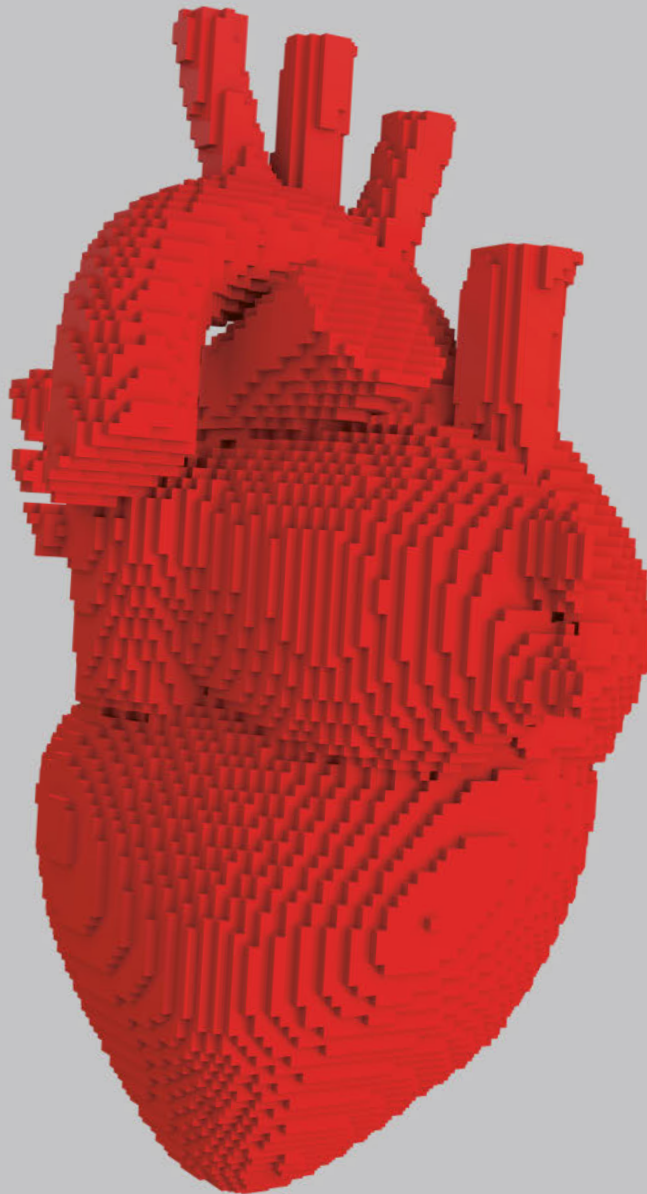


Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #65 II JULI 2019

FOKUS

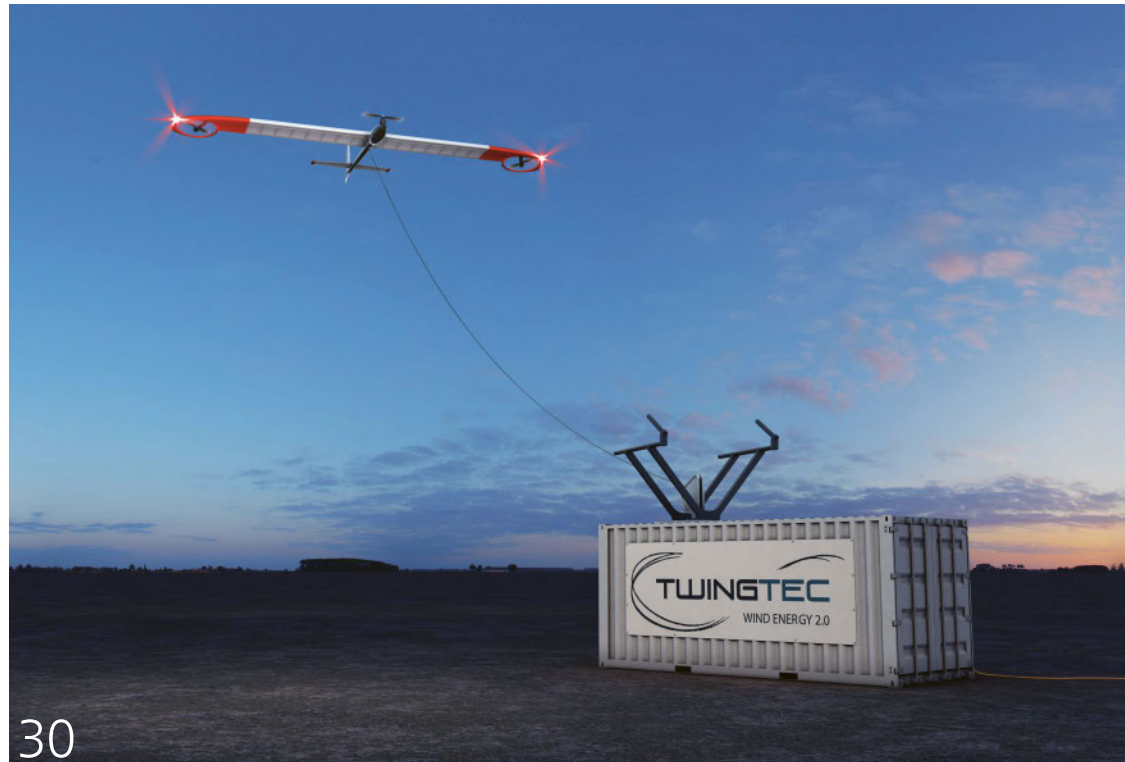
GESUNDHEIT NACH MASS



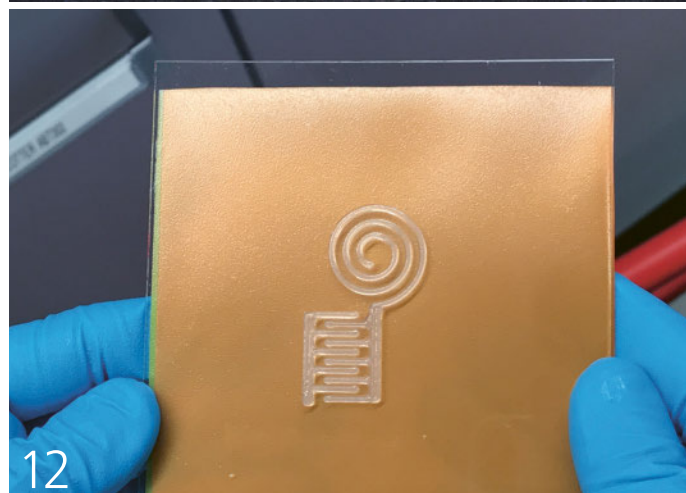
HAUTSENSOREN AUS NANOCELLULOSE
TARNKAPPE FÜR HERZIMPLANTATE
MIT NEUARTIGEN MATERIALIEN GEGEN BIOFILME

[INHALT]

[FOKUS: GESUNDHEIT NACH MASS]



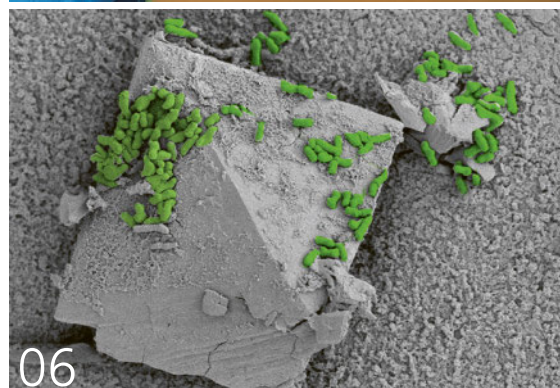
30



12



24



06



16

[FOKUS]

06 INFESTIONEN

Biomedizinische Materialien gegen Krankheitserreger

09 BANDSCHEIBEN

Dynamische Röntgenaufnahmen verhindern unnötige Operationen

12 DIAGNOSTIK

Blutwerte messen mit bioverträglichen flexiblen Sensoren aus Nanocellulose

14 HERZGESUNDHEIT

Künstliche Herzpumpen benötigen zellfreundliche Membranen

16 OSTEOPOROSE

Mit Verfahren aus der Werkstoffanalyse Knochen verstehen

18 WUNDHEILUNG

Ein Schaumstoff fördert die Heilung

[THEMEN]

24 RECYCLING

Was tun mit alten Batterien aus Elektroautos?

28 ENERGIE

Eine Forschungsplattform für Energiesysteme

30 ENERGIE

Strom gewinnen in luftigen Höhen

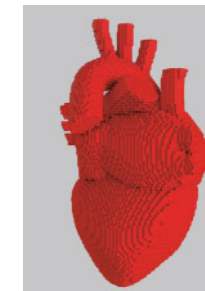
[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

22 IN KÜRZE

34 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Wie bleiben wir in Zukunft möglichst lange gesund und leistungsfähig? Wie die Empa dazu beiträgt, erfahren Sie in diesem Heft.
Bild: istock

[IMPRESSUM]

HERAUSGEBERIN Empa

Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Schweiz
www.empa.ch

REDAKTION Empa Kommunikation

ART DIREKTION PAUL AND CAT.

www.paul-and-cat.com

KONTAKT Tel. +41 58 765 47 33

empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

VERÖFFENTLICHUNG

Erscheint viermal jährlich

ANZEIGENMARKETING

rainer.klose@empa.ch



Empa Social Media



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

MATERIALIEN FÜR DIE MEDIZIN DER ZUKUNFT

Liebe Leserin, lieber Leser



Viele von uns denken beim Wort Medizin zunächst einmal an Medikamente, Spritzen, OP und dergleichen. «Materialien» kommt vermutlich den wenigsten in den Sinn. Und doch ist die moderne Medizin auf innovative Materialien mit neuartigen Eigenschaften angewiesen, will sie die Versprechen einer personalisierten Gesundheitsversorgung einlösen.

Genau hier kommt die Empa ins Spiel. Denn neue Materialien und Technologien sind unser Kerngeschäft – auch im Medtech-Bereich. Dabei arbeiten wir eng mit Universitäts- und Kantonsspitalern zusammen, etwa in Bern, Zürich und St. Gallen. Dass diese enge Verzahnung von Materialforschenden und Medizinem Erstaunliches zutage fördert, zeigt eindrücklich die aktuelle Ausgabe des «Empa Quarterly».

Ob es darum geht, neue biomedizinische Materialien mit antibakteriellen Eigenschaften gegen so genannte Biofilme zu entwickeln – nicht erst seit der aktuellen Antibiotikakrise ein heisses Thema –, neuartige künstliche Herzpumpen für Patienten mit einer Herzinsuffizienz, einen Schaum, der die Wundheilung verbessert und Narbenbildung verhindert, oder neue Hautsensoren für die Diagnostik – die Themen, an denen wir arbeiten sind so vielfältig wie die Herausforderungen, vor denen unserer Partner in ihrem klinischen Alltag tagtäglich stehen.

Doch nicht nur im Medtech-, auch im Energiebereich könnte man sagen: Neue Materialien sind nicht alles, aber ohne neue Materialien ist alles nichts.

Viel Vergnügen, und bis zur nächsten Ausgabe!

Ihr MICHAEL HAGMANN



VERFORMEN ERWÜNSCHT

Seit Mai 2019 steht im Remstal bei Stuttgart ein einzigartiges Holzgebäude: ein Turm aus selbstgeformten Fichtenplatten. Die an der Empa und ETH Zürich entwickelte Methode nutzt das natürliche Quellen und Schwinden von Holz unter Einwirkung von Feuchtigkeit und ermöglicht so eine neue und unerwartete Architektur für den Bau mit der erneuerbaren und nachhaltigen Ressource Holz.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s604/urbach-tower

DIE ERFOLGREICHSTE WG DER WELT

Biofilme sind enorm widerstandsfähige Ansammlungen von Keimen, die besonders in Spitälern zum Problem werden können. Wie ein einziges grosses Lebewesen breiten sie sich auf Wunden aus oder besiedeln Implantate und Medizinprodukte. Biomedizinische Materialien mit neuartigen Oberflächen sollen den Krankheitserregern Einhalt gebieten.

Text: Andrea Six



BIOFILM
Ablagerungen auf Kathetern bestehen aus Calciumkristallen, Biofilmmaterial mit Bakterien, roten Blutkörperchen und Immunzellen (Grüngelb) (kolorierte SEM-Aufnahme, 4000-fache Vergrösserung)

Manch einer, der ins Spital muss, wird dort erst recht krank. Durchschnittlich sieben Prozent aller Patienten in Industrieländern sind von derartigen «nosokomialen» Infektionen betroffen. Auf Intensivstationen steigt das Risiko nochmals deutlich an. Schwere Erkrankungen bis hin zu einer lebensbedrohlichen Blutvergiftung können die Folge sein.

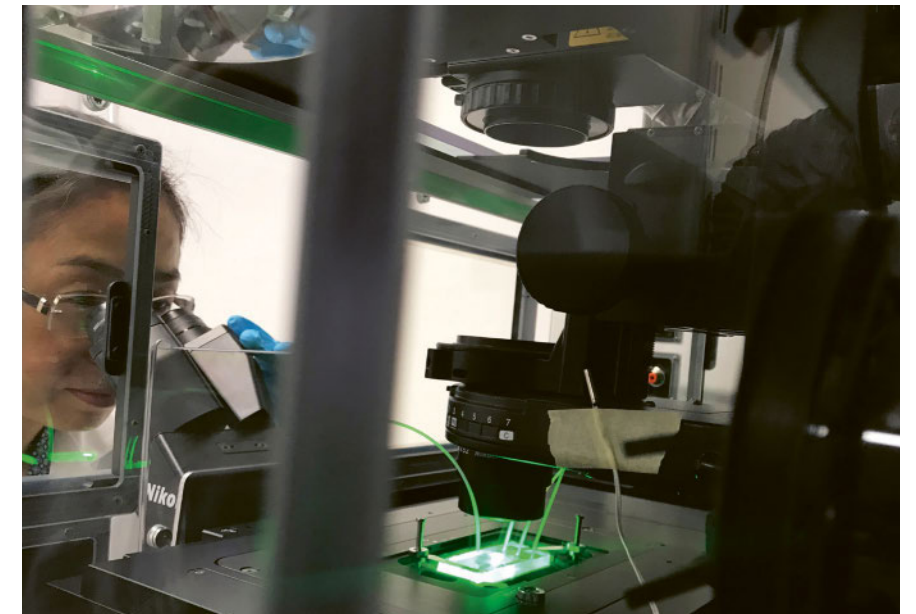
Besonders leichtes Spiel haben die Krankenhauskeime, sobald ein Patient mit invasiven medizinischen Massnahmen behandelt wird: Steckt man Schläuche in den Körper, etwa um ihn zu beatmen, ihm Flüssigkeit zuzuführen oder Urin abzuleiten, fassen die Infektionserreger schnell Fuss. Wie solche Infektionen verhindert werden könnten, ist noch ungeklärt. Ein Team aus Empa-Forschern und Medizinern vom Kantonsspital St. Gallen arbeitet zurzeit an einem Projekt, das das Risiko von Spitalinfektionen senken soll.

Der Fokus liegt dabei auf der Analyse von Biofilmen, Ansammlungen von Keimen auf Oberflächen, die sich etwa in Harnkathetern ausbreiten. Will man Materialien konzipieren, die das Entstehen von Biofilmen unterbinden, muss jedoch zuerst geklärt werden, wie es überhaupt zum gefährlichen Keimwachstum kommt. Denn gegen Unbekannt lassen sich keine passenden Schutzmassnahmen entwickeln. Und hier tappte die Medizin bisher wortwörtlich im Dunkeln – denn es war weitgehend unbekannt, was eigentlich im Inneren eines Katheters wächst.

Die Empa-Forscherin Qun Ren ist den Geheimnissen im Inneren von Polymer-schläuchen auf der Spur. Gemeinsam mit den St. Galler Spitalärzten untersuchte sie die Rückstände aus Harnleiterschienen von knapp 90 Patienten. Die Verwendung eines Stents im Harnleiter ▶

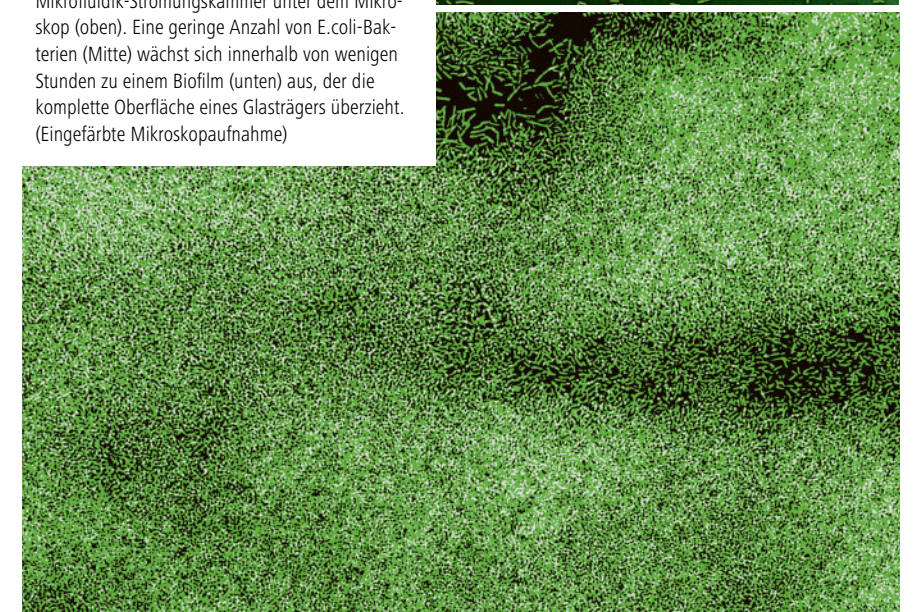
Foto: Empa

Fotos: Empa



BAKTERIEN

Empa-Forscherin Qun Ren analysiert mikrobiologische Proben aus Harnleiter-Stents in einer Mikrofluidik-Strömungskammer unter dem Mikroskop (oben). Eine geringe Anzahl von E.coli-Bakterien (Mitte) wächst sich innerhalb von wenigen Stunden zu einem Biofilm (unten) aus, der die komplette Oberfläche eines Glasträgers überzieht. (Eingefärbte Mikroskopaufnahme)



ist eine gängige Prozedur, etwa bei der Behandlung von Nierensteinen. «Wird ein derartiger Stent eingesetzt, treten jedoch häufig Beschwerden und Harnwegsinfekte auf», sagt Ren. So auch bei den untersuchten Patienten: Nach einer vergleichsweise kurzen Verweildauer im Körper von rund 3 Wochen hatten sich in den Schläuchen nicht nur Calciumkristalle aus dem Urin abgelagert, die Forscherin fand in den Proben auch Bakterienansammlungen. «Auf der Materialoberfläche hatten sich Biofilme gebildet, aus denen sich Bakterien anzüchten liessen», so die Forscherin.

DAS WESEN IM SCHLAUCH

Und genau mit diesen Biofilmen halten die Wissenschaftler das vermutlich erfolgreichste Lebewesen der Welt in Händen: Ansammlungen von Bakterien, eingebettet in eine selbst produzierte schleimige Matrix, die sich wie ein einziger grosser Organismus verhält. Und sie waren schon lange vor uns da. Biofilme finden sich bereits in den ältesten bekannten Fossilien unserer Erdgeschichte. Es wundert nicht, dass sie sich seither hartnäckig gehalten haben und unter widrigen Bedingungen, etwa in Harnkathetern, gedeihen, denn sie verfügen über erstaunliche Überlebensstrategien.

Dank der gelartigen Schicht aus Biopolymeren sind die zusammenlebenden Bakterien geschützt, beweglich und miteinander verbunden. Munter tauschen sie nützliche Erbgutstücke untereinander aus, kommunizieren über chemische Signale und melden an die Oberfläche, wenn die tieferen Schichten der «WG» Hunger leiden. Antibiotika und Desinfektionsmittel durchdringen den Film kaum, und bei Bedarf senden sie einen Trupp von Pionieren an einen neuen Ort und gründen weitere Kolonien, einem metastasierenden Tumor gleich.

GESCHICKT WIE EIN GECKO

Was in der Natur erfolgreich ist, kann im Spital für Patienten böse enden. Ziel ist es daher, neue Materialien beispielsweise für Katheter zu entwickeln, um das Risiko von Infektionen zu senken. «Ein Schlüsselereignis bei der Entstehung eines Biofilms ist der Moment, wenn sich frei bewegliche Bakterien auf der Oberfläche anheften», erklärt Ren. Dabei setzen manche der Mikroorganismen auf denselben Trick wie Geckos, die kopfüber an einer Glasscheibe Halt finden: Sie nutzen Van-der-Waals-Kräfte, Wechselwirkungen zwischen ihren eigenen Molekülen und jenen der Oberfläche, die ihnen ein neues Zuhause bieten soll. Andere Exemplare beschichten die Schläuche mit einem passenden Überzug, was das Niederlassen auf der Oberfläche unterstützt. «Um die Bakterien zu bekämpfen, muss man daher bereits den Prozess der Anheftung verhindern», so Ren.

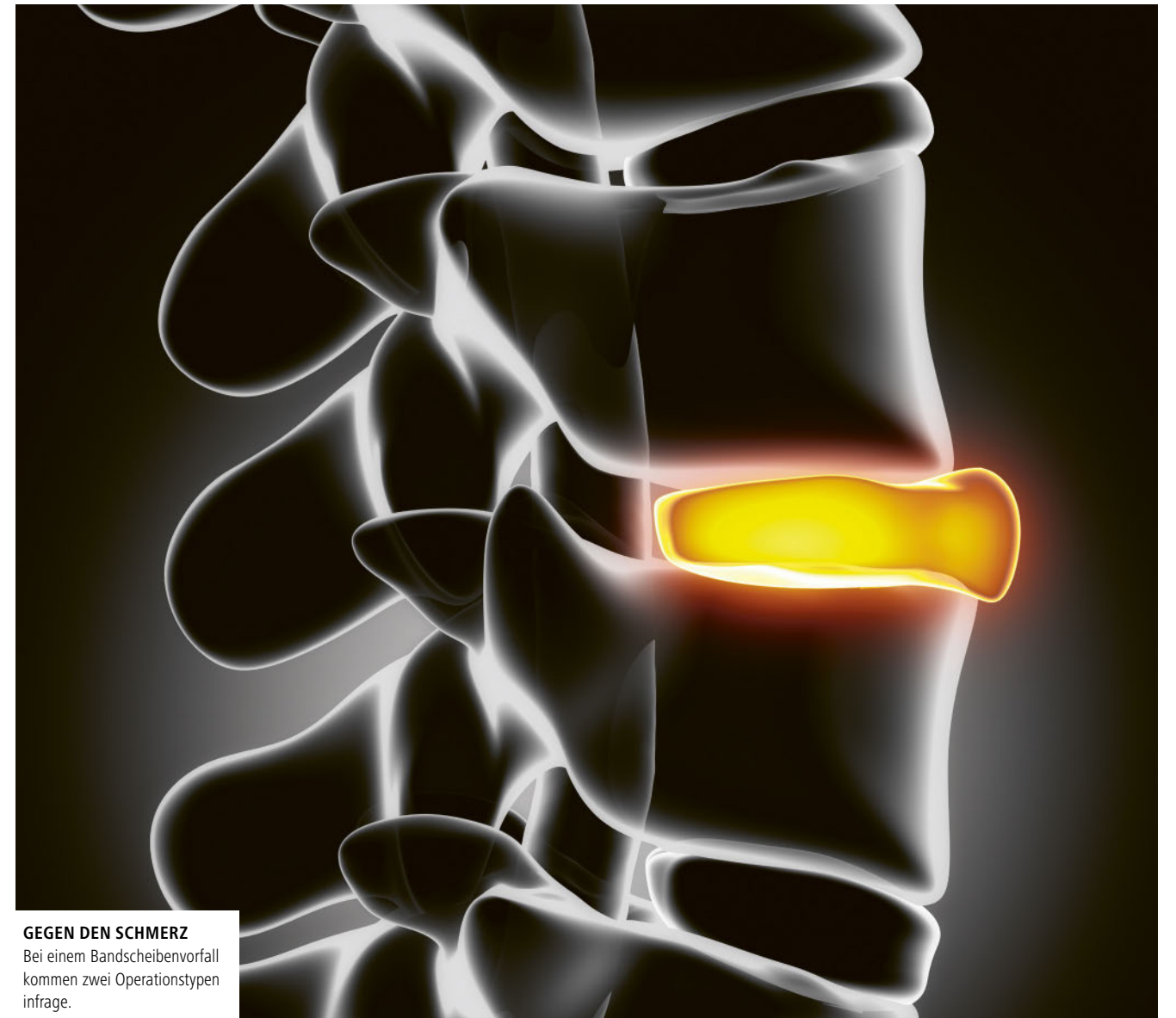
«Biofilme waren in der Evolution schon lange vor uns da, und sie verfügen über erstaunliche Überlebensstrategien.»

Voraussetzung für praxistaugliche Materialien und Beschichtungen, die sich den Keimen widersetzen, ist der lückenlose Forschungs- und Entwicklungstransfer «from bench to bedside». Bewähren kann sich ein Material nur dann, wenn die Analysen im Labor so realitätsnah wie möglich sind. Die Empa-Forscher haben daher ein mehrteiliges Labor-Modell entwickelt, die den Bedingungen im Spital so nah wie möglich kommen. Potenzielle Katheter-Kandidaten werden hierbei im Bioreaktor von Flüssigkeiten durchspült, wie es einer echten Harnleiterschleife im Körperinneren widerfährt. Untersuchungen aller vorhandenen

Mikroorganismen mittels Konfokalmikroskopie, Bakterienkultur und Erbgutanalyse folgen. Gleichzeitig werden die mit Calciumkristallen bewachsenen Materialoberflächen mittels Röntgenanalyse charakterisiert. «Nur wenn wir die Bakterien in den Biofilmen genau kennen, können wir sichere und hoch-effiziente neue Materialien herstellen, die sich ihnen widersetzen», sagt Ren.

Anhand der Proben aus dem Kantonsspital St. Gallen konnte nun als weitere Grundlage des Modells genau gezeigt werden, was im Körper mit Kathetern aus herkömmlichen Materialien passiert. Da es sich um Patienten handelte, die vor dem Einsetzen des Stents keine Anzeichen einer Infektion zeigten und den Schlauch lediglich kurz im Körper trugen, waren die gewachsenen Biofilme erwartungsgemäss mild ausgeprägt. Klar ist aber bereits jetzt, dass manche Erregerarten oft gemeinsam in einer bestimmten Gruppe auftreten. So wiesen manche Patienten vor allem schädliche Enterobakterien in ihren Proben auf, während andere beispielsweise über Erregerarten wie Milchsäurebakterien verfügten, denen man eine möglicherweise schützende Wirkung zuschreibt. Wie diese Erregergruppen der Patienten mit dem Risiko einer Spitalinfektion zusammenhängen, werden die Forscher nun untersuchen. Ebenfalls wird derzeit eine spezielle Ausstattung von Oberflächen für bestimmte Keimträger diskutiert. In einem nächsten Schritt will das Team nun Proben von Langzeitbehandlungen und infizierten Patienten unter die Lupe nehmen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s404/



GEGEN DEN SCHMERZ
Bei einem Bandscheibenvorfall kommen zwei Operationstypen infrage.

BEWEGT ZUR RICHTIGEN OPERATION

Ein Bandscheibenvorfall ist schmerzhaft – und die häufigste Ursache einer Operation an der Wirbelsäule. Doch ist die gewählte Behandlung immer die richtige? Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass die klinische Entscheidungsgrundlage – der Vergleich zweier statischer Bilder – oftmals nicht ausreicht, um die beste Entscheidung für den Patienten zu treffen.

Text: Karin Weinmann

Bei plötzlichen Schmerzen im Rücken ist oftmals ein Bandscheibenvorfall die Ursache. Die Bandscheiben sind eine Art Puffer zwischen den Rückenwirbeln und werden über die Jahre stark belastet. Werden sie spröde und brechen, können Teile des Gewebes nach aussen treten und auf den Nerv oder den Rückenmarkskanal drücken. Dies kann heftige Schmerzen verursachen. Besonders häufig ist die Lendenwirbelsäule betroffen. Oftmals schrumpft der Bandscheibenvorfall mit der Unterstützung von schmerz- und entzündungshemmenden Medikamenten von allein wieder, doch in schweren Fällen wird eine Operation nötig.

ENTLASTEN ODER VERSTEIFEN?

Bei einem Bandscheibenvorfall kommen grundsätzlich zwei Operationstypen in Frage.

Die eine Möglichkeit ist, die ausgetretene Bandscheibenmasse zu entfernen, um den Druck auf den Nerv oder den Rückenmarkskanal zu verringern. Dies ist heute dank der Mikrochirurgie ein minimalinvasiver Eingriff.

Die zweite ist es, die betroffenen Wirbel zu versteifen. Dabei werden Schrauben in die Wirbelkörper eingesetzt und die beiden betroffenen Wirbel mit einer Metallkonstruktion fix verbunden. Dies ist insbesondere nötig, wenn sich die Wirbel in der Bewegung stark gegeneinander verschieben. Die Versteifung ist aber ein riskanterer, stark invasiver Eingriff – und manchmal verlagert sich das Problem in der Folge nur: die nachfolgenden Bandscheiben könnten in Folge stärker belastet werden und ebenfalls nachgeben.

Um zu entscheiden, welche Operation nötig ist, verlassen sich Ärzte auf Röntgenbilder. Meist wird ein Bild im aufrechten und ein weiteres im nach



DYNAMISCH
Die Bewegungsmuster instabiler Bandscheiben unterscheiden sich von Patient zu Patient.

Foto: istock

vorn gebeugten Zustand erstellt. Wenn sich die betroffenen Wirbel dabei stark zueinander verschieben oder gar verdrehen, ist eine Versteifung notwendig – falls nicht, kann eine Dekompression ausreichen. Verschiedene Studien zeigten aber, dass dieser Vergleich zweier statischer Bilder als Entscheidungsgrundlage oftmals nicht ausreicht: Bei bis zu einem Drittel der Patienten, welche die einfachere Operation erhalten, muss nachoperiert werden. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass dies nicht bei allen Patienten, bei denen die Wirbel versteift wurden, wirklich nötig war. Das Problem: Die Bilder zeigen nur den Anfangs- und den Endzustand der Wirbelposition – aber nicht, was während der Bewegung selber geschieht.

DYNAMISCHE BEWEGUNGSMUSTER SIND ENTSCHEIDEND

Forschende des Mechanical System Engineering Lab an der Empa sowie der Abteilung für orthopädische Operationen der Universität Pittsburgh konnten nun zeigen, dass sich die Wirbel während der Bewegung nicht linear verschieben. «Im Gegenteil: Je nach Patient zeigten sich stark unterschiedliche Bewegungsmuster», erklärt der Empa-Forscher und Co-Leiter des Projekts, Ameet Aiyangar. Für die Studie, die den ISSLS-Preis in Bioengineering Science 2018 gewann, erstellten die Forschenden bei sieben Bandscheiben-Patienten sowie sieben Kontrollpersonen in derselben Altersgruppe eine kontinuierliche, dynamische Röntgenaufnahme, während die Patienten ihre Oberkörper langsam nach vorn neigten. Aus den Aufnahmen berechneten die Forscher, wie sich die Wirbel in der sagittalen Rotationsachse sowie flach zueinander bewegten. Die Resultate sind erstaunlich.

Zu erwarten wäre, was sich bei den meisten der gesunden Kontrollpersonen bestätigte, dass bei der Bewegung der

sagittale Rotationswinkel und die vertikale Verschiebung gleichmässig zunehmen.

Bei einem Patienten verschoben sich paradoxerweise die Wirbel zuerst in die Gegenrichtung zur Bewegung und dann zurück zur Mitte. Während die Anfangs- und Endposition aussahen, als seien die Wirbel stabil, zeigte sich in der Bewegung eine grosse Instabilität. Bei dem Individuum hätte eine Dekompression allein nicht viel genützt, sondern es wäre eine Versteifung nötig gewesen. Die klinische Analyse hätte bei dieser Person die Instabilität massiv unterschätzt. Das zeigt sich in den Zahlen: verglichen die Forscher nur den Anfangs- und Endwert der Aufnahmen, zeigte sich ein Verschiebungswert von nur 0,4 mm. In der Bewegung selber beobachteten die Forscher hingegen einen Wert von 4,6 mm – mehr als das 11-fache des traditionell errechneten Wertes.

«Entscheidend sind nicht Anfangs- und Endzustand, sondern wie sich Wirbel in der Bewegung zueinander verschieben.»

Bei anderen verschoben sich die Wirbel kaum – rotierten während der Bewegung aber zunächst stark in die Gegenrichtung und wieder zurück. Nur bei zwei der Patienten fand eine Bewegung statt, die ungefähr den Erwartungen entsprach. Insgesamt erreichte jeder Einzelne der untersuchten Patienten eine Verschiebung von mindestens 1,8 mm. Bei der klinischen Berechnung war bei drei der sieben Patienten aber eine Verschiebung von weniger als 0,4 mm berechnet worden.

TECHNOLOGIE NOCH NICHT KLINIKALLTAG

Das zeigt, dass die aktuelle Entscheidungsgrundlage für die Art der Operation oftmals nicht ausreicht – eine dynamische Beurteilung der Schädigung wäre notwendig. Also einfach die statische durch dynamische Röntgengeräte ersetzen, und das Problem ist gelöst? Ganz so simpel ist es leider nicht. Systeme mit der Technologie, die nötig ist, um die dynamischen Bilder zu erstellen – «Dynamic Stereo X-Ray» (DSX) – gibt es erst einige wenige weltweit. Und die Berechnungen der Bewegungen sind sehr komplex. «Im Moment existiert die Technologie erst in der Forschung. Wir sind aber in der Frühphase des Übergangs – eines Tages könnten die Geräte Klinikalltag sein», erklärt Aiyangar. Bis dahin, so schlägt der Forscher vor, könnte es zumindest sinnvoll sein, statt nur zwei Bilder in den Endpositionen mehrere Röntgenaufnahmen in verschiedenen statischen Zuständen zu erstellen und zu vergleichen.

THERAPIE STATT OPERATION?

Aiyangar hat bereits weitere Ideen: Er will den Nutzen von Therapie bei Bandscheibenvorfällen untersuchen. An der Bewegung und Stabilisierung des Rückens sind 200 unterschiedliche Muskelstränge beteiligt. Es ist unmöglich, sie alle gleichzeitig zu messen, um herauszufinden, welche Therapie den grösstmöglichen Nutzen bringt. «Die Modellierung des komplexen Systems könnte hier viel zur richtigen frühzeitigen Intervention beitragen», meint Aiyangar. Mit der richtigen Therapie, so die Hoffnung, könnte eine Operation in manchen Fällen gar ganz vermieden werden. ■

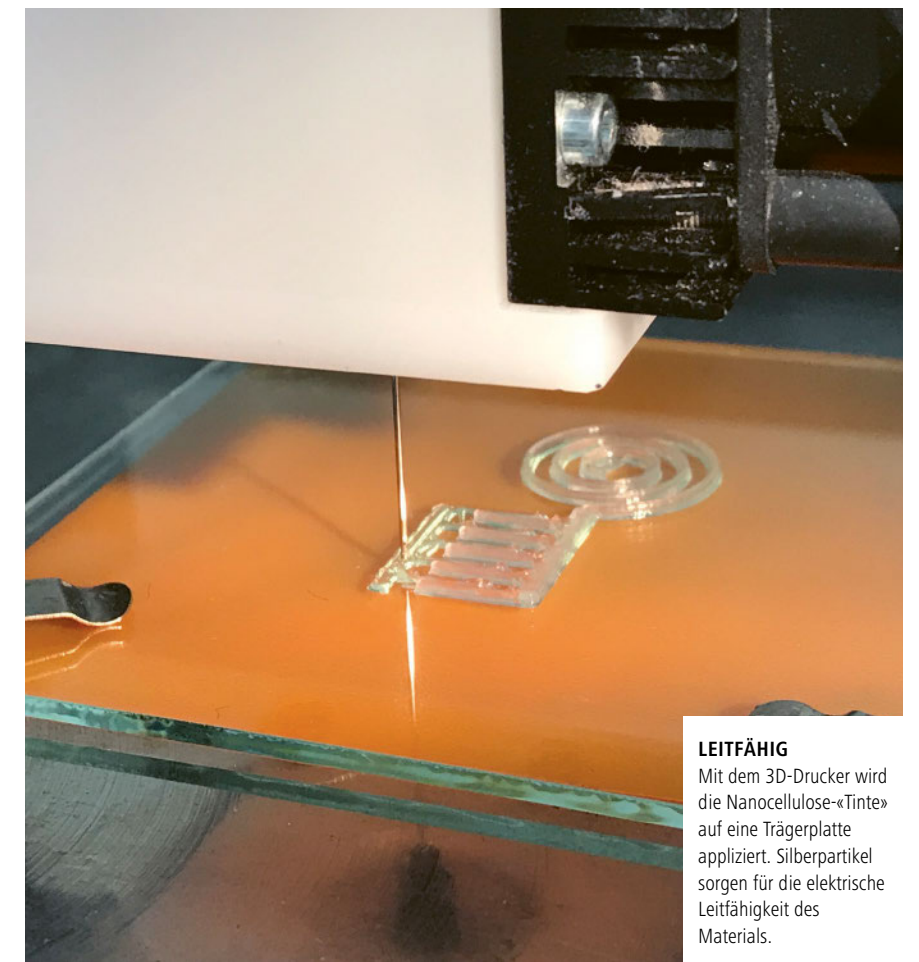
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s304/biomed



FLEXIBEL
Empa-Forscher Gilberto Siqueira demonstriert den frisch ausgedruckten Nanocellulose-Schaltkreis. Nach einem Trocknungsprozess lässt sich das Material weiterverarbeiten.

Substanz zu tun, die aus nanokristalliner Cellulose und Cellulose-Nanofasern bestehen kann. Weitere Quellen für das Material sind Bakterien, Algen oder Produktionsreste aus der Lebensmittelherstellung. Damit ist Nanocellulose nicht nur vergleichsweise leicht und nachhaltig zu gewinnen. Interessant machen den «Superpudding» auch seine mechanischen Eigenschaften, weshalb sich neue Verbundwerkstoffe mit Nanocellulose entwickeln lassen, die als Oberflächenbeschichtungen, Alltagsgegenstände wie Getränkeflaschen oder in Form von durchsichtigen Verpackungsfolien eingesetzt werden könnten.

«Insgesamt ist das winzige Biochemie-Labor auf der Haut lediglich einen halben Millimeter dick.»



LEITFÄHIG
Mit dem 3D-Drucker wird die Nanocellulose-«Tinte» auf eine Trägerplatte appliziert. Silberpartikel sorgen für die elektrische Leitfähigkeit des Materials.

Forscher des Empa-Labors «Cellulose & Wood Materials» und Woo Soo Kim von der kanadischen «Simon Fraser University» setzten darüber hinaus auf ein weiteres Merkmal der Nanocellulose: ihre Bioverträglichkeit. Gerade weil das Material aus natürlichen Ressourcen gewonnen wird, eignet es sich ganz besonders für die biomedizinische Forschung.

Mit dem Ziel, bioverträgliche Sensoren zu produzieren, die wichtige Stoffwechselwerte messen können, verwendeten die Forscher die Nanocellulose als «Tinte» im 3D-Druckverfahren. Damit die Sensoren elektrisch leitfähig sind, wurde die Tinte hierzu mit Silber-Nanodrähten versetzt. Die Forscher ermittelten das exakte Verhältnis von Nanocellulose und Silberfäden, damit sich daraus ein dreidimensionales Netzwerk bilden kann.

WIE SPAGHETTI

Es stellte sich dabei heraus, dass sich Cellulose-Nanofasern besser eignen als kristalline Nanocellulose, um daraus eine vernetzte Matrix mit den winzigen Silberdrähten herzustellen. «Cellulose-Nanofasern sind ähnlich flexibel wie gekochte Spaghetti, allerdings mit einem Durchmesser von nur rund 20 Nanometern und wenigen Mikrometern Länge», erklärt Empa-Forscher Gilberto Siqueira.

Es gelang dem Forscherteam schliesslich, Sensoren zu entwickeln, die medizinisch relevante Stoffwechselformparameter wie die Konzentration von Calcium, Kalium und stickstoffhaltigen Ammonium-Ionen messen. Damit die Messwerte weiter analysiert werden können, sendet der elektrochemische Hautsensor seine Ergebnisse zur weiteren Datenverarbeitung

an einen Computer. Insgesamt ist das winzige Biochemie-Labor auf der Haut lediglich einen halben Millimeter dick.

Während der aktuelle Haut-Sensor Ionenkonzentrationen spezifisch und zuverlässig ermittelt, arbeiten die Forscher aber bereits an einer neuen Version: «Künftig möchten wir die Silberpartikel durch ein anderes leitfähiges Material ersetzen, etwa auf der Basis von Kohlenstoffverbindungen», erläutert Siqueira begeistert sein neuestes Projekt. Damit wäre der medizinische Nanocellulose-Sensor nicht nur bioverträglich, sondern auch komplett bioabbaubar. ■

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

HOLZ AUF UNSERER HAUT

Blutwerte für die medizinische Diagnostik können auch ohne schmerzhaften Nadelstich ermittelt werden. Empa-Forscher entwickeln derzeit gemeinsam mit einem kanadischen Team flexible, bioverträgliche Sensoren aus Nanocellulose, die auf der Haut liegen. Die 3D-gedruckten Analysechips aus nachwachsenden Rohstoffen werden künftig sogar biologisch abbaubar sein.

Text: Andrea Six

Die Idee, gesundheitlich relevante Werte im Körper über die Haut zu messen, ist bereits in der medizinischen Diagnostik angekommen. So können beispielsweise Diabetiker den Blutzucker schmerzfrei über einen Sensor

ermitteln, anstatt sich in den Finger piksen zu müssen. Empa-Forscher haben nun gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Kanada einen neuartigen Sensor hergestellt, der flexibel auf der Hautoberfläche liegt und besonders bioverträglich ist, da er aus Nanocellulose besteht.

DURCHSICHTIGE FOLIE AUS HOLZ

Nanocellulose ist ein preiswerter, nachwachsender Rohstoff, der in Form von Kristallen und Fasern beispielsweise aus Holz gewonnen wird. Allerdings hat das ursprüngliche Erscheinungsbild eines Baums nichts mehr mit der gallertartigen

Foto: Empa

Foto: Empa



TÄUSCHEND ECHT

Das Herz stellt die moderne Medizin noch immer vor grosse Herausforderungen. Über zehn Millionen Menschen in Europa leiden an einer Herzschwäche, und nicht wenige davon brauchen ein Spenderherz. Um die Wartezeit zu überbrücken, werden ihnen künstliche Herzpumpen eingesetzt, Komplikationen sind dabei nicht selten. Das Projekt «Zurich Heart» unter Mitwirkung der Empa entwickelt Lösungen.

Text: Cornelia Zogg

Eine künstliche Herzpumpe ist für viele Patienten mit einer Herzinsuffizienz die Rettung – allerdings eine, die oft nicht ohne Nebenwirkungen bleibt. Es besteht die Gefahr von Blutgerinnseln oder einer Abstossungsreaktion gegen das fremde Material, was zu schweren Immunreaktionen führen kann. Forschende des Universitätsspitals Zürich lancierten daher gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Universität Zürich und der ETH Zürich bereits 2011 das Projekt «Zurich Heart». Beteiligt daran sind Mediziner, Ingenieure, Biologen und Materialwissenschaftler mit dem Ziel, gängige Herzpumpen weiterzuentwickeln und gleichzeitig neue Lösungen zu erarbeiten, um die bisherigen Risiken auszumerzen. In rund zehn Teilprojekten arbeiten die Forscherinnen und Forscher verschiedener Universitäten und Forschungsinstitute an neuen Ansätzen – unter anderem an der Empa.

EMPA MEHRFACH BETEILIGT

Gleich mehrere Teams der Empa sind Teil von «Zurich Heart» und arbeiten an einer neuen Generation von Herzpumpen, die so «getarnt» werden sollen, dass die menschlichen Abwehrzellen sie nicht von einem echten Herzen unterscheiden können. Natürliche Blutgefässe – unter anderem das Herz – sind auf der Innenseite mit sogenannten Endothelzellen ausgekleidet, die den Austausch zwischen Blut und Körpergewebe regulieren. Eine künstliche Herzpumpe muss also über eine Fläche verfügen, auf der sich körpereigene Endothelzellen ansiedeln können. Diese Gewebeoberfläche gaukelt dem Blut vor, dass es sich nicht um ein künstliches Organ, sondern um ein echtes Herz handelt.

Forschenden rund um Eduardo Mazza, Leiter der Empa-Abteilung «Experimental Continuum Mechanics», Professor an der ETH Zürich und Co-Projektleiter von

«Zurich Heart», ist es gelungen, eine Membran zu entwickeln, die optimale Bedingungen für die Besiedelung durch Endothelzellen bietet. Diese Membran bietet nicht nur die passende Grundlage für die notwendigen Zellen, sondern dämpft zudem die natürliche Pumpbewegung – denn bei zu starken Kontraktionen können sich die Zellen auch auf einer noch so verlockend präparierten Unterlage kaum festhalten und werden vom Blut weggespült.

Die Gewebeoberfläche gaukelt dem Blut vor, es handle sich um ein echtes Herz.

HEXAGON-LÖSUNG

Damit sich die Endothelzellen auf der Membran wohlfühlen und sich entsprechend festhalten, hat Aldo Ferrari, Forscher an der ETH Zürich und an der Empa, ein Substrat mit einer speziellen Struktur entwickelt, mit dem die Membran ausgestattet wird: Wie bei einer Bienenwabe reihen sich einzelne Sechsecke aneinander und bieten den Zellen optimal Platz, um sich darin einzunisten und nicht weggeschwemmt zu werden.

Eine erfolgreiche Methode, denn das Forscherteam hat sowohl durch In-vitro- als auch durch In-vivo-Versuche bestätigen können, dass die Zellen auch nach mehreren Pumpbewegungen an der Membran haften bleiben und so eine potenzielle Lösung für die Entwicklung von biokompatibleren Herzpumpen liefern. Doch selbst nach diesen erfolgreichen Versuchen stehen weitere Herausforderungen an. Ziel ist es, nicht nur die Membran, sondern die gesamte Innenfläche einer Pumpe mit dieser Hexagonstruktur auszukleiden.

NÄCHSTE SCHRITTE EINGELEITET

«Zurich Heart» startet nun in die zweite Phase. «Wir wollen einige der innerhalb von «Zurich Heart» entwickelten Lösungen in klinisch relevante Produkte umsetzen», so Mazza. Das kann indes mehrere Jahre dauern, daher ist «Zurich Heart» zeitlich nicht limitiert. Die erste Generation der Doktoranden, die in «Zurich Heart» involviert waren, haben nun abgeschlossen und zahlreiche Publikationen und Patente mit positiven Rückmeldungen erarbeitet.

«Wir sind mit unserem Teilprojekt der hybriden Membran deutlich weiter gekommen, als wir ursprünglich erwartet hatten», so Mazza. Mit seinem Team plant er bereits die nächsten Schritte: Das Langzeitverhalten einer solch «endothelisierten» Herzpumpe ist noch nicht erforscht, das möchten Mazza nun angehen. Schliesslich muss so eine Herzpumpe mehrere Millionen Schläge überstehen. «Unsere Motivation zu dieser Forschung hat sich in diesen Jahren weiter verstärkt», schliesst Mazza und ist zuversichtlich, dass auch die kommenden Projekte wichtige Informationen und Lösungen für und rund um das menschliche Herz liefern werden. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s604/zurich-heart

WARUM KNOCHEN VERSAGEN

Können Analysemethoden aus der Werkstoffforschung helfen, menschliche Knochen besser zu verstehen? Ein junges Forscherteam der Empa in Thun verfolgt genau diesen Ansatz.

Text: Karin Weinmann

Osteoporose ist eine Volkskrankheit. Jede dritte Frau und jeder fünfte Mann sind mit fortschreitendem Alter von Knochenschwund betroffen. Eine häufige Folge davon ist der Oberschenkelhalsbruch – eine schmerzhafteste Verletzung, die die Lebensqualität der Betroffenen massiv beeinträchtigt. Die Patienten müssen mit langfristigen Mobilitätseinbussen rechnen. Lange Bettruhe und ein damit verbundener oft schlechter Allgemeinzustand führen gar zu einer erhöhten Sterblichkeit.

Die Krankheit bewirkt einen Schwund der Knochenmasse aufgrund eines Ungleichgewichts im natürlichen Umbauprozess im Gewebe sowie von Änderungen der Knochenqualität. Diese Änderungen betreffen die Mikrostruktur, die Dichte von Mikrorissen und Gewebeeigenschaften. Knochen haben einen äusserst komplexen Aufbau. Sägt man beispielsweise einen Oberschenkelknochen auf, erkennt man, dass er aus einer harten Aussenschicht und einer porösen Füllung besteht. Unter dem Mikroskop sind innerhalb der harten Schale wiederum zylindrische Strukturen aus konzentrischen Lamellen erkennbar, die um zentrale Blutgefässe angeordnet sind. Diese einzelnen Lamellen sind nur wenige tausendstel Millimeter dick und bestehen aus einer Art natürlichem Faserverbundwerkstoff:

Kollagenfasern, in die Mineralpartikel eingelagert sind, eingebettet in einer proteinhaltigen, mineralischen Matrix. Dabei gilt: Je höher die Mineralisierung, desto steifer, aber auch bruchanfälliger ist der Knochen. Dieser hierarchische Aufbau erlaubt es den Knochen, trotz relativ geringer Dichte robust und widerstandsfähig zu sein. Wenn Knochen brechen, dann reicht es daher aber auch nicht, nur die Dichte und Struktur des Knochens auf Makroebene zu betrachten – für den Bruch sind Mechanismen in allen Skalenbereichen verantwortlich.

WERKSTOFFANALYSEN FÜR KNOCHEN

Eine Forschungsgruppe an der Empa in Thun unter der Leitung von Jakob Schwiedrzik hat es sich zum Ziel gesetzt, das Versagen der Knochen auf Lamellenebene besser zu verstehen. «Wenn man nur die Knochendichte betrachtet,

wie das im klinischen Alltag heute meist der Fall ist, kann man das Bruchrisiko für Patienten im Mittel relativ gut vorhersagen. Im Einzelfall können die Resultate jedoch stark davon abweichen, und das effektive Frakturrisiko könnte falsch eingeschätzt werden,» erklärt Schwiedrzik. «Wir hoffen, dass wir dank unserer Forschung künftig genauere Voraussagen für jeden einzelnen Patienten machen können.» Dafür verwenden die Forschenden Methoden, die eigentlich in der Werkstoffforschung zu Hause sind: Sie setzen kleinste Proben aus Knochenmaterial, die nur eine einzelne Lamelle enthalten, Zug- und Druckversuchen aus. Dabei untersuchen sie, wie das Material versagt und wie die gemessenen Eigenschaften mit der zugrunde liegenden Mikrostruktur zusammenhängen. Bei der Mikrostrukturanalyse werden die sogenannte

DER WEG ZUR WISSENSCHAFTLICHEN SELBSTÄNDIGKEIT

Wie kommt ein Jungforscher zu einer eigenen Forschungsgruppe? Dazu braucht es natürlich eine spannende Forschungsidee – aber falls die nicht in eine bereits vorhandene Thematik passt, kann es schwierig werden. Dafür gibt es das Ambizione-Programm des Schweizerischen Nationalfonds (SNF): Die Fördergelder erlauben jungen Forschenden den ersten Schritt in die wissenschaftliche Selbständigkeit, um eine eigene Forschungsgruppe und ein eigenes Forschungsgebiet aufzubauen.

Auch die Empa-Forschungsgruppe unter der Leitung von Jakob Schwiedrzik ist dank eines Ambizione-Grants möglich geworden. Das Forschungsthema vereint zwei Wissensgebiete des Nachwuchsforschers: Als Maschinenbauingenieur interessiert ihn die Entwicklung filigraner Messinstrumente – Knochen waren bereits seit seiner Diplom- und Doktorarbeit ein zentrales Thema für ihn. Der Grant deckt drei Jahre Forschungsarbeit für Schwiedrzik und eine Doktorandin ab.

Raman-Spektroskopie sowie Transmissionselektronenmikroskope eingesetzt – hochkomplexe Instrumente, die es erlauben, Strukturänderungen in den Versuchsobjekten genau zu beobachten.

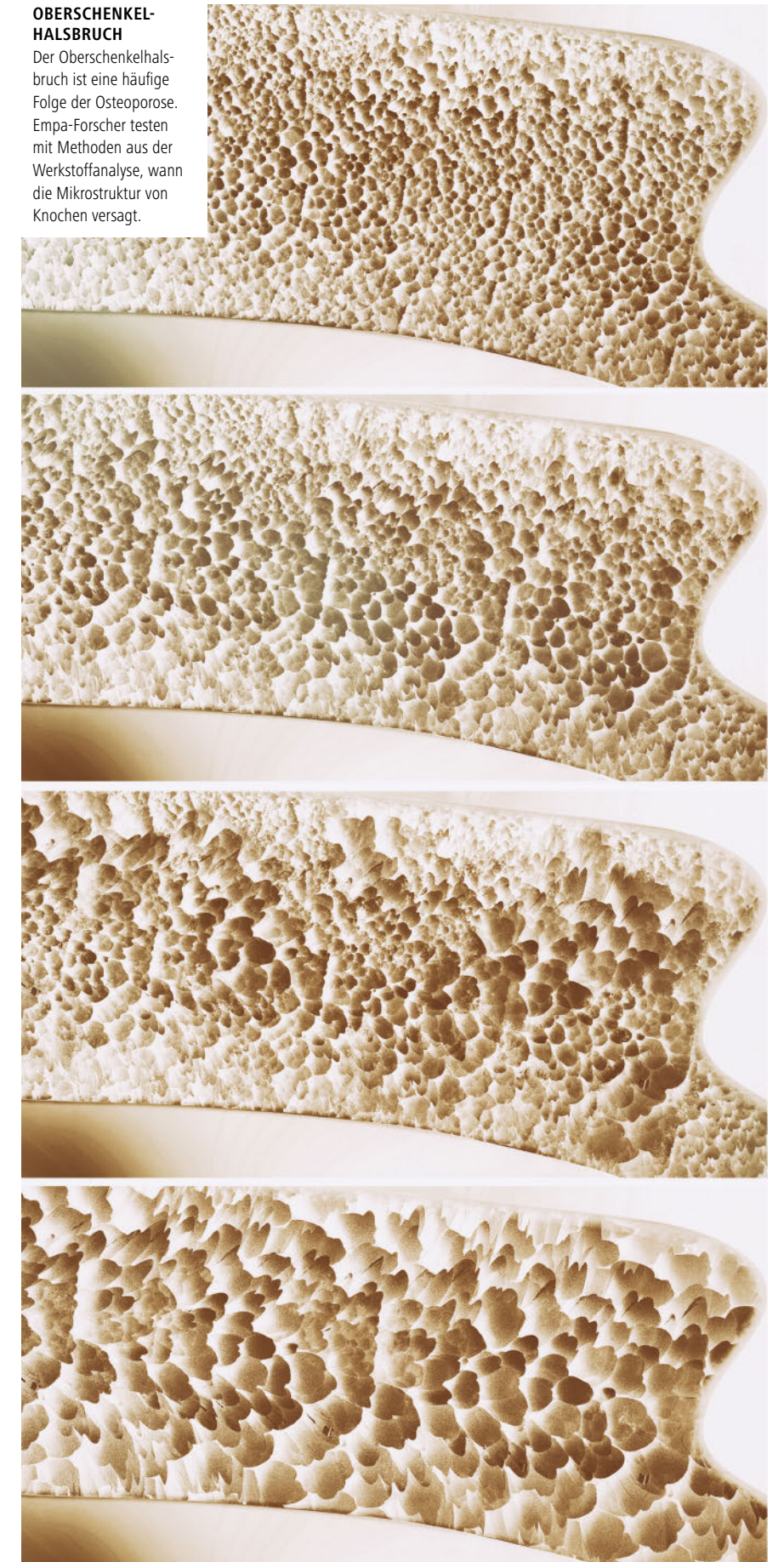
Bei den Druck- und Zugversuchen an den Knochenproben müssen die Forschenden aber noch selbst Hand anlegen: «Im Moment benötigen die Herstellung und die Versuche mit einem einzigen Knochensample noch sehr viel Zeit – insbesondere für Zugversuche», erklärt Schwiedrzik. Dazu müssen zunächst aus dem verwendeten Material mittels fokussiertem Ionenstrahl Proben mit einer definierten Geometrie hergestellt werden. Um künftig mehr Proben in kürzerer Zeit analysieren zu können und eine statistische Auswertung der Experimente zu ermöglichen, besteht momentan ein grosser Teil der Arbeit darin, die Probenherstellung zu automatisieren sowie eigene Messaufbauten zu entwickeln.

PERSÖNLICHE DIAGNOSE

Spannend wird es, wenn es um die Frage geht, wie sich die entwickelten Methoden für klinische Studien verwenden lassen. Dazu läuft im Moment ein Projekt, an dem Forschende des Inselspitals Bern, der Universität Bern, der ETH Zürich und der Empa beteiligt sind. Untersucht wird Knochenmaterial von Patienten, denen ein Hüftimplantat eingesetzt wurde. Dieses Material wird auf mehreren Längenskalen analysiert. Ziel ist, Daten über mikromechanische Eigenschaften, Mikrostruktur, Zellaktivität und Stoffwechsel zu sammeln und diese mittels «Machine Learning» mit dem klinischen Befund und den Patientendaten zu korrelieren. Die so entstehende Datenbank soll es künftig erlauben, die Knochenqualität eines Patienten zu quantifizieren und mit in die Diagnose einzubeziehen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s206

OBERSCHENKELHALSBRUCH
Der Oberschenkelhalsbruch ist eine häufige Folge der Osteoporose. Empa-Forscher testen mit Methoden aus der Werkstoffanalyse, wann die Mikrostruktur von Knochen versagt.



SCHAUM FÜR DIE WUNDE

Schlecht heilende Wunden und starke Vernarbungen sind mehr als nur ein kosmetisches Problem; sie können die Beweglichkeit und Gesundheit eines Menschen deutlich beeinträchtigen. Empa-Forschende haben nun einen Schaumstoff entwickelt, der übermässige Narbenbildung verhindern und der Wundheilung auf die Sprünge elfen soll. Eine essenzielle Zutat: Kurkuma, der gelbe Ingwer.

Text: Andrea Six



Eine Narbe am Ellbogen, die bei jeder Bewegung spannt, oder ein Fuss, an dem sich eine Wunde einfach nicht schliessen will – schlecht heilende Verletzungen sind eine verbreitete Ursache von gesundheitlichen Einschränkungen. Und obwohl Millionen von Menschen in ihrem Alltag betroffen sind, ist der komplexe Prozess der Wundheilung noch nicht vollständig verstanden oder gar steuerbar. Empa-Forschende haben daher einen Schaumstoff entwickelt, der in Hautwunden platziert wird und den natürlichen Heilungsprozess optimiert. Mit dem Projekt «Scaravoid»

haben Markus Rottmar und sein Team im «Biointerfaces»-Labor der Empa einen Schritt in eine neue Richtung gewagt. «Traditionelle Behandlungen zielen auf einzelne Faktoren der Wundheilung, etwa die Sauerstoffversorgung oder die Feuchtigkeitsregulation, ab und erzeugen lediglich eine unzureichende Gewebeantwort», erklärt Rottmar. Innerhalb von «Scaravoid», das von der Stiftung Gebert RUF gefördert wird, soll der Heilungsprozess indes umfassender verstanden und unterstützt werden.

PERFEKTES ZUSAMMENSPIEL

Klar ist bisher, dass ein perfekt orchestriertes Zusammenspiel vieler Faktoren im

Körper nötig ist, um eine Verletzung der Haut wieder zu schliessen und in gesundes Gewebe umzuformen. Zellen müssen angelockt werden, damit eine wohldosierte Entzündung die Wunde reinigt. Damit sich der gesäuberte Defekt schliesst, wächst neues Gewebe heran, das schliesslich zu funktionsfähiger Haut umgebaut wird. So erstaunlich die Selbstheilungskräfte des Körpers im Idealfall wirken, so empfindlich kann jedoch auch eine Fehlfunktion das Gleichgewicht stören und zu überschüssiger Narbenbildung oder unzureichendem Wundverschluss führen. Bei älteren Menschen oder Diabetikern beispiels-

weise ist das Risiko erhöht, dass die komplexe Kaskade beeinträchtigt wird.

Mit «Scaravoid» greift das Empa-Team nun mit einem bereits für die medizinische Anwendung zugelassenen biologischen Polymergerüst gleich an mehreren Stellen unterstützend in den Vorgang ein. In einem Hochdruckreaktor wird das Polymer mittels superkritischem Kohlendioxid (CO₂) aufgeschäumt, wobei die Porengrösse mit Hilfe von Druck und Temperatur fein gesteuert werden kann. Einmal in eine Verletzung platziert, soll das Polymergerüst mit seiner Arbeit beginnen: Einwandernden Zellen bietet es mit seiner offenporigen

Architektur ein geeignetes Gerüst, um sich anzusiedeln. Da der Schaumstoff bioabbaubar ist, gestalten die Zellen die angebotene Polymerstruktur nach ihren Bedürfnissen um und bilden ein neues, funktionstüchtiges Gewebe aus.

NATÜRLICHE BALANCE STÄRKEN

Damit es dabei jedoch nicht zu unerwünschter Narbenbildung kommt, ist das Polymergerüst mit einer bioaktiven Substanz ausgerüstet, die die Narbenbildung hemmen soll. Hier haben sich die Forscher in der Natur bedient und einen Stoff verwendet, den wir eher aus der Küche kennen als aus dem Spital: Curcumin. Das Pulver der Kur- ▶

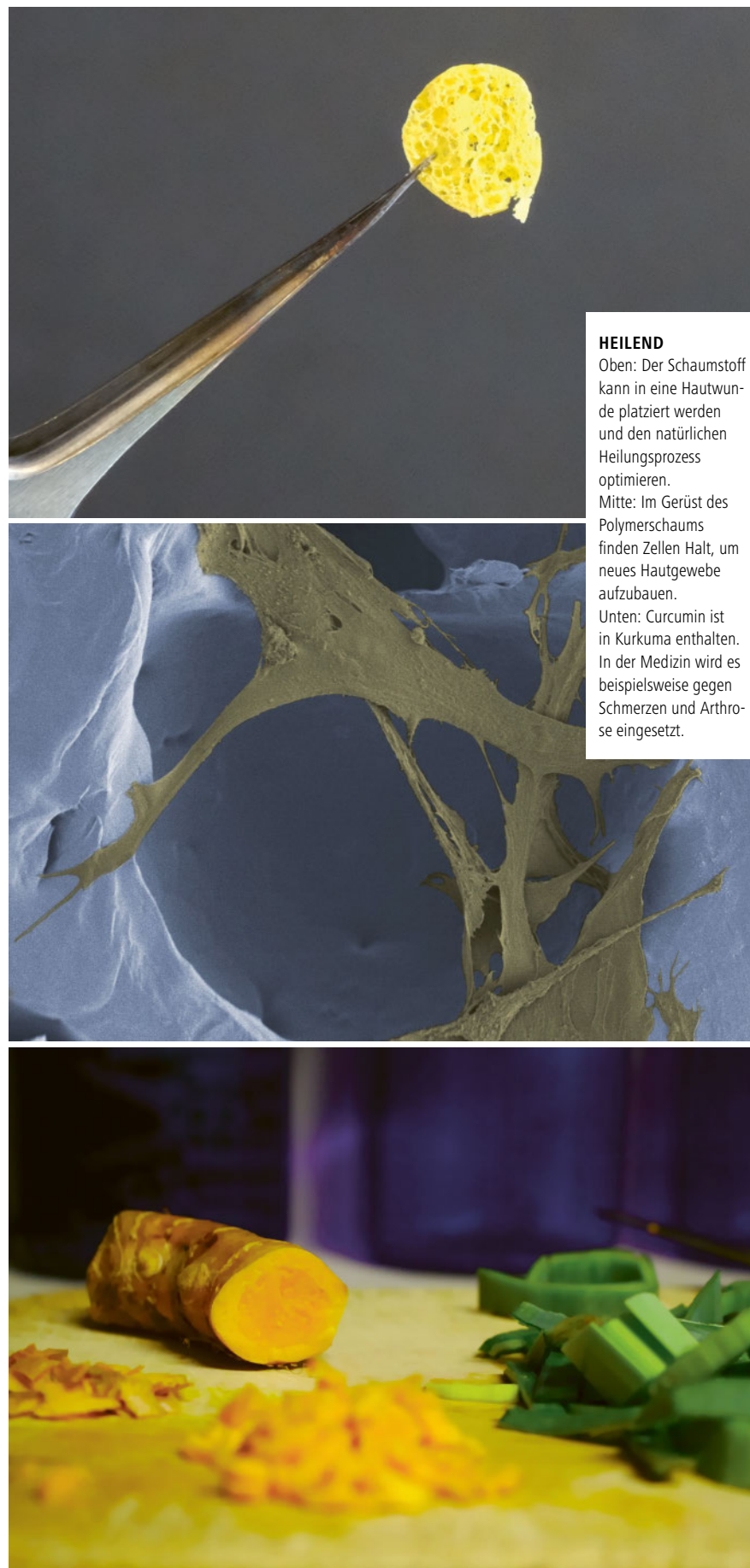
Foto: John Gibbons

kuma-Wurzel, gelber Ingwer genannt, färbt als Zusatzstoff E100 bestimmte Lebensmittel wie Senf oder Margarine und trägt im Currypulver zum Aroma bei. Als pharmakologische Komponente ist Curcumin hingegen wegen seiner entzündungshemmenden Eigenschaften interessant. Die Empa-Forscher versetzten Zellkulturen mit Curcumin und fanden heraus, dass die Produktion von Biomarkern, die typischerweise in Narben vorkommen, deutlich hinunterreguliert wird.

«Ein perfekt orchestriertes Zusammenspiel vieler Faktoren ist nötig, um eine Verletzung zu verschliessen und in gesundes Gewebe umzuformen.»

Ins Gerüst des Schaumstoffs eingebunden ist Curcumin, das nach und nach freigesetzt wird. Es steuert das Verhalten und die Funktion der Zellen, die in das Gerüst einwandern, und soll so die natürliche Balance der Wundheilung unterstützen. Was derzeit in Labortests in Form von kleinen Polymerscheiben analysiert wird, soll in der klinischen Anwendung in Form von grösseren Polymermembranen eingesetzt werden. Die Membranen können dann vom Arzt passend zugeschnitten und im Wundbett platziert werden. Vor allem bei schwerwiegenden Verletzungen, etwa nach Verkehrsunfällen oder starken Verbrennungen, sollen die Membranen die Wundheilung optimieren. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s404/



HEILEND
 Oben: Der Schaumstoff kann in eine Hautwunde platziert werden und den natürlichen Heilungsprozess optimieren.
 Mitte: Im Gerüst des Polymerschaums finden Zellen Halt, um neues Hautgewebe aufzubauen.
 Unten: Curcumin ist in Kurkuma enthalten. In der Medizin wird es beispielsweise gegen Schmerzen und Arthrose eingesetzt.

Fotos: Empa, Pixabay

Green Engineering – Mit Technik gegen den Klimawandel

Hauptveranstaltung am 24. September 2019, 14.00 – 19.30 Uhr
 Empa-Akademie, Dübendorf



Die Klimaerwärmung ist heute eine der grössten Herausforderungen für die Menschheit. Erfolgversprechende Klimaschutzmassnahmen sind dringend nötig, um die CO₂-Reduktionsziele der UN-Klimakonferenz in Paris zu erreichen. Angesichts der nur schwer zu erreichenden Verhaltensänderungen der Menschen und dem stetig steigenden Energie-, Konsum-, Mobilitäts- und Raumbedarf sind vor allem technische Innovationen zur Reduktion der Treibhausgase gefragt. Welche sind das, welchen Beitrag können sie leisten und können die Staaten lenkend mithelfen?

Diesen Fragen gehen die Tage der Technik 2019 aus verschiedenen Blickwinkeln auf den Grund.

Die Veranstaltung ist öffentlich und kostenlos. Anmeldung bis spätestens Mittwoch, 18. September 2019 unter www.tage-der-technik.ch.

Organisation

SWISS ENGINEERING
 STV UTS ATS

Empa
 Materials Science and Technology

satw
 it's all about technology

EMISSIONSRÄTSEL GELÖST



MESSTATION
Hier wurde der Anstieg der FCKW-11-Emissionen festgestellt: Die Gosan-Messstation in Korea.

Der Fluorchlorkohlenwasserstoff FCKW-11 gilt als einer der hauptverantwortlichen Stoffe für den Abbau der stratosphärischen Ozonschicht, die uns vor der UV-Strahlung der Sonne schützt. Messungen zeigen, dass die atmosphärische FCKW-11-Konzentration trotz weltweitem Verbot wieder ansteigt. Doch woher kommen sie? Eine internationale Forschergruppe mit Empa-Beteiligung konnte das Rätsel lösen: Die FCKW-11-Emissionen liessen sich eindeutig auf den Osten Chinas zurückführen. Im Verdacht stehen illegale Produktionsanlagen für Schaumstoffe.

Mehr Informationen unter: www.empa.ch/web/s604/cfc-11

NEUER WELTREKORD FÜR FLEXIBLE DÜNNSCHICHT-SOLARZELLEN



Noch nie wurde eine so effiziente flexible CIGS-Solarzelle geschaffen. Empa-Forschende erreichen erstmals einen Wirkungsgrad von 20,8% – und brechen damit ihren eigenen Rekordwert aus dem Jahr 2013.

Mehr Informationen unter: www.empa.ch/web/s604/cigs-record-2019

EFFIZIENT
Empa-Forschende brechen den eigenen Weltrekord

GEFAHR FÜR DIE LUNGE

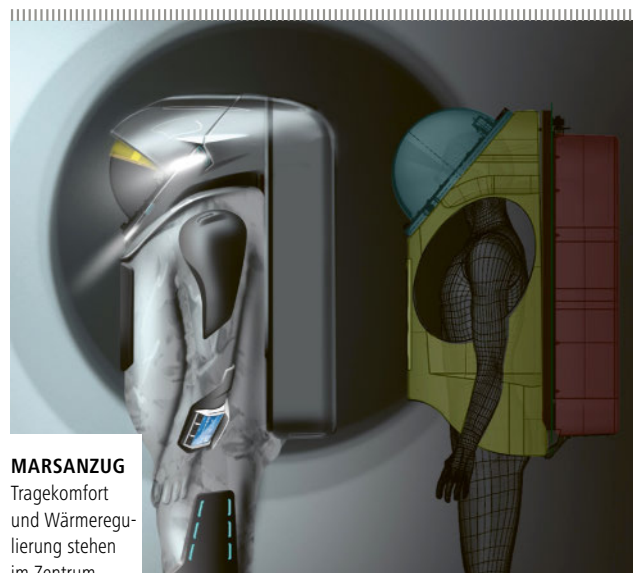
In einem bisher einzigartigen Experiment haben Schweizer Forschende die Wirkung von Abgaspartikeln aus Flugzeugturbinen auf menschliche Lungenzellen untersucht. Bei Partikeln, die im Leerlauf am Boden ausgestossen werden, reagierten die Zellen am stärksten. Es zeigte sich auch, dass die zellschädigende Wirkung nur bedingt vergleichbar ist mit der Wirkung von Partikeln aus Benzin- und Dieselmotoren.

Mehr Informationen unter: www.empa.ch/web/s604/aircraft-particles



PARTIKEL
Nicht beim Abflug, sondern im Leerlauf droht die grösste Schädigung.

BEQUEM ZUM SIMULIERTEN MARS

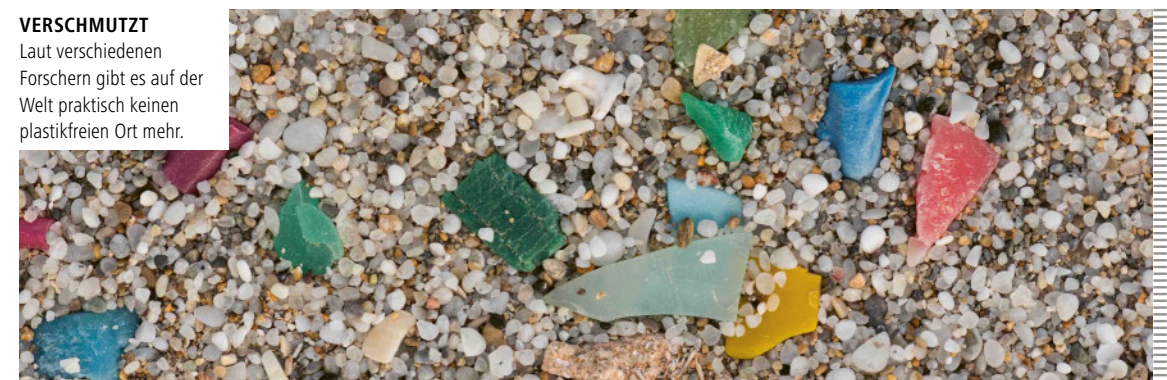


MARSANZUG
Tragekomfort und Wärmeregulierung stehen im Zentrum.

Das Österreichische Weltraumforum (ÖFW) entwickelt mit Beteiligung der Empa den «Serenity»-Raumanzug – einen Prototyp eines Marsanzugs. Die beiden Partner unterzeichneten nun eine Kooperationsvereinbarung, um bei der Entwicklung des Prototyps noch enger zusammenzuarbeiten. Im Mittelpunkt der Kooperation steht die Optimierung des Tragekomforts und des Wärmeregulierungssystems von «Serenity», basierend auf Körpermodellen, die an der Empa entwickelt wurden.

Mehr Informationen unter: www.empa.ch/web/s604/mars-suit

VERSCHMUTZT
Laut verschiedenen Forschern gibt es auf der Welt praktisch keinen plastikfreien Ort mehr.



MIKROPLASTIK IN GEWÄSSERN

Mikroplastik ist vielen ein Begriff, doch die Gefahren sind so gut wie unerforscht. Forscher der Empa haben nun die weltweit erste Risikoabschätzung für Mikroplastik in Seen und Flüssen durchgeführt. Mit zumindest aktuell positivem Resultat: In Europa, so das Fazit der Studie, sind aquatische Organismen zurzeit (noch) nicht akut gefährdet.

Mehr Informationen unter: www.empa.ch/web/s604/mikroplastik

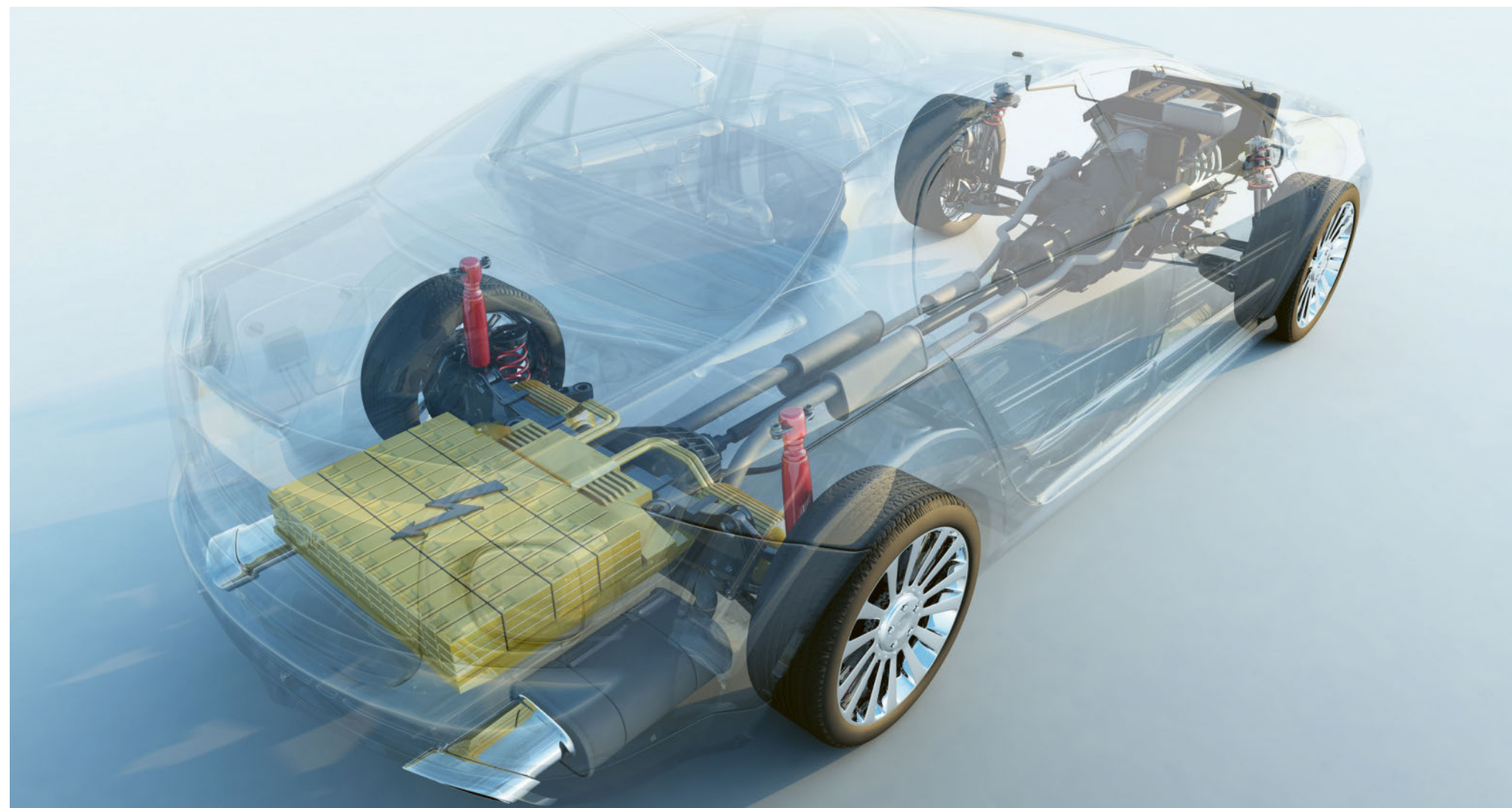
Fotos: ÖWF/Bernhard Kallauer Design Studio; Kyungpook National University

Fotos: Flisom, iStock, Empa

WOHIN MIT DEN ALTEN BATTERIEN?

Die Zulassungszahlen von Elektroautos steigen stark an. Doch wohin mit den alten Antriebsbatterien? Der Importeurverband Auto-Schweiz strebt eine Recyclinglösung für die Branche an. Spezialisten der Empa unterstützen ihn.

Text: Rainer Klose



Knirschend frisst sich die gezackte Metallwalze in die Batteriemodule, zermahlt die Kunststoffrahmen, schlitzt die silbernen Folien der Lithium-Polymer-Packs auf, zerfetzt alles zu kleinen Stücken. Am Ende bleibt ein feines Pulver. Wirft man es nacheinander in mehrere Säurebäder, dann entstehen Salze und Oxide, aus denen neue Antriebsbatterien gebaut werden können. Der YouTube-Film «Neue Recycling-Methode für Batterien aus Elektroautos», veröffentlicht im Mai 2019, zeigt etwas, was man bis vor Kurzem nicht hat sehen können: das Schreddern von Lithium-Ionen-Batterien. Diese Akkus sind norma-

Foto: istock

lerweise brennbar. Ein kleines bisschen elektrische Spannung, ein Funke genügt, und das ganze Material geht in Flammen auf. Die deutsche Firma Duesenfeld entlädt die Akkus daher vollständig und flutet den luftdicht abgeschirmten Schredder mit Stickstoff. Die brennbare Elektrolytflüssigkeit wird verdampft und abgepumpt, bevor das Pulver entnommen wird. Auf diese Weise sind 96 Prozent aller Materialien wiederverwertbar.

Etwa 40 000 Elektroautos und Plug-in-Hybride mit Lithium-Ionen-Akkus fahren derzeit auf Schweizer Strassen – knapp ein Prozent der gesamten Fahrzeugflotte. Doch es werden rasch

mehr. In den ersten drei Monaten des Jahres 2019 stieg der Anteil an den Neuzulassungen bereits auf 5,3 Prozent.

Und das ist nur der Anfang: Eine ganze Reihe leistungsfähiger Elektroautos kommt erst dieses Jahr auf den Markt: Audi e-tron, Mercedes EQC, Peugeot e-208. Sie treffen auf das Tesla Model 3, das die Zulassungsstatistiken seit März anführt. 2020 wird der VW-Konzern sein erstes elektrisches Massen-Automobil anbieten, den VW iD.3. Höchste Zeit also, sich Gedanken zu machen, was mit den Antriebsbatterien passiert, wenn diese Autos verunfallen oder am Ende ihres Lebens verschrottet werden.

RECYCLINGSYSTEM DER AUTO-IMPORTEURE

Beim Verband Auto-Schweiz, der die meisten Schweizer Autoimporteure vertritt, ist man sich dessen bewusst. 2018 wandten sich die Auto-Importeure daher an die Empa, um die Eckpunkte eines Recyclingsystems für Antriebsbatterien zu bestimmen. Schon zuvor hatte die Empa zum Beispiel die Swico beraten, die sich ums Rezyklieren elektronischer Geräte und von Computertechnik kümmert. Doch anders als bei Elektronikprodukten wird für Autos bislang kein vorgezogener Recyclingbeitrag (vRB) erhoben. Der Verband Auto-Schweiz strebt eine Branchenlösung an und hat mit deren Ausarbeitung die Stiftung Auto-Recycling ►

Schweiz beauftragt, die sich bereits seit 1992 um das Zerlegen und Rezyklieren von Schweizer Altautos kümmert. Der Empa-Forscher Rolf Widmer und seine Kolleginnen und Kollegen aus der Abteilung «Technologie und Gesellschaft» arbeiten seit März 2019 gemeinsam mit der Stiftung Auto-Recycling an diesem Projekt. Sie analysieren Recyclingsysteme in Nachbarländern, untersuchen die Kosten und den ökologischen Fussabdruck und stellen Modellrechnungen an, um die künftig anfallenden Mengen alter Akkus abschätzen und die passende Strategie empfehlen zu können.

«Antriebsbatterien von Unfallfahrzeugen können unvermittelt brennen. Sie müssen bis jetzt als Gefahrgut transportiert werden.»

HEISS ODER KALT VERWERTEN?

Die meisten Lithium-Ionen-Batterien werden bislang nicht kalt geschreddert, wie bei der eingangs erwähnten Methode der Firma Duesenfeld, sondern in einem Ofen verbrannt und anschliessend vermahlen. Marktführer dabei ist die belgische Firma Umicore. Bei der heissen Verwertung schmelzen die dünnen Kupferfolien der Batterie und bilden gemeinsam mit Kobalt und Nickel eine Legierung, die wiederverwertet werden kann. Das Lithium, das Graphit, der flüssige Elektrolyt und das Aluminium in der Batterie verbrennen jedoch und landen in der Schlacke. Sie sind für eine wirtschaftliche Weiterverwendung verloren.

Neben der heissen Umicore-Verwertung und dem kalten Schreddern unter Schutzgas gibt es indes noch andere automatisierte Zerlegemethoden. Die Batrec Industrie AG, ein Schweizer

Batterieverwertungsspezialist, schreddert manche Akkus in nassem Milieu, um Brände zu vermeiden. Die Empa-Experten werden all diese Methoden verglichen.

DAS TRANSPORTPROBLEM

Bei der Suche nach dem besten Recyclingsystem geht es jedoch nicht nur um die Zerkleinerung allein, sondern auch um den Aufbau einer Lieferkette. «Antriebsbatterien von Unfallfahrzeugen können unvermittelt brennen und müssen bis jetzt als Gefahrgut in speziellen Behältern transportiert werden», erläutert Daniel Christen, Geschäftsführer der Stiftung Auto-Recycling Schweiz. «Das ist aufwändig und teuer.» Christen sucht nach einer günstigeren Lösung, um Batterien zu «entschärfen» und zum Entsorgungsbetrieb zu liefern.

Ansätze dazu gibt es bereits: Die Firma Blubox Trading AG in Birwil etwa importiert die «Firebox» eines holländischen Herstellers. Die Firebox ist ein Frachtcontainer mit eingebauter Feuerlöschanlage, die ein ganzes Auto oder eine grössere Ladung noch nicht «entschärfter» Akkus aufnehmen kann.

Und nicht zuletzt die Spediteure und die Autoverwerter müssen geschult werden, damit alte Elektroautos nicht gefährlich werden. Schon heute existiert eine Datenbank für Rettungskräfte, die genau diese Informationen bereithält: Auf einem Tablet gibt der Feuerwehrmann die Nummer des Kontrollschilds ein und erfährt, ob er ein Elektroauto vor sich hat und auf welche Weise er die Batterie vom Stromnetz des Wagens trennen muss. Mit den gleichen Informationen liessen sich Elektroautos auch auf gefahrlose Art zerlegen.

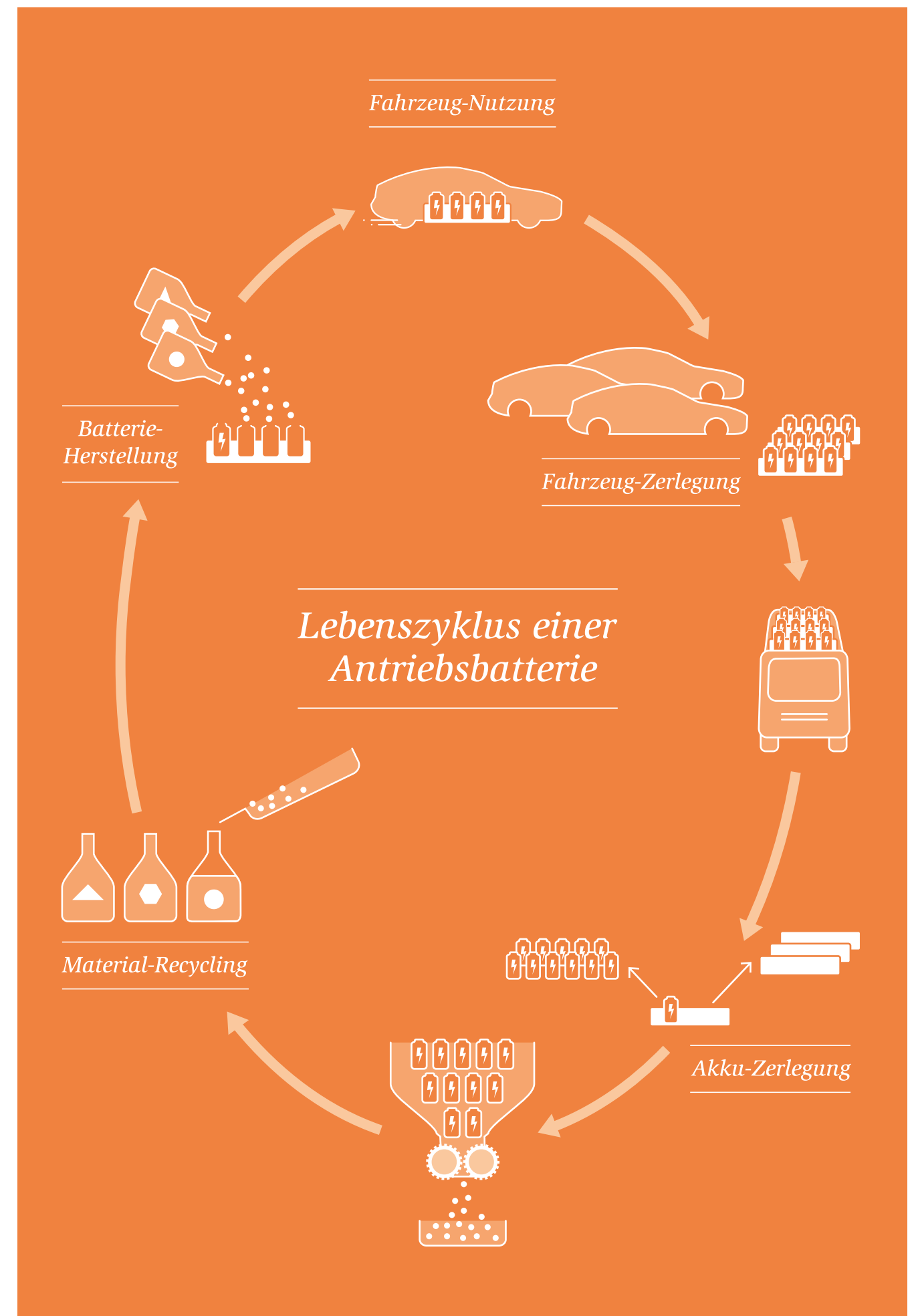
NOCH SIND VIELE FRAGEN OFFEN

Dennoch bleiben viele offene Fragen, die vor dem Aufbau eines Recyclingsystems

beantwortet werden müssen. Wie entwickelt sich der Markt für gebrauchte Antriebsbatterien? Wird es sich dereinst lohnen, ausgepowerte Akku-Pakete mit neuen Modulen zu versehen und wieder in den Verkauf zu bringen – ähnlich wie Austauschmotoren oder -getriebe? Oder können aus Antriebsbatterien in einem «zweiten Leben» stationäre Solarstromspeicher werden? Kommt die grosse Welle an verbrauchten Akkus daher vielleicht mit Verzögerung auf die Recyclingbetriebe zu? Braucht die Schweiz überhaupt grosse Recyclingkapazitäten, oder werden die (ausländischen) Autohersteller die meisten Antriebsbatterien einsammeln und selber verwerten? Vieles wird von den Marktpreisen der Rohstoffe abhängen, vom Preis für Lithium, Kobalt, Nickel und Graphit, vom Preis und der Leistung neuer Akkus, aber auch von der Politik, die die Rahmenbedingungen setzt und Vorschriften erlässt.

Die gute Nachricht lautet jedenfalls: Elektroautos sind kein Recyclingproblem. Für sämtliche Schritte des Verwertungsprozesses zeichnen sich technische Lösungen ab. Und eine Reihe von Spezialisten arbeitet bereits daran, diese Lösungen in die Praxis umzusetzen. ■

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



Grafik: Hug & Dorfmueller Design AG

CLEVER VERTEILT

Das Energiesystem ist im Wandel: Die ständige Verfügbarkeit von Energie am richtigen Ort und zur richtigen Zeit wird anspruchsvoller. Gleichzeitig gibt uns die Digitalisierung neue Werkzeuge an die Hand, um Energieflüsse optimal zu steuern. Die neue Energieforschungsplattform «ReMaP» der ETH Zürich, des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) und der Empa will dazu beitragen, vernetzte Energiesysteme besser zu verstehen.

Text: Stephan Kälin

Wie gehen wir an einem schönen Sommertag mit Solarstrom um, der nicht direkt genutzt werden kann? Welche Speicherlösungen sind sinnvoll? Wann macht eine Umwandlung in Wasserstoff oder einen anderen Energieträger Sinn, und was bedeutet das für das Verteilnetz? Die Megatrends der heutigen Energieforschung sind identifiziert: Die Energieproduktion wird immer dezentraler. Elektrizität wird immer wichtiger – in der Mobilität, aber auch zur Bereitstellung von Wärme. Digitale Lösungen zur Messung und Steuerung von Energieflüssen und der Einbezug von künstlicher Intelligenz (KI) wecken neue Chancen zur Reduktion des Energieverbrauchs und zur optimalen Verteilung.

Die Energieforschenden der ETH Zürich, des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) und der Empa befassen sich intensiv mit diesen Trends und der Ausgestaltung eines zukünftigen Energiesystems. An der Empa in Dübendorf sind in den letzten Jahren die Energieforschungsplattform «ehub», der Mobilitätsdemonstrator «move» und das Forschungs- und Innovationsgebäude «NEST» entstanden. Gemeinsam bilden diese Plattformen ein belebtes Quartier, das es erlaubt, neue Techno-

logien in einer realen Umgebung umzusetzen, zu betreiben und zu validieren. Gleichzeitig hat das PSI in Villigen die Versuchsplattform «Energy System Integration» (ESI) erstellt, die sich ebenfalls mit der Speicherung und Umwandlung von Energie befasst. Unter der Leitung des Energy Science Center der ETH Zürich werden diese Infrastrukturen in einer neuen Forschungsplattform namens ReMaP (Renewable Management and Real-Time Control Platform) zusammengeführt. Ein digitales Modell aller Anlagen wird es möglich machen, die Ideen der Forschenden vor der realen Umsetzung zu simulieren. ReMaP wurde Ende 2018 lanciert und wird nun schrittweise aufgebaut.

NEUE ANSÄTZE SCHNELLER ETABLIEREN

«Mit der Vernetzung der Plattformen und der Zusammenführung der Forschungsdaten schaffen wir neue Möglichkeiten für die Energieforschung aus einer systemischen Perspektive», sagt Philipp Heer, Leiter des ehub und ReMaP-Projektverantwortlicher seitens der Empa. «Die tatsächliche Umsetzung auf der Forschungsplattform soll dazu beitragen, innovative Ansätze zu etablieren.»

Rund zehn Forschungsprojekte sind bereits am Laufen. Eines davon kom-

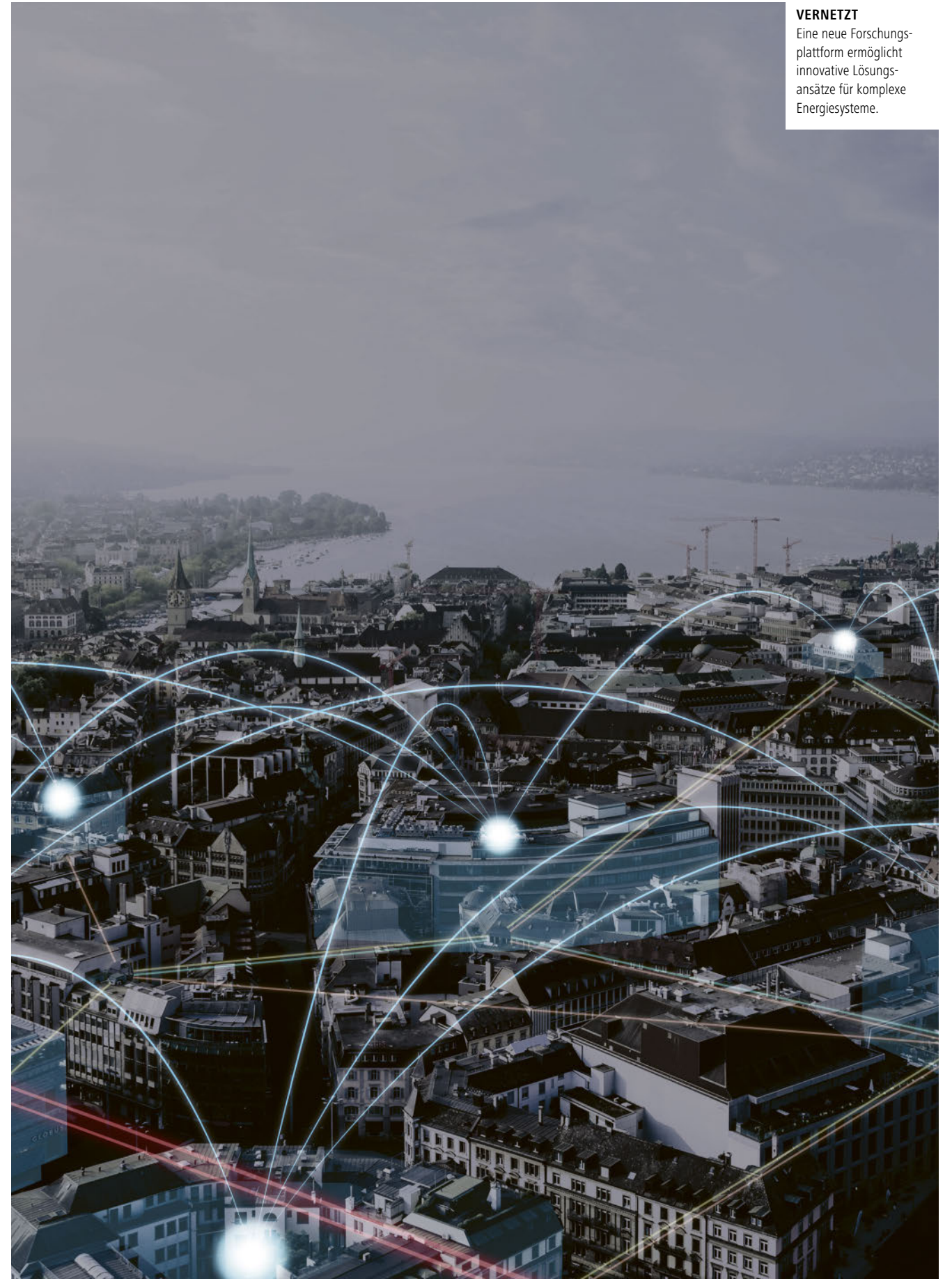
binert die stationären Batterien im NEST mit der Power-to-Gas-Anlage am PSI und untersucht ein optimales Zusammenspiel dieser Speicherlösungen für überschüssige Elektrizität. Ein weiteres Projekt geht der Frage nach, was ein individueller Energieverbraucher – etwa ein Mieter – höher gewichtet: seine Privatsphäre oder möglichst niedrige Energiekosten. Intelligente Stromzähler und Speicher lassen nämlich Rückschlüsse auf das Verhalten des Verbrauchers zu, die dazu dienen können, das Stromnetz optimal auszulegen. Ein Team der ETH hat einen lokalen Energiespeicher mit einem «Schutz-Algorithmus» entwickelt. Der Verbraucher entscheidet selbst, ob er seine Energiekosten optimiert und seinen Verbrauch offenlegt, oder ob er seine Privatsphäre schützt, indem der Speicher seinen Verbrauch verschleiert. Das Beispiel zeigt, wie viele Ebenen und Abhängigkeiten der Wandel des Energiesystems umfasst und dass letztlich nicht nur technologische Lösungen, sondern auch deren Akzeptanz durch die Benutzerinnen und Benutzer nötig sein werden.

ReMaP wird vom Bundesamt für Energie (BFE) und der «ETH Foundation» unterstützt und steht anderen Hochschulen und der Industrie offen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s604/remap

Foto: ikonaut

VERNETZT
Eine neue Forschungsplattform ermöglicht innovative Lösungsansätze für komplexe Energiesysteme.



DAS FLIEGENDE KRAFTWERK

Es braucht nicht unbedingt Rotoren auf Stahlmasten, um Windenergie zu ernten – leichte Drachen an dünnen Seilen schaffen das auch. Das Empa-Spin-off TwingTec erforscht diese Technologie seit längerem. Letzten Herbst gelang es erstmals, automatisiert zu starten, beim Fliegen elektrische Energie zu erzeugen und wieder zu landen. Die Kommerzialisierung rückt damit in Reichweite.

Text: Rainer Klose

Jeder, der schon mal einen Kinderdrachen gesteuert hat, kennt das Gefühl: Der Wind greift den Drachen, zieht an der Schnur. Eiligst lässt man Seil nach, die Seilrolle rotiert, nur schwer kontrollierbar, zwischen den Fingern. Und die Frage kommt auf: Könnte man diese wilde Energie nicht nur zum Spielen, sondern auch zur Stromerzeugung nutzen? Ja, man kann. Rolf Luchsinger hat es bewiesen. Er ist CEO des Empa-Spin-offs TwingTec, gegründet 2013. TwingTec ist damit eine der ersten Firmen, die Luftwindkraftwerke entwickeln – und manchen Wettbewerbern eine Nasenlänge voraus. Neun Mitarbeitende beschäftigt die Jungfirma an ihrem Firmensitz in Dübendorf.

STEIGFLUG IM ZYKLUS

Die Idee hinter dem Projekt ist simpel, doch die Praxis ist knifflig: Meteorologen wissen, dass in 500 Metern Höhe die Leistung des Windes bis zu achtmal stärker ist als in 120 Metern Höhe – also auf der Nabenhöhe moderner Wind-

kraftanlagen. Ein Drachen könnte diesen Starkwind nutzen, wenn er sich in Kreisbahnen in die Höhe schraubt und ein Seil von einer Rolle zieht. Mit der Achse der Seilrolle ist ein Generator verbunden, der Strom erzeugt. Sobald das Seil abgerollt ist, sinkt der Drachen antriebslos wieder in die Nähe der Startplattform; das Seil wird unterdessen aufgespult, dann beginnt der Aufstieg von Neuem. «Die grosse Herausforderung ist nicht das Fliegen an sich», sagt Luchsinger. «Das Problem ist das automatisierte Starten und Landen.» Schliesslich soll das Drachenkraftwerk Strom liefern können, ohne dass es von Menschen gesteuert wird.

AUTOMATISIERTER FLUG ERFOLGREICH

Im Herbst 2018 gelang genau das auf den Höhen des Chasseral in der Westschweiz. Der TwingTec-Prototyp T 28, ein Gerät mit drei Meter Spannweite, startete von seinem Basisfahrzeug, schraubte sich in die Höhe, kreiste 30 Minuten lang autonom in der Luft, produzierte elektrische Energie und landete schliesslich wieder wohlbehalten auf der ▶



TWINGTEC

Erfolgreicher Testflug im Herbst 2018 auf den Höhen des Chasseral: Der TwingTec-Prototyp T 28, ein Gerät mit drei Meter Spannweite, startete selbstständig von seinem Basisfahrzeug, schraubte sich in die Höhe, kreiste 30 Minuten lang autonom in der Luft, produzierte elektrische Energie und landete wieder auf der Startplattform.

Startplattform. Nun folgt der nächste Schritt: die kontinuierliche Stromerzeugung für Kunden. Luchsingers Team arbeitet gerade am Prototyp T 29, der im Herbst beim Chasseral die ersten Flüge machen soll. T 29 soll nicht nur automatisch starten und landen, sondern auch bis zu 10 kW elektrische Leistung erzeugen und ins Netz speisen. Die Berner Kraftwerke BKW kümmern sich um die Weiterleitung des experimentellen Windstroms zu den Verbrauchern.

«Windkraft ist nichts für dicht besiedelte Gebiete. Wir sehen Minen, abgelegene Siedlungen und Inseln als potenzielle Kunden.»

Der Weg von der ersten Skizze bis zur ersten Kilowattstunde Netzstrom war allerdings lang und kurvenreich. Am Anfang stand die Idee, einen mit Druckluft verstärkten Lenkdrachen zu benutzen, ähnlich wie beim Kite-Surfen. Die Forschung an einer Reihe von Prototypen führte dann zunächst vom Segel weg zu einer Struktur mit starren Flügeln. Auch das Lenken mittels mehreren Seilen wurde verworfen zu Gunsten einer Steuerung mit Klappen wie bei einem Flugzeug. Für das Starten und Landen setzte TwingTec kleine Rotoren ein, ähnlich wie bei einer Drohne. 2014 reichte TwingTec ein wegweisendes Patent für die Start- und Landetechnik des Energiedrachsens ein, das mittlerweile in mehreren Ländern erteilt wurde. Wie zukunftsfruchtig Energiedrachen bald sein könnten, zeigt ein Blick auf die zahlreichen Wettbewerber: Allein in Europa entwickeln zehn Start-ups und mehrere Teams aus Universitäten und technischen Hochschulen Lösungen für

GRÜNDER
Rolf Luchsinger, CEO von TwingTec, neben Prototyp T 29, der erstmals Strom ins Netz speisen soll.



diese Art der Energiegewinnung. Sie alle sind Mitglieder des Verbands «Airborne Wind Europe», der alle zwei Jahre eine grosse Konferenz organisiert. Die nächste findet Mitte Oktober in Glasgow statt.

KOMMERZIALISIERUNG IM FOKUS

TwingTec darf sich also nicht allzu viel Zeit lassen und bereitet sich auf den nächsten Schritt vor. Die Erkenntnisse aus den Flugversuchen mit dem T 29 sollen bald zum ersten Serienprodukt führen: dem TT100, einem Energiedrachen mit 15 Meter Spannweite. Positioniert auf einem Standard-Schiffscontainer, soll der Drachen autonom starten und landen und bis zu 100 kW elektrische Leistung erzeugen – das würde für 60 Einfamilienhäuser reichen.

Würde – denn im Schweizer Mittelland wird man Energiedrachen wohl nie zu Gesicht bekommen. «Windkraft ist nichts für dicht besiedelte Gebiete», sagt TwingTec-CEO Rolf Luchsinger. Die Kunden für diese nachhaltige Art der Energieerzeugung leben in abgelegenen Gebieten. «Wir sprechen mit Minen, abgelegenen Siedlungen und Inseln als potenzielle Kunden. Dort sind

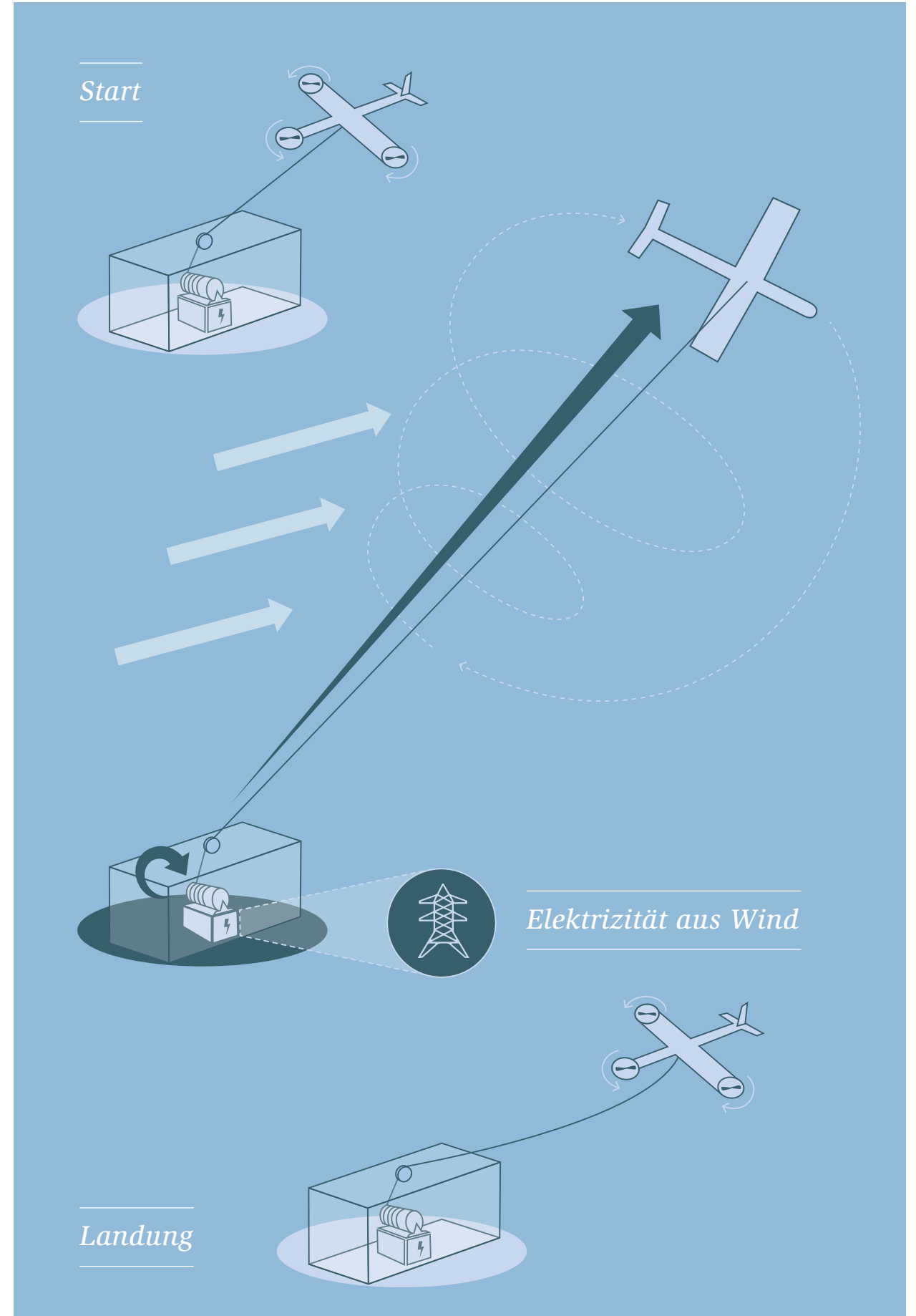
bis heute Dieselgeneratoren im Einsatz, die Abgase und Lärm erzeugen und deren Treibstoff mit hohem Aufwand angeliefert werden muss.» Autonom arbeitende TwingTec-Drachen könnten dort Diesel einsparen und mittelfristig die gesamte Energieerzeugung übernehmen. Langfristig hat Luchsinger aber noch grössere Pläne: mit seinen Energiedrachen schwimmende Windparks auf dem Meer zu errichten. Dort hat es beliebig viel Platz, beliebig viel Wind, und es stört niemanden. Genau die Voraussetzungen also, um mit Windenergie die Energiewende zügig voranzutreiben.

Doch für die Serienproduktion ist eine Menge Kapital notwendig. Der Prototyp T 29, der im Herbst am Chasseral fliegen soll, wird vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt. Für die Kommerzialisierungsphase danach sind nun aber private Kapitalgeber und Partner aus der Energiewirtschaft gesucht, damit das enorme Potenzial der Windkraft endlich voll ausgeschöpft werden kann. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.twingtec.ch

Fotos: Twingtec, Empa

Grafik: Hug & Dorfmueller Design AG



SWISSLOOP SETZT AUF «CLAUDE NICOLLIER»



SCHNELL
Der Hyperloop-Pod der Zürcher Studierenden mit dem Entwicklungsteam und Ehrengast Claude Nicollier

Am 21. Juli tritt Swissloop, ein Verein von Studierenden der ETH Zürich und weiterer Schweizer Hochschulen, wieder an der internationalen Hyperloop Pod Competition in Los Angeles gegen Teams aus aller Welt an. An der Empa präsentierte Swissloop ihren komplett neuen Pod erstmals der Öffentlichkeit. Grosse Ehre für die Tüftler: Claude Nicollier persönlich liess es sich nicht nehmen, die nach ihm benannte Transportkapsel bei ihrer Einweihung zu begleiten.

www.empa.ch/web/s604/swissloop-pod

ZWEI NOMINATIONEN UND EIN AWARD

Seit 13 Jahren setzt sich die Stiftung «bildung» für den Ingenieur Nachwuchs im Bauwesen ein – unter anderem mit der Vergabe des «Building Award» für bemerkenswerte und innovative Ingenieurleistungen am Bau. In diesem Jahr waren gleich zwei Empa-Projekte für den Preis in der Kategorie «Forschung und Entwicklung» nominiert: Die Formgedächtnislegierung «memory steel» und das modulare Forschungs- und Innovationsgebäude NEST von Empa und Eawag. Das NEST-Team durfte den Award im KKL Luzern entgegennehmen.

www.empa.ch/web/s604/building-award



NEST
Carina Doll, Eawag, und Peter Richner, stellvertretender Direktor der Empa, nehmen den Building Award entgegen.

Fotos: Empa (2), Swissloop

VERANSTALTUNGEN DER EMPA-AKADEMIE

26.–28. AUGUST 2019

Tagung: 2nd Swiss & Surrounding Battery Days

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/swissbattery
Empa, Dübendorf

6. SEPTEMBER 2019

Kurs: Klebtechnik für Praktiker

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/klebtechnik
Empa, Dübendorf

12.–13. SEPTEMBER 2019

Tagung: Welcome to nano-scale: from science to health application

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/nano-scale
Empa, Dübendorf

24. SEPTEMBER 2019

Tage der Technik: Green Engineering – Mit Technik gegen den Klimawandel

Zielpublikum: Öffentlichkeit
www.tage-der-technik.ch
Empa, Dübendorf

25. SEPTEMBER 2019

Kurs: Die Wärmebehandlung, ein «Werkzeug» zur gezielten Einstellung von Eigenschaften

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/waerme
Empa, Dübendorf

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



KREATIV
Das Stillleben mit Fruchtschale verbindet Kunstwerk und Wissenschaft.

FORSCHUNG BRAUCHT KREATIVITÄT

Naturwissenschaft und Kunst liegen näher, als man vermuten könnte. Gleich drei Kunstwerke lieferten Empa-Forscher für die Kunst- und Wissenschaftsausstellung «Artsci 2019» an der ETH. Publikum und Experten waren begeistert von den einfallsreichen Materialforschern. «Der Fruchtschale, der aus der Kälte kam» von Professor Thijs Defraeye wurde gar mit dem Publikumspreis prämiert.

www.empa.ch/web/s604/artsci2019

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology