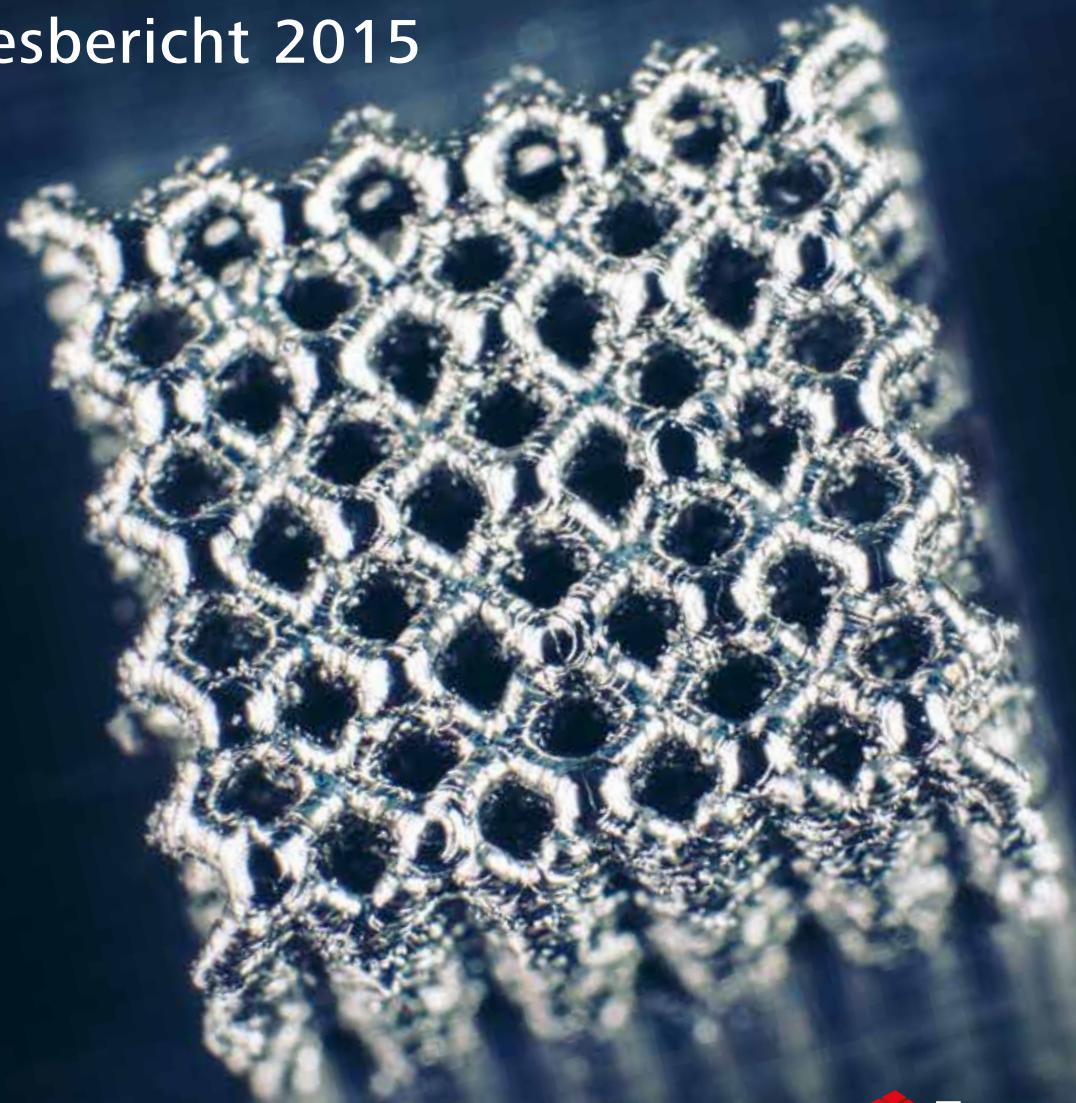


Jahresbericht 2015



Empa

Materials Science and Technology

Unsere Vision.

**Materialien und Technologien
für eine nachhaltige Zukunft.**

4

Vorwort

6

Das Jahr im Rückblick

11

Ausgewählte Projekte

51

Research Focus Areas

75

Von der Forschung zur Innovation

103

Zahlen und Fakten

Titelbild: Im 3-D-Druck hergestellter Würfel aus Titanaluminid mit eingebetteten Keramikpartikeln. Diese Legierung ist aufgrund ihrer geringen Dichte etwa für Flugzeugtriebwerke interessant, jedoch schwer zu verarbeiten. Solche Probekörper zeigen, mit welchen Parametern der 3-D-Druck mit Metallen am besten funktioniert. Siehe auch Seite 10.

Herausgeber: Empa; **Konzept/Redaktion/Gestaltung:** Empa; **Druck/Ausrüstung:** Neidhart+Schön AG, Zürich.

© Empa 2016 – ISSN 1424-2176 Jahresbericht Empa

ClimatePartner
klimaneutral

Druck | ID: 53232-1604-1003





Damit wir «Innovationsweltmeister» bleiben – mit Forschungsplattformen die Wettbewerbsfähigkeit steigern

Es wird allgemein anerkannt, dass sich die Schweizer Volkswirtschaft nur durch Innovationen, also durch neue Produkte, für die ein Kunde zu zahlen bereit ist, weiterhin erfolgreich entwickeln und im globalen Wettbewerb behaupten kann. Neue Produktentwicklungen aus der Empa beruhen auf neuartigen Materialien und Technologien. Diese zur Marktreife zu bringen, kann jedoch derart ressourcenintensiv sein, dass kaum ein Unternehmen dieses Risiko auf sich nimmt, selbst wenn die wissenschaftlichen Grundlagen dafür wohlbekannt sind. So hat es beispielsweise mehr als ein Jahrzehnt gedauert, flexible CIGS-Dünnschichtsolarzellen so weit zu entwickeln, dass sie punkto Energieumwandlungseffizienz mit Siliziumzellen gleichgezogen haben. Dazu war nebst hartnäckigen Forschern auch eine entsprechende Unterstützung durch öffentliche Fördermittel unabdingbar – und selbst nach der erfolgreichen Inbetriebnahme einer Pilotproduktionsanlage im zürcherischen Niederhasli ist der Erfolg auf dem Markt noch keineswegs gesichert.

Um Erkenntnisse aus der Wissenschaft in nachhaltige Anwendungen für die Schweizer Wirtschaft umzusetzen, sind eine intensive Zusammenarbeit und ein reger Austausch zwischen Forschenden und Industrievertretern von zentraler Bedeutung. An der Empa haben wir dazu verschiedene Plattformen für Themenbereiche wie Bau, Mobilität, Energie und neue industrielle Herstellungsverfahren etabliert. Hier können Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ihre fachlichen Kompetenzen einbringen und Projekte ausserhalb der geschützten Laborumgebung weiterentwickeln. Für die Industrie ist es ein Ort, an dem sie die neusten Entwicklungen beobachten und frühzeitig an ihnen mitarbeiten kann, indem sie Wünsche an- und Marktbedürfnisse einbringt.

NEST ist unsere Plattform für den Baubereich. Das Gebäude mit fixem Kern und austauschbaren Units erlaubt es, neue ener-

gieeffiziente Wohn- und Arbeitsformen zu entwickeln und in der Praxis, also im Betrieb, zu erleben. Im Mobilitätsdemonstrator *move* werden neue Antriebstechnologien für den Individualverkehr erforscht, etwa Brennstoffzellenfahrzeuge, Gas- und Elektroautos. Dank dieser beiden Plattformen, in denen unsere Forschung mit jener unserer Partner zusammenfindet, konnten wir themenübergreifend eine Dritte – *ehub* (Energy Hub) – initiieren. *ehub* soll ein Vorreiter für die künftige Energieversorgung sein und untersucht, optimiert und koppelt Energieflüsse zwischen dem Mobilitäts- und dem Gebäudebereich. Dezentrale Lösungen für unsere Energiezukunft werden damit in der Praxis erprobt und erlebt.

Und im kürzlich eröffneten Coating Competence Center (CCC) wird an neuartigen Beschichtungen und funktionellen Bauteilen mit wohldefinierten mechanischen und thermischen Eigenschaften getüftelt. Dabei stehen die rasche Umsetzung von Forschungserkenntnissen und die Skalierung auf industrielle Prozesse im Zentrum, selbstredend stets in enger Zusammenarbeit mit unseren Industriepartnern. Es werden im grösseren Massstab als im Labor Oberflächenbeschichtungen, aber auch neue Metallpulver und Keramiken für den 3D-Druck von komplexen Bauteilen entwickelt. Unser Fernziel ist es, das CCC in Form einer Public-Private Partnership (PPP) in ein Center for Advanced Manufacturing auf dem Schweizer Innovationspark in Dübendorf zu überführen. Advanced Manufacturing ist nebst dem Internet of Things einer der Grundpfeiler von «Industrie 4.0», der nächsten industriellen Revolution, in der virtuelle Daten mit realen Produktionsmaschinen verschmelzen.

Diese vier Plattformen ermöglichen es der Empa, basierend auf wissenschaftlicher Exzellenz die Brücke von der Forschung zur Industrie zu schlagen und so einen effizienten Wissens- und Technologietransfer zur Stärkung der Schweizer Wettbewerbsfähigkeit zu ermöglichen.

Prof. Dr. Gian-Luca Bona, Direktor

01

Flammhemmer für Business-Jets

Eine neue Beschichtung schützt Flugzeug-Interieurs vor Feuer. Das Mittel ist nicht nur umweltfreundlicher als bisherige Flammhemmer, sondern auch einfacher appliziert.

Seite 45

Klangkunst mit Empa-Herz

Ein Klang-Kunstwerk des belgischen Künstlers Aernoudt Jacobs, das mit Hilfe von Empa-Technologie entstanden ist, war in der Ausstellung «Kontinuum» in Wien zu sehen. Im Inneren des Kunstwerks steckt eine Membran aus elektroaktiven Polymeren (EAP), die Reflexionen und Töne zugleich erzeugt.



02

Forschung aus Leidenschaft

Karl-Heinz Ernst (links) und Oliver Gröning wurden zu «Distinguished Senior Researchers» ernannt. Eine neue Auszeichnung für Wissenschaftlerinnen und Ingenieure, deren Renommee und Arbeit die Empa seit vielen Jahren gut dastehen lassen – sei es durch hervorragende Grundlagenforschung oder in der späteren Anwendung und Umsetzung mit Industriepartnern.



Roadmap Energie-forschung

Rund 70 Forschende der Empa, der ETH Zürich, der EPFL, der Hochschule Luzern, der Universität Genf und der Fachhochschule Nordwestschweiz erarbeiteten an einem Workshop eine Forschungs-Roadmap, um den Energiebedarf des Schweizer Gebäudeparks bis 2050 um den Faktor fünf zu senken.

03

Schlüsselenergie der Zukunft

Beim Wechsel von fossilen und nuklearen Energieträgern zu erneuerbaren ist auch die Automobilindustrie gefragt. Neben der Einführung von Fahrzeugen mit neuen Antriebssystemen ist die Bereitstellung entsprechender Treibstoffe zentral. An der Empa zeigten Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Industrie und Forschung, wie dies gehen könnte.

Wie kommt es zu Rückenschmerzen?



Zusammen mit der University of Pittsburgh und der Universitätsklinik Balgrist entschlüsselte die Empa die Mechanik der unteren Rückenwirbel. Die Forscher können nun zeigen, wie es zum Verschleiss an Wirbelkörpern und Bandscheiben kommt. Dies vereinfacht die gezielte Auswahl der richtigen Therapie.

Seite 24

04

Tehtextil Innovation Award 2015



Ein Empa-Team hat mit Industriepartnern einen Brustgurt für die Langzeitüberwachung von Herz-/Kreislauf-PatientInnen entwickelt. Das Besondere am EKG-Gurt: Er hält sich selber feucht – was für zuverlässige Signalerfassung unerlässlich ist. An der Fachmesse «Tehtextil» wurde der Gurt mit dem Innovation Award 2015 ausgezeichnet.

Empa goes Bestseller

Der Spionagethriller «Projekt Black Hungarian» verknüpft aktuelle Entwicklungen im Bereich E-Mobilität und IT-Sicherheit mit einer fiktiven Spionagegeschichte, die unter anderem an der Empa in St. Gallen spielt. Die Geschichte ist inspiriert von Ereignissen während der Elektroauto-Rallye WAVE 2013.



06

Macht sauber, fährt sauber

Die Empa, die ETH Zürich und Bucher Municipal haben in einem KTI-Projekt einen Elektrohybridantrieb für Kehrfahrzeuge entwickelt. Das Konzept basiert auf einem Gasmotor, der Strom für einen Elektromotor liefert. Verglichen mit herkömmlichen Kehrmaschinen halbiert sich der Energieverbrauch, die CO₂-Emissionen vermindern sich um mehr als 60 Prozent.



Neun Partner aus acht Ländern

Die Empa beteiligt sich am «Europäischen Labor für nanomedizinische Charakterisierung» (EUNCL), einem vom EU-Rahmenprogramm «Horizon 2020» geförderten Projekt. Ziel ist eine internationale Spitzenstellung bei der Charakterisierung von Nanotherapeutika für Krankheiten wie Krebs, Diabetes, Entzündungen und Infektionen.

05

Wie entstehen die Löcher im Käse?

Die Löcher in bestimmten Käsesorten stammen von Heupartikeln, die während der Fermentation Gase freisetzen. Beim traditionellen Melken gelangt Heu in die Milcheimer, wie Forscher der Forschungsanstalt Agroscope und der Empa herausfanden. Das erklärt auch, weshalb bestimmte Käse immer weniger Löcher haben: Grund dafür ist, dass die Milch beim Maschinenmelken immer «sauberer» ist.



Solarzellen mit 25 Prozent Wirkungsgrad

Ehrgeizige Ziele verfolgt das «Sharc25»-Projekt, bei dem der Wirkungsgrad von Dünnschicht-solarzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) auf 25 Prozent gesteigert werden soll – drei Prozent über der bisherigen Bestmarke.

07

Ökobilanzen für künftige Produkte



Die Empa hat eine Analyse­methode entwickelt, die es Firmen erlaubt, Produktionsszenarien theoretisch durchzuspielen – und so Fehl­investitionen zu vermeiden. Ein Beispiel: Nanofasern aus Rüebliabfällen, die bei der Herstellung von Karottensaft anfallen. Mit ihnen lassen sich Kunststoffteile, etwa für Motorradhelme, verstärken.

Auf den Brennstoff kommt es an

Die Brennstoffzelle gilt als Zukunftstechnologie für Autos, aber auch für Hausheizungen. Doch sind Brennstoffzellen in jedem Fall umweltfreundlicher? Ein internationales Wissenschaftlerteam unter Leitung der Empa kommt zum Schluss: Entscheidend ist, wie nachhaltig der Wasserstoff erzeugt wird.

08

Geplante Windparks erleben

Windturbinen verändern das Landschaftsbild und verursachen Geräusche. Die Empa hat zusammen mit der ETH Zürich eine Computersimulation entwickelt, die eine optische und akustische Einschätzung möglich macht – noch bevor die erste Windturbine steht.



Anästhetika in der Antarktis

Bei Operationen kommen oft Inhalationsanästhetika, sogenannte Flurane, zum Einsatz, die als starke Treibhausgase wirken. Wie viel davon weltweit hergestellt wird, ist unklar. Nun ist es einem Empa-Team erstmals gelungen, die tatsächliche Menge anhand globaler Luftmessungen zu bestimmen, unter anderem in einer Forschungsstation in der Antarktis.

Seite 12

09

NEST: Der Rohbau steht

Das Gebäude der Zukunft nimmt Form an: Rund ein Jahr nach dem Spatenstich ist der Rohbau des modularen Forschungs- und Innovationsgebäudes NEST fertig. Am 11. September 2015 feierte die Trägerschaft aus Forschung, Wirtschaft und öffentlicher Hand mit den Projektpartnern die Aufrichte in Dübendorf.

Mit dem Körper ein Zelt heizen

Mit dem Start-up «Polarmond» und zwei weiteren Forschungspartnern haben Forscher der Empa ein sich selbst aufwärmendes «All-in-one»-Zeltsystem entwickelt. In seinem Innern soll dank eines ausgeklügelten Entfeuchtungsmanagements und einer stufenlosen Temperaturregelung stets ein angenehmes Klima herrschen.



10

Empa-Forscher optimieren Diesel

Gelänge es, Diesela­b­gase effizient zu «entsticken», hätte man einen sparsamen, sauberen Motor. Empa-Forscher untersuchen mit der ETH Zürich und dem Politecnico di Milano verschiedene AdBlue-Einspritzverfahren mit dem Ziel, eine möglichst optimale Zer­stäu­bung und Verteilung der Harnstofflösung im Abgasstrom zu erreichen. Seite 18

«Betonkrankheit» entschlüsselt



Wenn Brücken, Stau­mauern und Betonfundamente bröckeln, dann ist oft AAR die Ursache. Die Alkali-Aggregat-Reaktion wird durch eindringende Feuchtigkeit ausgelöst, schädigt weltweit Betonbauwerke und macht Sanierungen oder Neubauten nötig. Forscher des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der Empa haben nun erstmals die Kristallstruktur des AAR-Abbauprodukts entschlüsselt – ein erster Schritt zu einem möglichen Gegenmittel. Seite 27

12

Ökologische «Katzen­gold-Batterie»

Forscher der Empa und der ETH Zürich haben eine Alternative zur Lithium-Ionen-Batterien entdeckt: die «Katzen­gold-Batterie». Sie besteht aus Eisen, Schwefel, Natrium und Magnesium – Elemente, die im Gegensatz zu Lithium in grossen Mengen verfügbar sind. Seite 30



Unterstützung für Nachwuchsforscher

Zwei Empa-Forscher – Rolf Erni, Leiter des Elektronenmikroskopie­zentrums, und Josep Puigmarti aus der Abteilung «Schutz und Physiologie» – haben zwei der renommierten ERC Grants erhalten und können damit über mehrere Jahre hinweg ihre Forschungsschwerpunkte weiter ausbauen. Erni erhält einen Consolidator Grant über 2,5 Millionen Euro, Puigmarti einen Starting Grant von 1,5 Millionen Euro.

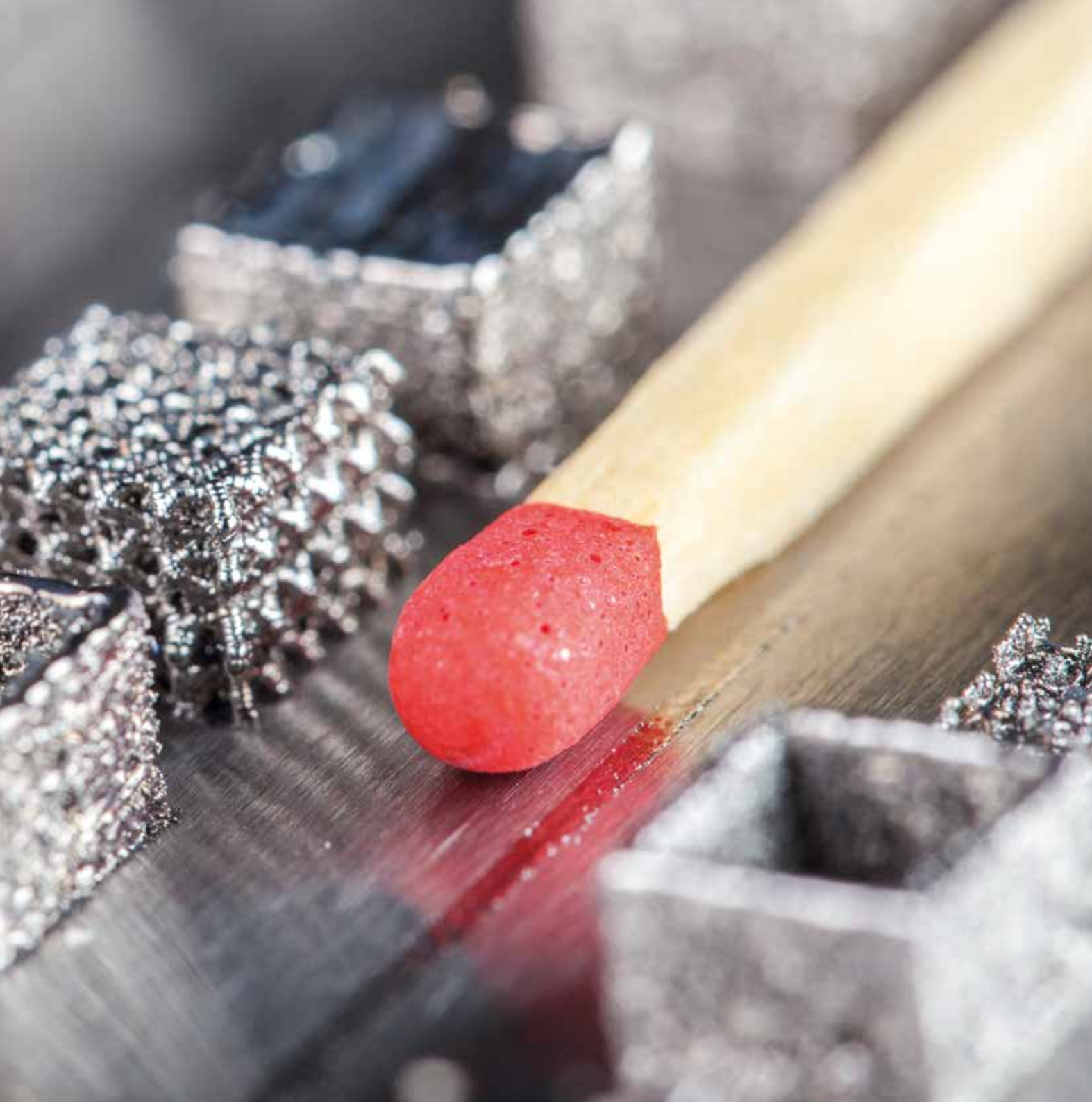
11

«move» eröffnet

Die Demonstrations- und Technologietransferplattform «move» ermöglicht Empa-Forschern, neue Fahrzeugantriebskonzepte mit signifikant niedrigeren CO₂-Emissionen zu entwickeln und in der Praxis zu erproben. Als Energiequelle dient überschüssiger Strom aus Photovoltaikanlagen oder aus Wasserkraftwerken. Damit lassen sich einerseits Batterien in Elektrofahrzeugen laden; andererseits lässt er sich auch in Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge oder in synthetisches Methan für Gasfahrzeuge umwandeln.







Ausgewählte Projekte

Neue Materialien erforschen und innovative Technologien vorantreiben; Impulse setzen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft; die wissenschaftlichen Grundlagen schaffen für politische und gesellschaftliche Entscheide – das sind zentrale Ziele der Empa, die sie durch Forschung und Entwicklung, über Kooperationen und Partnerschaften, via Dienstleistungen, Expertisen und Consulting verfolgt. Die folgenden «Snapshots» aus den Labors geben einen Einblick in die vielfältigen Forschungsaktivitäten der Empa.

Anästhetika in der Antarktis

Sie heissen Desfluran, Isofluran und Sevofluran und verheissen einen süssen Schlaf, während Chirurgen einen im OP wieder zusammenflicken. Aber sie haben auch eine dunkle Seite: Sie heizen dem Erdklima ordentlich ein und reisen in der Atmosphäre sogar ans andere Ende der Welt. Eine weltweite Inventur über die tatsächlich freigesetzte Menge wäre also ganz im Sinne des Kyoto-Protokolls. Doch das erweist sich als schwieriger als erwartet, denn die Industrie gibt sich zugeknöpft. Bislang lagen nur Schätzungen vor, die im «Bottom-up»-Verfahren ermittelt wurden. Dabei wird der Verbrauch in Krankenhäusern hochgerechnet und daraus eine ungefähre Produktionsmenge abgeleitet.

Empa-Forschende haben den entgegengesetzten Weg gewählt: «Top-down». Sie analysierten Luftproben von verschiedenen Stationen nach Spuren der Inhalationsanästhetika und berechneten daraus die weltweite Produktionsmenge. Diese entspricht umgerechnet einer Menge von rund drei Millionen Tonnen CO₂. Das klingt im ersten Moment nach viel, doch alleine der Schweizer Personenverkehr produziert pro Jahr etwa dreimal mehr. Es handelt sich also um eine

vergleichsweise geringe Menge an Treibhausgasen, die über Operationssäle in unsere Atmosphäre gelangt. Dennoch gilt vor allem Desfluran als besonders klimawirksam und ist mit einer Halbwertszeit von rund 14 Jahren extrem langlebig, während sich Sevofluran und Isofluran in «nur» einem bzw. drei Jahren abbauen.

2500
**Mal potenter als Treibhausgas
ist das Anästhetikum Desfluran
im Vergleich zu CO₂.**

Messungen in der Antarktis haben zudem gezeigt, dass diese Substanzen bis in die hintersten Regionen unserer Erde gelangen. Für ihre Reise zu den Polen benötigen die Treibhausgase zirka ein bis zwei Jahre. Empa-Forscher waren bereits zweimal auf der koreanischen King-Sejong-Forschungsstation in der Antarktis, um dort Messungen vorzunehmen und Luftproben zu nehmen. Da dies für eine dauerhafte

Überwachung dann doch zu aufwändig ist, füllen koreanische Kollegen auf der Station regelmässig Luft in Stahlkanister ab und schicken diese nach Dübendorf. Für ihre Analysen kann das Empa-Team ausserdem auf Proben aus einem «Luftarchiv» zurückgreifen; seit 1978 zapfen australische Forscher regelmässig Luft aus der Atmosphäre ab und lagern sie für spätere Untersuchungen ein.



1

Die King-Sejong-Forschungsstation ist eine südkoreanische Forschungsstation in der Antarktis. Sie befindet sich auf der König-Georg-Insel, die der antarktischen Halbinsel vorgelagert ist.

2

Empa-Forscher Martin Vollmer zeigt Flagge in der Antarktis. Die Forschungsstation beherbergt Forschende aus allen Teilen der Welt.



1



2

Kontakt

Dr. Martin Vollmer
martin.vollmer@empa.ch

Umstrittener Handlungsbedarf

Doch was ist zu tun, nun, da verlässliche Zahlen vorliegen und sogar bekannt wird, dass diese Substanzen nicht nur in den urbanen Zentren vorkommen – also dort, wo sie hauptsächlich verwendet werden –, sondern bis ans Ende der Welt reisen? Flurane werden bereits seit den 1980er-Jahren hergestellt, und schon damals gab es Befürworter und Gegner. Zwar handelt es sich um extrem starke Treibhausgase, doch ist die absolute Menge so gering, dass sie insgesamt kaum ins Gewicht fällt. Dem gegenüber stehen etliche Vorteile in Human- und Tiermedizin. Veterinäre nutzen die Anästhetika, um rasch und unkompliziert Tiere zu betäuben – beispielsweise bei Kastrationen. Dies ist weitaus günstiger, als ein Tier durch Injektionen zu narkotisieren. In der Humanmedizin spielen die Kosten eine geringere Rolle, doch ist die Inhalationsanästhesie für die Patienten angenehmer.

Wir sollten uns aber bewusst sein, dass die lokale Verwendung dieser langlebigen Substanzen auch in den unberührtesten Gegenden sichtbar wird, vielleicht mit Auswirkungen, die uns heute noch nicht bekannt sind. Auch im Hinblick auf die drohende Klimaerwärmung bleibt zudem die Frage, ob sich nicht atmosphärenschonendere Alternativen entwickeln liessen. //

Nutzen statt wegwerfen

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Energie-wende» (NFP 70) unterstützt der Schweizerische Nationalfonds (SNF) das interdisziplinäre Forschungsprojekt «THRIVE». Unter der Leitung von IBM Research – Zürich und der Hochschule für Technik Rapperswil entwickeln Wissenschaftler der Empa, der ETH Zürich, der Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD) und des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemeinsam mit Industriepartnern bis 2017 eine mit Abwärme angetriebene Wärmepumpe. Diese Technologie benötigt im Vergleich zu heutigen Kompressionswärmepumpen deutlich weniger Strom und kann zudem Abwärme effizient zur Klimatisierung von Gebäuden nutzen.

Da für ihren Antrieb Wärme verwendet wird, könnte die Technologie einerseits das Stromnetz entlasten, andererseits die Abwärme von zum Beispiel Fabriken, Kraftwerken und Rechenzentren oder erneuerbaren Quellen wie Solarthermie, Geothermie und Biomasse nutzbar machen. Durch den grossflächigen Einsatz von Adsorptionswärmepumpen, wie sie im «THRIVE»-Projekt entwickelt werden soll, wäre theoretisch bis 2040 eine Reduktion des Strombedarfs für Heiz- und Kühlzwecke um bis zu 65 Prozent und des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zur Wärmeerzeugung um bis zu 18 Prozent möglich.

Wärmepumpen dienen heute meist dazu, Umweltwärme, die eine Temperatur zwischen -5 und 15°C aufweist, in Heizwärme für Räume oder Prozesse aufzuwerten. Traditionelle Wärmepumpen entziehen der Umgebung Wärme, beispielsweise aus dem Erdreich oder der Luft, um ein Kältemittel in einem Verdampfer zu verdampfen. Der entstandene Dampf steigt in einen elektrisch betriebenen Kompressor, der ihn verdichtet und dadurch erhitzt. Im anschliessenden Kondensator verflüssigt sich der Dampf wieder und gibt die Wärme an einen Heizkreislauf ab. Mit diesem Prozess kann sowohl Wärme für die Heizung von Räumen als auch Kälte wie in einem Kühlschrank produziert werden.

Die thermisch betriebene Adsorptionswärmepumpe funktioniert ähnlich. Der grosse Unterschied ist, dass sich an der Stelle

1 800 000

**Tonnen CO₂ könnten durch den
grossflächigen Einsatz von
Adsorptionswärmepumpen bis ins
Jahr 2040 eingespart werden.**

Statt mit Strom mit Wärme betrieben

Die thermisch betriebene Adsorptionswärmepumpe funktioniert ähnlich. Der grosse Unterschied ist, dass sich an der Stelle

des Kompressors ein Adsorptionswärmetauscher befindet, der anstatt Elektrizität Wärme bei einer Temperatur ab 60°C als Antriebsenergie nutzt. Während des sogenannten Adsorptionsprozesses werden vom Adsorptionswärmetauscher erhebliche Mengen Dampf aus dem Verdampfer aufgenommen (adsorbiert) und dabei im Inneren des Wärmetauschers verdichtet, wodurch Wärme freigesetzt wird. Über die Zufuhr der Antriebswärme von einer externen Quelle wird das zuvor adsorbierte Kältemittel wieder aus dem Adsorptionswärmetauscher ausgetrieben (desorbiert). Der dadurch freigesetzte heiße Dampf wird im Kondensator wieder verflüssigt und die entsprechende Kondensationswärme an den Heizkreislauf abgegeben. Auch die Adsorptionswärmepumpe kann sowohl heizen als auch kühlen. Da die Kälte- bzw. Wärmeerzeugung diskontinuierlich erfolgt, sind mindestens zwei parallel arbeitende Adsorptionswärmetauscher für den unterbrechungsfreien Betrieb notwendig.

Durch ihren geringen Stromverbrauch erreichen Adsorptionswärmepumpen im Vergleich zu herkömmlichen Wärmepumpen ein Mehrfaches der erzeugten Kälte- bzw. Wärmeleistung im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Leistung.



1

1
Ein beschichteter Wärmetauscher, der am Institut für Solartechnologie an der Hochschule für Technik in Rapperswil in Kollaboration mit IBM Research Zürich getestet wird.

2
Empa-Forscher Lukas Huber belädt den Röhrenofen mit Polymerharzproben, die durch Pyrolyse in funktionelle Kohlenstoffe umgewandelt werden.



Ausserdem kann als Kältemittel reines Wasser anstelle von zum Teil wenig umweltfreundlichen Kältemitteln genutzt werden. Ein weiterer Vorteil der Technologie ist, dass erneuerbare Wärmequellen verwendet werden können, zum Beispiel solarthermische Anlagen, die typischerweise Temperaturen von bis zu 90°C erzeugen.

Durch die Wärmenutzung eignet sich die Adsorptionswärmepumpe für viele interessante Anwendungen, in denen herkömmliche Wärmepumpen nicht sinnvoll sind. Sie könnte zum Beispiel die Abwärme aus zukünftigen aktiv gekühlten konzentrierten Photovoltaikanlagen oder heisswassergekühlten Rechenzentren nutzen, um Büro- und Wohngebäude zu klimatisieren. //

Dieselabgase ganz ohne Stickoxide – ist das möglich?

Im Vergleich zu Benzinern verbrennen Dieselmotoren ihren Treibstoff effizienter – und stossen daher entsprechend weniger Kohlendioxid (CO₂) aus. Dies unter anderem, weil Dieselmotoren mit Luftüberschuss im sogenannten Magerbetrieb arbeiten. Wegen des «überschüssigen» Luftsauerstoffs im Abgas kann allerdings der aus Benzinmotoren bekannte Drei-Wege-Katalysator, der zum Beispiel mehr als 98 Prozent der giftigen Stickoxide (NO_x) im Abgas abbaut, bei Dieselmotoren nicht eingesetzt werden.

Um Dieselabgase trotzdem von Stickoxiden zu reinigen, wird ein Verfahren eingesetzt, das ursprünglich zur Entstickung von Kraftwerksabgasen entwickelt wurde. Vor knapp zehn Jahren kamen erstmals Lastwagen mit dieser neuen Technologie auf die Strasse. Das Verfahren nutzt eine wässrige Harnstofflösung mit dem Handelsnamen «AdBlue», um die Stickoxide über verschiedene chemische Reaktionen in einem speziellen, für die NO_x-Reduktion optimierten SCR-Katalysator (von engl. «selective catalytic

reduction») in harmlosen Stickstoff (und Wasser) umzuwandeln. AdBlue wird im Fahrzeug in einem separaten Tank mitgeführt und muss von Zeit zu Zeit nachgefüllt werden, typischerweise beim Service des Fahrzeugs.

SCR-Systeme sind jedoch deutlich komplexer als herkömmliche Drei-Wege-Katalysatoren in Benzinmotoren. Beispielsweise muss die Dosierung des AdBlue im dynamischen Betrieb genau auf die vom Motor ausgestossene Menge an Stickoxiden abgestimmt sein; eine zu tiefe Dosierung bringt nicht die von Gesetzes wegen vorgeschriebene NO_x-Reduktion, und eine zu hohe Dosierung resultiert in unerwünschten Ammoniak-Emissionen. Hinzu kommt, dass AdBlue bei Abgastemperaturen unter 200°C dazu neigt, feste Ablagerungen zu bilden, die den SCR-Katalysator über kurz oder lang verstopfen. SCR-Systeme müssen deshalb spezifisch auf

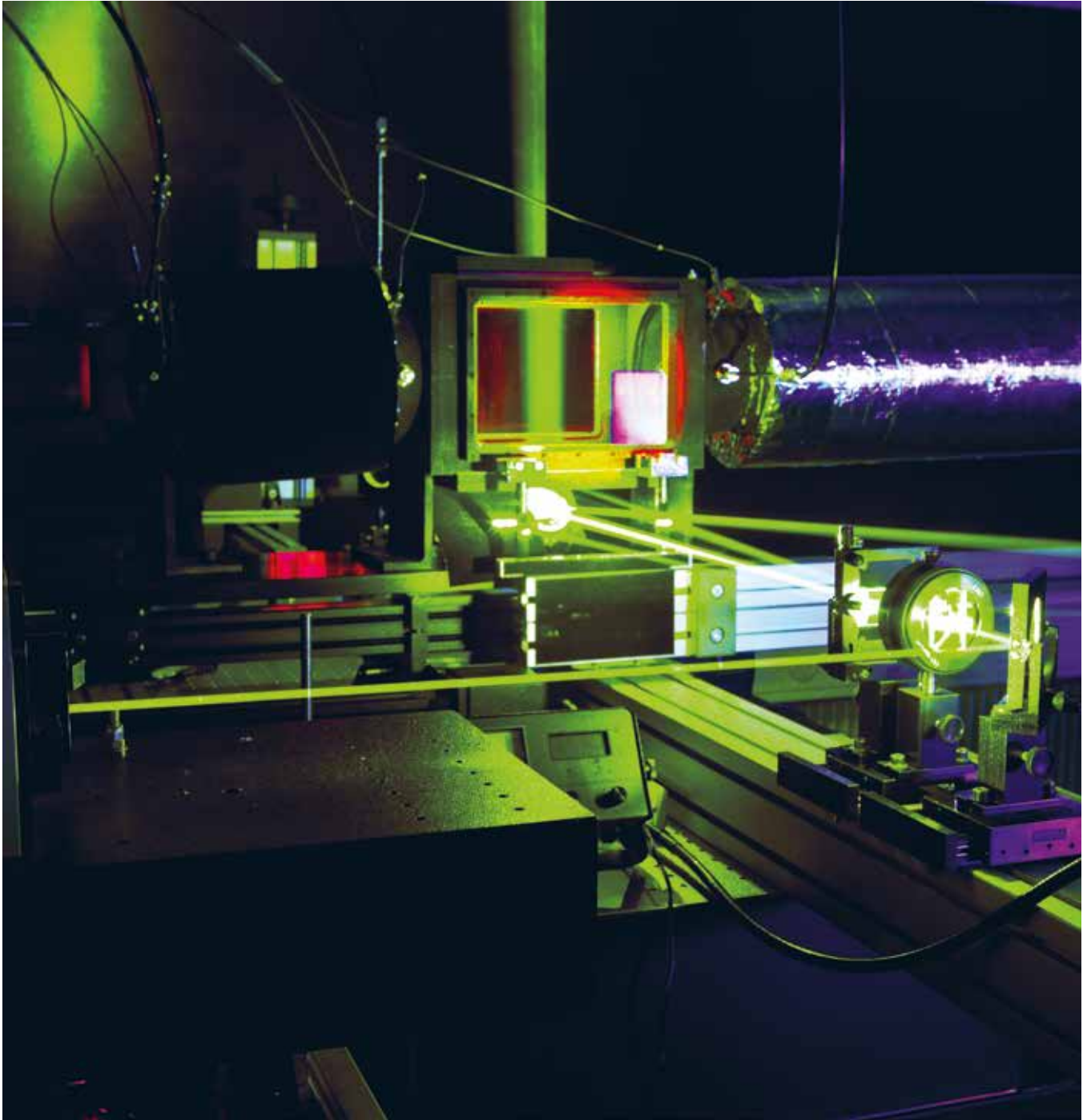
die verschiedenen Motortypen und die zu erwartenden Lastwechsel – spricht: das Fahrverhalten – angepasst und optimiert werden, was ein aufwändiges und daher teures Verfahren ist.

90

**Prozent und mehr der NO_x
müssen Diesel-Kats abbauen, um
den EURO-6-Grenzwert einzuhalten.**

1

Laseroptische Messverfahren im Empa-Motorenlabor erlauben es, moderne Stickoxidreduktionssysteme für Dieselmotoren zu entwickeln.



1

Die Analysen im Empa-Motorenlabor zeigen die planare Verteilung von AdBlue im Dieselabgas (rot = hohe Konzentrationen; blau = tiefe Konzentrationen). Ideal wäre eine möglichst gleichmässige Verteilung der «Reinigungssubstanz» AdBlue.

Kontakt

Dr. Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler
panayotis.dimopoulos@empa.ch

Christian Bach
christian.bach@empa.ch

EURO-6: Erstmals gleiche NO_x -Spiesse für Benzin- und Dieselfahrzeuge

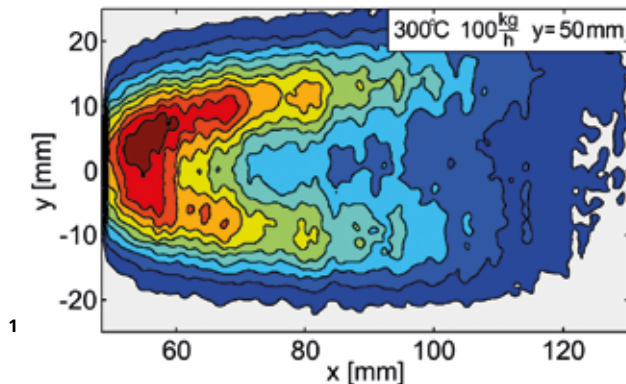
Bei Personenwagen kommen SCR-Systeme erst seit kurzem zum Einsatz. Mit der im September 2014 eingeführten EURO-6-Norm gelten erstmals die gleichen NO_x -Grenzwerte für Benzin- und Dieselfahrzeuge; zuvor hat man den Dieselfahrzeugen in Europa stets mehr NO_x -Ausstoss zugestanden.

Forscher der Empa befassen sich seit einigen Jahren mit derartigen Systemen und haben eigens dafür ein spezielles Hochtemperaturströmungslabor eingerichtet. Sie untersuchen zurzeit unter anderem verschiedene AdBlue-Einspritzverfahren mit dem Ziel, eine möglichst optimale Zerstäubung und homogene Verteilung der wässrigen Harnstofflösung im Abgasstrom zu erreichen. Dabei setzen die Forscher lasergestützte optische

Messverfahren ein, um die winzigen AdBlue-Tröpfchen im Abgasstrom zu quantifizieren, zu visualisieren sowie deren Verdampfungsverhalten und chemische Umwandlungsprozesse zu untersuchen.

Besseres technisches Verständnis für sauberere Dieselmotoren

Die experimentellen Ergebnisse werden dann in Zusammenarbeit mit Kollegen der ETH Zürich und des Politecnico di Milano genutzt, um Computersimulationen der AdBlue-Einspritzung physikalisch korrekt zu parametrisieren und die Simulationsmodelle zu validieren. Mit solchen Simulationen lässt sich die Konversionsrate des Katalysators unter verschiedenen Betriebsbedingungen berechnen. Damit leistet die Empa einen Beitrag zur weiteren Abgasminderung bei Dieselfahrzeugen. Je besser diese Technologien im Detail verstanden werden, desto sauberer wird der Betrieb von Dieselfahrzeugen auf der Strasse – bis Stickoxidemissionen auch bei Dieselfahrzeugen der Vergangenheit angehören. Die Projekte werden vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und vom Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität im ETH-Bereich (CEEM) unterstützt und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industriepartnern durchgeführt. //



8

Computer rechnen rund eineinhalb Wochen, um Vorgänge in den Zellwänden von Holz auf molekularer Ebene zu simulieren.

Holz ist eines der ältesten Baumaterialien der Welt. Um dieses Material allerdings den Ansprüchen der modernen Gebäude- und Bautechnik anzupassen und um das Verhalten altertümlicher Bauten und Kunstwerke zu verstehen, ist es nötig, dessen Eigenschaften und Aufbau weiter zu erforschen – und zwar bis auf die molekulare Struktur etwa der Zellwand. Ein bisher unmögliches Unterfangen. Mit modernster Technik und ultraschnellen Computern ist es Empa-Forscherinnen und -Forschern in Zusammenarbeit mit der ETH nun jedoch gelungen, Computermodelle von Holzstrukturen zu entwickeln, um die Vorgänge in den Holzzellwänden auf molekularer Ebene simulieren zu können. Das ermöglicht den Forschenden Einblicke in eine Welt, die bislang selbst mit den leistungsfähigsten Mikroskopen verborgen blieb.

Das Empa-Team hat es geschafft, mittels Molekulardynamiksimulation (MD) zu zeigen, was im Inneren von Holzzellwänden passiert, wenn Wassermoleküle (H_2O) eindringen und adsorbiert werden. Holz schwillt dabei an, verliert Teile seiner stabilen Struktur und wird porös. Ein altbekannter Effekt, dessen Ursache aber nun erstmals auf molekularer Ebene beobachtet werden konnte. Dadurch haben die Forschenden erstmals verstanden, warum Holz dabei porös wird: weil durch das Eindringen der

Wassermoleküle sogenannte Wasserstoffbrücken zerstört werden, die die Zellwandstruktur in trockenem Zustand zusammenhalten.

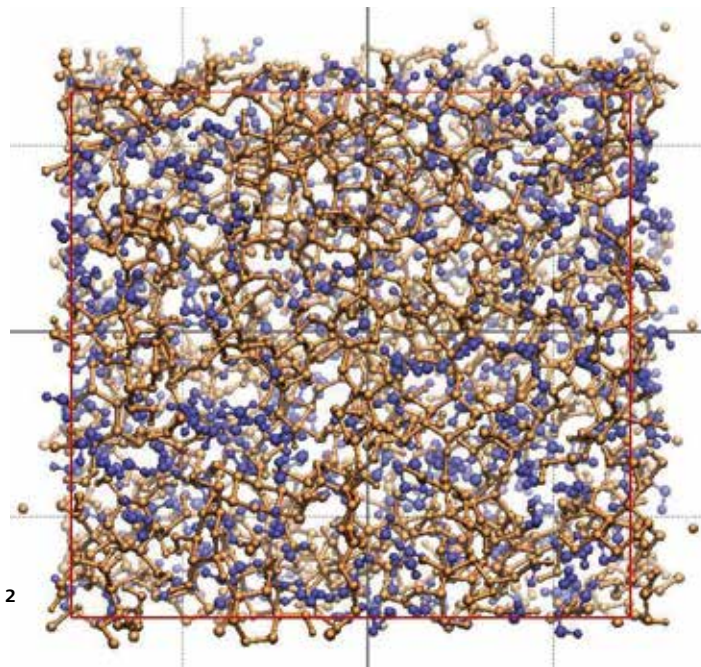
Ein Computer als stärkeres Mikroskop

Doch wie kann ein Computer das Unsichtbare sichtbar machen? Das Simulationsprogramm greift auf eine Datenbank zu mit Informationen über zahlreiche Moleküle und Atome sowie über deren Krafteinwirkung und Verhalten. Für die Analyse der Zellwandstruktur von Holz in einer feuchten Umgebung wählten die Forschenden kristalline Zellulose und amorphe Hemicellulose aus diesen Daten aus, die bekanntermassen in Holzzellwänden vorkommen. Ausserdem erstellten sie einen Algorithmus für das Verhalten von Lignin und fügten den ausgewählten Modellstrukturen in der Simulation Wassermoleküle hinzu. Erstmals konnten sie so im Computer beobachten, wie sich die einzelnen Moleküle in der Zellwand des Holzes verhalten: Wo wandern die Wassermoleküle hin? Wie reichern sie sich im Inneren weiter an und wie breiten sie sich im Holz aus? Dieses Wissen erlaubt den Forschenden detailliertere Einblicke in die hygrothermalen Prozesse im Holz und eröffnet komplett neue Möglichkeiten, die Materialeigenschaften von Holz zu verändern, um dessen Haltbarkeit zu optimieren.



1

© iStockphoto



1
Holz ist eines der ältesten Baumaterialien der Welt. Um dieses Material den Ansprüchen der modernen Gebäude- und Bautechnik anzupassen, werden seine Eigenschaften und sein Aufbau weiter erforscht.

2
Eine der Simulationen aus dem Computerprogramm: Zu sehen sind die Moleküle der amorphen Zellulose (gelb), die sich vor Zugabe von Wassermolekülen innerhalb des roten Rahmens aufhielten. Je mehr Wassermoleküle ins Holz eindringen, umso stärker werden die Moleküle der Zellulose aus dem ursprünglichen Rahmen gedrängt; das Holz schwillt an und dehnt sich aus. Werden die Wassermoleküle durch Trocknen wieder entfernt, verschwinden die Hohlräume und das Holz erhält seine anfänglichen Eigenschaften zurück.

Viel Rechenaufwand – wenig Laborarbeit

MD-Simulationen sind indes keine Laborversuche. Während im Labor unter einem Mikroskop gewisse Vorgänge direkt beobachtet werden können, werden sie im Computer lediglich simuliert – das setzt die Korrektheit der vorhandenen Daten und der programmierten Eigenschaften der einzelnen Moleküle voraus. Da das Basisprogramm «GROMACS» als Open-Source-Software frei zugänglich ist, mussten die Empa-Forscherinnen und -Forscher für ihre Untersuchungen neue Algorithmen selber entwickeln. Ebenso einen Algorithmus, der die Systematik hinter den unterschiedlichen Feuchtigkeitsgraden in Bezug auf die unterschiedlichen Moleküle berechnet. Die MD-Modelle stimmen dabei optimal mit bekannten Holzeigenschaften überein. Sind alle Daten und Parameter im System eingegeben, startet die Berechnung, die bis zu zehn Tage dauern kann, – auf einem Cluster mit acht Computern parallel. Mittels MD-Simulation ist es nun möglich, Phänomene zu simulieren, die sich mit keinem Mikroskop und in Laborversuchen noch nicht untersuchen lassen. Beispielsweise ist es den Forschenden gelungen, Holzzellwände wasserabweisend zu machen. Mittels der an der Empa weiterentwickelten Simulation kann nun beobachtet werden, wie sich die Veränderung auf die Struktur und das Verhalten der einzelnen Moleküle auswirkt. //

Rückenschmerzen – eine Frage der Mechanik

Zusammen mit der University of Pittsburgh und der Universitätsklinik Balgrist entschlüsselt die Empa die Mechanik der unteren Rückenwirbel. Die Forscher können nun zeigen, wie es zum Verschleiss an Wirbelköpern und Bandscheiben kommt. Die gezielte Auswahl der richtigen Therapie wird dadurch einfacher.

In den meisten Fällen lassen sich Rückenschmerzen durch Lockerung und Stärkung der Rückenmuskeln beheben. Doch bei jedem siebten Betroffenen kann nur eine Operation das Leiden beenden. In schweren Fällen werden defekte Rückenwirbel oder Bandscheiben mit einer Metallkonstruktion überbrückt (intervertebrale Fusion). Das fixierte Segment verknöchert und kann zunächst keine Schmerzen mehr auslösen. Doch derartige Reparatur-Operationen bringen den Patienten nur für wenige Jahre Linderung, dann tritt das Problem an den benachbarten Wirbeln erneut auf. Die Frage ist: Warum ist das so, und wie könnte man das verhindern?

Computermodell des Rückens

In einem ersten Schritt feilten die Empa-Forscher an der theoretischen Grundlage, und ein Doktorand fütterte Wirbelsäulengeometriedaten von 81 Patienten in das Computerprogramm «Open Sim» – ein von der Stanford University entwickeltes Simulationsprogramm für den menschlichen Bewegungsapparat. Es galt, die Biomechanik möglichst genau abzubilden: Verhält sich eine Bandscheibe wie ein Kugelgelenk? Oder wie ein Gummilager? Welchen Einfluss haben die Muskeln dabei – bleibt das Gummilager immer gleich steif, oder verändert sich die Steifigkeit, abhängig vom Biegeungswinkel? Hierfür arbeitete die Empa mit der Uniklinik Balgrist und dem Institut für Biomechanik der ETH Zürich (Prof. Dr. J. Snedeker) zusammen.

Das Computermodell des menschlichen Rückens zeigte: Bei Menschen mit einer bestimmten Fehlstellung der Wirbelsäule sind die Bandscheiben schon im gesunden Zustand um bis zu

34

Prozent stärkeren Belastungen sind die Bandscheiben ausgesetzt, falls eine Fehlstellung der Rückenwirbel vorliegt. Bei Betroffenen ist die Gefahr eines Bandscheibenschadens wesentlich erhöht.



1

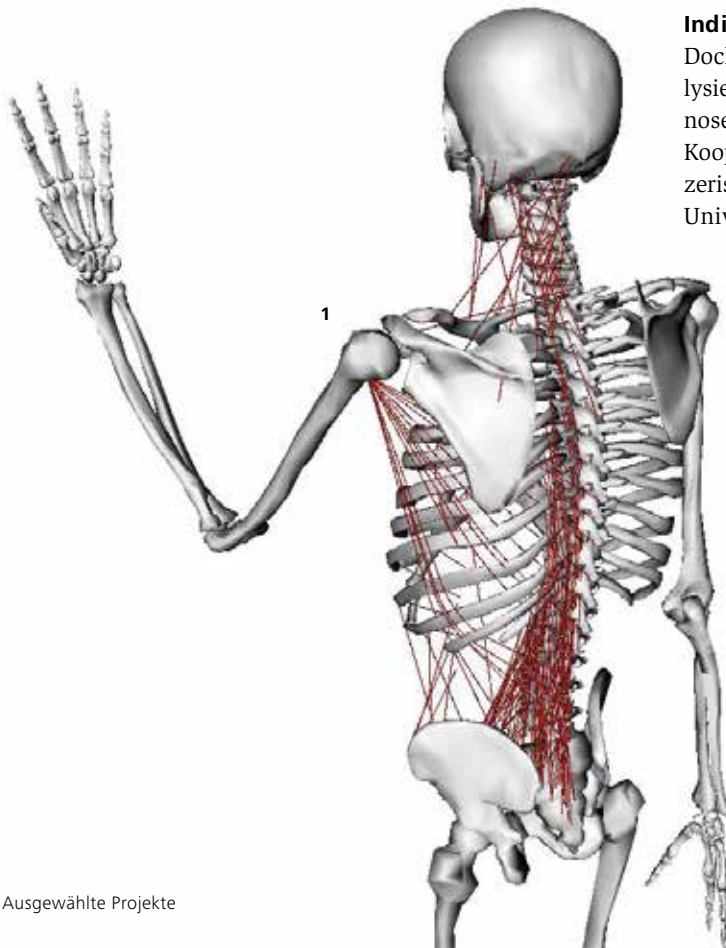
Mit Hilfe des Computerprogramms «Open Sim» berechnen die Empa-Forscher die Kraftverteilung im Rücken, etwa wenn ein Mensch eine Last hebt.

34 Prozent stärker belastet. Geht eine Bandscheibe kaputt und wird überbrückt, steigt die Belastung in den Nachbargelenken noch weiter an und kann bis zu 45 Prozent höher sein als beim Menschen ohne diese Fehlstellung.

Individuelle Therapie-Empfehlungen werden möglich

Doch die Forscher wollen nicht nur Wahrscheinlichkeiten analysieren. Ziel ist es, für jeden Patienten eine individuelle Diagnose zu stellen und die passende Therapie zu empfehlen. Eine Kooperation mit US-Wissenschaftlern, finanziert vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF), half hier weiter: Forscher der University of Pittsburgh haben ein neuartiges 3D-Röntgen-Videosystem entwickelt. Es nennt sich «Digital Stereo-X-Ray Imaging» (DSX) und kann die Bewegung der Wirbelsäule mit 250 Bildern pro Sekunde wiedergeben, bei einer Genauigkeit von 0,2 Millimetern.

Zunächst werden mit dem DSX-System gesunde Menschen untersucht, um die Mechanik des Rückens zu verstehen. Danach wollen die Forscher mit dieser Methode die Problematik der Spondylodese (Wirbelkörperverblockung) ergründen. Dazu werden Patienten vor und nach der Operation mit dem DSX-System gefilmt und analysiert. So lässt sich bestimmen, was die Überbrückung der Wirbel an der Kräfteverteilung im Rücken geändert hat. Die Untersuchung wird helfen, den Verschleiss von Rückenwirbeln besser zu verstehen und die Ursache von Schmerzen zu lokalisieren. In Zukunft könnte eine derartige Computeranalyse für alle Rücken-OP-Patienten Standard werden. //



Synchrotron hilft «Betonkrankheit» zu entschlüsseln

Wenn Brücken, Staumauern und Betonfundamente bröckeln, dann ist oft AAR die Ursache: die Alkali-Aggregat-Reaktion. Die AAR wird durch eindringende Feuchtigkeit ausgelöst, schädigt weltweit Betonbauwerke und macht Sanierungen oder gar Neubauten nötig. Forscher der Empa und des Paul Scherrer Instituts (PSI) haben nun erstmals die Kristallstruktur des AAR-Produkts entschlüsselt – ein erster Schritt zu einem möglichen Gegenmittel.

Diffractionsmessung und aufwendige Datenanalyse

Wenn AAR im Beton abläuft, entsteht ein chemisches Produkt, das mehr Raum einnimmt als die Ausgangsstoffe. So entstehen immer mehr Risse, und im Laufe von Jahrzehnten wird der Beton allmählich von innen heraus gesprengt. Bis jetzt war die Struktur des AAR-Produkts unbekannt. In der Fachliteratur war oft von einem Gel die Rede. Nun gelang es den Forschern der Empa in Zusammenarbeit mit Kollegen vom PSI und mit Hilfe des dortigen

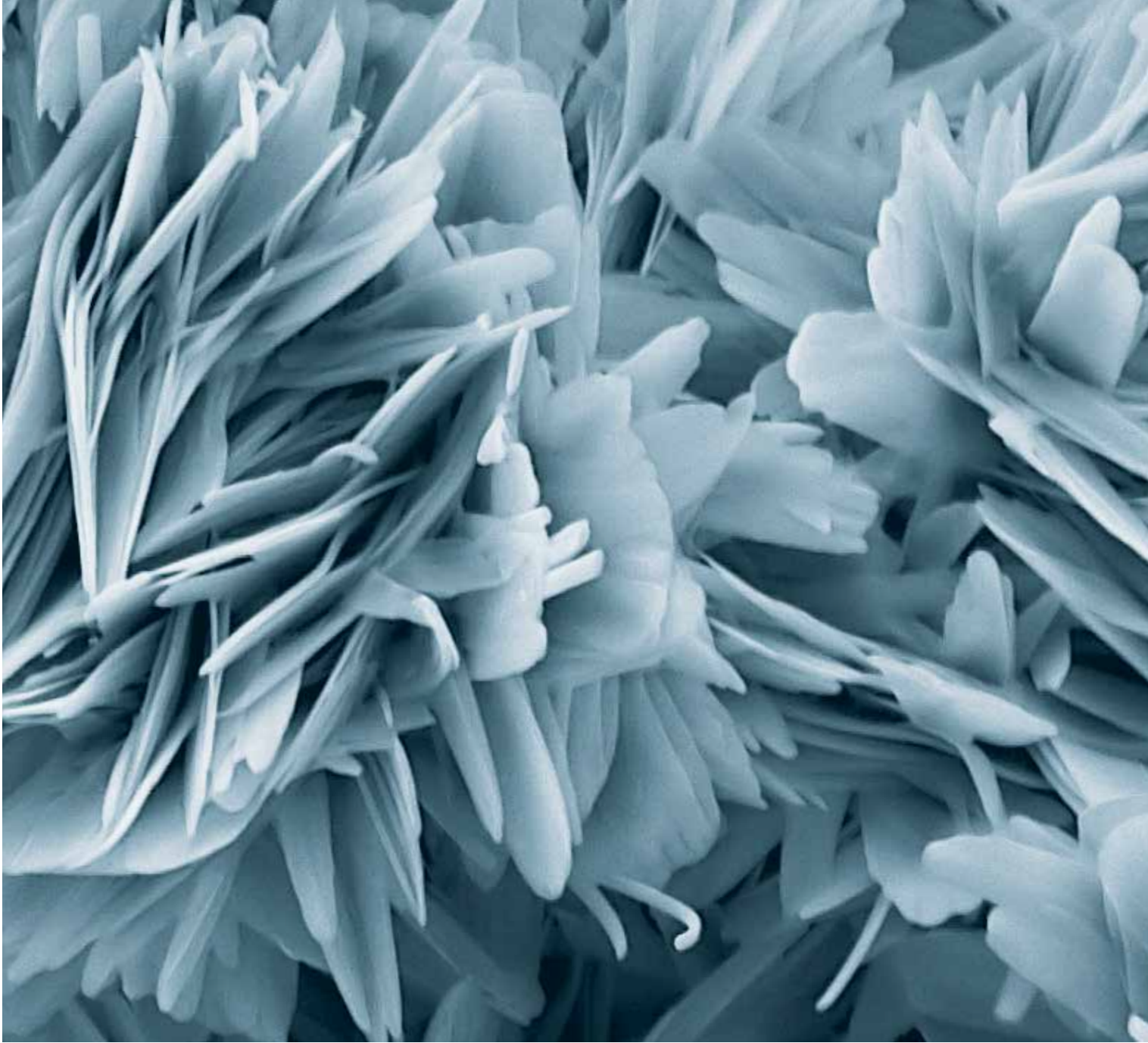
Synchrotrons (SLS für «Swiss Light Source»), die Struktur des gesuchten Stoffes zu entschlüsseln. Ergebnis: Es handelt sich um einen Kristall. Das Alkali-Kalzium-Silikat-Hydrat besteht aus einer Silizium-Schichtenstruktur, die in dieser Form noch nie zuvor beobachtet wurde. Empa-Forscher beschäftigen sich

schon seit längerem mit dem Thema AAR. In der Schweiz sind zahlreiche Brücken und bis zu 20 Prozent der Staumauern davon betroffen. Die Proben für die Forschungsarbeit stammen von einem Brückenfundament aus Stahlbeton in Graubünden, das 1969 erstellt wurde. Das Betonstück wurde an der Empa so lange geschliffen, bis nur noch eine hauchdünne Probe von 0,02 Millimeter Dicke übrig blieb. Diese Probe liess sich an der SLS mit einem extrem schmalen Röntgenstrahl durchleuchten, der 50-mal dünner ist als ein mensch-

liches Haar. Mittels sogenannter Diffractionsmessungen und einer aufwendigen Datenanalyse konnten die Forscher schliesslich die Kristallstruktur des AAR-Produktes bestimmen.

5 – 50

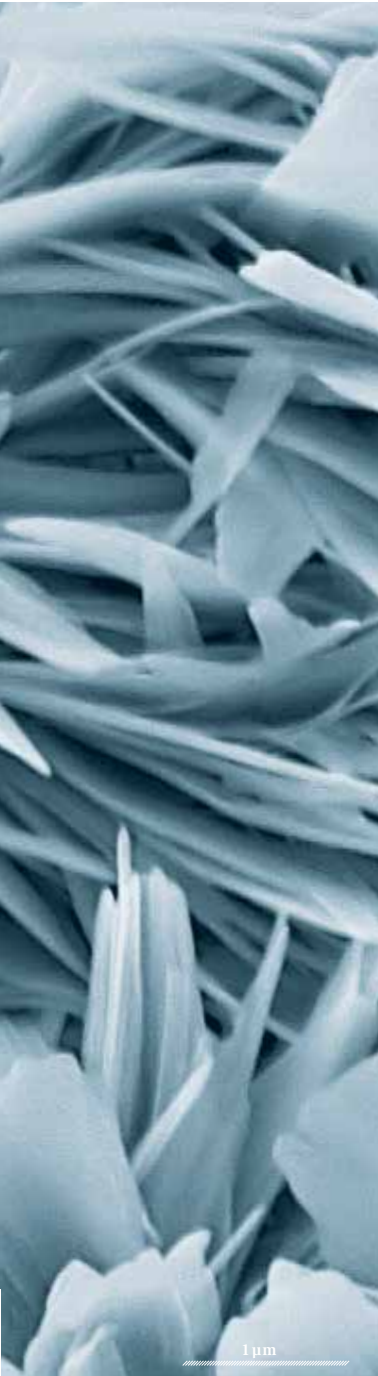
Mikrometer breit sind die Adern im Beton, in der sich die zerstörerischen AAR-Produkte ansammeln. Es braucht die fokussierte Synchrotron-Röntgenstrahlung, um die Struktur der winzigen Kristalle zu entschlüsseln.



1

1
So ästhetisch kann Zerstörung sein:
AAR-Reaktionsprodukt unter dem
Elektronenmikroskop.

2
Der sogenannte Betonkrebss: Nah-
aufnahme von Rissen in Beton,
die aufgrund der Alkali-Aggregat-
Reaktion (AAR) entstanden sind.



2



Gegen den «Betonkrebss»

Die Kenntnisse könnten unter Umständen dabei helfen, die auch als «Betonkrebss» bezeichnete AAR in den Griff zu bekommen. So wäre es etwa denkbar, dem Beton organische Stoffe beizumengen, die den Spannungsaufbau reduzieren. Die nun gefundene Kristallstruktur könnte die Basis für neue Materialentwicklungen hierfür sein. //

Super-umweltfreundlich: die «Katzengold-Batterie»

Die Suche nach kostengünstigen Akkus zur Speicherung von Strom ist ein dringendes Geschäft: Immer grössere Mengen unregelmässig produzierten Ökostroms aus Sonne und Wind bringen das Stromnetz an die Belastungsgrenze, proportional zu ihrem Anteil an der Energierechnung. So wächst der Bedarf an stationären Zwischenspeichern, die an ein «smart grid» angeschlossen werden können. Auch die Zahl der Elektroautos, die möglichst schnell ihre Akkus laden müssen, nimmt zu. Die bekannten leistungsfähigen Li-Ionen-Akkus eignen sich jedoch schlecht als stationäre Zwischenspeicher; dafür sind sie zu teuer und das wertvolle Lithium zu knapp. Forscher der Empa und der ETH Zürich suchen intensiv nach kostengünstigen Alternativen. Sie haben nun eine Alternative entdeckt: die «Katzengold-Batterie». Sie besteht aus Eisen, Schwefel, Natrium und Magnesium – Elementen, die in beliebigen grossen Mengen verfügbar sind. Mit kleinem Geld liessen sich damit im Prinzip riesige stationäre Speicherakkus in Gebäuden oder neben Kraftwerken bauen.

Sicher, langlebig und günstig

Forschern der Kovalenko-Gruppe aus dem Labor für Dünnschichten und Photovoltaik der Empa gelang es, eine Magnesium-Anode mit einem Elektrolyten aus Magnesium- und Natriumionen zu kombinieren. Als Kathode dienen Nanokristalle aus Pyrit – landläufig bekannt als Katzengold. Pyrit ist ein kristallines Eisensulfid, bestehend aus Eisen und Schwefel. Die Natriumionen aus dem Elektrolyten wandern beim Entladen in die Kathode. Beim Wiederaufladen gibt Pyrit die Natriumionen wieder frei. Diese sogenannte Natrium-Magnesium-Hybrid-Batterie funktioniert im Labor bereits und vereint verschiedene Vorteile: Das Magnesium der Anode ist weit sicherer als das leicht

brennbare Lithium. Und schon der Versuchsakku im Labor überstand 40 Lade- und Entladezyklen, ohne an Leistungsfähigkeit einzubüssen – ein Ergebnis, das zu weiterer Optimierung förmlich einlädt.

Der grösste Vorteil ist jedoch, dass alle Zutaten für diese Art Akku in beliebiger Menge und sehr günstig zur Verfügung

40

**Lade- und Entladezyklen überstand
der Versuchsakku im Labor, ohne
an Leistungsfähigkeit einzubüssen.**

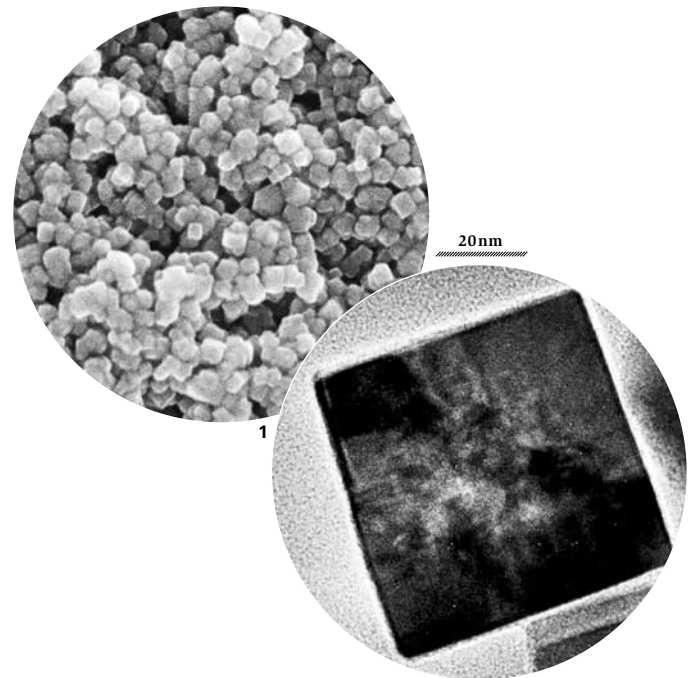
1

Schlüssel zum Erfolg: Pyrit (Katzengold) als Kathodenmaterial
(Foto: JJ Harrison/commons.wikimedia.org)



1

stehen: Eisensulfid-Nanokristalle lassen sich zum Beispiel herstellen, indem man metallisches Eisen mit Schwefel in herkömmlichen Kugelmøhlen trocken vermøhlt. Eisen, Magnesium, Natrium und Schwefel sind die hãufigsten chemischen Elemente in der Erdkruste und liegen an 4., 6., 7. und 15. Stelle. Ein Kilogramm Magnesium kostet weniger als vier Franken und ist damit 15-mal billiger als Lithium. Auch beim Bau der Billigakkus lãsst sich sparen: Li-Ionen-Akkus brauchen relativ teure Kupferfolien, um den Strom zu sammeln und zu leiten. Bei der «Katzengold-Batterie» wũrde preisgũnstige Alufolie als Kathodenstromabnehmer genũgen. Und mit Hilfe weiterentwickelter Elektrolyte lassen sich die Spannung und die Lebensdauer der Natrium-Magnesium-Hybrid-Zelle in Zukunft noch weiter erhøhen. Zudem ist es von grosser Wichtigkeit derartige Elektrolyte zu finden, die Mg- und Na-Ionen in hoher Konzentration enthalten. Dies ist entscheidend, um hohe Energiedichten pro Masseneinheit der gesamten Batterie zu erreichen. //



1
Pyrit-Nanokristalle im Elektronenmikroskop:
Aus solchen Kristallen besteht die Kathode
der «Katzengold-Batterie»

Ausrangierte Elektrogeräte als Rohstoffmine

Was ist günstiger und ökologisch sinnvoller: die Gewinnung von Indium aus einer Mine oder die Rückgewinnung aus entsorgten Bildschirmen? Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) untersuchte ein Forscherteam der Empa in Zusammenarbeit mit der Hochschule Rapperswil, der Berner Fachhochschule und dem Ingenieur- und Beratungsunternehmen Ernst Basler + Partner AG diese und weitere Fragen rund um das Recycling seltener Metalle.

In der Schweiz ist Swico, der Verband der ICT-Anbieter sowie weiterer verwandter Branchen, für die Rücknahme und das Recycling von Elektronikaltgeräten zuständig. Diese werden gesammelt und teilweise in Handarbeit zerlegt und anschliessend geschreddert. Die eigentliche Rückgewinnung der Metalle geschieht in speziellen Schmelzwerken im Ausland. Von 36 Metallen, die im Elektroschrott vorhanden sind, wird gut die Hälfte bereits heute zurückgewonnen. Zwei wichtige und seltene Metalle sind bis-

lang noch nicht darunter: Indium, das zum Beispiel in Flachbildschirmen enthalten ist, und Neodym, das vor allem in den Magneten von Computerfestplatten vorkommt.

Eine manuelle Zerlegung der Bildschirme weist gegenüber der mechanischen Verarbeitung entscheidende Vorteile auf und macht ein Verfahren zur Rückgewinnung von Indium ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Ein Recycling wäre wirtschaftlich tragbar, zu diesem Ergebnis kam das Empa-Team. Obwohl hierzulande die Löhne hoch sind, werden viele Geräte von Hand zerlegt, um die Rückgewinnung und damit die Wertschöpfung zu erhöhen. Mit der manuellen Demontage ist es möglich,

das LCD-Panel zu separieren, in welchem der Indiumanteil konzentriert ist. Ein solches Recycling würde pro Fernsehgerät etwa 19 Rappen, pro Computermonitor etwa 6 Rappen und pro Laptop etwa 4 Rappen kosten. Um diese Summe müsste der bereits heute beim Kauf erhobene vorgezogene Recyclingbei-

36

**verschiedene Metalle finden sich im Elektroschrott,
den unsere Gesellschaft produziert.
Nur gut die Hälfte davon wird recycelt.**

trag erhöht werden. Bei einer mechanischen Verarbeitung der Geräte ohne vorhergehende manuelle Zerlegung würde das Indium auf verschiedene Fraktionen verteilt und die Rückgewinnung würde deutlich unrentabler. Auch der vorgezogene Recyclingbeitrag müsste für diesen Fall deutlich höher ausfallen.

Ökologisch betrachtet liegt das Recycling bei einer manuellen Zerlegung etwa gleichauf mit der Indiumgewinnung aus Erzen. Indium ist zwar selten; da es aber als Nebenprodukt beim Zinkabbau gewonnen wird, hält sich der Aufwand der Indiumgewinnung gegenwärtig noch in Grenzen. Sollte das Metall in Zukunft aber so rar werden, dass es speziell abgebaut

werden müsste, dann wäre diese Recyclingmethode dem Abbau von Primärrohstoffen deutlich überlegen. Eine mechanische Verarbeitung ohne vorherige manuelle Zerlegung würde dagegen ökologisch gegenüber der Primärgewinnung deutliche Nachteile aufweisen.

2914,0 kg

Neodym aus Magneten: Recycling lohnt sich

Und auch bei Neodym lohnt sich das Recycling aus ökologischer Sicht. Die Wiederverwertung des seltenen Erdmetalls ist nach Angaben der Forscher bei weitem ökologischer als die Gewinnung aus Minen. Und auch hier bringt die Zerlegung der Geräte in Handarbeit eine um 30 Prozent geringere Umweltbelastung. Denn beim maschinellen Schreddern würden sich die zerkleinerten Magnete an die Eisenteile im Schrott anheften. Um das zu verhindern, muss der Computerschrott vor dem Schreddern erhitzt werden; die Magnete lassen sich so entmagnetisieren. Das ist indes mit einem hohem Energieverbrauch sowie mit Schadstoffemissionen verbunden.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten bestätigen, dass ein Recycling von Indium und Neodym ökologisch sinnvoll ist. Leider fehlt es bis heute an grosstechnischen Anlagen zur Rückgewinnung dieser Metalle. Dennoch bilden die Resultate eine Grundlage für eine mögliche künftige Recyclingstrategie in der Schweiz. So könnte die erweiterte Produkteverantwortung der Hersteller in einigen Jahren auch die Rückgewinnung seltener technischer Metalle umfassen. //



1

© iStockphoto

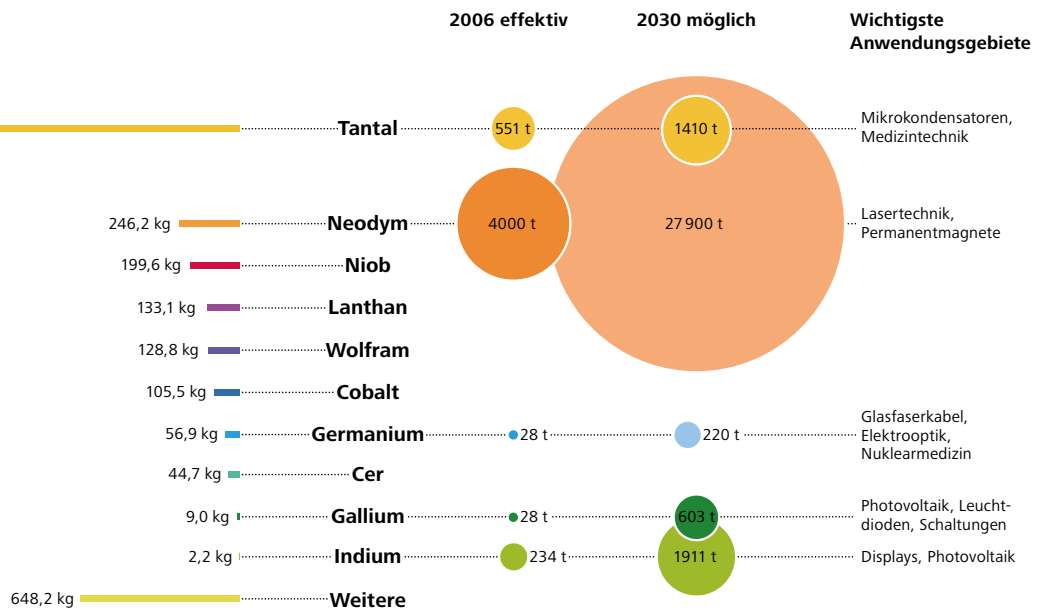
Seltene Metalle im Elektronikschrott

Einige seltene Metalle werden in der Schweiz nicht rezykliert. Etwa so viel davon steckt in den Leiterplatten elektronischer Geräte, die hierzulande jährlich gesammelt werden. Daneben kommen sie im Lesekopf von Festplatten, in Bildschirmen und LED-Lampen vor.

Der Verbrauch steigt mit neuen Technologien

So könnte sich der Bedarf an seltenen Metallen in wichtigen Anwendungsgebieten in den nächsten Jahren weltweit entwickeln:

2



1

Vor allem in Bildschirmen «schlummern» Metalle, deren Rückgewinnung sich lohnt.

2

Die Grafik zeigt, warum Altgeräte wiederverwertet werden sollten. Die seltenen Metalle in unserer Gebrauchtelektronik sind wichtig für unsere Zukunft. (Infografik: Beobachter/AS)

30

Prozent der Metallbrücken in Europa leisten seit über einem Jahrhundert ihren Dienst. Viele sind aufgrund von Materialermüdung sanierungsbedürftig.

Immer mehr Stahlbrücken zeigen Ermüdungserscheinungen. Denn die Brückenkonstrukteure des 19. Jahrhunderts gingen nur von einem Bruchteil der Belastung aus, der Brücken heute ausgesetzt sind. Die Fahrzeuge von heute sind deutlich schwerer und befahren die Brücken viel häufiger und schneller als früher. Die Folge: Manche Brücken können nur noch einspurig befahren oder müssen ganz gesperrt werden. Forscher der Empa fanden eine günstige Alternative zum Brückenneubau, indem sie eine für die Sanierung von Betonbrücken bereits etablierte Lösung aufnahmen und für Metallbrücken weiterentwickelten: Sehr leichte vorgespannte Bänder aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff (CFK) werden wie Heftpflaster «aufgeklebt». Ermüdungsrisse wachsen so nicht mehr weiter beziehungsweise entstehen gar nicht erst. Allerdings hält der Kleber auf korrodierten Metalloberflächen oder auf den unebenen Schichten des über die Jahre hinweg mehrfach aufgetragenen Korrosionsschutzes erheblich schlechter als auf Betonoberflächen. Zudem verhindern an vielen Stellen Nietens das Festkleben der Lamellen. Die Lamellen können aber auch nicht festgeschraubt werden, denn an historischen Bauten dürfen häufig keine irreversiblen baulichen Veränderungen vorgenommen werden.

Tragende Elemente verstärkt

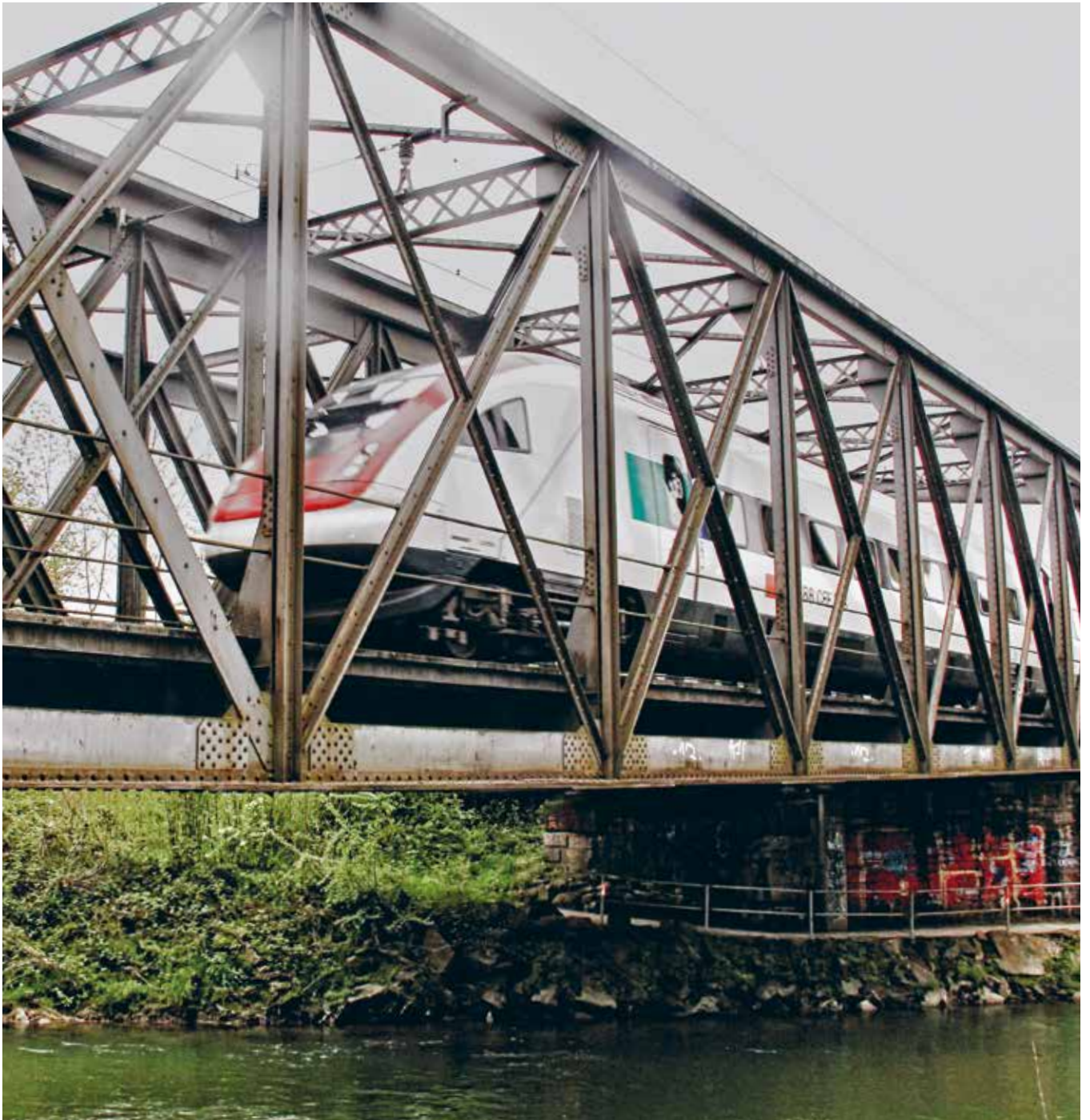
So auch an der über 120 Jahre alten Münchenstein-Brücke im Kanton Baselland. Trotzdem entwickelten die Empa-Forscher eine mittlerweile patentierte Lösung. Zusammen mit den Schweizerischen Bundesbahnen

(SBB) und der Firma S&P Clever Reinforcement AG entwickelten sie in einem KTI-Projekt eine neuartige Methode, um zu zeigen, wie tragende Elemente der 45 Meter langen Stahlbrücke mit vorgespannten CFK-Lamellen verstärkt werden können.

An den zwei am meisten zur Ermüdung neigenden Trägern wurde das neue trapezförmige PUR-Verstärkungssystem (für engl. «prestressed unbonded reinforcement») angebracht. Die vorgespannten CFK-Lamellen werden dazu an den Enden der quer liegenden Brückenträger festgeklemmt. In der Mitte des Trägers sorgen Sättel dafür, dass die Bänder nach unten gedrückt werden, bis sie optimal gespannt sind. Darauf werden an diesen Stellen zwei Säulenplatten v-förmig eingefügt und der Sättel wieder entfernt. Sind in Zukunft höhere Belastungen zu erwarten, kann das System nachgespannt werden, indem höhere Säulenplatten verwendet werden. Zudem lässt es sich auch problemlos wieder demontieren. Dass die Verstärkung an

1

Die Münchenstein-Brücke ist 120 Jahre alt. Mit einer patentierten Methode wurde sie mit vorgespanntem CFK-Bändern verstärkt und so wieder «fit» gemacht.



1

den zwei Trägern der Münchenstein-Brücke ihre Aufgabe erfüllt, hat ein drahtloses Sensornetzwerk über Monate hinweg aufgezeichnet und nachgewiesen.

Mit dem PUR-System steht den Betreibern nun eine im Vergleich zu einem Brückenersatz kostengünstige, rasch umzusetzende und innovative Lösung zur Verfügung. Altersschäden können derart reduziert werden, dass die Ermüdung theoretisch bis zum Sankt-Nimmerleins-Tag hinausgeschoben werden kann.

Schräge Risse und ein flaches PUR-System

Bereits laufen zwei Anschlussprojekte. Eines wird unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF), Projektpartner ist die EPF Lausanne. Dabei werden schräge und kombinierte Risse ins Visier genommen. Ziel ist es, besser zu verstehen, wie man auch diese am Wachsen hindern oder gar ihr Entstehen verhindern kann.

Das andere Projekt hat vor kurzem in Australien begonnen: Im vom Australischen Forschungsrat finanzierten und von der Monash University geleiteten Projekt steht die Verstärkung von genieteten Metallbrücken im Zentrum. Partner sind die Swinbourne University, die S&P Clever Reinforcement AG sowie Vic-Roads, die Verkehrsbehörde des australischen Gliedstaates Victoria. Ziel ist, ein flaches PUR-System zu entwickeln, das auch an Trägern eingesetzt werden kann, die nicht genügend Raum bieten für das patentierte trapezartige System. Zum Projektabschluss soll 2017 die 1889 erbaute Chandler Bridge in Melbourne mit dem neuen, von der Empa entwickelten System verstärkt werden. //

1

Untersicht der Münchenstein-Brücke mit vorgespannter Querverstärkung durch CFK-Bänder.



1

Warum «rostfreie» Gewindestangen korrodieren

Mit dem Streusalz gelangen besonders im Winter Chloride in Strassentunnels und können dort Bauteile angreifen. So entdeckten Empa-Forscher aufgrund routinemässiger Kontrollen vor rund drei Jahren Ansätze von chlorid-induzierter Spannungsrisskorrosion an Stahlgewindestangen der Zwischendeckenaufhängung im Gotthard-Strassentunnel. Erfahrungswerte darüber, wie und über welchen Zeitraum hinweg es zum Versagen der Bauteile kommt, fehlten sowohl den Empa-Experten wie auch dem Bundesamt für Strassen (ASTRA), das die Untersuchungen damals in Auftrag gab.

Klar war nur, dass Chloride dem gegenüber Wasser und nicht oxidierenden Säuren beständigen Material zusetzen, die Bauteile dadurch an Zugbelastbarkeit einbüßen und schliesslich – irgendwann – versagen würden. Eine solche Wissenslücke erschwerte die Planung von Unterhaltmassnahmen. Vorsorglich wurden die betroffenen Gewindestangen noch im Jahr 2013 durch neue ersetzt und für weitere Untersuchungen zur Empa nach Dübendorf transportiert.

Zugspannungsvorrichtungen «made by Empa»

Im Herbst 2014 gleisten die Empa-Abteilungen «Fügetechnologie und Korrosion» sowie «Mechanical Systems Engineering» mit dem ASTRA das Projekt «Quo Vadis» auf, das im Laufe der nächsten zehn Jahre Aufschluss über den Versagensmechanismus der aus dem Gotthardtunnel stammenden Gewindestangen geben soll. Diese bestehen aus Chrom-Nickel-Stahl mit einem zweiprozentigen Molybdänanteil. Molybdän, ein silberweisses Metall, trägt zur Korrosionsbeständigkeit des Stahls bei, treibt aber auch dessen Preis in die Höhe.

Für das Langzeitexperiment bestückten die Empa-Experten eigens hierfür konstruierte Zugspannungsvorrichtungen mit je sechs Gewindestangen und installierten sie anschliessend im Gotthard-Strassentunnel. Dort übernehmen sie zwar keine Funktion in der Zwischendeckenaufhängung mehr, sind dafür aber eins zu eins den klimatischen Bedingungen des Strassentunnels ausgesetzt. Im Weiteren legten die Forscher den Gewindestangen Zugspannungen von 120, 240 und 400 MPa an (lies: «Megapascal»). 120 MPa entsprechen der Last von 1,7 Tonnen

1

Tonne wiegen die Versuchsvorrichtungen, die die Empa-Forscher im Gotthard-Strassentunnel installierten.

und damit dem Gewicht, das die Gewindestangen der Zwischendeckenaufhängung im Gotthard-Strassentunnel tragen müssen. In drei Vorrichtungen befanden sich die Gewindestangen aus dem Abluftkanal des Gotthardtunnels; eine Vorrichtung enthielt neuwertige Gewindestangen aus feuerverzinktem Stahl sowie aus Chrom-Nickel-Stahl mit siebenprozentigem Molybdänanteil. An jeder Zugspannungsvorrichtung erfasst ein Messsystem die einwirkende Kraft, die Dehnung der Gewindestangen sowie die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Die Daten bekommen die Empa-Forscher Tag für Tag über eine Internetverbindung zugeschickt. In Abständen von zwei Jahren werden die Forscher einzelne Gewindestangen aus der Versuchsumgebung entnehmen und den Korrosionsfortschritt im Empa-Labor untersuchen.

Es geht um Sicherheit. Doch nicht nur ...

Mit dieser Versuchsanordnung können die Wissenschaftler zum einen sehen, wie die Spannungsrisskorrosion der Original-Gewindestangen weiter fortschreitet. Zum anderen können sie erforschen, ob sich andere Stahlsorten ebenfalls oder sogar besser für den Einsatz im chloridhaltigen Milieu von Strassentunnels eignen. Dabei liegt das Augenmerk auf dem Korrosionsverhalten und damit auf der Tunnelsicherheit. Doch auch die Wirtschaftlichkeit kann die Materialwahl beeinflussen. Am beständigsten und teuersten ist Chrom-Nickel-Stahl mit siebenprozentigem Molybdänanteil. Dieser Werkstoff hat gegenüber dem ebenfalls korrosionsfesten, günstigeren Chrom-





1
Chrom-Nickel-Stahl rostet nicht. Doch unter Chlorideinfluss kommt es zu Korrosion der Gewindestangen. Weil diese unter Zugspannung stehen, kann Spannungsrisskorrosion eintreten.

2
18 der 24 überprüften Gewindestangen standen im Gotthard-Strassentunnel im Einsatz, bis sie das ASTRA aufgrund von einsetzender Spannungsrisskorrosion ersetzte. Mittels Zugspannungsvorrichtungen untersuchen die Forscher der Empa den weiteren Korrosionsverlauf.

3
An jeder Zugspannungsvorrichtung haben die Empa-Wissenschaftler ein Messsystem angebracht. Es erfasst die Zugkraft, die Längenveränderung der Gewindestangen sowie Umweltdaten und sendet den Forschern die Angaben zu.

Kontakt

Dr. Martin Tuchschnid
martin.tuchschnid@empa.ch

Nickel-Stahl mit zweiprozentigem Molybdänzusatz in den letzten zehn Jahren an Beliebtheit gewonnen. Feuerverzinkter Stahl ist der günstigste der drei im Auslagerungsversuch verwendeten Werkstoffe. Allerdings fehlen hinreichende Informationen zum Korrosionsverhalten: Hält feuerverzinkter Stahl den Sicherheitsanforderungen für Schweizer Strassentunnels stand?

Sicherheit im Tunnel und in der Unterhaltsplanung

Nach Abschluss und Auswertung des Auslagerungsversuchs liegen den Verantwortlichen der Empa und des ASTRA Informationen über das Korrosionsverhalten von nicht rostenden, hoch legierten Stählen mit unterschiedlichem Molybdänanteil und von feuerverzinktem Stahl vor. Insbesondere werden sie wissen, welche Einflüsse die chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion weiter vorantreiben – etwa die Zugspannung, die klimatischen Bedingungen vor Ort, die Zeit oder die Abgaskonzentration. Diese Erkenntnisse dürften es dem ASTRA ermöglichen, die für die Tunnelsicherheit notwendigen Erhaltungsmaßnahmen besser zu planen. Zudem ergäben sich wirtschaftliche Vorteile im Tunnelbau und -unterhalt, wenn sich der vergleichsweise günstige feuerverzinkte Stahl ohne Abstriche in punkto Sicherheit verwenden liesse. Und mit ihren Erkenntnissen zum Versagensmechanismus der Stahl-Gewindestangen schlossen die Empa-Wissenschaftler eine Wissenslücke in einem wissenschaftlich, politisch und gesellschaftlich relevanten Gebiet zumindest ein Stück weit. //

Mit Simulationen zum Gebäude von morgen

Die Schweizer Energieversorgung steht vor einer tiefgreifenden Veränderung – der Energiewende. Da ein Grossteil des schweizerischen Energiebedarfs in Gebäude fließt, setzt sich die Empa dafür ein, den Energiebedarf von bestehenden und künftigen Bauten zu verringern. Die Empa beteiligt sich deshalb am Energieförderprogramm «Competence Centers for Energy Research» (SCCER) der Kommission für Forschung und Innovation (KTI) und ist federführend im Kompetenzzentrum «Future Energy Efficient Buildings & Districts» (FEEB&D), an dem auch die ETH Zürich, die EPFL, die Hochschule Luzern, die Universität Genf und die Fachhochschule Nordwestschweiz beteiligt sind. Das Ziel ist, den Energiebedarf des schweizerischen Gebäudebestands in den kommenden Jahrzehnten durch effiziente, intelligente und vernetzte Gebäude um den Faktor drei zu senken.

Bis anhin wurden die Energieflüsse zwischen Gebäuden mit vereinfachten Berechnungen geplant. Doch Faustregeln sind nicht länger angebracht, denn die Gebäude sollen gegenüber

dem heutigen Stand deutlich energieeffizienter werden – oder gar Energie liefern. Um die Energieflüsse in zukünftigen Gebäuden zu simulieren, haben Empa-Forscher mehrere miteinander kombinierbare Computerprogrammmodule entwickelt.

20

Softwaremodule haben die Empa-Forscher bereits entwickelt. Sie ermöglichen die Simulation der Energieflüsse in bestehenden und geplanten Gebäuden.

Energy Hub senkt CO₂-Ausstoss

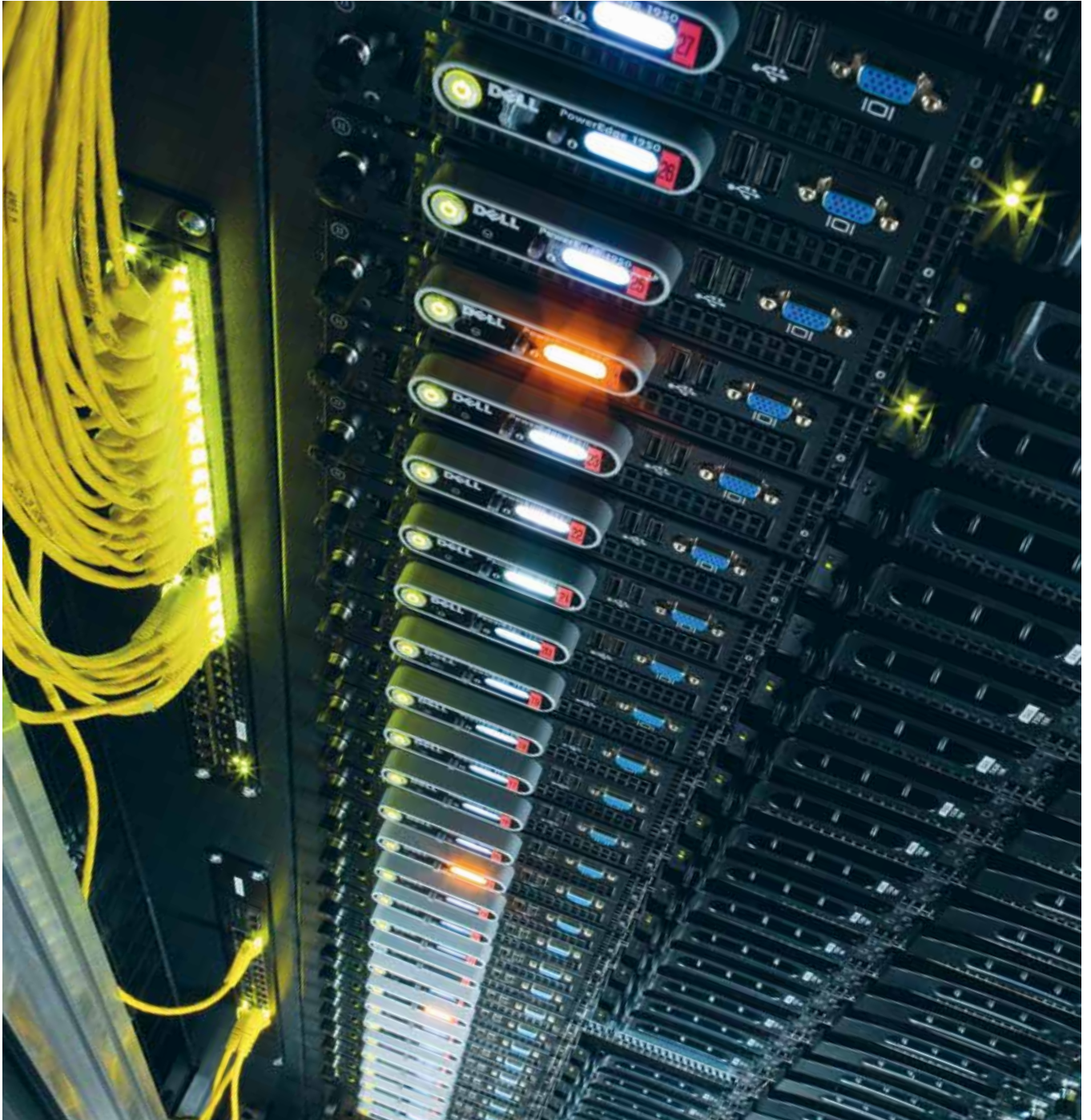
Eine derartige Simulation ist empfehlenswert, wenn ein neues Gebäude oder Stadtviertel geplant wird. Damit nicht jedes Haus einen eigenen Speicher (Boiler) und eine eigene Raumheizung braucht, können sich mehrere Häuser die Infrastruktur teilen. Daher sollen Gebäude künftig über einen «Energy Hub» verbunden sein, der die Energie speichert, umwandelt und wieder an die Nutzer verteilt – je nach Bedarf. Über einen solchen Hub regu-

liert die Software der Empa-Forscher in jedem Gebäude zuverlässig die Versorgung von Strom, Wärme und Kälte. Eine solche Energieversorgung reduziert Kosten und Kohlendioxid-Emissionen massiv.

Ist das Viertel zusätzlich mit Strom von Wind- und Solaranlagen versorgt, fließt die Energie zunächst einmal in den

1

Auf dem Computercluster Ipazia berechnen die Empa-Forscherinnen und -Forscher unterschiedlichste Projekte und simulieren unter anderem auch Energieflüsse in Gebäuden und Quartieren.



1

Kontakt

Dr. Ralph Evins
ralph.evins@empa.ch

Dr. Andrew Bollinger
andrew.bollinger@empa.ch

Hub. Dort entscheidet das Programm, wo diese Energie aktuell am besten und am effizientesten genutzt (oder aber gespeichert) wird. Wenn die Anlagen überschüssigen Strom produzieren, werden beispielsweise Boiler oder Raumheizung bereits eingeschaltet, bevor die programmierte Mindesttemperatur erreicht ist. Heute regelt jedes Gebäude individuell, wann es mit dem Heizen beginnt. Ebenfalls per Simulation berechnen die Forscher den jährlichen Energieverbrauch eines Gebäudeverbunds und finden schliesslich eine optimierte Bauweise.

Viele kleine Module verbinden

Die Empa-Forscher wollten kein einzelnes komplexes Programm schreiben, denn solche Programme sind sperrig und aufwändig zu pflegen. Stattdessen haben sie mehrere kleine Module geschaffen, von denen sich jedes mit einer spezifischen Fragestellung befasst und die frei miteinander verknüpft werden können. Dies bedingt eine gute Organisation. Deshalb haben die Forscher ausserdem noch ein webbasiertes Lexikon für diese Software namens «Holistic Urban Energy Simulation»

(HUES) aufgebaut. Entwickler können dort ihre neusten Programme ablegen. Das Onlinelexikon bringt den Vorteil, dass vorhandene Software genutzt und wiederverwendet werden kann. Zusätzlich bringt es eine gewisse Transparenz. Jeder kann so sehen, was in der Energieforschung bereits gemacht wurde – auch Planungsbüros. Denn diese sollen in Zukunft Software von der HUES-Plattform nutzen, um damit die Bauten von morgen energieeffizienter zu planen und zu gestalten. //



1

1

Die von den Empa-Forschern entwickelten Softwaremodule ermöglichen die Simulation der Energieflüsse in bestehenden und geplanten Gebäuden wie auch in ganzen Quartieren.

Umweltschonender Flammenschutz für Businessjets

Businessjets müssen innen schön sein, das wünscht die zahlungskräftige Kundschaft. Das Mobiliar muss unbrennbar sein, das wünscht die Flugsicherheitsbehörde. Und der Jet darf bei einer Renovation nicht zu lange im Hangar stehen, denn das kostet (unnötig) Geld. Mit diesen Rahmenbedingungen im Gepäck gelangte der Flugzeugausrüster Jet Aviation an die Empa und fragte um Projektunterstützung nach. Seit 1977 renoviert Jet Aviation das Mobiliar von Privatflugzeugen für Kunden aus aller Welt. Um die einzelnen Schichten der Leichtbaumöbel flammhemmend auszurüsten, waren bislang mehrere Arbeitsschritte nötig. So lange blieb der Businessjet am Boden. Die Frage war nun: Geht das nicht schneller?

Ein Fall für Sabyasachi Gaan, der in St. Gallen unter anderem neue Flammenschutzmittel für Textilien entwickelt. Nach zahlreichen Laborversuchen fanden Gaan und sein Team schliesslich eine Beschichtung, die den Spezialisten von Jet Aviation gefiel: Der neue Flammenschutz ist umweltfreundlicher als der vorher genutzte – er kommt ohne chlorierte und bromierte Chemikalien aus und erreicht den Flammschutzeffekt allein durch ein beson-

ders hohes Molekulargewicht. Daraus folgt ein weiterer Vorteil: Das Flammenschutzmittel dünstet nicht in die Luft aus; Geruchsbelästigungen im neu möblierten Jet gibt es also nicht.

Eine Beschichtung genügt

Auch die erwünschte Zeitersparnis im Handling der teuren Maschinen konnte das Empa-Team sicherstellen: Das neu entwickelte Flammenschutzmittel braucht nur einmal aufgetragen zu werden – anstatt mehrmals übereinander. So entfallen Arbeitsstunden und Trocknungszeiten, der aufgehübschte (und flamm sichere) Jet rollt mehrere Tage früher wieder zur Startbahn. Das 2012 angelaufene Projekt wurde von der KTI im Rahmen der Sondermassnahmen gegen den starken Franken mitfinanziert; das Verfahren ist inzwischen zum Patent angemeldet.

Projektleiter Sabyasachi Gaan denkt bereits einen Schritt weiter: Wenn die Flammschutz ausrüstung beim Restaurieren von Jets Zeit spart, dann könnte sie sicher auch in der erstmaligen Herstellung von Businessflugzeugen gewinnbringend eingesetzt werden. Gespräche mit Herstellern sind bereits geplant.

200 – 500

**Mikrometer dünn ist die Beschichtung,
die auf das Holz aufgetragen wird.**

Das neu entwickelte, umweltfreundliche Flammschutzmittel könnte aber auch anderswo Karriere machen. Beispielsweise können es sich die Forschenden gut vorstellen, den Stoff für die flammhemmende Ausrüstung von Textilien, für Holzmöbel oder für Wand- und Deckenverkleidungen in Gebäuden einzusetzen. Diese Anwendungsmöglichkeiten wollen sie als Nächstes untersuchen. //



1

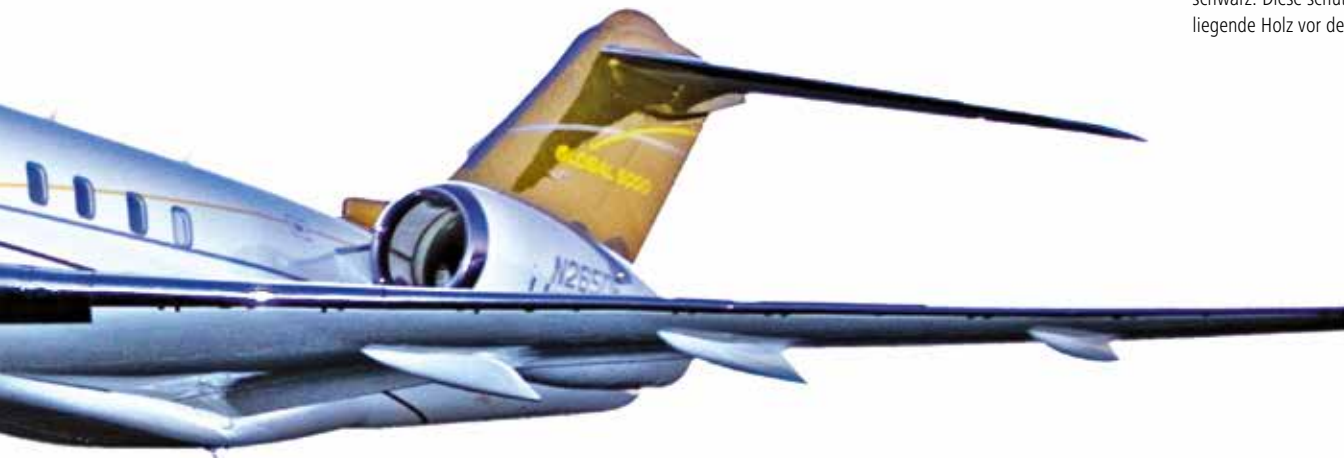




2

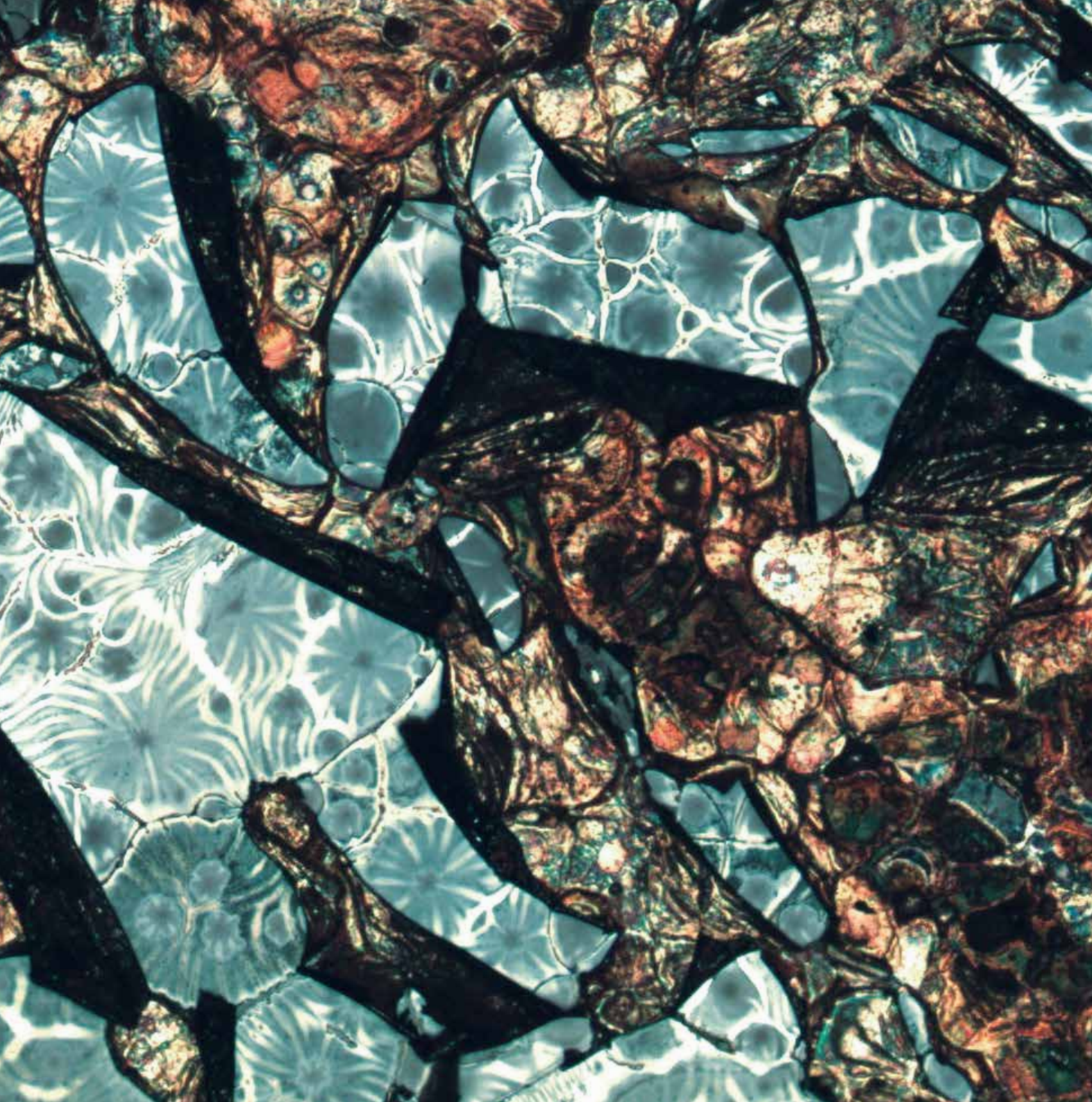
1
Das Innere von Privatjets ist oft mit viel edlem Holz ausgestattet.

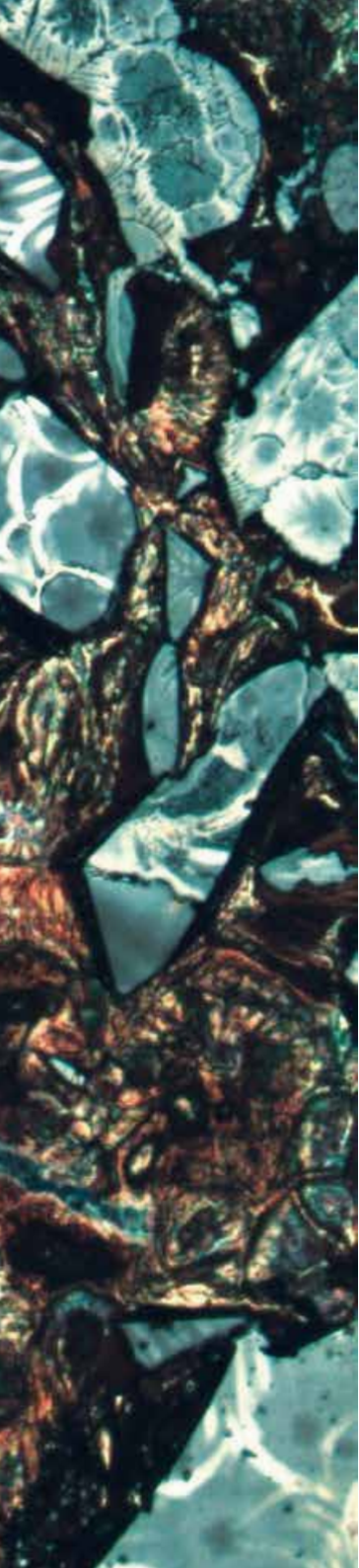
2
So funktioniert die an der Empa entwickelte flammhemmende Beschichtung: Das beschichtete Holz wird Feuer ausgesetzt, die Beschichtung verfärbt sich durch die Bildung von Kohle schwarz. Diese schützt das darunterliegende Holz vor den Flammen.





Eisenoxidablagerungen aus Solarzellenentwicklungen:
Das rötliche Hämatit unterscheidet sich vom grauen
Magnetit durch Farbe und Funktion. Das eine
hat magnetische Eigenschaften, das andere wandelt
Sonnenlicht in elektrischen Strom um.





Research Focus Areas

Wo liegen die grossen Herausforderungen unserer Zeit? Zweifellos in den Bereichen Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen, Umwelt und Klima, bei den zur Neige gehenden Rohstoffen, in einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung und bei der Erneuerung unserer Infrastruktur. In ihren fünf Forschungsschwerpunkten, den «Research Focus Areas», bündelt die Empa das interdisziplinäre Know-how ihrer mehr als 30 Forschungslabors und Zentren und erarbeitet dadurch praxisnahe Lösungen für Industrie und Gesellschaft.

Die Architektur von Werkstoffen

Werkstoffe mit einem nanostrukturierten Aufbau verdanken ihre herausragenden, manchmal gar neuartigen Eigenschaften ihren Bausteinen sowie deren struktureller Anordnung, das heisst – deren nanoskaliger Architektur. Erst wenn die Bausteine und die Architektur aufeinander abgestimmt sind, entfalten sich die gewünschten Eigenschaften – analog einem Bauwerk. Die Entwicklung von nanostrukturierten Werkstoffen umfasst also die Synthese nanoskaliger Bausteine, die architektonische Nanostruktur sowie die Werkzeuge, sprich die Verfahren, zu deren Herstellung.

Massgeschneiderte Nanobausteine

Eine besondere Klasse nanoskaliger Bausteine sind Nanokristalle. Mittels Kolloidchemie, also durch Koagulation aus einer Lösung, lassen sich Nanokristalle unterschiedlichster Zusammensetzung von fünf bis zu 100 nm Grösse nahezu monodispers herstellen. Im von der Empa und der ETH Zürich gemeinsam betriebenen Labor «Functional Inorganic Materials» hat sich das Team um Maksym Kovalenko auf die Synthese kolloidaler Nanokristalle spezialisiert. Die jüngsten Nanokristalle sind Perowskit-Verbindungen wie CsPbX_3 ($X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), die sich als Lichtabsorber für Solarzellen der nächsten Generation anbieten, oder $\text{CH}_3\text{NHPbI}_3$, das eine hohe Absorption für Röntgenstrahlen aufweist und gleichzeitig ein guter Halbleiter ist

– und somit ein viel versprechendes Material, um grossflächige Röntgendektoren kostengünstig herzustellen. Kostengünstig müssen auch Batterien sein, sollten sie eines Tages dazu dienen die saisonal oder durchs Wetter bedingten Schwankungen bei der Produktion von Ökostrom durch Zwischenspeicherung auszugleichen. Die Lithium-Ionen-Batterie scheint hierfür zu teuer zu sein, zudem sind die weltweiten Lithiumvorräte beschränkt. Eine Alternative ist die Natrium/Magnesium-Hybridbatterie, die als Anode Magnesium und als Kathode Pyrit (FeS_2), auch als Katzensgold bekannt, verwendet. Erste aus Pyrit-Nanokristallen hergestellte Kathoden zeigen eine sehr hohe Stabilität bei wiederholten Lade- und Entladevorgängen.

Die Fähigkeit zur Selbstorganisation

Selbstorganisation und Selbststrukturierung sind elegante und hocheffiziente Ansätze, um stabile Nanoarchitekturen aufzubauen, folgen sie doch dem fundamentalen physikalischen Prinzip, die Energie eines Systems zu minimieren. Schwache zwischenmolekulare Kräfte wie die Van-der-Waals-Kräfte reichen bereits aus, damit Nanokristalle oder/und Moleküle spontan geordnete ein-, zwei- oder dreidimensionale Strukturen ausbilden. An der Empa nutzen mehrere Forschungsgruppen die Prinzipien der Selbstorganisation oder Selbststrukturierung in verschiedensten Systemen und für ganz

1

Photolumineszierender PMMA-Kunststoff mit eingelagerten CsPbX_3 -Nanokristallen. Solche Perowskit-Verbindungen bieten sich als Lichtabsorber für Solarzellen der nächsten Generation an.



unterschiedliche Anwendungen. So zum Beispiel hat das Team um Rita Toth in Zusammenarbeit mit der Universität Basel mittels Langmuir-Blodgett-Technik, also durch Eintauchen und Herausziehen aus Lösungen, einen komplexen nanostrukturierten Katalysator für die photokatalytische Wasserspaltung hergestellt. In ersten Untersuchungen erwiesen sich diese Schichten als sehr effizient und stabil.

Das Team um Jakob Heier nutzt das Prinzip der Selbstorganisation zur Herstellung kristalliner organischer Halbleiter; dabei können die Forscher über die Prozessbedingungen steuern, ob ein-, zwei- oder dreidimensionale Kristalle entstehen. In diesen geordneten Strukturen führen Wechselwirkungen zwischen den Übergangsdipolmomenten bei Absorption von Licht zu kollektiven elektronischen Anregungen. Entsprechende Effekte werden in anorganischen Halbleitern nicht beobachtet, die daraus resultierenden aussergewöhnlichen elektro-optischen Eigenschaften können in Sensoren, in der nichtlinearen Optik und in der Photovoltaik eingesetzt werden.

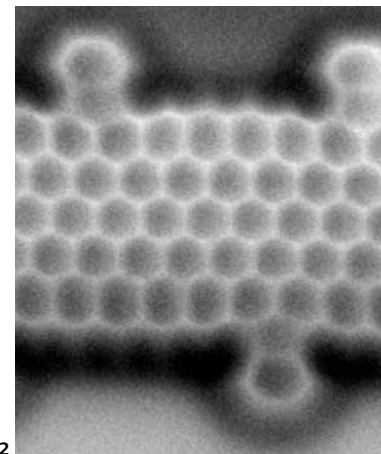
Bei der Synthese von Graphen-Nanobändern nutzt das Forscherteam um Roman Fasel zusätzlich noch die heterogene Katalyse, um anstelle eines Aggregats eine feste, kovalent gebundene Kohlenstoffnanostruktur herzustellen. Definiert über das verwendete Ausgangsmolekül lassen sich unterschiedliche Formen von Graphen-Nanobänder mit atomarer Präzision herstellen. Je nach Breite und Kantenform zeigen diese Graphen-

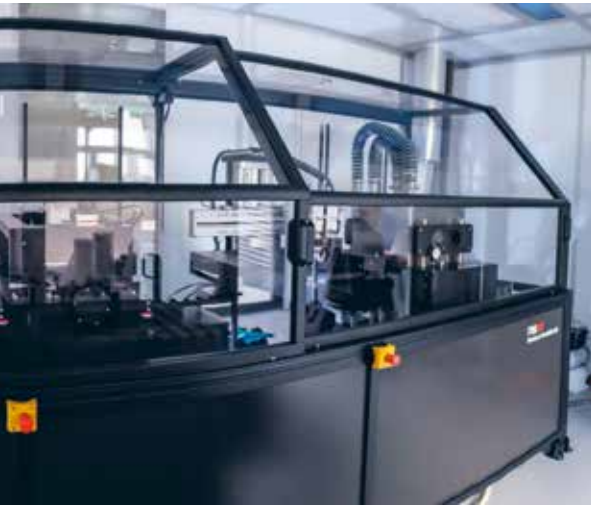
1

Hochpräzise Druckanlage für das Hochskalieren von nass-chemischen Beschichtungsprozessen, etwa für das Drucken organischer Leuchtdioden. Diese Anlage steht nebst anderen im neuen Coating Competence Center der Empa.

2

Hochaufgelöste Rasterkraftmikroskop-Aufnahme (NC-AFM) eines synthetisierten Graphen-Nanobands.

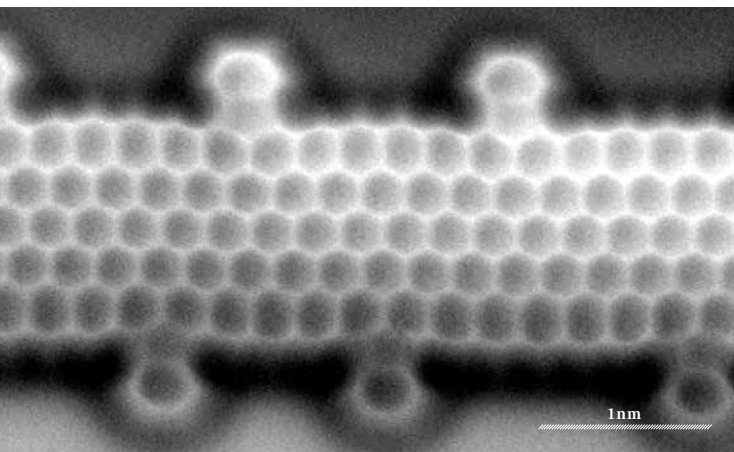




Nanobänder unterschiedliche elektronische Eigenschaften. Das jüngste «Kind» ist ein Nanoband mit zickzackförmiger Kantenstruktur. Bei diesem Bandtyp kommt es zu einer Aufspaltung der Elektronenspins an den Kanten, was diese Bänder für spintronische Anwendungen interessant macht.

Das «Coating Competence Center» der Empa

Der letzte und entscheidende Schritt einer erfolgreichen Materialentwicklung ist die Prozesstechnik auf industriellem Massstab. Für neuartige Materialien ist das Hochskalieren vom Labor- auf den Industriemassstab stets sehr anspruchsvoll, aufwändig und teuer. Anspruchsvoll, weil es die intensive Zusammenarbeit von Materialforscher und Verfahrenstechniker erfordert; kostenintensiv, weil die hierfür erforderliche Forschungsinfrastruktur zum einen Industrieprozesse abbilden und zum anderen noch wissenschaftliches Arbeiten ermöglichen muss. Mit dem «Coating Competence Center» hat die Empa just eine derartige Laborinfrastruktur aufgebaut. Die vorhandenen Vakuumbeschichtungs- und Hochpräzisionsdruckanlagen sind mit umfangreichen analytischen Geräten zur Prozesscharakterisierung ausgerüstet. Mit den auf diesen Anlagen gewonnenen Erkenntnissen lässt sich für die Industriepartner der Empa der Aufwand für das weitere «Up-Scaling» auf die Produktionsanlage minimieren – ein enormer Vorteil, um im globalen und zunehmend kompetitiveren Innovationswettbewerb zu bestehen. //



Lösungen mit Mehrwert: Langlebigkeit, Stabilität und Ökologie

Sichere und leistungsfähige Versorgungs- und Verkehrsinfrastrukturen und attraktive wie auch komfortable Wohn- und Arbeitsräume sind für uns heute eine Selbstverständlichkeit. Um dieses Niveau an Lebensqualität halten zu können, müssen ökonomisch, ökologisch und sozial attraktive Lösungen entwickelt werden. Dazu gehört der sparsame Einsatz nicht vollständig erneuerbarer oder rezyklierbarer Ressourcen, insbesondere der wichtigsten Baustoffe Beton und Asphalt. Genauso wichtig ist es, die bestehenden Strukturen zu unterhalten und allenfalls an neue Anforderungen anzupassen.

Mit ihrem Forschungsschwerpunkt «Sustainable Built Environment» trägt die Empa dazu bei, Baustoffe besser zu verstehen und Lösungen zu entwickeln, die sich in der Praxis umsetzen lassen und damit einen echten Mehrwert für die Gesellschaft schaffen.

Betonkorrosion: Struktur der «Betonkrankheit» entschlüsselt

Wenn Brücken, Stau Mauern und Betonfundamente bröckeln, dann ist oft AAR die Ursache: die Alkali-Aggregat-Reaktion. Die AAR wird durch eindringende Feuchtigkeit ausgelöst, schädigt weltweit Betonbauwerke und macht Sanierungen oder Neubauten nötig. Im Zuge der AAR entsteht ein Material, das mehr Raum einnimmt als der ursprüngliche Beton und

Letzteren im Laufe von Jahrzehnten langsam von innen heraus sprengt. Forscher der Empa und des Paul Scherrer Instituts (PSI) haben nun erstmals die bislang unbekannte Kristallstruktur des AAR-Abbauprodukts – $[\text{Si}_{20}\text{O}_{48}]$ -Schichten mit weiten Zwischenlagen und Kanälen – entschlüsselt, ein erster Schritt zu möglichen Gegenmassnahmen (siehe auch Seite 27).

Dämpfung von Brückenschwingungen mit steuerbaren Flügeln

Moderne Hänge- und Schrägseilbrücken sind aussergewöhnliche Bauwerke, die Spannweiten von über 1000 Metern aufweisen können. Aufgrund ihrer grossen Schlankheit und geringen Dämpfung kann der Wind sie leicht in starke Schwingungen versetzen und dadurch ihre Nutzung und Lebensdauer einschränken. In der Praxis werden unzulässige Schwingungen bekämpft, indem die Windkräfte durch Formgebung des Brückenquerschnitts vermindert und die Bauwerksdämpfung durch passive Dämpfungsmassnahmen, sogenannte Schwingungstilger, erhöht wird. In Zusammenarbeit mit der EPFL entwickelt die Empa ein neuartiges Dämpfungskonzept, das aus einer Vielzahl von kleinen Flügeln besteht, die längs der Brücke angebracht werden. Indem ihre Neigung laufend gezielt verändert wird, kann die Umströmung des Brückenquerschnitts so gesteuert werden, dass sie die Brücke stabilisiert.

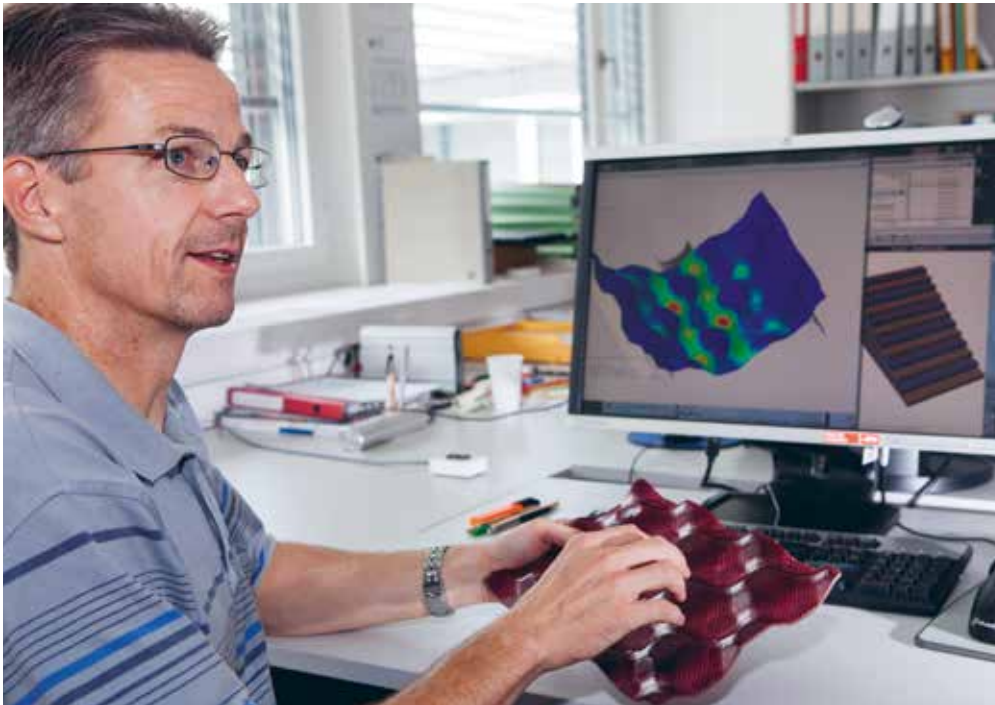
1

Visualisierung einer Hängebrücke, die zur Dämpfung von Schwingungen mit zahlreichen beweglichen Flügeln ausgestattet ist.

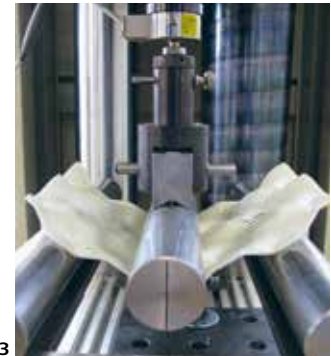




1



2



3

1 Die neuentwickelten Eventplatten schonen den Erdboden und lassen auch keinen Matsch durch.

2 Die leichten, grossflächig verlegbaren Bodenplatten wurden am Computer entwickelt ...

3 ... und im Labor ausgiebig getestet.

Das Potenzial und die Wirkungsweise dieser Massnahme wurden experimentell mit Windkanalversuchen an einem mit acht individuell steuerbaren Flügeln ausgestatteten Brückenmodell untersucht. Die bisherigen Versuche zeigten, dass sich bereits mit einer einfachen zyklischen asynchronen Steuerung der Flügel die Schwingungen stark dämpfen lassen. Sogar instabile Zustände, die zu unkontrolliert wachsenden Schwingungen führen, konnten mit den steuerbaren Flügeln völlig unterbunden werden. Diese positiven Ergebnisse ermutigen dazu, dieses Dämpfungskonzept weiterzuentwickeln, um damit in Zukunft noch schlankere und weiter gespannte Brücken errichten zu können.

Neuartige Bodenplatten: Saubere Füsse auch nach dem Festival

Zusammen mit der Firma Supramat-Swiss GmbH hat die Empa leichte, grossflächig verlegbare Bodenplatten aus einem mit Glasfasern verstärkten Polymer entwickelt. Die mit zehn Millimetern geringe Dicke der rechteckigen Platten und die Fläche von knapp einem Quadratmeter erleichtern den Transport und auch die Verlegung – nun ist es möglich, mit geringerem Aufwand grössere Flächen abzudecken. Neu dabei ist nicht nur die Verwendung eines speziellen, sehr stabilen, aber zugleich leichten Verbundwerkstoffs, sondern auch das Konzept, sie zu verbinden. Herkömmliche wabenförmige Platten werden beim Verlegen mit einer Art Hakensystem aneinander gehängt. Die

an der Empa im von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) unterstützten Projekt entwickelten «Scobavent®»-Platten werden von den Aufbauteams über spezielle Laschen an ihren Kanten aneinandergesteckt. Resultat ist ein lückenloser «Plattenteppich», der so gut wie keinen Schlamm durchlässt. «Scobavent» ist zum Patent angemeldet und wird zurzeit von einer grossen Schweizer Dienstleistungsfirma für Festivals an diversen Anlässen getestet.

Die Forschungen beschränkten sich jedoch nicht nur auf die «Scobavent»-Platten für Grossevents, sondern lieferten auch ein Produkt «fürs Grobe»: die «Scobamat»-Platte, deren Fertigung vereinfacht wurde und die dank neuer Verbindungstechnik überall einsetzbar ist, wo schweres Gerät den weichen Untergrund zu zerstören droht oder gar darin einsinkt. Zu einem Weg ausgelegt, können die Platten eine sichere temporäre Strasse für grosse Fahrzeuge zu schwer zugänglichen Orten bilden. Damit lassen sich auch auf unbefestigtem Terrain selbst Flugzeuge bis zu einer A380, die von der Piste abgekommen sind, rasch bergen. Diese temporären Fahrwege können sogar im Permafrost bei der Öl- und Gasförderung eingesetzt werden. Mögliche Abnehmer der Platten sind auch Bauunternehmen und das Militär. Tests mit Baggern, Feuerwehrfahrzeugen und einem 60 Tonnen schweren Kran haben die Platten problemlos gemeistert. //

Technologieentwicklung im Einklang mit Ressourcen und Umwelt

Um den stetig wachsenden Herausforderungen im Zeitalter der Globalisierung zu begegnen, bedarf es innovativer technischer Entwicklungen sowie neuer Konzepte speziell im Bereich der Energienutzung und der Mobilität. Dabei ist es essenziell, dass diese Entwicklungen einer nachhaltigen Nutzung unserer Ressourcen Rechnung tragen und gleichzeitig die Beeinträchtigung der Umwelt durch Prozessemissionen so weit wie möglich reduzieren. Ein zentrales Ziel der Empa im Forschungsschwerpunkt «Natürliche Ressourcen und Schadstoffe» (NAREP) sind nachhaltige und umweltschonende Innovationen.

Effiziente Reduktion von Kaltstartemissionen

Dank der Abgaskatalysatoren haben sich die Emissionen von Fahrzeugen in den letzten 30 Jahren stark verringert, was massgeblich zur Verbesserung der Luftqualität beigetragen hat. Beim Kaltstart und während Betriebsphasen mit tiefer Abgastemperatur sind die Emissionen aber auch heute noch hoch. Massnahmen, Kaltstartemissionen zu reduzieren, resultieren in erhöhtem Brennstoffverbrauch, was mit einer Senkung des CO₂-Ausstosses im Zielkonflikt steht.

Siliziumcarbid (SiC), eine Substanz mit vergleichbaren thermischen Eigenschaften wie übliche Katalysatorbeschichtungen, jedoch mit wesentlich niedrigerer spezifischer Ober-

fläche, kann dank seiner guten Absorptionseigenschaften für Mikrowellen den Katalysator vor dem Start in sehr kurzer Zeit auf Betriebstemperatur aufheizen. Erste Laborresultate zeigen, dass durch die Beimischung von Siliziumcarbid (SiC) zur katalytischen Beschichtung die Kaltstartemissionen nahezu halbiert werden können. Die weitere Optimierung des Mikrowellenresonators wird die Kaltstartemission künftig sogar noch weiter senken.

Batterien ohne kritische und toxische Materialien

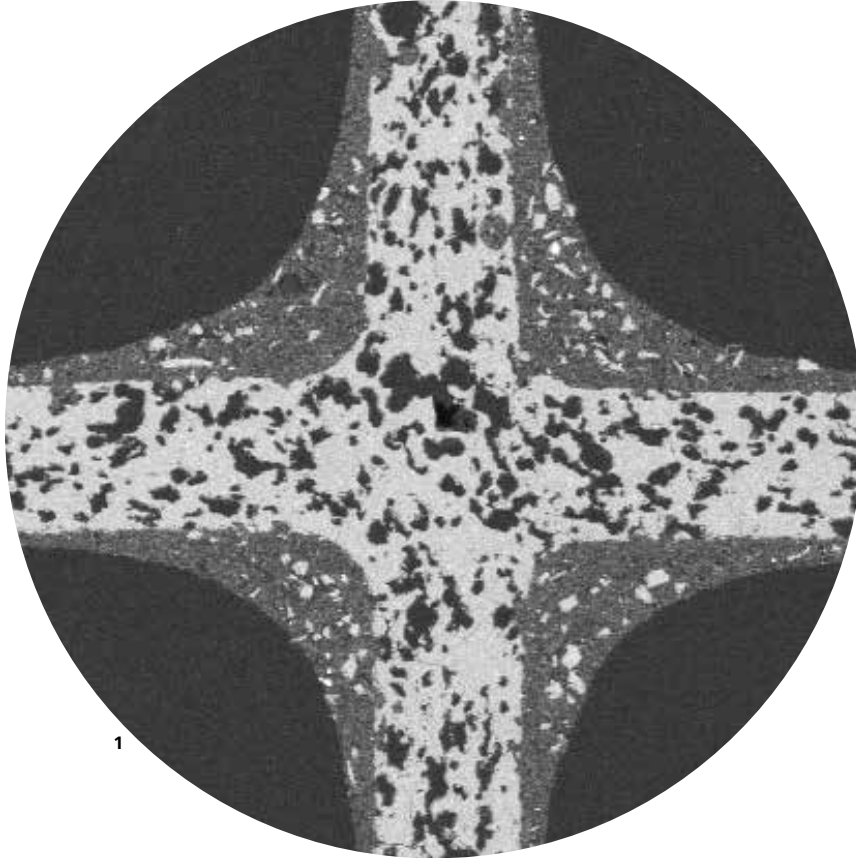
Batterien werden im künftigen Energiesystem eine immer wichtigere Rolle spielen. Um die im Pariser Abkommen vereinbarte Treibhausgasreduktion zu erreichen, bedarf es beispielsweise für die Bereitstellung der Elektrizität im Jahr 2050 mehr als 80 Prozent erneuerbarer Energie. Diese kann nur mit Hilfe von Batterien kontinuierlich bereitgestellt werden. Empa-Forschende entwickeln zusammen mit der Firma Fiamm Sonick neue Prozesse, um die Energie- und Leistungsdichte sowie die Zuverlässigkeit von industriellen Natrium-Nickelchlorid-Batterien zu erhöhen und zugleich die Ausschussrate zu minimieren, was sich direkt in Material- und CO₂-Reduktionen niederschlägt. Der grosse Vorteil dieser Batterien, die aus Kochsalz (NaCl), Aluminiumoxid (Al₂O₃) und Nickelpulver hergestellt werden, ist zudem, dass alle Ausgangsprodukte weder kritisch

1

Experimenteller Aufbau für die Emissionsmessungen an Flugzeugtriebwerken auf dem Flughafen Zürich.



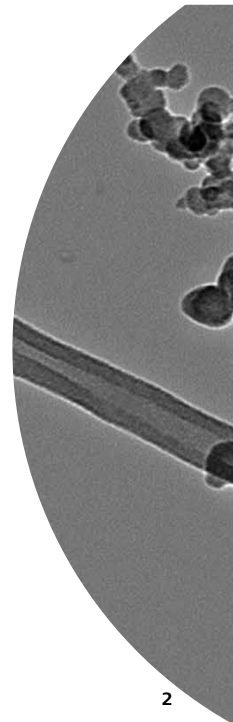
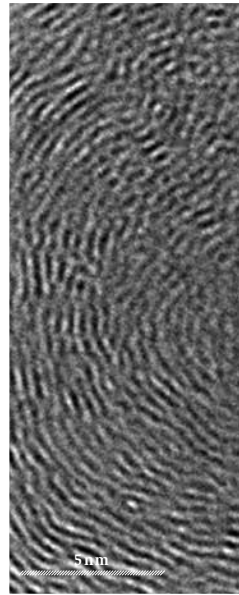
1



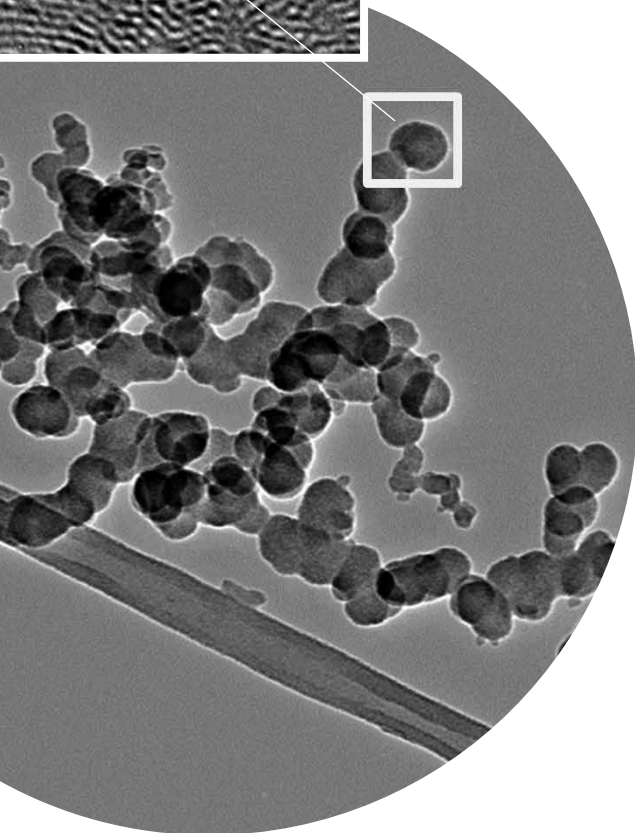
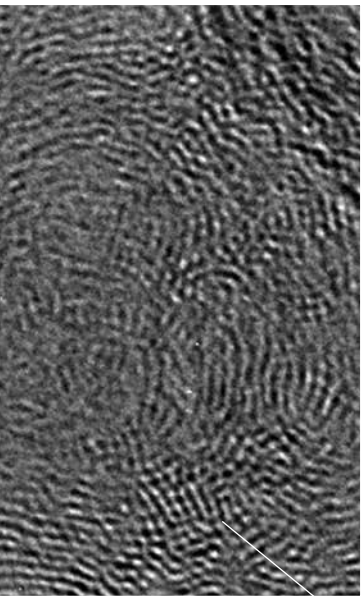
1

1
Ausschnitt eines Abgaskatalysatorträgers:
Grobe Siliziumcarbidkörner (SiC) sind in
der feineren Aluminiumoxid-Matrix (Al₂O₃)
dispergiert, sodass Mikrowellenenergie
absorbiert wird, um den Kat vor dem Motor-
start aufzuheizen. Dadurch können
Kaltstartemissionen reduziert werden.

2
Partikelemissionen eines Flugzeugtriebwerks
beim Start auf einer Transmissionselektronen-
mikroskopie-Aufnahme (TEM).



2



noch toxisch sind und die Materialien in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen, um diese Batterien für stationäre Anwendungen in grossen Stückzahlen mit minimaler Umweltbeeinträchtigung herzustellen.

Saubere Flugzeugturbinen für die Zukunft

Die Empa hat gemeinsam mit SR Technics und dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) ein Verfahren für die Messung von Feinstaubpartikeln aus Flugzeugtriebwerken entwickelt – und damit international Massstäbe gesetzt. Das Umweltgremium der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) hat vor kurzem dank dieser Arbeiten eine erste Vorschrift für die Emission von Feinstaubpartikeln aus Flugzeugtriebwerken verabschiedet. Alle ab 1. Januar 2020 in Produktion befindlichen Triebwerkstypen für Passagierflugzeuge müssen nach der neuen Vorschrift zertifiziert werden. Die meisten Triebwerkhersteller haben mittlerweile bereits eigene vorschriftskonforme Messsysteme und haben mit der Nachmessung ihrer Triebwerke begonnen. Bereits sind auch Technologien zur weiteren Reduktion der Feinstaubemissionen bekannt. //

Energieforschung – Optionen für die Zukunft

Energie steht im Zentrum vieler Aspekte unserer Gesellschaft. Längst hat man erkannt, dass die Erforschung einzelner Technologien alleine dem künftigen Energiesystem nicht gerecht werden kann. Im Forschungsschwerpunkt «Energie» haben wir im vergangenen Jahr deshalb erfolgreich daran gearbeitet, eine zukunftsfähige Infrastruktur für eine umfassende Betrachtung von Energieerzeugung, -speicherung, -umwandlung und -bereitstellung zu ermöglichen. Dies mit drei Schwerpunkten: Material- und Technologieforschung, Demonstrationsplattformen und eine nachhaltigere Energieversorgung des Empa-Eawag-Campus in Dübendorf. Damit ist die Empa ideal aufgestellt, in den nächsten Jahren interdisziplinäre Forschung zu betreiben, um verschiedene Optionen für die Schweizer Energieversorgung auszuarbeiten.

Material- und Technologieforschung

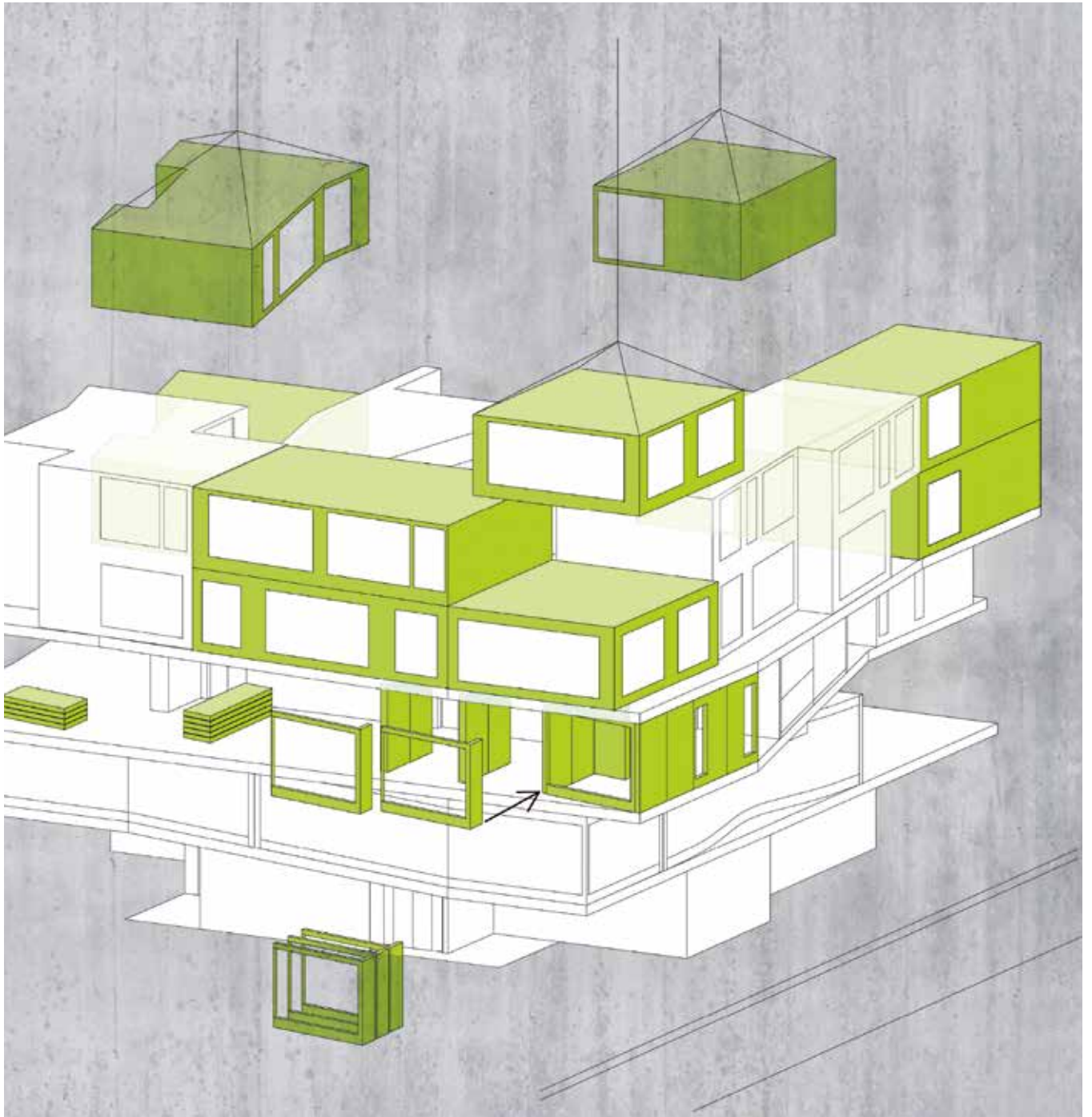
Materialforschung ist im Bereich Energie absolut zentral und deckt ein extrem breites Feld ab: Die Weiterentwicklung von Aerogelen etwa zielt auf eine günstigere Herstellung ab, um diese effiziente Hochleistungs-dämmung nicht nur für Spezialanwendungen zu ermöglichen, sondern auch für «normale» Gebäude. Und in der Batterieforschung geht es den Empa-Forschenden nicht nur um die Steigerung der Kapazität, der Langlebigkeit und der Sicherheit, sondern auch um die Suche nach neuen, einfacheren und günstigeren Materialien. In Kollabora-

tion mit dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung wurde die Untersuchung zur Hydrierung von Kohlendioxid (CO₂) weiterverfolgt. In einer Mischung von Wasserstoff und CO₂ auf dem Metall ZrCoH_x konnten signifikante Mengen von Methan nachgewiesen werden und die katalytische Wirkung des Metallhydrids wurde erforscht. Es wird erwartet, dass die dabei beobachteten Effekte auch bei anderen Katalysatoren auftreten, die aus wasserstoffabsorbierenden Materialien bestehen.

Im Bereich Mobilität wurden mit einem Industriepartner Dieselmotoren punkto Effizienz und Schadstoffemissionen optimiert. Ausserdem ist eine Machbarkeitsstudie für das Power-to-Gas-Konzept angelaufen und bringt im nächsten Jahr Ergebnisse, ob und wie diese Umwandlungsform am besten eingesetzt werden kann.

Bei der Energiegewinnung hat die Empa etwa die Forschung auf dem Gebiet der Solarzellen vorangetrieben; dabei wurde eine lösungsmittelfreie Beschichtung für Elektroden von Perovskit-Solarzellen entwickelt. Und im EU-Projekt TREASORES wurden unter Leitung der Empa kostengünstige Alternativen zu Indium-Zinn-Oxid (ITO) für Elektrodenmaterialien in organischen Solarzellen gefunden. Ebenfalls im Bereich Materialforschung anzusiedeln sind die Entwicklung neuer Materialien und Methoden, um Hochspannungsleitungen unter stark schwankenden Temperatur- und Windverhältnissen optimal zu betreiben.

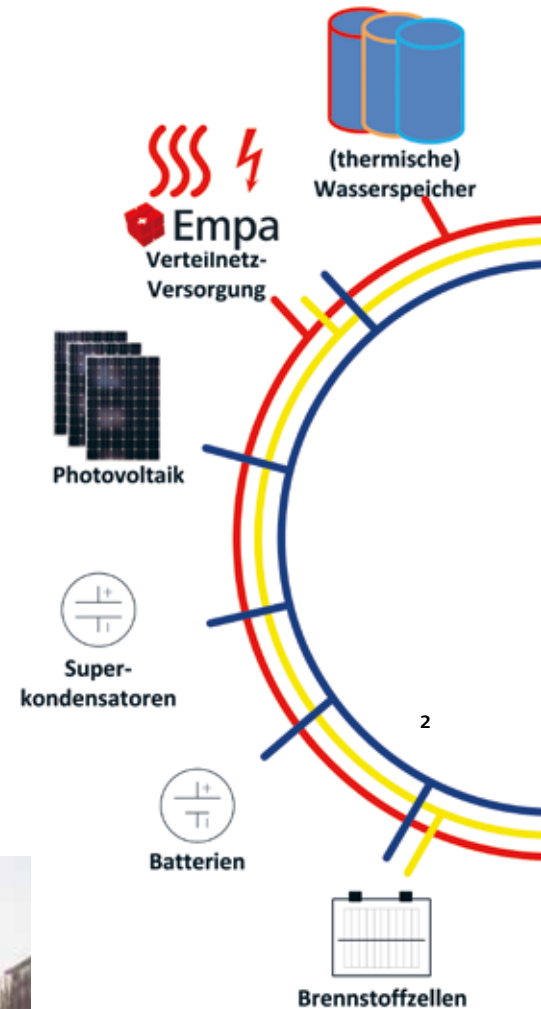
1 Einbau von Forschungsunits im NEST (Illustration: Gramazio & Kohler)

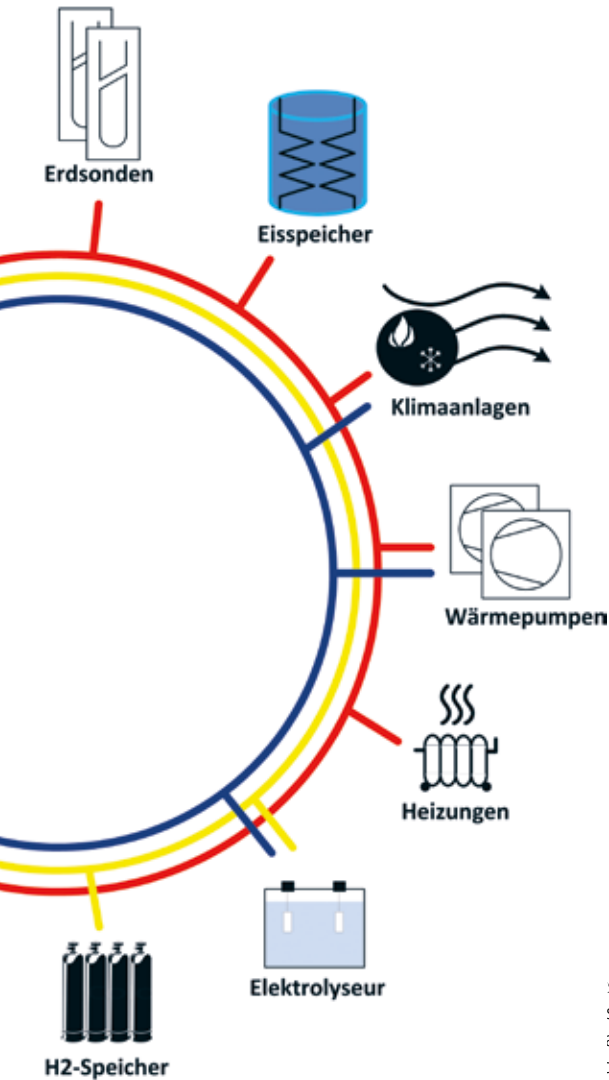


1

Demonstrationsplattformen

Mit der Aufrichte von NEST und der Eröffnung von «move» gingen im Herbst gleich zwei Grossprojekte zum Thema Energie in die heisse Phase über. Bei move, der umfassenden Demonstrations- und Forschungsplattform für Mobilität, wurde bereits eine 35-MPa-Wasserstofftankstelle in Betrieb genommen; im NEST wird die erste Unit «Meet2Create» als Raum für verschiedene Arbeitsformen eingebaut. Mit dem Start der beiden Plattformen konnte auch eine weitere in Angriff genommen werden – der «ehub» (Energy Hub). Dies ist eine Energieforschungsplattform, die zum Ziel hat, das Energiemanagement auf Quartierebene zu optimieren und den Einfluss auf das gesamte Energiesystem zu evaluieren. Zusammen mit move und NEST macht es ehub möglich, Energiekonzepte in der Realität zu testen und Energieflüsse in Wohn-, Arbeits- und Mobilitätsbereich zu koppeln.





sdemonstrator «move»
sen sich Elektro-, Erdgas-
asserstoff-Fahrzeuge
J in der praktischen An-
wendung miteinander vergleichen.

2

Die verschiedenen Komponenten
des ehub: Zusammen mit move
und NEST macht es ehub möglich,
Energiekonzepte in der Realität
zu testen und Energieflüsse im Wohn-,
Arbeits- und Mobilitätsbereich zu
koppeln.

Energieversorgung auf dem Campus Dübendorf

Für den Standort Dübendorf wurde ein neues Energiekonzept ausgearbeitet, das in den nächsten Jahren umgesetzt werden soll. Verschiedene Techniken wie ein mit Biogas betriebenes Blockheizkraftwerk, eine Solaranlage, ein grosser Erdwärmespeicher für die saisonale Energiespeicherung und die gleichzeitige Nutzung der Abwärme werden die Elektrizitäts- und Wärmeversorgung von Empa und Eawag sicherstellen. Dazu tragen beispielsweise auch an der Empa entwickelte CIGS-Solarmodule bei. Das neue Energiekonzept für das Empa-Eawag-Areal fügt sich optimal in das Ziel ein, Optionen für die künftige Energieversorgung darzulegen. Es bietet die Gelegenheit, inhouse Energieflüsse zu untersuchen und Optimierungsmöglichkeiten anzuwenden.

Die kommenden Herausforderungen in der Energieversorgung können nur gelöst werden, wenn sie ganzheitlich und systemübergreifend betrachtet werden. Die Empa hat dazu alle Möglichkeiten, verschiedene lokale Technologien beliebig miteinander zu kombinieren und neue Wege in der urbanen Energieversorgung zu erforschen. Die Demonstrations- und Forschungsplattformen ermöglichen es – zusammen mit dem Campus-Energiekonzept –, neue Materialien und Technologien in der Praxis einzusetzen und die Auswirkung von Einzeltechnologien auf das gesamte Energiesystem zu betrachten. Dadurch trägt die Empa-Energieforschung dazu bei, neue Technologien bis hin zur marktreifen Anwendung nutzbar zu machen. //

Innovative Materialien für die Medizin

Den Menschen schützen, auf nachhaltige Weise die Gesundheit unterstützen, die Lebensqualität und unsere physische Konstitution erhalten bzw. verbessern – das sind heute und in Zukunft grosse Herausforderungen, vor allem vor dem Hintergrund einer steigenden Lebenserwartung. Im Forschungsschwerpunkt «Gesundheit und Leistungsfähigkeit» kombiniert die Empa ihr interdisziplinäres Know-how in den Bereichen Textilien, Materialwissenschaften, Biologie und Nanotechnologie. Sie konzentriert sich auf die Entwicklung von Materialien für medizinische Anwendungen im und am menschlichen Körper und erforscht neue Materialien und Systeme, die die Menschen in ihrem täglichen Leben schützen und unterstützen. Darüber hinaus widmet sie sich intensiv der Sicherheit neuer Materialien und entwickelt neue biologische und physiologische Modelle, um dies realitätsnah zu untersuchen.

Dabei geht es um Fragen wie: Welche Materialien sind geeignet, um die menschliche Gesundheit zu erhalten oder gar wiederherzustellen? Welche Produkte verbessern die Lebensqualität oder erhöhen die Sicherheit älterer Menschen? Wie lässt sich die Leistungsfähigkeit im Sport oder unter Extrembedingungen steigern? Wie lassen sich Fasern und Textilien so funktionalisieren, dass sie gewünschte Eigenschaften erhalten? Kann in Zukunft die Sicherheit neuer Materialien garantiert werden? Und wie kann die Zuverlässigkeit von biologischen Modellen erhöht werden?

Shuttleservice durch den Körper

Wirkstoffe zur richtigen Zeit an den richtigen Ort und auch noch in der geeigneten Konzentration über eine bestimmte Dauer in den Körper von Patientinnen und Patienten zu bringen, ist nicht trivial. Daher müssen die Materialien, die den Wirkstoff durch den Körper «schleusen», gut steuerbar sein. Dies geschieht etwa über den pH-Wert und über Licht- oder Temperaturimpulse. Die Empa entwickelt dazu intelligente Hybridmaterialien, etwa Pflaster oder Enkapsulierungen für Medikamente. Forscher und Forscherinnen der Abteilungen «Schutz und Physiologie» und «Particles-Biology Interactions» untersuchen gemeinsam die physikalischen Eigenschaften dieser Wirkstoffträger, die über Transport und Freisetzen des Wirkstoffs entscheiden, und analysieren mit Zelltests, also in vitro, wie sich die neuen Materialien in der Praxis anwenden lassen.

Sensoren – so bequem wie Kleider

Um die komplexen Vorgänge im Körper zu verstehen, sind Sensoren nötig, die physiologisch relevante Daten wie Blutdruck, Puls, Herzströme und Körpertemperatur aufnehmen. Das ist besonders schwierig, wenn Personen sich bewegen. Doch auch in komplexen und sich stetig verändernden Situationen müssen Sensoren verlässlich Daten liefern. Mit den derzeitigen, meist eher sperrigen Geräten mit einer Vielzahl von

1 Mikrometergrosse pH-Sensoren aus elektrogesponnener Emulsion.



1

Kabeln ist dies kaum möglich. Genau deshalb arbeitet die Empa daran, neuartige, flexible und körperverträgliche Sensoren zu entwickeln, die sich in Kleider und Accessoires wie T-Shirts und Uhren integrieren lassen. Dazu wird ein umfassendes interdisziplinäres Wissen in den Bereichen Materialwissenschaften, Verarbeitung, Biowissenschaften und Biotechnologie benötigt.

Funktionelle Oberflächen: Implantate besser integrieren

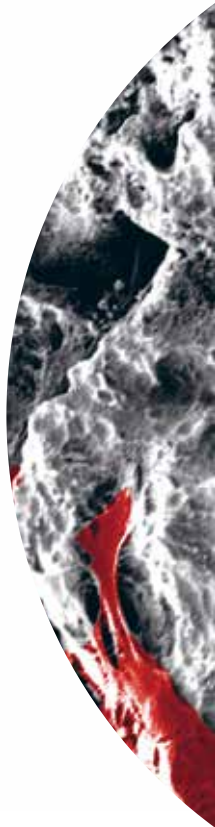
Wie gut sich ein Implantat in den Körper integriert, entscheidet seine Oberfläche, denn nur diese interagiert mit den Körperzellen. Die Empa entwickelt dazu spezielle gewebeverträgliche Beschichtungen, die das Einwachsen unterstützen – oder, wo nötig, dieses verhindern. Aber auch mit Wirkstoffen dotierte Beschichtungen sind ein Forschungsgebiet an der Empa. Dabei sollen diese Stoffe eine spezifische Zell- oder Gewebereaktion auslösen. Antimikrobielle Beschichtungen bei neuartigen Wundheilmaterialien verhindern oder mindern etwa bakterielle Infektionen.

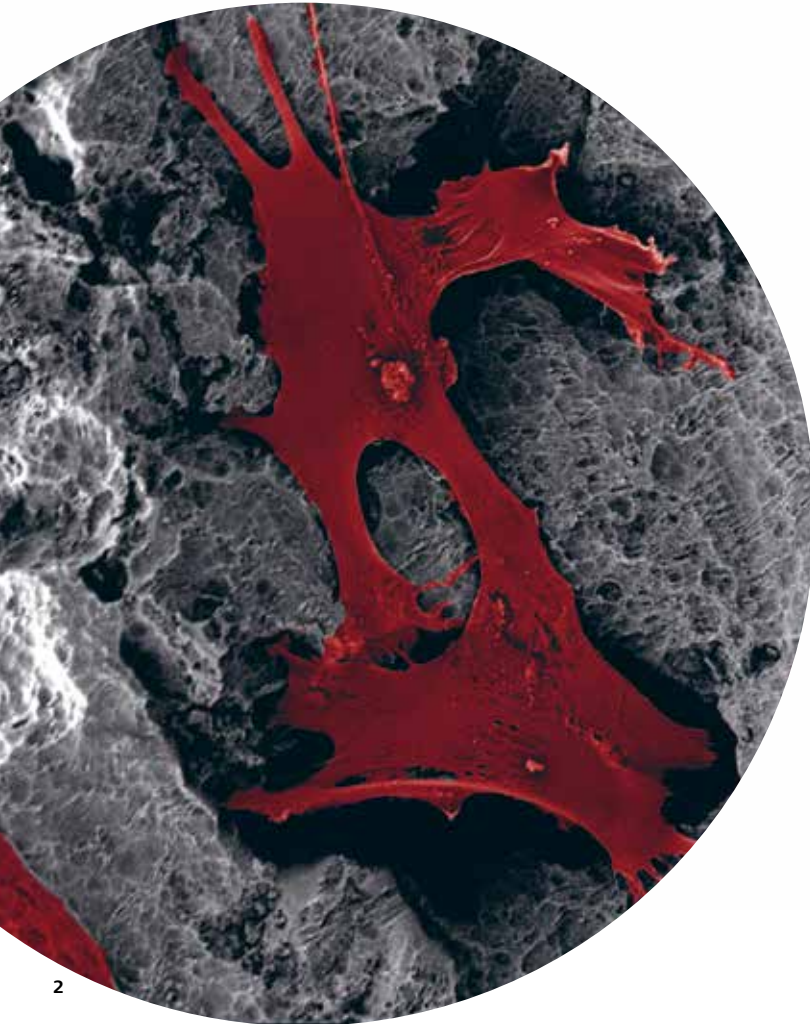
Bei Operationen lassen sich Infektionen indes trotz strikter Hygiene nicht immer vermeiden. Als zusätzlichen Schutz hat die Empa in einem KTI-Projekt zusammen mit einem



1
Die Empa entwickelt mit Industriepartnern eine antibakterielle Beschichtung bei Hüftimplantaten, die das Festwachsen am Knochen unterstützt. (Bild: Medicoat AG und Atesos Medical AG)

2
In Zellversuchen haften Knochenzellen an Implantatoberflächen an.






Industriepartner ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Silberionen in die medizintechnische Beschichtung des Implantats einbringen lassen. Diese wirken antimikrobiell und können so den schwerwiegenden Folgen einer Infektion vorbeugen.

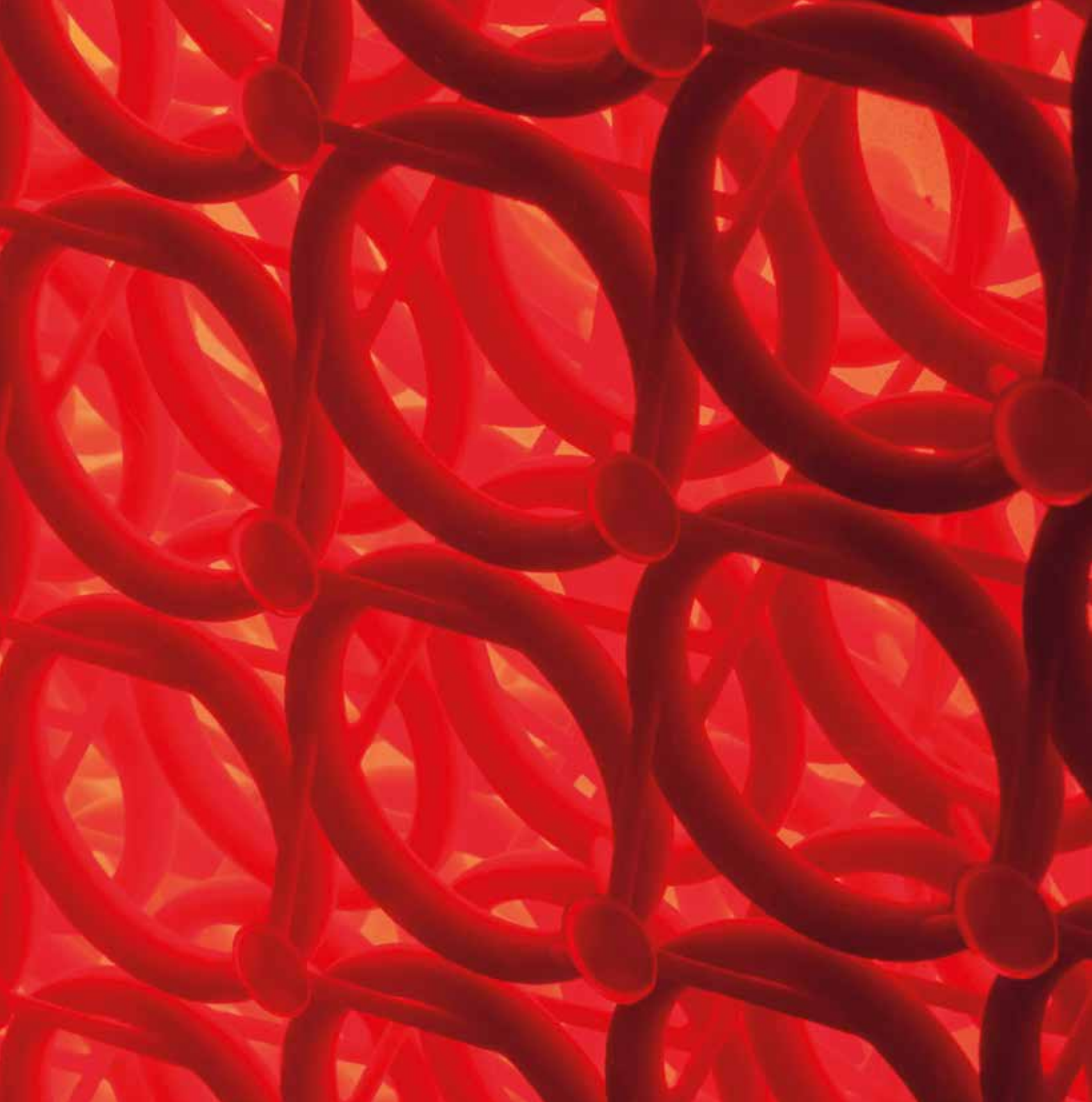
Zelltests für mehr Sicherheit

Die Empa entwickelt diverse biologische und rechnerische Methoden zur Modellierung von mikrobiologischen Umgebungen, menschlichem Gewebe und Organen. Dies ermöglicht es, biomedizinische Materialien bereits in einem frühen Entwicklungsstadium auf gesundheitliche Risiken zu testen. Und nicht zuletzt lassen sich damit auch Tierversuche reduzieren.

Bewährt haben sich diese Methoden bereits bei dem als «Wundermaterial des 21. Jahrhunderts» bezeichneten Graphen. Die Abteilung «Particles-Biology Interactions» klärte die Human- und Umwelttoxizität dieses Materials zuverlässig ab. Dazu wurde Graphen in den verschiedensten Formen und Grössen getestet. Erfreuliches Resultat: Ob industriell oder im Labor synthetisiert, ob in Mikro- oder Nanometergrösse, Graphen löst in menschlichen Zellen keinen Stress aus. //



Model eines phononischen
Kristalls (aus dem 3-D-Drucker)
in einer Detailaufnahme.



Von der Forschung zur Innovation

Erstklassige Forschung und Industrienähe – das sind die zwei Pole, zwischen denen sich die Empa bewegt. Durch effiziente und individuelle Formen der Zusammenarbeit sowie ein breites Spektrum an Dienstleistungen ist die Empa in der Lage, ihren Partnern massgeschneiderte Lösungen anzubieten. Sei es, um neue Produkten und Anwendungen zu entwickeln, Technologien zu optimieren, konkrete Probleme zu lösen oder technisches Fachpersonal auf den neuesten Stand des Wissens zu bringen, die Empa ist mit ihren knapp 550 hochqualifizierten Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen sowie erstklassiger technischer Infrastruktur die richtige Adresse.

Fit für den globalen Wettbewerb dank innovativer Technologien



Die produzierende Schweizer Industrie kämpft an vielen Fronten, vor allem angesichts der derzeitigen Frankenstärke; trotzdem investiert sie in innovative Ideen. In zahlreichen neuen Forschungs- und Entwicklungsprojekten vertraute die Industrie dabei auch 2015 wieder auf das vielfältige Know-how der Empa. Die Projekte zeigen, dass eine enge Zusammenarbeit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer KMU stärkt und Innovationen hervorbringt, die sich am Markt behaupten können.

Im vergangenen Jahr ist die Zahl der neu abgeschlossenen Forschungsvereinbarungen mit Industriepartnern mit mehr als 150 Verträgen gegenüber dem Vorjahr nochmals angestiegen – und hat damit einen neuen Höchststand erreicht. Zudem hat die Empa 18 Patente angemeldet und 20 neue Lizenz- und Technologietransferverträge mit Wirtschaftspartnern abgeschlossen.

Blutzuckermessung ohne Blutentnahme

Die Empa und das Universitätsspital Zürich haben zusammen einen Sensor entwickelt, der den Blutzuckerspiegel über die Haut misst. Das Besondere dabei: Es ist keine Blutentnahme nötig, nicht einmal zur Kalibrierung des Sensors. Eingesetzt werden soll «Glucolight» zunächst bei Frühgeborenen, um eine Unterzuckerung und daraus folgende Hirnschäden zu vermeiden. Der inzwischen zum Patent angemeldete Sensor besteht

aus mehreren Teilen: ein Mikrodialyse-Messkopf und ein Mikrofluidik-Chip mit Fluorometer – beide am Universitätsspital Zürich entwickelt – und eine an der Empa entwickelte «smarte» Membran sowie Lichtquellen und eine Pumpe. Für 2016 sind erste klinische Studien am Universitätsspital Zürich geplant. Bis «Glucolight» standardmässig eingesetzt werden kann, dürfte es aber noch einige Jahre dauern. Zurzeit stehen die Empa und das Universitätsspital Zürich in Verhandlungen mit Partnern für die industrielle Fertigung des Sensors. Dieser liesse sich in Zukunft aber auch in anderen Bereichen einsetzen, etwa bei Diabetes.

Keramikkmesser in der Holzverarbeitenden Industrie

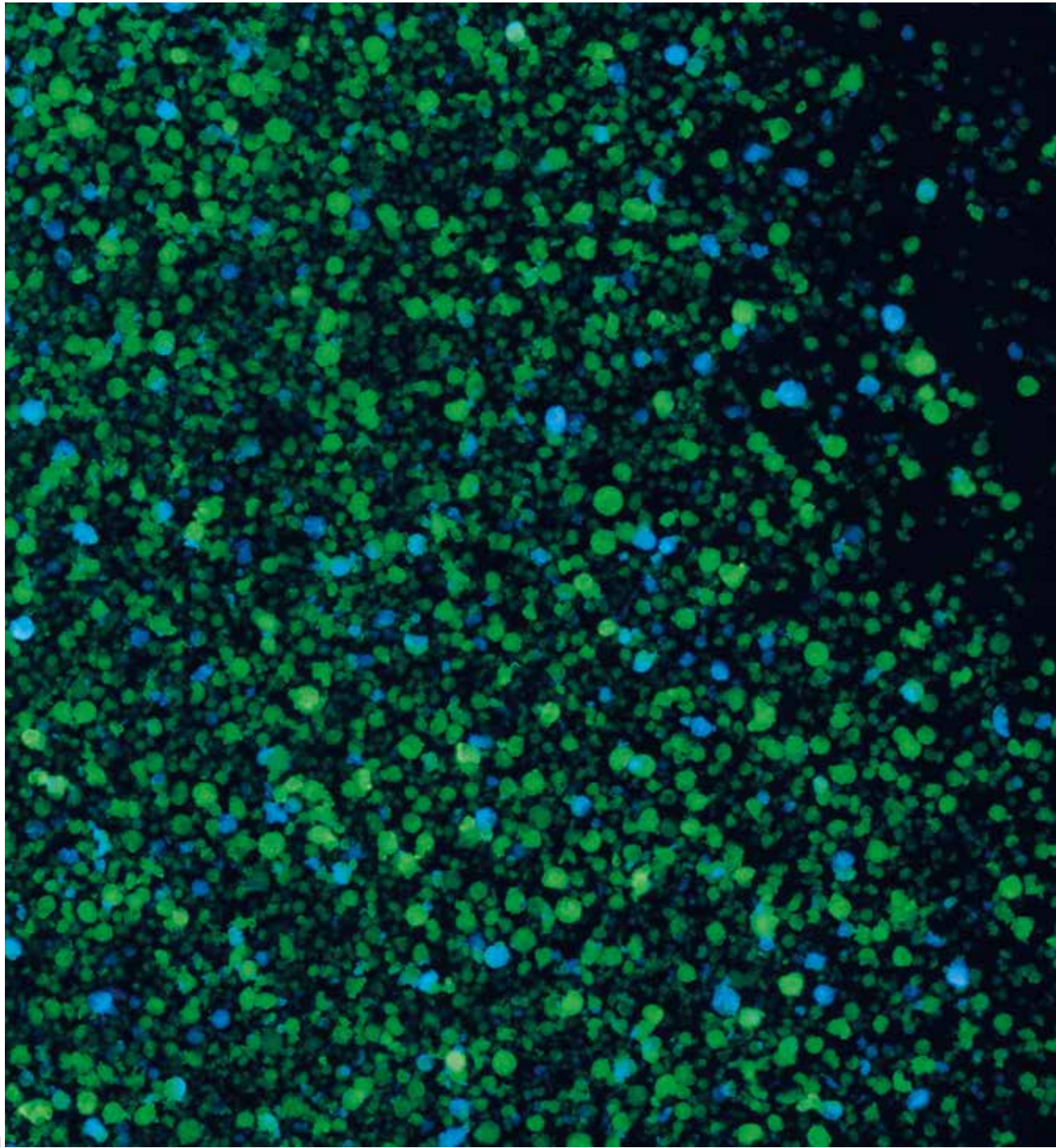
Küchenmesser aus Keramik sind weit verbreitet. Was in Schweizer Küchen zum Standard gehört, könnte bald auch der Industrie zum Vorteil gereichen. Forschende der Empa haben zusammen mit den Firmen OERTLI Werkzeuge AG, Metoxit AG und W. Blösch AG in einem von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geförderten Projekt ein Keramikkmesser für die industrielle Holzbearbeitung entwickelt. Es hält den im Schneideprozess auftretenden hohen Temperaturen von bis zu 800 Grad stand und ist auch von den Produktionskosten her konkurrenzfähig. Das neue Messer bestand seine Feuertaufe in einer Schreinerei in Embrach: Die neuen Kera-



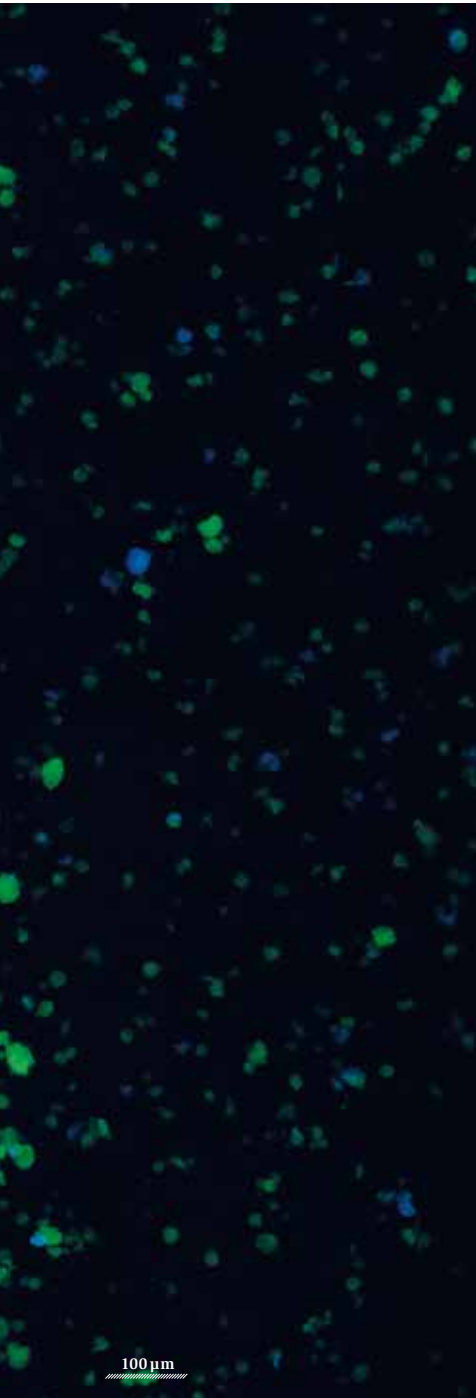
2

1
Messkopf des «Glucolight»-Sensors mit der «smarten» Membran der Empa.

2
Dank der an der Empa entwickelten Schneidtechnik mit Keramik- statt Hartmetallklingen kann Holz um ein Drittel rascher bearbeitet werden als bisher.



1



1
Leuchtende Feststoffpartikel unter dem Lichtmikroskop, deren Nachleuchten in einem KTI-Projekt verbessert wurden.

Kontakt
Marlen Müller
marlen.mueller@empa.ch

mikmesser schneiden genauso gut wie herkömmliche Modelle aus Hartmetall, sind aber um einiges leichter und schneller, wodurch die Produktion der Holzverarbeitenden Industrie erhöht werden kann. OERTLI Werkzeuge AG bereitet derzeit die Markteinführung der Keramikmesser vor.

Leuchtende Feststoffe bringen Licht ins Dunkel

Ob auf Zifferblättern oder auf Notausgangstafeln – leuchtende Materialien haben einen festen Platz in unserer Welt. Vor rund 100 Jahren war es noch radioaktives Radium, das – den Leuchtpigmenten beigemischt – Uhrzeiger im Dunkeln leuchten liess. Später wurde Radium dann durch schwächer strahlendes Tritium ersetzt. Seit 1998 kommen leuchtende Feststoffe ohne Radioaktivität als nachleuchtende Pigmente zum Einsatz. Diese werden seither permanent verbessert mit dem Ziel, sie heller und länger leuchten zu lassen. Die Empa hat nun im Rahmen eines KTI-Projekts zusammen mit der Universität Genf und der Firma LumiNova AG eine neue Generation dieser nachleuchtenden Stoffe entwickelt. Den Forschenden gelang es, die Leuchtintensität und Leuchtdauer deutlich zu steigern. Die inzwischen patentierte Innovation wird heute von der LumiNova AG unter der Marke Swiss Super-LumiNova® Grade X1 für die Uhrenindustrie vertrieben. //

Business-Inkubatoren: Teil des Wissens- und Technologietransfers

Die wirtschaftliche Umsetzung von Forschungsergebnissen in Spin-offs und Start-ups wird von der Empa seit Jahren erfolgreich vorangetrieben. Viele der geförderten Jungunternehmen konnten im vergangenen Jahr eindrucksvolle Erfolge vorweisen.

Vom Start-up zum erfolgreichen KMU

Nach einer drei- bis vierjährigen Förderphase in den Inkubatoren «glatec» und «STARTFELD» müssen sich die Jungfirmen selbstständig im rauen Marktumfeld behaupten. Gut gerüstet, schaffen die jungen KMUs dies mit Bravour. So nennen Kunden die Firma Optotune als den weltweiten Marktführer im Bereich der verformbaren Optik. Das KMU exportiert 97 Prozent seiner Produkte ins Ausland und beschäftigt derzeit 50 Mitarbeitende.

Über 100 Krankenhäuser und Pflegeinstitutionen in der Schweiz und im Ausland verwenden heute den «Mobility Monitor» von Compliant Concept zur Überwachung von bettlägerigen Patienten und dementen Personen, darunter auch Curanum, mit 100 Seniorenresidenzen und Pflegezentren in Deutschland Europas Nummer eins im Pflegemarkt. Viel verspricht man sich auch vom neusten Produkt des Empa-Spin-offs, einem automatischen Umlagerungssystem zur Prävention von Wundliegen (Dekubitus).

QualySense rangierte 2015 mit seinen 30 Mitarbeitenden erneut unter den Top Ten der Schweizer Start-ups und erhielt im vergangenen Jahr am Swiss Economic Forum (SEF) die Auszeichnung als «High-Potential KMU». Der Start-up Polarmond wird sowohl von glatec als auch von STARTFELD gefördert. Polarmond wurde für sein selbstaufwärmendes Biwak-System an der 22. Europäischen Fachmesse OutDoor in Friedrichshafen zum GOLD Winner des «OutDoor Industry Award 2015» gewählt. Und das inzwischen achtköpfige Team von Meteomatics gewann 2015 den STARTFELD-Diamanten für die Entwicklung einer Drohne, die eine äusserst genaue Wetterprognose über die kommenden 24 Stunden ermöglicht. Exakte Wetterprognosen sind für Energieproduzenten, die Versicherungsbranche, im Bereich Aviatik, bei Trading-Unternehmen sowie im Strassen und Schienenverkehr von enormer Bedeutung. Insgesamt beschäftigten die an der Empa inkubierten Start-ups und KMUs (bestehende und ehemalige) 2015 zusammen mehr als 350 Mitarbeitende.

Neues Innovationszentrum neben der Empa in St. Gallen

Direkt neben der Empa in St. Gallen entwickelt STARTFELD sein neues Innovationszentrum. Technologisch fokussiert das Zentrum auf die Verbindung der Themen «Material meets Life» und «Precision meets ICT». Damit entstehen erhebliche Syner-

1

Das «Active Mobilisation System» des Empa-Spin-offs Compliant Concept ist eine aktiv mobilisierende Systemmatratze, die von Dekubitus gefährdete Patienten kontinuierlich, aber kaum wahrnehmbar mobilisiert, ohne sie aufzuwecken.



gien mit den Hightech-Kompetenzclustern im Bodenseeraum. Das neue Innovationszentrum profitiert von der Nähe zur Empa, zur Universität, zur Fachhochschule und zum Kantonsspital St.Gallen. Neben der technologischen wird auch die unternehmerische Entwicklung der Innovationsprojekte unterstützt, egal ob für Start-ups oder für bestehende Unternehmen. Denn Innovation bedeutet für das Zentrum immer auch wirtschaftliche Nachhaltigkeit.

Innovationsprozesse werden von Neugier getrieben. Das Zentrum gibt ihr den nötigen Raum für exploratives Denken und experimentelles Handeln. Die Auseinandersetzung mit verschiedenen Perspektiven inspiriert und hinterfragt. Deshalb fördert und fordert das Zentrum die Vernetzung von Personen und Organisationen, zum Beispiel auch durch regelmässige Veranstaltungen. Als Mieter kommen in erster Linie Start-ups und Explorationsgruppen aus bestehenden Unternehmen in Frage. Damit sind Gruppen gemeint, die für eine beschränkte Zeit vom Tagesgeschäft getrennt werden sollen, um sich ganz dem Erarbeiten neuer spezifisch-technologischer Entwicklungsmöglichkeiten für eine Technologie oder einem Geschäftsfeld widmen zu können. //



1

Schema des selbsterwärmenden Biwak-Systems von Polarmond: Schlafhülle (dunkelblau) mit Reissverschluss-Lüftungsöffnung und Inlett (Bild: Polarmond).

Von der Idee zum Markt

1

Die Demonstrations- und Technologietransferplattform «move» ermöglicht Empa-Forschenden, Fahrzeugantriebe mit niedrigeren CO₂-Emissionen zu entwickeln. Als Energiequelle dient überschüssige Elektrizität.

The Place where Innovation Starts» – dieses Motto ist für die Empa Programm. Wohl wissend, dass der Weg von der Forschung in den Markt häufig lang und ernüchternd ist, unternimmt sie enorme Anstrengungen, um neue Technologien in Zusammenarbeit mit ihren Wirtschaftspartnern schneller und effizienter zur Marktreife zu bringen. Dazu gehören insbesondere auch die Demonstrationsplattformen, die die Empa an ihrem Standort in Dübendorf aufbaut.

«move» – Demonstrations- und Technologietransferplattform für die Mobilität der Zukunft

Ende November wurde «move» im Beisein namhafter Energie- und Mobilitätsexperten feierlich eröffnet. Der Name «move» steht dabei nicht nur für motorisierte Mobilität, sondern auch für den Umstieg von fossiler zu erneuerbarer Energie – bis hin zur Realisierung eines geschlossenen Kohlenstoffkreislaufs nach dem Vorbild der Natur. «move» ist ein Demonstrationsprojekt der Empa und wird von zahlreichen Partnern aus Forschung, Wirtschaft und öffentlicher Hand unterstützt, etwa dem ETH-Rat, dem Bundesamt für Energie (BFE), der Stadt Dübendorf und von der Glattwerk AG sowie den Unternehmen AtlasCopco, H₂ Energy und Hyundai. Hinzu kommt eine Reihe akademischer und industrieller Partner, die bei einzelnen Projekten mitwirken. Die neue Demonstrations- und Technologietransferplattform ermöglicht Empa-Forschenden, neue Fahrzeugantriebskonzepte mit deutlich niedrigerem CO₂-Ausstoss zu entwi-



1





1

In Niederhasli bei Zürich baute Flisom eine 4500 Quadratmeter grosse Pilotproduktionsanlage auf, die für eine Kapazität von 15 Megawatt installierter Solarenergie ausgelegt ist.

Kontakt

Gabriele Dobenecker
gabriele.dobenecker@empa.ch

ckeln und in der Praxis zu erproben. Sie werden in den nächsten Jahren untersuchen, wie überschüssige erneuerbare Elektrizität im Sommerhalbjahr in Treibstoffe für Autos, Nutzfahrzeuge und Arbeitsmaschinen umgewandelt und damit energetisch nutzbar gemacht werden kann.

Flisom nimmt Pilotproduktionsanlage in Betrieb – und sichert weitere Entwicklung

Seit über 20 Jahren forscht Ayodhya N. Tiwari an der Idee leistungsstarker CIGS-Dünnschicht-Solarmodulen (Kupfer-Indium-Gallium-[Di-]Selenid) auf flexiblen Plastikfolien. Vorläufiger Höhepunkt dieser Entwicklung war im September 2015 die Eröffnung einer Pilotproduktionsanlage des von ihm gegründeten Start-up-Unternehmens Flisom. Die weitere Firmenentwicklung konnte durch eine neue Finanzierungsrunde in Höhe von 10 Millionen Schweizer Franken sichergestellt werden, nur zwei Jahre nach einer Investition von 42,5 Millionen. Das Schweizer Start-up entwickelt innovative Technologien zur Produktion günstiger flexibler und leistungsstarker Dünnschicht-Solarmodule. Mit Hilfe seines Rolle-zu-Rolle-Verfahrens ist Flisom in der Lage, bis zu ein Meter breite Bahnen von «Solarfolien» herzustellen, was bislang nicht möglich war. Grundlage für den erfolgreichen Technologietransfer ist die langjährige Forschungsk Kooperation zwischen Flisom und Empa, bei der in den letzten Jahren mehrfach Effizienz-Weltrekorde für flexible Dünnschicht-Solarzellen aufgestellt werden konnten, so beispielsweise 20,4 Prozent im Jahr 2013. Beide arbeiten seit einigen Jahren auch gemeinsam an der Entwicklung einer einzigartigen Produktionsplattform für CIGS-Solarmodule in industriellem Massstab. Denn das Scale-up für grossflächige Solarmodule und die Anpassung dieser komplexen, innovativen Verfahren im Hinblick auf die industrielle Herstellung sind eine grosse Herausforderung, die eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungslabors und Industriepartnern erfordert. //

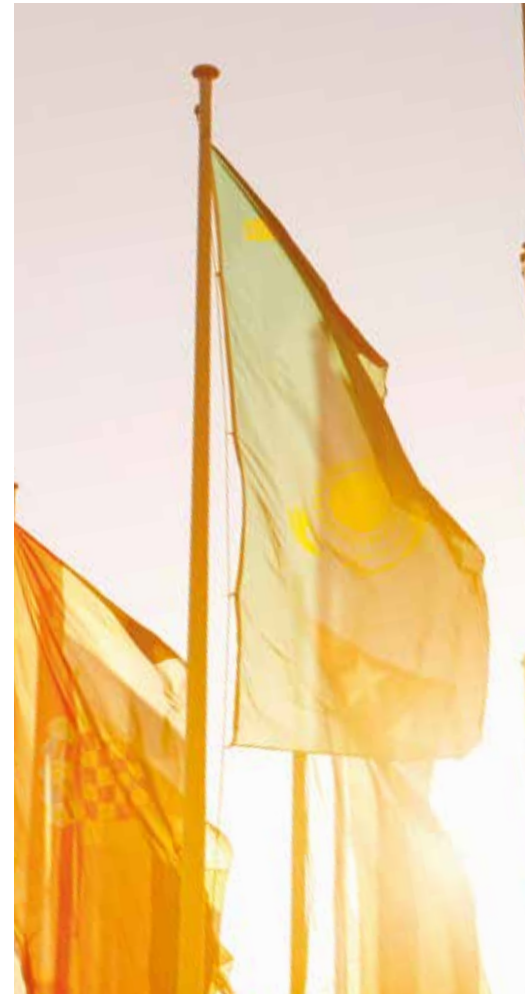
Regel Austausch – über die Schweiz und Europa hinaus

Die Nanosicherheitsforschung ist für die Empa weiterhin ein zentrales Anliegen, das sie mit verschiedenen internationalen Partnern zusammen weiter vorantreibt. So unterzeichneten am 23. Juli 2015 Empa-Direktor Gian-Luca Bona und Hyun Min Park, Vize-Präsident des «Korea Research Institute of Standards and Science» (KRISS), am Empa-Standort St. Gallen ein «Memorandum of Understanding» (MoU), das eine vertiefte Zusammenarbeit der beiden Institute auf dem Gebiet der Nanosicherheitsforschung vorsieht.

Ausgebaut wurde die Forschungszusammenarbeit im vergangenen Jahr auch mit dem US-amerikanischen «Los Alamos National Laboratory» (LANL) sowie mit anderen renommierten internationalen Partnerinstitutionen. So fand im Januar an der Empa in Dübendorf ein zweitägiger Workshop zum Thema Energieforschung mit LANL-Forscherinnen und -Forschern statt. Dabei wurden verschiedene Themen identifiziert, an denen die beiden Institute künftig enger zusammenarbeiten werden.

Im September fand am «Lawrence Livermore National Laboratory» (LLNL) in Kalifornien das 6. «World Materials Research Institutes Forum» (WMRIF) statt, dieses Mal unter dem Motto kritische Materialien und «Computational Science». Am WMRIF treffen sich regelmässig Vertreter und Vertreterinnen der weltweit wichtigsten Materialforschungsinstitutionen. Bereits im März war ein LANL-Nachwuchsforscher – der Gewinner des letztjährigen «WMRIF Young Scientist Award» – im Rahmen eines Forschungsaustauschs zu Gast an der Empa.

Ein bedeutendes Element für die internationale Zusammenarbeit ist auch das Empa-Postdoc-Programm «COFUND», das bereits seit 2011 mit finanzieller Unterstützung der EU läuft und für das derzeit eine weitere Verlängerung beantragt ist. Besonders erfreulich punkto europäischer Forschungskooperationen: Bisher konnten





© iStockphoto

1

Am 23. Juli 2015 unterzeichneten der Vizepräsident des KRISS, Hyun-Min Park (links), und Empa-Direktor Gian-Luca Bona ein «Memorandum of Understanding» (MoU) zwischen der Empa und dem «Korea Research Institute of Standards and Science» (KRISS) zum Ausbau der Zusammenarbeit in der Nanosicherheitsforschung.

2

Im September fand im türkischen Antalya die dritte Ausgabe der zweijährlich ausgetragenen Konferenz über die intelligente Überwachung und Sanierung von Bauwerken, SMAR 2015, statt. Sie wurde gemeinsam von der Empa und der Technischen Universität Istanbul (ITÜ) organisiert.

3

Der deutsche Botschafter in der Schweiz, Otto Lampe, folgt in einem Empa-Labor gespannt den Ausführungen von Empa-Direktor Gian-Luca Bona.

wir – im Gegensatz zu anderen Institutionen – noch keine markanten Einbrüche bei der Beteiligung von Empa-Forscherinnen und -Forschern an EU-Projekten im Rahmen von «Horizon 2020» erkennen.

Auf politischer Ebene tauschte sich Empa-Direktor Gian-Luca Bona unter anderem mit dem deutschen Botschafter in der Schweiz, Otto Lampe, aus; mit der kanadischen Botschafterin Jennifer MacIntyre und der US-amerikanischen Suzan LeVine; sowie mit einer Delegation der (inoffiziellen) Botschaft Taiwans in der Schweiz sowie mit EU-Vertretern anlässlich einer Veranstaltung von SwissCore, dem Verbindungsbüro des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) für europäische Forschung, Innovationen und Bildung in Brüssel. Empa-Direktionsmitglied Pierangelo Gröning und der luxemburgische Staatssekretär für Hochschule und Forschung, Marc Hansen, verständigten sich ausserdem darauf, die Zusammenarbeit der Empa mit den Forschungsinstitutionen in Luxemburg zu verstärken, dies insbesondere beim Aufbau des neuen luxemburgischen «Institute of Science and Technology» (LIST). //



Im Austausch mit der Industrie



Das Jahr 2015 war für die Empa-Akademie geprägt von einem intensiven Austausch mit der Industrie. Insgesamt nahmen an 105 Veranstaltungen mehr als 6000 Personen teil, davon deutlich mehr als die Hälfte aus Industrie und Wirtschaft. Insbesondere die in Dübendorf neu errichteten Demonstrationsplattformen NEST und move stiessen auf grosses Interesse. Dabei bot das Veranstaltungsjahr erneut einen guten Mix aus Konferenzen, Tagungen, Kursen, Vorträgen und Ausstellungen.

Power-to-Gas – Strom in chemische Energieträger umwandeln

Die Energieversorgung der Schweiz steht vor grundlegenden Veränderungen. In erster Linie geht es darum, den CO₂-Ausstoss zu minimieren und von fossilen und nuklearen zu erneuerbaren Energieträgern zu wechseln. Dabei ist auch die Automobilindustrie gefragt. Neben der Einführung von Fahrzeugen mit neuen Antriebssystemen ist die Bereitstellung entsprechender Treibstoffe zentral. An der Empa zeigten Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Industrie und Forschung, wie dies funktionieren könnte, beispielsweise durch den Power-to-Gas-Ansatz, die Umwandlung von erneuerbarem Überschussstrom in chemische Energieträger wie Wasserstoff oder Methan.

Ein weiteres zentrales Thema für die Empa sind neben der Energieforschung innovative Bautechnologien. Der 1. Fachkongress Energie + Bauen, den die Empa im Rahmen der Energietage St. Gallen durchführte, zeigte Lösungsansätze, Beispiele und konkrete Anregungen für die Umsetzung energieeffizienter Bauprojekte zu Themen wie nachhaltige Sanierungskonzepte, Smart Homes und Gebäudehülle.



1



2



Kritische Materialien – wenn der Zukunft die Rohstoffe ausgehen

Zahlreiche metallische Elemente gelten als «kritisch»: Einerseits spielen sie eine immer wichtigere Rolle in sogenannten Zukunftstechnologien, andererseits besteht ein hohes Risiko für Versorgungsengpässe. Betroffen davon sind auch Schweizer KMUs, denen häufig nicht klar ist, von welchen derartigen Materialien sie abhängig sind. Anlässlich eines «Technology Briefings» zum Thema kritische Materialien wurden Strategien für einen nachhaltigeren Umgang mit kritischen Materialien vorgestellt und diskutiert.

Die Medizinaltechnik ist ein wichtiger (und forschungsintensiver) Wachstumsmarkt für die Schweizer Wirtschaft. Kein Wunder also, dass das Thema an der Empa eine wesentliche Rolle spielt: Zehn der 30 Forschungslabors beschäftigen sich unter anderem mit Materialentwicklung, -charakterisierung und -analyse sowie mit Oberflächenbeschichtungen in diesem Bereich. Am «MedTech Day 2015» präsentierten Empa-Forschende neuste Erkenntnisse aus ihren Labors.

Ausserdem richtete die Empa im Juli 2015 die 20. «European Conference on Chemical Vapor Deposition» (EuroCVD20) aus. International führende Expertinnen und Experten tauschten sich während einer Woche am Sempachersee in Dutzenden von Vorträgen und Poster Sessions aus, im informellen Teil der Konferenz über die aktuellen Entwicklungen.

Holz – überraschend vielseitig

Holz ist einer der am längsten verwendeten Rohstoffe und die einzige natürlich produzierte Materialressource der Schweiz. Holz wird heute in unzähligen verschiedenen Funktionen eingesetzt, in erster Linie als Bau- und Brennstoff. Nicht jeder weiss, dass holzbasierte Materialien beispielsweise auch in der Medizin oder bei der Bekämpfung einer Ölpest zum Einsatz kommen können. Die Empa zeigte an diesem Anlass umfassend auf, in welcher vielfältiger und wertvollen Weise Holz zur Verwendung gelangt. //

1

Die Veranstaltungen der Empa-Akademie fanden 2015 erneut regen Anklang.

2

Nationalrätin Kathy Riklin am Gasmobil-Symposium im Oktober in der Empa-Akademie.

Kontaktpflege – digital und real

Das öffentliche Interesse an den Forschungs- und Innovationsprojekten der Empa ist nach wie vor enorm. Dies belegen zum einen die Besucherführungen durch die Empa-Labors, die im vergangenen Jahr mit knapp 3250 Besucherinnen und Besuchern einen neuen Rekord erreicht haben. Doch auch die verschiedenen Online-Plattformen – allem voran die nagelneu gestaltete Homepage der Empa – verzeichnen rege Click-, Like- und Download-Zahlen.

Ein attraktives Schaufenster für jedes Format

2015 stand – zumindest hinter den Kulissen – ganz im Zeichen des Relaunches unserer Webpage. Im Dezember war es dann so weit, *www.empa.ch* ging in einem völlig neuen «Look-and-Feel» live. Zeit war's zugegebenermassen, war doch das vorherige Content Management System (CMS) mehr als zwölf Jahre in Betrieb – was im ICT-Bereich fast schon einem prähistorischen Relikt gleichkommt. Neben einem attraktiven Äusseren bietet die neue Homepage Besucherinnen und Besuchern einen einfacheren Zugang zu den vielfältigen Inhalten der Empa-Forschung, egal, mit welchem Gerät sie darauf zugreifen, ob mit Laptop, Tablet oder Smartphone.

Und auch auf den anderen Online-Kanälen der Empa, den Social Media, war letztes Jahr viel Betrieb. So verzeichneten die Podcast-Kanäle YouTube, iTunes und iTunesU im vergangenen

Jahr zusammengenommen den 1500000sten. Download. Und auf den erst im dritten Jahr bespielten Facebook-, Twitter- und LinkedIn-Plattformen hat die Empa insgesamt mehr als 5500 Follower.

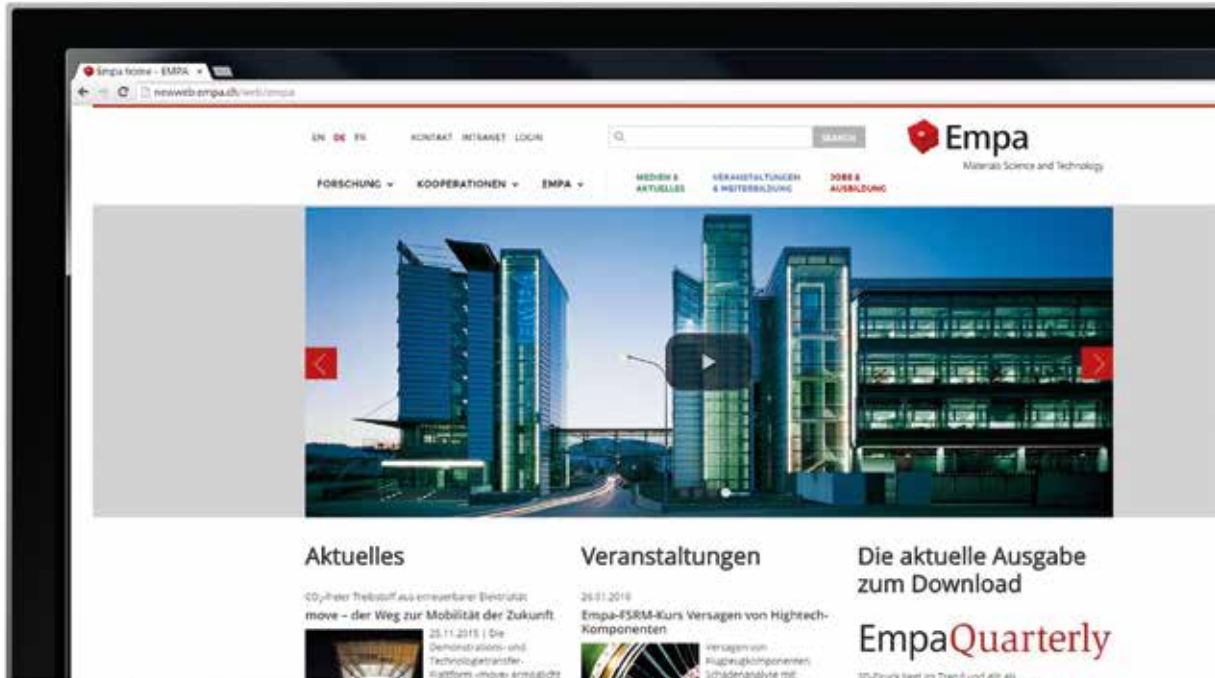
Ein neuer Besucherrekord an der Empa

Nicht ganz so viele Besucher, nämlich knapp 3300, haben letztes Jahr die diversen Empa-Labors «live» besucht – was mit dem erstmaligen Knacken der 3000er-Grenze und einem rund zehn-prozentigen Anstieg einen neuen Besucherrekord darstellt. Rund ein Viertel davon, Tendenz steigend, waren Schüler und Schülerinnen aus Kantons- und Berufsschulen, also der Nachwuchs, dem die Empa-Forscherinnen und -Forscher auf diese Weise die faszinierende Welt der Naturwissenschaften und des Ingenieurwesens nahebringen konnten.

Aber auch zahlreiche Vertreter aus Regierung, Politik und Verwaltung kamen letztes Jahr an die Empa, um sich über verschiedene Aspekte der Empa-Forschung, aber auch über Innovationspolitik allgemein auszutauschen. So konnte die Empa 2015 unter anderem gleich drei Bundesräte bzw. Bundesrätinnen zu verschiedenen Anlässen begrüssen – ein Novum in der 136-jährigen Geschichte des Instituts. Bundesrätin Evelin Widmer-Schlumpf war mit der gesamten BDP-Bundeshausfraktion anlässlich ihres Fraktionsausflugs zu Gast und informierte sich

1

Neben einem attraktiven Äusseren bietet die neue Empa-Homepage Besucherinnen und Besuchern einen einfacheren Zugang zu den vielfältigen Inhalten der Empa-Forschung, egal, mit welchem Gerät sie darauf zugreifen, ob mit Laptop, Tablet oder Smartphone.



1



1

Ein neues, saugfähiges Material aus der Empa-Holzforschung könnte bei künftigen Ölkatastrophen helfen: chemisch modifizierte Nanozellulose. Empa-Abteilungsleiterin Tanja Zimmermann demonstriert Bundesrat Johann Schneider-Ammann, wie es funktioniert.

2

Die Zürcher Regierungsrätin Carmen Walker Späh informiert sich bei Empa-Direktor Gian-Luca Bona anlässlich der Aufrichte von NEST über die Empa-Forschung.

Kontakt

Dr. Michael Hagmann
michael.hagmann@empa.ch

über verschiedene Grossprojekte im Energiebereich. Und besichtigte Bundesrätin Doris Leuthard «move» anlässlich eines Energie-Workshops an der Empa, die Technologietransferplattform für nachhaltige Mobilität. Aber auch CVP-, SP- und FDP-Delegationen – letztere mit Nationalrat Ruedi Noser – nahmen die Gelegenheit wahr, sich aus erster Hand über Innovationen der Empa zu informieren. Und die (damals neugewählte) Zürcher Regierungsrätin Carmen Walker Späh diskutierte mit Empa-Direktor Gian-Luca Bona darüber, wie man innovative Firmen aus dem Ausland auf den Innovationspark in Dübendorf locken könnte.

Auch etliche ausländische Besucherinnen und Besucher kamen letztes Jahr an die Empa, beispielsweise der deutsche Botschafter Otto Lampe sowie verschiedene Delegationen aus Korea, Japan, Russland, den USA, Italien, Grossbritannien, Peru und Kolumbien. Bei den Gruppen aus Italien und Grossbritannien handelte es sich im Übrigen um Wissenschafts- und Technologiejournalisten, die auf Einladung des Eidgenössischen Departements für auswärtige Angelegenheiten (EDA) bzw. der Schweizer Botschaft auf einer «Tour de Suisse» waren und verschiedene Forschungseinrichtungen besuchten. //



1



2

Chancengleichheit und mehr



Gleichstellung und Diversität haben an der Empa seit langem Gewicht. Das zeigt sich an den Empa-Angestellten, die aus über 50 Ländern stammen, und am Empa-Schwerpunkt Familie. Vielfältige Arbeitszeitmodelle und die (nicht nur beschworene, sondern tatsächliche) Vereinbarkeit von Beruf und Familie wurden letztes Jahr mit dem «Prix Balance» ausgezeichnet. Die Empa hat eine eigene Krippe, der Kinder-Pavillon in Dübendorf, und reservierte Krippenplätze an ihren weiteren Standorten in St. Gallen und Thun. Sie bietet Eltern die Möglichkeit, im Sommer die Kinder während einer Woche im hauseigenen Sommercamp betreuen zu lassen. Dieses wird auch 2016 vom 18. bis 22. Juli durchgeführt. Im Herbst findet dann am 7. November erneut der «Zukunftstag» statt, an dem es der Empa ein besonderes Anliegen ist, Mädchen für die Naturwissenschaften und das Ingenieurwesen zu begeistern.

Unter neuer Führung

Im Frühling 2015 hat die langjährige Gleichstellungsbeauftragte Christiane Löwe die Empa verlassen, um die Leitung des Gleichstellungsbüros der

Universität Zürich zu übernehmen. Nun hat Marianne Senn diese Funktion übernommen. Marianne Senn ist Archäometallurgin und zudem verantwortlich für das Archiv der Empa. Sie hat ihr Augenmerk auf den immer noch etwas tiefen Frauenanteil an der Empa gerichtet und möchte auch Männer zur Teilzeitarbeit ermuntern.

Ein Aktionsplan als Mittel einer erneuerten Förderkultur

Im Frühling 2015 ist es der Empa wiederum gelungen, das Prädikat «Familie UND Beruf» mit der Einstufung «Best Practice» zu erringen, das von der Fachstelle «UND – Familien- und Erwerbsarbeit für Männer und Frauen» verliehen wird. Besonders gewürdigt wurde dabei das Engagement der Empa in den wichtigen Bereichen Führungsverständnis und Personalentwicklung. Die Empa hatte in diesem Zusammenhang vor einigen Jahren einen ehrgeizigen Aktionsplan erstellt, der als erstes Thema die Frauenförderung auf allen Ebenen und Funktionsgruppen vorsah; weitere Schwerpunkte drehen sich um die Themen Vereinbarkeit von Beruf und Familie sowie Diversität. Dieser Aktionsplan läuft dieses Jahr aus; die Empa ist jedoch bestrebt, einen neuen, schlagkräftigen Aktionsplan für die Jahre 2017–2020 auszuarbeiten. //



Den Risiken ins Auge sehen

Erst wägen, dann wagen! – Diese Devise des preussischen Generalfeldmarschalls Helmuth Graf von Moltke (1800–1891) beschreibt treffend den Sinn und Zweck des Risikomanagements an der Empa. Dabei geht es darum, mögliche Risiken für das Unternehmen und seine Mitarbeitenden zu erkennen, zu analysieren und zu bewerten, um sie dann zu überwachen und kontrollieren zu können.

Grundsätze im Umgang mit Risiken

Als Teil des ETH-Bereichs hat die Empa ihre Regelungen auf diesem Gebiet nach den Vorgaben für das Risikomanagement im ETH-Bereich und beim Bund ausgerichtet. Ihre Sicherheits- und Risikopolitik legt den homogenen, systematischen und konsequenten Umgang mit den vielfältigen Risiken verbindlich fest. Alle Massnahmen verfolgen in erster Priorität den Schutz von Leib und Leben der Mitarbeitenden, der Gäste sowie aller Personen im Einflussbereich der Empa. Weitere Ziele sind der Schutz der Umwelt vor negativen Einwirkungen, der Schutz des erarbeiteten Know-how und des geistigen Eigentums sowie der Schutz der Reputation der Empa. Das Hauptaugenmerk der Bemühungen liegt dabei auf der Prävention, um Schäden zu verhindern.

Die Umsetzung des Risikomanagements erfolgt nach einem standardisierten Prozess, der mit einer periodischen Bestandsaufnahme von Risiken beginnt. Jedes Risiko wird nach möglicher Auswirkung und Wahrscheinlichkeit des Eintretens bewertet und mindestens in den Dimensionen Finanz- und Reputationsrisiko beurteilt. Schliesslich werden Massnahmen für die Eindämmung der Risiken definiert und umgesetzt. Im Risikocontrolling wird der Risikomanagementprozess regelmässig überprüft und – falls als nötig erachtet – angepasst. Zudem dient das Risikocontrolling der Erfolgskontrolle bei der Umsetzung der Massnahmen.



RISIKO

erfassen!

bewerten!

bewältigen!

überprüfen und steuern!

Gelungene Reorganisation


Die Organisation des Risikomanagements an der Empa wurde im Jahr 2015 weiterentwickelt. Ziel der Reorganisation waren eine Verschlankeung und Professionalisierung. Dies hat im letzten Jahr zu einem höheren Ressourceneinsatz, zu verstärkten Aktivitäten wie auch zu einer verbesserten Sensibilisierung geführt.

Durch die periodische Neubeurteilung der Risikoeinschätzung werden die Risiken bewusster wahrgenommen und sind deshalb besser kontrollierbar. Die daraus abgeleiteten Massnahmen, beispielsweise die intensivierete Schulungstätigkeit, zeigen bereits Wirkung.

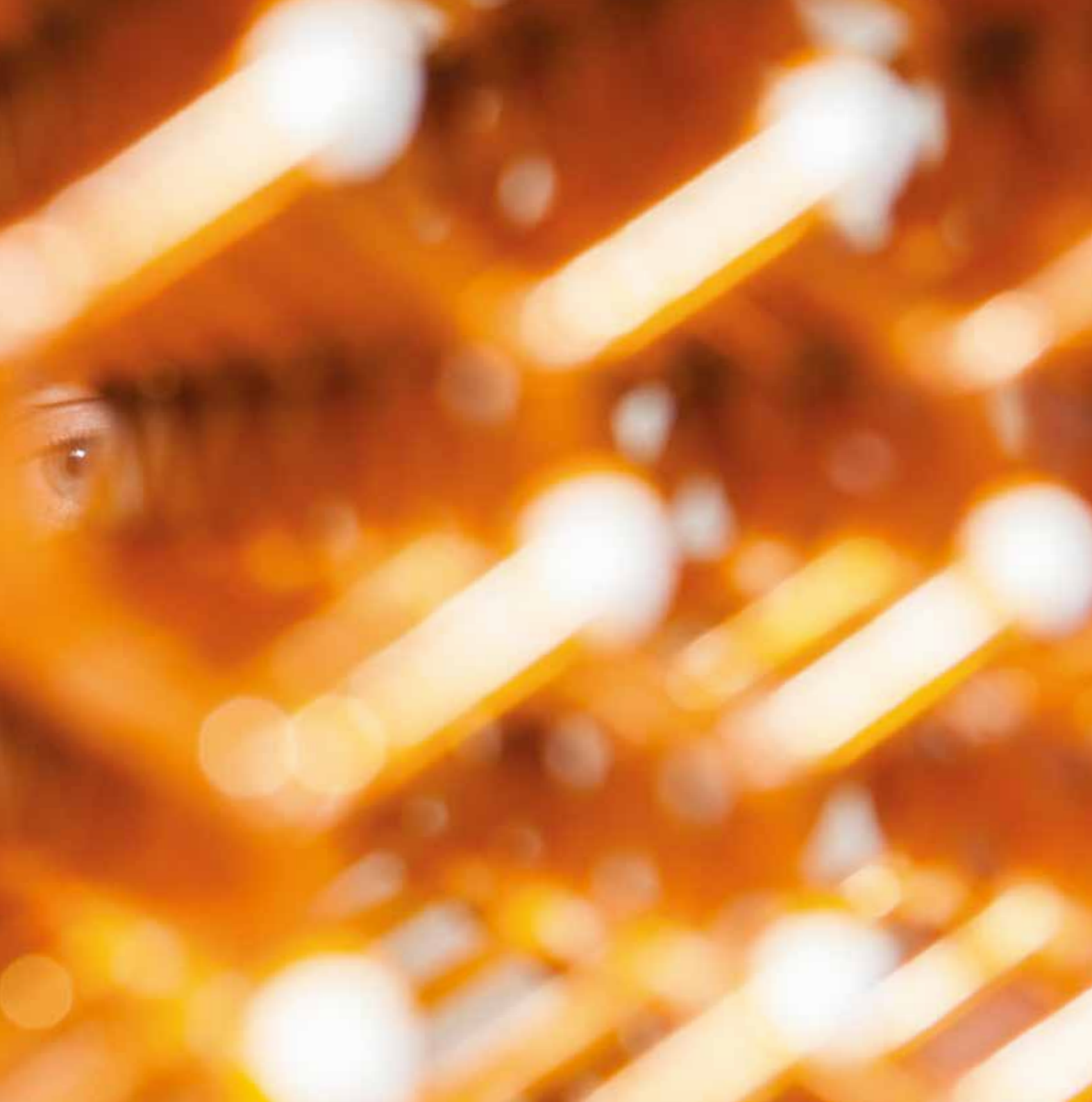
Ein neues Notfallkonzept für Evakuations- respektive Amokfälle befindet sich momentan in der Umsetzungsphase. An den Standorten Dübendorf und St.Gallen wurden neue Evakuationsorganisationen und Alarmierungsmittel aufgebaut und Sammelplätze definiert, zu denen sich alle Personen im Evakuationsfall zu begeben haben. Im Zuge der Umsetzung wurde für Besucherinnen und Besucher ein Besucherausweis eingeführt, auf dem unter anderem die wichtigsten Notfallinstruktionen aufgeführt sind. Der Standort Thun ist diesbezüglich in die Notfallorganisation des dortigen Waffenplatzes integriert.

Zur Erhöhung der Chemiesicherheit wurde unter anderem die Beschriftung der Labors vereinheitlicht. Neu sind in allen Labors die dort befindlichen Gefahrenstoffe wie auch die Namen und Telefonnummern der Laborverantwortlichen aufgelistet – im Ernstfall sehr wichtige Informationen für die Sicherheit von Feuerwehr und Sanität. In Arbeit ist eine ICT-Richtlinie, die speziell auf den Umgang mit vertraulichen Daten eingehen wird – eine spezielle Herausforderung in der offenen Wissenschaftswelt. //

1
Ein kleiner, aber konkreter Punkt in der Umsetzung des Risikomanagements: Festlegung von Sammelplätze für die Mitarbeitenden bei Gebäudeevakuationen.



Forscher Andrea Bergamini schaut durch das Modell einer Diamantstruktur. Er erforscht, ob solche Kristallstrukturen beispielsweise Schwingungen in Zwischendecken von Gebäuden tilgen können.



Zahlen und Fakten

Forscher messen gerne, unter anderem auch ihre eigene Leistung: 2015 haben Empa-Forscherinnen und -Ingenieure mehr als 630 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht und knapp 20 Entwicklungen zum Patent angemeldet. Ende Jahr liefen an der Empa rund 110 vom Schweizer Nationalfonds (SNF) finanzierte Projekte; knapp 90 Projekte, die von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) unterstützt werden, und knapp 60 EU-Projekte. Die 21 Spin-offs beschäftigen zusammen mit weiteren Start-ups in den beiden Business-Inkubatoren der Empa insgesamt knapp 360 Mitarbeitende, Tendenz steigend.

Die Erfolgsrechnung finden Sie im Empa-Finanzbericht 2015 online unter:
www.empa.ch/web/s604/annual-reports

Ende 2015 arbeiteten 942 (2014: 950) Personen an der Empa. Dies entspricht, bedingt durch die vielen Teilzeitmöglichkeiten, einem Vollzeitäquivalent von 868,7 (2014: 878,5) Stellen.

Der Bestand an wissenschaftlichem Personal beträgt 501 (2014: 524) Personen. Davon sind 117 (2014: 123) Senior Scientists. Als technisch-administratives Personal waren im Berichtsjahr 400 (2014: 383) Personen tätig. In der obigen Tabelle nicht aufgeführt sind 26 Professorinnen und Professoren, weil die Empa als Forschungsinstitut keine eigenen akademischen Titel verleiht.

Der Frauenanteil von 27,5 (2014: 27,6) Prozent widerspiegelt die Absolventenzahlen der Universitäten und der ETH bei den Fakultäten, die an der Empa vertreten sind.

Der Ausländerbestand liegt bei 388 (2014: 383) Personen, das sind rund 41 (2014: 40) Prozent des gesamten Personalbestands. Aus dem EU-Raum stammen 265 (2014: 273) Personen, das sind 68 (2014: 71) Prozent aller ausländischen Mitarbeitenden.

Nachdem in den vergangenen Jahren die Zahl der befristeten Arbeitsplätze stetig angestiegen war, ist sie nun mit 398 (2014: 416) Personen wieder leicht rückläufig. Die durch-

schnittliche Vertragsdauer hat sich nicht verändert; sie wird weiterhin von den üblichen Vereinbarungen für Doktorierende und Postdoktorierende bestimmt.

Die Empa bietet eine breite Palette von Berufslehren an und beschäftigt 41 (2014: 43) Lernende. Auch 2015 haben alle Lernenden die Abschlussprüfungen bestanden. //

PERSONALBESTAND (AM 31. DEZEMBER)

	2014	2015
Wissenschaftliches Personal	524	501
Technisches/administratives Personal	383	400
Davon Lernende	43	41
Total	950	942

WISSENSCHAFTLICHER OUTPUT

	2014	2015
ISI-Publikationen	486	634
Konferenzbeiträge	1222	1121
Doktoratsabschlüsse	32	38
Laufende Doktorate	171	175
Lehrtätigkeit (in Stunden)	3732	3760
Preise/Auszeichnungen	62	35

MEDIENPRÄSENZ

	2014	2015
Radio & TV	80	73
Print	1000	1000
Online	2750	2853
Total	3830	3920
Sprachen	30	32

EMPA-AKADEMIE

	2014	2015
Empa-Veranstaltungen	81	105
Teilnehmende	4100	6100
Wissenschaftliche Tagungen	15	12
Fachveranstaltungen für die Wirtschaft	33	44

WISSENS- & TECHNOLOGIETRANSFER

	2014	2015
Neue F&E-Vereinbarungen	127	157
Aktive Verwertungsverträge (Lizenz/Option/Verkauf)	75	80
Neue Verwertungsverträge	16	20
Neue Patentanmeldungen	18	18

SPIN-OFFS & START-UPS (tebo & glaTec)

	2014	2015
Firmen gesamt	37	45
Davon Spin-offs	21	21
Mitarbeitende gesamt	281	359
Davon Mitarbeitende der Spin-offs	102	105

LAUFENDE PROJEKTE

	2014	2015
SNF	119	112
KTI	103	89
EU	63	58

ETH-Rat

Der ETH-Rat leitet den ETH-Bereich mit den beiden Eidgenössischen Technischen Hochschulen und den vier Forschungsanstalten PSI, WSL, Eawag und Empa.

PRÄSIDENT

Fritz Schiesser **Dr. iur.**, Haslen GL

VIZEPRÄSIDENT

Paul L. Herrling **Prof. Dr.**, Novartis, Basel

MITGLIEDER

Patrick Aebischer **Prof. Dr.**, EPF Lausanne

Lino Guzzella **Prof. Dr.**, ETH Zürich

Beatrice Fasana Arnaboldi **Dipl. Ing. Lm**, Sandro Vanini SA, Rivera

Barbara Haering **Dr. Dr. h.c.**, Econcept AG, Zürich

Beth Krasna **Dipl. Ing.** ETH, unabhängige Verwaltungsrätin

Joël Mesot **Prof. Dr.**, PSI, Villigen

Jasmin Staiblin **Dipl. El.-Ing.**, Alpiq Holding AG, Lausanne

Markus Stauffacher **Dr.**, ETH Zürich

Olivier Steimer **lic. iur.**, Waadtländer Kantonalbank, Lausanne

Industriebeirat

Der Industriebeirat ist ein Gremium führender Persönlichkeiten, das die Leitung der Empa bei grundlegenden Fragen berät.

PRÄSIDENT

Henning Fuhrmann **Dr.**, Siemens, Zug

MITGLIEDER

Kurt Baltensperger **Dr.**, ETH-Rat, Zürich

Andreas Hafner **Dr.**, BASF, Basel

Markus Hofer **Dr.**, Bühler, Uzwil

Peter Kupferschmid **Dr.**, Meggitt Sensing Systems, Fribourg

Robert Frigg **Prof. Dr. mult. h.c.**, MEDTECinside, Bettlach

Urs Mäder **Dr.**, Sika, Zürich

Jan-Anders Manson **Prof. Dr.**, EPF Lausanne

Markus Oldani **Dr.**, ALSTOM, Baden

Andreas Schreiner **Dr.**, Novartis, Basel

Eugen Voit **Dr.**, Leica Geosystems, Heerbrugg

Forschungskommission

Die Forschungskommission berät die Empa-Leitung in Forschungsfragen, bei der Wahl des F + E-Spektrums und bei der Evaluation von F + E-Projekten.

MITGLIEDER

Thomas Egli **Prof. Dr.**, Eawag, Dübendorf

Karl Knop **Dr.**, Zürich

Dimos Poulidakos **Prof. Dr.**, ETH Zürich

Heike Riel **Prof. Dr.**, IBM, Rüschlikon

Marcus Textor **Prof. Dr.**, ETH Zürich

Alexander Wokaun **Prof. Dr.**, PSI, Villigen

Organigramm

Stand Mai 2016

RESEARCH FOCUS AREAS (Forschungsschwerpunkte)

Nanostrukturierte Materialien

Dr. Pierangelo Gröning

Sustainable Built Environment

Dr. Peter Richner
Dr. Giovanni Terrasi

Gesundheit und Leistungsfähigkeit

Prof. Dr. Alex Dommann

Natürliche Ressourcen und Schadstoffe

Dr. Brigitte Buchmann

Energie

Dr. Peter Richner
Urs Elber

DIREKTION

Direktor

Prof. Dr. Gian-Luca Bona

Stv. Direktor

Dr. Peter Richner

Mitglieder

Dr. Brigitte Buchmann | Prof. Dr. Alex Dommann | Dr. Pierangelo Gröning | Dr. Urs Leemann

DEPARTEMENTE

Moderne Materialien, Ober- und Grenzflächen

Dr. Pierangelo Gröning

Zentrum für Elektronenmikroskopie

Dr. Rolf Erni

ABTEILUNGEN

Hochleistungskeramik

Prof. Dr. Thomas Graule

Fügetechnologien und Korrosion

Dr. Lars Jeurgens

Nanoscale Materials Science

Prof. Dr. Hans Josef Hug

Advanced Materials Processing

Prof. Dr. Patrik Hoffmann

nanotech@surfaces

Prof. Dr. Roman Fasel

Werkstoff- und Nanomechanik

Dr. Johann Michler

Dünnschichten und Photovoltaik

Prof. Dr. Ayodhya N. Tiwari

Funktionspolymere

Prof. Dr. Frank Nüesch

Bau- und Maschineningenieurwesen

Dr. Peter Richner

Strassenbau/Abdichtungen

Prof. Dr. Manfred Partl

Angewandte Holzforschung

Dr. Tanja Zimmermann

Ingenieur-Strukturen

Prof. Dr. Masoud Motavalli

Mechanical Systems Engineering

Dr. Giovanni Terrasi

Multiscale Studies in Building Physics

Prof. Dr. Jan Carmeliet

Mechanical Integrity of Energy Systems

Prof. Dr. Edoardo Mazza

Center for Synergetic Structures

Dr. Rolf Luchsinger (PPP Empa – Festo)

Beton/Bauchemie

Prof. Dr. Pietro Lura

Building Energy Materials and Components

Dr. Matthias Koebel

Urban Energy Systems

Viktor Dorer

Materials Meet Life

Prof. Dr. Alex Dommann

Zentrum für Röntgenanalytik

Dr. Antonia Neels

Schutz und Physiologie

Dr. René Rossi

Advanced Fibers

Prof. Dr. Manfred Heuberger

Particles-Biology Interactions

Dr. Peter Wick

Biointerfaces

Dr. Katharina Maniura

Reliability Science and Technology

Dr. Urs Sennhauser

WISSENS- UND TECHNOLOGIETRANSFER

NEST Reto Largo	move Dr. Brigitte Buchmann	Empa-Akademie Anja Pauling	glaTec – Technologiezentrum in Dübendorf Mario Jenni	STARTFELD Innovationszentrum Peter Frischknecht	Zentrum für Zuverlässigkeitstechnik Dr. Urs Sennhauser	International Research Cooperations Prof. Dr. Harald Krug
---------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	---	--	---

Empa-Portal

portal@empa.ch
Tel. +41 58 765 44 44

Mobilität, Energie und Umwelt	Support
Dr. Brigitte Buchmann	Dr. Urs Leemann
	Bibliothek (Lib4RI) Dr. Lothar Nunnenmacher
Materials for Energy Conversion Dr. Corsin Battaglia	Informatik Stephan Koch
Advanced Analytical Technologies Prof. Dr. Davide Bleiner	Konstruktion/Werkstatt Stefan Hösli
Luftfremdstoffe/Umwelttechnik Dr. Lukas Emmenegger	Finanzen/Controlling/Einkauf Heidi Leutwyler
Fahrzeugantriebssysteme Christian Bach	Kommunikation Dr. Michael Hagmann
Materials for Renewable Energy Prof. Dr. Andreas Züttel (Antenne Sion)	Personal André Schmid
Technologie und Gesellschaft Dr. Patrick Wäger	Marketing, Wissens- und Technologietransfer Gabriele Dobenecker
Akustik/Lärminderung Kurt Eggenschwiler	Bau 3 FI, Logistik und Infrastruktur Hannes Pichler

Empa – The Place where Innovation Starts

Empa
www.empa.ch

CH-8600 Dübendorf
Überlandstrasse 129
Telefon +41 58 765 11 11
Telefax +41 58 765 11 22

CH-9014 St. Gallen
Lerchenfeldstrasse 5
Telefon +41 58 765 74 74
Telefax +41 58 765 74 99

CH-3602 Thun
Feuerwerkerstrasse 39
Telefon +41 58 765 11 33
Telefax +41 58 765 69 90

