

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #75 II APRIL 2022

FOKUS

TREIBSTOFF FÜR DIE FORSCHUNG

FUNDRAISING: NEUE WEGE
MATERIALIEN FÜR QUANTENCOMPUTER
NETTO NULL AM EMPA-CAMPUS

[INHALT]

[FOKUS: FORSCHUNGSFÖRDERUNG]



12



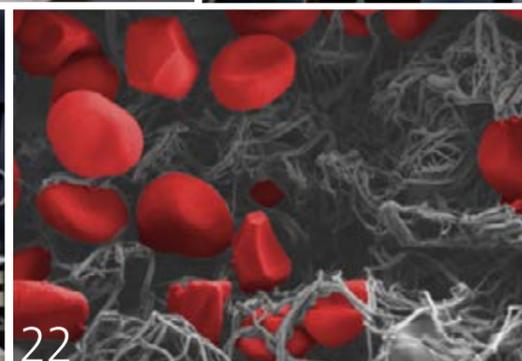
28



32



24



22

[FOKUS]

12 CARBOQUANT
Magnetischer Kohlenstoff
für Quantencomputer

16 GÖNNERSCHAFT
Die Werner Siemens-
Stiftung finanziert ein
Forschungsprojekt

19 ZUKUNFTSFONDS
Für welche Empa-Projekte
es zu spenden lohnt

[THEMEN]

08 KLIMASCHUTZ
Die CO₂-Strategie der
Empa und der neue
Forschungscampus

[THEMEN]

22 DIAGNOSTIK
Blutgerinnsel im Hirn
besser erkennen

24 WELTRAUM
Metallische Gläser
in der Schwerelosigkeit

28 HOLZBAU
Schwarze Löcher
schlucken Schall

32 PORTRAIT
Ivan Lunati rechnet
die Wirklichkeit durch

36 EFFIZIENZ
Rechenzentren heizen
Gebäude im Quartier

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

21 ZUKUNFTSFONDS

38 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Die Arbeitsgruppe «nanotech@surfaces» der Empa forscht an Kohlenstoffstrukturen, die sich für die Architektur von Quantencomputern eignen könnten. Diese speziellen Moleküle werden auf Goldoberflächen im Rastertunnelmikroskop untersucht – und oft auch dort synthetisiert. Grafik: 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

empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

VERÖFFENTLICHUNG

Erscheint viermal jährlich

PRODUKTION

rainer.klose@empa.ch



myclimate.org/01-22-199087



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

VOM ZÄHLEN
UND RECHNEN

Liebe Leserin,
lieber Leser,



Was vielen von uns nebst dem Lesen erste schulische Erfolgserlebnisse bescherete – bei einigen mehr, bei anderen weniger –, ist auch an der Empa allgegenwärtig: Zahlen. Mathematische Formeln und Computerberechnungen sind etwa zentral für die Erforschung komplexer Strömungsphänomene und die Entwicklung neuartiger Aerogel-Materialien, um CO₂ aus der Atmosphäre einzufangen (S. 32).

Um das Aufrechnen von CO₂-Emissionen und -Senken geht es auch bei unserer neuen Forschungsinitiative «CO₂UNTdown» (S. 8), die das Zählen bereits im Namen trägt. Deren Ziel: CO₂-negative Verfahren zu entwickeln. Die sind dringend vonnöten, will die Schweiz das angestrebte Netto Null bis 2050 erreichen – denn trotz technologischem Fortschritt wird es uns nicht gelingen, sämtliche Prozesse CO₂-neutral zu gestalten. Eigentlich einfache Schulmathematik: Wenn ich Schulden habe (in Form von CO₂-Emissionen), brauche ich für ein ausgeglichenes Konto auch eine Art Guthaben, sprich: CO₂-negative Technologien.

Zahlen sind letztlich auch beim Wirtschaften zentral. Bei der Forschungsfinanzierung haben wir vor kurzem beschlossen, neue Wege zu beschreiten und aktiv Unterstützung einzuwerben – weil unsere Forschenden schlicht zu viele gute Ideen haben und wir trotz solider Grundausstattung nicht alle finanzieren können (ab S. 12). Unser «Zukunftsfonds» hat inzwischen Fahrt aufgenommen und kann bereits erste Erfolge ... verbuchen – im wahrsten Sinne des Wortes.

Viel Vergnügen beim Lesen!
Ihr MICHAEL HAGMANN



BLUMENPRACHT AUS DEM LABOR

Die in New York und Istanbul lebende Künstlerin Sonia Li hat im Zentrum ihrer begehbaren Installation «Buddhaverse» einen künstlichen Blumengarten geschaffen, in dem auch zwei Empa-Technologien aus dem «Advanced Fibers»-Labor integriert sind: ein Kunstrasen aus Bikomponenten-Fasern mit Polyamidkern und eine rezyklierte Polymerfolie, die in der Empa-Plasmabeschichtungsanlage mit einer leitfähigen Nano-Metallschicht überzogen wurde. Mittels Laser wurden florale Motive aus der Folie geschnitten, die im UV-Licht der Installation kunterbunt schillern. Die Leitfähigkeit der Nano-Beschichtung soll bei einer Weiterentwicklung des Werks dazu dienen, einen Raum mit interaktiven multi-sensorischen Erfahrungen zu erschaffen, so die Künstlerin. Sonia Li wurde in der vergangenen Förderperiode von der «TaDA Textile and Design Alliance» unterstützt. Die temporäre Installation diente als Abschluss ihrer Residency. TaDA fördert interdisziplinäre Arbeiten von Kunstschaffenden aus aller Welt, die Gegenwartskunst mit textiler Innovation und Tradition in der Ostschweiz verbinden.

Mehr Information zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/s402/nanocoatings
www.sonialidesigns.com/

KOHLE-KÜHLDECKE FÜR LAGERUNG VON FRÜCHTEN UND GEMÜSE



LOW-TECH-LÖSUNG

Im vergangenen September testete das Team die Kühldecke zwei Tage lang auf dem Empa-Gelände. Der «Kühlraum» ist rund 1,5 Meter lang und einen Meter breit; als Testfrüchte enthielt er Äpfel in einer Kiste.

In Entwicklungsländern ist die Lagerung von landwirtschaftlichen Produkten oft schwierig: Hitze und Trockenheit lassen Früchte oder Gemüse schnell verderben – ein Problem gerade für Kleinfarmer, die sich Kühlgeräte nicht leisten können oder keinen Zugang zur Stromversorgung haben. Abhilfe könnte eine «Kühldecke» aus dem Empa-Labor für biomimetische Membranen und Textilien in St. Gallen schaffen. Sie macht sich die Kälte zunutze, die bei der Verdunstung von Wasser entsteht – mit Hilfe eines kostengünstigen und überall verfügbaren Materials: Holzkohle kann dank ihrer hohen Porosität viel Wasser aufnehmen und ermöglicht so eine effiziente Verdunstung. Um die Kohle zu nutzen, konstruierten die Forschenden ihre Decke mit senkrechten Röhren, die mit Kohlestückchen aufgefüllt werden. So entstehen selbst tragende, formbare «Wände», die mit Wasser begossen werden – und die Verdunstung kühlt den Raum im Inneren. In Analysen im Labor sank die Temperatur in einer mässig feuchten Umgebung um rund fünf Grad. In trockenerem und wärmerem Klima, so die Forscher, könnte sie um zehn Grad oder mehr sinken. Zugleich stieg die Luftfeuchtigkeit im Inneren deutlich an – ein natürlicher Schutz gegen das Verwelken. Mit diesen Erfahrungen wollen die Fachleute nun eine Pilotanlage entwickeln und in Afrika oder Asien testen. Zugleich arbeiten sie an einem Business-Modell, das die Einführung der Technologie für Kleinfarmer erleichtern soll.

www.empa.ch/web/simbiosys/charcoal-cooling-blanket

Foto: Empa

Bilder: Imperial College London, Quiz



DAS ERSTE WASSERSTOFF-FORUM DER SCHWEIZ

Mit der ersten Powerfuel Week vom 14.05. bis 22.05.2022 entsteht ein komplett neues Veranstaltungskonzept im Verkehrshaus der Schweiz in Luzern mit Konferenz, Fachmesse und Publikumsveranstaltung. Dort werden Projekte vorgestellt, Innovationen vorangetrieben und der Markt unterstützt. Zugleich erleben Besucher des Verkehrshauses Wasserstoff als wesentlichen Baustein auf dem Weg zur Erreichung der Klimaziele. Eine Reihe von Vorträgen im Rahmen der Powerfuel Conference vom 16.05. bis 18.05.2022 rundet das Infoprogramm ab.

www.powerfuel.ch

EINE DROHNE, DIE IHRE GESTALT ÄNDERN KANN



HIGH-TECH-LÖSUNG

Mirko Kovac ist Leiter des «Materials and Technology Center of Robotics» der Empa und Direktor des «Aerial Robotics Laboratory» am «Imperial College London».

Mirko Kovac hat einen der begehrten «ERC Consolidator Grants» im Rahmen von «Horizon Europe» erhalten, dem wichtigsten Förderprogramm der EU für Forschung und Innovation. Kovac, der sowohl an der Empa als auch am «Imperial College London» forscht, entwickelt Metamorphose-Drohnen für den Einsatz in Gegenden mit komplexen Umweltbedingungen wie etwa der Arktis. «Flugroboter können bereits jetzt die Umwelt aus der Luft beobachten, aber sie können sich nicht unter Wasser oder auf der Wasseroberfläche bewegen, um dort wertvolle Umweltdaten zu sammeln», sagt Kovac und fügt hinzu, dass es zwar einige bimodale Luft-/Wasser-vehikel gebe; einen vollständigen Einsatzzyklus mitsamt energieeffizienter Fortbewegung in der Luft, im Wasser und auf der Wasseroberfläche konnte allerdings noch keines demonstrieren. Mit der «ProteusDrone» möchte der Robotikexperte nun dieses Problem lösen.

www.empa.ch/web/s604/proteus-drone

«CO₂ MUSS EINEN FAIREN PREIS BEKOMMEN»

Die Empa arbeitet intensiv an Lösungen für die Klimaziele und fängt an der eigenen Haustür damit an. Der neue, derzeit im Bau befindliche Forschungscampus «co-operate» wird konsequent darauf ausgerichtet, den Ausstoss von Treibhausgasen zu minimieren – dank Hightech und mit möglichst wenig Kompensation durch Zertifikate. Zudem startet die Empa eine Forschungsinitiative, um CO₂-negative Verfahren zu entwickeln und schnell in den Einsatz zu bringen.

Interview: Norbert Raabe

Wer heute das Gelände von Empa und Eawag besucht, findet eine Grossbaustelle vor: Der neue Forschungscampus mit dem künftigen Laborgebäude im Zentrum wächst schnell in die Höhe. Doch interessante Aussichten liefern auch Installation unterhalb der Erde. 144 Erdsonden, die bis zu 100 Meter in die Tiefe reichen, werden in den kommenden Wintern Wärme liefern – eine innovative Technologie, die als Pilotprojekt auch neue Einsichten liefern soll.

Für die Empa ist das freilich erst ein Anfang. Auf dem Campus wird die Photovoltaik weiter ausgebaut; der Anteil an Biogas soll steigen. Intelligente Regelungen der elektrischen und thermischen Netze und ein weitgehend automatisierter Gebäudebetrieb sollen den Verbrauch fossiler Energien weiter mindern. Die Einsichten, die dabei mit dem Ziel eines Null-Emissionsbetriebs gewonnen werden, sollen später auch vielen anderen Gebäudeprojekte in der Schweiz nützen. Um die Klimaziele der Schweiz bis 2050 zu erreichen, wird

es nicht genügen, Autos zu elektrifizieren, Emissionen von Industriebetrieben zu mindern und andere Bereiche zu optimieren – auch dann werden weitere grosse Mengen an Treibhausgasen ausgestossen, zum Beispiel durch die Nutztier-Industrie der Landwirtschaft.

Für die angestrebte «Netto-Null» sind also Technologien mit einer negativen Treibhausgas-Bilanz nötig. Und dafür wiederum müssen Verfahren, Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft abzuscheiden und zu speichern, deutlich effizienter werden. Ein Hoffnungsträger dafür sind Aerogele, mit denen sich Empa-Forschende seit Jahren befassen, und die Möglichkeit, CO₂ in Baustoffe umzuwandeln. Ideen, Hoffnungen, Herausforderungen: Peter Richner, NEST-Mitbegründer und stellvertretender Direktor, erläutert im Interview den Fokus der Empa auf die Klimaziele.

Peter Richner, der neue Campus vom Empa und Eawag nimmt Gestalt an. Wenn Sie einen Wunsch für seine Zukunft frei hätten: Was wäre das?

Das wäre wirklich, dass unser saisonaler Wärmespeicher, den wir gerade gebaut

haben, die Kapazitäten hat, die wir uns vorstellen. Damit könnte es uns gelingen, signifikante Mengen von Abwärme aus dem Sommer in den Winter herüberzuretten, um so den Spitzenenergiebedarf im Winter abzudecken.

Bis 2024 sollen die CO₂-Emissionen des Empa-Campus gegenüber 2006 um fast drei Viertel sinken. Dazu soll auch vermehrt Biogas eingesetzt werden; die Photovoltaik wird ausgebaut ... – was planen Sie noch?

Wir sind ja ein sehr energie-intensiver Betrieb; da gibt es immer ein grosses Potenzial für die Optimierung. Um Heizenergie zu sparen, läuft im Moment zum Beispiel ein Experiment in unserem Verwaltungsgebäude: Wir versuchen, die Technologie des Empa-Spinoffs «viboo», der aus der Abteilung «Urban Energy Systems» kommt, zu implementieren. Ich habe aber auch das Gefühl, dass wir auf der Seite des Forschungsbetriebs mit seinen Experimenten noch Potenzial haben, weil dort vergleichsweise wenig Sensibilität dafür vorhanden ist, wie viel Energie wir bei unseren Experimenten eigentlich konsumieren.



Foto: Felix Wey / Empa

EHRGEIZIGE PLÄNE
Peter Richner auf der Baustelle des künftigen Empa-Campus – vor dem Experimentalgebäude NEST, das auch künftig als Testlabor für klimafreundliches Bauen dienen wird



RECYCLING MIT STIL
Peter Richner vor einer Trennwand im NEST, die mit gebrauchten Fachbüchern und Zeitschriften errichtet wurde.

PETER RICHNER

WERDEGANG Nach einem Chemiestudium und Dissertation an der ETH Zürich forschte Peter Richner an der «Indiana University» (USA) an Plasma-Massenspektrometrie und kam 1990 an die Empa.

FORSCHUNG Ab 1995 war er für die Abteilung «Korrosion/Oberflächenschutz» verantwortlich und wurde 2002 Leiter des Departements «Ingenieurwissenschaften». Er verantwortet den Forschungsschwerpunkt «Energie» und ist Mitbegründer des Experimentalgebäudes NEST, das 2016 eröffnet wurde.

die dazu führen, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre sinkt. Und wir summieren diese Negativ-Technologien unter dem Stichwort «Below Zero» – und die entsprechende Forschungsinitiative unter dem Namen «CO₂UNTdown».

Und gerade den Bausektor sehen Sie als wirkungsvollsten Hebel ...

Ja, das Bauwerk Schweiz spielt mit seinem Materialkonsum und Ressourcenumsatz, die mit hohen CO₂-Emissionen verbunden sind, eine zentrale Rolle. Auch im Betrieb: Wir haben immer noch sehr viele fossile Heizsysteme. Und diese Verhältnisse müssen wir ändern. Wenn der Bau die Kurve nicht kriegt, kriegt sie auch die Schweiz nicht. Das ist klar.

Was sind für Sie Favoriten unter den Zukunftstechnologien?

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, mit CO₂ aus der Atmosphäre umzugehen: Man kann versuchen, es unterirdisch einzulagern und hoffen, dass es dort entweder als Gas verbleibt oder mineralisiert wird – es gibt gewisse Gesteinsformationen, die das Potenzial

dazu haben. Oder man sagt: Nein; ich versuche, dieses CO₂ in ein Material umzuwandeln, mit dem ich andere Materialien substituieren kann. Und wenn man wirklich Millionen Tonnen an Material verwenden will, um einen echten Effekt in Richtung Negativ-Emissionen zu erreichen, kann das eigentlich nur im Baubereich sein, weil er die grössten Mengen umsetzt. Und innerhalb des Bausektors ist Beton das wichtigste Material, dann Asphalt und vielleicht noch Isolationsmaterialien – dort haben wir grosse potenzielle Senken.

CO₂-negative Zemente auf Magnesiumbasis werden an der Empa bereits erforscht und entwickelt ...

Das ist ein Zement, der über Absorption von CO₂ unter dem Strich negativ werden kann. Grosses Potenzial sehe ich aber auch, wenn wir Zuschlagstoffe für Beton oder Asphalt ersetzen können – Sand, Kies, Schotter – etwa durch kohlenstoff-basierte Materialien, die ihren Ursprung im CO₂ in der Atmosphäre haben. Nur ist da die Hauptschwierigkeit: Wir müssen das Gas zunächst einmal effizient aus der Atmosphäre «einfangen».

Die Empa arbeitet seit langem mit höchst porösen Aerogelen, die auch bei solchen Technologien helfen könnten. Wie ist da der aktuelle Stand?

Wir sind da in einem frühen Stadium. Aerogele sind geeignet, weil sie mit ihren vielen Poren eine sehr, sehr grosse spezifische Oberfläche haben – ähnlich wie ein Schwamm –, die es für die Interaktion mit dem Gas braucht. Und diese Oberfläche muss man so modifizieren, dass CO₂ absorbiert wird, dass man es später aber auch wieder desorbieren kann – in hoher Konzentration. Mittels Modellierung versuchen wir herauszufinden, wie die Porenstruktur aussehen muss, damit diese Interaktion

BELOW ZERO

Die Vision «Below Zero» ist Teil der Forschungsinitiative «CO₂UNTdown» der Empa. Sie soll die Expertise der Forschenden für den Einsatz gegen den Klimawandel weiter fokussieren und nutzbar machen. Bei «Below Zero» liegt ein erster Schwerpunkt dabei auf der Entwicklung neuartiger Materialien; gefolgt von ihrer Skalierung und Umsetzung bis hin zu Pilot- und Demonstrationsprojekten – auf dem neu entstehenden Campus der Empa, etwa im Experimental- und Demonstrationsgebäude NEST. Das soll ab etwa zwei Jahren nach

Beginn in Kooperation mit Partnern aus der Industrie geschehen, die auch an der Evaluierung neuer Lösungen beteiligt werden – mit Blick auf den praktischen Einsatz in der Baubranche.

ENTWICKLUNG BAUWERK SCHWEIZ

Das gesamte Bauwerk Schweiz ist so komplex wie seine Herausforderungen für die Zukunft. Eine Expertengruppe hat eine Initiative für eine Gesamtschau lanciert – für neuen Schub in Forschung und Praxis.
<https://www.empa.ch/web/empa/entwicklung-bauwerk-schweiz>

stattfindet. Und natürlich: Wie können wir die Oberfläche chemisch so modifizieren, dass ein Molekül, wenn es darauf trifft, haften bleibt und reagiert.

Skeptische Stimmen äussern immer wieder, dass «Netto Null» trotz vieler Anstrengungen bis 2050 nicht zu erreichen sein wird. Wie wollen Sie den Prozess beschleunigen, neue Ideen in die Baupraxis zu bringen?

Zuerst müssen wir mal zeigen, dass es praktikable Lösungen gibt. Und dann kommt natürlich sehr schnell die Frage der Kosten: Es ist absolut entscheidend, dass CO₂ einen fairen Preis bekommt. Solange wir Bereiche in unserer Wirtschaft haben, die CO₂ praktisch gratis emittieren dürfen, wird es extrem schwierig sein, dort CO₂-neutrale Lösungen zu etablieren. Wir sehen das auch in der Schweiz: Je nachdem, ob sie CO₂ aus Heizöl emittieren, aus Diesel in einem Fahrzeug oder aus Kerosin in einem Flugzeug, fallen ganz unterschiedliche oder sogar gar keine Abgaben an. Die Politik muss da für gleich lange Spiesse sorgen – denn fürs Klima ist es egal, woher das CO₂-Molekül stammt.

Ehrgeizige Ziele wie die der Empa erfordern also auch Unterstützung.

Wenn Sie da einen Wunsch an die Politik frei hätten: Was wäre das?

Es wird ja jetzt über ein neues CO₂-Gesetz diskutiert; da gehen die Meinungen stark auseinander. Es gibt eine Denkschule, die sagt: Das erste Gesetz wurde abgelehnt, weil die Leute nicht mehr Abgaben wollen – also dürfe es auch im neuen Entwurf keine zusätzlichen Abgaben geben. Aber dann ist die Frage: Wie soll sich überhaupt etwas bewegen? Ich neige eher dazu, dass man unabhängig davon, an welcher Quelle Treibhausgase emittiert werden, jedes Molekül gemäss seiner Wirkung gleich besteuert oder mit einer Abgabe belegt. Aber die sollte man im Sinne einer Lenkungsabgabe auch zu 100 Prozent wieder zurückverteilen.

Nach heutigem Wissensstand: Glauben Sie, die Schweiz wird die Netto-Null bis 2050 erreichen?

Wenn wir wollen, dann schaffen wir das. Es dreht sich einzig um die Frage, ob wir wollen – wirklich nur darum. ■

Konkreter?

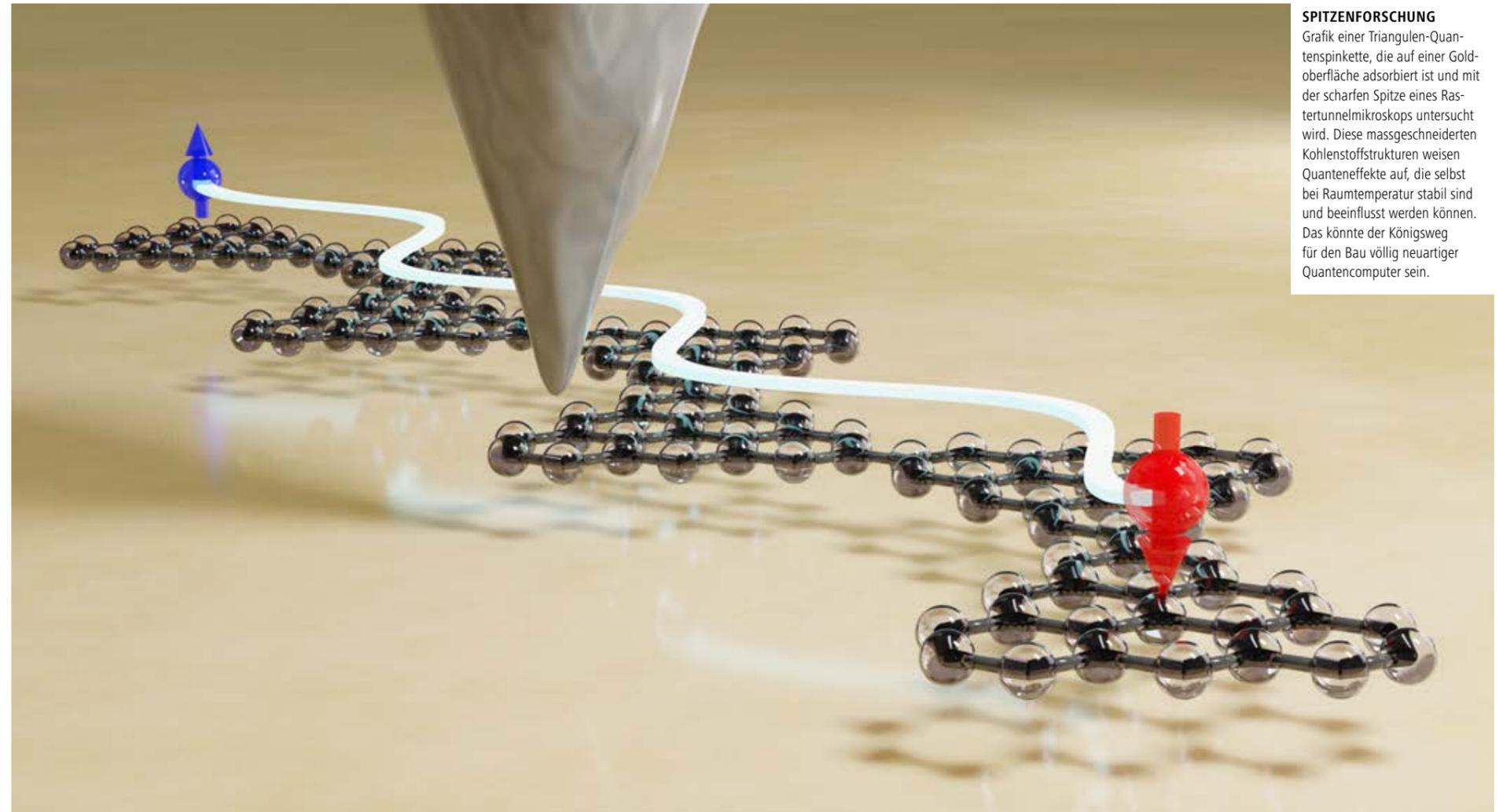
Müssen Forschungsanlagen sieben Tage lang 24 Stunden laufen? Bei klimatisierten Räumen ist klar: Je präziser man das Ziel-Klima einstellt – etwa plus-minus 0,5 Grad Celsius und plus-minus 2 Prozent relative Luftfeuchtigkeit –, desto mehr Energie braucht man. Und die Frage ist: Gibt es nicht auch Zeiten und Experimente, wo wir mit mehr Schwankungen leben können. Das hätte sofort einen sehr positiven Einfluss auf unseren Energiebedarf. Ich glaube, das sind Dinge, die wir noch zu wenig angeschaut haben.

In Zukunft wird der Empa-Campus also eine «Klimabaustelle» – mit Heraus-

forderungen, die auch für die Schweiz gelten. Bei der Zementherstellung sind Treibhausgas-Emissionen auf absehbare Zeit so unvermeidlich wie in der Landwirtschaft. Die Empa startet nun das Projekt «Below Zero» über vier Jahre. Was hat es damit auf sich?

Wir müssen natürlich Emissionen reduzieren oder verhindern. Aber wir sehen auch: Da wir als internationale Gemeinschaft viel zu spät und zu langsam auf den Klimawandel reagiert haben, werden wir wohl oder übel über die CO₂-Emissionsziele internationaler Abkommen hinausschiessen, die es erlauben würden, die Erderwärmung auf 1,5 bis 2 Grad zu begrenzen. Das heisst: Wir müssen Technologien entwickeln,

COMPUTERN QUANTEN- SPRÜNGE ERLAUBEN



SPITZENFORSCHUNG

Grafik einer Triangulen-Quantenspinette, die auf einer Goldoberfläche adsorbiert ist und mit der scharfen Spitze eines Rastertunnelmikroskops untersucht wird. Diese massgeschneiderten Kohlenstoffstrukturen weisen Quanteneffekte auf, die selbst bei Raumtemperatur stabil sind und beeinflusst werden können. Das könnte der Königsweg für den Bau völlig neuartiger Quantencomputer sein.

Zwölf Jahre Vorarbeit tragen nun Früchte – Forschende der Empa haben besondere Materialien aus Kohlenstoff mit ganz erstaunlichen, bislang unerreichten elektronischen und magnetischen Eigenschaften entwickelt, aus denen etwa Quantencomputer gebaut werden könnten. Ein Förderbeitrag der Werner Siemens-Stiftung in Millionenhöhe für die nächsten zehn Jahre ermöglicht bei diesem visionären Projekt nun einen ungewöhnlich langen Forschungshorizont, der die Aussichten auf Erfolg erheblich erhöht.

Text: Rainer Klose

Grafik: Empa

Ein aussergewöhnlich grosser Förderbeitrag wird es einem Forscherteam der Empa in den nächsten Jahren erlauben, besonders fokussiert an einem ehrgeizigen Projekt zu arbeiten: Mit 15 Millionen Franken unterstützt die Werner Siemens-Stiftung (WSS) die Empa im Projekt «CarboQuant». Dieses soll die Grundlagen für neuartige Quantentechnologien schaffen, die sogar bei Raumtemperatur funktionieren können – im Gegensatz zu den derzeitigen Technologien, die zumeist Kühlung bis nahe dem absoluten Nullpunkt benötigen. «Wir wagen mit diesem Projekt

einen grossen Schritt ins Unbekannte», sagt Projektkoordinator Oliver Gröning. «Dank der Partnerschaft mit der Werner Siemens-Stiftung können wir uns in diesem Projekt deutlich weiter vom sicheren Ufer wegbewegen, als es uns im «normalen» Forscheralltag möglich wäre. Wir fühlen uns ein bisschen wie Christoph Columbus und suchen nun jenseits des Horizonts nach etwas völlig Neuem.»

Vor der Expedition ins Unbekannte, die die Empa-Forschenden Pascal Ruffieux, Oliver Gröning und Gabriela Borin-Barin unter Leitung von Roman Fasel nun unternehmen, lagen indes

zwölf Jahre intensive Forschungsarbeit. Die Arbeiten aus der von Fasel geleiteten Empa-Abteilung «nanotech@surfaces» führten regelmässig zu Veröffentlichungen in renommierten Wissenschaftsjournalen wie «Nature», «Science» und «Angewandte Chemie».

2010 hatte das Team erstmals Graphenstreifen, sogenannte Nanoribbons, aus kleineren, chemischen Vorläufermolekülen synthetisiert. Mit ihrem neuartigen Syntheseansatz können die Empa-Forscher Kohlenstoff-Nanomaterialien mit atomarer Präzision herstellen und dadurch deren Quanteneigenschaf-

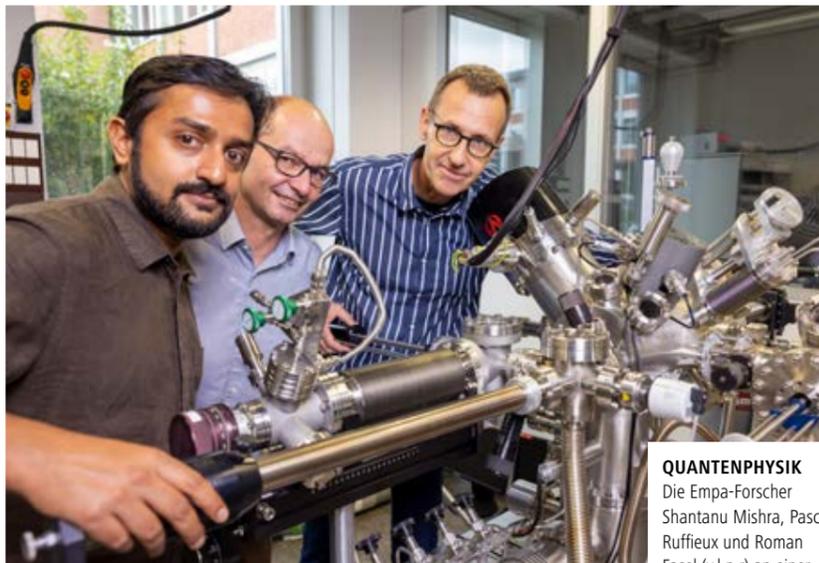
WERNER SIEMENS-STIFTUNG

Gegründet wurde die Werner Siemens-Stiftung (WSS) 1923 in Schaffhausen von Charlotte von Buxhoeveden und Marie von Graevenitz geb. Siemens, den Töchtern von Carl von Siemens, der mit seinem Bruder Werner von Siemens den späteren Siemens-Konzern aufgebaut hatte. Zu den beiden Gründerinnen traten später weitere Familienmitglieder als Zustifterinnen hinzu. Die in der Schweiz domizilierte Werner Siemens-Stiftung fördert im philanthropischen Teil herausragende Innovationen und den begabten Nachwuchs in Technik und Naturwissenschaften.

ten genau festlegen. Graphen gilt als ein mögliches Baumaterial für Computer der Zukunft; es besteht aus Kohlenstoff und ähnelt dem bekannten Graphit. Das Material ist gerade einmal eine Atomlage dünn und verspricht schnellere, leistungsfähigere Rechnerarchitekturen als die heute bekannten Halbleitermaterialien. Bereits 2017 hatte das Forscherteam in Zusammenarbeit mit Kollegen der «University of California» in Berkeley den ersten Transistor aus Graphen-Nanoribbons gebaut und das Ergebnis in «Nature Communications» veröffentlicht.

EIN ERSTER MEILENSTEIN

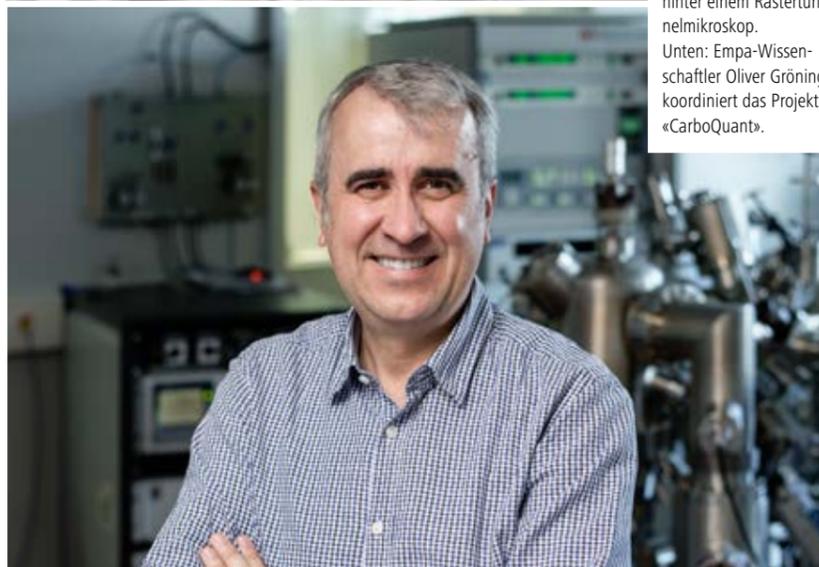
Doch dann realisierten die Forscher einen bislang nur theoretisch vorhergesagten Effekt, der noch wesentlich interessanter schien: Ihre winzigen, massgeschneiderten Kohlenstoff-Nanomaterialien zeigten Eigenschaften von Magnetismus. 2020 berichteten sie im Fachblatt «Nature Nanotechnology» erstmals über den von ihnen entdeckten Effekt – und legten im Oktober 2021 mit einer verfeinerten Darstellung nach: Nun hatten sie mit Hilfe ihrer winzigen Kohlenstoff-Nanomaterialien erstmals einen physikalischen Effekt nachgewiesen, den der spätere Physik-Nobelpreisträger F.D.M. Haldane knapp 40 Jahren zuvor vorausgesagt



QUANTENPHYSIK
Die Empa-Forscher Shantanu Mishra, Pascal Ruffieux und Roman Fasel (v.l.n.r.) an einer Ultrahochvakuum-Anlage zur Herstellung von magnetischen Carbon-Molekülen



TEAMARBEIT
Oben: Roman Fasel, Leiter des Empa-Labors nanotech@surfaces, steht in seinem Labor hinter einem Rastertunnelmikroskop. Unten: Empa-Wissenschaftler Oliver Gröning koordiniert das Projekt «CarboQuant».



Fotos: Gian Vaitl / Empa (2), Felix Wey / Werner Siemens-Stiftung (1)

hatte: die Spin-Fraktionierung. Diese Fraktionierung bildet sich nur dann aus, wenn viele Spins (d.h. fundamentale Quantenmagnete) in eine gemeinsame, kohärente Quantenüberlagerung gebracht werden können. Die Empa-Forscher haben das in ihren präzise synthetisierten Molekülketten geschafft.

Auf diesen besonderen Spin-Effekten in den Graphen-Nanoribbons soll «CarboQuant» nun aufbauen. Gröning: «Wir sehen bislang Spin-Zustände an ganz bestimmten Stellen der Graphen-Nanoribbons, die wir gezielt aufbauen und nachweisen können. Als nächstes wird es darum gehen, diese Spin-Zustände gezielt zu steuern, z.B. den Spin an einem Ende des Nanoribbons umzudrehen und am anderen Ende eine entsprechende Reaktion zu erzeugen.» Damit hätten die Empa-Forscher etwas ganz Besonderes in der Hand: einen Quanteneffekt, der auch bei Raumtemperatur oder moderater Kühlung stabil ist und manipuliert werden kann. Das könnte ein Königsweg sein, um völlig neuartige Quantencomputer zu bauen.

EINE 0 UND EINE 1 ZUGLEICH

Warum aber können Quantencomputer schneller rechnen als herkömmliche Computer? Klassische Rechenmaschinen rechnen in Bits. Jedes Bauteil kann einen von zwei möglichen Zuständen aufweisen: 0 oder 1. In der Quantenwelt dagegen können sich diese Zustände überlagern: Möglich sind 0 oder 1 oder beide Zustände gleichzeitig. Darum können Schaltkreise eines Quantencomputers, sogenannte Qubits, nicht nur eine Rechenoperation nach der anderen durchführen, sondern mehrere gleichzeitig. Oliver Gröning freut sich schon auf das Experiment: «Wenn wir es schaffen, die Spin-Zustände in unseren Nanoribbons zu kontrollieren, können wir sie für quantenelektronische Bauteile nutzen.»

Während ein Teil des Teams weiter im Hochvakuum die Spin-Effekte untersucht, soll sich ein anderer Teil des Teams um die Alltagstauglichkeit der Graphen-Nanoribbons kümmern. «Wir müssen die Bauteile aus dem geschützten Brutkasten des Vakuums herausholen und sie so präparieren, dass sie auch in unserer Welt, also an Luft und Wärme, nicht zerfallen. Dann erst können wir die Nanoribbons mit Kontakten versehen – was die Voraussetzung für nutzbare Anwendungen ohne aufwändige Infrastruktur ist», so Gröning.

INTENSIVE LASERPULSE

Der Aufbruch in die unbekannte, neue Welt wird auf jeden Fall anspruchsvoll. Schon für den ersten der kommenden Forschungsschritte, die Kontrolle und zeitaufgelöste Messung der Spinzustände, ist ein völlig neuer Gerätepark notwendig, den die Forscher entwickeln und aufbauen werden. «Wir müssen das Rastertunnelmikroskop (STM von engl. «Scanning Tunneling Mikroskope»), in dem wir die Nanoribbons herstellen und ihre Struktur betrachten, mit ultra-schnellen Messungen der elektronischen und magnetischen Eigenschaften erweitern», erläutert Gröning. Dies kann durch elektrische Hochfrequenzsignale bei hohen Magnetfeldern und durch Bestrahlung mit sehr kurzen, äusserst intensiven Laserpulsen geschehen.

Dazu werden an der Empa zwei neue Messsysteme aufgebaut, die auch in anderen Forschungsprojekten des Teams eine Schlüsselrolle spielen werden und welche durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und den Europäischen Forschungsrat (ERC) mitfinanziert werden. «Dies zeigt einerseits», so Gröning, «dass aus verschiedenen Projekten immer Synergien entstehen, und andererseits, dass hochgesteckte Ziele nur durch die Unterstützung verschiedener Akteure auf mehreren Ebenen

FORSCHEN FÜR DIE WELT VON MORGEN

Forschungsprojekte wie «CarboQuant» versprechen enorme Fortschritte, sind aber immer auch mit der Möglichkeit des Scheiterns behaftet. Der Empa Zukunftsfonds hat es sich zum Ziel gesetzt, solche aussergewöhnlich riskanten und zugleich besonders vielversprechenden Projekte zu unterstützen, indem er Förderbeiträge von Stiftungen und Spenden von Privatpersonen akquiriert. Falls Sie daran interessiert sind, den Empa Zukunftsfonds zu unterstützen, finden Sie weitere Informationen unter: <https://www.empa.ch/web/zukunftsfonds>

erreicht werden können». Alleine für den Aufbau dieser neuen Analysegeräte und für die ersten Testläufe veranschlagen die Forschenden zwei bis drei Jahre.

EIN GANZ BESONDERES PROJEKT

«CarboQuant» sei durch diese langfristige und grosszügige Finanzierung ein ganz besonderes Projekt, sagt Oliver Gröning. Das Empa-Team verfügt nun über aussergewöhnlich grosse und langfristige Gestaltungsfreiheit auf dem Weg zu ihrem ambitionierten Forschungsziel: einem möglichen Baumaterial für Quantencomputer der nächsten Generation. «Wir sehen zwar die Insel noch nicht, die da draussen liegen könnte. Aber wir erahnen sie, und wenn dort etwas ist, sind wir zuversichtlich, dass wir es dank der Unterstützung durch die Werner Siemens-Stiftung und unsere nationalen und internationalen Forschungspartner auch finden werden», sagt Gröning. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s205

WIR SUCHEN PROJEKTE, IM «TAL DES TODES»



ENTSCHEIDER
Hubert Keiber bestimmt gemeinsam mit seinen Vorstandskollegen die Vergabe der Fördermittel.

Hubert Keiber, Obmann des Stiftungsrats der Werner Siemens-Stiftung, beschreibt, warum das Gremium sich entschied, Fördermittel in Höhe von 15 Millionen Franken an die Empa fließen zu lassen.

Interview: Michael Hagmann

Was war Ihr erster Gedanke, als Sie vom CarboQuant-Projekt erfahren hatten?

Das Projekt kam über unseren wissenschaftlichen Beirat zu mir, der es mir – bzw. dem Stiftungsrat – als förderwürdig empfohlen hatte. Und als den Antrag dann bei mir auf dem Schreibtisch lag, dachte ich – noch bevor ich ihn gelesen hatte –, «OK, Graphen, da gab's einen Nobelpreis dafür; aber was will man da schon Neues machen, da sind die Themen doch weitgehend bekannt und bearbeitet. Wo liegt der Clou bei dem Projekt?» Das Spannende am Projekt ist, dass es um die Geometrie dieser neuen Graphen-Werkstoffe geht, dass man über die Geometrie des Graphens dessen elektrische und magnetische Eigenschaften «einstellen» kann – und das geht weit über das bislang Bekannte hinaus. Die Form bestimmt die Funktion, nicht die Chemie – also ein vollkommen neuer Denkansatz. Das hat mich wirklich beeindruckt. Daher haben wir Roman Fasel, Oliver und Pierangelo Gröning eingeladen, uns das Projekt näher vorzustellen.

Worauf achten Sie in erster Linie, wenn Sie ein Projekt begutachten?

Wir schauen vor allem auf die Protagonisten, auf das Team und fragen uns: Können die das Projekt tatsächlich umsetzen, trauen wir ihnen das wirklich zu? Wie agieren sie bei der Präsentation, ist das eine «One-Man-Show», redet da einer die ganze Zeit, während die anderen nur dasitzen und zuhören, oder arbeiten sie zusammen? Wenn das eher Einzelkämpfer sind, dann ist das für uns schon ein Problem. Wir suchen Projekte, die hochgradig interdisziplinär sind – und das ist bei einer einzelnen Person eher schwierig. Das heisst, Teamplay ist für uns enorm wichtig. Wie funktionieren die im Team, stimmt die Chemie zwischen denen? Wenn nicht, dann

würden wir im Extremfall auch ein wissenschaftlich exzellentes Projekt ablehnen – und haben da auch schon getan.

Beim CarboQuant-Team scheint die Chemie gestimmt zu haben.

Das war eine Präsentation, wie wir uns das vorstellen. Es war gerade nicht so, dass da Einer das Sagen hätte, und die anderen würden nachkauen, was der Chef sagt. Die haben sich regelrecht die Bälle zugespielt. Da waren drei Köpfe, und jeder hatte seine ganz eigenständige Meinung – und genau das braucht es in so einem ambitionierten Projekt. Es muss Diskussionen, Reibung geben, um voranzukommen. Das hat uns überzeugt.

Die Werner Siemens-Stiftung fördert gemäss ihrem Stiftungszweck herausragende, innovative Forschungsprojekte mit dem Ziel, die daraus resultierenden Innovationen später industriell nutzen zu können. Sie fördern etwa ein robotergesteuertes Laserskalpell für minimalinvasive Eingriffe oder antivirale Medikamente. Wie passt da CarboQuant bzw. die Quantenphysik rein?

Dazu zunächst einmal: Projekte im Bereich Quantencomputer haben wir in der Vergangenheit auch schon abgelehnt. Auf diesem Gebiet wird heute vor allem noch viel reine Grundlagenforschung betrieben – und das ist explizit nicht unser Thema. Wir fördern aber auch keine Projekte nach dem Motto «schneller, weiter, höher» – also wenn es «nur» darum geht, etwas Bestehendes zu optimieren. Wir suchen Projekte, die sich im «Tal des Todes» befinden: Die Grundlagenforschung dazu ist gemacht – in diesem konkreten Fall: Graphen gibt's. Und jetzt hat jemand eine Idee, was sich daraus machen liesse, etwa einen Prototyp bauen – dafür bekommt er in der Regel noch kein «Venture Capital», aber auch keine Förderung für Grundlagenforschung

HUBERT KEIBER

WERDEGANG Hubert Keiber ist promovierter Physiker und war von 1983 bis 2015 in leitender Position bei Siemens Schweiz, sowie bei Siemens-Tochtergesellschaften in Russland und China tätig. Als Obmann der Werner Siemens-Stiftung ist er Vorsitzender des dreiköpfigen Stiftungsrats.

mehr, etwa vom Nationalfonds. Viele Projekte in diesem «Zwischenbereich» kommen nie zum Laufen, weil ihnen die Fördermittel fehlen. Genau hier springen wir ein – und CarboQuant passt da optimal rein. Diese ganz speziellen Graphenstrukturen, deren elektronischen und magnetischen Eigenschaften sich über ihre Geometrie, ihre Form einstellen lassen, könnten künftig Computerchips auf einer ganz anderen Basis ermöglichen wie dies bei den heutigen Quantencomputern der Fall ist. Quantencomputer sind allerdings nur EINE Anwendungsmöglichkeit für diese Graphenstrukturen; der Quantencomputer ist sozusagen das Fernziel. Ich bin überzeugt, dass die Erkenntnisse und Entwicklungsschritte auf dem Weg dorthin auch zu technologischen Neuerungen in ganz anderen Bereichen führen können.

Welche Bereiche meinen Sie da zum Beispiel?

Etwa mikroelektronische Bauteile und Schaltelemente. Die Tatsache, dass ich über die Geometrie des Graphens verschiedene Materialeigenschaften einstellen kann, war für uns entscheidend – denn dieser vollkommen neue Ansatz erlaubt es, andersartige, also nicht Silizium-basierte Halbleiter zu entwickeln für die Mikroelektronik von morgen.

15 Millionen Franken sind für die Empa eine aussergewöhnlich hohe Summe ▶

für ein einzelnes Projekt – auch für die Werner Siemens-Stiftung?

Nein, das ist genau die Art und Weise, wie wir Projekte fördern. Dafür fördern wir auch «nur» drei bis vier Projekte pro Jahr, diese aber mit Beträgen in der Gröszenordnung von fünf bis 15 Millionen Franken, in der Regel über zehn Jahre.

Da man jeden Förderfranken nur einmal ausgeben kann, birgt dieser Förderansatz gewisse Risiken. Warum verfolgen Sie gerade diese Förderphilosophie?

kein Geld für «Overhead» ausgeben, das Geld soll in die Projekte fliessen.

Welche «Bedingungen» sind eigentlich mit den Fördergeldern verknüpft?

Wir fordern einmal pro Jahr einen Bericht über den Fortschritt des Projekts an – und berichten dann selbst darüber in unserem Jahresbericht. Mehr gibt's für die Forschenden nicht zu tun. Wenn wir uns einmal entschieden haben, ein Projekt zu fördern, dann gehen wir damit auch das Risiko ein, das das schiefgehen kann. Es kann einerseits sein, dass das Projekt

Tech-Giganten wie IBM, Microsoft oder Google. Warum setzen Sie in diesem «Wettrennen» gerade auf einen kleinen Player wie die Empa?

Weil das Team Quantencomputer vollkommen neu denken und konzipieren will, auch auf der Materialeite. Heute brauchen Sie 4 Grad Kelvin, also Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt, um einen Quantencomputer mit, sagen wir mal, 8 Qbits zu betreiben – und CarboQuant könnte es ermöglichen, solche Computer mit Chips, die wie normale Chips aussehen, bei deutlich



FACHKUNDIG
Als gelernter Physiker und langjähriger Manager beurteilt Hubert Keiber die eingereichten Förderanträge.

Das liegt an der Organisation unserer Stiftung – wir sind personell sehr schlank aufgestellt, und damit haben wir nur eine begrenzte Kapazität, um Projekte zu begutachten. Wenn wir viele kleine Projekte bearbeiten und fördern würden, bräuchten wir eine ganz andere Organisation. Unsere Philosophie bzw. unser Codex ist: klein, aber fein – und damit meine ich den «Overhead». Wir wollen möglichst

stirbt, weil die Grundidee prinzipiell nicht realisierbar ist – das haben wir zwar noch nicht erlebt, ist aber denkbar und kann passieren. Was aber fataler wäre, ist, wenn das Team trotz guter Ideen nicht in der Lage wäre, das Projekt umzusetzen. Denn dann hätten wir einen Bock geschossen. Eben: «High risk – high gain.»

Quantencomputer sind regelmässig in der Presse – meist in Verbindung mit

höheren, eventuell sogar bei Raumtemperatur zu betreiben. Und ein weiterer Punkt: Beim Thema Quantencomputer steht, wie Sie richtig gesagt haben, Europa nicht wirklich im Vordergrund. Mit CarboQuant könnten wir hier in Europa einen Beitrag zu diesem wichtigen Forschungsgebiet leisten. ■

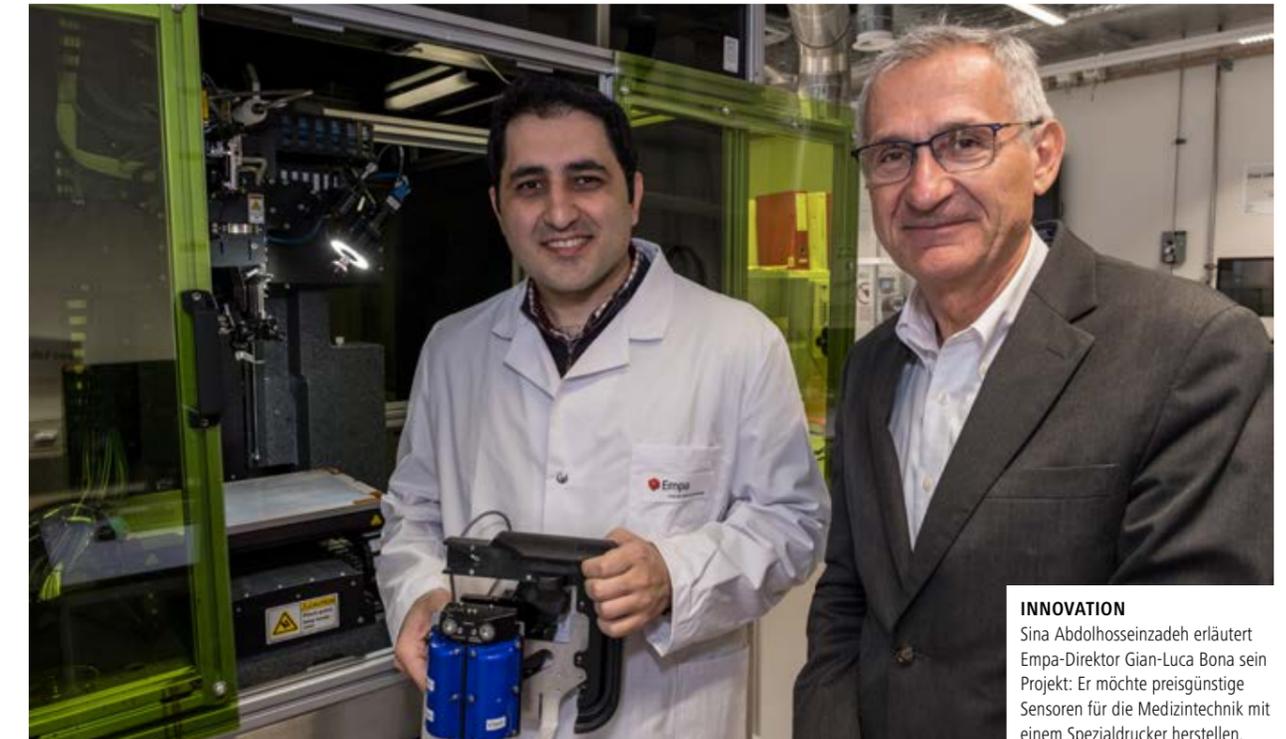
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.wernersiemenstiftung.ch/

Foto: Nicolas Zornivi / Empa

NEUE WEGE IN DER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Viele potenziell bahnbrechende Ideen entstehen in den Köpfen der Forscherinnen und Forscher an der Empa – nicht alle lassen sich umsetzen, für einige findet sich schlicht keine Finanzierung. Diese Lücke soll künftig der Empa Zukunftsfonds schliessen; durch professionelles Fundraising fördert der Zukunftsfonds spannende Forschungsprojekte, die anderweitig noch keine Förderung erhalten.

Text: Redaktion Empa



INNOVATION
Sina Abdolhosseinzadeh erläutert Empa-Direktor Gian-Luca Bona sein Projekt: Er möchte preisgünstige Sensoren für die Medizintechnik mit einem Spezialdrucker herstellen.

Die Empa ist einer der wichtigsten Innovationsmotoren der Schweiz; anwendungsorientiert, praxisnah, auf die zentralen Herausforderungen unserer Zeit fokussiert. In mehr als 400 laufenden Forschungsprojekten mit mehreren hundert Partnern aus aller Welt erarbeiten die Forscher und Forscherinnen der Empa innovative Materialien,

Technologien und Konzepte, um etwa die Energiewende zu ermöglichen, die Kreislaufwirtschaft voranzubringen oder personalisierte Medizinalanwendungen in den Praxisalltag zu überführen.

Damit dieser Innovationsmotor rund läuft, muss er geschmiert werden – mit Stipendien, «Grants», Spenden und anderen Arten der finanziellen Zuwendung. Denn Spitzenforschung ist nicht

gratis. Die Empa ist als Forschungsinstitut des ETH-Bereichs zwar vom Bund solide grundfinanziert, doch gibt es immer wieder Projekte, die ihrer Zeit voraus sind – sprich: die zwar im Erfolgsfall ein enormes Potenzial haben, die aber mit herkömmlichen Mitteln nicht finanziert werden können. Oder aber enorm talentierte Nachwuchsforschende, deren weitere wissenschaftliche Laufbahn gefördert wird. ▶

Foto: Empa

ZEIT FÜR FUNDRAISING

Um in Fällen wie diesen einen grösseren Handlungsspielraum zu haben, entschloss sich die Direktion der Empa vor einiger Zeit, ein professionelles Fundraising aufzubauen: den Empa Zukunftsfonds. «Dadurch wollen wir es privaten Geldgebern ermöglichen, in Themenbereichen, die ihnen am Herzen liegen, etwa im Nachhaltigkeits- oder Medizinbereich, Projekte oder aber «helle Köpfe» zu fördern – und uns so direkt mitzuhelfen, unsere Zukunft lebenswert und nachhaltig zu gestalten», so Empa-Direktor Gian-Luca Bona. Der Empa Zukunftsfonds bietet verschiedene thematische Fonds, die es privaten Geldgebern beziehungsweise Spenderinnen und Spendern ermöglichen, ihre Mittel zweckgebunden einzusetzen: Zurzeit gibt es Forschungsfonds für Nachhaltigkeit, für Gesundheit, für Energie und für Nanotechnologie sowie einen Fonds für die Nachwuchs- und Talentförderung.

«EMPA FELLOWSHIPS»

Für letzteren konnte der Empa Zukunftsfonds vor kurzem eine bedeutende Spende entgegennehmen: Der Stiftungsrat der Ria & Arthur Dietschweiler Stiftung entschied letzten November, ein zweijähriges «Empa Young Scientist Fellowship» am Standort St. Gallen mit 270 000 Franken vollständig zu finanzieren. Die Stiftung mit Sitz in St. Gallen wurde 1981 vom deutsch-schweizerischen Unternehmer-Ehepaar Ria und Arthur Dietschweiler gegründet und fördert seither gemeinnützige, wegweisende Projekte in den Bereichen Bildung, Kultur und Soziales. Das «Empa Young Scientist Fellowship» ist ein Förderinstrument für aussergewöhnlich begabte junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Stipendiat bzw. die Stipendiatin erhält die finanziellen Mittel, um während zwei Jahren ein eigenständiges Forschungsprojekt aufzugleisen und

durchzuführen. Die Dauer von zwei Jahren ist bewusst kurz gehalten, da das Fellowship als Anschlag für eine internationale wissenschaftliche Karriere gedacht ist, und nicht als Einstieg in eine Karriere bei der Empa. Das Fellowship wird in einem Wettbewerbsverfahren vergeben, um sicherzustellen, dass die Bewerberinnen und Bewerber mit dem höchsten Potenzial ausgewählt werden.

DER EMPA ZUKUNFTSFONDS

Der Empa Zukunftsfonds ist das zentrale Fundraising- und Spendeninstrument der Empa und umfasst derzeit fünf thematische Fonds: vier Forschungsfonds für die Bereiche Energie, Gesundheit, Nachhaltigkeit und Nanotechnologie sowie einen Fonds für die Talentförderung. Für jeden dieser Fonds gibt es einen klar definierten Antrags- und Vergabeprozess. Die Empa erstellt für jeden Fonds eine Jahresrechnung und legt diese den Spendern

solche Geräte wäre der Druck. Allerdings sind «funktionelle Tinten» derzeit noch Mangelware; zudem verunmöglicht der Aufbau der meisten herkömmlichen Biosensoren die Nutzung bestehender Druckverfahren. In seinem Forschungsprojekt will Abdolhosseinzadeh auf den Ergebnissen seiner Doktorarbeit aufbauen und versuchen, eine universelle Sensor-Plattform zu entwickeln,

gegenüber offen; Spenden an den Empa Zukunftsfonds können von der Steuer abgesetzt werden. Das Team des Empa Zukunftsfonds besteht aus Gabriele Dobenecker und Martin Gubser. Martin Gubser hat in den vergangenen Jahren das Fundraising der Schweizer Paraplegiker-Stiftung und der UZH Foundation, der Spendenstiftung der Universität Zürich, geleitet. Gabriele Dobenecker verfügt über jahrelange Erfahrung in der Kontaktpflege zu Partnern der Empa in Industrie und Wirtschaft.

PREISGÜNSTIGE SENSOREN

Das Auswahlverfahren für 2022 ist soeben gestartet. Wer also in den Genuss des Fellowships der Ria & Arthur Dietschweiler Stiftung kommen wird, ist noch nicht bekannt. Ein erstes «Empa Young Scientist Fellowship» läuft jedoch bereits seit Oktober 2021: Sina Abdolhosseinzadeh hat im vergangenen Jahr seine Doktorarbeit abgeschlossen und arbeitet seither in der Forschungsabteilung «Functional Polymers». Sein Projekt: intelligente und zugleich preiswerte Sensoren für die Medizintechnik zu entwickeln. In grosser Zahl herstellbare, günstige Diagnoseinstrumente sind eine wichtige Voraussetzung für ein bezahlbares Gesundheitssystem. Chemische Sensoren sind zwar vielversprechend für die Erkennung zahlreicher Krankheiten, von Krebs bis zu Virusinfektionen, ihre kostengünstige Herstellung ist jedoch schwierig. Eine Massenproduktionsmethode für

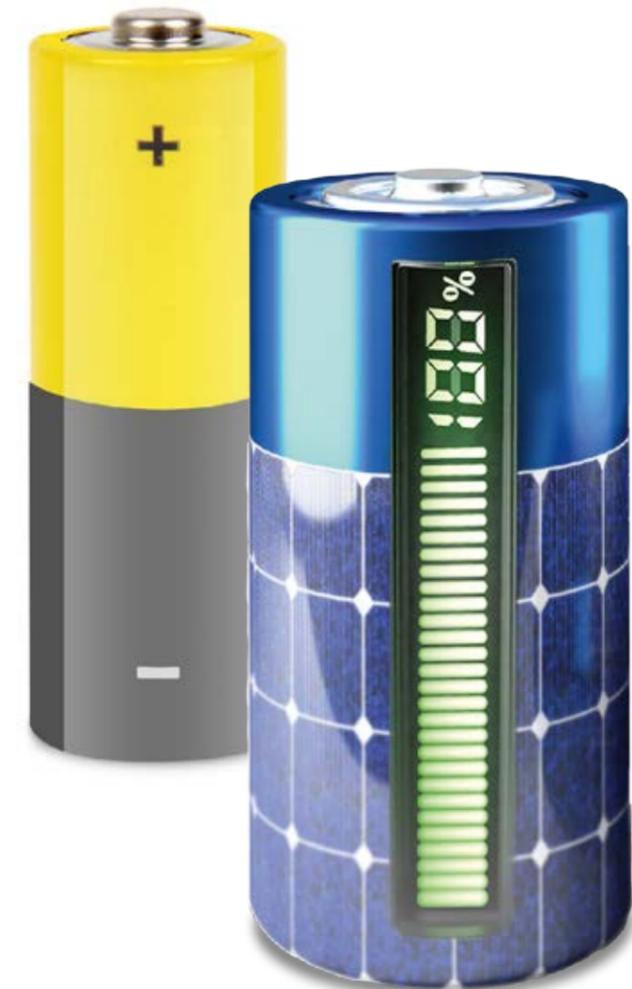
die diese Probleme löst und mit der bestehenden Technik kompatibel ist.

EIN VIEL VERSPRECHENDER START

Eine ermutigende Entwicklung seien die bereits eingeworbenen Mittel, findet Gian-Luca Bona – und hofft, dass diesen ersten Erfolgen bald weitere folgen werden: «Die Unterstützung durch die Ria & Arthur Dietschweiler Stiftung, aber auch die Zuwendung durch die Werner Siemens-Stiftung für unsere Forschung im Bereich von neuartigen Architekturen für Quantencomputer (s. Artikel S. 12) sind für uns Ansporn, diesen Weg konsequent weiterzuverfolgen und zusammen mit unseren Förderern auch in Zukunft bahnbrechende Innovationen auf den Weg zu bringen, um die drängenden Herausforderungen unserer Gesellschaft lösen zu können.» ■

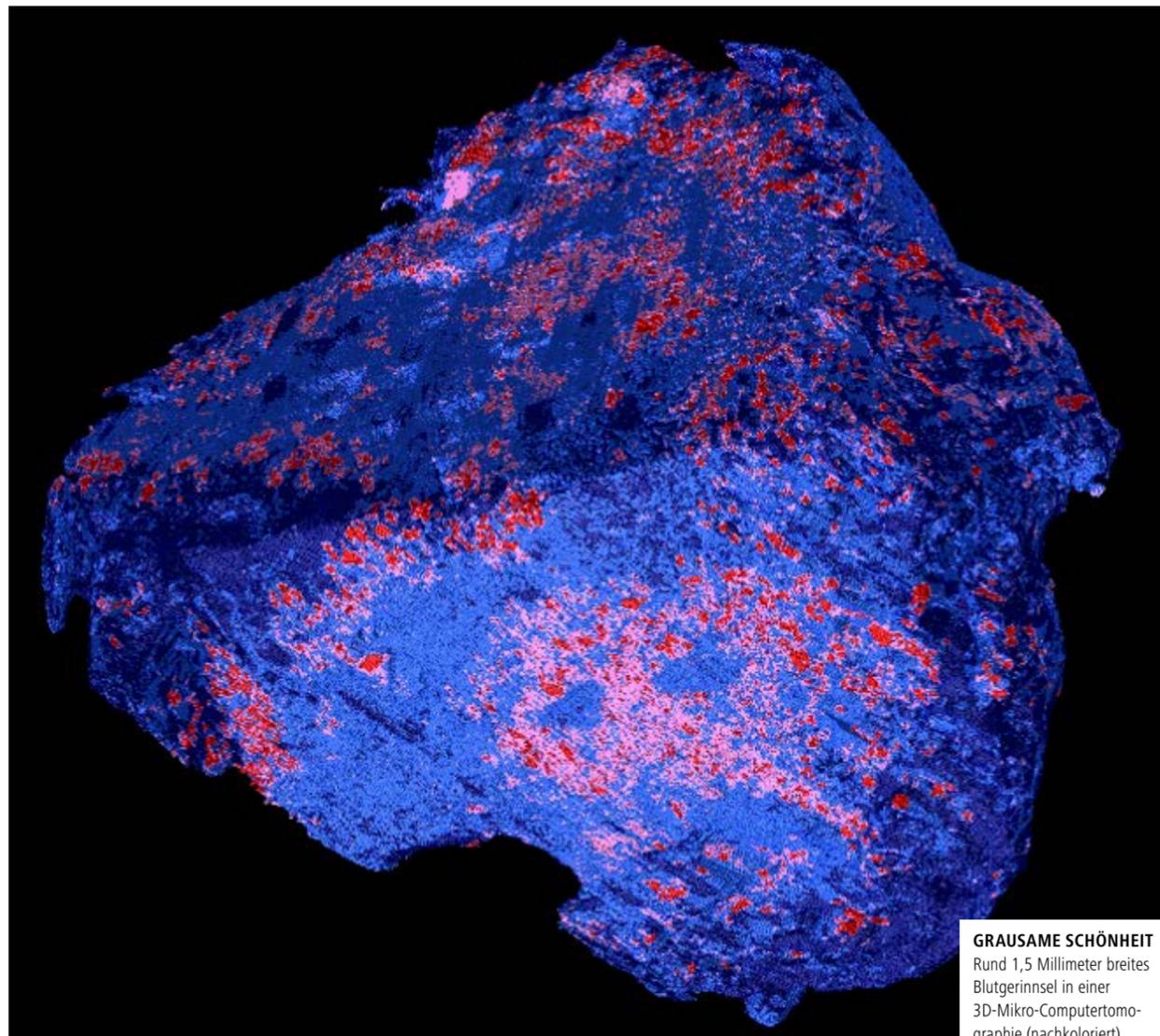
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/zukunftsfonds

Die Energie von morgen sauberer machen.



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

 **Empa**
Zukunftsfonds



GRAUSAME SCHÖNHEIT
Rund 1,5 Millimeter breites Blutgerinnsel in einer 3D-Mikro-Computertomographie (nachkoloriert)

METEORITEN-EINSCHLAG IM KOPF

Wenn ein Blutgerinnsel im Gehirn die Sauerstoffversorgung blockiert, erleiden Betroffene einen akuten Hirnschlag. Für die Behandlung zählt dann jede Minute. Ein Team der Empa, des Universitätsspitals Genf und der Klinik Hirslanden entwickelt ein Diagnoseverfahren, dank dem sich rasch eine massgeschneiderte Therapie einleiten lässt.

Text: Andrea Six

Eben noch schien alles normal, und von einem Moment auf den anderen ist die Blutzufuhr in ganze Gehirnareale blockiert: Wenn ein Gerinnsel ein Blutgefäß verschliesst, ist die Sauerstoffversorgung der Nervenzellen unterbrochen, und die Betroffenen erleiden einen akuten Hirnschlag. Der lebensbedrohliche Zustand kann sich ganz unterschiedlichen äussern: Von Muskellähmungen über Ausfälle des Gehörs oder des Sehvermögens bis hin zur Bewusstlosigkeit. Immer aber ist eines klar: Es handelt sich um einen medizinischen Notfall, und die Zeitspanne, bis die Gefäßblockade behoben ist, muss so kurz wie möglich sein, um so viele Nervenzellen wie möglich vor dem Absterben zu retten. Nur so können bleibende neurologische Schäden verhindert werden.

Welche Behandlungsmethode hierfür am besten geeignet ist, ist in der gebotenen Eile nicht immer leicht zu bestimmen. Basierend auf Röntgenanalytik und Elektronenmikroskopie entwickelt ein Team der Empa, des Universitätsspitals Genf und der Klinik Hirslanden derzeit eine Methode, mit der sich die optimale Therapie innert kürzester Zeit bestimmen lassen soll. Eine erste Studie ist nun in der Fachzeitschrift «Scientific Reports» erschienen. Diese Daten sollen die Grundlage für eine massgeschneiderte Behandlung im Sinne der personalisierten Medizin schaffen.

JEDE ZELLE EINZELN DURCHLEUCHTEN
Der Grund: Blutgerinnsel ist nicht gleich Blutgerinnsel; je nach Typus können darin verschiedene Zellarten miteinander verklumpen. Je nachdem, ob rote oder weisse Blutkörperchen dominieren oder wie stark der Anteil von eiweisshaltigen Fibrinfasern ist, weist der Thrombus ganz andere Eigenschaften auf. Zudem unterscheiden sich die Thromben in ihrer Gestalt stark voneinander. Ein

15 Millimeter langer Thrombus, der ein Blutgefäß nicht ganz ausfüllt, hat andere mechanische Eigenschaften, als ein lediglich wenige Millimeter-kurzes Gerinnsel, das aber ein Gefäß komplett verstopft und die Blutzufuhr zu den dahinterliegenden Hirnarealen lahmlegt. Nach diesen Unterschieden richtet sich die optimale Behandlung, sei es die medikamentöse Auflösung des Gerinnsels oder das Verwenden eines sogenannten Stent-Retrievers, eine Art winzige Angel, mit der sich der Thrombus aus dem Blutgefäß «herausfischen» lässt, und dessen Material je nach Thrombus anders gewählt werden kann.

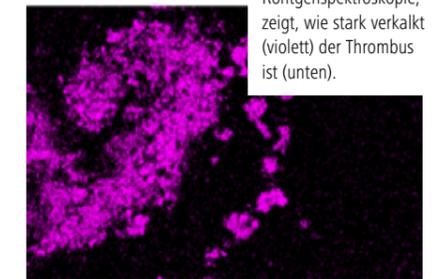
In der Radiologie setzt man derzeit auf herkömmliche Computertomographien, um einen therapeutischen Entscheid zu fällen. Allerdings ermöglichen die Bilder vom Kopf der Betroffenen kaum Aussagen über die Details eines Gerinnsels, da sich Objekte aus ähnlichem Material zu wenig voneinander unterscheiden und räumlich auflösen lassen. Im Klinikalltag muss man sich zudem mit Details zufriedengeben, die auf ca. 200 Mikrometer beschränkt sind.

Anders ist dies bei Laborverfahren, die die Forschenden innerhalb der neuen Studie einsetzen: Das Team unter Beteiligung von Robert Zboray, Antonia Neels und Somayeh Saghmanesh vom «Center for X-Ray Analytics» der Empa hatte verschiedene Blutgerinnsel, die bei neurochirurgischen Eingriffen an Patientinnen und Patienten entnommen worden waren, untersucht. Hierzu wurden verschiedene Labortechnologien kombiniert, wodurch sich virtuelle 3D-Befunde mit detaillierten und bisher unbekanntem Eigenschaften von Blutgerinnseln ergaben. «Wir haben einzelne rote Blutkörperchen mittels 3D-Mikro-Tomographie bis auf den Mikrometer genau durchleuchtet», sagt Empa-Forscher Zboray. Derartige



HARTES HINDERNIS

Im Rasterelektronenmikroskop erscheint das Blutgerinnsel homogen. Erst ein Röntgenverfahren, die energiedispersive Röntgenspektroskopie, zeigt, wie stark verkalkt (violett) der Thrombus ist (unten).



GEFANGEN IM BLUTGERINNSSEL

Mit dem Rasterelektronenmikroskop lassen sich rote Blutkörperchen mit einem Durchmesser von wenigen Mikrometern erkennen.

Tomographien mit Phasenkontrastverfahren erzeugen einen stärkeren Kontrast. Leicht zu durchdringende Objekte, wie etwa Muskeln, Bindegewebe oder Blutgerinnsel, können so in besonders feinen Nuancen und in ihrer räumlichen Ausbreitung dargestellt werden.

VERKALKTE THROMBEN

Weitere Technologien wie die Rasterelektronenmikroskopie und Röntgendiffraktions- und Röntgenstreuungsverfahren lieferten zusätzliche Informationen bis hin zu atomaren Strukturen. Hier zeigte sich erstmals, dass ein Thrombus nicht nur aus Blutzellen und Fibrinfäden ▶

Bild: Empa

Bilder: Empa

besteht, sondern sogar mit Mineralien wie Hydroxylapatit durchsetzt sein kann, wie man es von Gefässwänden bei der Arterienverkalkung kennt.

Diese detaillierten Informationen zu den Eigenheiten eines Blutgerinnsels kommen jedoch zu spät, wenn der Thrombus bereits operativ entfernt worden ist. Zudem lassen sich die neu gewonnenen Daten nicht auf den ersten Blick mit den gewohnten Bildern und Befunden im Spital abgleichen. Die Digitalisierung in der Medizin erlaubt indes, die Daten so zu modellieren, dass ein Algorithmus in Zukunft die Detailinformationen auslesen könnte. «Hierzu müssen wir noch deutlich mehr Thromben untersuchen, damit wir über «Machine Learning» neue Merkmale und Bildmuster bezüglich der Zusammensetzung der Gerinnsel erkennen können, die sich dann auf Spitalbilder übertragen lassen und damit die Identifizierung von verschiedenen Thrombustypen erleichtern», so Zboray.

Dann, so das Ziel der Forschenden, liessen sich herkömmliche Spitalbilder in kürzester Zeit so interpretieren, als ob das Blutgerinnsel im Kopf in einem virtuellen Labor untersucht werden würde. Letztendlich ermöglicht dies für den Schlaganfall-Patienten rasch eine genauere und personalisierte Therapie. ■

GLÜHENDE GLASTRÖPFCHEN IM ALL

Gemeinsam mit Forschern aus Ulm und Neuchâtel wird die Empa bald Materialproben auf der internationalen Raumstation ISS untersuchen. Es geht um superharte und korrosionsfeste Legierungen aus Palladium, Nickel, Kupfer und Phosphor – auch «metallische Gläser» genannt. Mit an Bord ist auch eine Hightech-Firma aus La Chaux-de-Fonds, die Materialien für die Uhrenindustrie herstellt.

Text: Rainer Klose

Es hat die Farbe von Weissgold, doch es ist hart wie Quarzglas und weist gleichzeitig eine hohe Elastizität auf. Die glatte und korngrenzenfreie Oberfläche macht das Material widerstandsfähig gegen Salze oder Säuren. Einzelstücke – etwa für medizinische Implantate – lassen sich im 3D-Druck herstellen, während grössere Serien – etwa für Uhrgehäuse – im Spritzgussverfahren gefertigt werden. So ungefähr wird das Material der Träume beschrieben, an dem Wissenschaftler derzeit forschen. Die Rede ist

von «metallischem Glas». An der Empa beschäftigt sich Antonia Neels, die Leiterin des Zentrums für Röntgenanalytik, seit rund 15 Jahren mit diesem geheimnisvollen Material. Ihr Team untersucht die innere Struktur von metallischem Glas mit Hilfe verschiedener Röntgenmethoden und entdeckt dadurch Zusammenhänge mit Eigenschaften wie Verformbarkeit oder Bruchverhalten. Auch für Profis der Materialwissenschaften sind metallische Gläser eine harte Nuss: «Je genauer wir die Proben anschauen, desto mehr Fragen tauchen auf», sagt

Antonia Neels. Den Ehrgeiz der Forschenden stachelt das umso mehr an.

GEMEINSAM INS ALL

In einigen Monaten wird eine Probe von metallischem Glas in der Schwerelosigkeit der internationalen Raumstation ISS untersucht. Eine Forschergruppe unter Beteiligung der Empa hat die Proben vorbereitet und bei der europäischen Raumfahrtagentur ESA zum Weltraumflug angemeldet. Die Speziallegierung liefert die Firma PX Group aus La Chaux-de-Fonds, die Materialien für die Uhrenindustrie und die Zahnmedizintechnik herstellt. Mit im Team sind auch die Forscher Markus Mohr und Hans-Jörg Fecht vom «Institute of Functional Nanosystems» der Universität Ulm sowie Roland Logé vom «Laboratory of Thermomechanical Metallurgy» der EPFL in Neuchâtel.

Die Herstellung von metallischem Glas ist nicht ganz einfach: Im Vergleich zu Fensterglas müssen die speziell ausgewählten Metall-Legierungen bis zu hundertfach schneller abgekühlt werden, damit sich die Metallatome nicht zu Kristallgittern zusammenlagern. Nur wenn die Schmelze schockartig erstarrt, bildet sie ein Glas. In der Industrie werden dünne Folien metallischer Gläser erzeugt, indem die Schmelze zwischen schnell rotierende Kupferwalzen gepresst wird. Forscher giessen bisweilen ihre Proben in Gussformen aus massivem Kupfer, das die Wärme besonders gut abführt. Doch grössere, massive Werkstücke aus metallischem Glas sind mit diesen Methoden nicht machbar.

DER 3D-DRUCK HILFT WEITER

Ein möglicher Ausweg aus dem Dilemma ist der 3D-Druck im sogenannten Pulverbettverfahren. Ein feines Pulver der gewünschten Legierung wird für wenige Millisekunden mit einem Laser erhitzt. Die Metallkörnchen verschmelzen mit ihren Nachbarn zu einer



SCHWERELOS FÜR SEKUNDEN
Wissenschaftler der Universität Ulm bei einem Schmelzversuch im Zero-G-Airbus der Firma Novespace

Art Folie. Nun wird eine dünne Pulverschicht darübergerlegt, der Laser verschmilzt das frisch aufgelegte Pulver mit der darunterliegenden Folie, und so entsteht nach und nach aus vielen kurz erhitzten Pulverkörnchen ein dreidimensionales Werkstück.

Für diese Methode ist eine feine Dosierung des Laserpulses notwendig. Brennt der Laser zu schwach aufs Pulver, verschmelzen die Partikel nicht miteinander, und das Werkstück bleibt porös. Brennt der Laser zu stark, dann schmilzt er auch die unteren Schichten erneut auf. Durch das mehrfache Aufschmelzen können sich die Atome neu anordnen, sie bilden Kristalle – und damit ist es mit dem metallischen Glas vorbei.

VIELFALT DER RÖNTGENMETHODEN

Im Zentrum für Röntgenanalytik der Empa hat das Team von Antonia Neels schon einige solcher Proben aus 3D-Druck-Experimenten analysiert. Die Ergebnisse werfen indes stets neue Fragen auf. «Manches deutet darauf hin, dass sich die mechanischen Eigenschaften der Gläser nicht verschlechtern, sondern im Gegenteil sogar verbessern, wenn die Probe kleine kristalline Anteile enthält», so Neels. «Nun gehen wir der Frage nach, wie gross dieser Kristallanteil im Glas sein muss, und welche Art Kristalle sich bilden müssen, um etwa die Biegsamkeit oder die Schlagfestigkeit des Glases bei Raumtemperatur zu erhöhen.»

Um dem Kristallwachstum in einer ansonsten amorphen Umgebung auf die Spur zu kommen, nutzen die Expertinnen und Experten der Empa verschiedene Röntgenmethoden. «Mit Strahlung verschiedener Wellenlängen können wir etwas über die Struktur der kristallinen Anteile erfahren, aber auch Nahordnungsphänomene der Atome in der Probe ermitteln – also die Eigenschaften der chemischen Bindungen



WELTRAUMLABOR
Der deutsche Astronaut Alexander Gerst installierte 2014 den Electromagnetic Levitator (EML). Hier schweben Glaströpfchen länger.



bestimmen», erläutert Neels. Zusätzlich verrät die bildgebende Röntgenanalyse, das sogenannte mikro-CT, etwas über Dichteschwankungen in der Probe. Dies deutet auf Phasentrennung und Kristallbildung hin. Die Dichteunterschiede zwischen den glasigen und den kristallinen Bereichen sind allerdings nur winzig klein. Es braucht daher eine detaillierte Bildbearbeitung, um die dreidimensionale Verteilung der kristallinen Anteile sichtbar machen zu können.

PARABELFLUG IM AIRBUS

Doch allein mit Materialproben aus dem 3D-Laserdrucker lässt sich das Rätsel um die metallischen Gläser nicht vollständig lösen. «Wir müssen wissen, bei welchen Temperaturen diese Kristalle entstehen, wie sie wachsen – um darüber stabile Herstellungsprozesse zu definieren», erläutert Röntgenspezialistin Neels. Wichtige Informationen liefern thermo-physikalische Parameter der Schmelze wie etwa Viskosität und Oberflächenspannung.

Ideale Bedingungen für diese Analysen bieten Experimente auf der ISS. Vorexperimente finden in Parabelflügen statt.

Schon 2019 sind die ersten Tröpfchen aus metallischem Glas versuchsweise geschwebt. Ein speziell umgerüsteter Airbus A310 der Firma Novespace flog mit einer Materialprobe einen Schwerelosigkeitsflug. An Bord waren Wissenschaftler aus Ulm und ein kleines, metallisches Glaströpfchen der Firma PX Group aus La Chaux-de-Fonds. Das metallische Glas, das die Forschergruppe untersucht, besteht aus Palladium, Kupfer, Nickel und Phosphor. Im Versuch namens TEMPUS (Tiegelreies elektromagnetisches Prozessieren unter Schwerelosigkeit) wurde das Glaströpfchen mittels eines Magnetfelds in der Schwebelage gehalten und per Induktion auf bis zu 1500 Grad Celsius erhitzt. Während der Abkühlungsphase versetzten zwei kurze Induktionsstrom-Pulse das glühende Tröpfchen in Schwingungen. Eine Kamera zeichnete den Versuch auf. Nach der Landung wurde die Materialprobe im Zentrum für Röntgenanalytik der Empa analysiert.

WARUM DIE ISS MEHR ERGEBNISSE LIEFERT

Die Auswertung des Videos aus dem Parabelflug lässt Rückschlüsse auf die Viskosität und die Oberflächenspannung des Tröpfchens zu – wichtige Daten, um die Herstellung von metallischen Gläsern mit bestimmten Eigenschaften besser steuern zu können. Doch die Zeit der Schwerelosigkeit während des Fluges währt nur 20 Sekunden – zu wenig für eine detaillierte Analyse. Das geht nur auf der ISS.

So ist nun eine Probe des gleichen Materials für einen Flug im europäischen COLUMBUS-Modul der ISS angemeldet. Dort ist seit 2014 der elektromagnetische Schwebefoofen ISS-EML installiert. Jeweils 18 Materialproben fliegen mit, werden automatisch durchgewech-



BODENCREW
Empa-Forscherin Antonia Neels ist Expertin für metallische Gläser und wird die Proben aus der ISS analysieren.

«Mit Röntgenstrahlung verschiedener Wellenlängen können wir etwas über die Struktur der kristallinen Anteile erfahren.»

selt und können von Forschern auf der Erde per Video-Stream beobachtet werden. Das metallische Glas aus der Schweiz geht mit der nächsten Probencharge auf die Reise ins All.

NEUE GUSSVERFAHREN GESUCHT

Aus den weit detaillierteren Daten des Weltraumfluges wollen die Forscher eine Computersimulation der Schmelze generieren. Damit sind alle Antworten durch eine Kombination von Experimenten auf der Erde und im All in einem einheitlichen Modell versammelt: Bei welcher Temperatur herrscht welche

Viskosität und Oberflächenspannung? Wann bilden sich Kristalle welcher Zusammensetzung, Grösse und Ausrichtung? Wie beeinflusst diese innere Materialstruktur die Eigenschaften des metallischen Glases? Aus all diesen Parametern wollen die Forscher gemeinsam mit dem Industriepartner PX Group eine Herstellungsmethode entwickeln, um das begehrte Material in definierter Form produzieren zu können. In den nächsten Jahren gibt es für die Materialforscherinnen und -forscher in allen beteiligten Teams also noch allerhand zu tun. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s499

Fotos: ESA

Foto: Empa

SCHWARZE LÖCHER ALS LÄRM-FALLE

Wer in einem Altbau mit Holzböden lebt, kennt das Problem: Auch wenn die Nachbarn von oben mit graziler Eleganz über den Boden gleiten, klingt es in der eigenen Wohnung, als hause man unter einer Kegelbahn. Selbst für modernste Holzgebäude ist Trittschall eine Herausforderung. Wissenschaftler der Empa tüfteln an einer Lösung.

Text: Noé Waldmann

An der Empa wird derzeit die Forschung zu einer Weltneuheit in der Schalldämmung von Holzbauten abgeschlossen. Mit einer physikalischen Theorie aus den 1990er-Jahren und den Mitteln der Digitalisierung hat ein Forschungsteam neue Bodenelemente aus Massivholzplatten entwickelt, die über so genannte akustische schwarze Löcher verfügen. Die zündende Idee kam von Stefan Schoenwald, dem Leiter des Bauakustiklabors der Empa in Dübendorf. Die Theorie der akustischen schwarzen Löcher ist ihm seit deren ersten Publikation 1987 mehrfach an Konferenzen und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen begegnet. Laut dem russischen Autor M.A. Mironov aus dem «Andreyev ▶

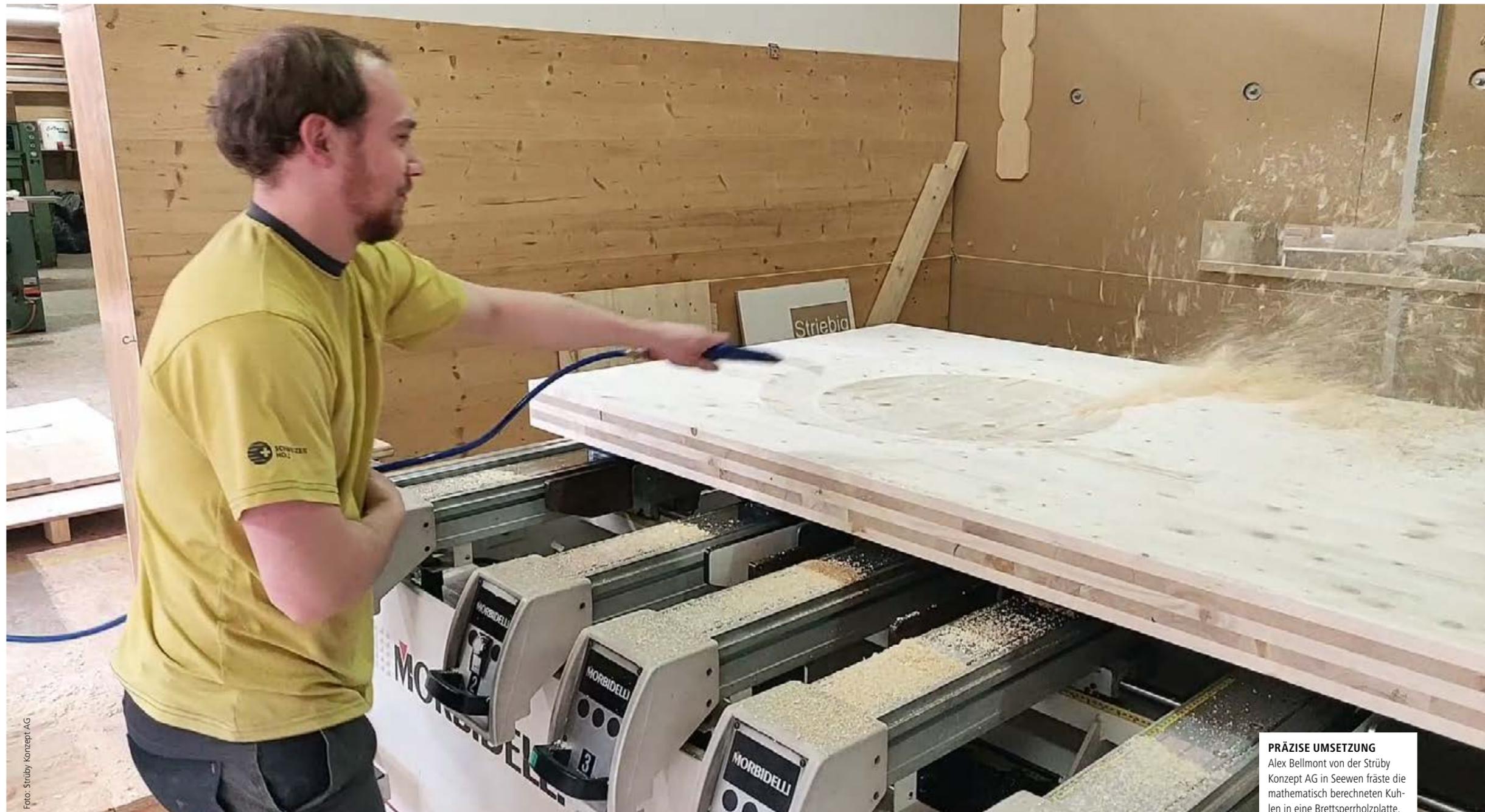


Foto: Strüby Konzept AG

PRÄZISE UMSETZUNG
Alex Bellmont von der Strüby Konzept AG in Seewen fräste die mathematisch berechneten Kühlen in eine Brettsperrholzplatte.

Acoustics Institute» in Moskau kann eine parabolische Aussparung in einem Material Vibrationen wie Schall aufnehmen und ausschwingen lassen – anders gesagt: schlucken. Akustische schwarze Löcher kamen bereits bei Autos und Flugzeugen zur Anwendung, wobei sich ihre schallvermindernde Wirkung bestätigte.

Allerdings ist die Fertigung bei sehr dünnen, harten Materialien nicht einfach. Weder im Holzbau noch in der Bauakustik fanden je Experimente mit Mironovs Aussparungen statt. Dies ändert Laborleiter Stefan Schoenwald nun gemeinsam mit seinem Kollegen Sven Vallely. Mit neuartigen Brettsperrholzplatten-Elementen wollen die beiden Forscher die Trittschalldämmung im Holzbau verbessern.

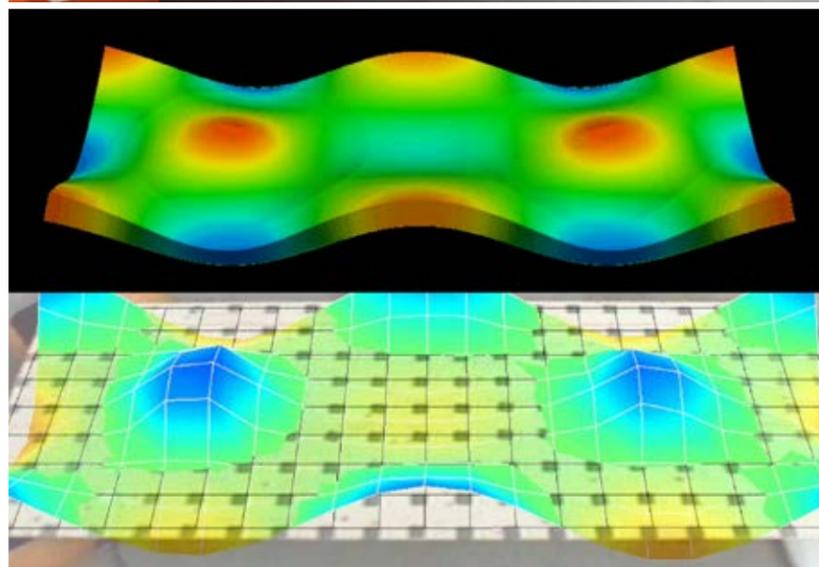
Wie es Schallwellen in der Luft gibt, so gibt es Schallwellen in Materialien, sogenannte Körperschallwellen. «Wenn man auf einen Boden auftritt, ist das wie ein Stein, den man in einen Teich wirft: Im Material breiten sich in alle Richtungen Schallwellen aus», erläutert Schoenwald. Wenn nach einer spezifischen mathematischen Funktion eine linsenförmige Vertiefung aus dem Material gefräst wird, laufen die Schallwellen in diesen Bereich hinein. Dabei verstärken sich die Amplituden immer weiter, während die Wellenlänge der Schwingungen abnimmt. «Könnte man die Platten im Bereich dieser Vertiefungen unendlich dünn machen, dann würden sich die Schallwellen tatsächlich von alleine in diesen 'schwarzen Löchern' totlaufen, es käme also nichts mehr aus der Linse», so Schoenwald. Fraglich war allerdings, ob die schallmindernde Wirkung auch bei einer beschränkten Tiefe der Aussparung eintritt.

Die Idee, mit akustischen schwarzen Löchern in Holzbauten zu experimentieren, kam Stefan Schoenwald während der Arbeit. Er bat seinen Kollegen Vallely, die



INTELLIGENTE LÄRMDÄMMUNG

Stefan Schoenwald und Sven Vallely testen, ob die Schwingungen der echten Holzplatte den Berechnungen (unten) entsprechen. Die Kuhlen sind nun mit Sand gefüllt, der die Schwingungen in Wärme verwandelt. Ein «Trittschall-Simulator» klopft mit Metallhämmern auf die Platte.



schallmindernde Wirkung am Computer zu simulieren und durchzurechnen. Um statische Bedenken aus dem Weg zu räumen, wurde Andrea Frangi, ein Holzbau-Experte der ETH Zürich, nach seiner Einschätzung gefragt. Nicht nur dessen Rückmeldung, sondern auch die Modellierung der Schallminderung am Computer war vielversprechend. Also gab Schoenwald einen Prototyp und eine normale Kontrollplatte aus dem gleichen Material bei der Strüby AG in Seewen in Auftrag. Mit einer CNC-Maschine fräste der Holzbau-Spezialist Alex Belmont dort die linsenförmige Kuhle massgenau aus einer Brettsperrholzplatte. «So ein Auftrag ist zwar nicht sehr schwierig, aber dafür umso spannender», sagt der Maschinist, «ich habe noch nie etwas hergestellt, an dem dann geforscht wird.»

COMPUTERPOWER MACHT'S MÖGLICH

Die beiden Platten – einmal mit, einmal ohne akustische schwarze Löcher – wurden an der Empa einer Schwingungsanalyse unterzogen. Bei dieser Messung wird Schall über das ganze relevante Schallspektrum als Vibration in den Testkörper geleitet. Ein Laser misst die Vibration der Test-Platten rasterförmig an mehreren Stellen. Mit den Messwerten kann dann berechnet werden, wie sich die Vibration durch die Platte bewegt – und, ob die ausgefrästen Dellen den Schall auch wirklich «einfangen» und in Form von Wärme verpuffen lassen.

Noch vor zehn Jahren wäre eine solche Versuchsreihe nicht durchführbar gewesen. Schon die Modellierung der Vibration eines kleinen Bandbreitebereichs war vom rechnerischen Aufwand her eine Dissertation. Heute rechnen Schoenwald und Vallely an einem Nachmittag das ganze akustische Spektrum durch und machen die Vibrationen als Visualisierung gleich sichtbar. Ziel des Versuchs ist es, zu untersuchen, ob die simulierten Resultate sich mit den

gemessenen Werten decken. Denn wenn das Computermodell der Realität entspricht, können am Computer nahezu kostenlos alle möglichen Parameter verändert werden, ohne dass jedes Mal eine neue Versuchsplatte angefertigt werden muss. So lässt sich die Schallminderung ohne aufwändige Experimente für Holzelemente aller möglichen Grössen und Geometrien optimieren.

BESSER DÄMMEN BEI WENIGER GEWICHT

Ergebnis der Untersuchungen: Die Messwerte stimmen sehr gut mit der Modellrechnung überein. Mit einer Abweichung von lediglich rund 5 Prozent ist Stefan Schoenwald sehr zufrieden. Diese Abweichung lässt sich durch die Fertigung der Platten und die natürliche Variation des Holzes erklären, ergänzt Vallely. Nun folgen die nächsten Versuche mit den in Seewen gefertigten Testplatten: «Aktuell sind wir an den Trittschallmessungen, die wir nach internationalen Normvorgaben durchführen. Im nächsten Schritt müssen die Brandschutz- und Statik-Eigenschaften bestätigt werden», erklärt Schoenwald. Diese weiteren Untersuchungen sollen sicherstellen, dass die Brettsperrholzplatten nicht nur mindestens auf marktüblichen Niveau den Schall dämmen, sondern auch alle für die Verwendung im Bau notwendigen Zertifizierungen erhalten.

SO FUNKTIONIERT ES

Die Wirkungsweise der Platten beschreibt Stefan Schoenwald so. «Bei der Dämmung von Trittschall muss ich drei Eigenschaften zugleich im Auge behalten: die Masse des Bauteils einerseits, seine Steifigkeit und die Bedämpfung andererseits. Steifigkeit und Bedämpfung widerstreben sich – ein weiches Bauteil lässt sich gut bedämpfen, ein steifes Bauteil weniger gut.»

Schoenwald nennt ein Beispiel: «Klassische Massivholzdecken sind zugleich

leicht und steif – hier verbinden sich also zwei ungünstige Eigenschaften.» Ein möglicher Ausweg ist es, die Masse des Bauteils zu erhöhen. In moderne Holzhäuser bauen die Architekten daher dicke Schichten von Kies zur Beschwerung ein. So geraten die Holzdecken weniger leicht in Vibration, falls ein Erwachsener darüber läuft oder ein Kind durch die Wohnung hüpf.

Schoenwald und Vallely beschreiten einen anderen Lösungspfad. «Wir machen die Holzdecken an bestimmten Stellen besonders weich, damit sie dort besonders stark schwingen können. An diesen Stellen dämpfen wir die Schwingung gezielt mit einer kleinen Menge Sand oder Kies», erläutert Stefan Schoenwald. Das gleiche Material, nämlich der Kies, erfüllt hier einen völlig anderen Zweck: «Bei uns ist der Kies nicht zur Beschwerung da. Er soll sich statt dessen bewegen und durch seine innere Reibung die Vibration in Wärme umwandeln.»

Das Ergebnis: Eine Holzdecke mit akustischen schwarzen Löchern ist wesentlich leichter als eine herkömmliche Decke und dämpft Trittschall dennoch deutlich besser. Die baulich vorteilhafte Steifigkeit der gesamten Deckenkonstruktion bleibt dabei erhalten.

SUCHE NACH INDUSTRIEPARTNER

Nach Abschluss der Versuchsreihen wollen die Wissenschaftler nun noch ein Verfahren entwickeln, das automatisch die beste Anordnung und Form der akustischen schwarzen Löcher auf die gewünschte Bodengrösse und -form aufzeigt. Das Einzige, was dann noch fehlt, ist ein Industriepartner, der Interesse an der Produktion und dem Vertrieb von akustischen schwarzen Löchern für moderne Holzgebäude hat. ■

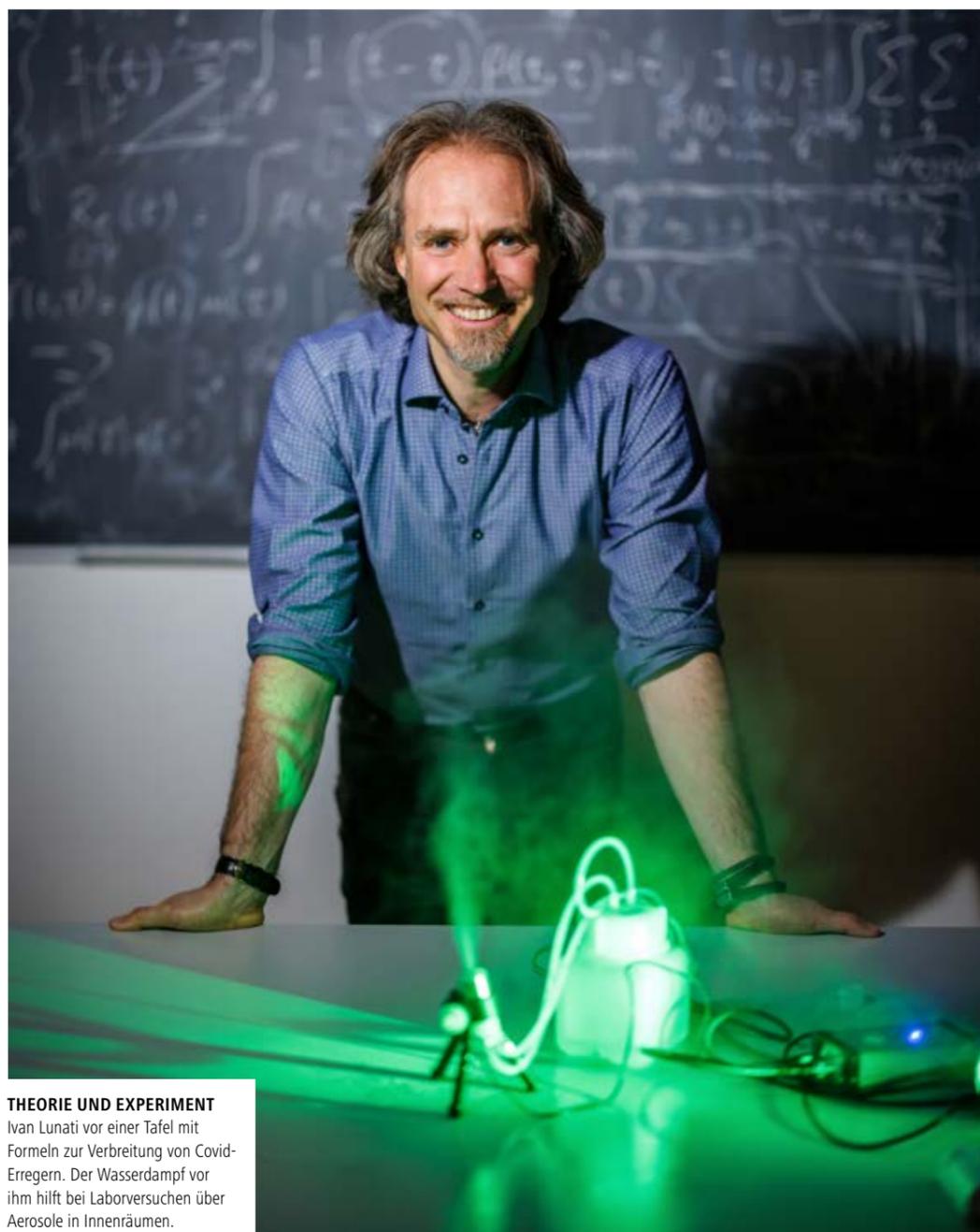
Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s509

Fotos: Empa

DER ALLESRECHNER

Beim Aufbau seiner neuen Forschungsabteilung hat die Covid-Pandemie die Arbeit von Ivan Lunati erheblich erschwert – und zugleich spannende Forschungsfragen geliefert. In Zukunft will er sich mit seinem Team weiterhin um vielfältige Themen kümmern – als leidenschaftlicher Theoretiker mit einem Faible für praktische Anwendungen.

Text: Norbert Raabe



THEORIE UND EXPERIMENT
Ivan Lunati vor einer Tafel mit Formeln zur Verbreitung von Covid-Erregern. Der Wasserdampf vor ihm hilft bei Laborversuchen über Aerosole in Innenräumen.

Foto: Nicolas Zorn / Empa

Die zwei Welten, in denen sich Ivan Lunati heimisch fühlt, sieht man in seinem Büro an der Wand gleich linker Hand: Fotos, auf denen er durch den Tiefschnee nahe Verbier zu Tale saust. Und gleich daneben eine weisse Tafel mit Notizen, Skizzen, Integralen, Differentialen ... – eine «Denkwand», denn in Bewegung fällt ihm kreative Forscherarbeit leichter.

Knifflige Aufgaben hat der Physiker, der seit Februar 2020 eine neue Empa-Forschungsabteilung aufbaut, genug. Zum Beispiel die Fragen, wo und wie sich Corona-Viren verbreiten – ob in Skigondeln und Schulzimmern oder in der gesamten Schweiz und Deutschland. Die Resultate dieser Forschung lösten grosses Echo aus – und viele Medienauftritte mit Forscher Hossein Gorji aus seinem Team. Ein Thema, das den Start der neuen Abteilung gewiss erleichterte.

DIE PANDEMIE ALS IDEENGEBERIN

Doch warum gerade Covid-Szenarien, mit denen sich seit Beginn der Pandemie so viele Forschende befassen? Aus Neugierde! Lunati studierte die wissenschaftliche Literatur zur Verbreitung von Aerosolen mitsamt Viren und fand offene Fragen. «Mein Leben war so stark beeinflusst von den Masken und Hygiene- und Distanzregeln», sagte er, «ich wollte verstehen, warum meine Welt gerade zusammenbricht.» Und auch den Berufsalltag erschwerte: Home Office und andere Massnahmen machten den Aufbau der Abteilung, so Lunati, jedenfalls nicht leichter.

Mittlerweile hat sein Team Kontur gewonnen: drei erfahrene Forschende plus Postdocs, Studierende und routinierte Techniker für die künftigen Schwerpunkte der Abteilung, zu der auch ein Wasser- und ein Windkanal gehören – Grossgeräte für Experimen-

te, mit denen sich komplexe Strömungsphänomene erkunden lassen.

Zum Beispiel auch für die Covid-Forschung. Um besser zu verstehen, wie sich Tröpfchen mit Erregern in der Luft bewegen und verbreiten, entwickelte das Team eine «Hustmaschine». Wie aus Lungenflügeln leiten zwei Schläuche Druckluft aus einem «Mund»; mit relativer Feuchtigkeit und Temperatur wie von einem Menschen. Zwei Kameras erfassen im Windkanal, wie die Tröpfchen sich bewegen. Mittels winziger Partikel, die Luftbewegungen sichtbar machen, lassen sich so genauere Modelle entwickeln, wie Viren sich real verbreiten.

Neuland für Lunati und sein Team, das auf anderen Gebieten umso mehr Erfahrung hat. Sein langjähriges Steckenpferd sind poröse Medien. Und die Frage: Wie lässt sich mathematisch modellieren, welche Stoffe sich darin wie verhalten? Ein Bild auf der Homepage der Forschungsabteilung illustriert, wie verzwickelt das ist: Was wie ein Gewirr aus farbigen Wurmröhren erscheint, zeigt die Form von Luft, die in einen löchrigen Sandstein mit winzigen Poren dringt, erklärt der Physiker mit einem Fingerzeig – und dabei Wasser verdrängt, das zuvor dort war.

Komplexe Einsichten mit praktischem Wert: Schon vor Jahren half Lunati, solche Kenntnisse für Grundwasser, die Lagerung von radioaktiven Abfällen, Erdölvorkommen oder Umweltprobleme nutzbar zu machen. «Firmen investieren viel in numerische Methoden», sagt der Physiker, «man muss beschreiben können, wie sich Wasser, Öl oder Gas im Reservoir im Untergrund bewegen – von der kleinsten Pore im Gestein bis in den Massstab von Kilometern.» Solche Einsichten könnten auch in Zukunft beim Klimaschutz dabei helfen, CO₂ aus der Atmosphäre sicher in der Tiefe zu lagern.

Seit rund 20 Jahren befasst sich der Physiker mit der «Multiskalen-Modellierung», wie man dieses Fachgebiet nennt, an dem Forschergruppen in aller Welt arbeiten: Simulationen vom Kleinsten bis zum Grossen – zum Beispiel vom Quanten-Massstab über atomare und molekulare Bindungen bis hin zur Struktur, die für das Auge sichtbar ist. Auch für neue Werkstoffe könnten derartige Modelle nützlich sein. Beispiel Aerogele: Die extrem porösen Materialien sollen in Zukunft dazu dienen, CO₂-Moleküle aus der Atmosphäre zu binden. Bei der Frage, wie ein Aerogel dazu im Detail manipuliert werden muss, wird sich Lunatis Team mit Fachleuten in anderen Empa-Abteilungen vernetzen.

THEMEN VERMITTELN UND VERNETZEN

Poröse Medien als Hoffnungsträger? Für Laien scheinbar kaum vermittelbar, doch Lunati hat es einst auch Kindern nähergebracht – an einem Tag der offenen Tür an der Universität Lausanne. Am Beispiel von Trinkwassergewinnung, erzählt er mit verschmitztem Lächeln, «habe ich mit Sand, Wasser und porösem Material gespielt, aus einem 3D-Drucker. Einfach, um die Kinder zu stimulieren, sich ein bisschen mit Forschung zu beschäftigen».

Komplexes «greifbar» zu machen, macht ihm spürbar Freude – und ist keineswegs ein Widerspruch zu seinem Selbstverständnis. «Ich bin eine theoretische Person», sagt Lunati zwar, «Theorie ist mir wichtig.» Doch das soll nicht bedeuten, dass er den Blick auf die Praxis vernachlässigt – im Gegenteil: «Wenn ich an den Grundlage für neue Modelle arbeite, dann können die später auch von anderen Leuten gebraucht werden – in den verschiedensten Bereichen.»

Diese Hoffnung hegt er auch bei anderen Themen. Beispiel «Embodied machine learning»: Intelligente



IVAN LUNATI

WERDEGANG Postdoktorat an der ETH Zürich, Institute of Fluid Dynamics, Senior Scientist an der ETH Lausanne, SNSF-Proffessur an der Universität Lausanne, Institut für Erdwissenschaften. Seit Februar 2020 Empa-Abteilungsleiter.

FORSCHUNG Physikstudium an der Universität Mailand, Promotion an der ETH Zürich, vielfältige Forschung in Hydromechanik, Umweltforschung, Data Science und weiteren Gebieten. Zahlreiche Publikationen und Konferenztteilnahmen, akademische Lehrtätigkeiten im In- und Ausland. Mitglied in zahlreichen Fachgremien.

Lunati auch eine Denkweise vermitteln: eine gewisse Intuition, um zu vereinfachen und nicht in Datenmassen zu ertrinken – nicht nur irgendeine Formel finden, sondern eine schlichte und, ja, auch schöne Lösung.

«In diesem Sinne bin ich schon ein altmodischer Wissenschaftler», gesteht er, «ich möchte die Welt beschreiben.» Komplexes reduzieren – für Lösungen und Ideen, die sich dann für eine Vielzahl von Fragen verwenden lassen. So wünscht er sich auch seine Abteilung: vielfältig, doch zugleich so fokussiert, dass man ihre Arbeit in einem Satz zusammenfassen kann. Und ja: Sie soll noch wachsen. «Auf einem Hundert-Meter-Sprint wären wir jetzt bei 50 Metern», sagt er, «aber eigentlich ist es ja ein Marathon.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s305

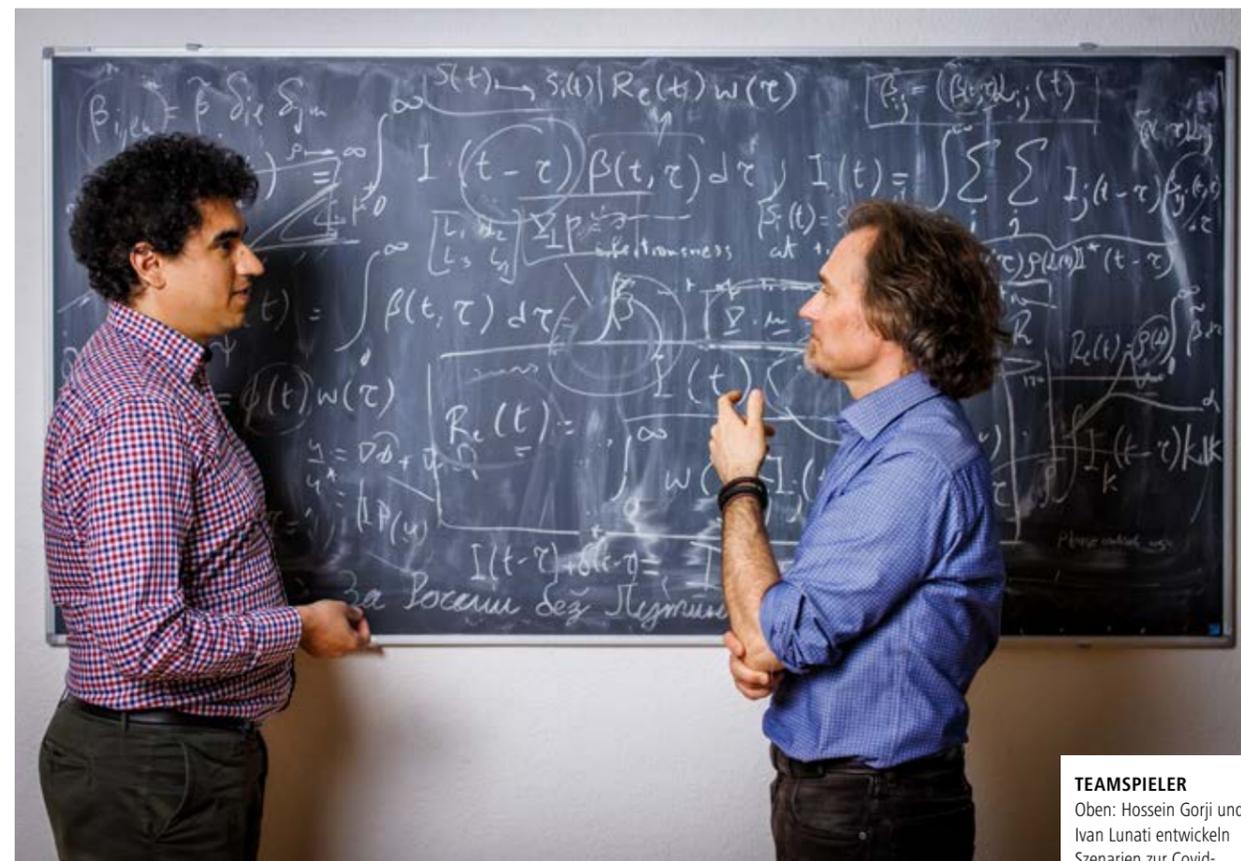
Drohnen mit Messensoren, an denen Empa-Spezialisten arbeiten, könnten mit neuen Algorithmen lernen, schon im Einsatz bei der Datenerfassung auf ihre Umwelt zu reagieren. Beispiel Covid-Verbreitung: Statt üblicher Rechenmodelle, die Verbreitung von Covid-Viren anhand von unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen simulieren, könnten künftige Modelle auf Datenbasis sogar einzelne Personen miteinander vernetzen.

Lunati greift zu einem Ausdruck auf dem Bürotisch: unter einer Karte der Schweiz ein kreisförmiges Netz aus zahllosen, schwarzen Flecken, verbunden mit blassen Strichen. «Diese Punkte könnten Personen beschreiben und all die Linien ihre Kontakte», erklärt er. So ein

Netzwerk entsteht nicht aus «klassischer» Statistik, sondern aus Datenanalysen, deren Verknüpfungen vergleichbare Resultate liefern. Doch zugleich könnten solche Verfahren auch unbekannte Interaktionen offenlegen – neue Einsichten also, mit denen sich wiederum herkömmliche Modelle verfeinern liessen.

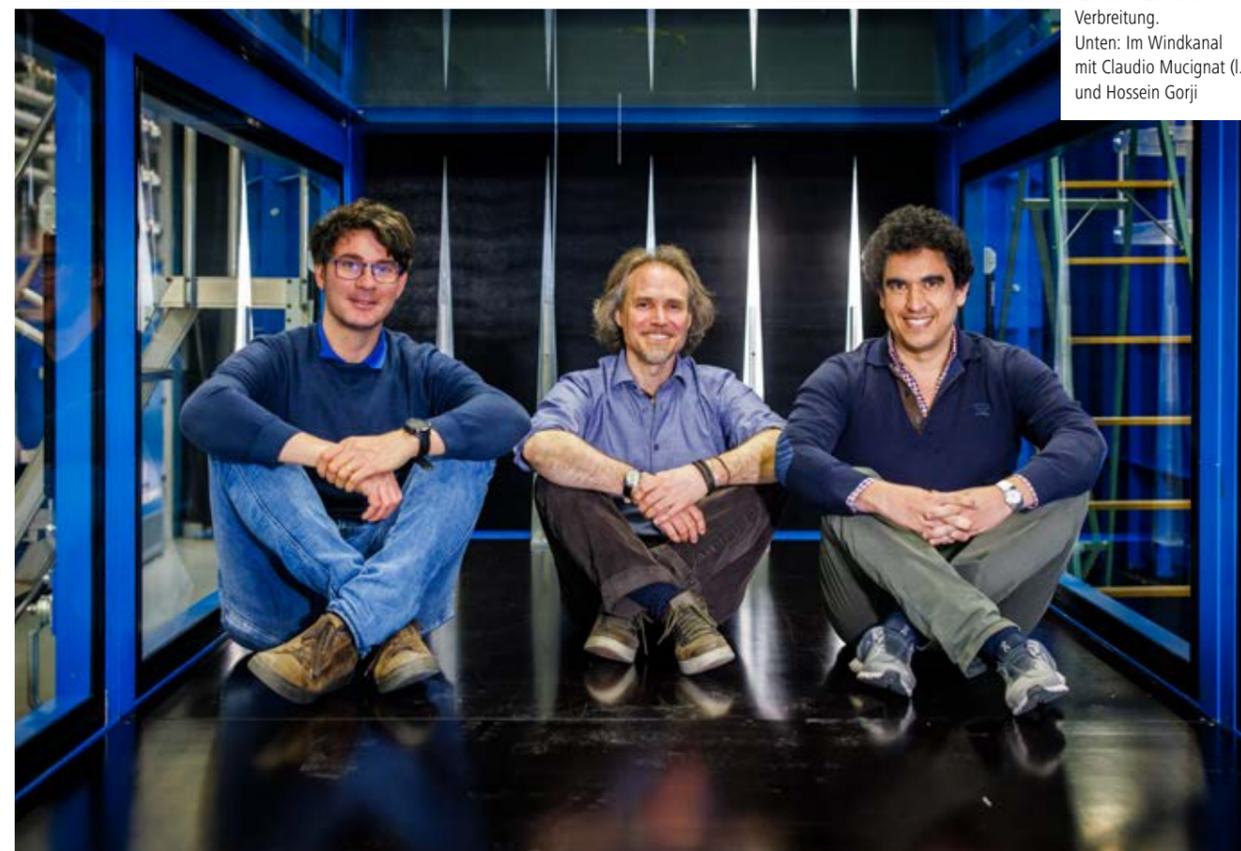
INTUITION ALS FORSCHERTUGEND

Wenn der Modellierer erzählt, spürt man seine Begeisterung für Ideen ... – die «Denkwand» in seinem Büro wird kaum je unbeschrieben sein. Wie auch die klassisch-schwarze «Schultafel» in der lichten Gemeinschaftshalle seiner Abteilung: übersät mit mathematischen Formeln – davor ein langer Tisch für Diskussionen im Team. Schliesslich will



TEAMSPIELER

Oben: Hossein Gorji und Ivan Lunati entwickeln Szenarien zur Covid-Verbreitung.
Unten: Im Windkanal mit Claudio Mucignat (l.) und Hossein Gorji



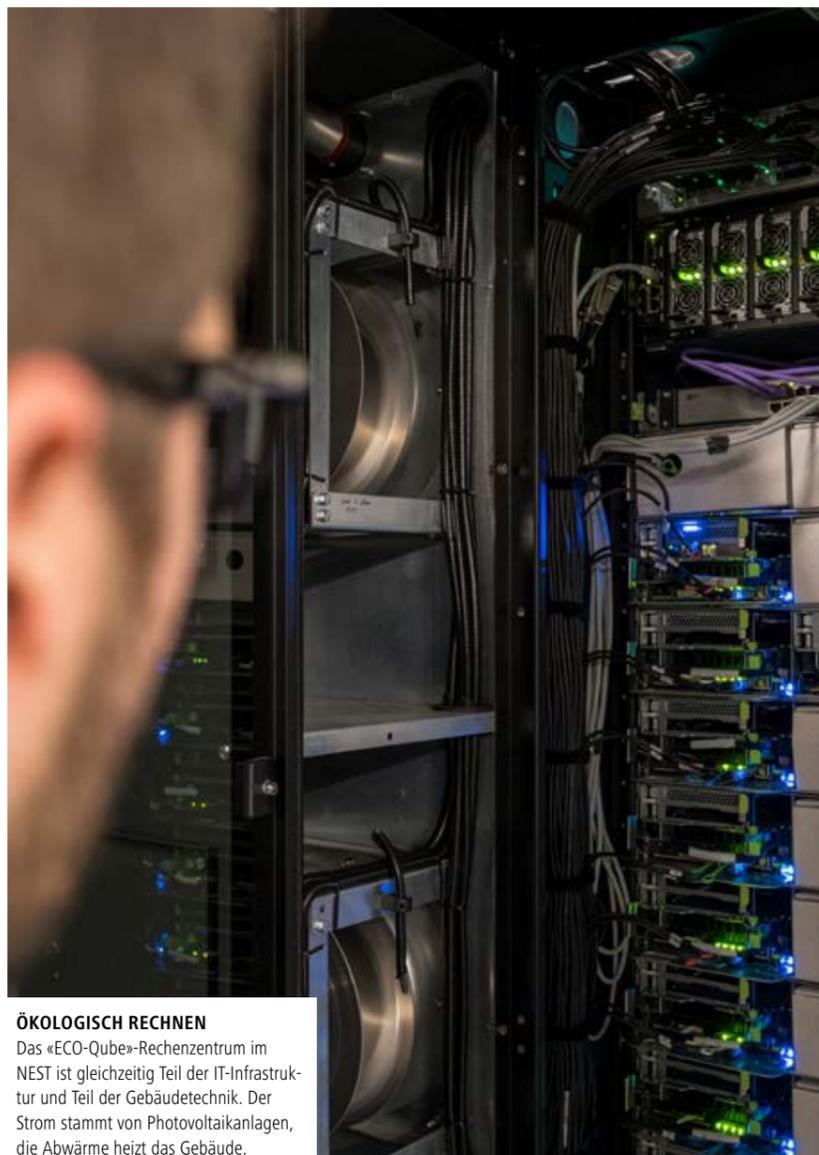
Fotos: Nicolas Zorwi / Empa

ICH BIN AUCH EINE HEIZUNG

Ein neu installiertes Rechenzentrum im Forschungsgebäude NEST dient nicht nur der Datenverarbeitung, sondern hilft mit beim Heizen des gesamten Gebäudes. Die Serveranlage ist Teil des EU-Forschungsprojekts «ECO-Qube», das die Integration von Rechenzentren in Gebäudesysteme und deren energieeffizienten Betrieb untersucht.

Text: Stephan Kälin

«Der Trend zum Internet of Things bedeutet: Wir müssen die Daten wieder lokal verarbeiten – dort, wo sie entstehen.»



ÖKOLOGISCH RECHNEN

Das «ECO-Qube»-Rechenzentrum im NEST ist gleichzeitig Teil der IT-Infrastruktur und Teil der Gebäudetechnik. Der Strom stammt von Photovoltaikanlagen, die Abwärme heizt das Gebäude.

Foto: Empa

Ein Klick im Internet hinterlässt Spuren. Nicht nur im Netz selbst, sondern auch in Form eines grossen ökologischen Fussabdrucks. Denn auch wenn vermeintlich all unsere Daten in der Cloud schweben, sind zu deren Verarbeitung und Speicherung physische Rechenzentren nötig, die riesige Mengen an Energie verschlingen – ein wesentlicher Teil davon für die Kühlung der Anlagen. Die grossen Tech-Giganten sind sich ihrer Verantwortung mittlerweile durchaus bewusst, investieren grosszügig in erneuerbare Energien und suchen nach Möglichkeiten, die Energieeffizienz ihrer Serverfarmen zu optimieren. Einer dieser Wege führt etwa an den Polarkreis, wo mittlerweile einige der grössten Rechenzentren stehen. Die dortigen kalten Temperaturen helfen mit, den Energieaufwand für die Anlagenkühlung zu senken.

DATENMENGEN WACHSEN STARK

Das Mit den neuesten digitalen Trends wie Künstlicher Intelligenz (KI), «Augmented Reality» oder «Internet of Things» (IoT) kommen aber die nächsten Herausforderungen: Die zu verarbeitenden Datenmengen steigen ins Unermessliche, gleichzeitig werden Reaktionen in Echtzeit gefordert – ohne Latenz. Dazu muss der Verarbeitungsort der Daten wieder viel näher an den Entstehungsort derselben rücken. Zum Beispiel in Form eines Mikro-Rechenzentrums im Quartier. Im besten Fall dient dieses lokale Rechenzentrum aber nicht nur der Datenverarbeitung, sondern wird – angeschlossen an die Energieversorgung – auch gleich zum Heizen der Gebäude verwendet. Ein Feldtest mit Mikro-Rechenzentren im Forschungsgebäude NEST an der Empa und an zwei weiteren Standorten in der Türkei und den Niederlanden will das Potenzial dieser Idee ergründen.

Das Projekt mit dem Namen «ECO-Qube» wird durch das EU-Förderpro-

gramm «Horizon 2020» unterstützt und bringt Forschungs- und Industriepartner aus der Schweiz, der Türkei, Spanien, Deutschland, den Niederlanden und Schweden zusammen.

INTELLIGENT KÜHLEN

«Unser Ziel ist es, sowohl den Energiebedarf als auch die CO₂-Emissionen von kleinen Rechenzentren um je einen Fünftel zu senken», sagt Çağatay Yılmaz, Innovation Manager beim türkischen IT-Lösungsanbieter Lande und Projektleiter von «ECO-Qube». Herkömmliche Rechenzentren arbeiten gemäss der Sustainable Digital Infrastructure Alliance, einer weiteren Projektpartnerin, häufig nur mit einer Auslastung von rund 15 Prozent. Trotzdem brauchen die Server ständig Strom und werden gekühlt. Um diesem Problem zu begegnen, wird die Kühlung der «ECO-Qube»-Rechenzentren intelligent gemacht: Die Sensordaten der einzelnen IT-Komponenten werden in Big-Data-Strukturen akkumuliert und tragen dazu bei, dass die Wärmeverteilung innerhalb der Anlage jederzeit genauestens erfasst wird. Künstliche Intelligenz kombiniert diese Daten mit Luftstromsimulationen, so dass die Kühlung sehr gezielt eingesetzt werden kann. Gleichzeitig werden die Rechenlasten in den drei Test-Rechenzentren in der Schweiz, der Türkei und den Niederlanden so verteilt, dass alle drei Anlagen so energieeffizient wie möglich betrieben werden können.

ABWÄRME NUTZEN

Die drei Rechenzentren werden direkt in die Energiesysteme der umliegenden Quartiere integriert und sollen möglichst mit erneuerbarer Energie gespeist werden. Im NEST kommt der Strom für den Betrieb des Rechenzentrums beispielsweise unter anderem von den Photovoltaikanlagen der NEST-Units und des Mobilitätsdemonstrators move. Die Abwärme des Rechenzentrums wird an

das bestehende Mittel- oder Nieder-Temperaturnetz abgegeben. Im Winter speist sie so direkt die Gebäudeheizung und dient über das Jahr gleichzeitig als Quelle für eine Wärmepumpe, die das Brauchwarmwasser bereitstellt.

«Für uns ist es interessant, das Mikro-Rechenzentrum nicht nur als elektrischen Verbraucher zu betrachten, sondern als eine dynamische Komponente im Gesamtsystem, die wir so einsetzen können, dass Berechnungen dann stattfinden, wenn es ökologisch Sinn macht. Die Kopplung der elektrischen und thermischen Welt mit der IT-Infrastruktur und der Datenverarbeitung bietet ein grosses Optimierungspotenzial hin zu einem nachhaltigen Betrieb», sagt Philipp Heer, Leiter des «Energy Hub» (ehub) an der Empa.

Das Projekt dauert rund drei Jahre. Nach dem Abschluss will das Team Richtlinien für Planer und Gebäudebetreiber bereitstellen können, um sie bei einer energieeffizienten Integration von Rechenzentren in Gebäude und Quartiere zu unterstützen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://eco-qube.eu/>

EMPA-FORSCHER WIRD PRÄSIDENT DER EUROPEAN CERAMIC SOCIETY

Thomas Graule, Leiter der Empa-Abteilung «High Performance Ceramics», wurde zum Präsidenten der Europäischen Keramischen Gesellschaft ECeRS gewählt. Die Gesellschaft ist die Dachorganisation von 28 nationalen Verbänden, die sich um die Ausbildung von Forschenden kümmern, internationale Konferenzen organisieren und den Austausch wissenschaftlicher Publikationen im Bereich der Keramikforschung fördern. Zudem vertritt die ECeRS die Interessen der europäischen keramischen Industrie und stellt die Verbindung zwischen der akademischen Forschung und der Anwendung keramischer Werkstoffe her. Thomas Graule wird das Präsidium der ECeRS von 2023 bis 2025 übernehmen.

<https://ecers.org>



KOORDINATOR
Thomas Graule vernetzt
Keramikforscher in
ganz Europa.

MITGLIED IM COMPUTERFORSCHUNGSNETZWERK MARVEL



KOMPLEXE LÖSUNGEN
Daniele Passerone ist
Experte für Computer-
simulationen im Bereich
der Materialwissenschaft.

Die ETH Zürich hat den Empa-Forscher Daniele Passerone im März 2022 zum Titularprofessor ernannt. Er forscht seit 2006 an der Empa, wo er das «Atomistic Simulations»-Team des «nanotech@surfaces»-Labors leitet. Die Aktivitäten des «Atomistic Simulations»-Teams reichen von der Modellierung der atomaren, elektronischen und Rastertunnelmikroskopie über die Thermodynamik des Wachstums und die strukturellen bzw. elektronischen Eigenschaften von Clustern, Materialien und Filmen bis hin zur Untersuchung von oberflächengestützten Nanostrukturen. Seit kurzem ist die Gruppe von Daniele Passerone auch am Nationalen Kompetenzzentrum für die Entwicklung neuartiger Materialien mit Hilfe des Computers (NCCR MARVEL) beteiligt.

<https://nccr-marvel.ch/research/iii/design-and-discovery/low-dimensional-materials>

Foto: Empa

«CIRCUBAT» VERBESSERT ÖKOBILANZ DER E-MOBILITÄT



BATTERIE-VISIONÄR
Empa-Forscher Corsin Battaglia
leitet ein Teilprojekt des For-
schungsprojekts CircuBAT.

Das Forschungsprojekt CircuBAT will den Kreis zwischen Produktion, Anwendung und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus der Mobilität schliessen. Dafür suchen sieben Schweizer Forschungsinstitutionen sowie 24 Unternehmen gemeinsam nach Optimierungsmöglichkeiten. Von den sieben Teilprojekten werden drei von Empa-Forschenden geleitet. Das Teilprojekt «Herstellung von Batteriezellen» soll den Herstellungsprozess energie-sparender gestalten. Der bei weitem energieintensivste Schritt bei der Herstellung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle ist die Trocknung der Batterie-Elektrode nach der Beschichtung. Durch eine trockene Elektrodenbeschichtung fiele dieser Schritt weg, was zu erheblichen Energie- und Kosteneinsparungen führen würde. Corsin Battaglia leitet dieses Teilprojekt.

<https://circubat.ch/>

Foto: Empa

VERANSTALTUNGEN

10. MAI 2022

Tropical Day: Imaging and Image Analysis XIII

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/imaging

Online

20. MAI 2022

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/korrosion

Empa, Dübendorf

29. JUNI 2022

Technology Briefing: Materials for CO₂ UNtdown – Mit innovativen Materialien zur CO₂-Neutralität

Zielpublikum: Wirtschaft und Industrie

www.empa-akademie.ch/technology

Empa, Dübendorf

01. JULI 2022

Kurs: Hightech-Keramiken

Zielpublikum: Industrie und Forschung

www.empa-akademie.ch/ht-keramik

Empa, Dübendorf

13. – 15. SEPTEMBER 2022

Biointerfaces International Conference (BIC) 2022

Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft

www.biointerfaces.ch

ETH, Zürich

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

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology