

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #79 II APRIL 2023

FOKUS: DROHNEN

DIE VERMESSUNG DER UMWELT

FLUG DURCHS FEUER
LACKMUSTEST IM WALD
SPION IM BAUCH

[INHALT]

[FOKUS: DROHNEN]



20



32

08



16

24

[FOKUS]

14 GRAFIK

Drohnen in ihrem Element

16 «FIREDRONE»

Sie geht für uns durchs Feuer

20 «DRONEHUB»

Eine Voliere für Drohnenforschung

24 BIO-GLEITER

Feinfühlig, fleissig, vergänglich

27 «SAILMAV»

Kurz zu Besuch

[THEMEN]

08 BIODISPLAY

Der Chamäleoneffekt

10 QUANTEN-TECHNOLOGIE

Meister der Defekte

30 DÄMMUNG

Lichtes Mauerwerk

32 MEDIZIN

Spion im Bauch

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

28 ZUKUNFTSFONDS

Der «Forschungsbeschleuniger»

34 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Vermessen, was man schützen will: Die Drohnen des «Sustainability Robotics»-Labors der Empa können die Natur weit weniger aufdringlich beobachten, als dies ein Mensch vermag. Manche von ihnen lösen sich gar auf und kehren so von selbst in den natürlichen Kreislauf zurück, sobald ihre Arbeit getan ist. (Siehe S. 24.)
Bild: iStock, 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 47 33

redaktion@empa.ch

www.empaquarterly.ch

VERÖFFENTLICHUNG

Erscheint viermal jährlich

PRODUKTION

anna.ettlin@empa.ch



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

DAS DENKEN OUT-SOURCEN? KEINE GUTE IDEE!

Liebe Leserin, lieber Leser,



Alles um uns herum wird immer smarter: Verpackungen, Autos, Häuser, Text- und Bildverarbeitungsprogramme – aka «ChatGPT», «Midjourney» und Co. Zeit also, sich zurückzulehnen, während künstliche Intelligenz (KI) die Arbeit für uns macht? Wohl kaum; die Leistungsfähigkeit unseres Gehirns hängt vom steten Training ab. Und so faszinierend die Computer-generierten Produkte auch sind, so zeigen sich auch Schattenseiten. Denn KI hilft nicht nur, unsere Welt besser zu verstehen; mit ihr lassen sich sogar andere Wirklichkeiten schaffen – siehe «Deepfakes».

Daher sollten wir uns fragen: Wo bringt KI Vorteile, wo sollten wir wachsam sein? Verstehen wir unser neues «Spielzeug» gut genug, um es ohne «Bedienungsanleitung» auf die Welt loszulassen? Diese Überlegungen kann uns keine auch noch so smarte KI abnehmen. Wir tun also gut daran, unser Denkorgan auch künftig fit zu halten – trotz aller Annehmlichkeiten, die einem «ChatGPT» und Co. zweifellos bieten.

Was dies alles mit der Empa zu tun hat? Zum einen entwickeln wir autonome robotische Systeme und die Materialien hierfür, damit Drohnen diverse, für den Menschen gefährliche Aufgaben übernehmen wie Infrastrukturüberwachung, Umweltbeobachtungen und Brandbekämpfung – wie der aktuelle Fokus illustriert. Zum anderen untersuchen wir regelmässig die Pros und Cons neuer Technologien und erforschen im geplanten «DroneHub» die vielfältigen Interaktionen zwischen Mensch und autonomen Systemen.

Viel Vergnügen beim Lesen – und beim Darüber-Nachdenken!
Ihr MICHAEL HAGMANN

WOHNGEMEINSCHAFT DES GRAUENS

Bei dieser Wohngemeinschaft wird Hygiene kleingeschrieben: Die Bakterien in dieser Raster-elektronenmikroskop-Aufnahme haben sich zu einer munteren Gesellschaft an einer Zahnwurzel (beige) zusammengefunden. Die Stäbchenbakterien (grün) und Kokken (gelb) überziehen die Zahnwurzel und deren Öffnungen für die Blutversorgung. Dieser Biofilm setzt sich mit Hilfe einer zuckerhaltigen Matrix hartnäckig an den Zähnen fest. Je nach der Zusammensetzung der Mikrobengemeinschaft verursacht der Biofilm Karies und Entzündungen an der Zahnwurzel. Empa-Forschende ergründen die Mechanismen dieser erfolgreichen Lebensgemeinschaften und entwickeln biomedizinische Materialien, um den Krankheitserregern Einhalt zu gebieten.

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



Bild: nachkoloriert, Flavia Zuber, Empa

EIN KINDERBUCH FÜR EINE NACHHALTIGE ZUKUNFT



FÜR DIE ZUKUNFT
Schulkinder und Forschende erarbeiten gemeinsam ein Kinderbuch über Kreislaufwirtschaft.

Klimakrise, Verlust der Biodiversität, wachsende Müllberge, schwindende Ressourcen: Unser gemeinsames Zuhause steckt in einer Krise. Die Forschung sagt uns, was wir für den Aufbau einer nachhaltigen Gesellschaft tun müssen: den Ressourcenverbrauch begrenzen, Materialien in der Technosphäre zirkulieren lassen und nachhaltige Stoffkreisläufe mit erneuerbarer Energie versorgen. Die Bedingungen, Wege und Möglichkeiten sind jedoch nicht sehr greifbar. Um das zu ändern, suchten sich Forschende der Empa ganz besondere Kollaborationspartner: Schulkinder. Begleitet von der Pädagogischen Hochschule St. Gallen (PHSG) wollen sie gemeinsam mit Primarschülerinnen und -schülern Visionen für eine nachhaltige Zukunft entwickeln und in einem illustrierten Kinderbuch festhalten. Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) unterstützt das Projekt im Rahmen seines Agora-Programms zusammen mit dem Haushaltsgerätehersteller V-Zug und dem Wirtschaftsverband SWICO.

www.empa.ch/web/s506

«BRIGHT MINDS»: HELLE KÖPFE AN DER EMPA



DIE MENSCHEN DAHINTER
Die neue Videoserie «Bright Minds» gibt Einblicke in die persönliche Reise der Empa-Forschenden.

Bahnbrechende Lösungen für die drängenden gesellschaftlichen Herausforderungen zu entwickeln, ist nicht einfach. Empa-Forschende stellen sich dieser Aufgabe – und dies äusserst erfolgreich. Daher möchten wir künftig vermehrt die Gesichter hinter den neuartigen Materialien und Technologien, die an der Empa entwickelt werden, ins Rampenlicht zu rücken: Die neue Videoserie «Bright Minds: Starke Ideen. Smarte Materialien» gibt Einblicke in die persönliche Reise unserer Forschenden – von der Entdeckung bis hin zur Umsetzung in praktische Anwendungen. Die Videos beleuchten zudem, wie interdisziplinäre Teamarbeit an der Empa Innovationen hervorbringt. «Bright Minds» startet im Mai 2023 mit Mirko Kovac und Evgeniia Gilshtein zum Thema «Sustainability Robotics».

www.empa.ch/bright-minds

Foto: Pixabay, Grafik: Empa

Foto: PNR/PEV, Illustration: iStock

NEUE TECHNOLOGIE REVOLUTIONIERT ANALYSE VON ALTEM EIS



GEFRORENE GESCHICHTE
Das 1.5 Millionen Jahre alte Eis enthält Luftbläschen aus der Vergangenheit und ist somit ein wichtiges Klimaarchiv.

Das Projekt «Beyond EPICA – Oldest Ice», ein europäisches Konsortium, an dem auch die Universität Bern beteiligt ist, will 1.5 Millionen Jahre altes Eis aus der Antarktis analysieren, um Daten über Klimageschichte der Erde zu gewinnen. Solche Eiskerne sind ein wichtiges Klimaarchiv. Sie enthalten Luftbläschen, in denen die Treibhausgaskonzentrationen der Vergangenheit direkt messbar ist. Diese Messung ist allerdings nicht trivial: In nur einem Meter Eiskern sind 15'000 bis 20'000 Jahre Klimageschichte komprimiert. Gemeinsam mit der Universität Bern haben Empa-Forschende eine neue Methode entwickelt, um solch altes Eis präzise zu analysieren. Das Team um Lukas Emmenegger, Leiter der Empa-Abteilung «Luftfremdstoffe/Umweltechnik», hat dazu ein neues Laserspektrometer entwickelt, das Treibhausgase an einer Probe von lediglich 1.5 Milliliter Luft messen kann.

www.empa.ch/web/s503

COMPUTERKOMPONENTEN NACH DEM VORBILD VON GEHIRNZELLEN

Forschende der Empa, der ETH Zürich und des «Politecnico di Milano» entwickeln ein neuartiges Computerbauteil, das leistungsfähiger und einfacher in der Herstellung ist als seine Vorgänger. Das Besondere daran: Es soll nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns grosse Datenmengen schnell und energieeffizient verarbeiten. Dieser sogenannte Memristor basiert auf Halogenid-Peroxit-Nanokristallen, einem Halbleitermaterial, das aus der Herstellung von Solarzellen bekannt ist. Die Forschenden stellten die Dünnschicht-Memristoren im «Thin Films and Photovoltaics Laboratory» her und untersuchten deren physikalischen Eigenschaften im «Transport at Nanoscale Interfaces Laboratory» der Empa. Basierend auf den Messresultaten simulierten sie daraufhin erfolgreich eine komplexe Rechenaufgabe, die einem Lernprozess im visuellen Cortex des Gehirns entspricht.



UNÜBERTROFFENE LEISTUNG
Noch arbeitet kein Computer so energieeffizient wie das menschliche Gehirn.

www.empa.ch/web/s207

DER CHAMÄLEON-EFFEKT

Mittels 3D-Druck biologisch abbaubare Sensoren und Farbdisplays herstellen? Ein Material, mit dem genau das möglich ist, haben Forschende aus dem Empa-Labor «Cellulose & Wood Materials» auf Basis von Cellulose entwickelt. Das Gemisch aus Hydroxypropyl-Cellulose, Wasser, Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Cellulose-Nanofasern verändert je nach Temperatur und Dehnung seine Farbe – und dies ganz ohne Zusatz von Pigmenten.

Text: Anna Ettlin



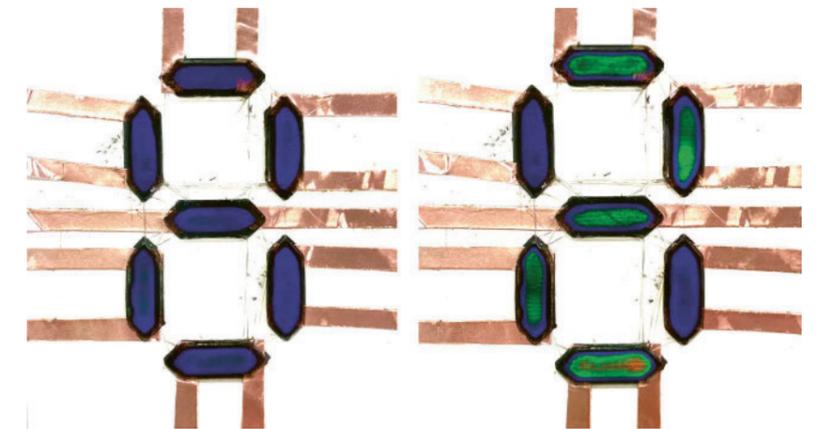
FARBENFROHE CELLULOSE

Das 3D-gedruckte Empa-Logo aus dem neuartigen HPC-Gemisch wechselt die Farbe, wenn es sich erwärmt.

Ein elastisches Material, das seine Farbe verändert, Strom leitet, sich 3D-drucken lässt und dazu noch biologisch abbaubar ist? Das ist nicht bloss eine Wunschvorstellung der Wissenschaft: Genau diese «eierlegende Wollmilchsau» haben Empa-Forschende aus dem Labor «Cellulose & Wood Materials» in Dübendorf auf Basis von Cellulose und Kohlenstoff-Nanoröhrchen hergestellt.

Als Ausgangsstoff diente den Forschenden Hydroxypropyl-Cellulose (HPC), die unter anderem als Hilfsstoff in Pharmazeutika, Kosmetikartikeln und Lebensmitteln eingesetzt wird. Eine Besonderheit von HPC ist, dass sie nach Zugabe von Wasser Flüssigkristalle bildet. Diese Flüssigkristalle haben eine bemerkenswerte Eigenschaft: Je nach Kristallstruktur – die unter anderem abhängig ist von der HPC-Konzentration – schillern sie in den unterschiedlichsten Farben – obwohl sie eigentlich farb- bzw. pigmentlos sind. Dieses Phänomen nennt sich strukturelle Färbung und ist aus der Natur bekannt: Pfauenfedern, Schmetterlingsflügel und die Haut des Chamäleons erhalten ihre bunte Färbung ganz oder teilweise nicht durch Farbstoffe, sondern durch mikroskopische Strukturen, die das einfallende (weisse) Tageslicht in seine Spektralfarben «aufspalten» und nur bestimmte Wellenlängen – sprich: Farben – reflektieren.

Die strukturelle Farbe von HPC verändert sich indes nicht nur mit der Konzentration, sondern auch mit der Temperatur. Um diese Eigenschaft besser ausnutzen zu können, setzten die Forschenden um Gustav Nyström der Mischung aus HPC und Wasser noch 0.1 Massenprozent Kohlenstoff-Nanoröhrchen zu. Dies macht die Flüssigkeit elektrisch leitfähig und ermöglicht es den Forschenden, die Temperatur – und somit die Farbe der Flüssigkristalle – durch das Anlegen



BIOLOGISCH ABBAUBAR

Das Display besteht aus sieben leitfähigen Segmenten, die ihre Farbe durch Stromwärme verändern.

einer elektrischen Spannung zu steuern. Bonus: Der Kohlenstoff fungiert als Breitbandabsorber, der die Farben intensiver macht. Mit einem weiteren Zusatz, eine kleine Menge an Cellulose-Nanofasern, gelang es Nyströms Team ausserdem, die Mischung 3D-druckbar zu machen, ohne Färbung und Leitfähigkeit zu beeinträchtigen.

NACHHALTIGE SENSOREN UND DISPLAYS

Mittels 3D-Druck stellten die Forscher unterschiedliche Anwendungsbeispiele aus der neuartigen Cellulosemischung her. Darunter etwa einen Dehnungssensor, der seine Farbe je nach mechanischer Verformung verändert, sowie ein einfaches Display aus sieben elektrisch gesteuerten Segmenten. «Wir haben in unserem Labor bereits unterschiedliche elektronische Komponenten auf der Basis von Cellulose entwickelt, etwa Batterien und Sensoren», sagt Xavier Aeby, Co-Autor der Studie. «Das ist nun das erste Mal, dass wir auch ein Display auf Cellulose-Basis entwickeln konnten.»

In Zukunft könnte die Cellulose-basierte Tinte zahlreiche ganz unterschiedliche Anwendungen finden, etwa für Temperatur- und Verformungssensoren, zur

Kontrolle der Lebensmittelqualität oder für die biomedizinische Diagnose. «Nachhaltige Materialien, die sich 3D-drucken lassen, sind von grossem Interesse, unter anderem für Anwendungen in biologisch abbaubarer Elektronik und für das Internet der Dinge», sagt Laborleiter Nyström. «Es gibt noch viele offene Fragen dazu, wie strukturelle Färbung überhaupt entsteht und wie sie sich durch unterschiedliche Zusatzstoffe oder durch Umwelteinflüsse verändern lässt.» Dem will Nyström mit seinem Team weiter nachgehen in der Hoffnung, noch weitere interessante Phänomene und Anwendungsmöglichkeiten zu entdecken. ■

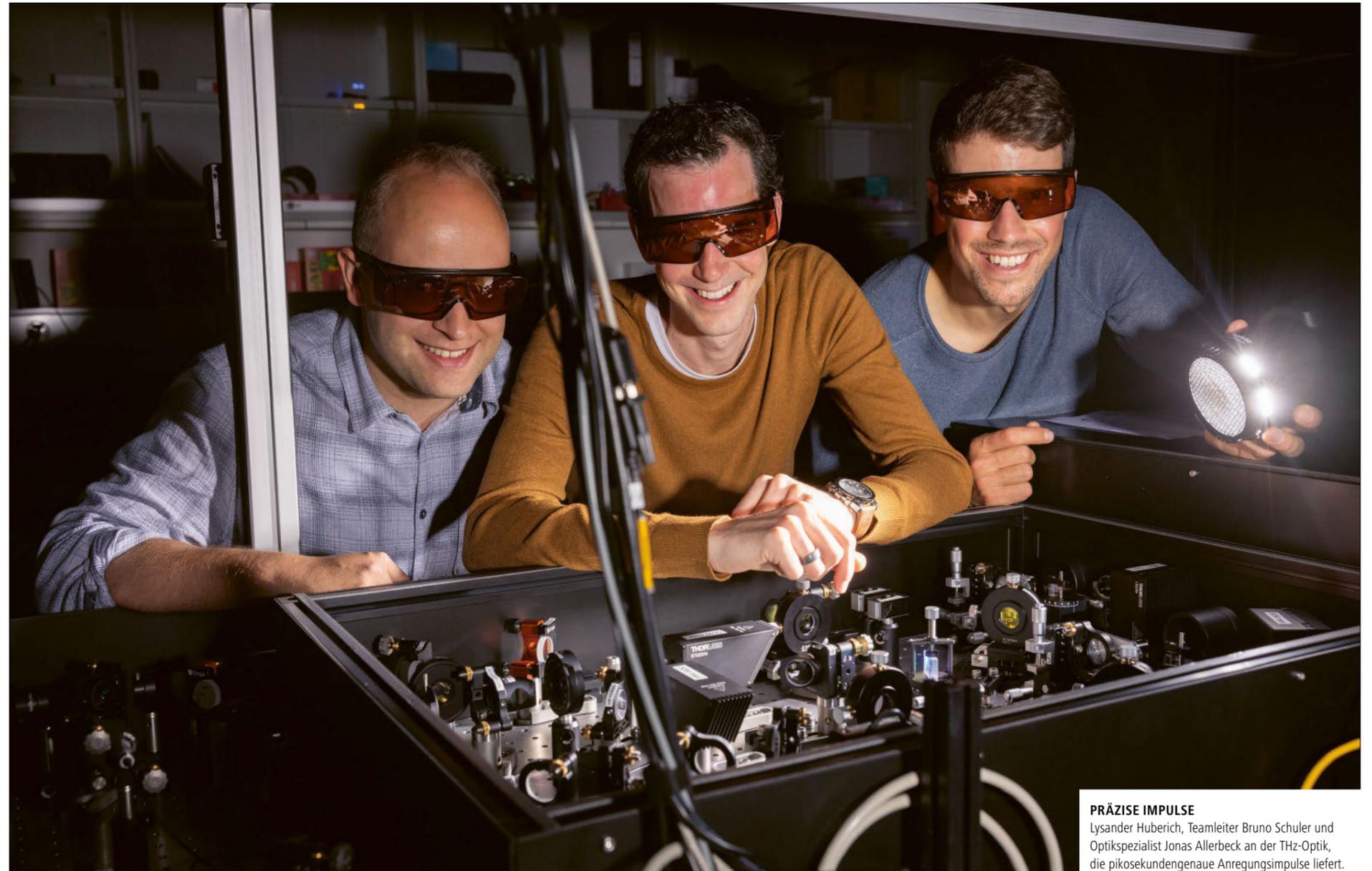
Fotos: Empa

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

MEISTER DER DEFEKTE

Bruno Schuler startet mit seinem jungen Team ein ehrgeiziges Forschungsprojekt: Er wird atomlagendünne Halbleiterschichten gezielt mit Defekten versehen und versuchen, deren Quanteneigenschaften mit Pikosekunden zeitlicher Auflösung und zugleich aufs Atom genau zu messen und zu kontrollieren. Daraus soll Grundlagenwissen für künftige Quantencomputer entstehen.

Text: Rainer Klose



PRÄZISE IMPULSE

Lysander Huberich, Teamleiter Bruno Schuler und Optikspezialist Jonas Allerbeck an der THz-Optik, die pikosekundengenaue Anregungsimpulse liefert.

Der Begriff Molybdändisulfid kommt manchen Autofahrern und Mechanikern vielleicht bekannt vor. Kein Wunder: Der Stoff, den der US-Chemiker Alfred Sonntag in den 1940er-Jahren entdeckte, wird bis heute als Hochleistungsschmiermittel in Motoren und Turbinen, aber auch bei Bolzen und Schrauben eingesetzt. Das liegt an der speziellen, chemischen Struktur dieses Feststoffs, dessen einzel-

ne Materialschichten gegeneinander leicht verschiebbar sind. Molybdändisulfid (chemisch MoS_2) schmiert aber nicht nur gut, sondern es ist auch möglich, eine einzelne atomare Schicht dieses Materials abzublättern oder synthetisch auf Wafer-Skala wachsen zu lassen. Die kontrollierte Isolation einer MoS_2 -Monolage gelang erst vor einigen Jahren, gilt jedoch schon heute als ein materialwissenschaftlicher Durchbruch mit enormem technologischen Poten-

tial. Mit genau dieser Materialklasse will das Empa-Team nun arbeiten.

Die Schichtstruktur aus einzelnen Atomlagen macht diesen Stoff interessant für Physiker auf der Suche nach Basismaterialien für Nanocomputer der nächsten Generation. MoS_2 - und seine chemischen Verwandten, die sogenannten Übergangsmetall-Dichalcogenide (TMDs) – sind eines der «heissesten» Themen in einer ganzen Reihe von zwei-

dimensionalen (2D) Materialien. TMDs sind 2D-Halbleiter und haben eine direkte Bandlücke, jedoch nur, wenn sie als Monolage vorliegen, was sie besonders für ultimativ miniaturisierte elektronische Schaltkreise oder optische Detektoren interessant macht. Die robusten quantenmechanischen Eigenschaften von 2D-Materialien werden auch intensiv für die Nutzung in der Quantenmesstechnik, Quantenkryptographie und Quanteninformationstechnologie erforscht. ▶

Foto: Gian Vaiti, Empa

Dabei kommt es nicht nur aufs Grundmaterial, sondern vor allem auf das Management der Defekte an: Analog zur Dotierung von «klassischen» Halbleitern in integrierten Schaltkreisen oder Fremddionen in Festkörperlasern, sind atomare Defekte «das Salz in der Suppe», speziell bei 2D-Materialien, so Schuler.

HAUCHDÜNNE QUANTENCOMPUTER?

Der Empa-Forscher will atomare Defekte in TMDs mit Hilfe eines neuartigen Messinstruments charakterisieren und deren Eignung als sogenannte Quantenemitter untersuchen. Quantenemitter bilden die Schnittstelle zwischen zwei Welten: dem Elektronenspin – das quantenmechanische Pendant zum Drehmoment des Elektrons – der sich zum Verarbeiten von Quanteninformation eignet, und Photonen, also Lichtteilchen, mit deren Hilfe man Quanteninformationen über weite Strecken verlustfrei übertragen kann. 2D-Materialien bieten den grossen Vorteil, dass die relevanten Energieskalen viel grösser sind als bei 3D-Materialien, so dass man die Technologie voraussichtlich auch oberhalb von kryogener Umgebung – im Idealfall sogar bei Raumtemperatur – nutzen kann. Zudem liegen die Defekte gezwungenermassen an der Oberfläche des 2D-Materials, wodurch sie viel einfacher auffindbar und manipulierbar sind.

Doch zunächst gilt es, die Defekte in der zweidimensionalen MoS₂-Schicht aufzuspüren und deren elektronische und optische Eigenschaften präzise zu untersuchen. Präzise, das heisst in diesem Fall: Der untersuchte Ort wird auf ein Angström genau erkundet. Zum Vergleich: 1 Angström verhält sich zu einem Meter wie 4 cm zur Distanz Erde-Mond (400'000 km). Und der Schnappschuss, mit dem die elektronische Anregung des Quantenpunkts aufgezeichnet wird, muss auf eine Pikosekunde (ps) genau sein – 1 ps ist ein so kleiner Bruchteil

«Wir beobachten in diesem Projekt zum ersten Mal Dinge, die vorher noch kein Mensch gesehen hat.»

einer Sekunde wie 2 Tage im Vergleich zum Alter des Planeten Erde (5 Mrd. Jahre). Diese ultrakurzen und atomgenauen Messungen liefern dann ein sehr detailliertes Bild davon, welche dynamischen Prozesse sich auf atomarer Skala abspielen und was diese Prozesse beeinflusst.

EINE APPARATUR AUS ZWEI HÄLFTEN

Die Apparatur, in der die Experimente stattfinden sollen, steht bereits in einem Raum im Untergeschoss des Laborgebäudes der Empa in Dübendorf – dort, wo der Boden mechanisch am stabilsten ist. «Wir haben über eineinhalb Jahre Vorbereitungs- und Entwicklungsarbeit investiert, um unseren Versuchsaufbau fertigzustellen», erläutert Bruno Schuler. «Im Oktober 2022 haben wir die beiden Hälften unserer Anlage miteinander verbunden und konnten erstmalig Lichtwellen-induzierte Ströme messen. Das Prinzip funktioniert! Ein riesiger Meilenstein in dem Projekt.»

