

Empa Quarterly

Forschung & Innovation #54 | November 16

Patentierter Schwingungskiller

Luftforschung am
Beromünsterturm

10 Jahre Empa
Innovation Award

Rote Keramik
für eine Luxusuhr



Empa

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

Nicht nur Sprüche

Liebe Leserin, lieber Leser

«The Place where Innovation Starts». Das möchte die Empa sein. Gewissermassen die Brutstätte für neue Technologie, die unseren Industriepartnern hilft, sich im stetig härter werdenden globalen Wettbewerb erfolgreich zu behaupten. Gemeinsam sorgen wir dafür, dass die Schweiz Jahr für Jahr in diversen Rankings so hervorragend abschneidet wie etwa im Ende September veröffentlichten «Global Competitiveness Report 2016/17» des World Economic Forum, den wir bereits zum achten Mal in Folge (!) anführen.

Etwas dick aufgetragen, finden Sie? Tatsächlich ist es ratsam, den Marketing-Slogans (vor allem den eigenen) nicht blindlings zu vertrauen. Wir haben also ein wenig nachgeforscht. Anlass war die Verleihung des Empa Innovation Award, der vor zehn Jahren ins Leben gerufen wurde, um vielversprechende Ideen «mit grossem Umsetzungspotenzial» auszuzeichnen. Wir haben uns gefragt: Sind aus den Innovationen tatsächlich erfolgreiche Geschäftsmodelle geworden? Welche davon haben sich am Markt durchsetzen können? Die Antwort darauf, die uns – so viel sei verraten – doch sehr beruhigt hat, finden Sie ab Seite 10.

Ein anderer Slogan, der mir zugegebenermassen auch sehr gut gefällt, lautet: «the smartest places on Earth». Den hat sich aber jemand anderer ausgedacht, nämlich zwei US-Autoren, die in einem neuen Buch die produktivsten Zentren der weltweiten Innovationstätigkeit identifiziert haben. Und ja, Sie ahnen es, die Empa findet sich auch darunter. Eine Rezension finden Sie auf Seite 24.

Regelmässigen Lesern der EmpaQuarterly wird zudem auffallen, dass schon wieder ein luxuriöser Zeitmesser die Seiten unseres Magazins ziert, wie bereits in der April-Ausgabe. Waren es damals goldbeschichtete Fasern an der «Big Bang Broderie Gold» aus dem Hause Hublot, ist es dieses Mal eine Speedmaster «Moonphase», das neueste Modell von Omega. Die Lunette dieser Luxusuhr ist aus roter Keramik gefertigt, die in den Empa-Labors entwickelt wurde – ein weltweites Novum (S. 8).

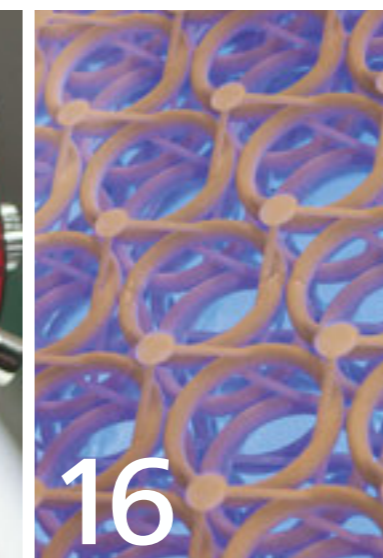
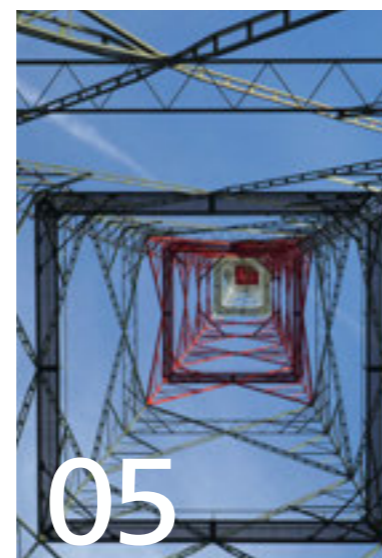
Viel Vergnügen beim Lesen!



Fokus: Empa Innovation Award

Eine zehnjährige Erfolgsgeschichte

- 10** Rückblick auf 10 Jahre Empa Innovation Award
Hatte das Auswahlkomitee den richtigen Riecher?
- 12** Preisträger 2006 bis 2009
Goldfäden und Brückenbauer
- 14** Preisträger 2010 bis 2014
Intelligente Pflegebetten und Revolution im Spannbetonbau



- 05** Vom Sender zum Empfänger
Neue Luftmessstation am historischen Funkturm Beromünster
- 08** Endlich rot!
Ein Meisterstück der Keramikforschung ziert eine Schweizer Luxusuhr
- 16** Ausgezittert
Fononische Kristalle – eine neue Methode, um Vibrationen und Geräusche zu eliminieren
- 20** Reise nach Liliput
Leopold Talirz beschreibt seine Arbeit mit dem atomaren Molekülbaukasten
- 28** Ein Wunderstoff wird erschwinglich
Neue Herstellungsmethode für Aerogel – das weltbeste Isolationsmaterial

Titelbild

Grossaufnahme eines fononischen Kristalls. Diese künstlichen, am Computer entworfenen Kristallstrukturen können Schwingungen bestimmter Frequenzen schlucken und in Reibungswärme umwandeln. Das revolutionäre Dämmmaterial lässt sich im 3-D-Drucker herstellen und könnte eine neue Ära mechanischer Dämpfung einläuten.
Bild: Empa. Ab Seite 16

Impressum

Herausgeberin Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Schweiz, www.empa.ch /
Redaktion & Gestaltung Abteilung Kommunikation /
Tel. +41 58 765 47 33 empaquarterly@empa.ch,
www.empaquarterly.ch // Erscheint viermal jährlich
Anzeigenmarketing rainer.klose@empa.ch
ISSN 2297-7406 EmpaQuarterly (Deutsche Ausg.)





Vom Sender zum Empfänger

2008 stellte der international bekannte Mittelwellensender Beromünster seinen Dienst ein; der 217 Meter hohe Bloesenberg-Turm des alten Landessenders wurde unter Denkmalschutz gestellt. Nun bekommt er eine neue Aufgabe: Er dient als Luftmessstation im Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL). Von diesem Ort aus haben die Experten die Emissionen des Schweizer Mittellands im Blick – vom Bodensee bis zum Genfersee.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa

Die Lage des Sendeturms ist spektakulär: Auf 800 m ü. M. bietet er freie Sicht – und zwar über 360 Grad. Das bringt Vorteile. Radiosendungen konnten über den Mittelwellensender ab den 1930er-Jahren nicht nur ins Schweizer Mittelland, sondern direkt auch ins benachbarte Ausland übertragen werden. Der Landessender Beromünster wurde deshalb im Zweiten Weltkrieg zur wichtigen unabhängigen Informationsquelle in den mit Propaganda gefluteten Nachbarländern.

Noch immer steht die riesige Kupferspule der Sendeanlage in einem Faradaykäfig im kleinen Häuschen zu Füßen des Turms. Doch gesendet wird heute nicht mehr. Dafür brummen hier Pumpen, die Aussenluft ansaugen und in die Messstation hineinleiten. Hier sind die beiden Empa-Luftexperten Christoph Hüglin und Stefan Bugmann an der Arbeit. Während Bugmann die Geräte kontrolliert und Filter austauscht, erklärt Hüglin, wie es dazu kam, dass hier Forschung betrieben wird: «Nachdem der Radiobetrieb eingestellt worden war, suchte man nach einer neuen Nutzung des Turms. Das war für uns die Chance. Die Lage passt ausgezeichnet, denn der Standort eignet sich nicht nur zum Senden von Radiowellen, sondern auch zum Sammeln von Informationen über die Zusammensetzung der Luft.» Der Sendeturm sei «frei anströmbar», erklärt Hüglin. Das heisst: Keine Hindernisse und kein Wald behindern hier die Luftströme, die Schadstoffe über die ganze Atmosphäre verteilen.

Beromünster und Jungfrauojoch

Der Standort Beromünster hat ähnliche Voraussetzungen wie der Standort auf dem Jungfrauojoch, der ebenfalls auf eine freie Anströmung zählen kann. Die Hochgebirgsforschungsstation auf dem Jungfrauojoch kann Luftfremdstoffe aus halb Europa erfassen, die Station Beromünster erfasst immerhin die Werte des gesamten Schweizer Mittellands, vom Bodensee bis nach Genf und über die Grenzen bis ins nahe Deutschland und Frankreich. Beides sind wichtige Punkte in nationalen wie internationalen Messprogrammen, die die Luftverschmutzung im Auge behalten.

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) betreibt die Empa das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) seit Sommer 2016 neu auch mit dem Standort Beromünster. Auf fünf verschiedenen Höhenstufen des Turms wurden in den letzten Jahren gemeinsam mit der Universität Bern und der ETH Zürich bereits Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄) gemessen, nun wurde die Station weiter ausgebaut. Von der Ausrüstung her dient die Jungfrauojochstation als Vorbild für die neue NABEL-Sta-

Der 217 m hohe Bloesenbergturm des früheren Landessenders Beromünster steht seit 2008 unter Denkmalschutz. Bis in 40 m Höhe ist er grau-grün gestrichen. Die runde Technik-Kabine liegt auf 150 m Höhe.

tion. Dort wie hier hat die Empa hoch empfindliche Analysegeräte installiert, die Luftschadstoffe auch noch in winzigsten Mengen kontinuierlich detektieren können, beispielsweise Stickoxide (NO_x) und Ozon (O_3). Für diese Untersuchungen sind leistungsstarke analytische Messtechniken gefragt, die dazu noch jederzeit online verfügbar sein sollten. Etwa die von Forschern der Empa-Abteilung «Luftfremdstoffe/Umwelttechnik» mit Partnern entwickelten Quantenkaskadenlaser-Spektrometer. Sie sollen ab Ende Jahr auch Lachgas-Isotope (N_2O) aufspüren und quantifizieren. Mit den Instrumenten lässt sich sogar herausfinden, ob Lachgasmoleküle aus Verbrennungsprozessen in Kraftwerken stammen oder ob sie «biologisch» produziert wurden, etwa in Kläranlagen.

Während sich Stefan Bugmann im Inneren des ehemaligen Transformatorenhäuschens nun mit der Kalibrierung der Messgeräte beschäftigt, demonstriert Christoph Hüglin die so genannten Impaktoren auf dem Dach. Sie saugen oben die Luft mit Pumpen an – unten landen die in der Luft schwebenden Feinstaubpartikel in einem Filter. Doch nicht alle: Dank einer bestimmten Strömungstechnik werden nur gasförmige Stoffe und Feinstaubpartikel, die kleiner als $10\ \mu\text{m}$ sind, ins Innere der Station geleitet. Die Filter werden alle zwei Wochen in die Empa gebracht, wo sie in Ergänzung zu den online übertragenen Daten im Labor ausgewertet werden.

Die Empa werde ihr Interesse als neue Betreiberin des Turms vermehrt auf sich schnell zersetzende Luftschadstoffe, z.B. Stickoxide, sowie auf Treibhausgase richten, erklärt Hüglin. Neben den Langzeitmessungen sind kürzere Forschungskampagnen geplant, in denen über eine bestimmte Zeit hinweg bestimmte Substanzen umfassender gemessen werden. //



Das nationale Beobachtungsnetz...

... für Luftfremdstoffe (NABEL) überwacht die Luftverschmutzung an 16 Standorten in der Schweiz. Gemessen wird die Belastung an typischen Standorten, beispielsweise an Strassen im Stadtzentrum, an Autobahnen und in Wohngebieten. Am 26. Oktober wurde Beromünster als 16. NABEL-Station – die erste seit 1990 – feierlich eingeweiht. Sie repräsentiert ländliche Gegenden unter 1000 m ü. M.

Die Feinstaubpartikel werden am Fuss des Turms, auf dem Dach des früheren Betriebsgebäudes mit so genannten Impaktoren eingesammelt. Christoph Hüglin (Bild links) und Stefan Bugmann analysieren nicht nur die online übertragenen Messwerte, sondern auch den Inhalt der Filter.



Video
«Panoramaflug rund um den
Beromünsterturm in 150 m Höhe.»

<https://youtu.be/Q8lwoSVdJA>

Endlich rot!

Der Empa gelingt ein Meisterstück der Keramikforschung: Eine leuchtend rote Keramiklunette zierte ab jetzt eine Schweizer Luxusuhr. Ein schönes Beispiel für Materialforschung auf höchstem Niveau.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa, Omega

Die Speedmaster von Omega ist eine Legende. Sie ist bis heute die einzige Uhr, die von der US-Weltraumbehörde NASA für Aussenbord-Weltraumeinsätze zertifiziert ist. Bereits 1962 flog eine Omega Speedmaster am Handgelenk von Walter Schirra in einer Mercury-Kapsel ins All. Sie war auch beim ersten Weltraumausstieg eines US-Astronauten 1965 dabei, bei der Mondlandung 1969 und bei sämtlichen Space-Shuttle-Missionen. Neben der Speedmaster «Professional», die im Weltall unterwegs war, gibt es noch weitere Varianten der Luxusuhr – unter anderem diamantenbesetzte Versionen für Damen oder solche mit Mondphasenanzeige (die für Erdbewohner interessant ist, für Astronauten aber nutzlos wäre).

Zu dieser technischen Ikone aus Schweizer Produktion darf nun auch die Empa einen kleinen – jedoch deutlich sichtbaren – Part beisteuern: Die rote Keramiklunette der Omega Speedmaster «Moonphase Co-Axial Master Chronometer», die im Herbst 2016 in den Handel kommt, wurde im Empa-Keramiklabor entwickelt.

«Eine tiefrote Keramik konnte bisher niemand herstellen», sagt Projektleiter Jakob Kübler, der mit zwei Kollegen das Kunststück vollbrachte. Schwarze, blaue und grüne Keramiken sind weit verbreitet. Auch rosa Keramiken sind in der Medizintechnik bekannt. «Doch rot, das ist schwierig, das wussten wir von Anfang an», so Kübler.

Wer mit der Uhren-und-Schmuck-Industrie zusammenarbeitet, muss etliche Anforderungen erfüllen: Das neue Material darf natürlich nicht giftig sein. Irgendwelche Zusammensetzungen, die Blei oder Cadmium enthalten, fallen zur Farbgebung also aus. Auch eine Oberflächenglasur auf der Keramik taugt nicht für ein Uhrengeläu-

se – sie könnte bei hoher Beanspruchung absplittern. Die Lunette muss also aus farbiger Vollkeramik hergestellt werden. Die weissen Ziffern werden später eingraviert und die Buchstaben und Zahlen mit amorphem Platin gefüllt. Auch diesen Arbeitsschritt muss die Keramik unbeschädigt überstehen, sie darf dazu nicht zu spröde sein und während der Bearbeitung nicht brechen.

Könnte man nicht einfach zu weisser Keramik einen roten Farbstoff mischen? «Nein», winkt Empa-Forscher Kübler ab: «Selbst die besten organischen Pigmente halten die 1300 bis 1900 Grad Celsius nicht aus, mit denen Keramiken gesintert werden.» Es bleibt dabei: Eine leuchtend rote Vollkeramik musste her, die bislang noch niemand herstellen konnte. Die erzielten Farbtöne hatten nur bis zu dunklem Rosa gereicht.

Kübler machte sich also mit seinen Kollegen Roman Kubrin und Gurdial Blugan ans Werk und recherchierte: Die Lunetten der Speedmaster-Schwestermodelle in Blau, Braun und Grün sind jeweils aus Zirkonoxid-Keramik gefertigt. Zirkoniumoxid wird in der Uhrenindustrie gern verwendet, die Weiterverarbeitung, etwa das Gravieren und Polieren, ist Routine. Doch einen passenden roten Farbstoff für diese Art der Herstellung gibt es nicht.

Eine geheime Rezeptur entsteht

So kam das Empa-Team auf Aluminiumoxid. Ein gängiges, weisses Keramikmaterial, das etwa in künstlichen Hüftgelenken oder als Dichtung in Wasserhähnen Verwendung findet. Eine kleine Verunreinigung mit Chrom – bis zu einem Anteil von etwa einem Prozent – lässt Aluminiumoxid pink schimmern, so viel war bereits bekannt. Doch Pink macht sich nicht ganz so gut für eine teure Herrenuhr.



Leider macht mehr Chrom die Färbung dunkelviolett und nicht rot. Gleichwohl war diese Rezeptur vielversprechend. Eine monatelange Reihe von Versuchen folgte, in denen die Forscher neben Chrom noch winzige Mengen weiterer anorganischer Zusatzstoffe gezielt in die Keramik mischten. Nun changierte die Farbe von Rostbraun über Blassgelb bis zu einem satten Rot.

Spezialisten der Swatch Group prüfen die Eigenschaften

Mitte 2015 war es so weit: Die Designer von Omega begutachteten die Farbproben der Empa und entschieden sich für einen Rot-Ton, der die neue Kollektion zieren soll. Nun lieferte die Empa Materialproben an die Swatch Group. Hier untersuchten die Produktionsspezialisten, wie sich die Empa-Keramik gravieren und weiterverarbeiten lässt. Denn die rote Lunette war ja nicht aus dem gleichen Material wie die der blauen, braunen oder grünen Modelle.

Das mehrstufige Verfahren, aus dem die rote Keramik entsteht, wurde im Rahmen eines KTI-Projekts zwischen der Swatch Group und der Empa entwickelt. Der Produktionspfad ist äusserst komplex und seit März 2016 durch eine Patentanmeldung geschützt.

Als erste Uhr der Kollektion kam im Oktober 2016 die Omega Speedmaster «Moonphase» mit Stahlgehäuse, blauem Zifferblatt und blauer Lunette auf den Markt. Es folgten die Varianten in Roségold (mit braunem Zifferblatt und brauner Lunette) und in Gelbgold (mit silbrigem Zifferblatt und dunkelgrüner Lunette). Das Topmodell der Kollektion wird schliesslich die auf weltweit 57 Stück limitierte Platinversion der Uhr mit der roten Empa-Lunette sein. Die 45 000 Franken teure Uhr zierte ein Zifferblatt aus Platin, das wunderbar mit der roten Mondphasenanzeige kontrastiert – auch sie ist aus Empa-Keramik gefertigt. //

1 Rote Keramikpartikel nach dem Sintern. Neben Chrom sind winzige Mengen weiterer anorganischer Zusatzstoffe nötig, um die satte Farbe zu erzeugen.

2 Keramische Probekörper aus verschiedenen Rezepturen: von Blassgelb über Rostbraun bis zu schönem, tiefem Rot.

3 Das Spitzenmodell der Omega Speedmaster «Moonphase» ist aus Platin gefertigt und auf 57 Exemplare limitiert. Nicht nur die Lunette, sondern auch die Mondphasenanzeige und die Lupenfassung des Datumzeigers sind aus roter Empa-Keramik gefertigt.



1



2

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa, Decentlab, Compliant Concept, re-fer, iStockphoto.

Ein Preis für eine gute Geschäftsidee zu erhalten, ist das eine. Nur in der Rückschau jedoch wird deutlich, wie gut die Idee tatsächlich funktioniert hat, wie rasch sie sich am Markt durchsetzen konnte und welches Potenzial langfristig darin steckt. Zugleich wird deutlich, ob das Auswahlkomitee der Empa, das die Preisträger kürt, tatsächlich Weitblick bewiesen hat. Wagen wir also gerade jetzt, da der Innovation Award sein Jubiläum feiert, einen Rückblick auf die Preisträger von gestern.

Die Projekte, das wird bei der Rückschau klar, waren zum Zeitpunkt ihrer Prämierung zwar technisch ausgereift, hatten aber ihr volles wirtschaftliches Potenzial noch nicht entfaltet. Hie und da war noch eine Richtungsänderung vonnöten, bisweilen brachte erst die Kombination mit anderen Technologien oder ein Folgeprojekt den endgültigen Erfolg. Eines haben aber alle Preisträger gemein: Jeder von ihnen legte den Grundstein für eine wirtschaftlich relevante Innovation, auf der sich geschäftlicher Erfolg aufbauen lässt.

Eine zehnjährige Erfolgsgeschichte

Als die Empa 2006 den ersten Innovation Award verlieh, war noch nicht zu erahnen, was alles folgen würde. Heute gilt der Preis als Ritterschlag auf dem Weg zum wirtschaftlichen Erfolg. Zehn Forschergruppen bewerben sich dieses Jahr um die begehrte Auszeichnung. Doch wie erfolgreich waren die prämierten Projekte der vergangenen Jahre? Zeit für einen Rückblick.

Masoud Motavalli, Gewinner des Innovation Award 2014, zeigt Armierungsstahl aus einer Formgedächtnislegierung. Elektrischer Strom genügt, um Betonteile damit vorzuspannen.



2006

Felix Weber von der Abteilung «Ingenieur-Strukturen» erhält den ersten Empa Innovation Award für die geregelte Dämpfung von Schrägseilbrücken.

Die langen Trage-seile dieser Brückenkonstruktionen können in Eigenschwingungen geraten wie die Saiten einer Harfe, etwa durch Wind und Regen. Nicht alle diese Schwingungen lassen sich exakt vorausberechnen, weil jede Brücke ein Einzelstück und lokalen Witterungsbedingungen ausgesetzt ist. Weber entwickelte mit der Münchner Firma Maurer Söhne AG ein System, das diese Probleme löst: Die entstehenden Schwingungen werden gemessen und an ein aktives Dämpfungselement weitergegeben, das gezielt die tatsächliche Schwingung dämpft. 2006 wurde das System an der Franjo-Tudjman-Brücke in Dubrovnik installiert. 2007 rüstete Maurer Söhne AG die Sutong-Brücke in China damit aus, die mit 1088 Metern zweitlängste Schrägseilbrücke der Welt.

Eine Weiterentwicklung der Seildämpfer ist der geregelte Schwingungsdämpfer für Trägerbrücken. Dem Empa-Forscher gelang es zusammen mit seinem Industriepartner im Herbst 2011, die 2500 Meter lange Wolgograd-Brücke in Russland mit dem neuen System zu sanieren. Sie war erst 2009 eingeweiht worden, musste aber bereits 2010 wegen heftiger Schwingungen wieder zeitweise gesperrt werden.



2007

Martin Amberg, Dirk Hegemann und Manfred Heuberger von der Abteilung «Advanced Fibers» werden für metallisierte Faser mit unveränderter textiler Haptik ausgezeichnet.

Die an der Empa entwickelte Methode erlaubt es, Metalle wie Gold, Silber, Aluminium, Edelstahl, Kupfer oder Titan bei Raumtemperatur auf die Faser «aufzudampfen». Die Methode ist weltweit einzigartig. Beschichtete Garne dieser Art werden inzwischen von der Firma Serge Ferrari Tersuisse SA in Emmenbrücke bei Luzern hergestellt; Vertrieb und Produktentwicklung besorgt die Swicofil AG in Emmenbrücke.

Die goldbeschichtete Faser hat mit Spezialanwendungen in der Modebranche für Aufsehen gesorgt – besonders deshalb, weil das Garn weich und hautfreundlich und zugleich maschinenwaschbar ist, ohne die Beschichtung zu verlieren. Die Firma Roccoco Dessous vertreibt in exklusiven Stores weltweit mit 24 Karat Goldgarn bestickte Wäsche; eine neue Uhr der Luxusmarke Hublot trägt das Empa-Goldgarn im Zifferblatt. Aber auch im industriellen Umfeld werden elektrisch leitfähige Metallgarne erfolgreich eingesetzt. So entwickelte Swicofil eine besonders langlebige Bürste aus Goldfäden, um elektrostatische Aufladung an laufenden Maschinen abzuleiten.



2008

Glauco Feltrin und seine Kollegen des Empa-Spin-offs Decentlab erhalten den Innovation Award für das Monitoring mit drahtlosen Sensornetzen.

Drahtlose Sensornetze bestehen aus einzelnen Netzknoten und einer Basisstation. Jeder Netzknoten ist ein energiesparender Kleincomputer, ausgerüstet mit verschiedenen Sensoren, die Umgebungsbedingungen registrieren. Er sammelt die Daten und schickt sie per Funk an den nächstliegenden Knoten weiter, der als Relaisstation zur Basis dient. Die Basisstation ist über das Mobilfunknetz mit dem auswertenden Labor verbunden und liefert die gesammelten Daten über eine verschlüsselte Verbindung dorthin.

Die Netze sind leicht erweiterbar: Jeder zusätzlich montierte Netzknoten sucht sich selbstständig eine passende Relaisstation und ist damit sofort einsatzfähig. Auch ausgefallene Netzknoten werden auf diese Weise überbrückt.

Decentlab vertreibt die Technik und entwickelt sie weiter. Drahtlose Sensornetzwerke wurden bislang unter anderem in der Bauüberwachung (Bewegungen in Brücken, Wärmeflüsse an Gebäuden), in der Wald- und Bodenforschung sowie in der Überwachung der Luftqualität eingesetzt.



2009

Josef Kaufmann, Jörn Lübben und Walter Trindler erhalten den Innovation Award für neue Zweikomponentenfasern für die erhöhte Duktilität von Beton.

Beton ist ein beliebter Baustoff, der extrem hohen Drücken standhalten kann. Leider versagt er dagegen schon bei niedriger Zugbeanspruchung. Erst eine Stahlarmierung hilft, weil sie die Zugkräfte aufnehmen kann. Überall dort, wo das Einbetten von grossen Stahlgittern nicht möglich ist – etwa bei dünnen Kellerwänden, Industrieböden, Zementplatten, Tunnelauskleidungen oder Fensterbänken – kann man Beton durch die Beigabe von Stahlfasern armieren. Doch die sind schwer, teuer, bergen wegen ihrer Steifigkeit eine grosse Verletzungsgefahr – und sie können rosten. Um all diese Nachteile auszugleichen, entwickelte das Empa-Team eine Zweikomponentenfaser. Der Faserkern besteht aus kostengünstigem Polypropylen, der Fasermantel aus einem speziellen, massgeschneiderten Polymer, das sich chemisch und mechanisch besonders für den Einsatz in zementgebundenen Materialien eignet.

Das Produkt wird derzeit von der Brugg Contec AG in St.Gallen vertrieben und weltweit eingesetzt: Tunnel in Österreich, Hafenanlagen in Polen und Singapur, Industrieböden in Ungarn und Wasserkraftwerke in Costa Rica profitieren bereits vom Empa-Know-how in der Betonforschung.



2010

Michael Sauter und Gion Barandun, die Gründer des Empa-Spin-offs «Compliant Concept», gewinnen den Innovation Award für ihr intelligentes Pflegebett.

Gesunde Menschen ändern ihre Position während des Schlafs zwei bis viermal pro Stunde. Alte und kranke Menschen bewegen sich im Schlaf weniger häufig. Das kann an verabreichten Schlaf- oder Schmerzmitteln liegen, an Lähmungen des Körpers oder einfach nur an mangelnder Kraft. Durch diese Bewegungsarmut steigt – bereits innerhalb von Stunden – die Gefahr des Wundliegens (Dekubitus), ein schmerzhaftes und pflegeintensives Leiden. In Pflegeheimen werden immobile Patienten daher routinemässig mehrfach in der Nacht umgelagert.

Der von Sauter und Barandun entwickelte «Mobility Monitor» hilft hier, die Belastung für das Pflegepersonal deutlich zu reduzieren und zugleich den Patienten unnötige Aufwachphasen zu ersparen – nämlich dann, wenn sie sich selbst bewegt haben und ein Umlagern gar nicht nötig wäre. Der Mobility Monitor gibt nach einer bestimmten Zeit Alarm, wenn ein Patient umgelagert werden sollte. Umgekehrt erkennt das Gerät auch Aufwachphasen sowie die typischen Bewegungsmuster, bevor man aus dem Bett steigen möchte. Das hilft, nächtliche Stürze zu verhindern.

Als eines der ersten Zentren weltweit ist die neue Demenzstation «Sunnegarte» des Alterszentrums Sunnewies im thurgauischen Tobel komplett mit Mobility-Monitor-Betten ausgestattet. Die umfassende Schlafüberwachung soll die Schlafqualität und die Schmerzüberwachung der Patienten verbessern.



2012*

Thomas Stahl, Samuel Brunner, Mark Zimmermann und Matthias Koebel erhalten den Innovation Award für ihren hochisolierenden Aerogel-Spezialputz, den sie zusammen mit der Fixit AG entwickelt haben.

1½ Millionen Altbauten gibt es in der Schweiz. Diese Bausubstanz prägt das Bild der Städte und Landschaften. Doch aktuell verbrauchen wir 43 Prozent der importierten fossilen Energieträger zum Heizen. Ein hochisolierender Dämmputz ist daher die Lösung, um Altbauten zu sanieren, die man weder innen noch aussen mit dicken Polystyrolplatten verkleiden kann. Der von der Empa entwickelte Spezialputz enthält den besten Dämmstoff, der industriell hergestellt werden kann: Aerogel. Das in der Raumfahrt verwendete Material ist extrem leicht und empfindlich. Dennoch gelang es dem Empa-Team, den Putz so herzustellen, dass er mit handelsüblichen Verputzmaschinen aufgespritzt und wie gewohnt verarbeitet werden kann.

2013 brachte Fixit das Produkt auf den Markt und vertreibt es inzwischen zusammen mit ihren Schwesterfirmen Röfix (Österreich) und Hasit (Deutschland) in weiten Teilen Europas. Durch Effizienzsteigerung in der Produktion des Aerogels konnten die Preise jüngst um die Hälfte gesenkt werden.



2014

Masoud Motavalli und ein Team aus den Empa-Abteilungen «Structural Engineering» und «Joining Technologies and Corrosion» gewinnen den Preis für die Entwicklung von Formgedächtnisstahl als neuem Vorspannmaterial für die Bauindustrie.

Bei der Herstellung von Spannbeton wird ein zunächst unverspanntes Stahlseil oder ein Stahlstab nachträglich verspannt. Dies drückt den Beton zusammen und verleiht ihm dadurch eine höhere Tragkraft. Die Empa-Forscher entwickelten eine Formgedächtnislegierung auf Basis von preisgünstigem Stahl, die für solche Vorspannzwecke, aber auch für nachträgliche Verstärkung von Bauten eingesetzt werden kann.

Dazu werden vorgedehnte Lamellen von 5 Meter Länge und 1½ mm Dicke mit Hilfe von Spezialnägeln an der Unterseite des Betonträgers befestigt und dann unter Strom gesetzt. Wenn die Lamellen heiss sind, ändert der Stahl seine Kristallstruktur und spannt sich. Dabei können Spannkraften von bis zu 330 Megapascal (330 Newton pro Quadratmillimeter) dauerhaft erzeugt werden.

Die Firma re-fer, ein Spin-off der Empa, vertreibt und entwickelt diese Technologie weiter. Nach erfolgreichen Versuchen sollen Anfang 2017 erste Objekte mit Bändern aus Formgedächtnisstahl vorgespannt werden.



2016

Am 8. November werden die neuen Preisträger und Preisträgerinnen im Rahmen des diesjährigen «Empa Technology and Innovation Forum» (ETIF) bekannt gegeben.

Zehn Forschungsprojekte wurden dieses Jahr eingereicht. Für regelmäßige Leser der «EmpaQuarterly» werden die Gewinner gute Bekannte sein: Sechs der zehn Bewerber wurden in den vergangenen drei Jahren auf diesen Seiten bereits ausgiebig vorgestellt; über zwei weitere Projekte berichten wir in dieser Ausgabe.

Mit Sicherheit wird auch das 2016 prämierte Forschungsprojekt der Ahnengalerie des Innovation Award Ehre machen und dafür sorgen, dass die Schweizer Industrie im internationalen Wettbewerb die Nase vorn behält. //

*Seit 2010 wird der Empa Innovation Award alle zwei Jahre verliehen, im Wechsel mit dem Empa Forschungspreis.

Ausgezittert

Makroskopische Kristallstrukturen können unerwünschte Schwingungen tilgen oder Geräusche filtern – und das alles ganz ohne Elektronik und Strom. Sie sind leichter und fester als bisher gebräuchliche Dämmstoffe und können erst noch auf ihren Einsatzzweck massgeschneidert werden. Steht die Akustik vor einer Revolution?

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Es war ein hochriskantes Forschungsvorhaben, das Industrieunternehmen kaum je angepackt hätten. Und genau deshalb war es die perfekte Aufgabe für die Empa: Gibt es Materialien, die eine hohe mechanische Tragfähigkeit aufweisen, trotzdem aber aufgrund ihrer inneren Struktur Schall und Vibrationen dämpfen können? Ganz ohne Schaumgummi, Federn und Stossdämpfer? Materialien, die das alte Ingenieurs-Dilemma zwischen Stabilität und Dämpfung niederfrequenter Schwingungen lösen? Die zum Beispiel ermöglichen, einen schweren Schiffsmotor so zu lagern, dass nicht mehr der gesamte Schiffskörper brummt? Theoretische Physiker hatten solche Materialien – so genannte fononische Kristalle – vorausgesagt. Doch nur wenige Wissenschaftler weltweit hatten diese eigentümlichen Kunst-Materialien bereits in der Hand und konnten ihre Eigenschaften am echten Objekt überprüfen.

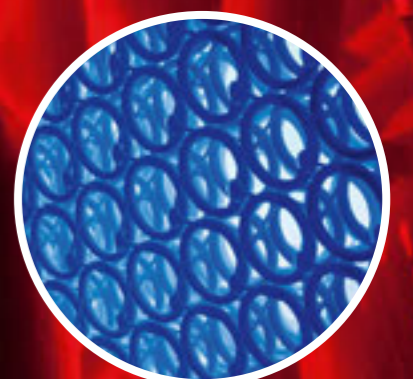
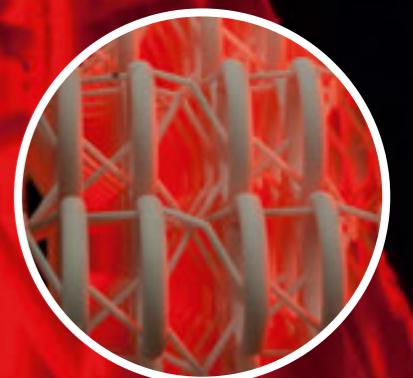
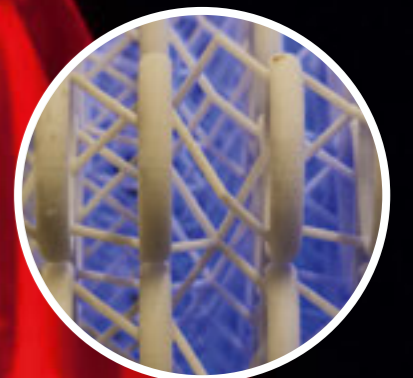
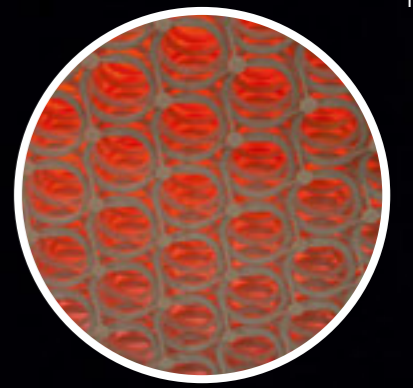
Nach drei Jahren Forschungsarbeit hat ein Team der Empa und der ETH Zürich nun den Beweis erbracht: Solche Materialien gibt es. Und sie sind sogar bereits zum Patent angemeldet; im September diesen Jahres haben die Forscher Versuchsstrukturen aus einer Aluminiumlegierung erstmals im eigenen 3-D-Drucker angefertigt, um die Methode der Schall- und Vibrationsdämpfung weiter zu verfeinern. Ohne neuzeitliche Fertigungsmethoden wie den 3-D-Druck mit

Metallen wäre es im Labor kaum möglich, fononische Kristalle für Versuchszwecke herzustellen. Die Entdeckung dieses wundersamen Dämpfungsmaterials hat buchstäblich so lange warten müssen, bis der 3-D-Druck erfunden war.

Idee aus dem Caltech weiterentwickelt

2013 begann das ehrgeizige Projekt. Die Empa-Forscher Tommaso Delpero und Andrea Bergamini liessen sich von einer Idee des «California Institute of Technology» (Caltech) inspirieren und starteten gemeinsam mit den Empa-Akustik-Experten Stefan Schoenwald und Armin Zemp ihr Projekt. In einer ersten Arbeit berechneten sie, dass die ultraleichten dreidimensionalen Metallgitterstrukturen mit Zellen in Millimetergrösse, wie sie am Caltech entwickelt wurden, Ultraschallfrequenzen (100 kHz) sehr gut dämpfen sollten. Die logische nächste Frage lautete: Gibt es auch Strukturen, die Schall im hörbaren Bereich oder niederfrequente Schwingungen dämpfen – was enorme Anwendungsmöglichkeiten eröffnen würde? Und lassen sich solche Materialien gezielt auf eine Schwingungsfrequenz «tunen»?

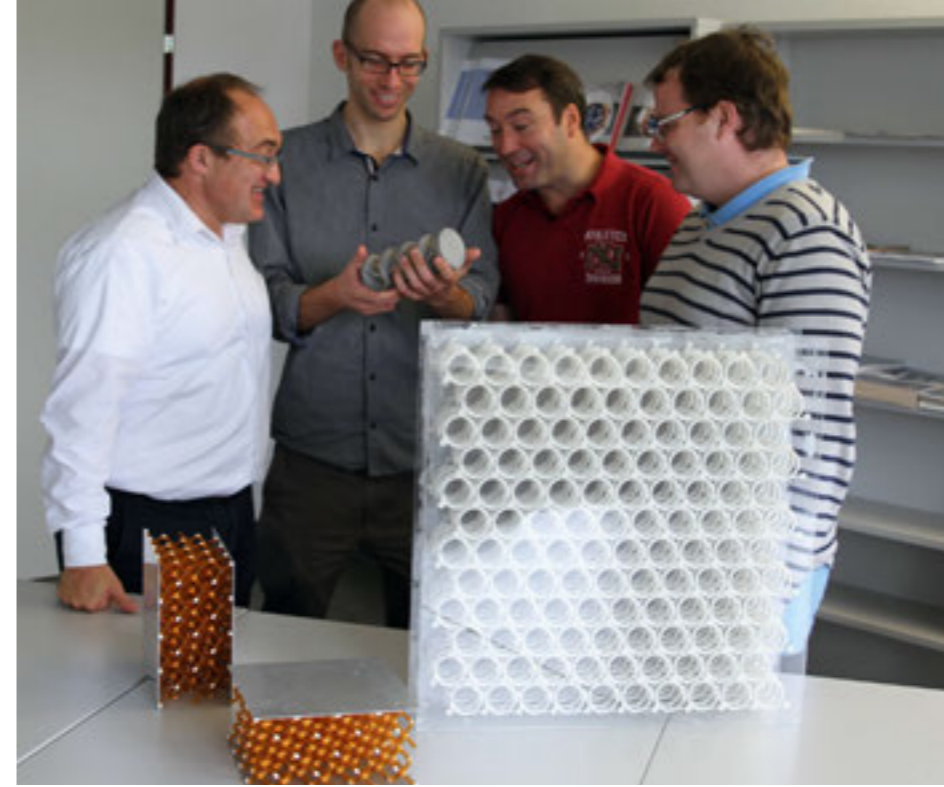
Delpero machte erste Versuche mit dem Strukturmodell eines Diamanten. Eine solche Struktur, gebaut aus Tetraeder-Verbindungsstücken und kleinen Röhrchen, hängt als Anschauungsstück in den meisten Chemie-Hörsälen in Schulen und Universitäten.



Ivo Leibacher (links) überarbeitete das Computermodell des fononischen Kristalls für den 3-D-Druck. Christian Leinenbach betreibt den Metall-3-D-Drucker an der Empa. Hier sieht er sich das Ergebnis des 40-stündigen Druckvorgangs an.



Projektleiter Andrea Bergamini (links) freut sich mit seinem Team: Ivo Leibacher, Armin Zemp und Stefan Schoenwald. Zusammen schufen sie drei Modellgenerationen schwingungs-dämpfender Kristalle.



Theorie und Praxis: Das Computermodell zeigt, wie eine einzelne Gitterzelle des Kristalls Schwingungen tilgen kann.

Bild unten: das Modell aus Aluminium, welches im 3-D-Drucker entstand. Seine Schwingungseigenschaften stimmen mit den Berechnungen gut überein.

Delpero montierte das Modell zwischen zwei Aluminiumbleche und traktierte das unten liegende Blech mit diversen Frequenzen. Das Ergebnis war verblüffend: Manche Wellen reflektierte der Kristall gänzlich. Beim echten Diamanten sind es Röntgenstrahlen, die auf diese Weise gebeugt und gestreut werden. Das mehrtausendfach grössere Diamantmodell hatte mechanische Schwingungen mit mehrtausendfach grösserer Wellenlänge auf exakt die gleiche Weise beeinflusst.

Leichtes, zugleich steifes Material

Wie hoch das Potenzial der Erfindung einzuschätzen ist, erklärt Empa-Forscher Bergamini so: «Bislang brauchte man zum Dämpfen von Vibrationen eine Federkomponente und eine Dämpferkomponente, das kennen wir aus dem Auto.» Hohe Frequenzen und Töne liessen sich durch leichte Materialien dämpfen, für tiefe Töne und Vibrationen brauchte man bisher jedoch Materialien mit hoher eigener Masse.

«Diese Regel haben wir nun durchbrechen können», sagt Bergamini. «In Zukunft lassen sich auch tiefe Frequenzen mit leichten Materialien dämpfen – nämlich mit einem speziell dafür berechneten fononischen Kristall. Ein weiterer Vorteil: der Kristall ist steif und kann Gewicht tragen – er ist also keine federnde, weiche Unterlage.»

Neue Perspektiven im Maschinenbau

Für Anwendungen im Maschinenbau eröffnen sich damit völlig neue Perspektiven. Bislang sind unerwünschte Frequenzen oft mit adaptiven Systemen behandelt worden – also mit ausgefeilter Mess- und Regeltechnik. «Solche aktiven Dämpfungssysteme werden als Ultima Ratio für alle Probleme, die sich nicht anders lösen lassen, betrachtet», sagt Bergamini. «Doch Ingenieure möchten gern etwas Unkompliziertes, lang Haltendes bauen, das nicht während des Betriebs dauernd überwacht werden muss.» Fononische Kristalle brauchen keine externen Regelmechanismen. Sie funktionieren ohne Strom und Überwachungselektronik von selber – immer wie vorausberechnet.

Schon hat ein deutscher Grosskonzern, der sich durch die neue Dämpfungsmethode Vorteile im Wettbewerb verspricht, bei den Empa-Forschern angeklopft. Und Tommaso Delpero hat nach seiner Forschungszeit an der Empa in die Industrie gewechselt. Von seinem Talent profitiert nun ein Automobilzulieferer in Winterthur, der auf Geräuschdämmtechnik spezialisiert ist.

Der nächste Schritt: 3-D-Druck

An der Empa ist das Projekt inzwischen in die nächste Phase getreten: Ivo Leibacher, ein Neuer in Bergaminis Team, hat die Computermodelle seiner Vorgänger für den 3-D-

Druck in Metall fit gemacht. Die Struktur musste in manchen Details angepasst werden – an einigen Stellen ist zum Beispiel etwas mehr Material nötig, damit der Probekörper im so genannten Pulverbettverfahren im Empa-eigenen 3-D-Drucker fehlerfrei hergestellt werden kann. Leibacher hat die Eigenschaften seines Modells genau vorausberechnet und die Kenndaten der verwendeten Aluminiumlegierung in seine Berechnungen einfließen lassen.

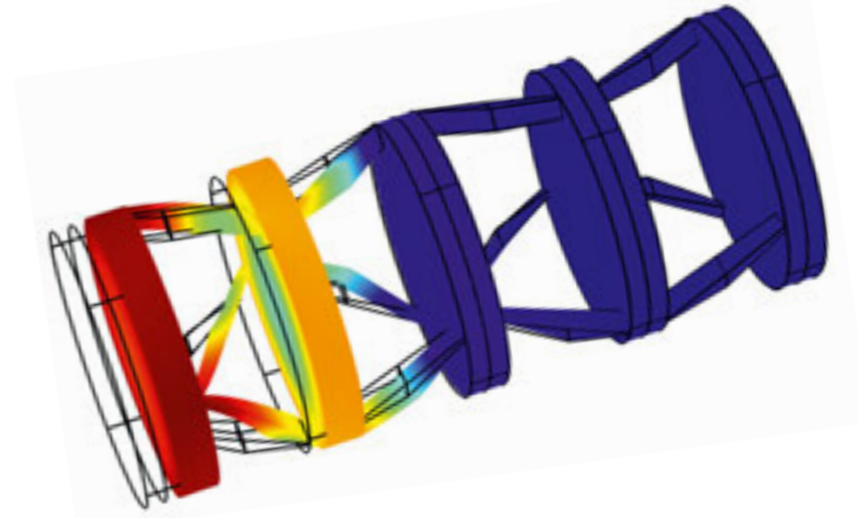
Der Übergang vom Theoriemodell zum praktischen Versuch birgt einige Schwierigkeiten, doch die Empa-Spezialisten, die den 3-D-Drucker betreiben, stehen mit Rat und Tat zur Seite. Nach dem Ausdrucken muss die Struktur spannungsfrei gegläht werden, dann kann sie im praktischen Schwingungsversuch die Korrektheit der Berechnungen und Theoriemodelle beweisen.

Erdbebenschutz und Spionageabwehr

Andrea Bergamini denkt derweil bereits an die nächsten Experimente. So könnten die vibrationsdämpfenden Einheiten des fononischen Kristalls nacheinander in verschiedenen Grössen angeordnet werden. Mit diesem eingebauten Gradienten wäre es möglich, verschiedene unerwünschte Frequenzen auf einmal zu eliminieren.

Über Anwendungen der fononischen Kristalle kann man heute bereits spekulieren. Neben Geräuschdämmung im Automobilbereich und im Maschinenbau ist auch Erdbebenschutz denkbar. Dazu müsste man Gebäude auf spezielle Kristallstrukturen bauen, die die sehr niederfrequenten seismischen Schwingungen tilgen können.

Auch die Abschirmung von Konferenzräumen vor Lauschangriffen wäre denkbar. Man darf also gespannt sein, in welchen Bereichen uns die Empa-Erfindung in den nächsten Jahren begegnen wird. //



Reise nach Liliput

In seiner Doktorarbeit im nanotech@surfaces-Labor der Empa hat sich Leopold Talirz intensiv mit der Computermodellierung neuartiger Materialien beschäftigt, insbesondere mit Streifen des «Wundermaterials» Graphen. Sein Ziel: die Prüfung der Grundbausteine der Elektronik von morgen bis aufs atomare Niveau. In diesem Gastbeitrag erläutert er, was ihn antreibt und wie sein Forschungsalltag aussieht.



TEXT: Leopold Talirz / BILDER: Empa

Damit eine Maschine funktioniert, müssen all ihre Rädchen ineinander greifen. Die Redewendung liest sich wie eine Selbstverständlichkeit, doch was bedeutet sie eigentlich im Detail? Muss jedes Rädchen perfekt gefertigt sein? Nein, Abweichungen sind zulässig, solange sie innerhalb der vorgeschriebenen Fertigungstoleranz liegen.

Die Toleranz des Herstellers richtet sich nach der jeweiligen Anwendung. Beim Schraubverschluss einer Plastikflasche mögen Abweichungen von bis zu einem Millimeter akzeptabel sein. Damit sich ein moderner Schlüssel im Schloss dreht, sinken die Masstoleranzen schon in den Mikrometerbereich: Hier kommt es auf die sprichwörtliche Haaresbreite an. Und wenn die edle mechanische Armbanduhr nach einem Monat noch richtig ticken soll, gerät man ins Haare-Spalten. Die Grenzen des Möglichen werden heutzutage aber nicht in mechanischen, sondern in elektronischen Geräten ausgelotet. Der Prozessor eines aktuellen Smartphones wird mit einer Genauigkeit von unter 20 Nanometern gefertigt, das ist nicht einmal ein Tausendstel einer Haaresbreite. Meine Forschung dreht sich um Materialien für die Prozessoren der Zukunft, die die ultimative Fertigungstoleranz einfordern: atomare Präzision.

Immer kleiner, immer schneller

Zunächst ein Schritt zurück: Weshalb braucht es diese extreme Genauigkeit gerade in der Digitalelektronik? Der Grund liegt im unersättlichen globalen Hunger nach Rechenleistung. Je kleiner die elektronischen Schalter, desto mehr passen auf einen Chip und desto mehr Rechenleistung kann der Chip erbringen. Noch dazu sind kleinere Schalter weniger träge und können schneller geschaltet werden. Das hat zu einer historisch einmaligen Entwicklung der Miniaturisierung geführt, deren Ergebnis wir in der Hosentasche tragen: Wunderwerke der Technik mit einer Milliarde elektronischer Schalter (Transistoren) auf der Fläche eines Daumennagels.

Das Kernstück des Transistors – der Halbleiter, der an- und ausgeschaltet werden kann – besteht nach wie vor aus dem Element Silizium. Nun entspricht eine Breite von 20 Nanometern aber bereits weniger als 100 Silizium-Atomen – da ist es nicht verwunderlich, wenn die Miniaturisierung ins Stocken gerät. Weltweit arbeiten zahlreiche Forscherinnen und Forscher an Ideen, wie sie trotzdem weiter vorangetrieben werden kann. Eine Idee ist der Wechsel von Silizium zu «zweidimensionalen Materialien», d.h. zu Stoffen, von denen Schichten mit der Dicke eines einzelnen Atoms hergestellt werden

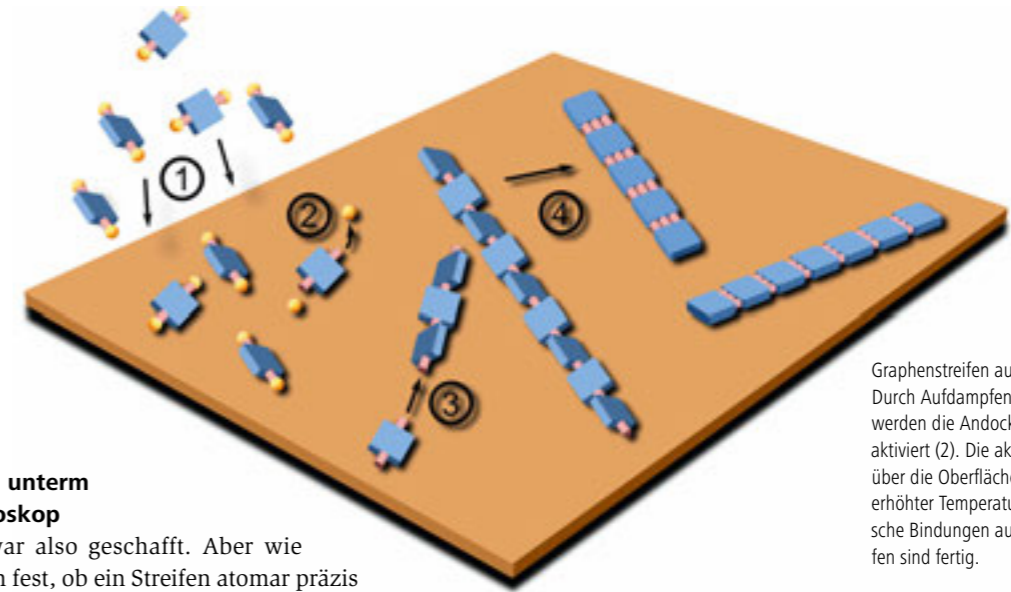
können. Graphit, das Material in unseren Bleistiftminen, ist ein solcher Stoff. Es besteht aus äusserst stabilen Lagen von Kohlenstoffatomen, die vergleichsweise lose übereinandergestapelt sind und daher einfach «abgezogen» werden können. Für den Beweis, dass einzelne Atomlagen von Graphit (so genanntes Graphen) beim Abziehen intakt bleiben und herausragende elektronische Eigenschaften aufweisen, wurde André Geim und Konstantin Novoselov 2010 der Physik-Nobelpreis verliehen.

Der Knackpunkt: Graphen ist kein Halbleiter

Neben zahlreichen Vorteilen gegenüber Silizium weist Graphen jedoch ein entscheidendes Manko auf: Graphen ist kein Halbleiter, es lässt sich nicht vollständig ausschalten. Ein Graphen-Transistor ist daher eher mit einem Dimmer als mit einem Schalter zu vergleichen, und wenn eine Milliarde vernetzte Transistoren auf einem Chip den Strom jeweils bloss dimmen anstatt abschalten, dann bricht die digitale Logik zusammen.

Es gibt einen Ausweg: Sehr schmale Graphenstreifen weisen halbleitende Eigenschaften auf. Damit die Qualität ihrer Schaltung ausreicht, dürfen die Streifen jedoch nur wenige Nanometer breit sein. Und damit nicht genug: Eben weil die Streifen so schmal sind, sollten sie bis aufs Atom genau geschnitten sein. Jeder noch so kleine Fehler beeinträchtigt die Mobilität der Elektronen im angeschalteten Zustand und verlangsamt die Geschwindigkeit, mit der der Transistor geschaltet werden kann. Aber: Graphen mit atomarer Präzision in Streifen schneiden? Das hörte sich lange Zeit nach reinem Wunschdenken an.

Kurz vor Beginn meiner Doktorarbeit im nanotech@surfaces-Labor der Empa war es Forschern dort erstmals gelungen, derartige Graphenstreifen herzustellen: alle genau sieben Kohlenstoffatome breit, mit fehlerfreien Rändern. Doch wie ist das möglich? Durch einen Wechsel des Blickwinkels: Anstatt die Streifen aus Graphenschichten rechtzuschneiden, versuchte man umgekehrt, sie aus kleineren Bausteinen zusammenzusetzen. Kollegen vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz synthetisierten die passenden Vorläufermoleküle für den Graphen-Bau. Dampf man diese Moleküle auf eine Oberfläche auf, auf der die Moleküle frei gleiten und ihre chemischen Andockstellen aktivieren können, so muss man nur die richtige Temperatur einstellen und ein paar Minuten warten, bis sich die Graphenstreifen von selbst zusammensetzen.



Graphenstreifen aus dem Molekülbaukasten: Durch Aufdampfen (1) auf eine Metalloberfläche werden die Andockstellen der Molekülbaukasten aktiviert (2). Die aktivierten Moleküle wandern über die Oberfläche und verbinden sich (3). Bei erhöhter Temperatur bilden sich weitere chemische Bindungen aus (4), und die Graphenstreifen sind fertig.

Qualitätskontrolle unterm Rastertunnelmikroskop

Der Durchbruch war also geschafft. Aber wie stellt man eigentlich fest, ob ein Streifen atomar präzise ist? Selbst mit dem besten optischen Mikroskop ist es unmöglich, die winzigen Streifen zu sehen, geschweige denn, ihre atomare Struktur zu überprüfen. Hier kommt das Rastertunnelmikroskop zu Hilfe. Es besteht im Wesentlichen aus einer scharfen Spitze, die extrem nahe über den Graphenstreifen hin und her bewegt wird. Diese Spitze «sieht» die Elektronen, d.h. sie misst, wo sich viele aufhalten und wo weniger. Da die negativ geladenen Elektronen von den positiven Atomkernen angezogen werden, kann man aus dem Bild der Elektronenverteilung die atomare Struktur der Graphenstreifen abschätzen. Leider sind solche Mikroskopbilder keine detaillierten Landkarten, sondern eher verwaschene Schnappschüsse, deren Bedeutung man erst entschlüsseln muss (Bild rechts).

An dieser Stelle kommt meine Arbeit ins Spiel. Während meine Kollegen im Labor am Rastertunnelmikroskop arbeiteten, sass ich am Computer und nutzte unser heutiges Wissen über die mathematischen Gesetze der Quantenmechanik, um vorherzusagen, wie diese Bilder aussehen sollten. Ein besonders interessanter Fall war die atomare Struktur am Ende der Graphenstreifen. Es stellte sich nämlich als schwierig heraus, Streifen mit einer Länge von mehr als 30 Nanometer herzustellen, und da lag es nahe, diejenige Stelle der Streifen unter die Lupe nehmen, an der das Wachstum gestoppt hat. Die Bilder zeigten eine Verbreiterung der Elektronenverteilung zum Ende der Streifen hin sowie eine merkwürdige Form – wie der Kopf einer Raupe mit zwei Augen und drei Fühlern. Die Enden anderer Streifen wiederum sahen ganz einfach aus wie abgeschnitten. Mysteriös – hatten sich hier ungewollte Atome eingeschlichen? Und wenn ja, wo sassen sie? Leopold, ermitteln Sie!

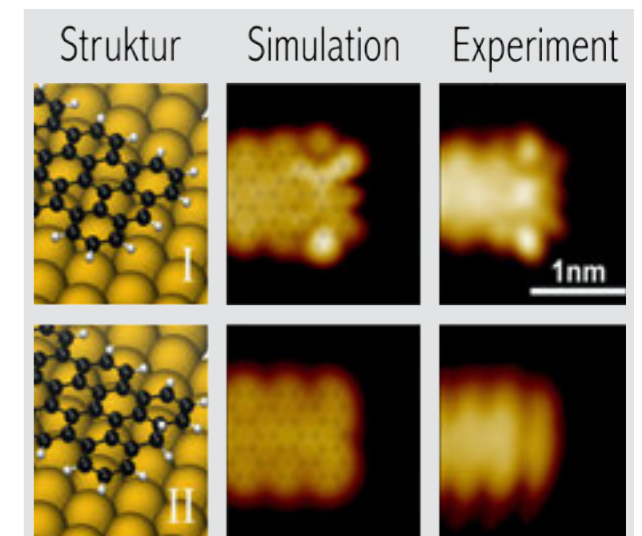
Der Schuldige: Wasserstoff

Die hohe Auflösung des Mikroskops sowie die extreme Sauberkeit der Experimente im Ultrahochvakuum schränkten die möglichen atomaren Strukturen auf eine Handvoll Verdächtige ein, und jeder Kandidat wurde am Computer durchgerechnet. Die Rechnungen müssen sowohl den Graphenstreifen als auch die Oberfläche berücksichtigen, auf der er sich zusammenbaut: insgesamt also Hunderte von Atomen und Tausende von Elektronen. Wie praktisch, dass man sich im Zeitalter des Internets vom Büro aus mit jedem Supercomputer der Welt verbinden und die Rechnungen dort laufen lassen kann – in diesem Fall mit dem «Monte Rosa» im Schweizer Supercomputerzentrum CSCS in Lugano.

Die Gegenüberstellung von experimentellen und berechneten Bildern lieferte klare Hinweise, dass sich Wasserstoffatome am Ende der Graphenstreifen befanden. Nur ein Wasserstoffatom erzeugt am Streifenende ein nahezu freies Elektron, welches im Mikroskopbild

den «Raupekopf» ergibt. Kommt ein zweites Wasserstoffatom hinzu, so wird das Elektron gebunden und der Raupekopf verschwindet. Fall gelöst – doch was lernen wir daraus? Sind die Andockstellen eines Streifens durch Wasserstoff blockiert, so kann er nicht mehr wachsen. Um längere Streifen herzustellen, sollten wir also den Kontakt der Andockstellen mit Wasserstoff verhindern.

Dieser Fall ist einer von vielen, die mich während meiner Doktorarbeit beschäftigten, und unzähligen weiteren, die noch auf Aufklärung warten – der Weg zum serienreifen Graphenstreifen-Prozessor ist also noch lang. Aber eines kann ich aus Erfahrung sagen: Hat man sich einmal an atomare Präzision gewöhnt, so gibt man sie nur ungern wieder auf. //



Kleiner Unterschied, grosse Wirkung: Die Enden der Streifen I (oben) und II (unten) unterscheiden sich lediglich durch ein einziges Wasserstoffatom (weiss). Trotzdem lässt das Rastertunnelmikroskop (ganz rechts), in Übereinstimmung mit der Computersimulation (Mitte), eine stark veränderte Elektronenverteilung erkennen.

Ein Wunderstoff wird erschwinglich

Aerogel ist das Traummaterial für viele Isolationszwecke. Hitzefest bis 600 Grad, superleicht, ungiftig – und extrem wärmedämmend. Nur die Herstellung macht Kopfzerbrechen: sie ist aufwändig und teuer. Ein Empa-Startup macht sich nun daran, den Herstellungsprozess zu revolutionieren. Wenn es klappt, gibt's bald erschwingliches Aerogel für alle.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Die NASA hat es natürlich schon lange: Aerogel, eine Art mineralischer Leichtschaum, von dem ein Kubikmeter nur rund 100 kg wiegt. Raketenbauer tränkten das Leichtmaterial mit Treibstoff, um Raketenstufen sicherer zu machen. Weltraumforscher fingen mit dem Supermaterial Kometenstaub im Weltall ein und brachten ihn zur Erde. Aber auch Altbaubesitzer in der Schweiz kommen bereits in den Genuss der sagenhaften Isolationseigenschaften: 2013 brachte die Baustofffirma Fixit einen mit der Empa entwickelten Aerogel-Dämmputz auf den Markt, der historische Fassaden nicht beeinträchtigt und dennoch besser dämmt als Polystyrolschaum.

Allerdings ist das Material heute nach wie vor knapp und teuer. Zwei Herstellerfirmen aus den USA teilen sich den Weltmarkt. Nur langsam jedoch lässt sich die Produktion hochfahren und beschleunigen. Denn zur Aerogel-Herstellung braucht es komplexe Prozesse, viel Geduld – und grosse Mengen chemischer Lösemittel. Bislang.

Empa-Forscher Matthias Koebel und sein Team sind auf dem besten Weg, das bald zu ändern. Koebel leitet das Labor «Building Energy Materials and Components» an der Empa, das sich der Forschung an Aerogelen verschrieben hat. Zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen hat er ein neues Herstellungsverfahren entwickelt und bereits patentiert. Die Methode spart einen beträcht-

lichen Teil der chemischen Lösemittel ein, die bisher gebraucht wurden. Mühselig mussten bis dato aus dem feuchten Gel Lösemittel herausgewaschen und durch andere ersetzt werden, erst dann war die aufwändige Trocknung des Gels möglich. «Die Alternative, die wir entwickelt haben, nennen wir Eintopf-Verfahren», erläutert Koebel. «Nun brauchen wir nur noch rund zehn Prozent des Lösemittelgemischs abzuziehen und geben zehn Prozent eines Katalysatorgemischs hinzu – nach kurzer Warmlagerungszeit ist unser Aerogel trocknungsfähig.» Der entscheidende Vorteil: die Herstellung braucht insgesamt nur noch fünf Stunden Zeit, statt wie bisher zwölf Stunden.

Fließbandproduktion in Vorbereitung

Mit diesem Wissen gehen die Forscher nun den Produktionsprozess selber an. Für eine Massenproduktion des begehrten Stoffs reicht es nicht, einzelne Töpfe oder Bottiche Aerogel nacheinander zu produzieren. Für grosse Mengen und skalierbare Prozesse braucht es eine Art Fließbandproduktion – Henry Ford lässt grüssen. Koebel hat bereits eine Idee. Laborversuche mit kleinen Behältern, in denen sein Team Aerogel herstellte, waren erfolgreich. Die Chemie haben die Empa-Leute im Griff. Für die Massenproduktion möchte Koebel nun nicht einfach die Behälter vergrössern und sich neue Schwierigkeiten beim industriellen Upscaling einhandeln. Vielmehr möchte er kleine Behälter, in denen der Prozess gut kontrollierbar abläuft, in eine Art Durchlaufofen schicken. Ähnlich wie bei Grossbäckereien läuft vorn das rohe Material, aufgeschichtet auf Wagen, hinein, und am Ende kommt hinten das zur Trocknung bereite, nasse Gel heraus.

«Ganz so einfach ist es natürlich nicht», sagt Koebel und muss lachen. «Sonst könnte es ja jeder.» Während der Reise durch den Fabrikationstunnel verfestigt sich das frisch gelierte Gel und «schwitzt» Flüssigkeit aus. An verschiedenen Stellen im Produktionstunnel wird nun aus jedem Behälter einzeln diese Flüssigkeit abgezogen und durch ein Katalysatorgemisch oder andere Reagenzien ersetzt. Nach Zugabe eines Hydrophobierungskatalysators und einer bestimmten Warmlagerstrecke im Tunnel wird das Gel hydrophob und kann anschliessend getrocknet werden. Durch Zugabe von polymerbasierten Härtern oder anderen Additiven könnten aber auch die Festigkeit oder andere Stoffeigenschaften der Aerogele gezielt verbessert oder an Kundenbedürfnisse angepasst werden. Je nach Aerogelrezept besteht der Trick nun darin, die Behälter lange genug und bei den richtigen Temperaturen durch den Produktionstunnel laufen zu lassen, damit alle chemischen Prozesse der Gel-Entstehung kontrolliert ablaufen können. Die Zudosierung von Reagenzien an unterschiedlichen Stellen in einem Produktionstunnel ist einzigartig und erlaubt eine gezielte Einstellung der Chemie und damit der Materialeigenschaften des Fertigprodukts.

Mit mehreren Partnern aus der Bauindustrie, der Industrieisolationstechnik und dem Automobilsektor, die alle an günstig produziertem Aerogel interessiert sind, ist Koebel nun daran, ein Startup-Unternehmen aufzubauen. Innert drei Jahren soll damit die Produktion von bezahlbarem Aerogel industriell umgesetzt werden. //

1 Aerogel aus Matthias Koebels Versuchsproduktion.

2 Aerogele müssen für Bauanwendungen wasserabstossend (hydrophob) sein. Matthias Koebel (rechts) und Lukas Huber füllen Hydrophobierungsmittel in die Versuchsanlage.

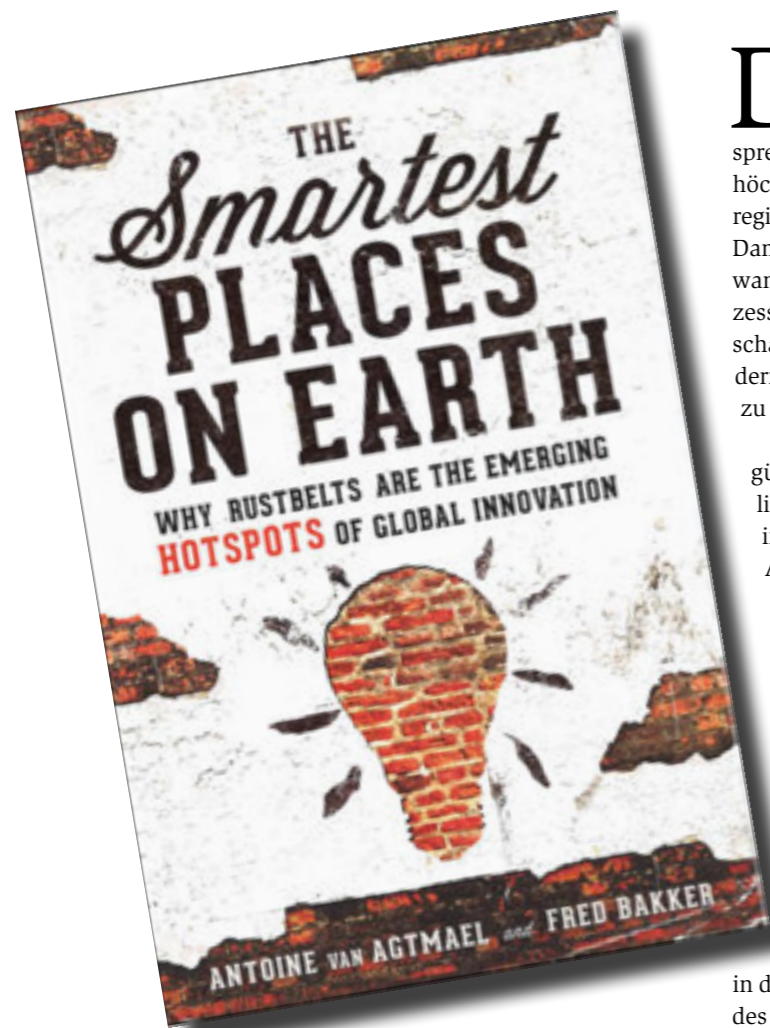
3 Finaler Produktionsschritt: Im Trockenofen dampft das letzte Lösemittel ab; das Aerogel verliert Gewicht und wird fest.



In der Champions League der Innovationen

Ein neues Buch untersucht, wo Innovationen entstehen. Neben den klassischen Rostgürteln im Norden der USA nehmen die Autoren auch Europa und die Schweiz unter die Lupe. Und sind beeindruckt, was die Empa hier leistet.

TEXT: Paul W. Gilgen* / BILDER: Empa / Verlag



©: PublicAffairs™, New York/USA, 2016
ISBN: 978-1-61039-435-2

Der amerikanische Titel «The Smartest Places on Earth» lässt sich vielleicht am ehesten mit «Die aufregendsten Orte der Welt» übersetzen. Denn, wie es im Untertitel heisst und entsprechend illustriert ist (siehe Abbildung), handelt das Buch von der höchst aufregenden Transformation heruntergekommener Industrieregionen (dies v.a. in den USA) in blühende Stätten der Innovation. Damit ist nicht bloss ein unausweichlich anzugehender Strukturwandel der Wirtschaft und die Anpassung ihrer Wertschöpfungsprozesse gemeint – der berühmte österreichische Wirtschaftswissenschaftler Schumpeter nennt das «schöpferische Zerstörung» – sondern ebenso die Erneuerung der Gesellschaft und ihren Institutionen zu Beginn des 21. Jahrhunderts.

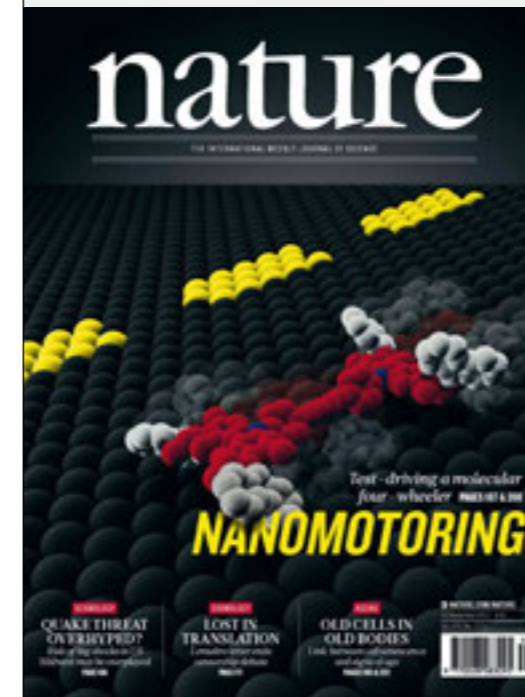
Die beiden Autoren analysieren eine Vielzahl derartiger «Rostgürtel» in den USA, schildern den dort stattfindenden erstaunlichen Wandel und beschreiben dessen Erfolgsfaktoren. Es sind immer dieselben: unter Mitwirkung von «Brückenbauern» (die Autoren nennen sie «connectors») an den jeweiligen Nahtstellen ist es das enge Zusammengehen in Form von Public Private Partnerships (PPP) zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, also

- Universitäten und Forschungseinrichtungen, die multidisziplinär organisiert und offen für Kollaboration mit der Wirtschaft sind;
- Unternehmen, die sich auf moderne, wissensbasierte Bereiche ausrichten (z.B. Mikro-/Nanotechnologien, Medizintechnik, Life Sciences) und offen für Kollaborationen mit der Wissenschaft sind;
- Regierungen, die zukunfts befähigende Rahmenbedingungen setzen (z.B. in den Anreizen zu Start-up-Gründungen, in der Fiskalpolitik bzgl. Venture Capital (VC), in den Regulierungen des Arbeitsmarkts). In den USA wird dieses Zusammengehen seit längerem und höchst erfolgreich vom Research Triangle Park (RTP) in North Carolina vorgeführt.

Fünf «brainbelts» in Europa

Die Autoren wählten zudem von mehreren Brennpunkten der Innovation («brainbelts») in Europa deren fünf aus, die sie besuchten und analysierten und wo sie lange Interviews führten: Dresden in Deutschland, Eindhoven in den Niederlanden, Lund-Malmö in Schweden, Oulu in Finnland, Zürich in der Schweiz. Wo in Europa vorhanden (u.a. in Deutschland und der Schweiz) würdigt das Buch die duale Berufsbildung als Erfolgsfaktor und Wettbewerbsvorteil und beklagt das Fehlen solcher Ausbildungsstrukturen in den USA ist als gravierendes Manko. Das Kapitel über Zürich heisst «Zürich:

Nobelpreis für Chemie: Empa an Forschungsarbeit beteiligt



Die Empa freut sich über die Verleihung des diesjährigen Nobelpreises für Chemie an Bernard L. Feringa, Fraser Stoddart und Jean-Pierre Sauvage – denn sie war 2011 an einer Forschungsarbeit des heutigen Laureaten Bernard L. Feringa massgeblich beteiligt.

Karl-Heinz Ernst, Leiter der Empa-Forschungsgruppe «Molecular Surface Science», liess im Rastertunnelmikroskop ein Modellauto fahren, das aus einem einzigen Molekül besteht – es ist damit vermutlich das kleinste Elektroauto der Welt.

Das Nano-Auto, das Ernst gemeinsam mit Feringa und dessen Arbeitsgruppe an der Universität Groningen entwickelt hatte, ist 4x2 Nanometer gross – rund eine Milliarde Mal kleiner als ein VW Golf – und fährt auf vier elektrisch angetriebenen Rädern nahezu geradlinig über eine Kupferoberfläche. Der «Prototyp» schaffte es 2011 auf die Titelseite des Wissenschaftsmagazins «Nature».

A New Kind of Currency». Während die alte «Währung» aus Finanz- und Versicherungsunternehmen sowie dem Finanzplatz bestanden habe, werde die neue «Währung» vorrangig von den Lebenswissenschaften (Life Sciences) gebildet. Professor Charles Weissmann, ETH Zürich, und sein Start-up-Unternehmen Biogen AG stehen am Beginn dieser neuen Epoche. Und die Gründung des Bio-Technoparks™ in Schlieren sei die naheliegende Fortsetzung.

Die Beteiligungen von Novartis und Roche an den dort angesiedelten Jungunternehmen belege, dass der beschriebene Life-Science-Cluster von Zürich bis nach Basel reiche. Wenn deswegen die Ansiedlung des ETHZ-Departemens SystemsX (Systembiologie) in Basel und nicht in Zürich zunächst überrascht habe, so sei der Entscheid eben doch sachlogisch und also gerechtfertigt.

Forschung als Grundstein moderner Produktion

Schliesslich werden unter dem Titel «Basic and Applied Research» drei Forschungsinstitutionen («... most important is the extensive network of public-private entities, they are key building blocks in the creation of the smart manufacturing world in which sharing brainpower is essential») untersucht: die Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland, TNO in den Niederlanden – und die Empa in der Schweiz.

Die Buchautoren würdigen die Empa, ihre Ausrichtung und ihre Leistungen mitsamt den angeschlossenen Start-up-Inkubatoren und heben besonders hervor, wie effizient hier das erworbene Wissen geteilt und verbreitet wird.

Bezüglich Innovation zu den aufregendsten Orten der Welt gezählt zu werden, kommt einem Ritterschlag gleich, die Empa darf bestärkt auf dem eingeschlagenen Weg weiter schreiten. //



Das 308 Seiten umfassende Buch enthält nur ganz wenige Illustrationen, weswegen diese Abbildung hier umso bedeutsamer ist.

* Der Autor, Paul W. Gilgen, war Assistent des Empa-Direktors Louis Schlapbach und leitete zuvor die Abteilungen «Ökologie» und «Marketing, Wissensmanagement und Technologietransfer». 2010 ging er nach 23 Jahren an der Empa in Ruhestand.

So long and thanks for the probes, Rosetta!

Zwölf Jahre stand die Raumsonde Rosetta im Dienst der Menschheit. Nun neigt sich die Mission der «European Space Agency» (ESA) dem Ende zu; auf ihrem Zielkometen «Tschuri» findet sie am 30. September 2016 ihre letzte Ruhestätte. Fazit der Mission: Rosetta und ihr Lander Philae, die erste Sonde, die auf einem Kometen gelandet ist, waren äusserst erfolgreich.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: ESA

Forschende der Universität Bern und der Empa, die gemeinsam für die Entwicklung des Analyseinstruments ROSINA (mit vollem Namen «Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis») verantwortlich waren, beobachteten Rosettas Reise durchs All mit Stolz. Eine Reise, die im März 2004 begann, als Rosetta – ihren Kinderschuhen entwachsen, fertig entwickelt und mit elf unterschiedlichen Instrumenten beladen – die Erde an Bord einer Ariane-5-Trägerrakete verliess. Ihre Mission: ein noch nie dagewesenes Unterfangen; sie sollte nach einer Reise von 12 Jahren einen Kometen begleiten, Daten über ihn sammeln – und dabei auch gleich einen Lander auf dem Kometen absetzen. Ein Novum in der Geschichte der Raumfahrt.

Nach einem ersten Erd-Gravitationschub im März 2005 und einem Mars-Gravitationschub zwei Jahre später traf sie auf ihrem Weg durch den Weltraum den Asteroid «Steins» und, nach einem dritten Gravitationschub im Jahre 2009, den Asteroid «Lutetia». Rosetta verabschiedete sich dann in einen Tiefschlaf von drei Jahren, ehe sie sich im Januar 2014 planmässig wieder «zum Dienst» meldete und im Mai desselben Jah-

res auf das Rendezvous mit ihrem Zielkometen 67P/Churyumov-Gerasimenko – kurz «Tschuri» – vorbereitete.

Im August erreicht sie schliesslich ihr Ziel und setzt ihren langjährigen Passagier Philae auf dem Kometen ab, um Daten nicht nur aus der Atmosphäre, sondern auch von der Oberfläche des Kometen zu gewinnen. Volle zwei Jahre verbrachte sie gemeinsam mit «Tschuri». Und während Philae auf der Kometenoberfläche verloren ging, verrichtete Rosetta weiterhin gewissenhaft ihre Arbeit im Orbit des einsamen, eisigen Brockens im All.

Am Freitag, dem 30. September 2016, gegen 12.40 Uhr Mitteleuropäischer Zeit endete Rosettas weite Reise; insgesamt legte die Raumsonde 6,4 Milliarden Kilometer zurück.

Da eine Heimkehr zur Erde nicht möglich ist, liessen sie ihre «Betreuer» an der ESA kurz vor 13 Uhr Mitteleuropäischer Zeit auf dem Kometen landen. Rosettas letzte Ruhestätte befindet sich in der Kometenregion Ma'at, benannt nach der ägyptischen Göttin für Wahrheit und Gerechtigkeit und Herrscherin über die Sterne – eine würdige letzte Ruhestätte für die emsige Raumsonde. //



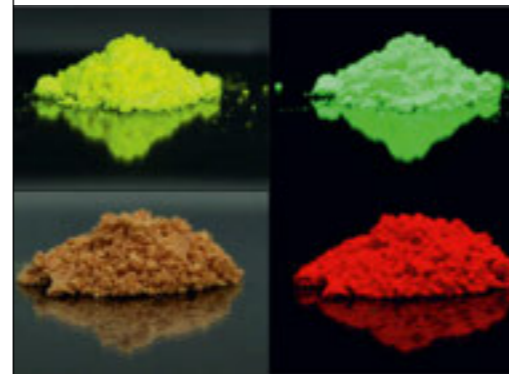
Video

Seit dem 6. August 2014 umkreiste die Sonde Rosetta den Kometen. So sieht die finale Flugbahn aus.

<http://sci.esa.int/rosetta/58306-rosetta-s-final-path/>

Hier hat Rosetta ihre letzte Ruhestätte gefunden: die Region Ma'at auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko, kurz «Tschuri».

Fluoreszenzfarbstoffe der neuesten Generation



Einkristalle aus Bleihalogenid-Perowskiten eignen sich nicht nur zur Messung von Radioaktivität, sondern auch, um brillante Leuchtfarben herzustellen. Maksym Kovalenkos Team experimentiert bereits seit längerem mit Bleihalogeniden und fand 2015 heraus, dass kolloidale Lösungen aus Nanokristallen dieser Substanzen eine helle Fotolumineszenz erzeugen – sich also als Leuchtfarben sehr gut eignen würden. Nun entdeckte das Team eine einfache Herstellungsmethode für solche Nanokristalle: Die Forscherinnen und Forscher tränkten Kieselerde einer bestimmten Porengrösse mit einer Bleihalogenid-Salzlösung. In den Poren der Kieselerde entstanden nach dem Trocknen Nanokristalle von definierter Grösse, die je nach chemischem Feintuning der Perowskite in

verschiedenen Farben leuchten. Das Leuchten kann mit sichtbarem oder mit UV-Licht ausgelöst werden. Solche Blei-Halogenid-Silikatpulver leuchten extrem hell, sind unempfindlich auf Oxidation und darüber hinaus recht einfach herzustellen, wie die Forscher vor kurzem in einer Studie in der Fachzeitschrift «Nano Letters» berichteten. Sie könnten schon bald herkömmliche, auf Phosphor basierende Leuchtstoffe ersetzen und zum Beispiel in LCD-Bildschirmen zum Einsatz kommen.

Die Empa als Filmkulisse



An zwei Wochenenden im Mai 2016 verwandelte sich die Metallhalle der Empa in eine geschäftige Filmkulisse. Eine Gruppe von Studentinnen und Studenten der Zürcher Hochschule der Künste (zhdk) drehte hier mit Schauspielern aus Spanien, Frankreich und der Schweiz ihren Abschlussfilm «Les Heures Encre» (französisch, deutsche Untertitel).

Der 30-minütige Kurzfilm spielt in der fiktiven Westschweizer Metallwarenfabrik «Cedras», in der die Arbeiter unter immer stärkerem Zeitdruck der Konkurrenz aus China Paroli bieten. Ein Vorarbeiter bringt sich aus Verzweiflung um, ein Arbeiter versucht daraufhin, den Chef zu erpressen.

Das sozialkritische Drama wurde von der 30-köpfigen Filmcrew unter anderem in der Empa-Metallwerkstatt und einigen Büros in Szene gesetzt. Höhepunkt war ein Feuer-Stunt in einem nachgebauten Kulissen-Büro inmitten der grossen Halle (Bild links).

Der Film feiert am 30. Oktober Premiere in Zürich. Die Redaktion drückt für die kommenden Kurzfilmfestivals die Daumen und wünscht «Les Heures Encre» viel Erfolg!

Bildquellen:
Diego Hauenstein
Peacock Film

SWISS GREEN ECONOMY SYMPOSIUM 2016

14. NOVEMBER 2016
WINTERTHUR

Erfolgsbeispiele präsentiert von
Smart Changemakers zu den Themen:

PROGRAMM &
ANMELDUNG
www.sges.ch oder
anmeldung@sges.ch

ENERGIEMOBILITÄT BAUEN
DIGITALISIERUNG FINANZEN
CHANCEN IM WETTBEWERB
RESSOURCEN BUSINESS
WACHSTUMSSCHANCEN
IMPACT KLIMA ERNÄHRUNG
ARBEITSPLÄTZE TOURIS
MUSINTERNATIONALER
HANDEL GLOBALISIERUNG
TEXTILIEN AFRIKA KOMMU
NIKATION LATEINAMERIKA

In Zusammenarbeit mit:



Das SGES steht unter dem persönlichen
Patronat von: PROF. DR. GIAN-LUCA BONA,
Direktor Empa & PROF. DR. JEAN-MARC
PIVETEAU, Rektor ZHAW

www.sges.ch

finden folgende Innovationsforen statt:

- IF.03 **MOBILITÄT:** Infrastrukturen
& Verkehrssysteme von morgen
- IF.17 **MOBILITÄT:** Antriebe &
Treibstoffe von morgen
u.a. mit CHRISTIAN BACH,
Empa. DR. MERJA HOPPE,
Institut für Nachhaltige
Entwicklung ZHAW
- IF.27 **SMART CITIES:** So lohnen
sich globale Partnerschaften
u.a. mit VICENTE CARABIAS-
HÜTTER, Institut für Nachhaltige
Entwicklung ZHAW

Veranstaltungen

21. November 2016

Kurs: Hightech-Keramiken

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/ht-keramik

Empa, Dübendorf

28. November 2016

Kurs: Nicht-Silizium-Materialien
der Mikrosystemtechnik

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/nonsilicon

Empa, Dübendorf

12. Januar 2017

Klebertechnik für PraktikerInnen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/klebertechnik

Empa, Dübendorf

18. Januar 2017

Additive Manufacturing – quo vadis?

Industry and Science

www.empa-akademie.ch/tbaddmanu

Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter

www.empa-akademie.ch

Ihr Zugang zur Empa:



portal@empa.ch
Telefon +41 58 765 44 44
www.empa.ch/portal