

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #77 II OKTOBER 2022

FOKUS

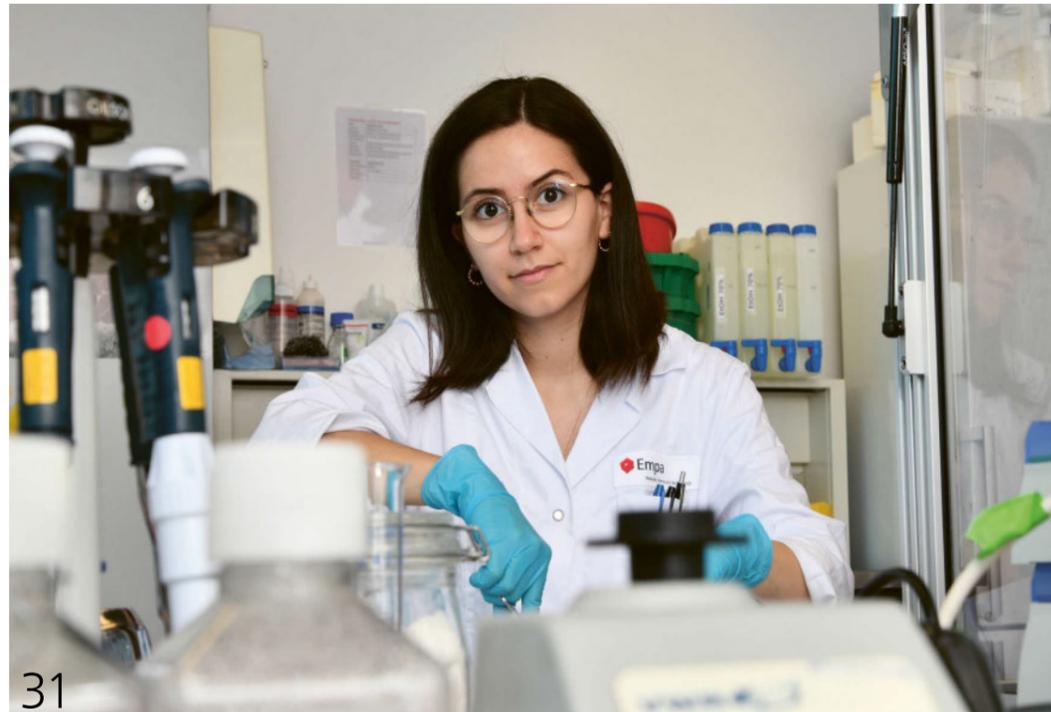
ADVANCED MANUFACTURING

SENSIBLE BOHRER
STERBENDE VIREN
VIRTUELLE KÜHLKETTEN

www.empaquarterly.ch

[INHALT]

[FOKUS: **ADVANCED MANUFACTURING**]



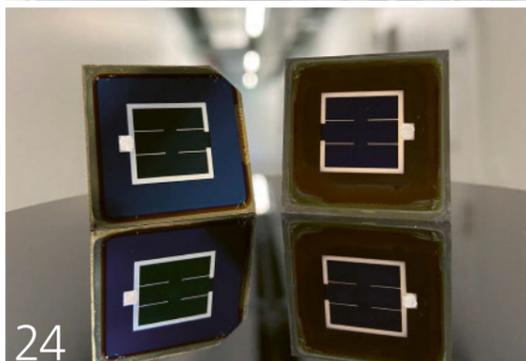
31



28



16



24



22

[FOKUS]

19 INTERVIEW
Advanced Manufacturing:
Welche Rolle spielt die
Empa?

22 VIRTUAL REALITY
Ein VR-Handschuh aus
dem 3-D-Drucker

24 OPTOELEKTRONIK
Perowskit als Tor zu
preiswertem Solarstrom

26 CHIRURGIE
Ein mitfühlender Bohrer
für Cochlea-Implantate

[THEMEN]

08 FOOD WASTE
Virtuelle Kühlketten
für Entwicklungsländer

12 PANDEMIE-
FORSCHUNG
Wie Viren von Schutzmas-
ken abgefangen werden

14 LUFTSCHADSTOFFE
Dem Krankmacher
Feinstaub auf der Spur

16 PORTRAIT
Atmosphärenforscher
Dominik Brunner

28 HISTORISCHE
TECHNIK
Ein Schöpfrad für
Wässerwiesen

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

31 ZUKUNFTSFONDS
Ein Chip ersetzt
Tierversuche

34 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Methoden des «Advanced Manufacturing» helfen auch der Chirurgie. Gemeinsam mit dem «ARTORG Center for Biomedical Engineering Research» der Universität Bern entwickelte die Empa einen sensiblen Bohrer für die Kopfchirurgie, der anzeigen kann, wenn er in die gefährliche Nähe von Gesichtsnerven kommt (siehe S. 26). Bild: Empa

[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 44 54
empaquarterly@empa.ch
www.empaquarterly.ch
VERÖFFENTLICHUNG
Erscheint viermal jährlich
PRODUKTION
norbert.raabe@empa.ch



ISSN 2297-7406
Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

FORSCHUNG IN DIGITALEN SPHÄREN

Liebe Leserin,
lieber Leser



Was macht eigentlich eine Materialwissenschaftlerin? Sie beschäftigt sich mit Methoden, um neuartige Materialien herzustellen und ihre (hoffentlich vielversprechende) Eigenschaften zu erkunden. So weit, so klar. Seit geraumer Zeit findet Materialforschung vermehrt «in silico» statt – also mittels Hochleistungscomputern. «Data Science», Computersimulationen, maschinelles Lernen und KI haben zahlreiche neue Möglichkeiten eröffnet.

Etwa im Bereich «Advanced Manufacturing» (AM), dem Fokus der aktuellen Ausgabe: Dabei geht es etwa darum, diese neuartigen, fortschrittlichen Fertigungsprozesse wie den 3-D-Druck bis ins Letzte zu verstehen, also so gut, dass man sie simulieren – und dadurch letztlich variieren und adaptieren – kann. Denn nur dann lässt sich AM gewinnbringend in die Praxis umsetzen, wie Pierangelo Gröning, Direktionsmitglied der Empa, im Interview ausführt (S. 19).

Der 3-D-Druck spielt auch in einem anderen Projekt eine zentrale Rolle; dabei geht es darum, virtuelle Welten des Metaverse «greifbar» zu machen – mithilfe eines «Virtual Reality»-Handschuhs, massgeschneidert und weitgehend automatisiert hergestellt (S. 22).

Zudem entwickeln Empa-Forschende eine App namens «Your Virtual Cold Chain Assistant», um «Food Waste» zu vermeiden (S. 8), setzen einen selbstlernenden Algorithmus ein, um rund ein Viertel an Heizenergie zu sparen (S. 6), und modellieren unsere Atmosphäre, um Problemen wie dem Klimawandel oder städtischer Luftverschmutzung auf die Spur zu kommen (S. 16).

Viel Vergnügen beim Lesen!
Ihr MICHAEL HAGMANN

BAHN FREI FÜR SOLARTREIBSTOFFE

Im August 2022 gelang es der Firma Synhelion, einem Spin-off der ETH Zürich, als erstem Unternehmen weltweit, im industriellen Massstab Synthesegas ausschliesslich mit Solarwärme als Energiequelle herzustellen. Der erfolgreiche Versuch fand auf dem Multifokus-Solarturm des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Jülich statt. Synhelions einzigartige Technologie nutzt Hochtemperatur-Solarwärme für die Herstellung von Synthesegas, woraus anschliessend in industriellen Standardprozessen flüssiger Treibstoff wie Kerosin, Benzin oder Diesel synthetisiert wird, der mit herkömmlichen Flugzeugtriebwerken und Verbrennungsmotoren kompatibel ist. Damit die chemischen Reaktoren für die Herstellung von synthetischen Treibstoffen rund um die Uhr betrieben werden können, wird ein kosteneffizienter Hochtemperatur-Wärmespeicher benötigt, der in Zusammenarbeit mit der Forschungsabteilung «Hochleistungskeramik» an der Empa entwickelt wird.

Mehr Information zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/s604/synhelion-energiespeicher



Bild: Synhelion

SELBSTLERNENDER ALGORITHMUS SPART HEIZENERGIE



EINFACHER TAUSCH

Der Wechsel von den herkömmlichen Heizkörper-Thermostatfühlern zu den Smartthermostaten «Danfoss Ally» ist einfach und in wenigen Sekunden möglich.

Mit den steigenden Energiepreisen werden im kommenden Winter unweigerlich auch die Heizkosten steigen. Um diese abzufedern, werden Lösungen benötigt, mit denen sich Gebäude effizienter betreiben lassen. Das Empa-Spin-off «viboo» hat dazu einen Algorithmus entwickelt, mit dem man auch ältere Gebäude auf einfachem Weg mit rund einem Viertel weniger Energie betreiben kann. Der Nutzerkomfort bleibt dabei gleich oder verbessert sich sogar.

www.empa.ch/web/s604/viboo-danfoss

ROBOTER LANDET WIE EIN GECKO

Empa-Forscher Ardian Jusufi hat Geckos studiert, die auf Bäumen landen. Er fand heraus, dass nicht nur die «klebrigen» Füße der Geckos für eine erfolgreiche Landung verantwortlich sind, sondern der Geckoschwanz, der eine bestimmte Länge haben muss und den Aufprall dämpft. Ohne den richtigen Schwanz, der im Laufe der Evolution entstanden ist, kann ein Gecko nicht erfolgreich landen.

Jusufi hat gemeinsam mit seiner Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart Geckos als bewegte Körpermodelle nachgebaut und mit einem Katapult an die Wand geworfen. So hat er die Systematik der Geckolandung entschlüsselt und physikalisch berechnet. Jusufi möchte diese Grundkenntnisse nun an der Empa weiterentwickeln und Roboter bauen, die allein aufgrund ihrer Geometrie an senkrechten Flächen landen können – ganz ohne Mikroprozessor und Echtzeit-Korrekturberechnung.

www.empa.ch/web/s799



DER SCHWANZ HILFT

Ein Roboter für harte Landungen an senkrechten Wänden – inspiriert von Geckos.

Bilder: Empa, Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme

Bilder: Empa, de.wikipedia.org/wiki/Glioblastom

AEROGEL FÜR HISTORISCHE GEBÄUDE



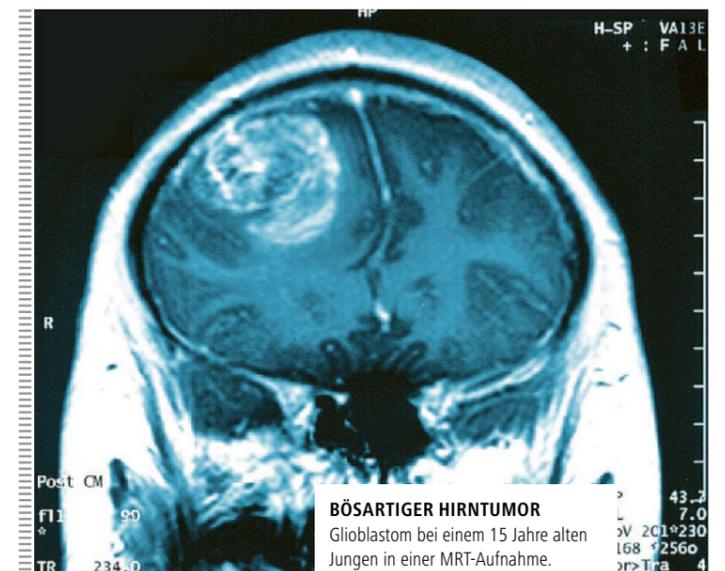
Preisverleihung des «Aerogel Architecture Award» im August 2022 im NEST (v.l.n.r.): Organisator Michal Ganobjak (Empa), Architektin Astrid Wuttke (schneider+schumacher), Architektenteam Christoph Allenbach, Maren Zinke und Beat Kämpfen (Kämpfen Zinke + Partner) mit dem Vertreter der Bauherrschaft Paul Ott, Jurymitglied Michael O'Connor (Advapor, vorne), Marco Biondi (Agitec), Jurymitglied Matthias Koebel (Siloxene AG), Co-Organisator Samuel Brunner (Empa).

www.empa.ch/s604/aerogel-architecture-award-2022

PERSONALISIERTE TUMORTHERAPIE

Das Glioblastom ist der häufigste und tödlichste primäre Hirntumor. Unterstützt von der Dr. Hans Altschüler Stiftung, der Elgin Foundation, der Mirto Stiftung und der Werner Geissberger Stiftung verfolgt Empa-Forscher Peter Wick mit seinem Team nun einen neuen Forschungsansatz. Aus Gewebeproben des Tumors, die mit Einwilligung der Patienten gewonnen werden, sollen Glioblastom-Organoidkulturen entstehen, die auf Biochips kultiviert, charakterisiert und mikroskopisch untersucht werden. Auf diesem Wege hoffen die Forschenden, mehr über diese noch immer rätselhafte Tumorart zu lernen und eine personalisierte Therapie für Glioblastome entwickeln zu können.

www.empa.ch/web/s403



BÖSARTIGER HIRNTUMOR

Glioblastom bei einem 15 Jahre alten Jungen in einer MRT-Aufnahme. Der Tumor breitet sich in der linken Hirnhälfte deutlich sichtbar aus.

AM SMARTPHONE

In einem Pilotprojekt in Indien testete das Team die App, die die Bäuerinnen über den Zustand ihrer gekühlten Ware informiert.



PAY PER USE

Kleinbauern und -händler erhalten Zugang zur zuverlässigen, netzunabhängigen Kühlung und zahlen nur für die Menge an Lebensmitteln, die sie lagern.



VIRTUELLE KÜHLKETTEN RETTEN LEBENSMITTEL

Text: data.org

Fotos: Basel Agency for Sustainable Energy (BASE)

Nach Angaben der Vereinten Nationen wird jedes Jahr fast die Hälfte des weltweit produzierten Obstes und Gemüses verschwendet. Dies hat Auswirkungen auf die Ernährungsunsicherheit, den Klimawandel, die wirtschaftliche Sicherheit und die Mobilität der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft weltweit.

Gelänge es, Lebensmittelverschwendung zu verhindern oder zumindest zu

verringern, dürfte dies grosse soziale Auswirkungen haben. Und genau das will die «Basel Agency for Sustainable Energy» (BASE), eine in der Schweiz ansässige Non-Profit-Organisation, zusammen mit der Empa mithilfe von Datenwissenschaft erreichen: Sie arbeitet mit Gemeinden zusammen, um die Lebensmittelverschwendung zu bekämpfen und gleichzeitig die Lebensgrundlage von Kleinbauern zu verbessern und Investitionen in Lösungen für den Klimawandel zu fördern.

DIE HERAUSFORDERUNG

BASE entwickelt Geschäftsmodelle, um Investitionen in saubere Energie zu ermöglichen und zu erleichtern. Seit mehr als 20 Jahren arbeitet BASE sektorübergreifend an der Schnittstelle von Klimalösungen, Finanzen und internationaler Entwicklung. In den letzten Jahren hat sich das BASE-Team vermehrt für den Bereich Kühlung interessiert und 2018 mit gewerblichen Klimaanlageanlagen und industrieller Kühlung begonnen. Da sich viele Nutzer von

Kühlanlagen für weniger energieeffiziente Lösungen entscheiden, um trotz höherer Betriebskosten die Anfangsinvestition zu vermeiden, hat BASE dabei geholfen, ein Abonnementmodell einzuführen, bei dem der Anbieter den effizienten Betrieb der Kühlanlagen sicherstellt und die einzelnen Nutzer die Kühlung lediglich nach Verbrauch einkaufen.

DIGITALISIERUNG EINBEZIEHEN

Der Erfolg dieser «Cooling as a Service»-Initiative hat neue Ideen hervorgerufen, aber auch neue Herausforderungen aufgezeigt. «Es gibt eine Menge, was wir über das Geschäftsmodell hinaus tun können. Wir haben erkannt, dass die Anpassung an die Kühlkette in der Landwirtschaft ein wichtiger Teil des Puzzles ist, um die Ernährungssicherheit zu verbessern. Indem wir die Digitalisierung einbeziehen, erleichtern wir die Übernahme des Modells durch lokale Unternehmer und seine Ausweitung», sagt Thomas Motmans, Spezialist für nachhaltige Energiefinanzierung und Projektleiter bei BASE.

Die umfangreiche Erfahrung der Empa-Forscher unter der Leitung von Thijs Defraeye mit der Analyse und Reduzierung von Lebensmittelverlusten in Nachernte-Lieferketten sowie mit physikalisch basierten Modellen zur Vorhersage der Haltbarkeit von Frischprodukten erwies sich als enorm hilfreich, um die Lösung auf die landwirtschaftliche Kühlkette auszuweiten.

BASE hat daher zusammen mit den Empa-Forschern ein interdisziplinäres Konsortium gegründet, um das Problem der Lebensmittelverschwendung zu erforschen, ausgehend von Indien, einem der weltweit größten Lebensmittelproduzenten. Bis zu 35 Prozent der in Indien produzierten Lebensmittel werden verschwendet, vor allem, weil sie nicht richtig gekühlt werden. Tatsächlich gelangen nur sechs Prozent der Lebensmittel in Indien in Kühlketten, verglichen mit etwa 60 Prozent in Industrieländern.

Das Projekt «Your Virtual Cold-Chain Assistant», das vor kurzem durch eine

mobile App erweitert wurde, ermöglicht ein Geschäftsmodell, bei dem Landwirte Kühldienstleistungen auf einer «Pay-per-Use»-Basis in Anspruch nehmen können. Die frei zugängliche mobile App nutzt maschinelles Lernen und physikalisch basierte Lebensmittelmodelle, um Kleinbauern und -bäuerinnen mit verwertbaren Nachernte- und Marktinformationen zu versorgen.

KÜHLRAUMBETREIBER ALS KUNDEN

Ursprünglich hatten BASE und die Empa-Forschenden die Lösung nur für Landwirte als Endkunden konzipiert. In Gesprächen vor Ort wurde jedoch schnell klar, dass die Betreiber von Kühlräumen zu wichtigen Nutzern der App werden würden und dass einige Bauern und Bäuerinnen ohne Zugang zu Smartphones möglicherweise ausgeschlossen würden.

Daher implementierte das Team mehrere Anpassungen: Einerseits kamen die Betreiber von Kühlräumen als Hauptnutzer hinzu, andererseits wurde die Übermitt-

lung von Daten durch die Kühlraumbetreiber an die Kühlraumnutzer via SMS für diejenigen Landwirte ermöglicht, die nur Zugang zu Mobiltelefonen haben. «Es ist wirklich wichtig zu verstehen, wer die App nutzt, mit ihnen in Kontakt zu treten, um Feedback zu sammeln und sicherzustellen, dass die Lösung auf die technischen Möglichkeiten und die Infrastruktur vor Ort zugeschnitten ist», sagt Roberta Evangelista, Expertin für Nachhaltigkeit, Datenwissenschaft und Digitalisierung bei BASE.

BASE hat die Verbindungen zu Kühlraumbetreibern auch genutzt, um in Zusammenarbeit mit drei lokalen Anbietern – CoolCrop in Himachal Pradesh, Koel Fresh in Odisha und Oorja in Bihar – das «Pay-per-Use»-Modell einzuführen. Bei diesem Geschäftsmodell erhalten die Landwirte Zugang zu solarbetriebener Kühlung und zahlen nur für die Menge an Lebensmitteln, die sie in den Kühlräumen lagern. Dadurch wird die Kühlkettenlagerung für die Kleinbauern erschwinglicher. Die

Betreiber der Kühleinrichtungen haben daher einen Anreiz, langfristig zu denken und effiziente Systeme einzusetzen.

HALTBARKEIT AUS DER FERNE SEHEN

Die Sensoren der App erfassen Messwerte wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit – Daten, die für sich genommen für einen Landwirt nicht unbedingt hilfreich sind – und wandeln sie in nützliche Informationen um. So hilft die Lösung beispielsweise Kleinbauern, die Haltbarkeit ihrer gelagerten Feldfrüchte aus der Ferne anhand von Sensordaten in Echtzeit zu verfolgen. Künftig soll die App sogar tagesaktuelle Marktpreise für verschiedene Rohstoffe auf der Grundlage von Open-Source-Daten von Märkten in ganz Indien vorhersagen. «Aus Sicht der Landwirte besteht der Hauptnutzen der App darin, dass sie in Echtzeit Informationen darüber erhalten, wann die gelagerten Produkte das Ende ihrer Lebensdauer erreichen. In Verbindung mit den Marktpreisprognosen bedeutet dies, dass sie die Kühlung besser nutzen können, um auf den

Märkten bessere Preise zu erzielen», erklärt Roberta Evangelista von BASE.

Wenn Lebensmittel ausserhalb der Kühlkette das Ende ihrer Haltbarkeit erreichen, sind die Landwirte derzeit oft gezwungen, sie zu stark reduzierten Preisen zu verkaufen oder sie verderben zu lassen. «Your Virtual Cold Chain Assistant» ermöglicht es ihnen, die Kühlung als Lösung zu nutzen, um den Verfall verderblicher Produkte zu verzögern, übrig gebliebene Produkte über Nacht zu lagern, um sie am nächsten Tag zum vollen Preis verkaufen zu können, und besser zu planen, wann und wo sie ihre Produkte verkaufen, um ihr Einkommen zu maximieren.

Pilotprojekte in Indien in Partnerschaft mit den drei lokalen Kühlunternehmen sind bereits gestartet; das Projekt wurde auf Nigeria ausgeweitet, weitere Regionen sollen folgen. ■

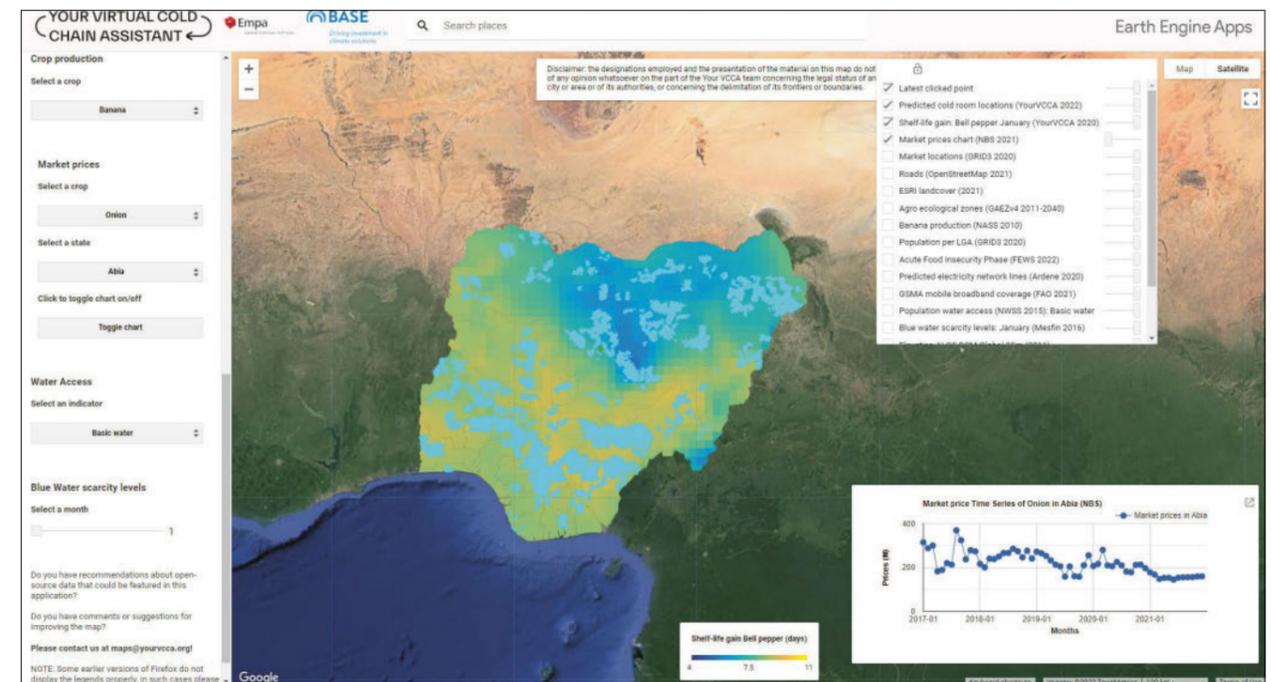
This Story was originally published on data.org: <https://data.org/stories/virtual-cold-chain/>



PILOTANLAGE
Eine der Kühlzellen wurde von Koel Fresh in Keonjhar, Indien, eingerichtet.

Foto: Basel Agency for Sustainable Energy (BASE)

GRAPHIK: Basel Agency for Sustainable Energy (BASE)



WO VIREN AN GRENZEN STOSSEN

Mithilfe eines neuen Analyseverfahrens haben Empa-Forschende Viren auf ihrem Weg durch Gesichtsmasken verfolgt und ihr Scheitern an den Filterschichten verschiedener Maskentypen miteinander verglichen. Das neue Verfahren soll nun die Entwicklung von Oberflächen beschleunigen, die Viren abtöten können, wie das Team im Fachmagazin «Scientific Reports» schreibt.

Text: Andrea Six

«Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop lassen erkennen, dass einigen wenigen Viruspartikeln der Weg bis in die innerste Maskenschicht nah am Gesicht gelingt.»

Mittels Hochdruck jagt die Apparatur die rotgefärbte künstliche Speichelflüssigkeit mit Testpartikeln durch eine aufgespannte Maske. So simulieren die Forscher den Vorgang einer Tröpfcheninfektion. Das an der Empa etablierte Verfahren wird derzeit von zertifizierten Testzentren eingesetzt, um die Qualitätssicherung von textilen Gesichtsmasken zu gewährleisten, denn eine sichere Maske muss anspruchsvollen Anforderungen gerecht werden: Sie muss Keime abhalten, spritzenden Speicheltropfen standhalten und gleichzeitig die Atemluft passieren lassen.

Nun gehen die Forschenden einen Schritt weiter: «Aufnahmen mittels Transmissionselektronenmikroskop zeigen, dass einigen Viruspartikeln der Weg bis in die innerste Maskenschicht nah am Gesicht gelingt. Ob diese Viren infektiös sind, verraten die Bilder nicht immer», sagt Peter Wick vom «Particles-Biology Interactions» Labor der Empa in St. Gallen. Das Ziel der Forschenden: Sie wollen her-

ausfinden, an welcher Stelle ein Virus bei einer Tröpfcheninfektion an einer mehrschichtigen Maske scheitert, und welche Maskenbestandteile effizienter sein müssten. «Hierzu werden neue Analyseverfahren benötigt, um die Schutzfunktion neu entwickelter Technologien wie virusabtötende Beschichtungen genau verstehen zu können», so Empa-Forscher René Rossi vom «Biomimetic Membranes and Textiles» Labor in St. Gallen. Denn genau dies ist eines der Ziele des «ReMask»-Projekts, bei dem Forschung, Industrie und Gesundheitswesen mit der Empa im Kampf gegen die Pandemie zusammenspannen, um neue Konzepte für bessere, komfortablere und nachhaltigere Gesichtsmasken zu entwickeln.

STERBENDE SCHÖNHEIT

Das neue Verfahren baut daher auf den Farbstoff Rhodamin R18, der farbiges Licht abstrahlt. Zum Einsatz kommen ungefährliche, inaktivierte Testviren, die an R18 gekoppelt werden und so zu sterbenden Schönheiten werden: Sie leuchten farbig auf, sobald sie beschädigt sind. «Die Fluoreszenz zeigt zuverlässig,

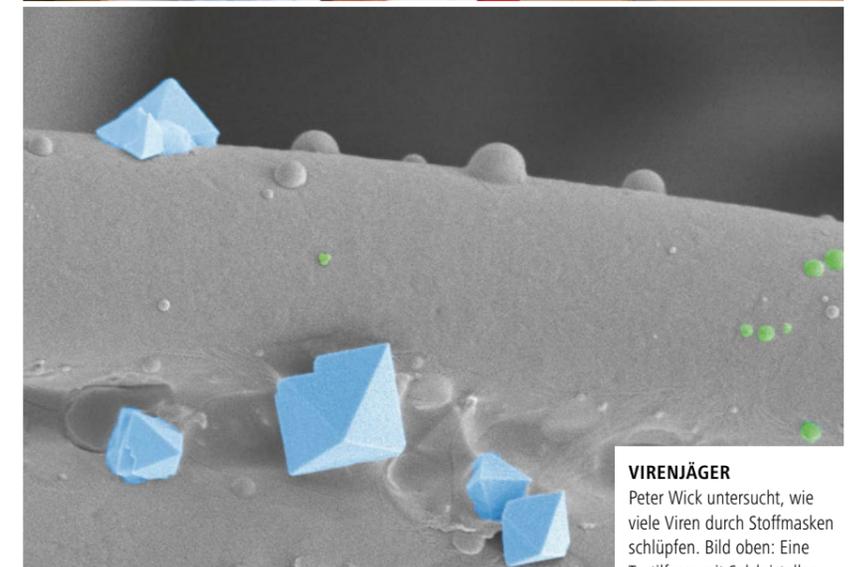
schnell und kostengünstig an, wenn Viren abgetötet wurden», so Wick.

Anhand der Intensität, mit der eine Maskenschicht leuchtet, konnte das Team feststellen, dass bei Stoff- und Hygienemasken die meisten Viren in der mittleren Schicht zwischen Innen- und Aussenlage der Maske scheitern. Bei FFP2-Masken leuchtete die dritte von sechs Lagen am stärksten – auch hier fängt die zentral gelegene Schicht besonders viele Viren ab. Ihre Ergebnisse veröffentlichten die Forschenden unlängst im Fachmagazin «Scientific Reports». Diese Erkenntnisse lassen sich nun zur Optimierung von Gesichtsmasken einsetzen.

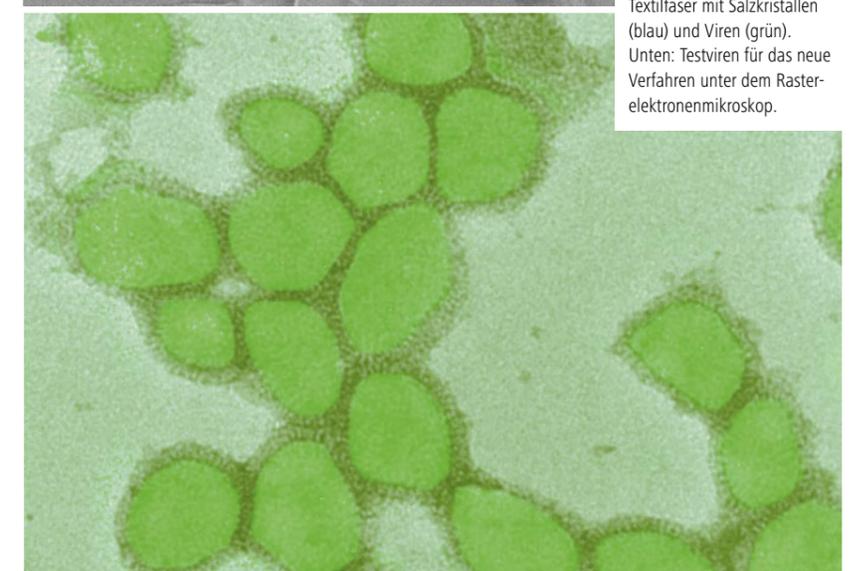
Darüber hinaus kann das neue Verfahren die Entwicklung von virusabtötenden Oberflächen beschleunigen. «Oberflächen mit antiviralen Eigenschaften müssen gewissen ISO-Normen entsprechen, was aufwändige Standardtests mit sich bringt», erläutert Wick. Das Fluoreszenz-Verfahren könne hingegen als Ergänzung zu den aktuellen Normen einfacher, schneller und kostengünstiger ermitteln, ob eine neuartige Beschichtung Viren zuverlässig abtöten könne. Dies wäre sowohl für glatte Oberflächen etwa auf Arbeitsplatten oder Handgriffen interessant, als auch für Beschichtungen auf Textilien mit einer porösen Oberfläche wie etwa Masken oder Filtersystemen. Und mit dem neuen Verfahren könne diese Erkenntnis bereits sehr früh in den Entwicklungsprozess von technischen und medizinischen Anwendungen integriert werden. Damit, so Wick, werde die Einführung neuer Produkte beschleunigt, da lediglich erfolgversprechende Kandidaten die aufwendigen und kostenintensiven Normtests durchlaufen müssen. ■

Fotos: Empa

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/de/web/s403



VIRENJÄGER
Peter Wick untersucht, wie viele Viren durch Stoffmasken schlüpfen. Bild oben: Eine Textilfaser mit Salzkristallen (blau) und Viren (grün). Unten: Testviren für das neue Verfahren unter dem Raster-elektronenmikroskop.



WAS MACHT FEINSTAUB SO GEFÄHRLICH?

Grosse Mengen Feinstaub in der Luft sind bekanntermassen gesundheitsschädlich. Doch im Detail sind noch viele Fragen offen: Welche Bestandteile sind besonders gefährlich? In welchen Konzentrationen? Das «oxidative Potenzial» von Feinstaub könnte in Zukunft als Kriterium für die Abschätzung von Risiken dienen – und Empa-Forschende haben es für die Schweiz erkundet.

Text: Norbert Raabe



UMWELTFAKTOR AUTO

Auch Feinstaubpartikel, die nicht aus Abgasen stammen, machen Sorgen – wie der Abrieb von Bremsbelägen.

Entzündungen, Bronchitis, Asthma-Schübe, Herz-Kreislauf-Beschwerden – ein Auszug aus der Liste möglicher Gesundheitsschäden durch hohe Konzentrationen von Feinstaub: Partikel mit einem Durchmesser von höchstens zehn Mikrometern – «PM10» genannt – und noch kleinere «PM2.5»-Teilchen, die durch Autoabgase, Heizungen, Industriebetriebe und natürliche Quellen in unsere Lungen gelangen. Zwar haben strenge Überwachung und Massnahmen zur Reduktion die Belastungen seit den Neunzigerjahren auch in der Schweiz

gemindert, doch vielerorts, gerade in Städten, bleibt das Problem bestehen. Teilchengrösse, Zusammensetzung, Quellen und Wirkung von Feinstaub sind nicht einfach zu bestimmen. Sicher ist: Je kleiner die Partikel, desto tiefer gelangen sie in die menschliche Lunge. Doch welche Anteile sind besonders gefährlich? Und in welchen Kombinationen und Konzentrationen? Um das zu beschreiben, wurde vor einigen Jahren das neue Kriterium «oxidatives Potenzial» entwickelt: ein Begriff, der die Fähigkeit eingeatmeter Partikel beschreiben soll, die Bildung so genannter freier Radika-

le im Körper auszulösen, die letztlich zu Entzündungen führen können.

MESSKAMPAGNE AN FÜNF ORTEN

Eine Messgrösse für die Gesundheitsgefährdung also, deren Eignung die Empa-Forscher Stuart Grange und Christoph Hüglin von der Abteilung «Luftfremdstoffe/Umwelttechnik» für die Schweiz genauer erkundet haben – mit einer aufwändigen Messkampagne, unterstützt von der französischen «Université Grenoble Alpes». Mithilfe des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL), das die Empa

mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) betreibt, sammelten sie zwischen Juni 2018 und Mai 2019 Feinstaubproben der Kategorien PM2.5 und PM10 rund um die Uhr. Die Messstationen deckten die ganze Spanne von Feinstaubbelastungen ab und lagen in Städten, der Agglomeration und in ländlichen Gebieten südlich und nördlich der Alpen.

Insgesamt analysierten die Fachleute im Labor rund 900 Proben – mit Testverfahren für das oxidative Potenzial, die mit unterschiedlichen Analysesubstan-



FEINSTAUBPROBEN

Durch diese Quarzfaserfilter wurde 24 Stunden lang Luft gezogen – im Prinzip wie bei einem Staubsauger.

zen arbeiten: Ascorbinsäure (kurz: AA), Dithiothreitol (DTT) und Dichlorfluorescein (DFCH). Beim AA-Test erlaubt der Verbrauch von Ascorbinsäure, einem wichtigen Antioxidans, Rückschlüsse auf die oxidative «Giftigkeit» der Feinstaubprobe, zum Beispiel durch enthaltene Metalle. Die beiden weiteren Verfahren funktionieren in ähnlicher Weise, verwenden aber andere Substanzen zur Detektion. Vereinfacht gesagt, so Christoph Hüglin, bieten die drei Methoden unterschiedliche Perspektiven auf ähnliche biologische Prozesse.

MASCHINELLES LERNEN

Neben dem oxidativen Potenzial wurde eine Vielzahl chemischer Inhaltstoffe des Feinstaubes analysiert. So entstand eine grosse Datenmenge über Elemente, Ionen und organische Stoffe, aus denen der Feinstaub in der Schweiz besteht. Um in diesen Datenmassen diejenigen «verdächtigen Inhaltstoffe» mit dem grössten oxidativen Potenzial zu identifizieren, setzten die Empa-Forscher auf Methoden des «maschinellen Lernens». Genauer: den Algorithmus «Random Forest», der, bildlich gesprochen, einen Wald aus unzähligen Bäumen wachsen lässt, die jeweils Entscheidungen über Zusammenhänge in den Daten treffen – wie in diesem Fall den Inhaltsstoffen von Feinstaub und dem zugehörigen oxidativen Potenzial. Am Ende wird aus den Entscheidungen des gesamten Waldes ein mittleres Modell gebildet.

So reduzierten die Fachleute die Zahl der verdächtigen Inhaltstoffe auf rund ein Dutzend, um schliesslich den wichtigsten Gesundheitsgefährdungen auf die Spur zu kommen – unterschiedliche Metalle oder auch organische Stoffe, die wiederum Hinweise auf Herkunft und Ursachen liefern. Die Resultate bestätigen bekannte Fakten wie ein klares Stadt-Land-Gefälle beim Feinstaub mit seinen gesundheitlichen Folgen sowie eine höhere Belastung im Winter als im Sommer. Freilich mit Ausnahmen: Die Werte für das oxidative Potenzial, bezogen auf das Luftvolumen, waren im Süden der Schweiz in der kalten Jahreszeit besonders deutlich gestiegen – in Gebieten, die in dieser Zeit durch den Rauch durch Holzverbrennung belastet waren. Die niedrigsten Mittelwerte zeigten ländliche Gegenden, während die höchsten Werte im gesamten Zeitraum von einer städtischen und verkehrsbelasteten Messstation stammten. An verkehrsreichen Knotenpunkten in Städten machen neben Abgasen auch andere Emissionen

GEFAHREN DURCH FEINSTAUB

Feinstaub lässt sich als Gemisch von festen und auch flüssigen Teilchen in der Luft beschreiben – aus anthropogenen Quellen wie Motoren oder Industrieabgasen oder auch natürlichen Quellen wie Vulkanen. Während viele Partikel direkt durch Emissionen in die Luft gelangen (primäre Teilchen), entstehen sekundäre Partikel erst in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen von gasförmigen Verbindungen. Für die menschliche Gesundheit ist vor allem lungengängiger Feinstaub von Bedeutung, dessen Teilchen einen aerodynamischen Durchmesser von weniger als zehn Mikrometern haben. Zum Feinstaub gehören zudem so genannte ultrafeine Partikel wie aus Abgasen von Dieselmotoren, die tief in die Lunge eindringen und schwere Schäden verursachen können.

Sorgen: Metalle wie Kupfer, Zink, Mangan deuten auf Feinstaubbestandteile hin, die etwa aus dem Abrieb von Autoreifen oder Bremsbelägen stammen können.

Wie genau das Kriterium des oxidativen Potenzials gesundheitliche Gefahren beschreiben kann, wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Schliesslich beantworten selbst präziseste Messungen und Analysen von Luftschadstoffen keine offenen Fragen zu Entzündungsprozessen im menschlichen Körper. Doch Empa-Forscher Hüglin geht nach den Analysen mit seinem Team immerhin davon aus, dass sich daraus sinnvolle Massnahmen ableiten lassen: Zwar könnten sämtliche Feinstaubpartikel die Gesundheit beeinträchtigen – doch bezüglich des oxidativen Potenzials sollte man die Bestandteile aus dem Strassenverkehr, die nicht aus Abgasen stammen, und aus der Holzverbrennung bei Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung besonders im Auge haben. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/de/web/s503

**PROBEN**

In 24 Hightech-behältern wird die Zürcher Aussenluft nach vorgegebenen Regeln gespeichert.

**KLIMAGASE**

Dominik Brunner beobachtet die Werte, die das System rund um die Uhr aufzeichnet – etwa Kohlendioxid, Methan und Lachgas.

**KONTROLLE**

Die Verteilung der Luftproben auf die Flaschen wird per Computer gesteuert.

das mich ärgert.» Schliesslich sind die grossen Trends der Erderwärmung inzwischen gut bestätigt – und dass es offene Fragen gibt, wird keineswegs bestritten. Als Beispiel erklärt der Klimaforscher «Feedback»-Effekte: Wird es wärmer, schmelzen die Schnee- und Eisregionen in der Arktis – mehr dunkle Oberflächen also, die mehr Sonnenlicht absorbieren und so wiederum die Erwärmung beschleunigen.

Auf der anderen Seite: Mit steigenden Temperaturen werden Bäume in höheren Regionen wachsen. Die Baumgrenze in der Schweiz steigt, so Brunner, und unter dem Strich wächst die Vegetation weltweit – und bindet damit auch mehr Kohlendioxid. Doch ob solche Effekte längerfristig einen Ausgleich bringen? «Die Vegetation kann ja nicht beliebig wandern», sagt er, «was mir wirklich Sorgen macht: Wir könnten die Folgen der Klimaerwärmung sogar noch unterschätzen.»

Müsste man da nicht offensiver kommunizieren? Auch politisch Klartext reden, wie manche andere Klimaforscher? Dominik Brunner möchte sich lieber in der Forschung engagieren und nicht zu sehr in der Öffentlichkeit exponieren – und Freude am Streiten hat er ohnehin nicht. Presse-Interviews, nun ja, die gibt er – «wenn es unbedingt sein muss», setzt er lächelnd hinzu.

PRÄZISE MESSUNGEN FÜR METROPOLEN

Lieber spannende Projekte wie eine europaweite Messkampagne, die gerade gestartet ist. Das EU-Projekt «ICOS-Cities» wird die Emissionen von Klimagasen in grossen Städten unter die Lupe nehmen – in Zürich, später in München und Paris. Schliesslich sind Metropolen weltweit, grob geschätzt, für rund 70 Prozent der Klimagas-Emissionen verantwortlich. Für die drei europäischen Städte unterschiedlicher Grösse

soll «ICOS-Cities» nun hilfreiche Daten liefern – auch mithilfe von Messungen auf einem Wohnturm der Zürcher Siedlung Hardau II, fast 100 Meter hoch, einst das höchste Gebäude der Stadt.

Neben herkömmlichen Messungen von Kohlendioxid-Konzentrationen, aus denen Emissionen «rückwärts» errechnet werden, wird ein Verfahren namens «Eddy-Kovarianz» eingesetzt. Dank extrem schneller Sensoren können damit Aufzeichnungen von Klimagasen wie CO₂, Methan und Lachgas mit Messungen von Auf- und Abwinden korreliert werden. Das erlaubt, das «Atmen» der

«Wir könnten die Folgen der Klimaerwärmung sogar noch unterschätzen.»

Stadt aufzuzeichnen – und damit Rückschlüsse auf Ursachen von Emissionen. Und diese Daten könnten wiederum auch verraten, wie unterschiedlich sich etwa der Strassenverkehr an Arbeitstagen oder Wochenenden auswirkt.

Ein reizvolles Projekt für den Atmosphären-Späher, das bis 2025 Ideen, Neugier und Ausdauer erfordern wird – im kleinen Kreis der Wissenschaftler, nicht auf der Bühne der Klimapolitik. Und doch mit praktischem Wert für Menschen in Grossstädten. «Der Klimawandel ist sicher das zentrale Thema in der Atmosphärenforschung», sagt Dominik Brunner, «für mich ist das schon eine Herzensangelegenheit.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/de/web/s503/team-modelling

Fotos: Felix Wey / Empa

Foto: Empa

«FERTIGUNGSPROZESSE VIEL BESSER VERSTEHEN»

Pierangelo Gröning, unter anderem Präsident der AM-TTC-Allianz und der Forschungskommission sowie Direktionsmitglied der Empa, erläutert die Rolle des Forschungsinstituts bei den Projekten im Bereich «Advanced Manufacturing».

Interview: Rainer Klose

**IMPULSGEBER**

Pierangelo Gröning ist Direktionsmitglied der Empa und gründete den Forschungsbereich Advanced Manufacturing an der Empa.

Was bedeutet das Stichwort «Advanced Manufacturing»? Was ist das Neue daran?

Moderne Materialforschung umfasst heute nicht nur die Entwicklung von Materialien alleine. Solange das Material nicht verarbeitet und prozessiert werden kann, hat es noch keine technologische Bedeutung. Die Empa forscht an einer Reihe neuartiger Materialien, die mit bekannten Standardprozessen kaum oder nicht verarbeitbar sind. Entsprechend viel Aufmerksamkeit widmen wir der Entwicklung und Weiterentwicklung von Fertigungsprozessen und Verarbeitungsmethoden, und in dieser Hinsicht haben wir in den letzten Jahren viel erreicht.

Wie begann diese Entwicklung?

Ursprünglich haben die Nanomaterialien bei mir diesen Gedanken ausgelöst. Beim Stichwort Nano wird schnell klar, dass es da einfach noch keine Verarbeitungsmaschinen gibt und auch, dass die Industrie hier nicht auf bestehenden Kenntnissen aufbauen und bekannte Verfahren einfach weiterentwickeln kann. Wir mussten uns also schon damals mit der Prozesstechnik beschäftigen und Wege aufzeigen, wie man mithilfe dieser neuen Materialien Wertschöpfung generieren kann. Der zweite Auslöser war die Digitalisierung und die Frage, wie man die Möglichkeiten der Digitalisierung in der Fertigung optimal nutzen kann.

Meinen Sie die Automatisierung für die Massenproduktion?

Nein. Hier denke ich nicht primär an die Optimierung von Lieferketten und Fertigungsabläufen, sondern an die Optimierung des Produkts und dessen Qualität. Es gibt ein anschauliches Beispiel aus der Beschichtungstechnologie: Für die Abscheidung harter Schichten nutzen wir auch Plasmen. Dank moderner Leistungselektronik können wir heute über Pulsmodulation die Zusammensetzung der reaktiven Teilchen, also Ionen und

Radikale, im Plasma steuern und damit direkt Einfluss auf die Zusammensetzung und den Aufbau der Schicht, sprich auf die physikalischen Eigenschaften, nehmen. Gegenüber konventionellen Plasmen wird der Beschichtungsprozess durch die Pulsmodulation quasi digitalisiert. Daraus ergeben sich vollkommen neue Möglichkeiten zur Optimierung der Schichteigenschaften. Jetzt kommt die Frage: Wie finde ich in diesem riesigen Wald von Möglichkeiten die richtige Lösung? Hier dürfen wir die Produktionstechniker nicht im Regen stehen lassen – es braucht Wissenschaftler, die diese Prozesse von Grund auf verstehen. Und verstehen heisst im Zeitalter der Digitalisierung: Ich muss den Depositionsprozess am Computer simulieren können. Nur so ist es möglich, eine Art «Rezeptbuch» zusammenzustellen, das dem Praktiker die richtigen Parameter vorschlägt, mit dem er optimale Ergebnisse erzielen kann.

Digitalisierung allein hilft also noch nichts?

Nein. Viele denken, hier habe ich Daten und ein neuronales Netzwerk, das lasse ich einfach so lange rechnen, bis ein Lösungsvorschlag vorliegt. So einfach darf man es sich nicht machen. Das wäre nur «Trial-and-Error» mit ein bisschen digitaler Unterstützung. Um das Potential der Digitalisierung voll zu nutzen, muss man die Fertigungsprozesse physikalisch viel besser verstehen, und zwar auf einem Niveau, um sie simulieren zu können. Über die Simulation lassen sich dann die optimalen Prozessparameter schnell und verlässlich ermitteln. Davon sind wir aber noch ein ganzes Stück entfernt, sind doch hierfür rechenintensive hochkomplexe «multiscale» Modellierungen erforderlich.

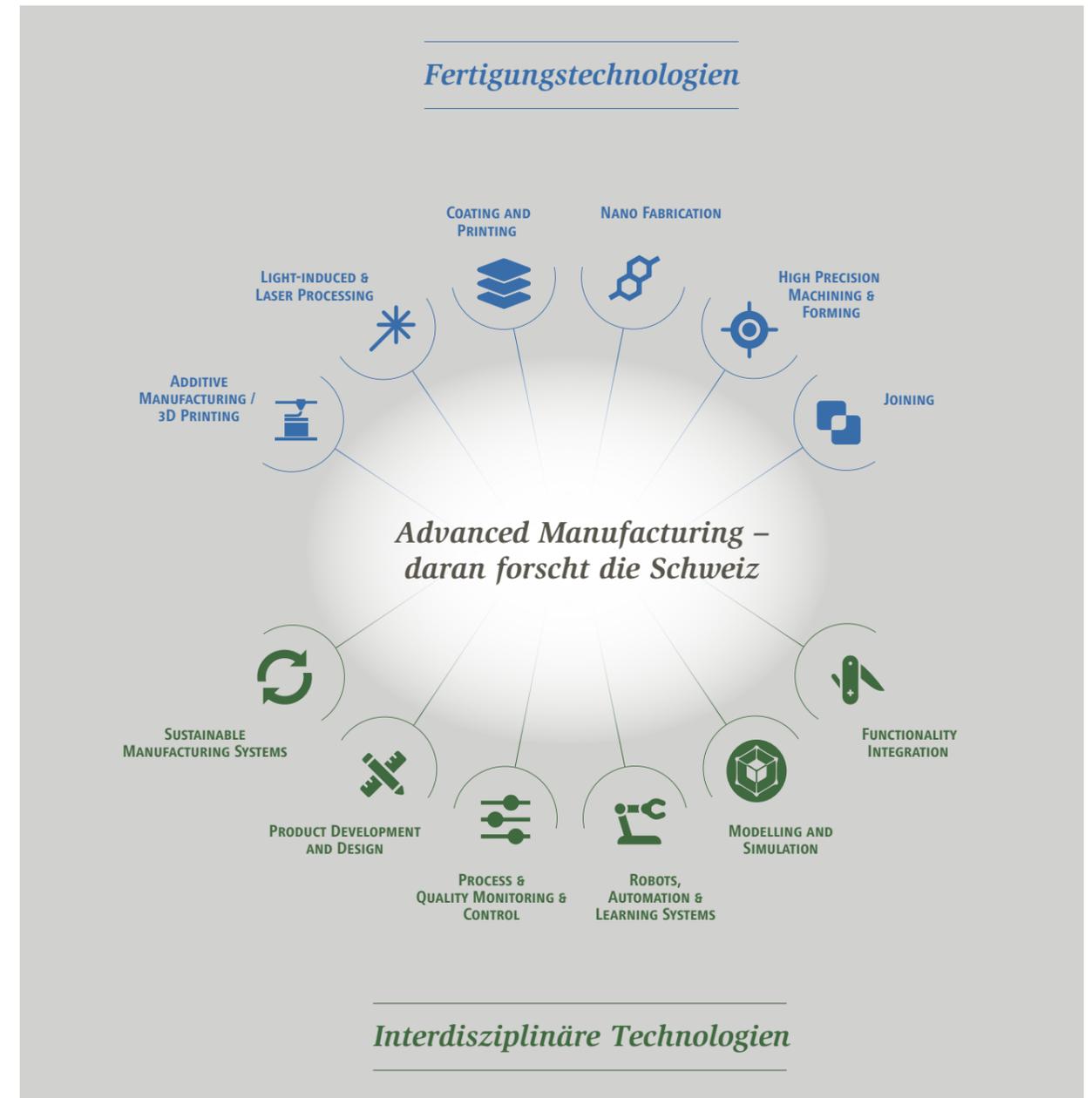
Was ist eigentlich das Besondere an «Advanced Manufacturing»?

Die Fertigungsverfahren, von welchen wir hier sprechen, sind additive Verfah-

ren. Bei diesen verbinden sich Produktion und Materialsynthese in einem integralen Fertigungsprozess. Dadurch erhöht sich die Komplexität der Fertigung und stellt ganz neue Herausforderungen an das Qualitätsmanagement, gilt es nun doch neben der Massgenauigkeit auch die Materialqualität des Produktes sicherzustellen. Ein sehr anschauliches Beispiel ist der 3-D-Metalldruck. Die Materialeigenschaften der geometrisch komplexen Werkstücke die mit 3-D-Druckverfahren hergestellt werden können sind nicht isotrop, also identisch in allen Raumrichtungen. Dies hängt mit dem sequentiellen Aufbauprozess des 3-D-Drucks zusammen und wie der Laser geführt wird. Über verschiedene Laserparameter wie Laserleistung oder Scan-Geschwindigkeit kann der Aufschmelz- und Rekristallisierungsprozess beeinflusst werden, was wiederum Einfluss auf die Materialeigenschaften hat. Kurzum: Zur Beherrschung des 3-D-Drucks als Fertigungsverfahren braucht es ein tiefes Material- und Prozessverständnis. Kenntnisse, die selbst in grösseren Firmen nicht vorhanden sind. Und KMU geraten hier erst recht schnell an ihre Grenzen. Hier erkennt man die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung – um diese neuen Technologien am Markt zu etablieren und den Firmen dadurch einen Innovationsvorsprung zu verschaffen.

Wie werden sich die additiven Fertigungstechnologien im Alltag auswirken?

Eine schwierige Frage. Am besten geht es vielleicht, indem wir die Trends und Bedürfnisse der industriellen Produktion betrachten. Diese sind zum einen die Individualisierung – «Customized Products» – und, wie wir in den letzten beiden Jahren erfahren mussten, die Verbesserung der Resilienz in der Produktion. Lösen lässt sich dies durch hohe Agilität und kurze Lieferketten, und genau das



ermöglicht die additive Fertigung. Zudem hat die additive Fertigung das Potential, die Produktionslandschaft bedeutend zu verändern, indem sie zentrale Massenproduktion durch dezentrale Kleinproduktion ersetzt – eine Riesen-Chance für den Produktionsstandort Schweiz.

Was ist die Rolle der Empa?

Neben der Erforschung und Entwicklung neuer, auf die Fertigungstechnologie optimierter Materialien haben wir auch

Forschungsvorhaben, die Technologien für den industriellen Einsatz «alltagstauglich» machen sollen. Das heisst: die erforderlichen «Werkzeuge» entwickeln und bereitstellen, um einen robusten, zuverlässigen Einsatz der Technologie zu gewährleisten. Wie bereits erwähnt, entwickeln wir Simulationssoftware, um die optimalen Prozessparameter schnell und zuverlässig zu ermitteln, aber auch, um das Prozessverständnis zu schulen und zu verbessern. Desweiteren entwickeln wir

Messsysteme für die Echtzeit-Prozessüberwachung. Die Entwicklung solcher komplexer Systeme erfordert eine enge Zusammenarbeit von Spezialisten aus den unterschiedlichsten Bereichen. Dies ist eine grosse Stärke, die wir als Empa ausspielen können, aber auch eine Stärke des gesamten ETH-Bereichs. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.sfa-am.ch

Grafik: Empa

DER VR-HANDSCHUH AUS DEM 3-D-DRUCKER

Gemeinsam mit Experten der EPFL und der ETH Zürich forscht ein Team der Empa an der nächsten Generation eines VR-Handschuhs, mit dem virtuelle Welten im Metaverse greifbar werden. Der Handschuh soll auf den Benutzer massgeschneidert sein und weitgehend automatisch produziert werden können – im 3-D-Druckverfahren.

Text: Rainer Klose

Manchmal fallen neu entwickelte Materialien auch einem Funktionstest zum Opfer. Empa-Forscher Patrick Danner hat gerade so etwas erlebt – und dabei auch noch gefilmt. «Als ich gut 2000 Volt an die Probe angelegt habe, ist sie in Brand geraten», berichtet er trocken. Das Malheur ist in seinem Handyvideo deutlich zu sehen: Erst raucht es, dann schlagen Flammen aus dem experimentell erzeugten Kunststoff. «Du hast hoffentlich noch ein Stück davon retten können», entgegnet Dorina Opris, Leiterin der Forschungsgruppe «Functional Polymeric Materials». Ein Beweisstück ist wichtig, um aus dem Ergebnis zu lernen und Schlüsse zu ziehen. Opris und Danner sind mit ihrer Forschung an elektroaktiven Polymeren Teil eines Grossprojekts namens «Manufhaptics». Das Ziel des vierjährigen Projekts unter Leitung von Herbert Shea vom «Soft Transducers Lab» der EPFL ist ein Handschuh, der virtuelle Welten greifbar macht. Entscheidend dabei: Alle Bauteile des Handschuhs, die verschiedene Kräfte auf die Handoberfläche ausüben, sollen im

3-D-Drucker herstellbar sein. Hier geht es also um die Erforschung neuer Materialien, bei denen die Produktionsmethode von vorne herein mitgedacht wird.

DREI TYPEN VON AKTUATOREN

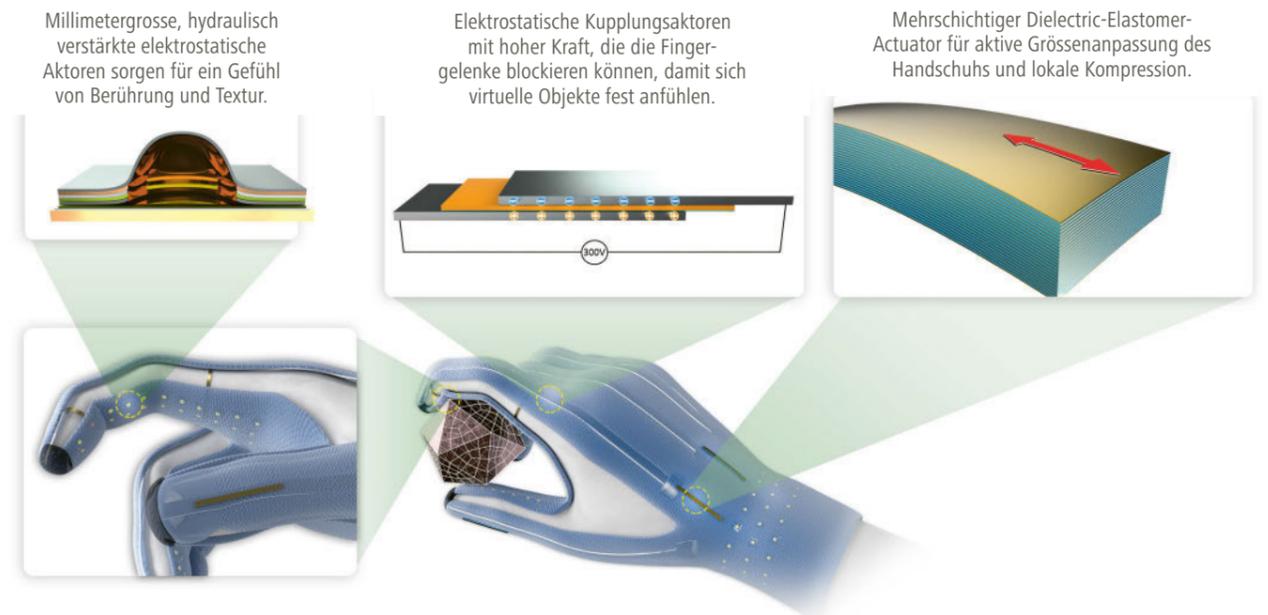
Damit sich virtuelle Oberflächen echt anfühlen und die Objekte auch in der richtigen Grösse greifbar werden, wollen die Forscherteams von EPFL, ETH Zürich und Empa drei verschiedene Arten von Aktuatoren in den

Handschuh integrieren: Auf der Unterseite der Finger können Noppen emporgewachsen, die eine bestimmte Textur einer Oberfläche nachbilden. Im Bereich der Fingergelenke werden elektrostatistische Bremsen montiert, die den Handschuh versteifen und die Gelenke blockieren. Das simuliert grössere, feste Objekte, die beim Anfassen Widerstand bieten. Die dritte Art von Aktuatoren, die das virtuelle Erlebnis vervollständigen, nennen sich DEA, kurz



INDUSTRIEREIF
Das gewünschte elektroaktive Polymer soll eine Konsistenz ähnlich einer Handcreme haben, damit die künstlichen Muskeln automatisiert im 3-D-Drucker gefertigt werden können.

Foto: Empa



für dielektrische elastische Aktuatoren. Diese DEA werden auf dem Handrücken eingesetzt; sie raffen die Aussenhaut des Handschuhs soweit zusammen, dass er an allen Stellen optimal anliegt. Während des VR-Erlebnisses können sie ausserdem Druck auf die Handoberfläche ausüben. DEA sind das Teilprojekt der Empa.

«MUSKELN» AUS DEM 3-D-DRUCKER

Dorina Opris, die Leiterin der Forschungsgruppe, hat jahrelang Erfahrung mit solchen elektroaktiven Polymeren gesammelt. «Diese elastischen Polymere reagieren auf elektrische Felder und ziehen sich zusammen wie ein Muskel», erläutert die Forscherin. «Aber sie können auch als Sensor dienen, eine äussere Kraft aufnehmen und daraus einen elektrischen Impuls erzeugen. Wir denken auch daran, sie zur lokalen Energieerzeugung einzusetzen: Aus Bewegung kann so überall Strom entstehen.» Das Manufhaptics-Projekt stellt die Forscherin und ihren Kollegen Patrick Danner vor neue Herausforderungen. «Bislang haben wir unsere Polymere mithilfe von Lösungsmitteln auf dem Weg einer chemischen Synthese hergestellt», erläutert Opris. Nun muss alles ohne

Lösungsmittel funktionieren: Geplant ist, bis zu 1000 feine Schichten aus dem 3-D-Drucker übereinanderzulegen, immer abwechselnd das elektroaktive Polymer und eine stromleitende Schicht. «Lösungsmittel gilt es zu vermeiden bei solch einer Produktionsmethode», sagt Opris. Und Patrick Danner erläutert die nächste Schwierigkeit: Die zwei verschiedenen Tinten, die dafür nötig sind, müssen die genau passende Konsistenz haben, um aus der Düse des 3-D-Druckers zu fließen. «Unser Projektpartner Jan Vermant von der ETH Zürich wünscht sich etwas mit ähnlichen Eigenschaften wie eine Handcreme. Es soll leicht aus dem Drucker kommen, und dann formstabil auf der Unterlage stehen bleiben». Und danach muss sich dieses «cremige» Schichtstruktur noch zum passenden Polymer vernetzen. Nach einer langen Reihe von Versuchen hat Danner eine vielversprechende Formulierung gefunden – eine Creme, die flüssig genug ist und zugleich formstabil, und aus der in einem einzigen Schritt elektroaktive Polymere entstehen können. Sein Kollege Tazio Pleji an der ETH Zürich, ein Mitarbeiter in Jan Vermants Forscherteam, hat das Material erfolgreich

in seinem 3-D-Drucker zu mehreren Schichten verarbeitet – immer abwechselnd Polymer und Elektrodenmaterial. Noch sind es keine 1000 Schichten, sondern nur etwa 10. Und noch funktioniert der «künstliche Muskel» aus dem 3-D-Drucker nicht zufriedenstellend.

DIE KONKURRENZ SITZT IN HARVARD

Doch Opris und Danner sind zuversichtlich, die Aufgabe gemeinsam mit den Druckspezialisten der ETH Zürich zu meistern – als möglicherweise erstes Forscherteam der Welt. Die einzigen wissenschaftlichen Konkurrenten auf diesem Gebiet sitzen an der «Harvard University» in Massachusetts. «Ich kenne die Kollegen dort von einigen Kongressen», sagt Dorina Opris. «Wir beobachten sehr genau, was die machen. Und die beobachten unsere Arbeit mit Sicherheit auch.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.sfa-am.ch/manufhaptics.html>

KRISTALLINE LICHTFÄNGER



GRÜNE PRODUKTION

Perowskit-Experte Fan Fu sucht nach Fabrikationsmethoden ohne giftige Lösungsmittel.

Drei Institute des ETH-Bereichs forschen an der sogenannten Perowskit-basierten Optoelektronik, zum Beispiel Solarzellen, Fotodetektoren und Leuchtdioden (LEDs). Im AMYS-Projekt haben sich Labors der EPFL, der ETH Zürich und der Empa nun für vier Jahre zusammengeschlossen, um neue chemische Zusammensetzungen, aber auch einfache und skalierbare, kostengünstige Produktionsmethoden zu erforschen.

Text: Rainer Klose

Um Sonnenlicht direkt in Strom umzuwandeln, gibt es verschiedene Lösungen. Die bekanntesten sind Silizium-Solarzellen, die auf Silizium-Einkristallen basieren. Solarzellen dieses Typs sind relativ dick und zerbrechlich. Als weitere Variante haben sich so genannte Dünnschichtszellen etabliert, die etwa 100-mal dünner sind. Diese Zellstruktur ist flexibel und kann auf flexible Substrate wie Kunststofffolien oder Metallfolien aufgedampft werden. Zu den bereits seit längerem bekannten Dünnschichtzellen aus den Halbleitern Galliumarsenid (GaAs), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel-Selen (CIGS) gesellt sich nun eine neue Klasse: die

organisch-anorganischen Perowskite. Der Begriff Perowskit beschreibt die gemeinsame Kristallstruktur der Materialien in diesen dünnen Schichten.

Das Interessante daran ist, dass Perowskite nicht nur als Solarzellen eingesetzt werden können, sondern umgekehrt auch als Beleuchtungsmittel oder als Basis für Fotodetektoren, zum Beispiel in Röntgengeräten oder Sensoren für Smartwatches. Aus diesem Grund wird diese Materialklasse derzeit weltweit intensiv erforscht. Doch es gibt ein Problem: Viele dieser Perowskit-Kristalle enthalten sogenannte organische Ionen als Bausteine. Das sind Kristallbausteine, die Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff enthalten.

Sie schmelzen und verdampfen bei viel niedrigeren Temperaturen als Silizium oder GaAs, CdTe oder CIGS. Daher sind viele bewährte Produktionsverfahren für diese Materialien nicht geeignet.

INDUSTRIELLE FERTIGUNG IST GEFRAGT

Das Projekt AMYS («Advanced Manufacturability of Hybrid Organic-inorganic Semiconductors for Large Area Optoelectronics»), das im Rahmen der «Strategic Focus Area Advanced Manufacturing» (SFA-AM) des ETH-Bereichs gestartet wurde, versucht nun, genau diese Probleme zu lösen. Benötigt wird ein industrielles Herstellungsverfahren für Perowskit-Dünnschichten, die bisher hauptsächlich in «nassen» Sprühverfahren in Labors hergestellt werden. Die

Aufgaben der Forschungspartner sind sorgfältig verteilt: Das Team der Perowskit-Spezialisten Ayodhya N. Tiwari und Fan Fu vom «Thin Films and Photovoltaics Laboratory» der Empa sucht nach einem flexiblen Perowskit-Fotodetektor und Solarzellen; das Team von Chih-Jen Shih von der «Nanomaterials Engineering Research Group» der ETH Zürich will Perowskit-LEDs bauen, die Licht mit besonders hoher Farbgenauigkeit erzeugen. Und Christophe Ballif von der EPFL ist mit seinem Team auf der Suche nach besonders effizienten Tandem-Solarzellen, die aus Silizium auf der Unterseite und einer halbdurchsichtigen Perowskit-Schicht auf der Oberseite bestehen.

Alle Forscher haben bereits Vorarbeiten geleistet: Im Juli stellte das EPFL-Team einen neuen Weltrekord auf: Solarzellen aus dickem, kristallinem Silizium mit einer dünnen Perowskit-Schicht darauf erreichten einen Wirkungsgrad von über 31 Prozent. Ein solcher Wert wurde bereits mit anderen Halbleitern erreicht, doch sind diese in der Herstellung rund 1000-mal teurer. Damit öffnet sich ein Tor zur kostengünstigen Fotovoltaik. «Wir haben einen zweistufigen Prozess entwickelt, um die organischen Bestandteile unserer Perowskite schonend und homogen auf mittelgroße Solarzellen aufzutragen», erklärt Christian Wolff, der im EPFL-Team arbeitet. «Das wollen wir nun auf ein neu entwickeltes, auf Trockendampf basierendes Verfahren ausdehnen, das es einerseits ermöglicht, noch grössere Flächen homogen zu bedecken, und gleichzeitig zu sehen, ob es nicht noch bessere chemische Kombinationen gibt.»

Sebastian Siol von der Empa hilft ihm dabei. Er ist Spezialist für Beschichtungsprozesse und für die Analyse von industriell hergestellten dünnen Schichten. Mit automatisierten Hochdurchsatz-Experimenten wird er eine

Vielzahl von verschiedenen chemischen Zusammensetzungen und Prozessparametern screenen, mit dem Ziel, eine «Bibliothek» von vielversprechenden Perowskit-Mischungen zu erstellen. Damit erhalten Wolff und seine Kollegen in allen Arbeitsgruppen entscheidende Hinweise, wo sie suchen müssen. Das beschleunigt den Weg zum Ziel von preiswerten, stabilen und grossflächigen optoelektronischen Bauelementen mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten.

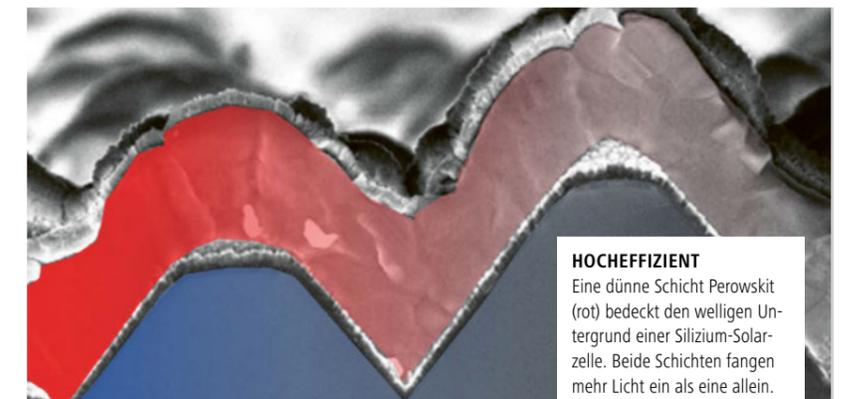
VERZICHT AUF GIFTSTOFFE

Der Empa-Forscher Fan Fu ist Spezialist für Perowskite und ebenfalls Teil des For-

übertragen. Bei der Suche nach dem optimalen Verfahren hilft ihm auch sein Empa-Kollege Sebastian Siol. Er wird die Probekörper aus Fus Versuchsreihen kartieren und helfen, die optimalen Prozessparameter zu finden.

SENSOREN FÜR SMARTWATCHES

Fan Fu hat noch ein zweites Projekt, das er im Rahmen von AMYS verfolgt: Perowskit-Zellen könnten auch als Fotodetektoren in Kameras oder als Röntgendetektoren für die medizinische Bildgebung dienen – und hätten zwei entscheidende Vorteile: Sie sind billiger und einfacher herzustellen als



HOCHEFFIZIENT

Eine dünne Schicht Perowskit (rot) bedeckt den welligen Untergrund einer Silizium-Solarzelle. Beide Schichten fangen mehr Licht ein als eine allein.

schungskonsortiums. Er hat sich gleich zwei Aufgaben vorgenommen: Einerseits sucht er nach neuen Fotodetektoren und Solarzellen auf der Basis von Perowskiten. Andererseits will er auch einen «grünen Weg» für die industrielle Produktion von Perowskit-Zellen finden. «Während das EPFL-Team einen Trockenprozess gefunden hat, haben wir an der Empa den Nassprozess weiterentwickelt», erklärt der Forscher. «Wir benutzen keine giftigen Lösungsmittel mehr, die man zwar im Labor verwenden kann, die aber im industriellen Prozess ein Handicap sind. Wir arbeiten jetzt mit Isopropanol – das auch in jedem Coiffeur-Salon verwendet wird.» Fan Fu will sein Nassverfahren nun auch auf industrielle Prozesse wie die sogenannte Slot-Die-Beschichtung

die heute üblichen Silizium-Kamerachips. Ausserdem sind sie flexibel und können sich der Körperform anpassen. Fu erläutert anhand eines Beispiels, wie interessant dies werden könnte: «Blutsauerstoff- und Pulsfrequenzsensoren in Smartwatches basieren teilweise auf der optischen Erfassung des Blutflusses.» Mit flexiblen, optischen Sensoren könnten solche Messwerte in Zukunft viel günstiger und gleichzeitig genauer ermittelt werden, sagt Fu. «Messgeräte, die direkt auf der Haut aufliegen, sind eine Schlüsseltechnologie für die zukünftige Interaktion zwischen Mensch und Maschine.»

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.sfa-am.ch/amys.html

SENSIBLE BOHRER

Hörschädigte Menschen, deren Nervenbahnen noch intakt sind, kann oft mit einem Cochlea-Implantat geholfen werden. Doch das Einsetzen des Implantats ins Innenohr ist nicht ohne Risiken, da dabei Gesichtsnerven verletzt werden können. Empa-Forschende haben einen neuartigen «smarten» Bohrer entwickelt, der dieses Risiko minimiert, indem er sich in der Nähe von Nerven automatisch abschaltet.

Text: Rainer Klose



BESCHICHTUNGSEXPERTIN
Kerstin Thorwarth entwickelte den Spezialbohrer mit leitfähigen und isolierenden Hartstoffschichten.

Methoden des «Advanced Manufacturing» können auch in der Chirurgie zu bemerkenswerten Fortschritten führen. Eine Forschergruppe unter Leitung von Stefan Weber vom «ARTORG Center for Biomedical Engineering Research» der Universität Bern hat einen Roboter entwickelt, der Cochlea-Implantate schonender einsetzen kann als ein Chirurg. «Wenn ein Chirurg den Eingriff vornimmt, muss er relativ grosse Bereiche des Schädelknochens abtragen», erläuterte Weber damals in einem Artikel der NZZ. Erst wenn er sehe, wo die Nerven lägen, setze er den Bohrer an. Der Roboter bohrt dagegen nur einen 1,8 Millimeter schmalen Kanal, dessen Verlauf an Hand eines zuvor erstellten CT-Bilds festgelegt wird. Doch die Chirurgen dürfen nicht «im Blindflug» bohren, denn das Loch für das Cochlea-Implantat muss zwischen dem Geschmacksnerv und dem Gesichtsnerv liegen. Diese Nerven liegen an einer Stelle nur 3 Millimeter voneinander entfernt und dürfen keinesfalls verletzt werden. Bis anhin

halfen sich die Chirurgen so: Kurz vor der Engstelle stoppten sie den Bohrer und reizten mit einer elektrischen Spitze den Gesichtsnerv. Wenn die Zuckung im Gesicht des Patienten nicht zu stark ausfällt, darf vorsichtig weitergebohrt werden.

BOHRER UND STIMULATOR ZUGLEICH

Die Mediziner des ARTOG-Centers gelangten an die Empa mit der Frage: Können man nicht einen Bohrer entwickeln, der zugleich den Gesichtsnerv elektrisch stimuliert, einen Bohrer also, der seine Position im Schädel des Patienten anzeigt? Kerstin Thorwarth von der Empa-Abteilung «Surface Science & Coating Technologies» ging an die Arbeit. Gemeinsam mit einer Kollegin entwickelte sie im Rahmen einer Masterarbeit und eines Innosuisse-Projekts einen Bohrer mit leitfähiger Spitze. Die leitfähigen und isolierenden Hartschichten aus Titanitrid (TiN) und Siliziumnitrid (Si₃N₄) wurden per Magnetron-Sputtering auf den Bohrkopf aufgebracht. Dafür mussten die einzelnen Windungen des Bohrers mit speziellen Masken abgedeckt werden.

NOCH NICHT ZERTIFIZIERT FÜR MEDIZIN
Der Bohrer mit der an der Empa entwickelten Spezialoberfläche wies schliesslich die passenden elektrischen Eigenschaften auf und bestand auch Bohrversuche in Knochenmaterial, die im Labor durchgeführt wurden. Die Partner in Bern waren jedenfalls zufrieden. «Der Smart-Drill für die Cochlea-Chirurgie könnte zum Beispiel auch für die Wirbelsäulenchirurgie eingesetzt werden», zeigt sich Projektleiter Stefan Weber optimistisch.

Nun sucht das Forscherteam der Empa gemeinsam mit den Chirurgen aus Bern nach einem Industriepartner, der den Smart-Drill nach den gesetzlichen Vorgaben für Medizinprodukte herstellen kann. «Dazu wird weiterer signifikanter Entwicklungsaufwand nötig sein», so Weber. Und der brauche noch die passende Finanzierung. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/208

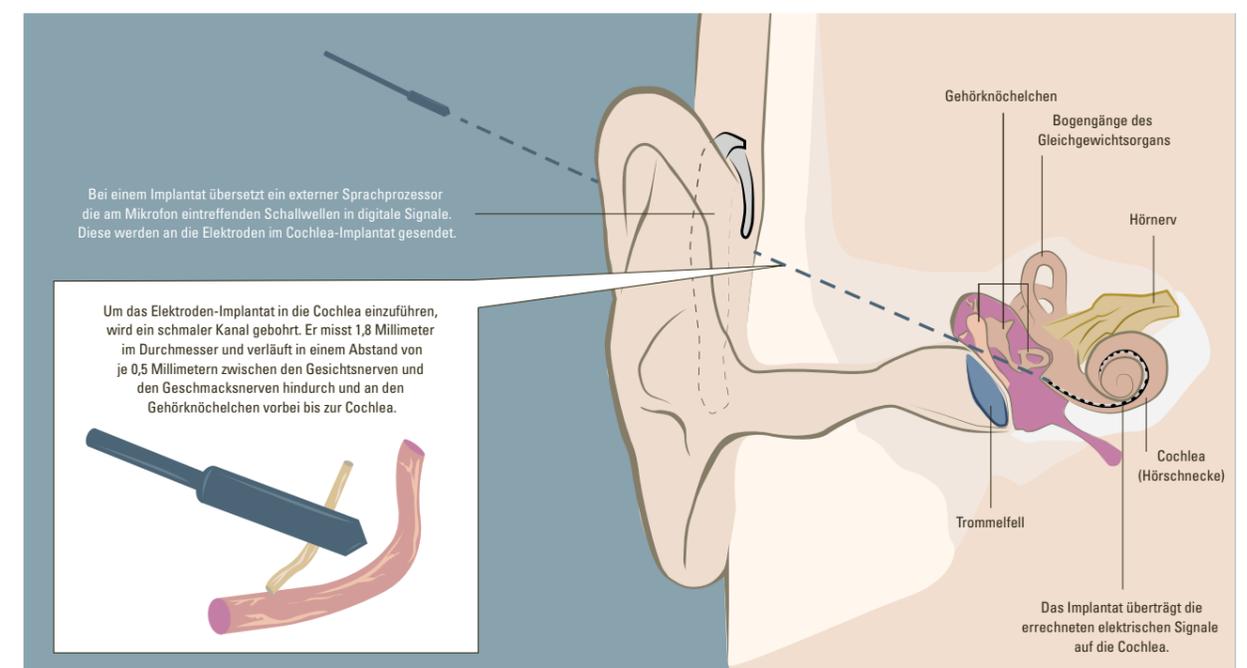


Foto: Empa / Grafik: NZZ-Infografik

STAHLRAD FÜR ARTENVIELFALT

Einst sorgten Landwirte für reiche Heuernten, indem sie Wiesen systematisch bewässerten. Im Kanton Zürich erwecken Umweltfreunde diese Methoden wieder zum Leben, um ein wertvolles Idyll mit hoher Biodiversität zu schaffen – mithilfe der historischen Technologie eines Wasserschöpfrades, an dessen Entwicklung auch die Empa mitwirkte.

Text: Norbert Raabe

Libellen surren durch die sonnige Glattebene; Bläulinge und andere farbige Falter flattern von Blüte zu Blüte. Geburtshelferkröten auf der Suche nach Weibchen lassen ihren Ruf hören, während eine Ringelnatter im feuchten Gras nach Beute Ausschau hält: ein vielfältiges Biotop für bedrohte Arten, das in der einstigen Aue namens «Hundig» bei Glattfelden im Zürcher Unterland entstehen soll – dank einer landwirtschaftlichen Methode, die hier vor langer Zeit schon üblich war. Die Wässerung von Wiesen hat ihren Ursprung wohl im Mittelalter und konnte die Heuernte mehr als verdoppeln. Und um Wasser aus Flüssen und Bächen dorthin zu transportieren, nutzten Bauern im deutschen Franken um 1800 dazu fast 200 Wasserschöpfräder.

Diese umweltfreundliche Technologie wird hier wiederbelebt. «Ein ökologisches und kulturhistorisches Projekt also», wie Projektleiterin Daniela Eichenberger vom Verein «Wässerwiesen im Hundig» sagt. Doch dazu war auch Hilfe von Fachleuten wie Silvain Michel von der Empa-Abteilung «Mechanical Systems Engineering» nötig: Er wirkte bei

der Umsetzung des Schöpfrades mit – auf der Basis eines 1:5-Modells, das der Metallbau-Unternehmer Bernhard Krismer in Wallisellen entworfen und gebaut hatte. «Die ersten Tests mit diesem Schöpfrad haben gezeigt, dass es prinzipiell funktioniert», erinnert sich Michel – doch die Arbeit sollte damit erst beginnen, denn es gab viele Fragezeichen.

AUFWÄNDIGES PROJEKT

Der Betrieb der Wässerwiesen im Hundig mit dem Schöpfrad und der Zuleitung über Kanäle soll nach langer Planung und Umsetzung im kommenden Jahr beginnen. Das Rad allein kostet rund 300'000 Franken; die Summe für das gesamte Projekt liegt bei 2,4 Millionen. Die Finanzierung stammt einerseits vom Flughafen Zürich – als eine seiner ökologischen Ersatzmassnahmen, zu denen er verpflichtet ist. Und andererseits von zahlreichen Sponsoren, darunter der Lotteriefonds des Kantons Zürich und das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich sowie zahlreiche Stiftungen. Träger des Projektes sind der Verein Wässerwiesen im Hundig und die Fachstelle Naturschutz des Amtes für Landschaft und Natur des Kantons Zürich.

Wie tief sollte das stählerne Rad mit einem Durchmesser von immerhin sechs Metern in die Glatt hineinragen? Würde die Wasserkraft des flachen Flusses an der geplanten Stelle genügen, um es anzutreiben? Und dabei die nötige Wassermenge zu heben, die dann aus den Schöpfbehältern in eine Rinne hin zu den Wiesen fliesst?

NEUE VERMESSUNG VON FLUSS UND BETT

Die ersten Recherchen zeigten, dass die hydraulischen Daten über die Glatt an dieser Stelle teils widersprüchlich waren. Deshalb vermessen Fachleute den Fluss mit seinen Wasserständen am geplanten Standort neu – und beschlossen schliesslich, die Schwellen des Flussgrundes zu verändern. Oberhalb des Schöpfrades wurde die Schwelle um 30 Zentimeter angehoben, unterhalb um 30 Zentimeter abgesenkt. Aus zwei «Stufen», über die die Glatt dort in Richtung des Rheins fliesst, wurde also eine grössere gemacht – ein nutzbares Gefälle von knapp einem Meter, um die potenzielle Energie des Wassers für den Antrieb des Rades zu erhöhen. Gleichwohl zeigten erste Analysen, dass die Wasserkraft knapp werden könnte; zumal die Ent-

nahme aus dem Fluss begrenzt ist. Die vorgeschriebene Restwassermenge der Glatt von 1070 Kubikmeter pro Sekunde muss stets eingehalten werden – und die Entnahme wurde auf die nötigste Menge beschränkt: maximal 120 Liter pro Sekunde; diesen Bedarf hatten Vorversuche im Jahr 2019 auf den Wiesen ergeben. Bei Temperaturen über 20 Grad wird die Menge allerdings stufenweise reduziert – bis auf ein Viertel, abhängig von der Abflussmenge der Glatt in den Rhein, die rund um die Uhr erfasst wird.

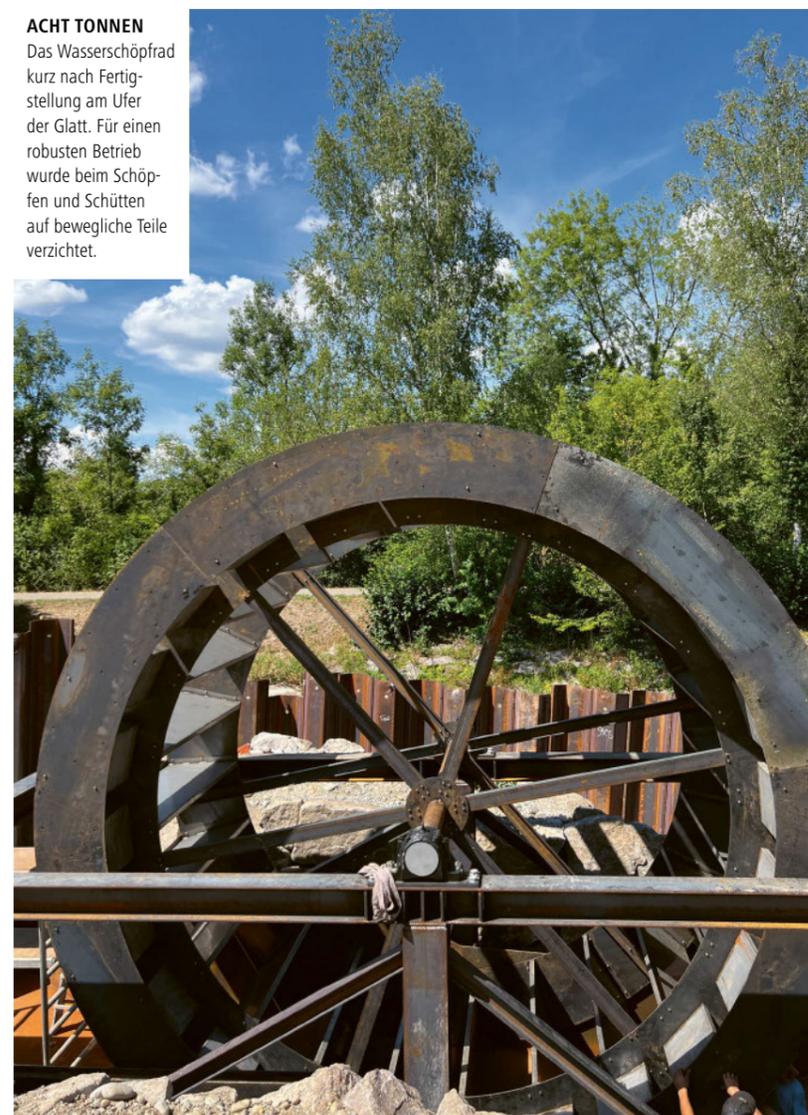
Schliesslich wollen alle Beteiligten den langfristigen Klimaschutz im Blick behalten – und auch die Interessen des ansässigen Fischereivereins, der sich um den Wasserstand und seinen Fang, darunter begehrte Forellen, sorgte und Einsprache gegen das Konzessionsgesuch erhob. «Ich habe dafür volles Verständnis», sagt Metallbaumeister Krismer, Konstrukteur des Schöpfrades, der schliesslich selbst ein Angler ist. Und auch Projektleiterin Daniela Eichenberger ist froh, dass durch die gelungenen Verhandlungen eine sinnvolle Lösung gefunden wurde. «Jetzt geht es an die Umsetzung!», sagt die Biologin, die seit 2016 für das Projekt zuständig ist.

ANTRIEB MIT TÜCKEN UND TRICKS

Unter diesen Bedingungen den zuverlässigen Antrieb des Acht-Tonnen-Schöpfrades zu sichern, erwies sich für Empa-Forscher Silvain Michel freilich als Knacknuss. In ersten Kalkulationen war von einem Wirkungsgrad von 90 Prozent ausgegangen worden – ein extrem günstiges Verhältnis von zugeführter zu genutzter Energie also. Doch Literatur-Recherchen zeigten, dass so ein «unterschlächtiges» Wasserrad, das vom Wasser von unten her angetrieben wird, gewöhnlich nur bis zu 40 Prozent erreicht. «Das Maximum sind 50 bis 60 Prozent», sagt Michel, «die ursprüngliche Annahme war also zu optimistisch.»

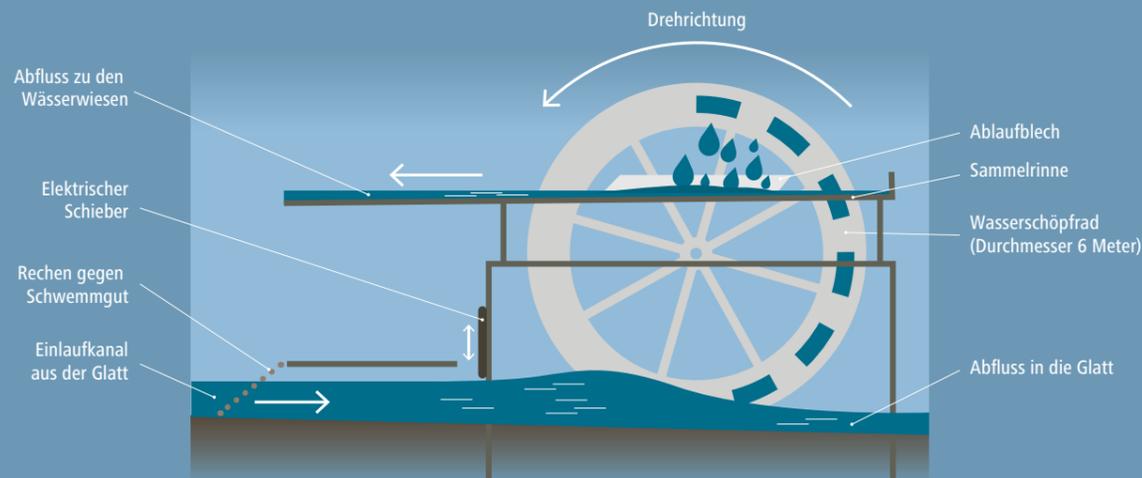


ANNO 1895
Das historische Foto zeigt, wie einst Bewässerungsrinnen angelegt waren.



Fotos: Empa, AWEL

So funktioniert das Wasserschöpfrad



Das Schöpfrad wiegt rund acht Tonnen und soll maximal 120 Liter Wasser pro Sekunde aus der Glatt entnehmen. Aus den Schöpfbehältern fällt das gesammelte Wasser über ein schräges Ablaufblech in die Sammelrinne. Von dort wird es schliesslich über einen Kanal nahe des Bahnhofs Glattfelden in zwei Zielgebiete geleitet. Die Bewässerung der Wiesen erfolgt über Umleitungsbauwerke, die sich öffnen und schliessen lassen. Überschüssiges Wasser wird wieder in die Glatt zurückgeleitet.

Was tun? Michel suchte Rat bei einem Experten: Der erfahrene Hydraulikfachmann und emeritierte Professor Michel Dubas von der Fachhochschule des Wallis in Sion stellte sein Wissen und seine Erfahrung zur Verfügung – unentgeltlich übrigens, wie der Empa-Forscher betont. Und nach gemeinsamen Überlegungen schlug Dubas eine simple, aber effiziente Lösung vor: ein «Kropf» in der stählernen Sohle unter dem Schöpfrad – also eine gezielte Ausbeulung nach unten, die dafür sorgt, dass sich das Wasser nochmals deutlich beschleunigt, bevor es in die Schaufeln des Rads drückt. Mit dieser Idee und anderen Details, so errechneten die

Hydraulik-Fachleute, erreicht die Förderleistung des Rades knapp die geforderten Werte. Und sie sind überzeugt, dass die Leistung auch trotz einiger technischer «Bremsen» des Wasserflusses genügt: Ein Rechen vor dem Rad muss schliesslich Schwemmmaterial wie Äste abhalten. Zudem soll ein «Vorhang» aus stählernen Ketten im Wasser mit seinem Lärm dafür sorgen, dass Fische in der Glatt bleiben und sich nicht in den Abzweigkanal zum Schöpfrad verirren.

Zwei Videokameras im Wasser werden filmen, ob diese Strategie tatsächlich aufgeht. Und wenn der Betrieb der Wiesenwässerung im kommenden

Jahr erstmals beginnt, werden nicht nur die örtlichen Fischer das Schöpfrad im Auge behalten, sondern auch der Empa-Fachmann und die Konstrukteure – wegen genauer Kontrollen der Wassermengen und auch für einen reibungslosen Betrieb. Schliesslich muss man regelmässig nach dem Rechten schauen, Rechen und Zufluss-Schieber kontrollieren und auch die Drehachse des Stahlrads regelmässig schmieren – der Job für einen «Wasserrad-Wärter», der demnächst zu engagieren ist. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.waesserwiesen-hundig.ch

Grafik: Empa

Foto: Empa

FORTSCHRITT
Tina Bürki sieht im Plazenta-Embryo-Chip die Zukunft für Tests zur Entwicklungstoxizität.



CHIP STATT TIERVERSUCHE

Empa-Forscherinnen entwickeln in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und dem Kantonsspital St. Gallen einen medizinischen Chip, der Aussagen zur Wirkung von Substanzen auf Babys im Mutterleib erlaubt. Die Zürcher Stiftung ProCare fördert das Projekt, das kürzlich gestartet wurde.

Text: Andrea Six

Neue Medikamente aus Nanopartikeln, die problemlos jede Grenzfläche innerhalb unseres Körpers durchdringen können, sind eine grosse Hoffnung der Medizin. Damit derartige Hoffnungsträger auf den Markt gelangen können, muss ihre Sicherheit gewährleistet sein. Hierbei muss auch geklärt werden, was passiert, wenn es einer Substanz gelingt, im Körper von schwangeren Frauen die natürliche Schranke zwischen Baby und Mutter, die Plazenta, zu durchdringen. «Auch Umwelttoxine können eine grosse Gefährdung für den sensiblen Fötus darstellen, wenn sie die Plazentaschranke durchdringen oder die Entwicklung und Funktion der Plazenta stören und so den Fötus indirekt schädigen», erklärt Tina Bürki, Empa-Forscherin vom «Particles-Biology Interactions»-Labor in St. Gallen. Mit der Fragestellung, wie sich diese sogenannte Embryotoxizität von Substanzen präzise, einfach und sicher bestimmen lässt, beschäftigt sich ein Team der Empa und

der ETH-Zürich bereits seit Längerem. Nun entwickelt das Team ein neues System, das embryoschädigende Stoffe präzise erkennen und ohne Tierversuche auskommen soll. Ermöglicht wird das kürzlich gestartete Projekt durch die Zürcher Stiftung ProCare.

EIN UNIVERSUM IM POLYMERGEHÄUSE

Herzstück des Verfahrens wird ein fingerlanger Polymer-Chip sein, der ein kleines Universum beherbergt: Hier wachsen Zellen, die die Plazenta-Schranke und den Embryo unter möglichst realitätsnahen Bedingungen abbilden sollen. Auf einer porösen Membran werden hierzu Zellen der Plazenta zu einer dichten Barriere kultiviert und embryonale Stammzellen in einem Tropfen Nährlösung zu einer winzigen Gewebekugel formiert.

FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Der Zukunftsfonds der Empa fördert herausragende Forschungsprojekte, die anderweitig (noch) nicht unterstützt werden. Für das vorliegende Projekt konnte die Schweizer Stiftung ProCare gewonnen werden, die Kosten des Projekts vollständig zu übernehmen. Die Organisation fördert Projekte, die im Bereich des Tierschutzes und Umweltschutzes besonders die angewandte Forschung voranbringen können.

Um den Blutkreislauf zu simulieren, kippt ein Schüttler den Chip kontinuierlich hin und her. Testsubstanzen lassen sich auf der «mütterlichen» Seite der Plazenta zugeben. Auf diese Weise können die Forschenden den Transport der Testsubstanz und die Auswirkungen auf beide Gewebe untersuchen. «Wir wissen bereits, dass ein derartiges Testprinzip funktionieren kann, da ein vereinfachter Prototyp bei einer Vorstudie mit dem «Bio Engineering Laboratory» an der ETH Zürich entwickelt wurde», sagt Tina Bürki. Das Besondere an diesem neuen

Chip: Die Forschenden wollen die Zellmodelle entscheidend verbessern, indem die bisher verwendeten Labor-Zelllinien oder Mäuse-Zellen durch «primäre» humane Zellen und eine humane Stammzelllinie ersetzt werden. «Wir arbeiten eng mit der Frauenklinik des Kantonsospitals St. Gallen zusammen und können aus Plazenta-Gewebe, das nach einer Geburt entsorgt würde, die gesuchten Zellen isolieren», erklärt Bürki. Mit den gewonnenen Zellen soll ein verbessertes dreidimensionales Plazentamodell entwickelt werden. Am Ende erlaubt es der Embryo-Plazenta-Chip, das Zusammenspiel von Plazenta und Embryo nachzubilden und Transportprozesse an der Plazenta sowie direkte und indirekte Schadwirkungen einer Substanz auf die Embryonalentwicklung zu untersuchen.

ALTERNATIVES MODELL IM VORTEIL

Studien zur Entwicklungstoxizität von Medikamenten und Umwelttoxinen greifen derzeit auf Tierexperimente mit Mäusen zurück. In der EU wurden 2017 knapp 100'000 Tiere für die Entwicklungstoxizität eingesetzt. Dank dem neuen Chip liesse sich die Zahl dieser Tierversuche deutlich reduzieren. Dies ist nicht nur aus ethischer Sicht ein wichtiges Ziel, denn die Aussagekraft eines Tests mit trächtigen Mäusen ist für die Beurteilung der Medikamentensicherheit beim Menschen nicht optimal: «Die Plazenta ist bei jeder Tierart spezifisch aufgebaut – und bei der Maus anders als beim Menschen», sagt Empa-Forscherin Bürki. Bessere Erkenntnisse lassen sich aus dem geplanten alternativen in-vitro-Modell, also einem System «im Reagenzglas», gewinnen, da die Chip-Technologie mit primären menschlichen Zellen die Geschehnisse an der Schnittstelle zwischen Mutter und Kind zuverlässiger abbilden könne.

Gedacht ist das neue Testsystem als einfache und präzise Möglichkeit,

HINWEISGEBER

Zellen, die aus einer Plazenta isoliert wurden, unter dem Mikroskop. Zellkerne erscheinen blau, das Zellgerüst grün.



bereits früh in der Entwicklung von neuen Medikamenten die Sicherheit einer Substanz zu überprüfen und damit die Anwendung von neuen Therapien zu beschleunigen. Auf diese Weise unterstützt der Chip das Prinzip des «Safe by Design», das die frühe Integration von Sicherheitsaspekten in den Innovationsprozess vorsieht.

Der Bedarf an Entwicklungstoxizitätsstudien in der Industrie steigt aber auch aus einem anderen Grund an: Die Unbedenklichkeit von Chemikalien und Partikeln in der Umwelt muss geklärt werden, so wie es die aktuelle Chemikalienverordnung REACH verlangt. «Der Plazenta-Embryo-Chip soll letztlich ein benutzerfreundlicher Test-Kit sein, der wichtige Daten zu möglichen Gesundheitsrisiken während der Schwangerschaft liefern kann», so die Forscherin.

Die Ergebnisse des Projekts sollen darüber hinaus helfen, Wissenslücken beim Verständnis der Plazentaschranke zu schliessen. «Der Chip wird ein Modell sein, das die Vorgänge an der Plazenta und beim Embryo zusammenbringt. So hoffen wir, die komplexen Interaktionen, die mittels Signalstoffen ablaufen, künftig besser verstehen zu können», sagt Tina Bürki. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s403

Foto: Empa

Die Medizin von morgen möglich machen.



Machen Sie den Unterschied!
Unterstützen Sie den
Empa Zukunftsfonds «Medizin».
empa.ch/zukunftsfonds

 **Empa**
Zukunftsfonds

BATTERIEEXPERTE BEGLEITET CRASHTEST



ACHILLESFERSE
Bei Elektroautos können Beschädigungen am Unterboden auftreten. Empa-Experte Marcel Held schaut sich nach dem AXA-Crashtest die Verformung an.

Beim diesjährigen Crashtest der Versicherungsgruppe AXA am 25. August am Flugplatz Dübendorf stand die wachsende Zahl von Elektroautos im Fokus. Die Experten brachten einen Tesla Model S an einer Rampe zum Überschlag, wobei der Unterboden des Wagens beschädigt wurde. In der anschliessenden Podiumsdiskussion erläuterte Empa-Batterieexperte Marcel Held die potenziellen Gefahren eines solchen Unfalls. Die Gefahr besteht durch den sogenannten «thermal runaway», der nach einer Beschädigung von Batteriezellen auftreten kann. Die Batterie überhitzt und verlässt den sicheren Betriebszustand. Der Prozess verstärkt sich selbst, und der Druck in der Zelle steigt, bis das Gehäuse schliesslich platzt. Es entweichen brennbare Gase, später hohe Stichflammen. Feuerwehrmann Michael Derungs von Schutz & Rettung Zürich wies darauf hin, dass seine Kollegen gut vorbereitet und geübt für solche Situationen seien. Michael Pfäffli, Leiter Unfallforschung & Prävention AXA Schweiz, sagte, dass – entgegen der öffentlichen Wahrnehmung – Brände von Elektroautos nicht häufiger auftreten würden als bei Autos mit Verbrennungsmotor. Auch eine Rettung von Insassen aus einem verunfallten Elektroauto sei generell problemlos.

www.axa.ch/de/ueber-axa/medien/medienmitteilungen/aktuelle-medienmitteilungen/20220825-crashtests-2022.html

HOLZ-KREDITKARTEN AUS URI

Die Swiss Wood Solutions AG, ein Spin-off der Empa und der ETH Zürich, ist im Juli 2022 nach Altdorf im Kanton Uri umgezogen. Dort nimmt das junge Unternehmen mit seinen zehn Mitarbeitern nun die Produktion von nachhaltigen Kreditkarten aus Holz auf. Die «Swiss Wood Cards» werden aus Furnieren von einheimischen Hölzern wie Ahorn, Riegelahorn, Kirsche, Eiche, Fichte und vielen anderen hergestellt. Jede Karte ist ein Unikat mit personalisierter Lasergravur oder Farbdruck und funktioniert wie jede andere, herkömmliche Kreditkarte. Der Standortentscheid wurde nach der Evaluation von mehreren Kantonen im April 2022 zugunsten des Kantons Uri gefällt.

<https://swisswoodcards.swisswoodsolutions.ch/de/>



KRATZFEST
Die Bankkarten aus einheimischen Holzarten werden mittels eines patentierten Verfahrens gehärtet.

Foto: Empa / Swiss Wood Solutions

Foto: Thomas Oehrl

«GREEN ECONOMY» – WIE GEHT DAS?



IM GESPRÄCH
Peter Richner diskutiert mit Andreas Kuhlmann von der Deutschen Energie-Agentur (dena).

Zum zehnten Mal brachte das «Swiss Green Economy Symposium» in Winterthur vom 7. bis 8. September Fachleute aus Wirtschaft, Forschung und Politik zusammen, um den Dialog, Innovationen und konkrete Umsetzungen zu fördern – dieses Jahr im Fokus stand die Kreislaufwirtschaft. Am Panel «Sichere und nachhaltige Energien» gab Peter Richner, Stellvertreter der Direktor der Empa, zu verstehen, dass in Anbetracht der bevorstehenden Energiekrise Verhaltensänderungen kurzfristig den grössten Impact hätten. Er wies auch darauf hin, dass viele von der Empa entwickelten Lösungen für ein dekarbonisiertes Energiesystem nun bessere Chancen für die Umsetzung hätten und gab einen Ausblick auf zukünftige Forschungsschwerpunkte an der Empa: Lösungen, die CO₂-negativ sind, d.h., die zu einer Verminderung der CO₂-Konzentration in der Luft führen. An der Diskussion beteiligten sich Kurt Bisang vom BFE – Bundesamt für Energie, Alexander Keberle von economiesuisse, Andreas Kuhlmann von der Deutschen Energie-Agentur GmbH und Gerd Scheller von Siemens Schweiz und swisscleantech.

<https://sges.ch/>

VERANSTALTUNGEN

11. OKTOBER 2022

Live Stream: Energiemanagement der Zukunft

Zielpublikum: Öffentlichkeit

<https://digitaltag.empa.ch/>
online

04. NOVEMBER 2022

Kurs: Tribologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/tribologie

Empa, Dübendorf

08. NOVEMBER 2022

Technology Briefing:

Advanced Manufacturing at Empa

Zielpublikum: Industrie, Wirtschaft, Wissenschaft

www.empa.ch/web/tb

Empa, Dübendorf

17. NOVEMBER 2022

Seminar: Digital fabrication in the

construction industry

Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft

www.empa-akademie.ch/rfa

Empa, Dübendorf

01. DEZEMBER 2022

Technology Briefing: Photovoltaics

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa.ch/web/tb/pv

Empa, Dübendorf

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

KOSTENLOSES ABO

Lesen Sie Empa Quarterly

Einfach Postkarte ausfüllen – und schon liegt unser Forschungsmagazin viermal jährlich in Deutsch, Englisch oder Französisch bei Ihnen im Briefkasten. Völlig kostenlos.

Oder online unter www.empaquarterly.ch



Empa
Redaktion Empa Quarterly
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Switzerland



Empa
Redaktion Empa Quarterly
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Switzerland

JETZT KOSTENLOS ABONNIEREN

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION



www.empa.ch/web/s604/subscribenews

GESCHENKABO FÜR:

Englisch

Deutsch

Französisch

Anrede Frau Herr

Vorname, Name _____

Firma _____

Strasse _____

PLZ, Ort _____

Land _____

E-Mail _____

Empfehlung durch _____

Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Ja, ich möchte Empa Quarterly kostenlos abonnieren.

Englisch

Deutsch

Französisch

Ich habe eine neue Adresse: Abonnenen-Nr. _____

Anrede Frau Herr

Vorname, Name _____

Firma _____

Strasse _____

Postfach _____

PLZ, Ort _____

Land _____

E-Mail _____

Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.