Die beiden Hälften, mit denen Schulers Team nun arbeiten wird, das ist einerseits ein Rastertunnelmikroskop (STM). Mit einer ultradünnen Spitze wird die atomare Oberfläche des Versuchsobjekts gescannt. An einer Defektstelle, also einer Fehlstelle oder einem «fremden» Atom in der Struktur, positionieren die Wissenschaftler die Spitze für den Versuch.

Dann kommt die zweite Hälfte der Anlage zum Einsatz, die Schulers Kollege Jonas Allerbeck aufgebaut hat: Ein 50-Watt-Infrarotlaser schiebt ultrakurze Laserimpulse auf einen optisch nichtlinearen Lithiumniobat-Kristall. Dadurch wird

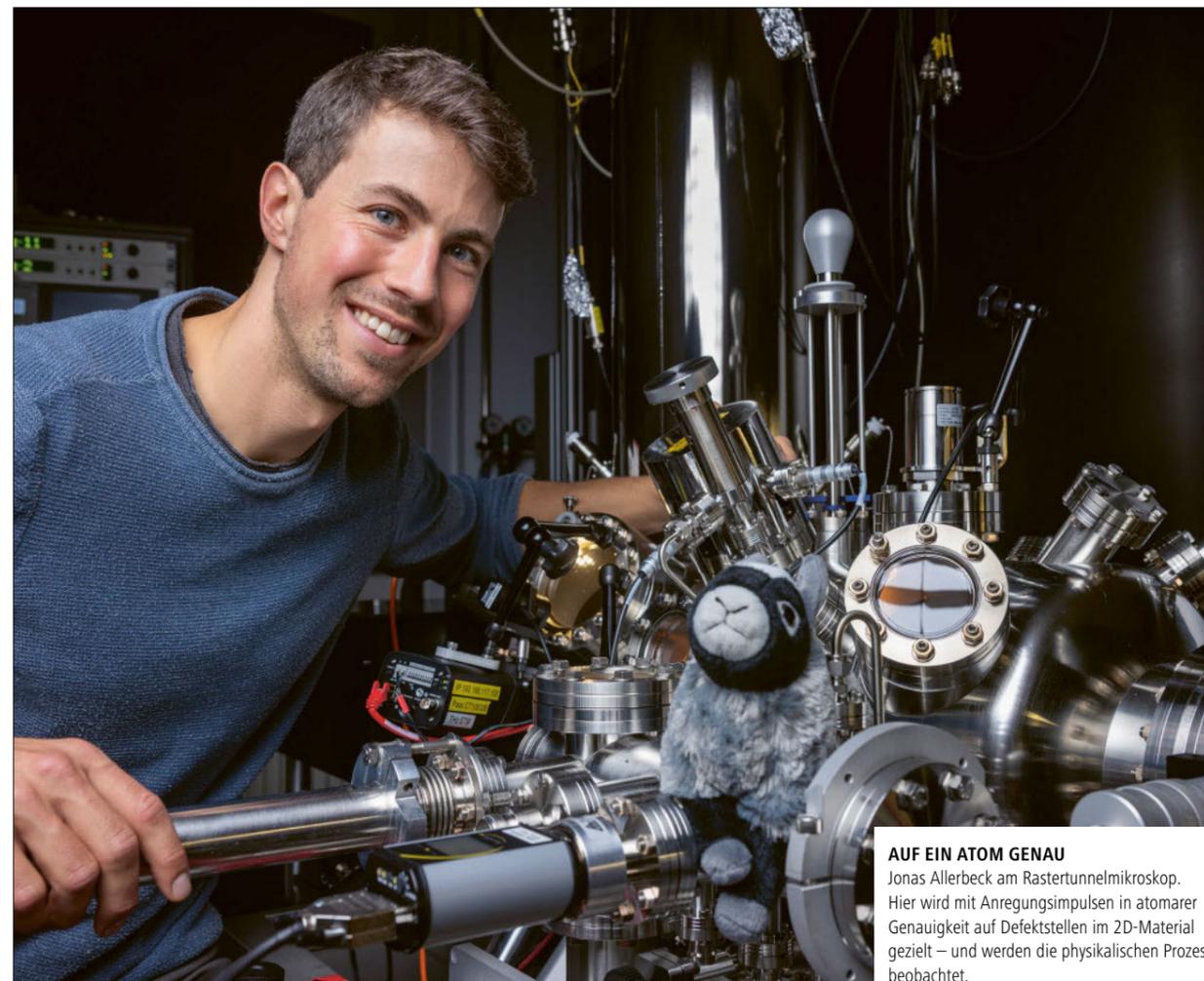
ein phasenstabiler elektromagnetischer Impuls im Terahertz-Frequenzbereich erzeugt. Dieser Impuls hat die Besonderheit, dass er nur eine einzige Lichtschwingung lang ist und mit spezieller Optik in ein Paar aus Anrege- und Abtastimpuls aufgeteilt werden kann – die beide mit variabler Verzögerung aufeinanderfolgen und auf stroboskopische Art die Elektronendynamik messen können.

EIN ELEKTRON «HÜPFT» AUF DIE DEFECTSTELLE

Die beiden Impulse werden nun ins STM hineingeschickt und zur Probenspitze gelenkt. Der erste Impuls löst ein Elektron von der Spitze ab, das auf die Defektstelle der zweidimensionalen MoS₂-Schicht «hüpft» und dort eine elektronische Anregung auslöst. «Das kann entweder eine elektrische Ladung, eine Spin-Anregung, eine Gitterschwingung oder ein Elektronen-Loch-Paar sein, das wir dort erzeugen», erläutert Schuler. «Mit dem zweiten Impuls schauen wir uns dann einige Pikosekunden später an, wie unsere Defektstelle auf den Anregimpuls reagiert hat, und können so Dekohärenzprozesse und Energieübertragung in das Trägermaterial untersuchen.»

Auf diese Weise kombiniert Schuler als einer von nur wenigen Spezialisten weltweit Pikosekunden-kurze Zeitauflösung mit einer Methode, die einzelne Atome «sehen» kann. Dabei nutzt das Team die intrinsische Lokalisierung der Zustände in dem 2D-Materialsystem, um die Anregungen länger an einem Ort festzuhalten. «Das ultraschnelle Lichtwellen-Rastersondenmikroskop eröffnet uns faszinierende, neue Einblicke in quantenmechanische Prozesse auf atomarer Skala, und 2D-Materialien sind eine einzigartige Materialplattform, um diese Zustände kontrolliert zu erzeugen», sagt der Empa-Forscher.

Foto: Gian Vaiti, Empa



AUF EIN ATOM GENAU

Jonas Allerbeck am Rastertunnelmikroskop. Hier wird mit Anregungsimpulsen in atomarer Genauigkeit auf Defektstellen im 2D-Material gezielt – und werden die physikalischen Prozesse beobachtet.

EIN «ERC STARTING GRANT»

Bruno Schuler und sein Team, der Optikspezialist Jonas Allerbeck und der Doktorand Lysander Huberich, der am Rastertunnelmikroskop arbeitet, werden von Fördergeldern des «European Research Council» unterstützt. Der «ERC Starting Grant» fördert besonders talentierten Wissenschaftsnachwuchs – die «Champions League» der europäischen Forschungsgemeinschaft. Schuler brachte beste Voraussetzungen mit: Er studierte Physik an der ETH Zürich und spezialisierte sich in seinem Doktorat an der Geburtsstätte der Rastertunnelmikroskopie, dem IBM-Forschungslabor in Rüschlikon. Als Postdoc und später als Gruppenleiter am «Lawrence Berkeley National

Lab» in den USA forschte er zum ersten Mal an 2D-Materialien und koordinierte ein internationales Forschungsteam.

Diese Erfahrung will er nun einsetzen, um die Empa als Forschungsstandort für Quantennanotechnologie zu stärken und weiterzuentwickeln. «Wir haben das Privileg, mit diesem Projekt wissenschaftliches Neuland zu betreten und zum ersten Mal Dinge zu beobachten, die vorher noch kein Mensch gesehen hat», so Schuler. An der Empa ist Bruno Schulers Forschungsgruppe Teil des «nanotech@surfaces»-Labors unter Leitung von Roman Fasel. Die international renommierte Gruppe forsch an Quanteneffekten in niederdimensionalen organischen und anorganischen Nanostrukturen, die eine Grundlage für Quantencomputer der nächsten Generation bilden könnten. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s205/2d-quantum-materials

Feuer

Ungezügnete Buschbrände oder brennende Gebäude – die Zerstörungskraft von Feuer ist enorm. Ihm entgegenzutreten, bedeutet für Feuerwehrleute, immer wieder ihr Leben zu riskieren. Dank hitzeresistenter Materialien kann die «FireDrone» einen Brandherd unbeschadet aus nächster Nähe untersuchen. Den Feuerwehrleuten kann der Flugroboter entscheidende Informationen liefern, um die Einsatzstrategie zu optimieren (Seite 16). Auch dort, wo zerstörte Gebäude repariert oder ersetzt werden müssen, können Drohnen mitwirken: Als Schwarm kooperativer Roboter können sie Strukturen vor Ort im 3D-Druckverfahren erstellen und die Bauarbeiten unterstützen.

Mehr Informationen



Luft

Neue Inspektionsdrohnen erkunden den Zustand von Infrastrukturen wie Windrädern und Brücken aus der Luft. Für stationäre Messungen über einen längeren Zeitraum können sie sich vor Ort niederlassen und energiesparender arbeiten. Für komplexe Umweltbedingungen wird zudem derzeit die «ProteusDrone» aus flexiblen und intelligenten Materialien entwickelt. Sie wird ihre Gestalt verändern können – ähnlich dem Meeresherrn Proteus aus der griechischen Mythologie, der als Meister der Verwandlung gilt. Dies soll den Einsatz der Drohne in schwierigen Umgebungen wie der Arktis ermöglichen. Sie nutzt das Element Luft nicht nur zum Fliegen, sondern auch zum Segeln auf der Wasseroberfläche. Als echte Verwandlungskünstlerin wird die ProteusDrone sogar tauchen lernen.

Mehr Informationen



Drohnen in ihrem Element

Ein ganzes Drohnen-Universum entwickeln die Forschenden des «Sustainability Robotics»-Labors der Empa gemeinsam mit dem Aerial Robotics Laboratory des Imperial College London. Diese Drohnen können nicht nur fliegen, sie können auch schwimmen, tauchen und der Feuerwehr unter die Arme greifen. Die nachhaltigen Roboter sollen dank biologisch inspirierter Eigenschaften und smarter Materialien die digitale Intelligenz von Computern mit der physischen Intelligenz biologischer Systeme verbinden. Ob Feuer, Wasser, Erde oder Luft – diese Drohnen sind immer in ihrem Element.

Wasser

Die «MEDUSA»-Drohne hilft, das Auftreten von giftigen Blaualgen vorherzusagen oder die Wasserqualität in Gebirgsseen zu überwachen. Das Fluggerät landet auf dem Wasser und entlässt eine mobile Unterwasserkapsel mit Kamera und Sensoren, die Wasserproben aus bis zu zehn Metern Tiefe entnimmt. Ziel ist es, Informationen zu globalen Klimaveränderungen zu sammeln, indem Daten zu Wassertemperatur, Strömungen, Salz- und Säuregehalt selbst aus schwer zugänglichen Regionen aufgezeichnet werden.

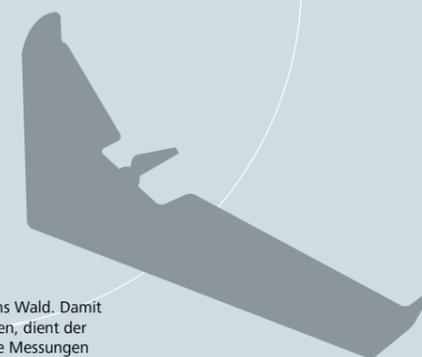
Mehr Informationen



Erde

Der Zustand des Bodens ist ein wichtiger Indikator für die Gesundheit des Ökosystems Wald. Damit Daten selbst aus unzugänglichen Regionen wie Urwäldern analysiert werden können, dient der Bio-Gleiter (Seite 24) als nachhaltige und kostengünstige Lösung. Nachdem er seine Messungen vorgenommen hat, wird er von Bodenmikroben zersetzt. Unterstützt wird der Bio-Gleiter von einem Flugroboter à la Robin Hood: Die Drohne, die mit Sensorpfeilen ausgerüstet ist, kann Umweltdaten aus weiter oben gelegenen Schichten des Waldes liefern. Sie feuert ihre Sensorpfeile präzise in die Stämme, von wo aus die Sensoren Temperatur, Luftqualität und Feuchtigkeitsgehalt der Umgebung ermitteln können. Künftig sollen zudem Schädlingsbefall, Waldbrände, der Einfluss menschlicher Aktivität auf den Wald und das Verhalten von Wildtieren überwacht werden.

Mehr Informationen



SIE GEHT FÜR UNS DURCHS FEUER

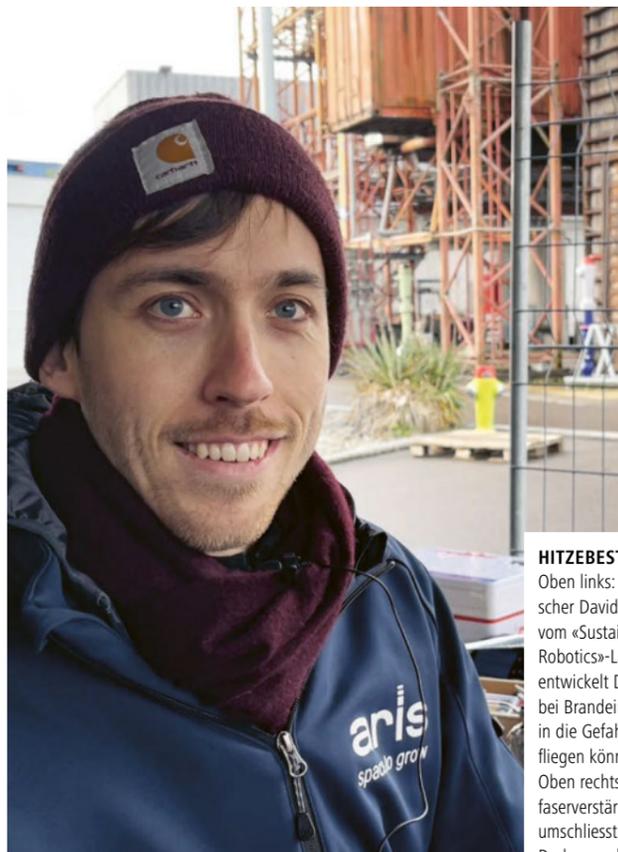
Empa-Forschende entwickeln eine hitzeresistente Drohne, die bei einem Brand den Gefahrenherd aus nächster Nähe analysieren kann. So können Feuerwehrleute die Strategie eines Hochrisiko-Einsatzes optimieren, bevor sie die Gefahrenzone betreten.

Text: Andrea Six



Foto: Empa

FEUERFLUG
Auf dem Testgelände des Ausbildungszentrums Andelfingen des Kantons Zürich kann die «FireDrone» in einer möglichst realen Situation ihr Können beweisen.



HITZEBESTÄNDIG

Oben links: Drohnenforscher David Häusermann vom «Sustainability Robotics»-Labor der Empa entwickelt Drohnen, die bei Brandeinsätzen mitten in die Gefahrenzone fliegen können. Oben rechts: Das glasfaserverstärkte Aerogel umschliesst das Herz der Drohne und schützt damit die Stromversorgung und die Elektronik vor Hitze. Unten: Die «FireDrone» kann dank ihres isolierenden Mantels aus Aerogel bei einem Brandeinsatz Daten aus dem Brandgeschehen selbst bei grosser Hitze erfassen und weiterleiten.



Wo andere rausrennen, müssen sie hinein: Feuerwehrleute begeben sich bei Rettungseinsätzen in gefährliche Situationen – mitunter mitten ins Flammenmeer. Im vergangenen Jahr rückten die schweizerischen Feuerwehren für rund 12'660 Einsätze zur Brandbekämpfung aus. Da in einem brennenden Gebäude tödliche Temperaturen von rund 1'000 Grad Celsius herrschen können, gilt es, jedes unnötige Risiko zu vermeiden. Flugroboter könnten derartige Einsätze unterstützen: Empa-Forscher entwickeln derzeit eine hitzeresistente Drohne, die erste Daten aus dem Gefahrenherd liefern kann. Auf Basis dieser Informationen können die Männer und Frauen des Einsatzteams ihre Strategie optimieren, bevor sie sich ins Inferno wagen.

ZU HEISS FÜR NORMALE DROHNEN

«Für herkömmliche Drohnen ist die extreme Hitzeentwicklung eines Brandes zu gross», sagt Empa-Forscher David Häusermann vom «Sustainability Robotics»-Labor in Dübendorf. Nah am Feuer schmilzt der Rahmen, und die Elektronik gibt auf. «Mehr als Luftaufnahmen der Brandstelle aus sicherer Entfernung sind mit handelsüblichen Drohnen nicht möglich», so Häusermann. Das Ziel des Robotik-Forschers war es daher, eine Drohne zu entwickeln, die der Hitze standhält und so schnell und präzise Daten aus dem Zentrum des Gefahrenherds liefern kann.

ULTRALEICHT UND HART IM NEHMEN

Häusermann ermittelte gemeinsam mit Feuerwehrleuten die Anforderungen einer Drohne im Brandeinsatz und machte sich auf die Suche nach einem Material, das das Herzstück der Drohne – die Motoren, Akkus und die Elektronik – schützend umgeben könnte. Fündig wurde er bei den Kolleginnen und Kollegen des

Empa-Labors «Building Energy Materials and Components»: Die Forschenden um Shanyu Zhao und Wim Malfait konnten ein Isolationsmaterial synthetisieren, das hohen Temperaturen standhält und so die Drohne feuerresistenter macht.

FÜR RAUMANZÜGE GEEIGNET

Es handelt sich um ein Aerogel, ein ultraleichtes Material, das fast vollständig aus luftgefüllten Poren besteht, die von einem Hauch von Polymer-Substanz umschlossen sind. In diesem Fall wählten die Materialforscher ein Aerogel auf Basis eines Polyimid-Kunststoffs. Polyimid-Aerogele werden auch von der NASA etwa für die Isolation von Raumanzügen erforscht. Shanyu Zhao setzte bei der Synthese des Aerogels jedoch nicht auf Polyimid allein: Das Kompositmaterial besteht aus Polyimid und Silica und ist zudem mit Glasfasern verstärkt. «Laboranalysen haben gezeigt, dass dieses vergleichsweise feuerresistente Material sich für den Einsatz in Drohnen besonders gut eignet», so Aerogel-Forscher Zhao.

FLUG INS INFERNO

Bei ersten Tests in der Flugarena der Empa in Dübendorf schnitt der Prototyp der «FireDrone» bereits gut ab. Die Flugeigenschaften und die Steuerbarkeit der rund 50 Zentimeter grossen Drohne waren auch mit Aerogel-Isolationsmantel hervorragend. Das Design konnte in dieser «Trockenübung» überzeugen.

Ob das Fluggerät aber auch die Feuerprobe bestehen würde, mussten Versuche unter möglichst realen Bedingungen zeigen, die typisch für einen Brandeinsatz sind. Das Empa-Team konnte ein derartiges «real-life Szenario» auf dem Trainingsgelände des Ausbildungszentrum Andelfingen nutzen. Während Stefan Keller, Ausbildungskoordinator Feuerwehr der Gebäudeversicherung des Kantons Zürich, mit der Logistik-Crew des Ausbildungszentrums ein Gasfeuer

in einer überdimensionalen Metallschale entfachten, steuerten die Drohnenpiloten ihr Gerät mitten ins Inferno.

Das Ergebnis: Der «FireDrone»-Prototyp überstand mehrere Testflüge. Zufrieden zieht Drohnenforscher Häusermann Bilanz: «Auch nach mehreren Flügen ist die Elektronik der «FireDrone» unbeschadet und bereit für weitere Tests.» Ein nächster Schritt wäre nun, die «FireDrone» in einem Feuer zu testen, das anders als die vergleichsweise saubere Gasflamme eine starke Russentwicklung zeigt.

Künftig könnte die «FireDrone» beispielsweise mit einer Wärmebildkamera filmen oder Sensormessungen zu Gas- und Rauchbeschaffenheit übermitteln, die eine bessere Risikoabschätzung erlauben. Auch Feuerwehr-Experte Stefan Keller ist von den Ergebnissen beeindruckt: «Macht eine Drohne die erste Lageerkundung, müssen wir die Feuerwehrleute nicht sofort in die Gefahrenzone schicken. Für uns ist dieser Fortschritt enorm interessant».

Fotos: Empa

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s799 // www.empa.ch/web/s312



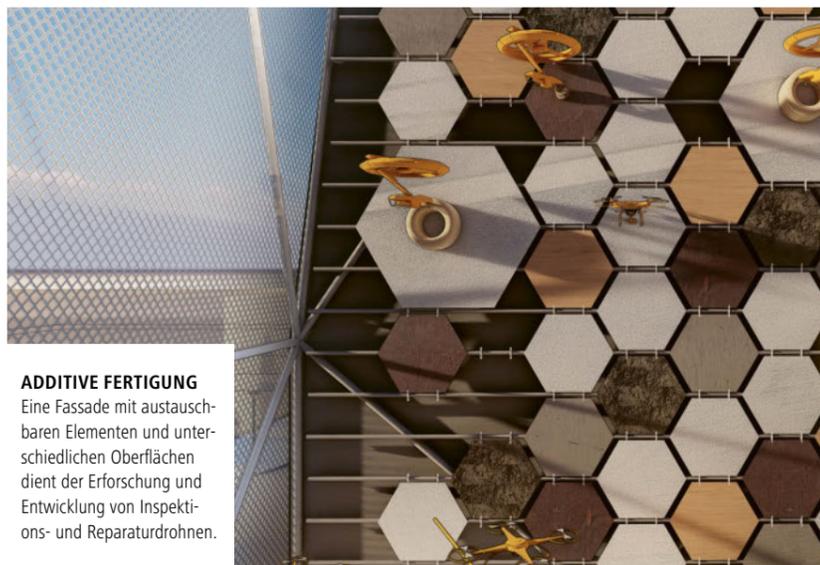
MENSCH UND MASCHINE
Im «DroneHub» im NEST sollen zusammen mit der Industrie die Weichen für eine künftige Koexistenz von Menschen und Drohnen gestellt werden.

EINE VOLIERE FÜR DROHNENFORSCHUNG

Sie warten und reparieren Gebäude, observieren Naturphänomene und transportieren Güter: Drohnen und Roboter können in unserem Leben künftig eine grosse Rolle spielen. Mit dem «DroneHub» soll im Forschungs- und Innovationsgebäude NEST auf dem Empa-Campus in Dübendorf eine Art Voliere geschaffen werden, in der Empa-Forschende das Zusammenspiel von Drohnen, Infrastruktur und Natur gemeinsam mit industriellen und akademischen Partnern erforschen und weiterentwickeln.

Text: Stephan Kälin

Illustration: Empa



ADDITIVE FERTIGUNG
Eine Fassade mit austauschbaren Elementen und unterschiedlichen Oberflächen dient der Erforschung und Entwicklung von Inspektions- und Reparaturdrohnen.



ROBOTISCHE UMWELTSENSORIK
Eine Biosphärenumgebung dient der Erprobung von Sensor- und Drohnentechnologie aus biologisch abbaubaren Materialien.



STANDARDS UND REGELN
Der «DroneHub» will dazu beitragen, Standards für Schnittstellen zwischen Drohnen und Infrastruktur zu definieren.

So wie das Immunsystem unseren menschlichen Körper schützt, so sollen künftig Drohnen unsere Gebäude und unsere Infrastruktur instandhalten. Sie erkennen etwa Schäden und führen selbständig Reparatur- und Unterhaltsarbeiten durch. Dieses Bild zeichnet Drohnenforscher Mirko Kovac, wenn er über seine Vision für das Zusammenspiel von autonomen Flugrobotern und unserer bebauten Umwelt spricht. Der Vergleich mit der Biologie und dem menschlichen Körper kommt nicht von ungefähr: Als Leiter des Empa-Forschungslabors «Sustainability Robotics» und Direktor des «Aerial Robotics Lab» am «Imperial College London» lassen sich Kovac und sein Team in ihrer Forschung von der Natur inspirieren. Dabei entstehen Drohnen, die wie Wasservögel ins Wasser ein- und wieder auftauchen und sich in Sekundenschnelle in die Lüfte erheben, oder solche, die sich an Wänden und Decken anheften und wie Spinnen an dünnen Fäden abseilen. Oder es entstehen ganze Drohnenschwärme, die von Bienenvölkern inspiriert, in Arbeitsteilung und mit 3D-Druckverfahren «bauen» können. Gleichzeitig arbeiten die Forschenden an bio-hybriden Flugrobotern, die sich nach getaner Arbeit in der Natur biologisch zersetzen und keinerlei Spuren hinterlassen.

Solche und andere Drohnensysteme werden heute in den Flugarenen an der Empa in Dübendorf und am «Imperial College London» entwickelt und getestet. Als Ergänzung und um die Entwicklungsbedingungen noch realistischer zu gestalten, soll nun auf dem Forschungs- und Innovationsgebäude NEST eine Voliere entstehen, die als ständige Outdoor-Testumgebung für verschiedene Anwendungen genutzt werden kann. «Mit dem «DroneHub» im NEST wollen wir insbesondere auch die Bedürfnisse der Industrie besser verstehen und in unsere

Forschung einbeziehen», erklärt Kovac und fordert deshalb interessierte Unternehmen explizit zur Zusammenarbeit auf.

3D-DRUCKEN IM FLUG

Der «DroneHub» ist ein Art Käfig mit einer Höhe von bis zu elf Metern und einem Volumen von 1000 Kubikmetern. Er besteht aus einer Röhrenkonstruktion und einem Gitternetz und kommt auf der obersten Plattform von NEST zu liegen – zwischen den beiden bestehenden Units «DFAB HOUSE» und «HiLo». Im Endausbau soll der «DroneHub» Testumgebungen für drei Forschungsfelder bieten. Auf der Nordseite prägt eine experimentelle Fassade das Bild. Die Wand ist mit austauschbaren Elementen mit unterschiedlichen Oberflächen bestückt und dient der Entwicklung von Drohnen, die Inspektions- und Reparaturarbeiten in

«Die Integration von Drohnen in den städtischen Alltag braucht Regeln und technologische Standards.»

der Vertikalen ausführen können. Dazu gehören auch 3D-Druckverfahren aus der Luft – im Fachjargon «Aerial Additive Manufacturing». «Die Drohnen können beispielsweise Risse erkennen und reparieren, ohne dass aufwändige Gerüste nötig sind oder die Sicherheit von Personen gefährdet wird», sagt Kovac. Durch die ständige Einsatzbereitschaft der Drohnen steigt die Geschwindigkeit, mit der Schäden behoben werden können – womit sich mögliche Ausfälle der Infrastruktur minimieren lassen. «Das kann insbesondere für Energieanlagen wie Windturbinen oder Staudämme sehr relevant sein», so der Drohnenexperte. Dadurch, dass sich der «DroneHub» unter freiem Himmel, aber gleichzeitig innerhalb einer Gebäudestruktur befin-

REGION ZÜRICH ÜBERNIMMT FÜHRENDE ROLLE IN DER DROHNENFORSCHUNG

Die Drohnenforschung der Empa ist national und international stark vernetzt – unter anderem durch Kollaborationen mit der EPFL und dem «Imperial College London». Zudem werden sich in den nächsten Jahren auch auf dem nahe gelegenen Innovationspark Zürich Drohnen-Aktivitäten entwickeln. Gefördert von der kantonalen Digitalisierungsinitiative entsteht unter Leitung der Universität Zürich, der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und der Zürcher Hochschule der Künste (ZHdK) eine Testinfrastruktur für autonome Flug- und Fahrzeuge. Langfristiges Ziel des kürzlich gestarteten Projekts mit dem Namen «LINA» ist es, eine Zertifizierungsstelle für kommerziell genutzte Drohnen zu etablieren. Die Empa-Forschenden sind im Austausch mit «LINA», um komplementäre Aktivitäten zu fördern und die Region Zürich zu einem wahren «Hotspot» der schweizerischen Drohnenforschung zu machen.

det, herrschen realistische Bedingungen hinsichtlich Wind und Wetter und der sich daraus ergebenden Turbulenzen.

EINE BIOSPHÄRE FÜR UMWELTSENSORIK

Das zweite Forschungsfeld setzt die Interaktion zwischen Drohnen und der Natur ins Zentrum. Die heutige Klimaforschung ist angewiesen auf Sensor- und Überwachungsdaten aus der Umwelt. «Drohnen sind optimale Datenlieferanten – insbesondere in unwegsamen und weiträumigen Gebieten. Sie können gezielt Sensoren in der Natur platzieren und mit regelmässigen Flügen die Daten ablesen», erklärt Mirko Kovac. Wichtig dabei ist, dass die Sensor- und Drohnensysteme selbst keinen nachteiligen Einfluss auf die Umwelt haben (siehe Seite 24). Und genau darum geht es im

«DroneHub»: In einer natürlich gestalteten Umgebung mit Bäumen und Waldboden lassen sich Tests mit biologisch abbaubaren Drohnen- und Sensormaterialien durchführen. Ein Teil dieser Biosphäre soll zudem als «Gewächshaus» für bio-hybride Roboterstrukturen dienen – also etwa zum Kultivieren von Bauteilen für Drohnen aus nachwachsenden und biologisch abbaubaren Materialien.

REGELN FÜR EINE KOEXISTENZ VON MENSCH UND MASCHINE

Für den dritten Forschungsbereich soll der «DroneHub» um Schnittstellen mit der Aussenwelt ergänzt werden. «Wenn wir uns eine Zukunft vorstellen, in der Drohnen auf natürliche Weise in den städtischen Alltag integriert sind und Roboter und Menschen koexistieren, dann brauchen wir dazu Regeln und technologische Standards», erklärt Kovac. Das beginnt beispielsweise bereits bei den Landeplätzen an oder auf Gebäuden, die von Drohnen autonom angefliegen werden sollen – oder bei Ladestationen, an denen die Transportdrohnen selbständig Energie für den nächsten Flug nachtanken. Im «DroneHub» werden sich die Drohnenforschenden um die Entwicklung und Etablierung von technischen Richtlinien für solche Schnittstellen zwischen Gebäuden und Flugrobotern kümmern – und dazu beitragen, dass ein Zusammenleben von Mensch und Maschine keine «Science Fiction» bleibt. ■

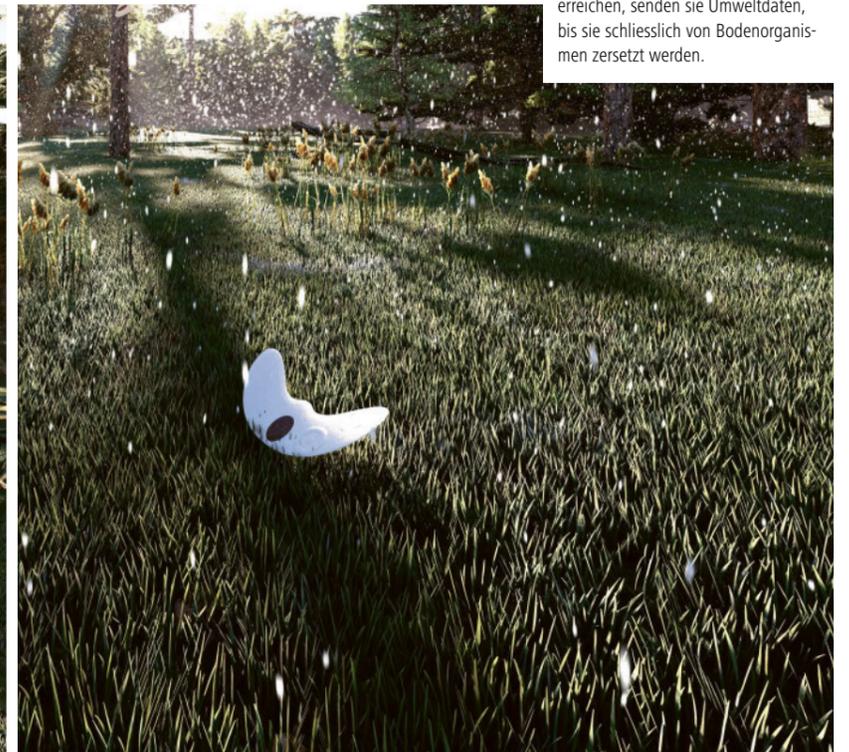
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: nest.empa.ch/drone-hub

Illustrationen: Empa

FEINFÜHLIG, FLEISSIG, VERGÄNGLICH

Sie sollen den Zustand von Ökosystemen, etwa im Waldboden, erfassen – und nach getaner Arbeit zu Staub zerfallen: Bio-Gleiter nach dem Vorbild der Java-Gurke, die ihre Samen meterweit durch die Luft segeln lässt. Empa-Forschende haben die nachhaltigen Flugsensoren aus Kartoffelstärke und Holzabfällen entwickelt.

Text: Andrea Six



NACHHALTIGE FLUGSENSOREN

Bio-Gleiter werden von einer Drohne im Wald verteilt. Wenn sie den Boden erreichen, senden sie Umweltdaten, bis sie schliesslich von Bodenorganismen zersetzt werden.

Alexander von Humboldt, Charles Darwin und Ernest Shackleton machten sich auf zu jahrelangen, entbehrungsreichen Forschungsreisen, um spektakuläre, bislang unbekannte Eindrücke zu sammeln. Den Vorreitern der modernen Umweltbeobachtung sollen heute schnellere, zeitgemässe Datensammler folgen, die wichtige Öko-Parameter in Echtzeit und ohne Risiko aufzeichnen. Empa-Forschende des «Sustainability Robotics»-Labors in Dübendorf entwickeln daher kostengünstige, nachhaltige Sensoren und Fluggeräte, die energiesparend,

engmaschig und autonom auch in unzugänglichen Gebieten Umweltdaten sammeln können, sogenannte Bio-Gleiter. Man nehme: Kartoffeln, etwas Holzabfall und eine Färberflechte.

LACKMUSTEST IM WALD

Wie Blätter im Herbst zu Boden taumeln, so segeln sie leise zum Waldboden: die Bio-Gleiter mit eingebauten Sensoren. Dabei ist das Label «Bio» gleich in zweifacher Hinsicht zutreffend für die schlanken Fluggeräte: Sie sind von der Biologie inspiriert, da sie den Flugsamen der Java-Gurke nachempfunden sind, und sie sind zudem biologisch abbaubar.

Wenn eine Drohne die smarten Sensor-Samen freigesetzt hat, melden sie Daten zu Feuchtigkeit und Säuregrad am Boden bis sie schliesslich zerfallen und eins mit dem Waldboden werden.

Empa-Forscher Fabian Wiesemüller und das Team um Mirko Kovac vom «Sustainability Robotics»-Labor wollen mit den Daten der smarten Samen den Zustand des Waldbodens und sein biologisches und chemisches Gleichgewicht überwachen. Ein erster Sensor dient nun für die Messung des pH-Werts mit einem klassischen Lackmüstest. Hierbei reagiert der aus

Flechten gewonnene Farbstoff auf Säure mit einem Farbumschlag von Violett zu Rot. «Den Farbumschlag des Sensors am Waldboden registriert danach eine Drohne, die das Gebiet überfliegt», erläutert Wiesemüller.

AUFBLÜHENDER SENSOR

Damit der Sensor bis zu seinem Einsatz geschützt ist und nur im entscheidenden Moment Daten sammelt, ist er von einem Schutzfilm überzogen. Hierbei handelt es sich um eine trickreiche «Kontra-Kapuze», die den Sensor freigibt, sobald Regen fällt: In Arbeitspausen nimmt sie eine robuste Schutzhaltung

ein. Sobald der Sensor seinen Einsatz beginnen soll, reagiert der Schutzfilm hingegen sehr empfindlich. Liegt Regen in der Luft, öffnet er sich gleich einer Blüte. Gemeinsam mit dem Team von Gustav Nyström vom «Cellulose & Wood Materials»-Labor der Empa entwickelten die Forschenden diesen Schutzmechanismus auf der Basis von nanofibrillierter Cellulose aus Holzresten, die mit Gelatine zu einem feinen, auf Luftfeuchte reagierenden Polymerfilm verarbeitet wurde. Haben sich die Regenwolken verzogen, schliesst sich die Polymerblüte nach rund 30 Minuten bis zum nächsten Einsatz. Damit sich die «Blüte» symme-

trisch öffnet, ist der Polymerfilm zusätzlich mit einer hauchfeinen Schicht aus Schellack überzogen, einer natürlichen harzartigen Substanz, die von Pflanzenläusen ausgeschieden wird. Sie verhindert, dass sich das Polymermaterial bei Feuchtigkeit ungleichmässig ausdehnt.

AUF DEN SCHWINGEN DER KARTOFFEL

Als Transportvehikel dient dem Biosensor ein Gleiter, dessen Material aus herkömmlicher Kartoffelstärke besteht, vergleichbar mit Esspapier. So lässt sich der Gleiter einfach ausdrücken und in die Gestalt des Java-Gurken-Samens pressen. Das Fluggerät wiegt mitsamt

BIOINSPIRIERTE ROBOTER

Sie sollen Gebäude reparieren und Umweltbelastungen in unzugänglichen Regionen messen – für diese Aufgaben sollen sich die künstlichen Helfer von der Natur inspirieren lassen. Noch müssen die biologisch inspirierten Flugobjekte viel von ihren Vorbildern lernen, um in einer komplexen Umwelt selbstständig agieren zu können. Schliesslich hatte die Natur hunderte Millionen Jahre Zeit, um die Eigenschaften von Lebewesen zu perfektionieren. Für den biologisch abbaubaren Sensor-Gleiter orientierten sich die Empa-Forschenden an der Java-Gurke, *Alsomitra macrocarpa*. Die asiatische Liane lässt ihre Samen mit transparenten Flügeln vom Wind verbreiten. Die smarten Sensor-Samen haben – wie das Original – eine Spannweite von 14 Zentimetern. Anstelle des Samens trägt der Bio-Gleiter einen Sensor für Umweltdaten.

Sensor lediglich 1.5 Gramm und hat eine Spannweite von 14 Zentimetern. «Das biologisch inspirierte Design soll den Gleiter zu einem möglichst langen

Sinkflug befähigen», erklärt Robotik-Forscher Wiesemüller die Wahl der Gleiter-Geometrie. In den Drohnenflugarenas der Empa in Dübendorf und des «Imperial College London» konnte Wiesemüller das Flugverhalten und die Stabilität der ersten Prototypen schliesslich optimieren. In der Flugarena schafft es der Bio-Gleiter, eine Gleitzahl von 6 zu erreichen. Dies entspricht einer horizontalen Distanz von 60 Metern, wenn der Gleiter aus 10 Metern Höhe startet. Erreicht das ultraleichte Messgerät den Boden, beginnt ein Wettlauf mit der Zeit. Während der Sensor bei jedem Regenguss den pH-Wert misst, macht sich die Natur an ihm zu schaffen. Nach sieben Tagen unter Laborbedingungen haben Bodenorganismen bereits die Schwingen zersetzt. Nach weiteren drei Wochen fällt der Sensor auseinander. So finden die natürlichen Bestandteile des Bio-Gleiters zurück in die Natur. Der Säure-Sensor stellt dabei auch nur einen ersten «Proof of Concept» dar, dem weitere Sensortypen folgen sollen, die etwa den Zustand von Bäumen, Gewässern und Böden in Echtzeit ermitteln, so Wiesemüller.

STAUB ZU STAUB

Derzeit gehen die Forschenden noch einen Schritt weiter. Ihr Ziel ist es, die Auswirkungen des Klimawandels auf unterschiedliche Lebensräume mit komplett bioabbaubaren Sensor-Drohnen zu erfassen. Im Sinne einer «digitalen Ökologie» ermöglichen derartige Roboter genaue Vorhersagen zum Zustand der Umwelt und entsprechende Präventionsmassnahmen, um danach in der Natur in ihre Ausgangsmaterialien zu zerfallen. Bislang sind noch nicht alle Teile derartiger Umweltdrohnen in hochwertigen biologisch abbaubaren Ausführungen verfügbar. Die Empa-Forschenden arbeiten nun in interdisziplinären Teams an Flugdrohnen mit einem umweltfreundlichen Gerüst auf der Basis von hochporösen Cellulose- und Gelatinematerialien. Hier fliessen auch die Erkenntnisse aus dem Bio-Gleiter-Projekt ein. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: robotics.empa.ch

**SENSOR-BLÜTE**

Der Schutzfilm aus Nanocellulose über dem Sensor öffnet sich wie eine Blüte, sobald er mit Feuchtigkeit in Berührung kommt – und der Sensor beginnt seine Arbeit. Rechts: Vorbild Flugsamen der Java-Gurke (oben) und smarter Empa-Gleiter mit Sensor (unten).



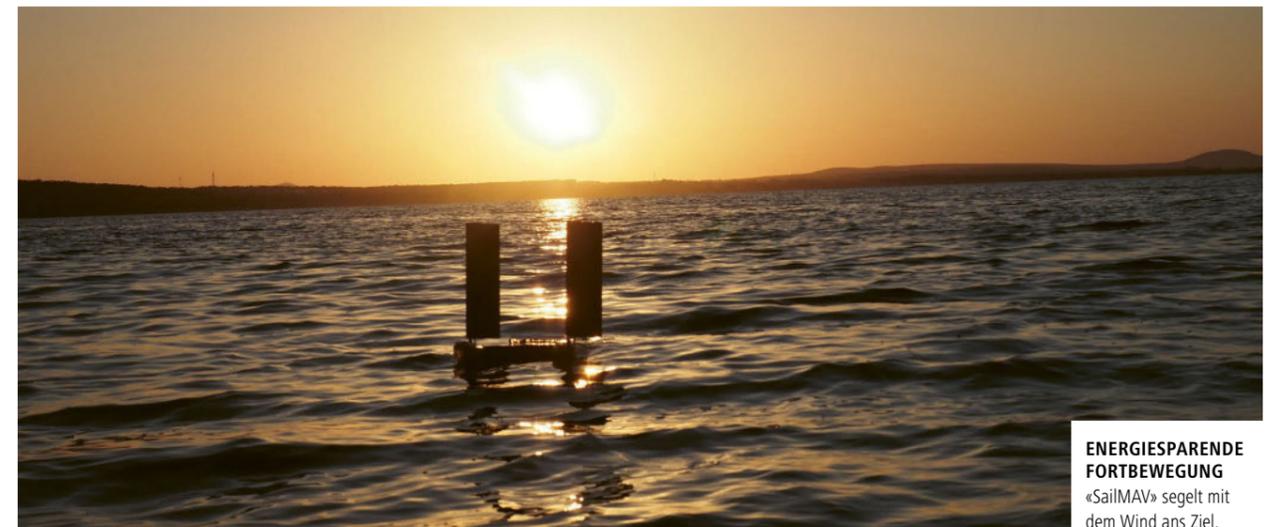
Fotos: Scott Zona, Empa

Foto: Empa / Imperial College London

KURZ ZU BESUCH

Die «SailMAV»-Drohne kann aufgrund ihrer faltbaren Tragflächen fliegen und auf dem Wasser segeln. Ihr besonderes Design erlaubt es zudem, das Verhalten von Wildtieren aufzuzeichnen, da sie nicht als Eindringling wahrgenommen wird.

Text: Andrea Six



ENERGIESPARENDE FORTBEWEGUNG
«SailMAV» segelt mit dem Wind ans Ziel.

Ruhiges Dahingleiten und trotzdem ans Ziel kommen – so einfach kann Forschung sein. Die ultraleichte Drohne «SailMAV» fliegt zu abgelegenen Gewässern und segelt dort energiesparend und still vor sich hin. So kann der kleine Flugroboter (Micro Aerial Vehicle, kurz MAV) Daten zur Biodiversität eines alpinen Bergsees oder arktischen Fjords sammeln. «Wasservögel oder Säugetiere am Ufer lassen sich von der «SailMAV» nicht stören, so dass die Drohne unverfälschte Aussagen etwa zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Zustand des Ökosystems machen kann», erklärt André Farinha.

Farinha gehört zu den Entwicklern der Drohne, ein Team von Forschenden des «Sustainability Robotics»-Labors der Empa in Dübendorf und des «Aerial

Robotics Laboratory» am «Imperial College London». Seine Herausforderung: der segelnden Drohne das Fliegen beibringen, obwohl die Designvorgaben für Bewegungen auf dem Wasser und in der Luft widersprüchlich sind. Farinha: «Wir konnten die aerodynamischen Eigenschaften nach mathematischen Modellierungen und dem Bau einiger Prototypen schliesslich so optimieren, dass «SailMAV» tatsächlich wie ein Kataran auf dem Wasser segeln und mit geöffneten Flügeln fliegen kann.»

Damit die kleine Drohne den Ortswechsel von einem Gewässer zum nächsten bewerkstelligen kann, klappt sie die Seiten ihres dreiteiligen Hochleistungsflügels innerhalb von 2 Sekunden in die Horizontale, wodurch sie eine Spannweite von knapp einem Meter erreicht. Farinhas Team hat den Flugroboter aus

Polymerschaum mit einer Zehntelmillimeterdünnen Carbonhülle konstruiert und mit einer wasserabweisenden Nanopartikelschicht überzogen. So bringt «SailMAV» lediglich 520 Gramm auf die Waage. Unter Laborbedingungen erledigt die schnelle und wendige Drohne den Übergang vom Wasser in die Luft denn auch in wenigen Sekunden und auf einer Strecke von weniger als zehn Metern. Nun arbeiten die Forschenden daran, dass «SailMAV» dies auch unter realen Bedingungen bei Wind und Wetter bewerkstelligt. Künftig soll «SailMAV» zudem mit komplexeren Sensoren ausgerüstet werden, die dem unscheinbaren Vogelfreund das autonome Segeln und Fliegen erlauben. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: robotics.empa.ch

DER «FORSCHUNGS- BESCHLEUNIGER»

Der Zukunftsfonds der Empa sucht für herausragende Forschungsprojekte, die anderweitig (noch) nicht unterstützt werden, private Geldgeber. So etwa für ein Projekt aus dem Empa-Labor «Surface Science and Coating Technologies», das die Forschung an multifunktionalen Dünnschichten, etwa für elektronische Bauteile oder Hochleistungsoptiken, mit Unterstützung der Helmut Fischer und Anni Walther Stiftung beschleunigen will.

Text: Lars Sommerhäuser, Sebastian Siol

Experimente in Ultrahochvakuum-Beschichtungsanlagen sind oft langwierig und teuer. Was wäre also, wenn man statt 50 Experimenten nur ein einziges durchführen müsste – und trotzdem 50 unterschiedliche Materialproben erhielte? Und was wäre, wenn man die Charakterisierung dieser Proben automatisieren könnte und die Untersuchungsergebnisse sofort zur Auswertung in einer Datenbank zur Verfügung ständen?



SCHNELLER
Sebastian Siol testet
45 Materialproben in
einem Arbeitsgang.

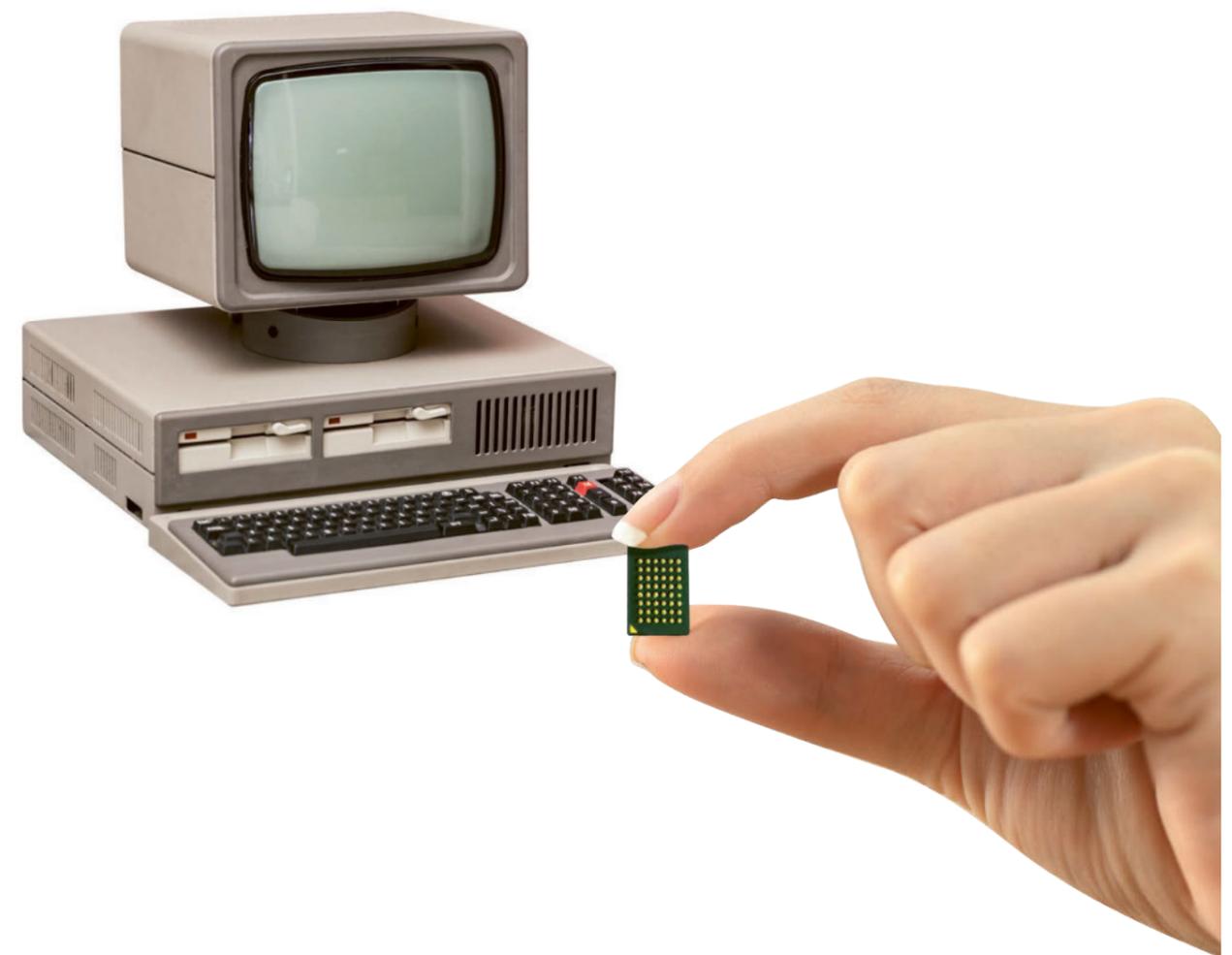
Doch zurück zu Sebastian Siols Traum. In der «kombinatorischen Dünnschichtentwicklung» stellt sein Team mit Hilfe spezieller Abscheidungsverfahren Schichten mit kontrollierten Gradienten her. So werden in einem einzelnen Experiment grosse Parameterbereiche abgedeckt, beispielsweise bezüglich Prozesstemperatur oder chemischer Zusammensetzung. Die so entstandenen Schichten werden anschliessend automatisch analysiert.

«Forschungsbeschleuniger» wie derartige Hochdurchsatztechniken sind der Schlüssel zur künftigen Materialentwicklung. Am Computer lassen sich heute zahlreiche neue Materialien mit vielversprechenden Eigenschaften vorhersagen. Mit konventionellen Experimenten ist es jedoch schwer, jedes einzeln herzustellen und zu untersuchen. Eine umfassende Infrastruktur zur kombinatorischen Materialentwicklung könnte diesen Prozess um ein Vielfaches beschleunigen. Dank der Förderung der Helmut Fischer und Anni Walther Stiftung kommt das Empa-Team diesem Ziel einen grossen Schritt näher. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/s208

Foto: Empa

Den Computern von morgen Quanten- sprünge ermöglichen.



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

 **Empa**
Zukunftsfonds

LICHTES MAUERWERK

Glasbausteine sind in der Architektur schon seit Langem beliebt, um mehr Licht in Gebäude zu bringen. Bisher eigneten sie sich jedoch nicht für tragende Wände und isolierten erst noch schlecht. Ein Empa-Team hat nun einen lichtdurchlässigen und dank Aerogel gut dämmenden Glasbaustein entwickelt, der sogar tragende Elemente ermöglicht. Damit lassen sich ästhetische, transluzente Wände bauen, die im Gebäudeinneren den Bedarf an künstlicher Beleuchtung senken.

Text: Remigius Nideröst

Verglaste Bauelemente sind in der Architektur eine beliebte Methode, um Licht in ein Gebäude zu lassen. So lässt sich das umweltfreundliche Tageslicht besser nutzen, und es wird weniger künstliche Beleuchtung benötigt. Um diesen Vorteil zu maximieren, sollten aus den Glaselementen jedoch möglichst ganze Wände für die Gebäudehülle gebaut werden, was voraussetzt, dass die Elemente über eine wirksame Wärmedämmung verfügen und eine gewisse Last tragen können – eine Kombination, die so auf dem Markt bislang nicht verfügbar war.

BEIDE ANFORDERUNGEN ERFÜLLT: HOCHDÄMMEND UND LICHTDURCHLÄSSIG
Silikat-Aerogele sind thermische Hochleistungsdämmstoffe, die im Bausektor zunehmend Verbreitung finden. Am gebräuchlichsten sind undurchsichtige Dämmplatten und -putze. Empa-Forscher Jannis Wernery und seine Kollegen aus der Abteilung «Building Energy Materials and Components» hatten bereits 2017 die Idee, den Dämmstoff direkt in einen Baustein zu integrieren und stellten einen neuartigen, mit Aerogel gefüllten Ziegelstein vor, den sogenannten

«Aerobrick». Dieser spart dank seiner hervorragenden Wärmedämmung Heizkosten – ganz ohne zusätzlich auf das Mauerwerk aufgetragene Dämmschicht.

Aerogel kann jedoch auch nahezu transparent sein, was ein lichtdurchlässiges, dämmendes Bausystem ermöglicht. Um das auszunutzen und die Dämmleistung des «Aerobrick» noch weiter zu verbessern, entwickelten Wernery, Michal Ganobjak und Co. ein neuartiges modulares Bauteil auf der Basis von Floatglas und Silikat-Aerogel-Granulat, das beide Eigenschaften vereint – es ist lichtdurchlässig und wärmedämmend: der Aerogel-Glasbaustein.

Die mit lichtdurchlässigem Aerogel-Granulat gefüllten Glasbausteine lassen den Bau von ästhetisch ansprechenden und sogar tragenden Fassadenelementen zu, die einen grossflächigen Tageslichteintrag ermöglichen. Diese Kombination von Festigkeit, Dämmung und Lichtdurchlässigkeit erreichten die Empa-Forschenden durch versetzte Abstandhalter zwischen den Glasscheiben innerhalb des Glasbausteins, die die statische Stabilität bei minimalem Wärmedurchgang gewährleisten.

Der Glasbaustein hat eine gemessene Wärmeleitfähigkeit von 53 mW/(m·K) und eine Druckfestigkeit von fast 45 MPa. Dies ist die höchste Dämmleistung eines Ziegels, die in der Fachliteratur, geschweige denn auf dem Markt zu finden ist. Gleichzeitig kommt die Eigenschaft der Lichtdurchlässigkeit hinzu.

VIELFÄLTIGE ANWENDUNGEN IM BLICK

Der Aerogel-Glasbaustein eignet sich für Anwendungen, in denen gleichzeitig Anforderungen an hohen Tageslichteintrag, Blendschutz und Schutz der Privatsphäre bestehen, etwa in Büros, Bibliotheken und Museen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei, dass eine Gebäudehülle aus solchen Glassteinen das Gebäudeinnere in Sachen Tageslicht an den Aussenraum koppelt. Dies kann sich positiv auf den Tagesrhythmus der Gebäudenutzer auswirken. Mögliche Anwendungen sind etwa

- Räume, die keine Sichtverbindung nach aussen haben sollen, zum Beispiel aus Gründen der Privatsphäre, der Sicherheit oder der Vermeidung von Störungen, aber dennoch diffuses Tageslicht ins Innere lassen sollen, also etwa Bibliotheken, Galerien,

Museen, Foyers, Büros, Treppenhauskerne, Turnhallen, Mehrzweckhallen, Wohnhäuser oder Kunstwerkstätten

- Räume, in denen Tageslicht für einen gesunden zirkadianen Rhythmus notwendig ist, wie Wohnheime, Krankenhäuser und Sanatorien, aber auch Zoos, Ställe und Tierzuchten bis hin zu Gewächshäusern

- Orte, an denen ein Maximum an Tageslicht eingebracht und Platz gespart werden soll, etwa in dicht bebauten Stadtquartieren mit Hochhäusern und vielen Stadtwohnungen

- architektonische Elemente wie Trombe-Wände in der Solararchitektur, in Innenhöfen oder Atrien, die aus der Infrarotstrahlung des Sonnenlichts Wärme generieren

Eine Analyse der Materialkosten zeigt, dass der Isolierglasbaustein in solchen Anwendungen durchaus wettbewerbsfähig sein kann. Der Glasbaustein bietet somit der Architektur neue Gestaltungsmöglichkeiten für mehr Tageslicht in Gebäuden – und zwar sowohl für Neubauten als auch bei Renovierungen. Die Forschenden haben den Aerogel-Glasbaustein inzwischen zum Patent angemeldet und sind auf der Suche nach möglichen Industriepartnern.

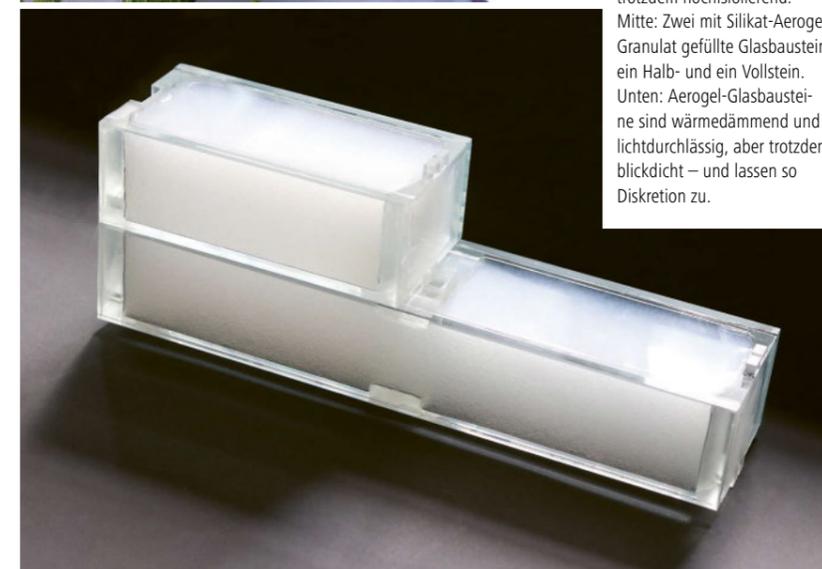
Das Projekt wird durch die Velux Stiftung, Projekt Nr. 1440 zur Entwicklung eines hochdämmenden, transluzenten Glassteins für diffusiven Tageslichteintrag unterstützt. Die Projektidee wurde mit Unterstützung durch das Horizon 2020 Research and Innovation Programm der Europäischen Union im Rahmen der Marie Skłodowska-Curie Actions, Vertragsnummer 746992, erarbeitet. ■

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

Fotos: Empa



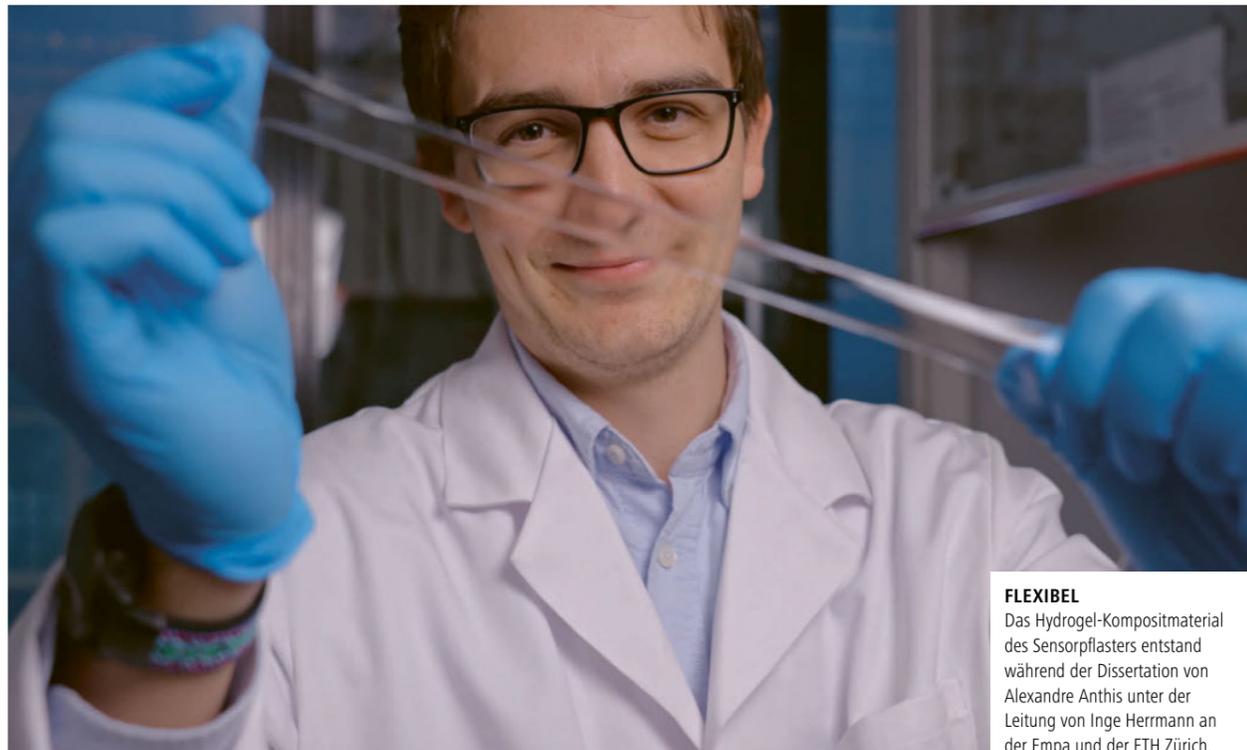
MEHR TAGESLICHT
Oben: Eine ganze Wand aus Aerogel-Glasbausteinen bringt Tageslicht von draussen in den Innenraum – samt dessen positiven Effekten auf die Bewohnerinnen und Bewohner – und ist trotzdem hochisolierend.
Mitte: Zwei mit Silikat-Aerogel-Granulat gefüllte Glasbausteine, ein Halb- und ein Vollstein.
Unten: Aerogel-Glasbausteine sind wärmedämmend und lichtdurchlässig, aber trotzdem blickdicht – und lassen so Diskretion zu.



SPION IM BAUCH

Damit Wunden nach einer Operation im Bauchraum dicht verschlossen bleiben, haben Forschende der Empa und der ETH Zürich ein Pflaster mit Sensorfunktion entwickelt. Das Polymerpflaster meldet gefährliche Lecks an Nähten im Magen-Darm-Trakt und schliesst die Stellen eigenständig. Ihre Erkenntnisse publizierte das Team im Magazin «Nature Communications».

Text: Andrea Six



FLEXIBEL

Das Hydrogel-Kompositmaterial des Sensorpflasters entstand während der Dissertation von Alexandre Anthis unter der Leitung von Inge Herrmann an der Empa und der ETH Zürich.

Nach einer Operation in der Bauchhöhle sind sie besonders gefürchtet: undichte Stellen an den Nähten, an denen der Inhalt des Verdauungskanal in den Bauchraum rinnt. «Auch heute stellen derartige Leckagen eine lebensgefährliche Komplikation dar», erklärt Empa-Forscherin Inge Herrmann, die auch die Professur für Nanopartikel Systeme an der ETH

Zürich bekleidet. Die Idee, vernähtes Gewebe in der Bauchhöhle im Anschluss mit einem Pflaster zu versiegeln, ist zwar bereits im Operationssaal angekommen. Das Problem: Der klinische Erfolg ist nicht immer optimal und variiert je nach verklebtem Gewebe. Denn die Pflaster aus eiweisshaltigem Material lösen sich beim Kontakt mit Verdauungssäften zu schnell auf. Im Rahmen einer langjährigen Kooperation verfolgten Inge Herr-

mann und Andrea Schlegel, Chirurgin am Universitätsspital in Birmingham, daher die Idee, ein resistentes Darm-pflaster zu entwickeln, das Lecks mittels Sensoren frühzeitig anzeigen kann.

DEM PFLASTER DAS SEHEN BEBRINGEN

Das Team um Herrmann und Alexandre Anthis vom «Particles-Biology Interactions»-Labor der Empa in St. Gallen und vom «Nanoparticle Systems Engineer-

AUSGEZEICHNETER JUNGFORSCHER

Das Forscherteam gründet zurzeit das Start-up «Veltist». Das künftige Biomed-Unternehmen will als Spin-off der ETH-Zürich und der Empa Materialien entwickeln und zur Marktreife bringen, die in der Chirurgie zu einem optimalen Wundverschluss und einer verbesserten Heilung beitragen sollen und auf diese Weise helfen, die gefürchteten Komplikationen einer Sepsis oder einer Bauchfellentzündung zu vermeiden. Nebst dem «MaP 2022 Award» der ETH Zürich für die beste Dissertation im Bereich «Materials and Processes» erhielt Alexandre Anthis zudem eines der begehrten «ETH Pioneer Fellowships» sowie den Empa-Forschungspreis.

ing»-Labor der ETH Zürich entwickelte dabei zunächst ein Hydrogel-Polymer-Pflaster, das verhindert, dass die stark sauren Verdauungssäfte und keimbeladene Nahrungsrückstände aus dem Darmkanal austreten und eine Bauchfellentzündung oder sogar eine lebensgefährliche Blutvergiftung (Sepsis) auslösen.

Doch die Forschenden wollten noch einen Schritt weitergehen: «Chirurgen haben uns berichtet, dass sie zwar während eines noch so komplizierten Eingriffs das Operationsfeld genau im Blick haben – doch sobald die Bauchhöhle verschlossen ist, sei man «blind» und bemerke Leckagen möglicherweise erst, wenn es zu spät ist», so Anthis. Damit das Hydrogel-Pflaster also «sehen lernt», hat das Team gemeinsam mit Spitälern in der Schweiz und internationalen Forschungspartnern eine Lösung erarbeitet: Das Pflaster ist mit Sensoren ausgestattet. Über diese neuartige Technologie berichteten die Forschenden im renommierten Magazin «Nature Communications».

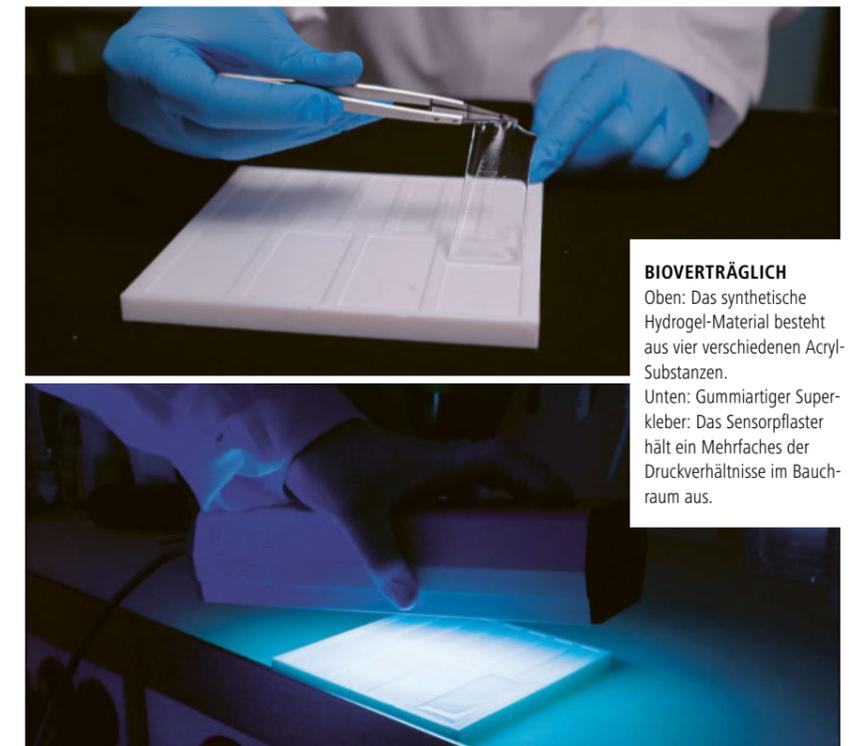
BIOVERTRÄGLICHER SUPERKLEBER

Die «Sehfähigkeit» erreicht das neuartige Material durch eine empfindliche

Reaktion auf Änderungen des pH-Werts und das Auftreten bestimmter Eiweissstoffe im Umfeld der Wunde. Die Reaktion erfolgt dabei – je nach Lokalisation des Lecks – innert Minuten bzw. weniger Stunden. Bislang muss sich das Gesundheitspersonal auf erst deutlich später eintretende körperliche Reaktionen der Betroffenen oder Labortests verlassen – beide Hinweise liefern unter Umständen zu spät einen eindeutigen Hinweis auf eine undichte Nahtstelle. Das Sensorpflaster erlaubt es hingegen, aufgrund seiner Komposit-Struktur Verdauungs-

bei Bedarf sogar Medikamente freisetzen, etwa antibakterielle Wirkstoffe.

Darüber hinaus erreicht das Material die nötigen Eigenschaften für den Wundverschluss: eine stabile Bindung an die Schleimhaut, die Ausbildung von Netzwerken, Stabilität gegenüber Verdauungssäften und Wasserdichtigkeit. Der kostengünstige, bioverträgliche Superkleber, der zu einem Grossteil aus Wasser besteht, könnte auf diese Weise nicht nur das Risiko von Komplikationen nach einer Bauchoperation



BIOVERTRÄGLICH

Oben: Das synthetische Hydrogel-Material besteht aus vier verschiedenen Acryl-Substanzen.

Unten: Gummiartiger Superkleber: Das Sensorpflaster hält ein Mehrfaches der Druckverhältnisse im Bauchraum aus.

flüssigkeit nachzuweisen, die bei einem Leck austritt. So reagiert beispielsweise saurer Magensaft mit dem Sensor-Material, so dass feinste Gasblasen in der Matrix des Pflasters auftauchen. Die Bläschen lassen sich dann mittels Ultraschall sichtbar machen. «Die Pflaster lassen sich mit massgeschneiderten Sensoren für unterschiedliche Stellen im Verdauungstrakt ausrüsten», so Anthis. Ausserdem kann das Pflaster

senken, sondern zudem Spitalaufenthalte verkürzen und Gesundheitskosten einsparen. «Das Darm-pflaster-Projekt stösst bereits jetzt auf grosses Interesse aus der Ärzteschaft», berichtet Herrmann. Nun gelte es, die Anwendung der klinisch relevanten Innovation in der Praxis voranzutreiben. ■

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

Fotos: Empa, Schwarz Pictures

HOHER BESUCH AUS KOREA



ZU GAST
Empa-Direktionsmitglied Pierangelo Gröning empfängt Jong-Ho Lee an der Empa.

Der koreanische Minister für Wissenschaft und IKT, Jong-Ho Lee, stattete der Empa im Januar 2023 einen Besuch ab, begleitet von Vertretern aus seinem Ministerium und aus diversen koreanischen Forschungsinstitutionen. Empa-Direktionsmitglied Pierangelo Gröning empfing die Delegation und sprach mit den Gästen über das Potenzial neuartiger Materialien sowie über eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen der Schweiz und Korea. Der Besuch umfasste auch Laborbesuche, etwa im von Lars Jeurgens geleiteten Labor für Füge-technologie und Korrosion.

www.empa.ch/web/empa/general-management

DIE EMPA ZU GAST IN LAUSANNE

Am 29. und 30. April finden an der EPFL die «Portes ouvertes» statt. Auch die Empa ist als Forschungsanstalt des ETH-Bereichs an den Tagen der offenen Tür in Lausanne mit mehreren Forschungsthemen vertreten. In Vorträgen, Demonstratoren und an Ausstellungsständen zeigen Empa-Forschende unter anderem Solarzellen der Zukunft, umweltfreundliche Elektronik, «Advanced Manufacturing»-Technologien sowie neue Ansätze, um die Lärmbelastung durch Schienen- und Flugverkehr zu reduzieren.

www.epfl.ch/campus/events/fr/evenements/evenements-publics/portes-ouvertes



OFFENE TÜREN
An den diesjährigen «Portes ouvertes» der EPFL ist auch die Empa vertreten.

Fotos: Empa, Jamani Callet EPFL

DIE EMPA AN DER «POWERFUEL WEEK»



SCHNITTSTELLE
Empa-Forscher Christian Bach an der «Powerfuel Conference 2022».

Eine sichere Energieversorgung, saubere Mobilität und Industrieanwendungen dank Wasserstofftechnologien und Synfuels: Das ist das Motto der «Powerfuel Week 2023», die vom 13. bis 21. Mai im Verkehrshaus der Schweiz in Luzern stattfindet. Die Veranstaltung ist Konferenz, Fachmesse und Ausstellung in einem und verfolgt das Ziel, innovative Technologien an der Schnittstelle zwischen Forschung, Industrie und Politik zu vermitteln und zu fördern. Die Empa unterstützt die Umsetzung der «Powerfuel Week» u.a. durch inhaltliche und fachliche Beratung. Zudem wird Empa-Forscher Christian Bach, Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme, am 16. Mai an der «Powerfuel Conference» über den aktuellen Forschungsstand von synthetischen Kraftstoffen sprechen.

powerfuel.ch

ERSTER KMU-INNOVATIONSTAG IN ZÜRICH



AUFTAKT
Carmen Walker Späh eröffnet den Anlass.

Am 30. März fand im Innovationspark Zürich der erste Zürcher KMU-Innovationstag statt. Die Impulsreferate, Workshops und Gespräche drehten sich um Themen wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit sowie ganz allgemein Innovationsförderung und Technologietransfer. Auch die Empa war mit einem Infostand vertreten. NEST-Geschäftsführer Reto Largo und Markus Kasper vom Technologietransfer-Team der Empa sprachen mit den Besucherinnen und Besuchern darüber, wie man neues Wissen aus der Forschung möglichst effizient in die Industrie überführt.

kmu-innovation.zuerich/anlaesse/zuercher-kmu-innovationstag

Fotos: Quade & Zürlin AG, Alessandro Della Bella

VERANSTALTUNGEN

11. MAI 2023
Workshop: Introducing Empa's Virtual Lab
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/virtual-lab
Empa, St. Gallen

15. MAI 2023
Topical Day: Imaging and Image Analysis XIV
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/imaging
Empa, Dübendorf

22.–26. MAI 2023
Konferenz: 38th International Conference of the Polymer Processing Society
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.pps-38.org
Empa, St. Gallen

31. MAI–02. JUNI 2023
Konferenz: 2nd Aerogel Industry-Academia Forum
Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft
aia-forum.empa.ch
Empa, Dübendorf

14. JUNI 2023
Symposium: 1st Swiss Symposium on Materials Chemistry 2023
Zielpublikum: Wissenschaft
matchem23.scg.ch
Empa, Dübendorf

14. JULI 2023
Technology Briefing: Einsatz von Laubholz im Tragwerksbau – Chancen und Herausforderungen
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/technology
Empa, Dübendorf

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology