns all dies und noch viel mehr mitteilen. Wir sind gespannt ...

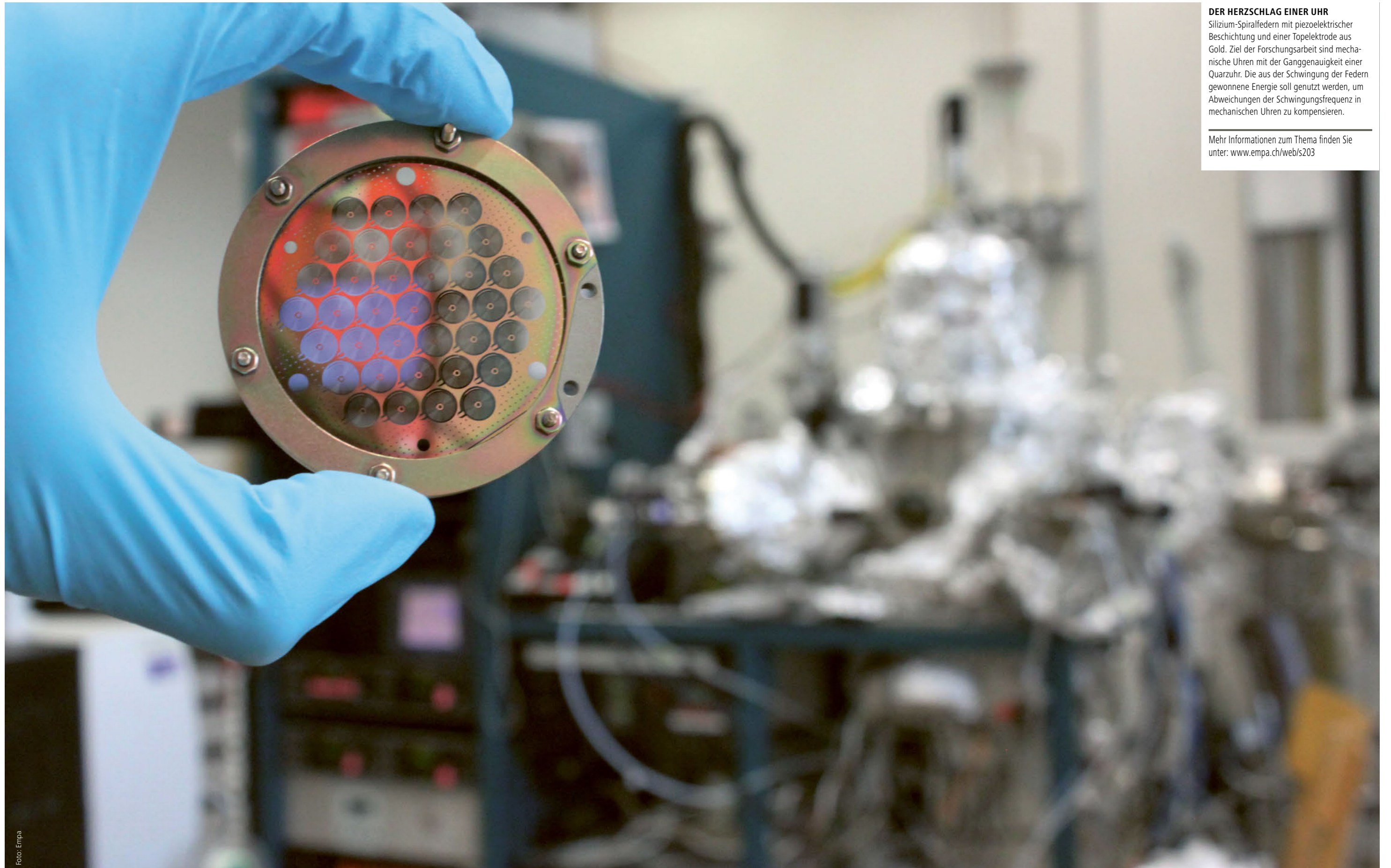
Apropos Verpackung: Eine weitere Neuerung betrifft den Versand unseres Magazins. Bis anhin erhielten Sie dies in einer Plastikfolie verpackt. Damit ist nun Schluss – zumindest im Inlandversand (und hoffentlich auch bald europaweit – wir sind dran). Von nun an kommt das Quarterly sozusagen «unplugged» zu Ihnen nach Hause. Damit sparen wir jährlich 80 Kilogramm Plastikabfall ein. Ein kleiner Tropfen, das ist wahr, aber irgendwo muss man ja anfangen.

Viel Vergnügen mit unserem neuen Magazin, wir freuen uns auf Ihr Feedback!

Ihr MICHAEL HAGMANN

Fotos: Roman Keller, Empa, shutterstock, Markus Mailaun, Lufthansa

Foto: istock/Getty Images, Grafik: NCCR Digital Fabrication



DER HERZSCHLAG EINER UHR

Silizium-Spiralfedern mit piezoelektrischer Beschichtung und einer Toplektrode aus Gold. Ziel der Forschungsarbeit sind mechanische Uhren mit der Ganggenauigkeit einer Quarzuhr. Die aus der Schwingung der Federn gewonnene Energie soll genutzt werden, um Abweichungen der Schwingungsfrequenz in mechanischen Uhren zu kompensieren.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s203

**ARCHITEKTUR-IKONE**

DFAB HOUSE steht auf der obersten der drei Plattformen im NEST-Gebäude.

**INNENRAUM MIT STIL**

DFAB HOUSE wird vier Kurzzeitbewohner beherbergen, die gemeinsame Wohnbereiche nutzen können.

DIGITAL BAUEN, DIGITAL WOHNEN

DFAB HOUSE ist das weltweit erste bewohnte Haus, das nicht nur digital geplant, sondern – mit Robotern und 3-D-Druckern – auch weitgehend digital gebaut wurde. Die eingesetzten Bautechnologien entwickelten Forschende der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Am 27. Februar 2019 wurde das neueste Modul im NEST, dem Forschungs- und Innovationsgebäude von Empa und Eawag, im Beisein von Bundesrat Guy Parmelin offiziell eröffnet.

Text: Stephan Kälin, Fotos: Roman Keller

Eine feingliedrige Betondecke – gegossen in 3D-gedruckten Schalungen – und eine geschwungene, von einem Bauroboter erstellte Betonwand prägen die Architektur des Wohnzimmers, das in seiner Ästhetik entfernt an die Filmsets des Schweizer Künstlers HR Giger erinnert. Auf Zuruf öffnen sich die Storen wie von Geisterhand, und der Wasserkocher bereitet das Teewasser vor. Was wie ein Science-Fiction-Film klingt, ist im DFAB HOUSE real.

VOM LABOR ZUR ARCHITEKTONISCHEN ANWENDUNG

Das dreigeschossige «Wohnhaus» thront auf der obersten von drei Plattformen im NEST. In diesem modularen Forschungs- und Innovationsgebäude der Empa und der Eawag können Forschende zusammen mit Industriepartnern neue Bau- und Energietechnologien unter realen Bedingungen testen. NEST besteht aus einem zentralen Gebäudekern, an den unterschiedliche Gebäudemodule – sogenannte Units – andocken können. Für den Bau der Unit DFAB HOUSE haben

Forschende aus acht Professuren der ETH Zürich im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunkts (NFS) «Digitale Fabrikation» in Zusammenarbeit mit Industriepartnern gleich mehrere neuartige, digitale Bautechnologien erstmals vom Labor in reale Anwendungen übergeführt. Die digitalen Technologien haben zum Ziel, das Planen und Bauen nicht nur effizienter zu machen, sondern auch nachhaltiger. So ist beispielsweise die digital geplante Geschossdecke des DFAB HOUSE statisch und strukturell derart optimiert, dass gegenüber einer ▶

DFAB HOUSE: FACTS & FIGURES

DFAB HOUSE zeigt als Demonstrationsprojekt, wie digitale Fertigungsprozesse unsere Art und Weise des Entwerfens und Bauens revolutionieren können. Sechs eigenständige Innovationsobjekte veranschaulichen diese Möglichkeiten.

1 IN SITU FABRICATOR

Der In situ Fabricator ist ein mobiler Bauroboter, der Bauelemente direkt auf der Baustelle fabrizieren kann. Dank seines integrierten Navigations- und Sensorsystems kann sich der Roboter autonom positionieren, sein Werkzeug exakt lokalisieren und die Fabrikationsdaten bei unvorhergesehenem Materialverhalten anpassen – ohne dass externe Messgeräte notwendig wären.

Anzahl Betriebstage vor Ort: 22

Gesamtbauzeit: 125 Stunden

2 MESH MOULD

Mesh Mould vereint die beiden Funktionen Schalung und Bewehrung in einem roboter-gestützten Bauverfahren. Der Bauroboter In situ Fabricator erstellt eine 3D-Gitterstruktur, die sowohl als Schalung als auch als strukturelle Armierung dient. Eine speziell entwickelte Betonmischung wird dann in die Gitterstruktur gegossen und von Hand glatt gestrichen, wodurch eine tragende Wand in einzigartiger Form entsteht.

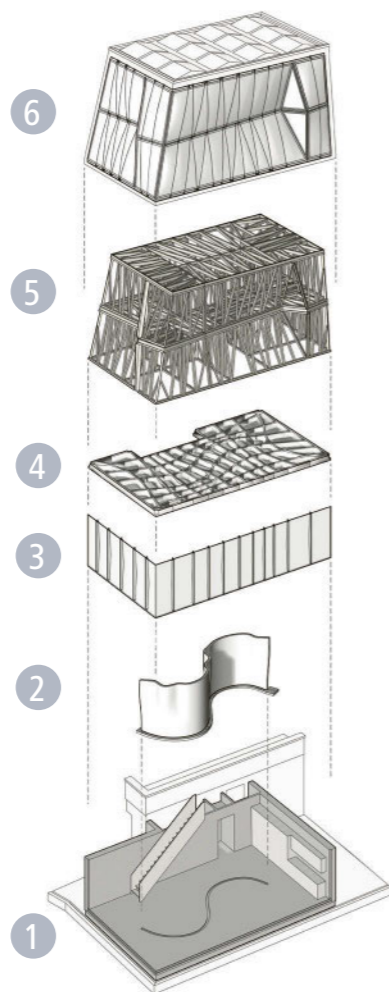
Länge der Wand: 12 m

Höhe der Wand: 3 m

Anzahl der Schweisspunkte: 22 300

3 SMART DYNAMIC CASTING

Mit dem digital gesteuerten Gleitschalungsverfahren Smart Dynamic Casting wurden 15 massgeschneiderte Stahlbetonpfosten fabriziert. Selbstverdichtender Beton wird in eine flexible Schalung gefüllt, die den Beton während des Aushärtens formt. Mit dieser Technik kann jeder Pfosten individuell gestaltet werden: Je nach Anforderung an die Tragfähigkeit ergibt sich für jede Position eine optimale Geometrie.



Anzahl Stahlbetonpfosten: 15

Betonvolumen pro Pfosten: 23 Liter

Herstellungsdauer pro Pfosten: 4 Stunden

4 SMART SLAB

Für Smart Slab kommt ein radikal optimierter digitaler Bauprozess vom Entwurf bis zur Fertigung zur Anwendung. Mit grossformatigem 3D-Sanddruck wird der arbeitsintensivste Prozess im Betonbau automatisiert und optimiert: die Herstellung der Schalung. Die 295 3D-gedruckten Schalungsteile werden mit ultrahochfestem, faserverstärktem Beton

ausgegossen. Es entstehen hochoptimierte Bauteile mit komplexen Ornamentstrukturen, die ein spannendes architektonisches Erlebnis schaffen.

Fläche: 78 m²

Max. Auskragung: ~4 m

Gewicht: 15,7 t (ca. 65% Einsparung)

Montage vor Ort: 4 Tage

5 SPATIAL TIMBER ASSEMBLIES

Mit dem innovativen roboterbasierten Fertigungsverfahren Spatial Timber Assemblies wurden die Holzmodule für die Obergeschosse des DFAB HOUSE vorgefertigt. Die beiden Bauroboter im Robotic Fabrication Lab (RFL) der ETH Zürich schnitten die Holzbalken und positionierten die gemäss Computerentwurf präzise im Raum. Das Verfahren ermöglicht neue und komplexe Geometrien.

Genauigkeit der Balkenplatzierung per Roboterarm: unter 1 mm

Maximales Gewicht der vom Roboter montierten Holzbalken: 55 kg

Anzahl Holzbalken im DFAB HOUSE: 487

Anzahl assemblierter Module: 6

Montagezeit auf der Baustelle: 12 Stunden

6 TRANSLUZENTE LEICHTBAUFASSADE

Mit Hilfe eines neuartigen Verfahrens werden Aerogel-Granulate zwischen speziell entwickelten Membranplatten eingebracht und stabilisiert. Das Ergebnis ist ein dünnes und doppelt gekrümmtes Leichtbaufassadensystem mit hervorragender Dämmwirkung, das Licht durch die gesamte Wand in das Gebäude eindringen lässt.

Dicke der Fassade: 80–120 mm

Wärmedämmung: U-Wert 0,165

herkömmlichen Betondecke beträchtliche Mengen an Material eingespart werden können. Auch in gestalterischer Hinsicht eröffnen die Technologien neue Möglichkeiten. So sind die beiden oberen Wohngeschosse von Holzrahmen geprägt, die mit Hilfe zweier Bauroboter fabriziert und in komplexer Geometrie angeordnet wurden. «Das architektonische Potenzial von digitalen Bautechnologien ist immens. Nur leider kommen diese Technologien noch kaum auf die Baustellen. Mit dem DFAB HOUSE gelingt es uns, Hand in Hand mit der Industrie neue Technologien zu erproben und so den Transfer von der Forschung in die Praxis zu beschleunigen», sagt Matthias Kohler, ETH-Professor für Architektur und digitale Fabrikation.

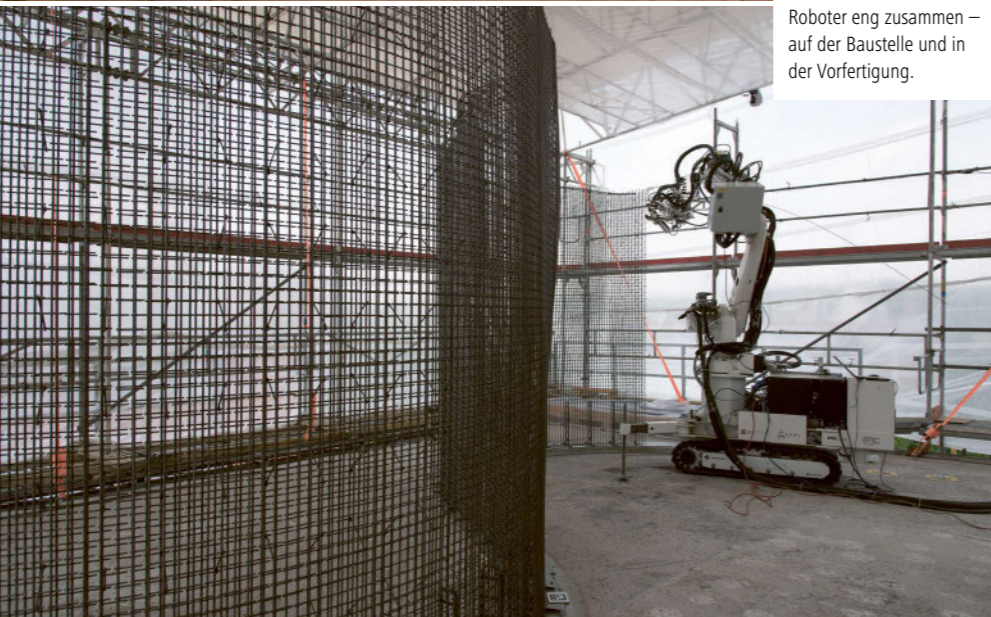
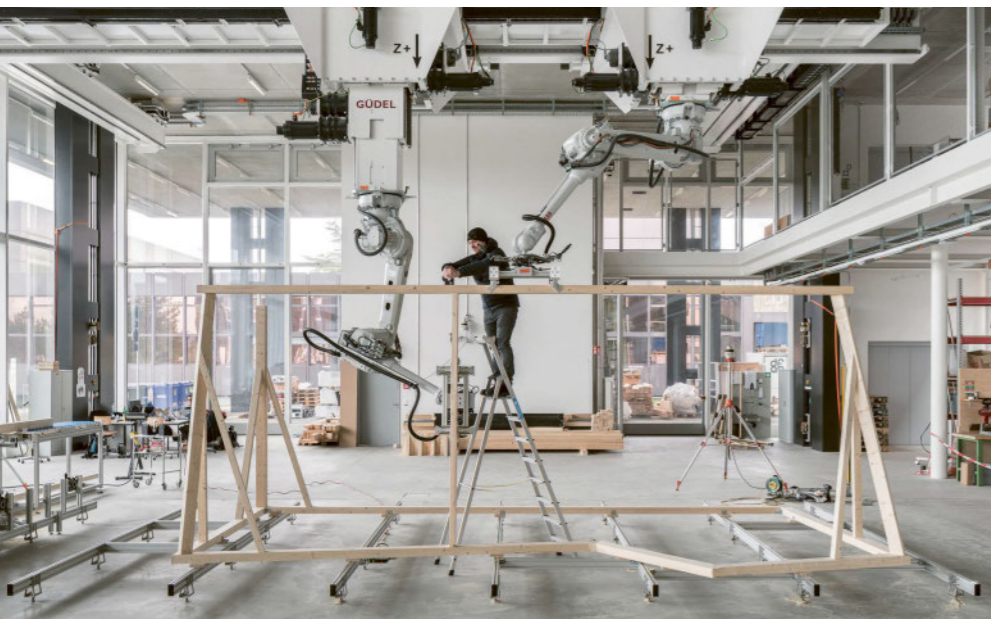
«Das architektonische Potenzial von digitalen Bautechnologien ist immens»

EIN INTELLIGENTES ZUHAUSE

Ab Mai werden die ersten Bewohnerinnen und Bewohner ins DFAB HOUSE einziehen. Es handelt sich um akademische Gäste von Empa und Eawag. Im DFAB HOUSE werden sie in einem intelligenten Zuhause leben. Ein Firmenkonsortium unter Leitung der digitalSTROM AG hat im DFAB HOUSE erste Smart-Home-Lösungen eingebaut, dazu gehören unter anderem eine intelligente und mehrstufige Einbruchsicherung, automatisierte Blend- und Beschattungsmöglichkeiten und die neueste Generation vernetzter, intelligenter Haushaltsgeräte. DFAB HOUSE ist allerdings nicht nur in Bezug auf die Hauselektronik smart, sondern auch, was den Umgang mit Energie angeht: Fotovoltaikmodule auf dem Dach liefern im Jahresdurchschnitt ▶

HOLZBAU PER ROBOTER
ermöglicht einzigartige Geometrien im DFAB HOUSE.





ARBEITSTEILUNG
Für DFAB HOUSE arbeiteten Menschen und Roboter eng zusammen – auf der Baustelle und in der Vorfertigung.

etwa eineinhalb Mal so viel Strom, wie die Unit selbst verbrauchen wird. Eine intelligente Steuerung koordiniert alle Verbräuche und sorgt dafür, dass keine Lastspitzen auftreten. Zusätzlich Energie zu sparen helfen zwei Start-up-Ideen, die von Forschenden der Empa und der Eawag begleitet werden: Zum einen wird die Wärme des Abwassers, die sonst verloren ginge, über Wärmetauscher direkt in den Duschwannen zurückgewonnen, und zum anderen fließt das warme Wasser bei Nicht-Gebrauch aus den Leitungen zurück in den Boiler, anstatt in den Wasserleitungen abzukühlen. Diese Methode spart Energie und Wasser und vermindert darüber hinaus die Gefahr von Bakterienbildung in den Leitungen.

«Durch den konstruktiven Dialog zwischen Wissenschaftlern und Fachleuten wurde Visionäres praktisch umsetzbar»

FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT LERNEN VONEINANDER

Die sechste Unit im Forschungs- und Innovationsgebäude NEST ist ein gutes Beispiel dafür, dass die Zusammenarbeit zwischen Forschenden und der Industrie zukunftsweisende Lösungen hervorbringt. «Bei der Realisierung eines Bauprojekts wie dem DFAB HOUSE treffen traditionelle Bauweisen und neue Konzepte der digitalen Welt aufeinander. Der Weg vom digitalen Reissbrett zum realen Bau hat Wissenschaftler und Fachleute gefordert. Durch den konstruktiven Dialog wurde Visionäres praktisch umsetzbar, und hoffentlich wird es bald in der Bauwirtschaft genutzt», sagt Gian-Luca Bona, Direktor der Empa. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: nest.empa.ch/dfabhouse

Fotos: NCCR Digital Fabrication, Daniel Sanz Pont, Roman Keller

«WENN WIR DIESE CHANCE NICHT NUTZEN, WERDEN ES ANDERE TUN»

Empa-Direktor Gian-Luca Bona über Chancen und Risiken der Digitalisierung und die Frage, wie ein Materialforschungsinstitut sich darauf ausrichten muss.

Interview: Oliver Schneider, Foto: Nicolas Zonvi



Welches IT-Projekt an der Empa begeistert Sie aktuell am meisten?

Das ist schwer zu sagen, denn wir arbeiten an vielen spannenden Projekten. Angefangen bei der Nanotechnologie, wo wir Materialeigenschaften von wenigen Atomen in Reaktionen studieren, bis hin zu IT-Projekten wie dem Energy Hub Demonstrator.

Worum geht es bei diesem Projekt?

Wir wollen herausfinden, wie man Quartiere oder ganze Stadtteile energetisch modellieren kann. Das tun wir, indem wir Daten erfassen und dann Vorhersagen treffen, welche Sanierungen aus Energie-Sicht optimal wären. Das Projekt hängt eng mit der Energiestrategie 2050 des Bundes zusammen, bei der wir auf eine optimale Nutzung erneuerbarer Energien und Minimierung des CO₂-Ausstosses hinarbeiten.

Beim Namen Empa denkt man nicht direkt an digitale Technologien. Welchen Stellenwert hat IT bei Ihnen?

Einen stark wachsenden. Das hängt damit zusammen, dass die Empa heute eine Forschungsinstitution für Materialien und Technologien ist – und Materialien sind die Grundlage jeder IT-Lösung. Wenn wir also Materialforschung machen, beteiligen wir uns an der Entwicklung digitaler Technik und versuchen von Beginn an, diese Technik bei der Forschung anzuwenden.

An der Empa bauen Roboter Häuser, und Drohnen unterhalten sie anschließend. Was braucht es noch zur voll automatisierten Baustelle?

Wir möchten zeigen, wie sich alle Schritte, vom Reissbrett über das fertige Produkt bis hin zu Wartung und Betrieb, mit digitaler Technik realisieren lassen. Dazu arbeiten wir mit verschiedenen Forschungseinrichtungen zusammen, vor allem der ETH Zürich. Dabei haben wir nicht nur das Potenzial, sondern auch die Schwierigkeiten des Bauens mit Robotern miterlebt. Eine Herausforderung ist es zum Beispiel, die verschiedenen Fachbereiche zu koordinieren. Im Moment

läuft da sehr viel, und wir möchten unsere Materialkenntnis einbringen, um Bau und Wartung der Zukunft zu realisieren.

Digitalisierung und Automatisierung sind auch umstritten. Es ist von Arbeitslosigkeit und Verlust beruflicher Identitäten die Rede. Wie sehen Sie das?

Ich sehe in der Automatisierung eine Riesenchance. Wenn wir diese Chance nicht nutzen, werden es andere tun. Ich bin mir aber bewusst, dass die Technik als Bedrohung wahrgenommen werden kann, etwa von einem Maurer. Sein Berufsbild wird sich verändern. Alle klassischen Berufe werden in Bezug auf technische Kenntnisse anspruchsvoller. Das muss kein Nachteil sein: Mit 60 hat der Bauarbeiter dann keinen kaputten Rücken mehr, sondern drei Umschulungen hinter sich.

Wie will die Empa die digitale Zukunft der Schweiz aktiv mitgestalten?

Wir als Forschungsinstitution für Materialien wollen uns dem digitalen Umfeld öffnen, indem wir unser Know-how auf Plattformen zur Verfügung stellen. Wir nennen das «Open Innovation». Ausserdem investieren wir in Big Data, künstliche Intelligenz und Machine Learning. Hier ist vor allem die internationale Kooperation wichtig. Dieses Potenzial muss man nutzen. Sich abzuschotten, ist keine Lösung. ■

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von www.netzwoche.ch. Mehr unter bit.ly/211gPZZ

SCHICK DEN AVATAR ZUM ARZT

Komplett virtuelle Doppelgänger sollen dereinst die Medizin revolutionieren.

Empa-Forschende entwickeln bereits jetzt einen digitalen Zwilling, der massgeschneiderte Therapien ermöglichen soll. Ziel ist es, diesen Avatar anzeigen zu lassen, wie ein Schmerzpatient oder ein Diabetiker individuell behandelt werden muss. Dabei erlaubt der digitale Zwilling auch eine personalisierte Prognose des Therapieverlaufs.

Text: Andrea Six



VIRTUELLES ABBILD

Der digitale Zwilling eines Patienten wird in Echtzeit mit den physiologischen Daten eines realen Menschen gefüttert. Ziel: personalisierte Medizin.

Der Mensch ist erstaunlich individuell. Bei den Essgewohnheiten oder dem Filmgeschmack scheiden sich die Geister. Beim Kranksein aber, könnte man meinen, sind wir alle gleich. Es gibt die eine Tablette gegen Kopfschmerz für jeden oder die

Spritze mit Insulin für alle Diabetiker. Dass die Rechnung so nicht aufgeht, weiss die moderne Medizin seit längerem und hat den Begriff der personalisierten Medizin geprägt. Je nach Alter, Lebensstil oder genetischem Interieur reagiert der Mensch ganz unterschiedlich auf bestimmte Therapien. Und da

Foto: shutterstock

es sich beim Menschen um ein lebendes System handelt, das seine Gewohnheiten ändert, in die Ferien fährt oder plötzlich einen Schnupfen kriegt, müssen medizinische Behandlungen enorm flexibel sein. Hier kommt die Idee eines virtuellen Doppelgängers ins Spiel, der in Echtzeit mit den physiologischen Daten

des realen Menschen gefüttert wird. Dieser medizinische Avatar soll dereinst die Medizin revolutionieren. Empa-Forschende entwickeln aber bereits jetzt einen digitalen Zwilling der Haut, der eine optimale Behandlung von Schmerzpatienten und Diabetikern ermöglichen soll. «Mit einem In-silico-Doppelgänger

können wir präziser auf den individuellen Patienten eingehen», sagt Thijs Defraeye von der Empa-Abteilung «Biomimetic Membranes and Textiles» in St. Gallen.

Gefördert wird das kürzlich gestartete Vorhaben von der Novartis-Forschungsstiftung und dem Competence Centre for Materials Science and Technology CCMX in Lausanne. Ziel ist es, Medikamente wie Schmerzmittel und Insulin über intelligente Fasern und Membranen über die Haut in den Körper zu bringen, während Sensoren gleichzeitig die Vitalparameter des Patienten messen. Anhand der Daten trifft der digitale Zwilling Vorhersagen zur individuellen Dosierung und kontrolliert den Therapieerfolg. Nach dem gleichen Prinzip könnte der Doppelgänger in einem nächsten Schritt für die Kontrolle des Heilungsverlaufs von anspruchsvollen Wunden eingesetzt werden. Empa-Forscher haben hierzu bereits einen smarten Verband mit integriertem Sensor entwickelt.

«Mit einem In-silico-Doppelgänger können wir viel präziser auf den einzelnen Patienten eingehen»

Defraeye und sein Team streben an, für die Entwicklung der digitalen Zwillinge gleich zwei innovative Forschungsfelder verschmelzen zu lassen: die nicht-invasive Medikamentengabe über die Haut mit transdermalen Medikamentenpflastern und die Steuerung und Vorhersage des Therapieverlaufs mittels Echtzeit-Modellierung. Dies ist insofern besonders elegant, da die Haut als unser grösstes Organ eine geeignete und grosse Fläche bietet, um Substanzen bis zu einer gewissen Molekülgrösse schmerzfrei in den Körper zu schleusen. Die Dosierung ist bei herkömmlichen therapeutischen ▶

Pflastern jedoch kaum steuerbar, da beispielsweise Anteile des Wirkstoffs selbst dann noch aus den Hautschichten in den Körper gelangen, wenn das Pflaster längst entfernt ist. Aktuelle Systeme, die eine Rückmeldung, etwa durch Messungen des Medikaments im Blut, einsetzen, können lediglich im Nachhinein beurteilen, ob möglicherweise zu hoch oder zu tief dosiert wurde. Vorhersagen über den Medikamentenbedarf kann das konventionelle Pflaster jedoch keine liefern.

DEN ZWILLING MIT DATEN FÜTTERN

Ein digitaler Zwilling, der mit Daten von nicht-invasiven, auf der Haut angebrachten Sensorsystemen gefüttert wird, erlaubt hingegen die exakte und personalisierte Dosierung der Wirkstoffe. Die mathematischen Modellierungen des digitalen Doppelgängers berücksichtigen auch die Hauteigenschaften des Patienten. Denn je nachdem, an welcher Körperstelle das Pflaster angebracht wird, oder ob das Medikament bei einem sonnengegerbten Sportler, einer älteren Dame mit papierner Alabasterhaut oder einem zarten Frühchen appliziert wird, verläuft die Wirkstoffaufnahme unterschiedlich. So lässt sich die exakte Dosis des Medikaments mit einer massgeschneiderten und zeitabhängigen Aussosrate aus dem Pflaster steuern, denn das intelligente System blickt nicht rückwärts, sondern in die Zukunft. «Als zusätzlichen positiven Effekt versprechen wir uns, die Dosierung – etwa von Schmerzmitteln – so weit senken zu können, dass die Patienten gerade optimal versorgt sind», so der Forscher.

In anderen Forschungsbereichen sind virtuelle Repräsentanten spätestens seit der Appollo-13-Mission der NASA ein Thema. Damals nutzte man «Doppelgänger» in Simulationen, um die Besatzung des beschädigten Raumschiffs sicher zur Erde zu bringen. Heute existieren digitale Zwillinge etwa für Flugzeugdesign, Fahr-

zeugbau oder im Gebäudeunterhalt. «In der Medizin träumt man von kompletten In-silico-Doppelgängern, die vorhersagen, wie ein Mensch altert oder wie sich ein künstliches Gelenk im Körper abnutzt», sagt Defraeye. Doch die Realität ist noch nicht so weit. Daher sei das System aus intelligenten Pflastern und Echtzeit-Simulationen ein Schritt in einen noch wenig erforschten Bereich mit enormem Potenzial, so der Empa-Forscher. Gleichzeitig komme man mit dem personalisierten «Digital Twin» für die transdermale Medikamentenabgabe dem menschlichen Avatar ein Stück näher.

«In der Medizin träumt man von kompletten In-silico-Doppelgängern»

Für die Entwicklung des «Digital Twin» im Gesundheitsbereich kann Defraeye auf erfolgreiche Forschungsergebnisse aufbauen: Im Bereich der Lebensmitteltechnologie entwickelte er bereits digitale Zwillinge verschiedener Früchte innerhalb eines noch laufenden, vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) geförderten Projekts. Um die Kühlkette vom Produzenten bis zum Händler in Echtzeit

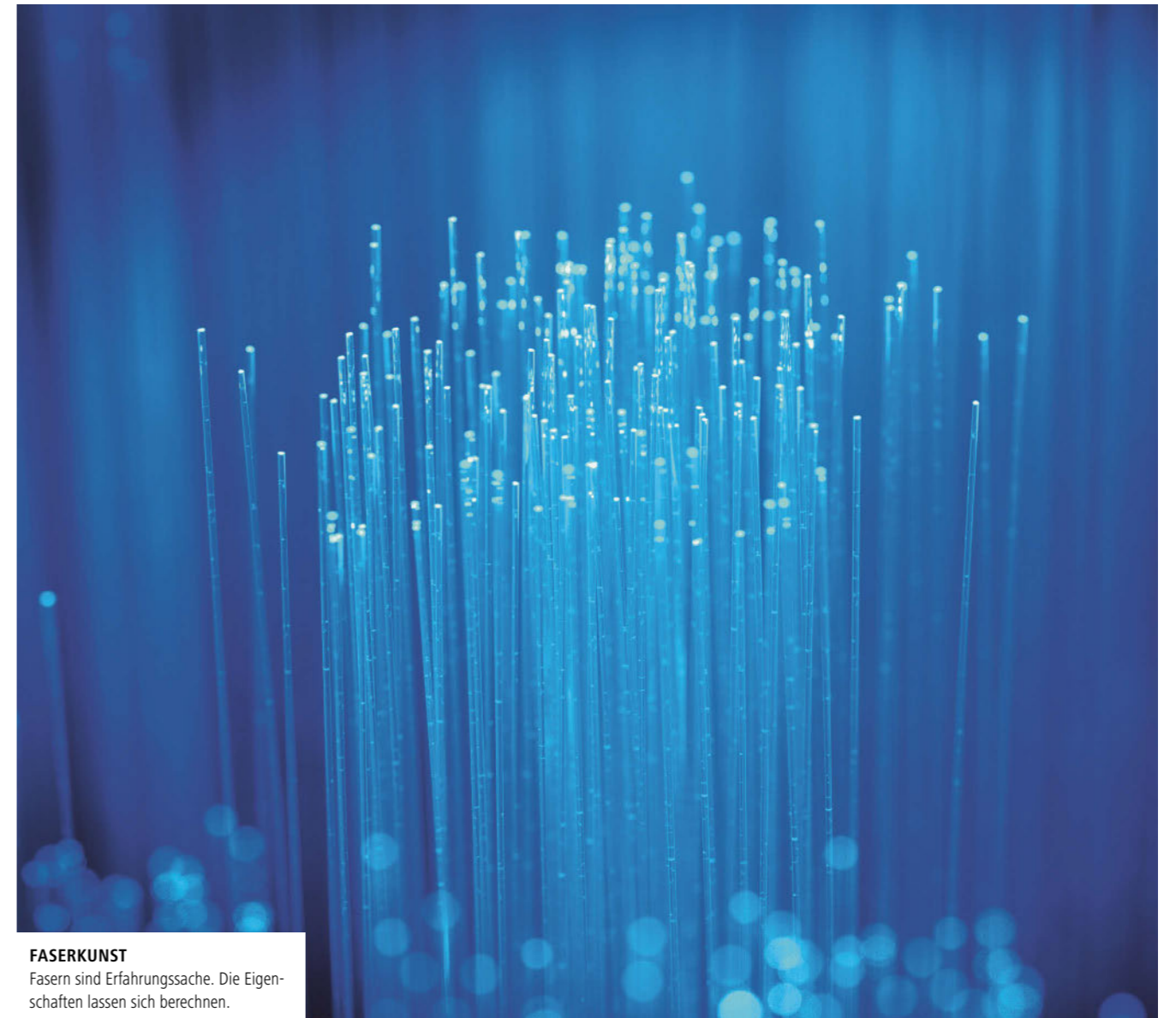
EMPA-NETZWERK SIMULATION

Bereits 2016 haben sich an der Empa Simulationsexperten aus mehreren Forschungsgebieten zur «Empa's Modeling & Simulation Group» zusammengeschlossen. Sie nutzen Simulations-Software gemeinsam, tauschen sich über Strategien aus und laden regelmäßig Gastwissenschaftler zu Vorträgen ein. Ziel ist es, rechnerisch anspruchsvolle Probleme in Physik, Chemie, Materialwissenschaft und Ingenieurwesen zu lösen, die vom Nano- bis zum Umweltbereich reichen. www.empa-akademie.ch/multiscale

kontrollieren und künftig auch steuern zu können, stellte der Forscher biophysikalische Zwillinge von Äpfeln, Mangos und anderen Früchten her, die sich in ihren thermischen Eigenschaften exakt wie das natürliche Vorbild verhalten und als Sensor wirken. Der passende «Fruchtspieler» begleitet das echte Obst auf seiner Reise bis zum Supermarkt und meldet Sensordaten an den digitalen Zwilling, der die Kühlung, etwa im Lastwagen, anpasst. Das virtuelle Obst basiert in diesem Fall auf einem dreidimensionalen CAD-Modell eines Apfels oder einer Mango in Verbindung mit entsprechenden multiphysikalischen Simulationen.

Für den Avatar der transdermalen Therapie werden die Empa-Forscher ein komplexes multiphysikalisches Hautmodell programmieren, das mit den Daten der Hautsensoren gefüttert wird. Als Helfer für die Entwicklung der Sensoren kommen biophysikalische Zwillinge des Menschen, sogenannte Manikins, zum Einsatz. Basierend auf den Informationen der sensorbestückten Puppen können physiologische Kennwerte und Reaktionen eines realen Menschen abgeschätzt werden, etwa die Veränderung der Hauttemperatur oder der Schwitzrate. Die Manikins und ein verknüpftes Computermodell sind an der Empa bereits heute ein etabliertes System zur Simulation menschlicher physiologischer Reaktionen. Das System wird nun zum Aufbau der deutlich komplexeren digitalen menschlichen Doppelgänger genutzt, die durch eine Vielzahl von Variablen bestimmt werden. «Denn der virtuelle Zwilling muss nicht nur auf Veränderungen reagieren, sondern auch die Dosierung von Medikamenten zuverlässig, sicher und individuell vorhersagen können», sagt Defraeye. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s401



FASERKUNST

Fasern sind Erfahrungssache. Die Eigenschaften lassen sich berechnen.

DAS PROGRAMMIERTE MATERIAL

Lassen sich Eigenschaften von Komposit-Materialien vorausberechnen? Empa-Spezialisten beherrschen das und helfen damit, Forschungsziele schneller zu erreichen. Dies führt zum Beispiel zu besseren Recyclingverfahren und elektrisch leitenden Kunststoffen für die Solarindustrie.

Text: Rainer Klose

Ali Gooneie simuliert am Computer, was die Welt im Innersten zusammenhält, Atome, Moleküle, Molekülketten und -bündel, sowie Klumpen und Fasern, die aus diesen Bündeln entstehen. Mit seinen Berechnungen kann der Empa-Forscher Eigenschaften erklären, die wir mit unseren Fingerspitzen auch fühlen können: Glattes und Raues, biegsame und steife Materialien, Wärme leitende Stoffe und Isolatoren.

Viele dieser Eigenschaften sind bereits im Inneren der Materialien angelegt. Metall oder Holz, Kunststoff oder Keramik, Stein oder Gel – all das ist oft schon durchleuchtet worden. Doch wie verhält es sich mit Komposit-Materialien? Wie entstehen die Eigenschaften solcher Verbundwerkstoffe, und wie lassen sie sich gezielt verändern? Stilles Experimentieren im Labor reicht in der Forschungswelt nicht mehr; heute braucht es Vorausberechnungen, um schnell entscheiden zu können, welchen experimentellen Weg man einschlagen muss.

Gooneie ist einer von zahlreichen Spezialisten für Computersimulation, die an der Empa in verschiedenen Forschungsabteilungen arbeiten. Er studierte Kunststofftechnik an der Amirkabir University of Technology in Teheran und promovierte an der Montanuniversität Leoben in Österreich. «Obwohl ich nach meinem Ingenieursstudium immer tiefer in die Formelwelt der Physik eingetaucht bin, ist mir der Kontakt zur realen Welt immer geblieben», sagt Gooneie. «Simulationen sind für mich kein Selbstzweck. Ich benutze sie, um zu erklären, welche Effekte wir in Materialien beobachten können.»

Um zu verstehen, was Gooneie da berechnet, lohnt es sich, einen biologischen Polymer-Komposit-Faserwerkstoff zu betrachten, den wir alle gut



IN DER HAND

hält Ali Gooneie Proben seines letzten Projekts: elektrisch leitfähigen Kunststoff. An der Tafel erste Kalkulationen für seine nächste Arbeit.

kennen: Haar. Frisch gewaschen, fühlen sie sich weich und biegsam an. Wenn sie trocken sind, knistern sie elektrisch, und wenn sie nass sind, quietschen sie wie Gummi. Wir können sie zerschneiden und abreißen, versengen und in Dauerwellen legen, bleichen und zur Föhnfrisur türmen. Doch woher kommen all die Eigenschaften?

WIE FÜHLT SICH HAAR AN? WARUM?

Haar besteht aus einzelnen Aminosäuren, die sich zu langkettigen Eiweissen verbinden, sogenannten Keratinen. Diese langen Keratinmoleküle lagern sich zu Fäden und Faserbündeln aneinander. Ein Komplex aus Zellmembranen verkittet die Faserbündel miteinander. Umhüllt sind diese lebenden Faserbündel von mehreren Schichten aus abgestorbenen Hornschuppen, die, ähnlich wie die

Schuppen von Tannenzapfen, versetzt übereinander liegen. Die Eigenschaften von Haar wären nicht erklärbar, wenn man nur die chemischen Grundbausteine – die Aminosäuren – in Betracht ziehen würde. Das Verständnis der übergeordneten Struktur ist entscheidend.

Wir zoomen also gedanklich heraus aus der chemischen Struktur und sehen die Moleküle nur noch als Kügelchen, die wie an einer Perlenkette zusammenhängen. Nun bestimmt nicht mehr die Chemie, sondern die Kollisionen und Reibungseffekte dieser Perlenketten das Bild. Fachleute nutzen zur Berechnung grobkörnige mathematische Modelle.

Schliesslich kommen wir in eine Dimension, die wir sehen und fühlen können: den Millimeterbereich. Hier wird das

Haar als homogen aufgebautes Material betrachtet – die Feinstruktur fällt nun gar nicht mehr ins Gewicht. Die makroskopischen Eigenschaften lassen sich mit der Finite-Elemente-Methode beschreiben und vorausberechnen.

DETAILLIERTES VERSTÄNDNIS VON FASERN

Eine derart mehrdimensionale Betrachtung gab es bis vor wenigen Jahren im Bereich der Polymer-Verbundwerkstoffe nicht. Ali Gooneie hatte mit seiner Arbeit an der Montanuniversität Leoben diese Betrachtungsweise weiterentwickelt. Das machte ihn für die Empa interessant. Der Simulationsexperte zog nach St. Gallen und forscht nun in der Abteilung «Advanced Fibers» unter der Leitung von Manfred Heuberger.

Eines der Forschungsziele Heubergers ist die Weiterentwicklung synthetischer Fasern – ein wirtschaftlich gewichtiges Thema: Rund zwei Drittel aller weltweit verwendeten Fasern werden heute synthetisch erzeugt. Eine synthetische Faser ist deutlich mehr als ein feines Kunststofffilament. Sie wird erst zur «Faser», wenn die molekulare Struktur, bestehend aus kleinen Kristallen und ausgerichteten Molekülen, auf die gewünschten Eigenschaften – etwa Flexibilität oder Zugfestigkeit – abgestimmt ist. Nur wenn die Faserstruktur von der Nanometer- bis zur Mikrometerskala bekannt ist, lassen sich die Eigenschaften des Produkts während der Verarbeitung gezielt einstellen.

LEITFÄHIGE POLYMER-VERBUNDWERKSTOFFE

Mehrere Projekte hat Gooneie bereits begleitet. So ging es zum Beispiel darum, Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) in eine Polyamid-Matrix einzubetten. CNT können in der richtigen Dosierung einem Kunststoff elektrische Leitfähigkeit verleihen – was dieses Material zum Beispiel für die Fotovoltaikindustrie interessant macht. Doch wie findet sich die optimale Menge beizumischender

Nanoröhrchen? Sollten alle Röhrchen die gleiche Länge haben, oder wäre eine Mischung verschiedener Längen besser?

Bislang war es unter Komposit-Forschern üblich, das Problem mit einer Reihe chemischer Versuche einzugrenzen und zu lösen. Ali Gooneie ging die Aufgabe dagegen von der theoretischen Seite her an und nutzte seine mehr-

«Simulationen sind für mich kein Selbstzweck. Ich benutze sie, um zu erklären, welche Effekte wir in Materialien beobachten»

dimensionale Simulationsmethode. Als Lösung ergab sich: Eine Mischung von CNT unterschiedlicher Längen erzeugt am schnellsten eine elektrische Leitfähigkeit. Schliesslich gelang es ihm auch vorauszuberechnen, in welcher Weise sich die Nanoröhrchen im Polymer anordnen werden – abhängig davon, ob die Verarbeitung schneller oder langsamer geschieht.

Gleichzeitig mit den Berechnungen schritten die Forscher zur Tat: Im heissen Extruder, bei 245 Grad Celsius, wurden die Nanoröhrchen in veränderlichen Anteilen in die Polyamid-Matrix gemischt. Die anschliessende Untersuchung zeigte, dass eine Beimischung von 0,15 Gewichtsprozent im Hinblick auf elektrische Leitfähigkeit die besten Ergebnisse brachte. Hand in Hand mit den Laborversuchen hatte angewandte Mathematik das Problem auf elegante Weise gelöst.

Auch bei Recyclingprojekten kann Simulationsrechnung viel bewirken. Die Schweizerinnen und Schweizer sammelten 2018 fast 48 000 Tonnen PET-Flaschen. Daraus gewann die Industrie 35 000 Tonnen rezykliertes PET. Der Kunststoff ist begehrt, denn er ist

mechanisch belastbar, luft- und gasdicht und kann hohe Temperaturen aushalten. Doch auch PET ist nicht beliebig oft rezyklierbar. Wird das Material allzu oft umgeschmolzen, laufen im Inneren chemische Reaktionen ab: Die Moleküle oxidieren, vernetzen sich, bilden Klumpen, das Material wird zäh und glasig.

SCHONENDES PET-RECYCLING

Ein Zusatzstoff namens DOPO-PEPA könnte das ändern. Eigentlich ist das Material ein Flammenschutzmittel, das von Empa-Forscher Sabyasachi Gaan, ebenfalls in der Abteilung «Advanced Fibers», entwickelt wurde. Nun wollten die Forscher ausprobieren, ob es auch als Schmier- und Schutzmittel für das PET-Recycling dienen kann. Wieder kam Gooneie zum Einsatz. Zunächst schätzte er ab, ob sich DOPO-PEPA bei der angestrebten Temperatur überhaupt ins PET hineinmischen lässt. Dann berechnete er, wie sich die Perlenkette von PET-Molekülen in der Schmelze bewegt, wie sich die DOPO-PEPA-Moleküle dazwischenlegen und wann sich ein Gleichgewicht im Stoffgemisch einstellt.

Ergebnis: Schon eine Beimischung von wenigen Prozent DOPO-PEPA genügt, um rezykliertes PET gut fließen zu lassen. Dank höherer Mathematik an der Empa läuft also bald auch Recycling wie geschmiert. ■

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

IMPLANTATE AUS DEM 3-D-DRUCKER



PRÄZIS
Additive Fertigung ist eine komplexe Aufgabe. Es braucht Fachwissen über die verwendeten Materialien, den Fertigungsprozess und die Nachbearbeitung der gedruckten Teile.

Der 3-D-Druck findet Einzug in die industrielle Fertigung. Auch in der Medizintechnik werden diese Technologie sowie die zunehmende Digitalisierung der Design- und Herstellungsprozesse – Stichwort Industrie 4.0 – künftig eine zentrale Rolle spielen. Ein neues Technologietransferzentrum, initiiert von der Empa, soll helfen, das Know-how von der Wissenschaft in die Industrie zu bringen – und gleichzeitig die Forschung zu beschleunigen. Das «Swiss m4m Zentrum» wird zurzeit im Kanton Solothurn gebaut und soll bereits Ende 2019 den Betrieb aufnehmen.

www.empa.ch/web/s604/m4m

WIE SICHER IST GRAPHEN?

Graphen gilt als eines der interessantesten und vielseitigsten Materialien der Gegenwart. Die Anwendungsmöglichkeiten begeistern sowohl Forschung als auch Industrie. Aber sind Produkte, die Graphen enthalten, auch sicher für Mensch und Umwelt? Ein umfassender Review, entstanden im Rahmen des europäischen Graphen-Flagship-Projekts mit Beteiligung von Empa-Forschenden, ging der Frage nach. Es zeigt sich: Es braucht weitere Forschung, um den Zusammenhang zwischen der Graphenstruktur und dessen Aktivität sicher voraussagen zu können.

www.empa.ch/web/s604/graphene-safety



WINZIG
Graphen gilt als Material der Zukunft. Doch ist es sicher für Mensch und Umwelt?

Fotos: istock/Getty Images, Empa

Fotos: www.jungfrau.ch, www.brug.ch

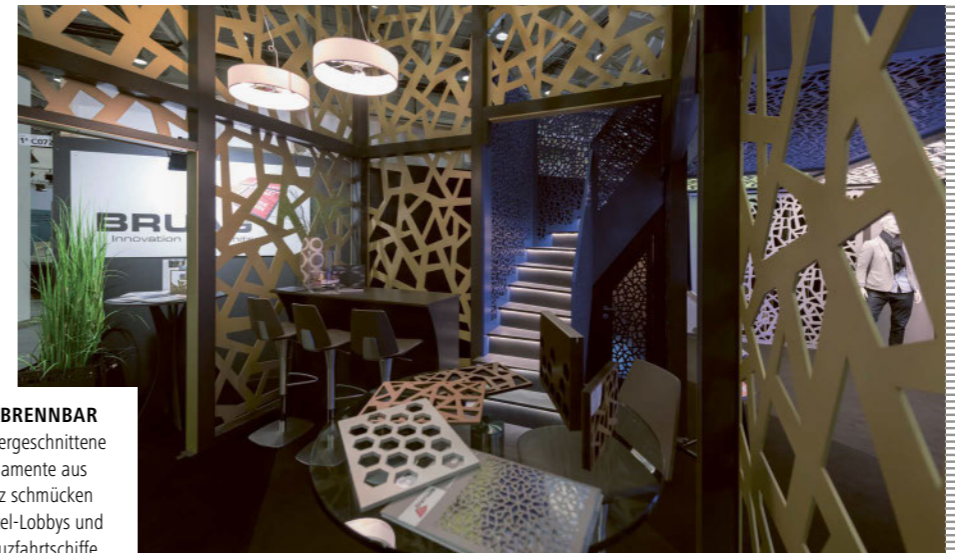
FORSCHEN IN GROSSER HÖHE

Anfang der 1930er-Jahre, als sich viele Länder Europas abschotteten, eröffnete die Schweiz die international ausgerichtete Forschungsstation Jungfraujoch. Die Station erhält 2019 gleich zwei Auszeichnungen als bedeutende historische Stätte der Naturwissenschaften. Die Europäische Physikalische Gesellschaft honoriert die Verdienste in der Physik und die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz jene in der Chemie. Auch die Empa forscht seit bald 50 Jahren an der Spitze Europas: Die Messung von über 70 verschiedenen Substanzen in der Luft soll helfen, die Entwicklung weltweiter Emissionen zu verstehen.

www.empa.ch/web/s604/top-of-europe-auszeichnung



KALT
Seit 1972 überwacht die Empa die Luftqualität auf dem Jungfraujoch in 3450 m Höhe.



UNBRENNBAR
Lasergeschnittene Ornamente aus Holz schmücken Hotel-Lobbys und Kreuzfahrtschiffe.

FLAMMSCHUTZ OHNE GIFT

Gemeinsam mit der Brugag Fire Protection AG haben Spezialisten der Empa in einem Innosuisse-Projekt ein neues Flammschutzmittel für Holz und Holzwerkstoffe entwickelt. Das farblose Additiv erhöht den Brandwiderstand der Werkstoffe, ohne deren positive Eigenschaften zu beeinträchtigen. Dies ermöglicht holzverarbeitenden Betrieben neue Einsatzmöglichkeiten – gerade im Innenbereich.

www.empa.ch/web/s604/eda-dopo-reach



SPITZENLAST
Solarenergie entsteht zur Mittagszeit. Wie lässt sie sich günstig speichern?

FÜR HEIM UND NETZ

Solaranlagen auf den Dächern von Wohnhäusern produzieren oft genau dann Energie, wenn die Bewohner sie nicht nutzen können. Stationäre Batterien erlauben es, diese Energie erst abends, nachts oder an einem Regentag zu nutzen. Ein Forschungsprojekt an der Empa untersucht, ob der Einsatz stationärer Batterien für die Verbraucher wirtschaftlich sinnvoll ist – und gleichzeitig Vorteile für die Energieversorger bieten kann.

Text: Karin Weinmann

Auf immer mehr Schweizer Dächern finden sich Solaranlagen. Das stellt die Netzbetreiber vor Herausforderungen. Denn an einem sonnigen Tag können plötzlich grosse Mengen Strom ins Netz

strömen. Falls es nicht dafür ausgelegt ist, bricht es schlimmstenfalls sogar zusammen. Eine Möglichkeit, einem solchen Blackout vorzubeugen, wäre, die Netzinfrastruktur für viel grössere Maximallasten auszubauen. Dies führt aber zu deutlich höheren Kosten.

Eine Alternative ist, zu verhindern, dass das Netz mit grossen Strommengen geflutet wird. Der lokal produzierte «Überschussstrom» müsste also lokal zwischengespeichert werden. Doch lohnt sich das für die Betreiber der Dachanlagen? Welche Speichermöglich-

keiten bieten sich an? Und lässt sich so das Stromnetz tatsächlich stabilisieren?

Diesen Fragen ist Empa-Forscher Philipp Heer nachgegangen. Er nutzte für sein Projekt reale Messdaten des lokalen Dübendorfer Energie- und Wärmeversorgers Glattwerk und untersuchte zwei Batterietypen: Lithium-Ionen-Batterien sowie Flüssigsalzbatterien des Typs Natrium-Nickelchlorid, ZEBRA-Batterie genannt (siehe Kasten). In Computersimulationen rechnete Heer 160 verschiedene Szenarien durch und variierte dabei Batteriegrossen und Systeme, die auf einem zentralen oder aber mehreren dezentralen Batteriespeichern basieren können.

«Batterien, die auf mehrere Zielvorgaben zugleich optimiert sind, erzielen eine 15% höhere Rendite»

PROSUMER UND VERTEILER

Es gibt zwei Parteien mit unterschiedlichen Interessen. Zum einen die Netzbetreiber: Mit Stromnetzen im Mittel- und Niederspannungsbereich verteilen sie Strom an die Endkunden. In der Schweiz gibt es rund 650 Netzbetreiber, die zusammen ein Netz von rund 200 000 Kilometer betreuen. Ihr Ziel ist es, das Ausfallrisiko im Netz zu minimieren, ohne die Infrastruktur auf eine selten zu erwartende Maximallast ausbauen zu müssen.

Auf der anderen Seite stehen die Konsumenten, die gleichzeitig selbst Strom erzeugen – die sogenannten Prosumer. Ihr Ziel ist es, ihre Energiekosten zu minimieren. Das bedeutet: der selbst produzierte Strom soll dann konsumiert werden, wenn die Energiekosten hoch sind. Da zurzeit die Einspeisetarife im Vergleich zu den Bezugstarifen sehr niedrig ausfallen,

lohnt es sich für die Prosumer kaum, den erzeugten Strom ins Netz einzuspeisen.

Wie kann man nun stationäre Batterien so einsetzen, dass beiden Seiten davon einen Nutzen haben? Betrachten wir einen sonnigen Tag: Die Photovoltaikanlagen liefern während des Tages Strom, wenn viele Bewohner nicht zu Hause sind. Speisen sie den Strom zum tiefen Einspeisetarif ins Netz ein, entstehen Nachteile – und zwar für beide Seiten: Die Konsumenten müssen den Strom am Abend zum höheren Bezugspreis wieder einkaufen, und die Netzbetreiber müssen ihr Netz ausbauen, um tagsüber die hohe Strommenge aufnehmen zu können. Wird der selbst erzeugte Strom hingegen in lokalen Batterien zwischengespeichert, kann er am Abend von den Erzeugern selbst konsumiert werden – und das Netz wird entlastet.

SHARING ECONOMY FÜR BATTERIEN

Natürlich haben auch Batterien nicht nur Vorteile. Ihre Effizienz liegt nicht bei 100%. Insgesamt steigt also der durchschnittliche Energieverbrauch im Gesamtnetz, wenn Batteriespeicher eingesetzt werden. Um die Nützlichkeit der Batterie für alle Beteiligten zu erhöhen, wäre es daher sinnvoll, die Batteriesteuerung auf die unterschiedlichen Inter-

ZEBRA-BATTERIE

Die Flüssigsalz-Batterie des NaNiCl₂-Typs, ZEBRA-Batterie genannt, wurde 1985 in Pretoria, Südafrika, entwickelt. ZEBRA steht dabei für den Projektnamen «Zero Emission Batteries Research Activity». Die Batterien basieren auf Ausgangsstoffen, die im Vergleich zu anderen Batterietechnologien wie Lithium-Ionen-Batterien in ausreichenden Mengen vorhanden sind. Die Batterie wird bei einer Temperatur von rund 300 °C betrieben.

essen der Stakeholder zu optimieren, anstatt etwa nur die Kostenersparnis für den einzelnen Prosumer zu maximieren. Im ungünstigsten Fall würden nämlich alle Prosumer ihre Batterien mit überschüssigem PV-Strom füllen, bis sie zum Beispiel am Mittag voll sind – und dann plötzlich alle gleichzeitig den Strom ins Netz einspeisen. Dadurch entstünde den Netzbetreibern wieder ein Peak an eingespeister Energie.

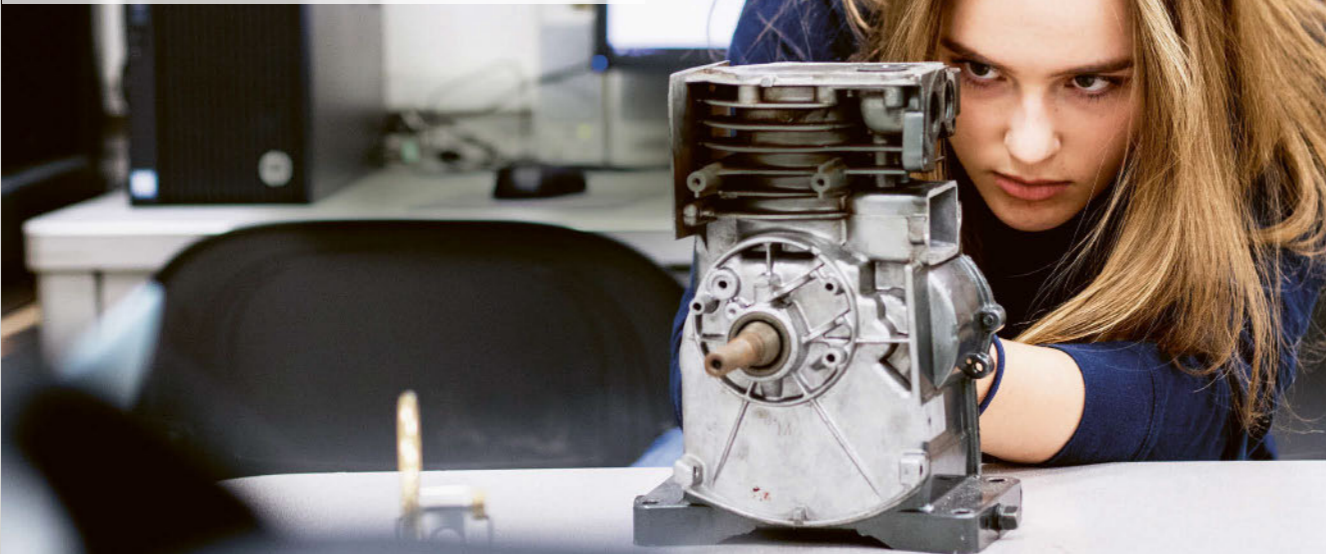
Eine optimierte Batteriesteuerung würde die Batterie genau dann laden, wenn dem Netz mehr Strom zugeführt als daraus verbraucht wird. Und das rechnet sich: «Die Simulationen zeigen, dass Batterien, die auf die kombinierten Steuerziele hin optimiert werden, eine bis zu 15% höhere durchschnittliche Rendite erzielen als solche, die nur auf einen einzelnen Stakeholder hin optimiert sind», erklärt Heer. Bereits kleine, dezentrale Batterien können sich also für beide Seiten lohnen – doch grössere, geteilte Speicher könnten noch grössere Vorteile bringen.

SIMULATIONEN VERIFIZIEREN

Um zu sehen, ob sich die Resultate der Simulation bewahrheiten, planen Heer und sein Team nun, eine derart optimierte Batteriesteuerung in einem realen System zu testen. Dafür nutzen sie den Energiedemonstrator der Empa, den «Energy Hub», kurz ehub. Die verschiedenen Units des NEST funktionieren dabei als aktive Prosumer, die verschiedene Mengen an Energie produzieren und verbrauchen. Sowohl eine Flüssigsalz- als auch eine Lithium-Ionen-Batterie stehen für die Tests zur Verfügung. «Bewähren sich die Simulationsergebnisse in der Realität, könnte das analysierte Dübendorfer Verteilnetz als Pilotprojekt dienen», so Heer. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/energy-hub

EMPA ZUKUNFTSFONDS – FORSCHEN FÜR DIE WELT VON MORGEN



Mobilität ohne Grenzen, ein steigender Energiehunger, Gesundheit und Leistungsfähigkeit bis ins hohe Alter, komfortabler Wohn- und Lebensraum – wie lassen sich all diese Bedürfnisse befriedigen, wenn wir zugleich die Erde sorgsam behandeln und an unsere Kinder weitergeben wollen? Die Antwort liegt in der Entwicklung innovativer Technologien und neuartiger Materialien, mit denen wir unsere Zukunft nachhaltig, lebenswert und wirtschaftlich erfolgreich gestalten können. Genau das haben wir uns an der Empa zum Ziel gesetzt. An der Empa entwickeln unsere Forschenden Lösungen für die Herausforderungen unserer Zeit. Unsere Forschenden müssen dazu die Grenzen von Wissenschaft und Technik erweitern und stossen immer wieder in unbekanntes Terrain vor. Dadurch stärken wir wie keine zweite Schweizer Forschungsinstitution die internationale Wettbewerbsfähigkeit unseres Landes. Seit 2001 ruft die Empa regelmässig «Internal Research Calls» aus, in denen sich Empa-Forschende mit neuen, hochinnovativen Projektideen um Mittel bewerben können. Aus vielen dieser ersten Projektideen haben sich spannende neue Technologien entwickelt, die ohne eine erste Förderung wohl so

nicht entstanden wären. Mit zusätzlichen Spenden kann die Anzahl geförderter Projekte erhöht und so weiteren zukunftsreichen Ideen die Möglichkeit zur Realisierung verschafft werden. Aus diesem Grund hat die Empa den Zukunftsfonds ins Leben gerufen und baut ein professionelles Fundraising auf. Der Zukunftsfonds vergibt Mittel, die der Empa von Unternehmen, Stiftungen und Privatpersonen als gemeinnützige Donationen anvertraut werden. Dank der zusätzlichen Mittel können wir Forschungsprojekte unterstützen, die anderweitig (noch) keine Förderung erhalten: zukunftsweisende Ideen, die einmal einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Welt leisten können.



GABRIELE DOBENECKER
Leiterin Empa Zukunftsfonds
Tel. +41 58 765 44 21
gabriele.dobenecker@empa.ch



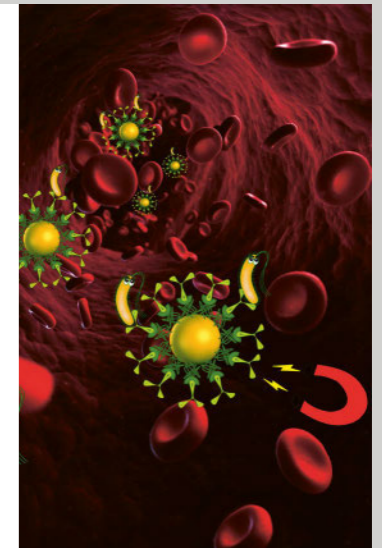
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:
Empa Zukunftsfonds www.empa.ch/zukunftsfonds

Fotos: istock/Getty Images, Empa (3), Eawag

PROJEKTBEISPIEL 1

Gezielte Sepsis-Behandlung

Sepsis ist eine lebensbedrohliche, ausser Kontrolle geratene Infektion, an der bis zu 15 000 Menschen in der Schweiz jährlich erkranken; in jedem dritten Fall tödlich. Die Behandlung septischer Patienten ist schwierig, da der auslösende Mikroerreger häufig schlecht nachweisbar ist. Die therapeutischen Massnahmen umfassen daher oft unspezifische Antibiotika, deren übermässige Anwendung mit ein Grund für immer öfter auftretende Resistenzen ist. Das durch die Novartis-Stiftung geförderte Projekt untersucht eine neue Möglichkeit zur Sepsis-Behandlung. Im Blut zirkulierende Mikroben werden dabei mittels magnetischer Nanopartikel direkt dem Blut entzogen. Dies soll es einst ermöglichen, krankheitsverursachende Bakterien schnell und effizient aus dem Blut von Patienten zu entfernen, zu bestimmen und eine zielgerichtete antibiotische Therapie rasch in die Wege zu leiten.



PROJEKTBEISPIEL 2

Verbesserte Wasserfilter

Hunderte Millionen Menschen erkranken jährlich aufgrund von verunreinigtem Trinkwasser; etliche Millionen sterben gar an den Folgen. Sauberes Wasser ist zwar häufig in Flaschen erhältlich. Sie sind aber nur für den reichsten Teil der Bevölkerung erschwinglich. Für die Ärmeren sind kostengünstige und zuverlässige Behandlungsmethoden erforderlich, die Krankheitserreger sicher entfernen. Mit konventionellen Filtern kann man Trinkwasser zwar leicht von Bakterien und Kleinorganismen befreien, hingegen funktionieren sie nicht für Viren, die mehr als 50-mal kleiner sind als Bakterien. Ziel des Projekts ist es, neue, speziell beschichtete Materialien zu entwickeln, die als Flies im Wasserfilter schädliche Viren zurückhalten. Das Projekt wurde durch eine private Spende ermöglicht.



PROJEKTBEISPIEL 3

Massgeschneiderte Schwingungsdämpfung

Makroskopische Kristallstrukturen können unerwünschte Schwingungen tilgen oder Geräusche filtern – ganz ohne Elektronik und Strom. Sie sind leichter und fester als bisher gebräuchliche Dämmstoffe und können erst noch für den Einsatzzweck massgeschneidert werden. Ein Forschungsvorhaben, das Industrieunternehmen kaum je angepackt hätten und das darum durch den Empa-Zukunftsfonds finanziert wurde: Gibt es Materialien, die eine hohe mechanische Tragfähigkeit aufweisen, aber aufgrund ihrer inneren Struktur trotzdem Schall und Vibrationen dämpfen können? Nach drei Jahren Forschungsarbeit wurde der Beweis erbracht: Solche Materialien gibt es tatsächlich. Anwendungen dieser «fononischen Kristalle» sind voraussichtlich etwa die Geräuschkämpfung im Fahrzeug- und Maschinenbau, aber auch der Erdbebenschutz ganzer Gebäude.



KÄLTE AUS DER SONNE

Kann man mit Abwärme kühlen? Klar doch. Ein Schweizer Forschungsprojekt mit Empa-Beteiligung, das im November erfolgreich endete, hat es eindrücklich demonstriert. Nun läuft ein grösseres EU-Projekt an: industrielles Kühlen – dank der spanischen Sonne.

Text: Rainer Klose | Grafik: Hug & Dorf Müller Design AG

Manchmal ist es unumgänglich, irgendetwas aufzuwärmen. Kartoffelsuppe oder Risotto, Tomatensugo oder Schokoladenpudding – ohne Hitze nicht machbar. Ein kleiner Teil der Wärme landet im Magen, der grosse Rest heizt dagegen (ungewollt) die Umgebung auf. Denken wir über die Küche hinaus, fallen uns die nächsten Abwärme-Verdächtigen ein: Der Laptop wird warm, noch mehr aber der Serverpark des Internetproviders. Wir duschen heiss und lassen das warme Wasser durch den Abfluss laufen, im Waschsalon um die Ecke geschieht genau das gleiche. Schliesslich gehen wir vor die Tür und starten unser Auto: Dessen Motor verwandelt mehr als drei Viertel der Energie, die im Benzin steckt, in Abwärme und nur den kleineren Teil in den gewünschten Vortrieb.

Bis jetzt ging all diese Wärmeenergie verloren. Doch das soll sich ändern. Ein Team aus europäischen Forschern beginnt nun damit, Abwärme «einzusammeln». Ein Team der Empa ist mit dabei.

Für Matthias Koebel begann das Interesse am Wärmesammeln mit dem Schweizer Forschungsprojekt THRIVE («Thermally driven adsorption heat pumps for substitution of electricity and fossil

fuels»). Angestossen hatte das Projekt IBM Research Zurich. Das Forschungslabor in Rüschlikon stellte sich die einfache Frage: Lässt sich mit der gewaltigen Abwärme eines grossen Rechenzentrums etwas Sinnvolles anfangen? Reicht die Energie vielleicht, um genau dieses Rechenzentrum aktiv zu kühlen? Als Partner holten die IBM-Forscher eine Reihe von Schweizer Material- und Systemspezialisten an Bord: Die ETH Zürich, die Hochschule für Technik Rapperswil (HSR), die Waadtländer Ingenieurhochschule HEIG-VD, das Paul-Scherrer-Institut (PSI) – und die Empa. Ziel war es, eine Adsorptionswärmepumpe zu entwickeln, die Abwärme in Kühlleistung verwandelt.

Koebels Team gelang es, ein neues Adsorptionsmaterial mit dreifach höherer Leistung zu entwickeln.

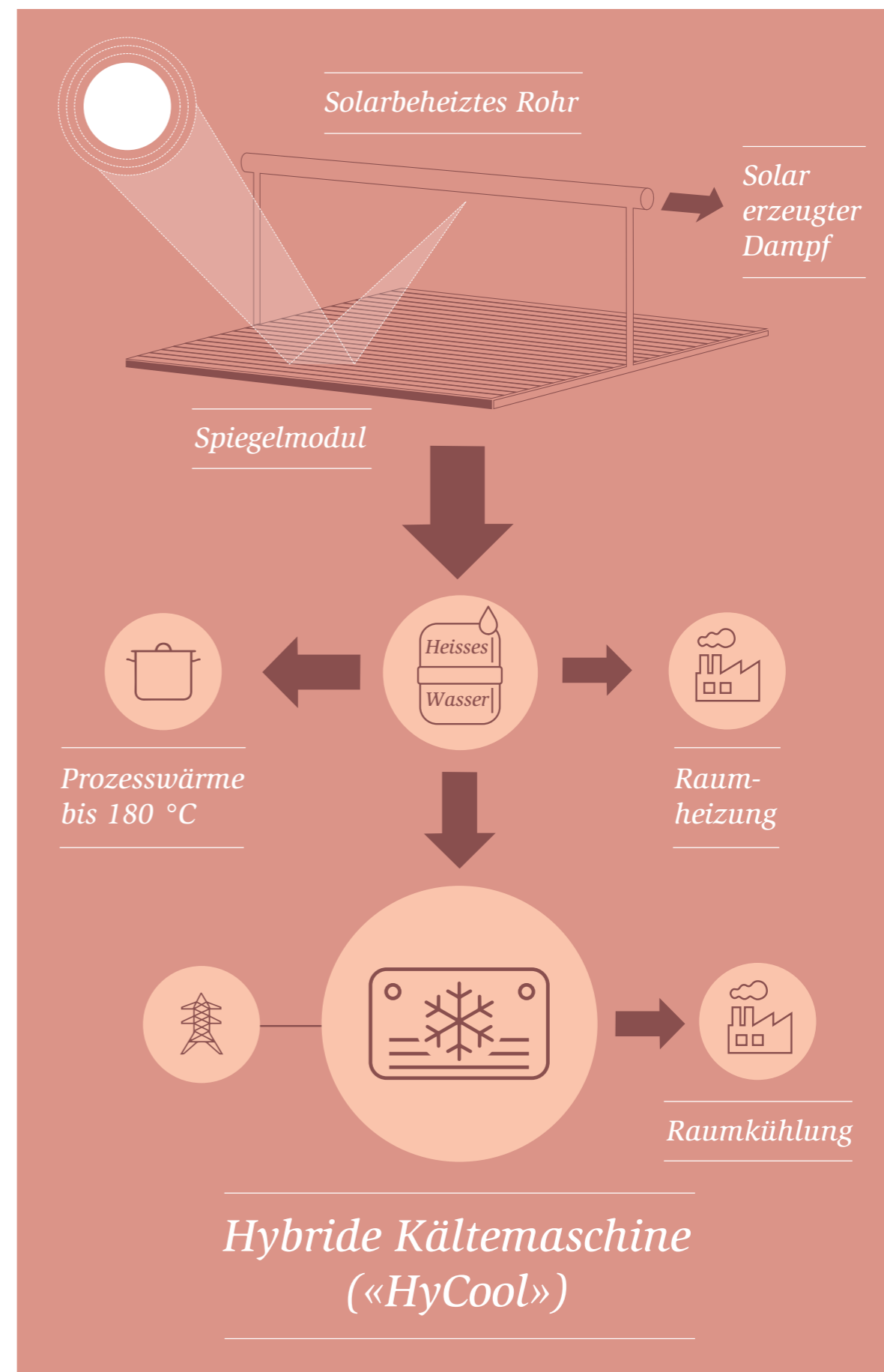
Adsorptionswärmepumpen nutzen Hitze, um Kühlleistung zu erzeugen. In der Kühlzone der Anlage verdunstet Wasser und sorgt für Kühlung. Der Wasserdampf wird in der warmen Zone der Anlage von einem Absorbermaterial aufgefangen.

Wenn das Absorbermaterial gesättigt ist, wird es durch Hitze von aussen wieder getrocknet und steht für einen weiteren Kühlzyklus zur Verfügung.

PROTOTYP DER KÜHLANLAGE

Im November 2018, nach 47 Monaten Arbeit, endete das Forschungsprojekt erfolgreich. Im Rahmen von THRIVE hatten die HSR-Forscher zunächst eine Forschungswärmepumpe mit einer Leistung von 1 kW (Kilowatt) und später einen Prototyp einer Adsorptionswärmepumpe mit zehnmal grösserer Leistung erstellt. Diese Leistung würde ausreichen, um ein Einfamilienhaus in Südeuropa im Sommer zu klimatisieren.

Adsorptionswärmepumpen sind jedoch nicht nur für die Kühlung einzelner Häuser oder Serverparks nützlich, sondern könnten auch die Effizienz von Fernwärmenetzen verbessern, errechneten Forscher der HEIG-VD. Würde man sie künftig für die stationäre Wärmeversorgung einsetzen, ergäbe das schweizweit eine Energieersparnis von vier bis neun Prozent, im Bereich der Industrieabwärme noch weitere drei bis sechs Prozent, kalkulierten Forscher des PSI. Koebels Team gelang es, ein neues Adsorptionsmaterial zu entwickeln. Die Kühlleistung des neuen Mittels ist mehr als ▶





SONNENHITZE
kann Industrieprodukte kühlen. Die Empa unterstützt ein Projekt in Spanien.

im Mai 2018 startete und drei Jahre lang laufen wird. Das Ziel: Der Aromahersteller Givaudan und der spanische Lebensmittelproduzent Bo de Debò möchten den Kühlbedarf ihrer Produktionsanlagen so weit als möglich mit Hilfe von Abwärme und Solarenergie decken. Dazu wird die Adsorptionswärmepumpe mit einer herkömmlichen Wärmepumpe kombiniert. Es entsteht eine sogenannte Hybrid-Wärmepumpe, die zwar zusätzlich Strom verbraucht, dafür aber extrem flexibel ist.

SOLARE KÜHLUNG SPANISCHER FERTIGGERICHTE

Die notwendige Wärme für die Kühlung soll auf dem Dach einer spanischen Fabrik bei Barcelona solar erzeugt werden: Ein 400 Quadratmeter grosses Feld von Spiegeln bündelt Sonnenlicht auf ein Rohr. In diesem Rohr wird Wasserdampf erzeugt, der über die Adsorptionswärmepumpe die nötige Kühlleistung erbringt. Auf dem gleichen Weg erhält die Fabrik Prozesswärme von bis zu 180 Grad Celsius und Wärme von bis zu 65 Grad Celsius für die Heisswasserversorgung und die Heizung der Fabrikhallen im Winter.

Auch in Zukunft wird es notwendig sein, Dinge aufzuwärmen. Doch wir werden lernen müssen, sehr viel sorgsamer mit der erzeugten Abwärme umzugehen. Fossile Brennstoffe einsparen heisst auch: Energieverschwendung vermeiden, indem man Abwärme auf industriellem Niveau besser nutzt. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/s312

dreimal grösser als die des Ausgangsmaterials zu Beginn des Projekts.

Nun möchte der Empa-Forscher auf diesem neu entwickelten Material aufbauen. «Wir haben einen porösen Kohlenstoffschwamm entwickelt, der dank seiner Mikroporen extrem viel Wasser aufnehmen kann und sich daher sehr gut für Adsorptionswärmepumpen eignet», erläutert Koebel. Das Material wird mittels Pyrolyse aus einem Kunstharz hergestellt. «Mit dieser Methode sind wir in der Lage, das Material auf den gewünschten Einsatzzweck masszuschneiden.»

ANPASSBAR AN JEDEN ZWECK

Dadurch lassen sich Adsorptionswärmepumpen künftig an verschiedene Aufgaben anpassen. So liefert etwa eine Holzpellettheizung höhere Tempe-

«Wir haben einen porösen Kohlenstoffschwamm entwickelt, der sich sehr gut für Adsorptionswärmepumpen eignet.»

raturen als der Abwärmestrom einer Grossküche. Um die vorhandene Wärme möglichst effizient in Kühlleistung umzuwandeln, muss das Absorbermaterial der Wärmepumpe spezifisch auf die Wärmequelle und das erwünschte Kälteniveau abgestimmt werden. «Wir definieren das passende Material zuerst anhand von Materialparametern und stellen es dann her», so Koebel.

Mit dieser Expertise ist das Empa-Team nun an einem neuen EU-Forschungsprojekt namens «HyCool» beteiligt, das

DER HOLZMAGIER

Als neuer Leiter der Empa-Abteilung «Cellulose & Wood Materials» überrascht Gustav Nyström mit unkonventionellen Zielen. Batterien aus Papier und Sensoren aus Nanozellulose sollen aber vor allem eines: einen Beitrag leisten zur Lösung elementarer Forschungsfragen mit gesellschaftlicher Relevanz.

Text: Andrea Six | Fotos: Markus Mallaun



Foto: istock/Getty Images

Wenn Gustav Nyström einen Baum sieht, sieht er mehr als ein biologisches

Wunderwerk. «Ein Baum ist ein grossartiges Beispiel dafür, wie in der Natur beziehungsweise in der Evolution Funktionalität, Struktur und Schönheit miteinander verschmelzen», sagt der neue Leiter der Empa-Forschungsabteilung «Cellulose & Wood Materials». Stamm, Blätter und Wurzeln sind für ihn aber auch eine Quelle für neuartige Materialien, die eine enorme Fülle von Anwendungen ermöglichen. Und gerade weil Wälder ein Drittel der Schweizer Landesfläche bedecken und eine nachhaltige und gut nutzbare Ressource sind, ist Holz für Nyström so faszinierend.

HOLZ NEU ZUSAMMENBAUEN

In Zeiten des Klimawandels ist der Forscher überzeugt, dass man auf CO₂-neutrale Rohstoffe setzen sollte. Und damit liegt er im Trend der aktuellen Kreativen, die Wolkenkratzer und sogar Velos aus Holz designen. Nyström will gleichfalls das Potenzial, das Holz als Rohstoff bietet, maximieren, indem er Holz mit völlig neuen Eigenschaften versieht. Wird Holz beispielsweise elektrisch leitfähig, magnetisch oder mit Hilfe von Mikroorganismen strukturell verändert, können innovative Kompositmaterialien für neue Anwendungen entstehen.

Zwar baut Nyström ebenfalls auf die spezifischen mechanischen und molekularen Eigenschaften des Rohstoffs. Seine Ideen dringen jedoch um einiges weiter in die Tiefe der Materie als bis anhin. Denn die Komponenten, aus denen Holz zusammengesetzt ist, lassen sich im Nanobereich zu neuen Materialien zusammenfügen, die im Ergebnis kaum mehr Ähnlichkeit mit dem altbekannten Werkstoff haben. So arbeitet sein Team



GUSTAV NYSTRÖM

WERDEGANG Nach dem Physikstudium am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm und an der Technischen Universität Darmstadt erwarb der gebürtige Schwede 2012 den Dokortitel an der Universität Uppsala in Schweden in organischer Elektronik und papier-basierter Energiespeicherung.

WISSENSCHAFT Vor seiner Tätigkeit an der Empa war Nyström im Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie an der ETH Zürich als leitender Wissenschaftler und Dozent tätig. Seit März 2018 arbeitet der 38-Jährige an der Empa und leitet die Abteilung für Cellulose & Wood Materials.

etwa mit zähflüssiger Nanozellulose. Als Hydrogel lässt sich Nanozellulose mittels 3-D-Plotter beispielsweise zu Sensoren ausdrucken, die in Sportkleidung oder in der Robotik eingesetzt werden können.

«Als Forscher will ich die Zusammenhänge derartiger neuer High-Performance-Materialien verstehen. Aber ich will mit meiner Arbeit vor allem zu einer besseren Zukunft beitragen», sagt Nyström. Eines seiner neuen Projekte ist eine Batterie ... aus Papier. «Bestimmte Strukturen im Holz lassen sich zur Energiespeicherung nutzen», erklärt er. Der gebürtige Schwede hat sich bereits während seiner Dissertation in Uppsala mit energiespeichernden Nanofibrillen aus natürlich vorkommender Zellulose beschäftigt. Nun will er ein Projekt zu Batterien aus Papier an der Empa starten.

GETRÄNKEFLASCHEN AUS HOLZ

Nyström fokussiert sich auf dringliche Probleme unserer Zeit wie eben Energiespeicherung und sucht Lösungen auf der Basis neuer Materialien. Dazu gehören die Batterien aus nachhaltigen Rohstoffen, die sich in der Umwelt von allein abbauen, aber auch Getränkeflaschen aus Holzbestandteilen – Stichwort Plastikmüll. Hierzu entwickelt sein Team Polymere auf Holzbasis und Zellulosepartikel in Kombination mit Proteinen, die umweltbelastende Alltagsgegenstände wie Plastikflaschen oder transparente Verpackungsfolien ersetzen sollen, ohne als Müllinsel die Ozeane zu verschmutzen. Limonade in Zelluloseflaschen und Folien aus umweltfreundlichen Polymeren sind für Nyström keine Utopie, sondern eine notwendige Selbstverständlichkeit.

Essenziell für das Gelingen ist die Vielfalt in seinem Team, davon ist Nyström überzeugt. So legt er Wert darauf, dass möglichst viele verschiedene Disziplinen vertreten sind. Es mag ungewöhnlich klingen, dass er als Physiker in seinem

jetzigen Forschungsbereich aufgeht. Doch umgeben von Chemikern, Holzwissenschaftlern und Biophysikern bleibe das Denken eben immer beweglich und vor allem kritisch. Und nur in diesem Schmelztiegel der Disziplinen könne Kreativität entstehen. Das gelte ebenfalls für die Herkunft der Forschenden. «Ich schätze die Internationalität in unserem Team. Die Forschenden bringen

«Statt das allschwierigste Puzzle der Welt zu lösen, geht es manchmal vielleicht darum, erst einmal ein einfacheres Puzzle zu erfinden»

interessante Erfahrungen mit, und wir profitieren davon, dass an anderen Universitäten andere Inhalte in anderem Stil vermittelt werden», sagt Nyström. Er selbst hat in Schweden und Deutschland studiert. Sein Kindheitstraum sei dies aber nicht gewesen. «Ich bin auf dem Land aufgewachsen. Als Kind wollte ich Fischer werden. Unter «Professor» konnte ich mir nichts vorstellen.» Heute bezeichnet er sich selbst als kreativ, fokussiert und vor allem gut organisiert. «Ich habe drei kleine Kinder. Damit ich meine Zeit zwischen Arbeit und Familie gut balancieren kann, muss ich praktische und stimmige Lösungen finden, um dem Wirbel des Alltags zu trotzen.»

Der Erfolg eines Teams fusse zudem auf der Offenheit, mit der kommuniziert werde. «Kreativität entsteht nur dann, wenn Gedanken und Informationen geteilt und kritisch hinterfragt werden.» Wenn aber niemand das Risiko eingehen wolle, seine Ideen zu teilen, entstünden keine neuen Projekte.

AUF AUGENHÖHE MIT KANADA

Letztlich sollen in Nyströms Labor auf der Basis von Holz und Zellulose neue Kompositmaterialien entstehen, deren Entwicklung in allen Bereichen des Forschungsfeldes verwurzelt ist. Proteine aus Holzschädlingen, Nanozellulose aus Algen oder feuerfestes Holz – gerade im Zusammenspiel der Forschungsansätze sieht Nyström das grosse Potenzial. «Exzellente Forschung kann zwar bedeuten, dass man ein Puzzleteilchen für ein hochkomplexes Problem findet», sagt er. «Ich finde es aber eleganter, einfachere Lösungen zu finden, die potenziell mehr Menschen helfen können. Statt das allerschwierigste Puzzle der Welt zu lösen, geht es manchmal vielleicht darum, erst einmal ein einfacheres Puzzle zu erfinden.» Und gerade darum schätzt es Nyström, an der Empa Grundlagenforschung mit industrieller Anwendung zu verknüpfen. «International steht die Schweiz in der Forschung zu Zellulose und Holz mit Schwergewichten wie Kanada oder den USA in Konkurrenz. Und doch halten wir ausgezeichnet mit.» ■

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

INNOVATIONEN AUS DER SCHWEIZ FÜR DIE SCHWEIZ



TÖNE
Der Corpus einer Stradivari hält ewig – doch das Griffbrett aus Tropenholz ist ein Verschleissstück. Empa-Direktorin Tanja Zimmermann zeigt eine Alternative, die Musiker lieben werden.

Gäste aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft trafen sich am Rande des Weltwirtschaftsforums in Davos mit Forschenden aus dem ETH-Bereich. Bundesrat Guy Parmelin begrüßte im WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) rund 60 Gäste. Vertreter des gesamten ETH-Bereichs stellten anschliessend Projekte aus ihrer Forschung vor. Tanja Zimmermann, Leiterin des Empa-Departements «Functional Materials», zeigte eine Geige mit Sonowood: Modifizierter Schweizer Bergahorn, der die Eigenschaften von Ebenholz bietet – nachhaltig und vollkommen legal. Das soll künftig nicht nur den Raubbau in den Tropen verhindern, sondern künftig auch den Wert des nachwachsenden Schweizer Rohstoffs steigern.

www.empa.ch/web/s604/empa-at-wef



STOFFE
Schweizer Textil-Innovationen begeistern Designer in Shanghai.

EMPA AN DER DESIGN SHANGHAI

Design Shanghai ist eine der führenden Design-events in Asien und findet jeweils im Frühling statt. In der diesjährigen Ausstellung «New Materials and Applications» stellte die Empa innovative Werkstoffe und Anwendungen vor: Darunter Sonowood, die Schweizer Alternative zu gefährdetem Tropenholz; goldbeschichtete Fäden; optische Fasersensoren und intelligente Textilien. Felix Moser, CEO von Swissnex China, repräsentierte die Empa als Gastredner am Anlass und stellte dem Publikum die Schweizer Errungenschaften vor.

Mehr Informationen unter: www.designshanghai.com

Fotos: Empa (3)

VERANSTALTUNGEN DER EMPA-AKADEMIE

23. MAI 2019

Topical Day: High-Performance Multiscale Modeling

Zielpublikum: Wissenschaft

www.empa-akademie.ch/multiscale

Empa, Dübendorf

24. MAI 2019

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/korrosion

Empa, Dübendorf

13. JUNI 2019

Kurs: Folgen der Miniaturisierung in der Elektronik

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie

www.empa-akademie.ch/emin

Empa, Dübendorf

26. JUNI 2019

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/korrosion

Empa, Dübendorf

3. JULI 2019

Energie und Dekarbonisierung – zwischen Forschung und Praxis

Zielpublikum: Industrie

www.empa-akademie.ch/energie

Empa, Dübendorf

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



ANTRIEB
Dieses Modellauto fährt mit Wasserstoff. Es diente als Anschauungsobjekt im Autosalon in Genf.

DIE ZUKUNFT DER MOBILITÄT IST VIELFÄLTIG

Am Stand der Erdöl-Vereinigung in Halle 6 des Autosalons in Genf zeigte die Empa vom 7. bis 17. März, auf welche unterschiedliche Weise wir fossile Treibstoffe nach und nach ersetzen können: Mit nachhaltig erzeugter Elektrizität aus Sonne, Wind und Wasserkraft lassen sich nicht nur Elektroautos betreiben. Aus diesem Strom lässt sich auch Wasserstoff herstellen, der in Brennstoffzellenfahrzeugen sehr effizient eingesetzt werden kann. Doch selbst Benzin- und Dieselfahrzeuge können mit nachhaltig erzeugter Elektrizität fahren. Dazu muss Strom zunächst in Wasserstoff und in einem weiteren Schritt – mit CO₂ aus der Luft – in synthetischen Treibstoff, sogenannte E-Fuels, verwandelt werden. «Es ist für die Empa sehr wichtig, neue Konzepte einem breiten Publikum vorstellen zu können», sagt Brigitte Buchmann, Mitglied der Direktion und Leiterin des Departements Mobilität, Energie und Umwelt. «Die Mobilität der Zukunft ist eine grosse Herausforderung. Deshalb sind alle neuen Mobilitätsformen von grosser Wichtigkeit. Um den Umstieg zu meistern, müssen wir verschiedene Wege weiterentwickeln und dürfen nicht nur auf eine einzige Technologie setzen.»

www.empa.ch/web/s604/gims-2019

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology