

Empa Quarterly

Forschung & Innovation #62 | Sept. 18

Gut vernetzt in der Romandie

Fassaden als
Solarkraftwerk

Medikamente
zum Anziehen

Nächste Generation
Uhrspiralen

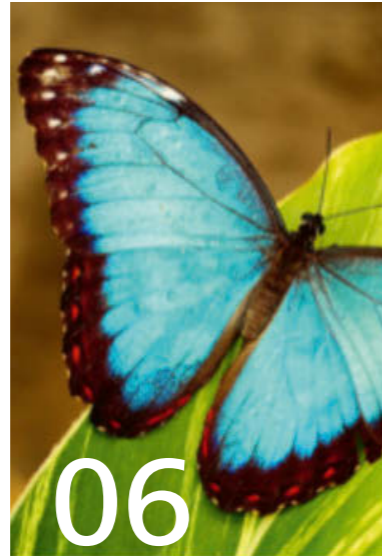


Empa

Materials Science and Technology



04



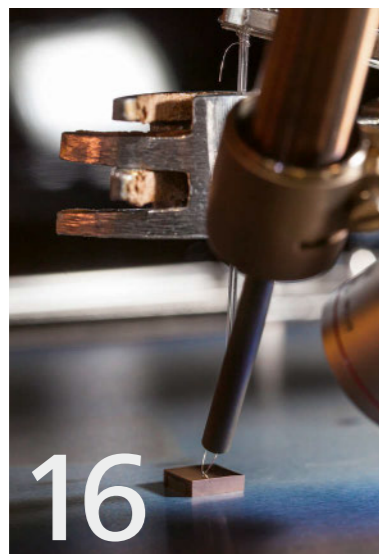
06



20



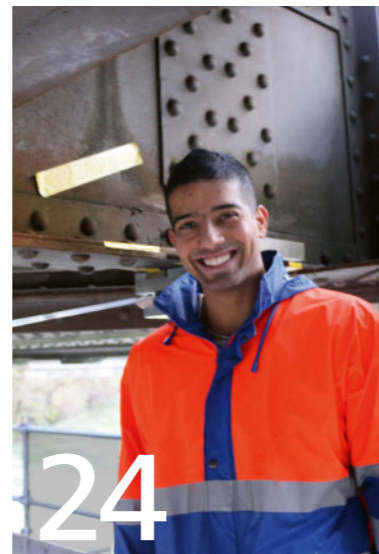
27



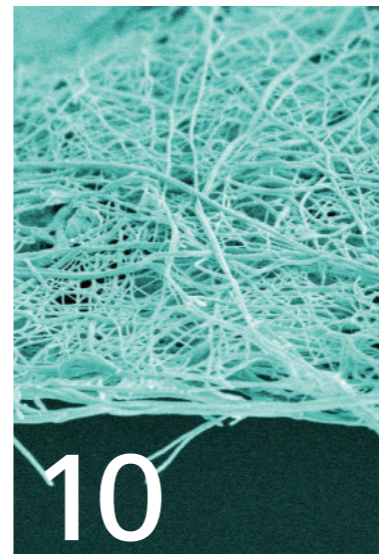
16



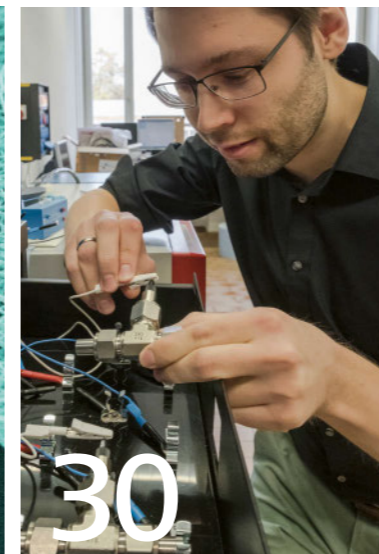
32



24



10



30



Fokus

Mit der Romandie vernetzt

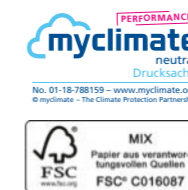
- 04** Innovation «à la Suisse» kennt keinen Röstigraben
Empa-Direktor Gian-Luca Bona über (Gesamt-)Schweizerische Partnerschaften
- 06** Diese Fassade hats in sich
Die Unit «SolAce» produziert Energie und Wohlfühlklima zugleich
- 10** Ende der Maskerade / Medikamente zum Anziehen
Textile Innovationen unterstützen die Medizin
- 12** Was macht Graphen in der Lunge?
Ein «atmendes» Lungenmodell untersucht Effekte von Nanopartikeln
- 14** Nächste Generation Uhrspiralen
Hightech-Bauteile aus galvanischer Produktion
- 16** Löten statt giessen / Troubleshooter der Lasertechnik /
Der passende Laser schweisst besser
Metallbearbeitung: Lernen vom Erfahrungsschatz der Profis
- 18** Im Westen gut vernetzt
Die Partnerschaften der Empa auf einen Blick
- 20** Schweizer Solarszene bündelt Kräfte
2050 soll die Sonne Hauptlieferant für Energie sein
- 24** Korsett für historische Stahlbrücken
Carbonfasern wirken lebensverlängernd
- 27** Warum quillt und reisst Beton?
Auf der Spur der Alkali-Aggregat-Reaktion
- 30** Batterien, die nicht mehr brennen
Festkörperakkus aus Boraten – die Zukunft?
- 32** Der Mann, der Elektronen filtert
Teilchenforschung mit den Mitteln der Chemie
- 34** Ein starkes Duo
Zusammenarbeit in der Berufsbildung

Titelbild

Das Swiss Tech Convention Center (STCC) ist Teil der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Die Fassade des Kongresszentrums besteht aus farbigen Solarzellen, die nach dem Erfinder «Grätzel-Zellen» genannt werden. Die Anzahl und Grösse der hier verbauten Zellen ist weltweit einzigartig. Die Firma Solaronix mit Sitz in Aubonne, unweit von Lausanne, hält das Herstellungspatent für Grätzel-Zellen und baute die besonderen Fassadenpaneele. Solaronix ist Industriepartner der Empa und der EPFL. Seite 20 – 22. Bild: Solaronix

Impressum

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



Empa Social Media



Innovation «à la Suisse» kennt keinen Röstigraben

TEXT: Gian-Luca Bona / BILD: Empa

Die Schweiz ist ein kleines Land. Trotzdem spielen wir im Bereich Forschung und Innovation in der «Champions League», wie die erneute Spitzenplatzierung im «Global Innovation Index» (GII) fürs laufende Jahr eindrücklich zeigt. Und das zum achten Mal in Folge – eine beachtliche Leistung für ein Land mit der Einwohnerzahl von New York City.

Vielleicht sind wir ja nicht trotz, sondern gerade wegen unserer Kleinräumigkeit so erfolgreich. In drei Stunden kann man mit dem öffentlichen Verkehr fast jede grössere Schweizer Stadt erreichen – und dabei erst noch vier Sprachen und verschiedene Kulturen erleben. Eine solche Nähe schreit förmlich nach überregionaler Zusammenarbeit; die verschiedenen Sprachen und Kulturen sollten uns dabei nicht hindern, sondern im Gegenteil bereichern und inspirieren. Denn gerade an den Grenzflächen verschiedener Disziplinen und Kulturen entsteht oft ganz Besonderes.

Trotz unserer Spitzenstellung müssen wir uns nämlich über eines im Klaren sein: Der internationale Kampf um die klügsten Köpfe wird künftig deutlich härter werden. Nur einige Indizien: Länder wie China und Singapur investieren massiv in Forschung und Innovation; bereits heute melden chinesische Forschungseinrichtungen weltweit am meisten Patente an. Und unter den fünf erfolgreichsten Innovationsclustern befinden sich laut GII gleich zwei in China. (Zum Vergleich: Die Region Zürich liegt auf dem 48. Platz...)

Was heisst das für die Schweiz? Noch enger zusammenarbeiten, unser exzellentes Know-how teilen, unsere Vielfalt als Stärke einsetzen, Synergien besser nutzen – damit unsere Forschungsinstitutionen und Unternehmen im globalen Wettbewerb weiterhin ganz oben mithalten können. Wir täten gut daran, hierzulande eine Kultur der «Open Innovation» zu pflegen. Im Team ist man allemal stärker als allein. Und erfolgreiche Teams leben von Vielfalt und Diversität.

Diesem Thema widmet sich die aktuelle Ausgabe des «EmpaQuaterly» – mit einem speziellen Fokus: den zahlreichen Partnerschaften, die die Empa zu Forschungsinstitutionen und Firmen in der Westschweiz, also «ennet des Röstigrabens», unterhält. Und zwar aus aktuellem Anlass: Vor kurzem wurde im NEST, unserer Demonstrationsplattform für nachhaltige Gebäude- und Energietechnologien, die neuste Unit namens «SolAce» in Betrieb genommen, die unter Leitung des EPFL-Forschers Jean-Louis Scartezini entstand (S. 6).

Denn trotz ihrer drei Standorte im deutschsprachigen Landesteil ist die Empa eine Institution für die ganze Schweiz: Die Empa hat rund 600 Kooperationen mit Organisationen in der Romandie, und das an rund 60 Orten (Karte S. 18). Darunter Forschungspartner wie unsere Schwesterinstitution, die EPFL – mit der die Zusammenarbeit am intensivsten ist, unter anderem durch gemeinsame Professuren und zahlreiche Doktorierende sowie durch gemeinsame Labors wie das «Laboratory of Materials for Renewable Energy» in Sion –, aber auch unzählige Industriepartner, vom Start-up über KMU bis hin zu global agierenden Konzernen wie etwa die Schweizer Uhrenindustrie (S. 14).

Es sind Partnerschaften wie diese, die in ihrer Gesamtheit dafür sorgen, dass die Schweizer Forschung – und damit letztlich unsere gesamte Volkswirtschaft – auch morgen noch erfolgreich sein wird. Viel Vergnügen beim Lesen!

Empa-Direktor Gian-Luca Bona hat Partnerschaften mit der Romandie fest im Blick.



Diese Fassade hat es in sich

Wer sich den grössten Teil des Tages im Innern von Gebäuden aufhält, sehnt sich nach einer angenehmen Wohn- und Arbeitsatmosphäre. Forschende des Labors für Sonnenenergie und Bauphysik der EPFL suchen nach Wegen, wie die Energiegewinnung an der Gebäudehülle maximiert und dabei auf umweltfreundliche Weise der Komfort im Innern optimiert werden kann. Wie das geht, zeigen sie im «SolAce», der neuesten Unit im Forschungsgebäude NEST.

TEXT: Stephan Kälin, BILDER: Roman Keller, GRAFIK: Empa

Energiegewinn über die Fassade: Die grün-blau verglasten Photovoltaikmodule und solarthermischen Kollektoren an der Fassade von «SolAce» sollen im Jahresverlauf mehr Energie produzieren als die Unit verbraucht.

Ähnlich einem Schmetterlingsflügel schimmert die grün-blaue Fassade der NEST-Unit «SolAce» im Sonnenlicht. Seit dem 24. September ist der neuste temporäre Gebäudeteil des Forschungs- und Innovationsgebäudes der Empa und Eawag in Dübendorf offiziell eröffnet. Es handelt sich um kombinierte Wohn- und Arbeitsräume auf knapp 100 Quadratmetern – eingebaut auf der Südseite von NEST zwischen der zweiten und dritten Betonplattform, die zum Kern des setzkastenähnlichen Gebäudes gehören.

«SolAce» soll über die Fassade mehr Energie produzieren, als die Unit im Jahresverlauf braucht, und gleichzeitig den Benutzerinnen und Benutzern optimalen Komfort zur Verfügung stellen», erklärt Jean-Louis Scartezzini die Zielvorgabe. Der EPFL-Forscher ist Direktor des Labors für Sonnenenergie und Bauphysik; von ihm stammt die Idee zur neusten NEST-Unit. Zur Erreichung der genannten Ziele vereinen die Forschenden mehrere aktive und passive Fassadenelemente, deren zugrunde liegenden Technologien aus dem Labor in Lausanne hervorgegangen sind. Einige dieser Technologien sind mittlerweile über Start-ups und durch Kooperationen mit Wirtschaftspartnern kurz vor der Kommerzialisierung, bei einigen ist der Weg etwas länger. «Im NEST haben wir die einzigartige Möglichkeit, die verschiedenen Technologien im Zusammenspiel und in einer realen Umgebung zu untersuchen», sagt Scartezzini.

Solarstrom und Warmwasser

Die positive Energiebilanz der Unit soll durch die Produktion von Solarstrom und Warmwasser direkt an der Fassade erreicht werden. Dazu kommen Fotovoltaikmodule sowie solarthermische Kollektoren mit einer neuartigen, farbigen Verglasung auf Basis von Nanotechnologie zum Einsatz. Mit dem Ziel, die Integration von Fotovoltaikanlagen in die Gebäudehülle zu fördern, indem über verschiedene Farben eine grössere architektonische Freiheit geboten wird, forschte ein Team an der EPFL seit fast 20 Jahren an farbgebenden Beschichtungen. Den Forschern

unter der Leitung von Andreas Schüler war klar, dass eine Beschichtung höchstens geringe Energieverluste verursachen darf. Absorbierende Farbpigmente kamen nicht in Frage. Stattdessen rufen nun Nano-Dünnschichten von 5 bis 200 Nanometern auf der Innenseite der Verglasung sogenannte Interferenz-Farbeffekte hervor, wie sie etwa auf einer Seifenblase oder auf den Flügeln eines Schmetterlings auftreten. «Da die Nanobeschichtung sehr transparent ist, ergeben sich praktisch keine Absorptionseffekte und nur sehr geringe Energieeinsparungen», erklärt Schüler. Die inzwischen patentierte Technologie wird zurzeit vom Spin-off «SwissINSO» zur Marktreife gebracht und kommt im NEST in einer grün-blauen Variante zur Anwendung.

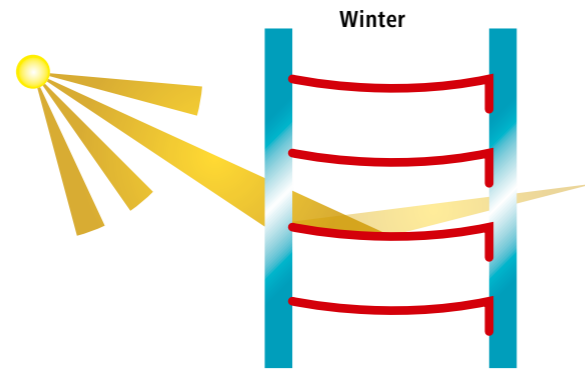
Überwachung von Wohlfühlfaktoren

Neben Arbeitsplätzen für vier Personen bietet «SolAce» einen Wohnbereich mit Küche und Schlafmöglichkeiten für zwei Personen. Um das Versprechen von optimalem Komfort einzulösen, versuchen die Forschenden die individuelle Wahrnehmung der Nutzer mit Hilfe eines neuartigen Vision-Sensorsystems nachzuempfinden. Die prototypischen Sensoren messen aus der Sicht der Benutzer – zum Beispiel einer arbeitenden Person am

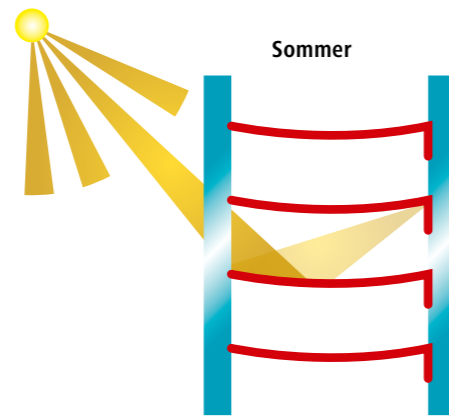
Schreibtisch – die Beleuchtungsverhältnisse und die Blendeffekte. Die Echtzeit-Überwachung wird dazu genutzt, die Beleuchtungs- und Beschattungssysteme optimal zu steuern. Wird also ein bestimmter Blendwert überschritten, reagieren die geschwungenen Lamellenstoren und leiten die eindringenden Lichtstrahlen an die Decke. Mit Hilfe von zirkadianer Beleuchtung sollen die Bewohner und Benutzer der Unit «SolAce» zudem in ihren Leistungs- und in ihren Erholungsphasen unterstützt werden. Zirkadiane Beleuchtung simuliert das Sonnenlicht im Tagesverlauf und fördert den natürlichen Wach-Schlaf-Rhythmus.

Scheiben mit Mikrosiegeln

Innovative Fenstergläser sollen einen zusätzlichen Beitrag zu einem behaglichen Wohn- und Arbeitsklima leisten – vor allem aber dazu führen, dass der Energieverbrauch für die Heizung im Winter und für die Kühlung im Sommer geringer wird. Für das menschliche Auge unsichtbare Mikrospiegel in einem Polymer-Film im Innern der Gläser lenken im Winter das hochwillkommene Licht für eine gleichmässige Ausleuchtung an die Decke im Innern der Unit und sorgen damit auch für ein natürliches Aufwärmen der Räume. Im Sommer sorgen



Für das menschliche Auge unsichtbare Mikrospiegel in einem Polymer-Film im Innern der Gläser lenken im Winter das Sonnenlicht nach innen. Für eine gleichmässige Ausleuchtung wird das Licht in Richtung Decke gelenkt.



Im Sommer, wenn die Sonne höher am Himmel steht, sorgen die gleichen Spiegel dafür, dass die Sonnenstrahlen von den Gläsern abgelenkt und nach draussen reflektiert werden. So wird die Aufheizung der Räume deutlich verringert.

die gleichen Spiegel dafür, dass die Sonnenstrahlen von den Gläsern abgelenkt werden und sich die Räume nicht zusätzlich aufheizen. Die neuartige Verglasung wurde an der EPFL ebenfalls unter der Leitung von Andreas Schüler entwickelt. Für die Herstellung erster Prototypen nutzten die Forschenden einen Präzisionslaser der Empa in Thun. Mittlerweile arbeitet das Team zusammen mit BASF Schweiz an einem industriellen Herstellungsprozess. Sobald erste Fenstergläser verfügbar sind, sollen sie in die «SolAce»-Fassade eingebaut werden. Der Sehkomfort der neuen Gläser wird dann von Forschenden des EPFL-Labors für leistungsintegriertes Design vor Ort gemessen. Bis es so weit ist, kommen Referenzscheiben zum Einsatz, die Vergleichswerte liefern werden.

Alltagstauglichkeit unter Beweis stellen

Wie im NEST üblich, wird auch die Unit «SolAce» real genutzt und bewohnt werden. In einer ersten Phase werden sich hauptsächlich EPFL-Forschende in den Räumen aufhalten und die installierten Systeme und Technologien überwachen und an die Gegebenheiten anpassen. «Danach werden wir die Unit als Wohn- und Arbeitsumgebung für Gäste der Empa nutzen», sagt Rico Marchesi, Innovationsmanager im NEST. Er freut sich über den Neuzugang im Forschungs- und Innovationsgebäude und ist überzeugt, dass «SolAce» einen wertvollen Beitrag zur zukünftigen Ausgestaltung von Gebäudehüllen leisten kann. «Ästhetische Vorbehalte gegenüber dem Einsatz von Fotovoltaik an der Fassade gelten dank der hier gezeigten Farbverglasungen definitiv nicht mehr», meint er.

Für Jean-Louis Scartezzini ist das Projekt bereits jetzt ein Erfolg: «Die enge Zusammenarbeit zwischen Forschenden und Industriepartnern, aber auch zwischen den Industriepartnern untereinander, führte immer wieder zu überraschenden Ideen und zu einem wertvollen Austausch.» Auch der Architekt der Unit, Fabrice Macherel von Lutz Architectes aus Fribourg, empfand die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Wirtschaft als äusserst bereichernd: «Das

Verhandeln zwischen Theorie und Praxis war zwar nicht immer ganz einfach; wir haben aber viel Neues gelernt und können dieses Wissen für künftige Projekte nutzen.»
Technologietransfer in Reinform also. //

FORSCHUNGSPARTNER

Jean-Louis Scartezzini, EPFL

INDUSTRIEPARTNER

Lutz Architectes, 1762 Givisiez
Regent Lighting, 4018 Basel
Solstis SA, 1004 Lausanne
SwissINSO, 1004 Lausanne
TZ menuiserie SA, 3960 Sierre
Geberit, 8645 Jona
V-ZUG AG, 6302 Zug
ABB Schweiz AG, 5405 Baden
Griesser AG, 8355 Aadorf
Duscholux AG, 3604 Thun

Im Innern von «SolAce» ändert sich die Beleuchtung im Tagesverlauf behutsam und unterstützt den menschlichen Biorhythmus. Ein neuartiges Sensorsystem und saisonal dynamische Fenstergläser schaffen ein angenehmes Wohn- und Arbeitsklima.



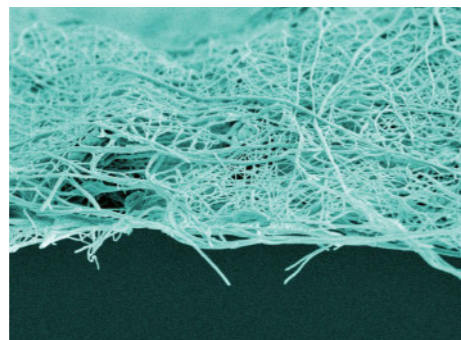
Ende der Maskerade

Lachen macht gesund, sagt die medizinische Forschung. Doch wie soll es Kranken zum Lachen zumute sein, wenn die Gesichter von Pflegenden und Angehörigen von Masken verdeckt sind? Forscher der Empa und der EPFL entwickeln derzeit einen neuartigen Mundschutz, der freie Sicht auf die Mimik des Gegenübers ermöglicht.

TEXT: Andrea Six / BILDER: iStockphoto.com; Empa



Ein Mundschutz steht einem menschlichen Kontakt zwischen Pflegerinnen und Pflegern und Patienten oft entgegen. Empa-Forscher arbeiten an transparenten Schutzmembranen aus feinst versponnenen Fäden. So wird die Mimik wieder sichtbar.



Ein Mundschutz verdeckt einen Grossteil des Gesichts. Damit das medizinische Personal mit den Patienten trotz Maske kommunizieren kann, entwickeln Forscher der Empa und der EPFL nun eine neuartige Maske. Wer zu einer Behandlung ins Spital muss, ist ohnehin nicht bester Stimmung. Beunruhigender noch ist die Situation für kleine Kinder oder Betagte, die überfordert von Schmerzen und medizinischen Prozeduren, gesund werden sollen. Denn wie soll eine «Maskierte» einem Kleinkind eine tröstende Geschichte vorlesen? Und wie soll ein geschwächter Patient begreifen, was die vermummte Gestalt mit der Spritze will? Einfacher liesse sich der Umgang mit Patienten gestalten, wenn Lippen

und Mimik des Gesichts trotz Mundschutz zu sehen wären. Aus diesem Grund entwickeln Forscher der Empa in St. Gallen und des EssentialTech-Programms der EPFL derzeit die «Hello Mask», in die eine transparente Filterfolie integriert ist.

«Ein herkömmlicher Mundschutz besteht aus mehreren Lagen relativ dicker Fasern», sagt Empa-Forscher Giuseppino Fortunato. Und obwohl die einzelnen Fasern der weissen oder grünen Masken durchaus durchsichtig sein können, führen ihr Durchmesser und die Verarbeitung dazu, dass auftreffendes Licht gestreut wird, bis die Maske blickdicht erscheint. Die gesponnenen Fasern der «Hello Mask» sollen hingegen eine durchsichtige Fläche freilassen, die den Blick auf die Lippen freigibt und so auch eine nonverbale mimische Kommunikation mit den Patienten erlaubt. Damit aber auch die durchsichtige Folie Krankheitserreger aus der Atemluft der Träger filtert, darf sie lediglich winzige Poren enthalten. So werden beispielsweise Patienten mit einem geschwächten Immunsystem vor Infektionen geschützt. Auch in umgekehrter Weise soll die Maske Keime abhalten: Pflegepersonal und Angehörige von Menschen, die an hoch ansteckenden Krankheiten wie Ebola leiden, wünschen sich einen humaneren Umgang mit den Patienten, ohne ihre eigene Gesundheit zu gefährden. Die «Hello Mask» soll so mehr Menschlichkeit in den Kontakt mit den hoch ansteckenden Kranken bringen.

«Wir können derartige feine Membranen mit einer Porengrösse von etwa 100 Nanometern mittels sogenanntem Elektrosponnen herstellen», erklärt Fortunato. Die Herausforderung bei der Produktion einer solchen Maske ist allerdings, dass genügend Luft durch das engmaschige Material der Maske strömen kann. Momentan analysieren die Materialforscher, mit welchen Arten von Polymerfasern sich eine Folie mit maximaler Atmungsaktivität erzeugen lässt. Bereits 2016 erhielten die beteiligten Forscher den «Challenge Debiopharm-Inartis»-Preis als Anschubfinanzierung. Das unter anderem von der Gebert-Rüf- und der Staub-Kaiser-Stiftung finanzierte Projekt läuft noch bis Ende 2019. Das EssentialTech-Programm der EPFL wird die wirtschaftliche Weiterentwicklung des Produkts vorantreiben, damit die «Hello Mask» möglichst rasch für die industrielle Produktion bereit steht. //

FORSCHUNGSPARTNER

Klaus Schönenberger, EPFL

Medikamente zum Anziehen

Textilien, die Medikamente abgeben, könnten etwa Hautwunden behandeln. Forscher der Empa entwickeln solche Polymerfasern. Den Therapiebedarf erkennen die smarten Fasern von allein und dosieren die Wirkstoffe auch gleich präzise und punktgenau.

TEXT: Andrea Six

Für das Projekt «Self Care Materials» werden Fasern aus biologisch abbaubaren Polymeren mit verschiedenen Verfahren erzeugt. «Die anvisierte Nutzung der Faser entscheidet, welcher Herstellungsprozess optimal ist», erklärt Empa-Forscher und Projektkoordinator René Rossi. Zarte leichte Membranen, die eine grosse Oberfläche aufweisen, entstehen beim sogenannten Elektrosponnen. Werden robuste Fasern, etwa für Schutzkleidung, benötigt, bietet sich eher das Ziehen der geschmolzenen Inhaltsstoffe an. Am Ende entstehen bei allen Verfahren neuartige Fasern, deren Nanoarchitektur aus mehreren Schichten und Komponenten aufgebaut ist. «Die Eigenschaften dieser neuen Materialien werden derzeit mit Testsubstanzen untersucht», sagt Rossi. Im fertigen Produkt sollen beispielsweise Antibiotika oder Schmerzmittel in die Fasern integriert werden.

Damit die Dosierung der Wirkstoffe präzise abläuft, haben die Forscher einen trickreichen Kontrollmechanismus erdacht: Einige Polymere sind vom Körper unter bestimmten Bedingungen abbaubar. Diese Eigenschaft kann gezielt genutzt werden. «Als Antwort auf einen Reiz aus dem Körper sollen die Fasern ihre Medikamente entsprechend einer kalkulierten Abbaurate an die Umgebung abgeben», so der Forscher. Als ein derartiger Reiz kann etwa der veränderte pH-Wert einer Hautwunde dienen, der anzeigt, dass die Gewebeschäden behandelt werden müssen. Als sogenanntes Self-care-Material unterstützen die Fasern in Form eines Pflasters oder Kleidungsstücks somit die Diagnose und Behandlung von Krankheiten.

«Der Einsatz der Self-care-Fasern ist für enorm viele Anwendungen denkbar», so Rossi. Neben chemischen Signalen aus dem Körper lassen sich aber auch Reize nutzen, die bewusst von aussen gesetzt werden, um die Medikamentenabgabe der Fasern zu steuern. Textilien oder Verbände, die auf leichten Druck oder einen Lichtreiz hin ein Heilmittel freisetzen, können zur Lebensqualität von Patienten beitragen und gleichzeitig die Pflegenden entlasten.

Zudem ist das System in der Vorbeugung einsetzbar. Denn wo Wirkstoffe abgegeben werden, kann man auch umgekehrt Substanzen in die Faser eindringen lassen. «Das Funktionsprinzip lässt sich in der Gegenrichtung nutzen, indem die Fasern als Sensoren wirken und beispielsweise den Zuckerwert im Blut messen», erklärt Rossi. Bei Frühgeborenen droht der Zuckerhaushalt besonders häufig aus dem Gleichgewicht zu geraten. Mit Hilfe von derartigen Sensoren kann der Blutzucker durch die zarte Haut hindurch schmerzfrei überwacht werden, ohne dass die Babys unter einer pikanten Blutentnahme leiden müssten.

Für das Projekt im Rahmen des «Competence Center for Materials Science and Technology», kurz CCMX, forscht das Team aus Empa- und EPFL-Wissenschaftlern gemeinsam bis zum Jahr 2020 an der Weiterentwicklung der smarten Medizinfasern. Als Industriepartner konnten 20 Unternehmen gewonnen werden, darunter Syngenta und – als jüngsten Zuwachs – Nanosurf aus Liesental. Zudem sind der Branchenverband Swiss Textiles und die Forschungsinitiative der schweizerischen Textilhersteller Subitex am Projekt beteiligt. //

FORSCHUNGSPARTNER

Fabien Sorin, EPFL



Was macht Graphen in der Lunge?

Graphen gilt als Material der Zukunft. Allerdings ist bislang wenig bekannt, ob und wie sich Graphen auf unsere Gesundheit auswirkt, sollte es in den Körper gelangen. Ein Forscherteam der Empa und des Adolphe-Merkle-Institut (AMI) in Fribourg haben nun erstmalig Studien an einem dreidimensionalen Lungenmodell durchgeführt, um das Verhalten von Graphen und Graphen-ähnlichen Materialien nach dem Einatmen zu untersuchen.

TEXT: Cornelia Zogg / BILD: Agefotostock

Es ist zug- und reissfest, hochelastisch und elektrisch leitfähig. Graphen verfügt über vielerlei aussergewöhnliche Eigenschaften, was revolutionäre Anwendungen in den unterschiedlichsten Bereichen ermöglicht. Nicht umsonst hat die EU das «Graphene Flagship» ins Leben gerufen, das mit einer Milliarde Euro unterstützt wird und somit als grösste europäische Forschungsinitiative gilt. Als Teil dieses riesigen Projekts bringt auch die Empa ihr Know-how ein, denn im Rahmen der europaweiten Graphen-Forschung spielen allfällige gesundheitliche Aspekte und Auswirkungen auf den menschlichen Organismus eine wesentliche Rolle.

Aus diesen Aktivitäten entstand nun zusätzlich ein vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) gefördertes Projekt, das vor kurzem an der Empa und am AMI angelaufen ist. Dabei kommt ein zelluläres 3-D-Lungenmodell zum Einsatz, mit dem die Forschenden herausfinden möchten, welche Auswirkungen Graphen und Graphen-ähnliche Materialien auf die menschliche Lunge haben können – und das unter möglichst realitätsnahen Bedingungen. Eine Herausforderung, denn Graphen ist nicht gleich Graphen. Je nach Herstellungsmethode und Prozessierung entstehen unterschiedlichste Formen und Qualitäten des Materials, die wiederum verschiedene Reaktionen in der Lunge auslösen können.

Dreidimensionale Zellkulturen «atmen» Partikel ein

Das Forschungsteam um Peter Wick, Tina Bürki und Jing Wang von der Empa und Barbara Rothen-Rutishauser und Barbara Drasler vom AMI hat kürzlich seine ersten Ergebnisse im Fachmagazin «Carbon» publiziert. Mit dem 3-D-Lungenmodell ist es den Forschenden gelungen, die tatsächlichen Bedingungen an der Luft-Blut-Schranke sowie die Auswirkung von Graphen im Lungengewebe realitätsgenau nachzustellen – ohne Versuche an Tier oder Mensch. Dabei handelt es sich um ein Zellmodell, das die Lungenalveolen abbildet. Herkömmliche In-vitro-Tests arbeiten mit Zellkulturen aus nur einem Zelltypus – das etablierte Lungenmodell dagegen besteht aus drei unterschiedlichen Zelltypen, die die Gegebenheiten innerhalb der Lunge simulieren, nämlich Alveolarepithelzellen sowie zwei Arten von Immunzellen – Makrophagen und dendritische Zellen.

Ein weiterer Faktor, der bei Versuchen in vitro bislang kaum beachtet wurde, ist der Kontakt der Graphenpartikel über die Luft. Gewöhnlich werden Zellen in einer Kulturschale in einer Nährlösung kultiviert und in dieser Form Materialien, zum Beispiel Graphen, ausgesetzt. In der Realität, also an der Lungenbarriere, ist dies allerdings anders. «Der menschliche Organismus kommt am ehesten durch die Atemluft mit Graphenpartikeln in Kontakt», so Tina Bürki von der Empa-Forschungsabteilung «Particles-Biology Interactions». Die Partikel werden also eingeatmet und kommen direkt mit dem Lungengewebe in Berührung. Das neue Lungenmodell ist so aufgebaut, dass sich die Zellen auf einer porösen Filtermembran an der Luft-Flüssigkeit-Grenze befinden und die Forschenden die Graphenpartikel mit Hilfe eines Zerstäubers auf die Lungenzellen sprühen, um den Vorgang im Körper möglichst genau nachzustellen. Die dreidimensionale Zellkultur «atmet» quasi die Graphen-Stäube ein.

Das «Graphene Flagship»

Mit einem Budget von einer Milliarde Euro stellt das «Graphene Flagship» eine neue Form der gemeinsamen, koordinierten Forschung in bisher nicht gekanntem Umfang dar und bildet Europas grösste Forschungsinitiative. Das «Graphene Flagship» hat die Aufgabe, Forschende aus Universitäten beziehungsweise Forschungsinstituten und aus der Industrie zusammenzubringen, um innerhalb von zehn Jahren Anwendungen mit Graphen aus den Labors zur Marktreife zu bringen. Das Konsortium besteht aus mehr als 150 akademischen und industriellen Forschungsgruppen in 23 Ländern. Darüber hinaus hat das Projekt eine wachsende Zahl assoziierter Mitglieder.
Weitere Informationen: <http://graphene-flagship.eu>

Keine akuten Schädigungen entdeckt

Diese Versuche im 3-D-Lungenmodell brachten nun erste Resultate. Die Forschenden konnten nachweisen, dass sich keine akuten Schäden in der Lunge bilden, wenn Lungenepithelzellen in Kontakt mit Graphenoxid (GO) oder sogenannten Graphen-nanoplatelets (GNP) kommen. Dazu gehören Reaktionen wie der plötzliche Zelltod, oxidativer Stress oder Entzündungen.

Um auch chronische Veränderungen im Körper aufzuspüren, läuft das SNF-Projekt drei Jahre; als Nächstes stehen langfristige Studien mit dem Lungenmodell an. Wick und sein Team setzen die Lungenzellen dabei nebst reinen Graphenpartikeln auch abgeriebenen Graphenpartikeln aus Komposit-Materialien aus, die klassischerweise zur Verstärkung von Polymeren eingesetzt werden. Daran beteiligt ist Jing Wang von der Empa-Abteilung «Advanced Analytical Technologies». Um auch hier die Menge der Graphenpartikel, denen Menschen ausgesetzt sind, möglichst realistisch abschätzen zu können, untersucht und quantifiziert Wang den Abrieb der Komposit-Materialien. Anhand dieser Daten setzt das Team das 3-D-Lungenmodell realitätsnahen Gegebenheiten aus und ist in der Lage, längerfristig Voraussagen zur Toxizität von Graphen und Graphen-ähnlichen Materialien zu treffen. //

FORSCHUNGSPARTNER

Barbara Rothen-Rutishauser, Adolphe-Merkle-Institut (AMI)

Nächste Generation Uhrspiralen

Was passiert, wenn etwas immer kleiner wird? Empa-Forscher Johann Michler und sein Team gehen dieser Frage nach. Als Nebenprodukt ihrer Forschung entstehen völlig neuartige Uhrspiralen, die schon bald in Schweizer Zeitmessern eingesetzt werden könnten.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: A.Lange & Söhne, Empa



Die Unruh ist das Herzstück jedes mechanischen Uhrwerks. Die feine Feder besteht gewöhnlich aus gegossener, gewalzter Nivarox-Legierung. An der Empa werden Unruhfedern auch auf galvanischem Weg hergestellt.

Angewandte Forschung ist nicht immer von der Industrie initiiert – aber sehr oft entsteht dabei trotzdem ein Ergebnis, das rasch industriell umgesetzt werden kann. Ein Beispiel dafür ist am Empa-Standort Thun zu sehen: Winzig kleine Uhrspiralen liegen da in den Schaukästen des Laboratory for Mechanics of Materials & Nanostructures. Diese Spiralen – das schlagende Herz jedes mechanischen Uhrwerks – sind keine gewöhnlichen Bauteile. Sie sind nicht aus den berühmten Nivarox-Drähten hergestellt, sondern werden aus einer kalten, wässrigen Salzlösung galvanisch – oder elektrochemisch – in der gewünschten Form abgeschieden.

Längst ist die Herstellung im Empa-Labor aus den ersten Vorversuchen herausgewachsen. Die galvanisch hergestellten Spiralen werden regelmässig an die Forschungsabteilung eines grossen Schweizer Uhrenherstellers geliefert und dort in Prototyp-Uhrwerke eingebaut. Die Uhrwerke laufen. An der Ganggenauigkeit und Langzeitstabilität werde noch gearbeitet, heisst es.

Noch vor wenigen Jahren war die Empa häufig auf Partner angewiesen, die bestimmte Prozessschritte übernahmen. Inzwischen ist das Know-how für die gesamte Herstellung im Labor versammelt. Laetitia Philippe, die die Herstellung der Spiralen betreut, erläutert die Produktionsschritte. Ausgangsmaterial ist ein Silizium-Wafer, wie er in der Herstellung von Computerchips und Solarzellen verwendet wird. Dieser Wafer wird zunächst mit einer leitfähigen Goldschicht und dann mit einer dünnen Schicht lichtempfindlichen Lacks überzogen. Dann wird die Form der Spirale darauf projiziert und die belichteten Stellen des Lacks herausgeätzt. Nun kann auf der leitfähigen Gold-Unterlage die gewünschte Legierung galvanisch abgeschieden werden.

Dieser entscheidende Prozessschritt ist trickreich, wie Laetitia Philippe weiss. «Wir brauchen eine gute Verwirbelung im galvanischen Bad, die richtige Temperatur, einige organische Zusatzstoffe und einen Strom in der korrekten Stärke und – falls es Wechselstrom ist – in der passenden Form.» Schliesslich gilt es, die Spiralen aus der galvanischen Form herauszulösen. Zunächst kontrolliert die Forscherin mit einem Lichtmikroskop, ob die Spiralförmigkeiten korrekt mit Metall gefüllt sind. Dann wird die Oberseite der Form feinpoliert, damit alle Spiralen eine definierte Dicke haben, das Ergebnis wird per Röntgenfluoreszenzanalyse kontrolliert.

Schliesslich wird der Lack mit einem Sauerstoffplasma entfernt, der Silizium-Wafer mit einer starken Lauge weggeätzt und die Goldschicht aufgelöst. Die übrig bleibenden Spiralen müssen dann noch für einige Stunden in eine spezielle Waschmaschine, um Grate und überstehende Metallreste zu entfernen. Die so entstandenen, optisch fehlerfreien Spiralen gehen dann zur Prototypenfertigung ins Uhrenlabor.

Nebenprodukt der Forschungsarbeit

Doch für die Forscher der Empa ist diese Art Prototypenfertigung nur ein Nebenprodukt ihrer wissenschaftlichen Arbeit. «Unser Ziel ist keineswegs, mit Zulieferern der Uhrenindustrie in Konkurrenz zu treten», sagt Johann Michler. «Uns an der Empa interessiert vor allem der Prozess der Miniaturisierung an sich.» Mit winzig kleinen Stempeln und Nadeln untersucht Michlers Team die mechanischen Eigenschaften der extrem kleinen Bauteile. Denn: Die Eigenschaften von Materialien ändern sich, wenn man Mechanik miniaturisiert: Duktile Metalle werden härter; spröde Keramik wird dagegen teilweise duktil bei sehr kleinen Bauteilabmessungen.

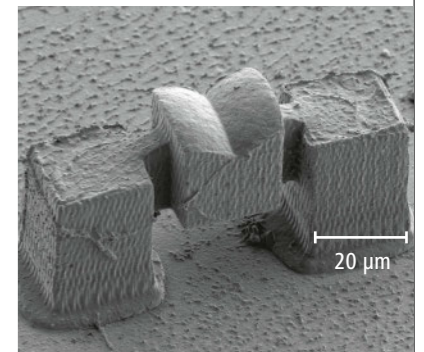
«Die Voraussetzung für jede Untersuchung ist, dass wir die Objekte, die wir testen wollen, nach definierten Kriterien herstellen können», so der Empa-Forscher. Daher ist Michlers Team bestrebt, nicht nur einen einzigen Prozessschritt zu beherrschen, sondern die Qualität der gesamten Prozesskette in der Hand zu halten. «Manche Verfahrensschritte hängen eng zusammen», so Michler. «Wenn wir einen Parameter verändern, etwa die Geometrie der Galvanik-Formen oder die Zusammensetzung der Legierung, dann müssen wir meistens auch die vorausgehenden und nachfolgenden Schritte im Prozess anpassen. Wir wollen die Zusammenhänge der Miniaturisierung in jedem Aspekt verstehen.» //

INDUSTRIEPARTNER

Diverse Unternehmen der Schweizer Uhrenindustrie

Additive Fertigungsverfahren in 3-D

Neben zweidimensionalen Strukturen sind die Forscher in Thun bereits erfolgreich in die Herstellung von 3-D-Strukturen vorgestossen – ebenfalls mit Hilfe der Galvanik. Die Formen dazu entstehen nicht durch Belichtung von Lackschichten auf Silizium-Wafern, sondern durch die sogenannte Zwei-Fotonen-Polymerisation. Dazu wird ein Laserstrahl in einen Behälter mit einem speziellen flüssigen Kunststoffvorprodukt geschickt. Im Fokuspunkt des Laserstrahls polymerisiert die Flüssigkeit und bildet einen festen Kunststoffkörper. Dem Empa-Team gelang es so, filigrane Strukturen herzustellen und galvanisch mit



einer Nickel-Bor-Schicht zu überziehen. Bei Festigkeitstests zeigten die metallisierten Strukturen eine deutlich höhere Stabilität als die rohen Polymergerüste.

Inzwischen gelang es den Forschern auch, Brücken und Säulen aus massivem Nickel herzustellen, die nur wenige Mikrometer gross sind. Belastungstests zeigen, wie sich die Nickel-Legierungen in diesen Dimensionen verhalten. «Wir können solche Strukturen bereits mit schöner Regelmässigkeit und reproduzierbar herstellen», sagt Laetitia Philippe nicht ohne Stolz. «Auf dem Weg zur Mikromechanik aus galvanischen Bauteilen sind wir ein grosses Stück vorangekommen.» Diese Bauteile könnten in nicht allzu ferner Zukunft Uhrwerke mit besonders feinen mechanischen Komplikationen möglich machen.

Zündende Ideen

TEXT: Rémy Nideröst / BILD: iStockphoto.com

Der passende Laser schweisst besser

In einem Innosuisse-Projekt haben Empa-Forscher für die Medtech-Firma Medtronic ein Verfahren optimiert, um die Elektronik implantierbarer Herzschrittmacher und Defibrillatoren mittels Lasertechnologie in ein Titangehäuse einzuschweissen. Medtronic setzt das Verfahren bereits weltweit in der Produktion ihrer Geräte ein.

Die US-Medtech-Firma Medtronic produziert im waadtländischen Tolochenaz einen von fünf auf dem Weltmarkt erhältlichen Herzschrittmacher und einen von vier Defibrillatoren. Die Elektronik dieser Geräte befindet sich in Titangehäusen, die bisher mit einem Festkörper-Blitzlaser hermetisch verschweisst wurden. Die Laser sind allerdings wartungsintensiv und häufig Quelle von Unregelmässigkeiten. Ausserdem benötigen sie eine Wasserkühlung und viel Platz.

Ein neuer Lasertyp, 2015 von der US-Firma IPG Photonics auf den Markt gebracht, versprach Abhilfe: Statt mit Wasser wird dieser Faserlaser mit Luft gekühlt; zudem benötigt er weniger Wartung, arbeitet verlässlicher und ist kompakter.

Erste Tests bei Medtronic zeigten jedoch, dass die mit dem neuen Laser gefertigten Schweissnähte einen schwarzen Rand aufweisen, der aussieht wie Russ – für Implantate höchst problematisch. Medtronic-Forschungsingenieur Sébastien Favre wandte sich daher an die Empa-Werkstoffspezialisten Patrik Hoffmann und Marc Leparoux in Thun. Sie zeigten sich interessiert, den neuen Laser für den Einsatz mit Titan zu optimieren.

Um die Produktion bei Medtronic zu simulieren und das Verhalten des Lasers in kontrollierter Umgebung exakt analysieren zu können, bauten die Empa-Forscher eigens eine Anlage. Die Resultate zeigten, dass beim neuen Laser eine Wechselwirkung mit Tildampf den Prozess stört: Der schwarze Rand besteht aus Titan-Nanopartikeln.

In weiteren Experimenten konnten die Empa-Forscher zeigen, dass der schwarze Rand verschwindet, wenn man den Laser mit einer anderen Wellenlänge betreibt. IPG Photonics baute daraufhin einen nach den Vorgaben der Empa-Forscher massgeschneiderten Faserlaser und stellte ihn für weitere Tests zur Verfügung, die bestätigten: Die Anpassung der Laserfrequenz hatte das Problem gelöst.

Inzwischen halten die Empa, Medtronic und IPG Photonics gemeinsam ein Patent auf den optimierten Faserlaser. Medtronic profitiert von einer verbesserten Produktion ihrer Implantate – bei deutlich tieferen Kosten. Und innerhalb des global tätigen US-Konzerns hat der Standort Schweiz seine Technologieführerschaft bestätigt. Denn die hier entwickelten Speziallaser sind unterdessen in Medtronic-Werken in Puerto Rico, Singapur und den USA im Einsatz

INDUSTRIEPARTNER

Medtronic Internat. Trading Sàrl, 1131 Tolochenaz

Troubleshooter für Lasertechnik

Manchmal stossen Metall bearbeitende Firmen an die Grenzen ihres routinierten Könnens. Dann etwa, wenn es gilt, besonders stark spiegelnde Metalle wie Kupfer, Aluminium, Gold oder Silber mit Hilfe von Lasern zu verschweissen oder komplexe Oberflächen mittels Laser zu polieren. Empa-Forscher gehen dem Problem auf den Grund. Mit ihrer Expertise sind sie in der Lage zu helfen.

Die Firma Unitechnologies SA, beheimatet in Gals zwischen Bieler- und Neuenburgersee, ist in der Präzisionsautomation tätig und stellt unter anderem eine Laser-Polierplattform zum Bearbeiten kleiner Metallteile her, wie sie etwa beim Bau von Düsen oder Ventilen zum Einsatz kommen. Leider gelang es der Firma lange Zeit nicht, den Anwendungsbereich dieser Plattform auf das Laserpolieren grösserer Oberflächen auszudehnen, so etwa für das 3-D-Polieren von Spritzgussformen oder Sterilventilen. Das änderte sich 2017 schlagartig, als die Firma auf Rat eines Innosuisse-Experten begann, mit der Empa in Thun zusammenzuarbeiten. Innerhalb kürzester Zeit hat die Kooperation beeindruckende Ergebnisse geliefert. So beherrschen die Unitechnologies-Spezialisten inzwischen auch das Polieren grosser Oberflächen – und zwar für sämtliche kommerziell wichtigen Materialien.

Auch für die Firma Coherent Switzerland hat sich die Kooperation mit der Empa ausgezahlt. Coherent entwickelt und produziert Laserquellen und Bearbeitungsköpfe für Lasermaschinen. Hier geht es vor allem um Schweissverbindungen im Automobil- und Maschinenbau. Seit 2014 kommen dank einer engen Zusammenarbeit mit der Empa immer wieder neue Technologien dazu, unter anderem ein intelligentes Sensorsystem, das den Laserprozess opto-elektronisch überwacht und optimiert, sowie ein innovativer Wobble-Bearbeitungskopf für besonders anspruchsvolle Laseranwendungen. Mit Letzterem lassen sich neu verschiedene Mikromuster wie Achten, Spiralen und Ellipsen mit hoher Frequenz und in unterschiedlichen Grössen und Winkeln schweissen.

INDUSTRIEPARTNER

Unitechnologies SA, 3238 Gals
Coherent Switzerland, 3123 Belp

Löten statt giessen

Die Verbindung der guten Gleiteigenschaft von Bronze mit der Leichtigkeit und Stabilität von Titan wird für viele Hightech-Gleitlager gewünscht. Doch Titan und Bronze lassen sich per Metallguss nicht verbinden. Die Expertise der Empa half weiter.

Komponenten für die Luftfahrtindustrie müssen deutlich höhere Anforderungen erfüllen als etwa Autoteile. Tiefsttemperaturen, UV-Strahlung, extreme Beschleunigung und vieles mehr setzen den Materialien zu. Ausserdem soll eine deutliche Gewichtseinsparung den Kraftstoffverbrauch senken. Die Empa ist für derartige Hightech-Innovationen im Bereich Materialwissenschaften der geeignete Partner.

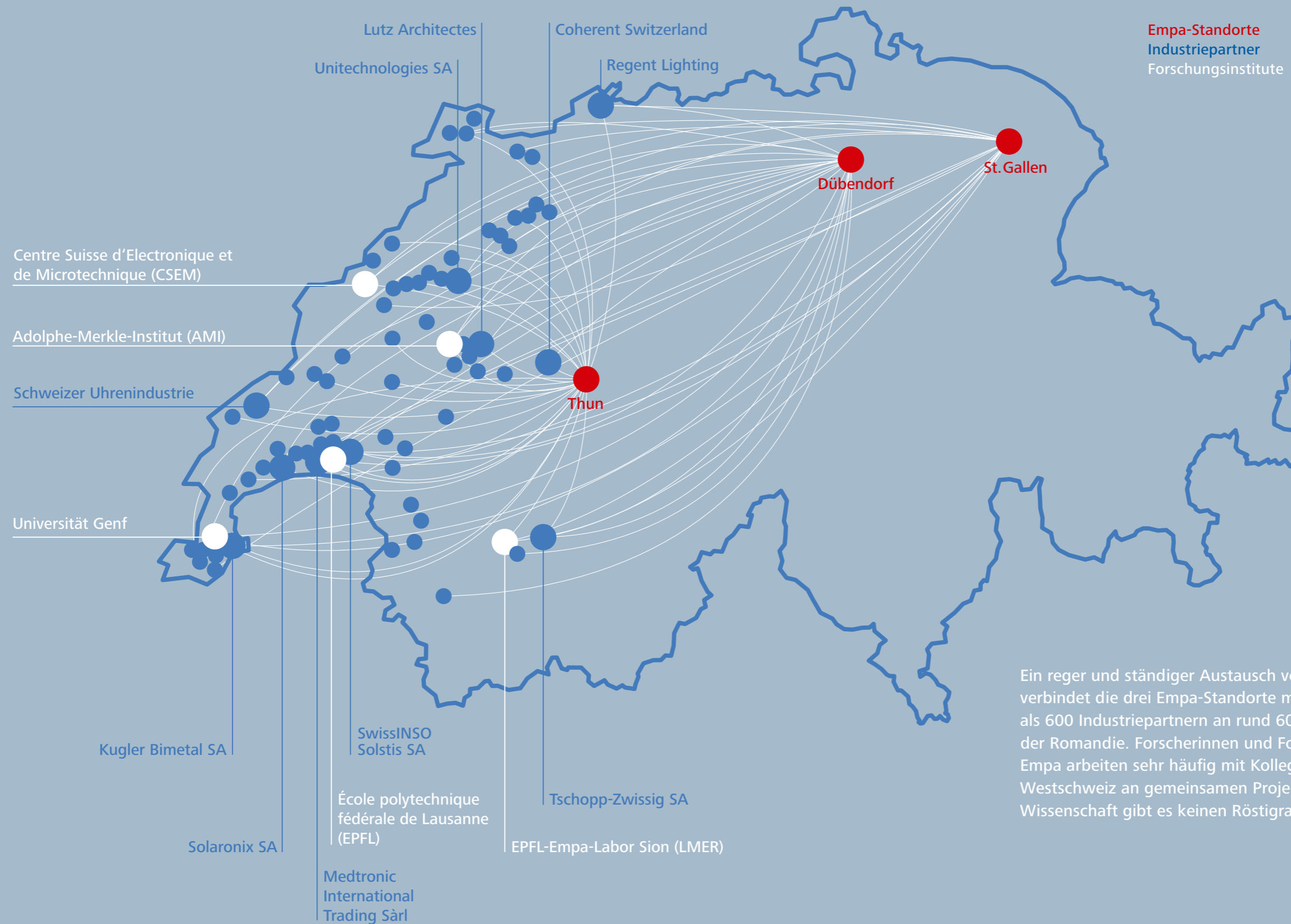
Die Firma Kugler Bimetal, mit Sitz in der Nähe von Genf, ist einer der Weltmarktführer im Bereich Bimetall-Gussbronze. Ziel eines gemeinsamen Projekts der Firma und der Empa war es, ein Lötverfahren für besonders reibungsarme Lager aus hochfesten, möglichst leichten Bimetallen zu entwickeln. Das Projekt wurde von Innosuisse (früher Kommission für Technologie und Innovation, KTI) unterstützt. Die Idee dabei: Ist es möglich, Reibungsprobleme durch das Kombinieren der guten Gleiteigenschaften von Bronze und den hervorragenden mechanischen Eigenschaften einer leichten Titanlegierung zu lösen? Die Herstellung solcher Bronze-Titan-Lager mittels Giessprozess ist aufgrund der hohen thermischen Spannungen – verursacht durch die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der beiden Werkstoffe – und der gleichzeitig entstehenden spröden Reaktionsschicht jedoch praktisch unmöglich.

Eine Lösung könnte ein auf die Materialien zugeschnittenes Lötverfahren sein. Empa-Forscher aus der Abteilung «Fügetechnik und Korrosion» entwickelten zusammen mit Experten von Kugler Bimetal die Grundlagen hierfür. Nachdem die Empa-Spezialisten die Wechselwirkungen der Materialien miteinander und die dadurch entstehenden Grenzflächen untersucht hatten, konnten sie mit ihrem Verfahren des Lötens und Beschichtens Titan und Bronze hochwertig verbinden. Liesse sich das Verfahren in die industrielle Produktion überführen, wäre das ein Durchbruch im Fügen von Lagern in der Luftfahrtindustrie.

INDUSTRIEPARTNER

Lutz Kugler Bimetal SA, 1219 Lignon

Im Westen gut vernetzt



Ein reger und ständiger Austausch von Wissen verbindet die drei Empa-Standorte mit mehr als 600 Industriepartnern an rund 60 Orten in der Romandie. Forscherinnen und Forscher der Empa arbeiten sehr häufig mit Kollegen aus der Westschweiz an gemeinsamen Projekten. In der Wissenschaft gibt es keinen Röstigraben.

Schweizer Solarszene bündelt Kräfte

Die Energiestrategie des Bundes sieht vor, dass bis ins Jahr 2050 Fotovoltaik die Hauptquelle von Elektrizität darstellen soll – ein sportliches Ziel, das das Know-how der besten Köpfe erfordert. In einem Grossprojekt zwischen der Empa, der EPFL, dem Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) soll dieses Wissen gebündelt und zur Entwicklung nachhaltiger und leistungsstärkerer Fotovoltaikanlagen genutzt werden.

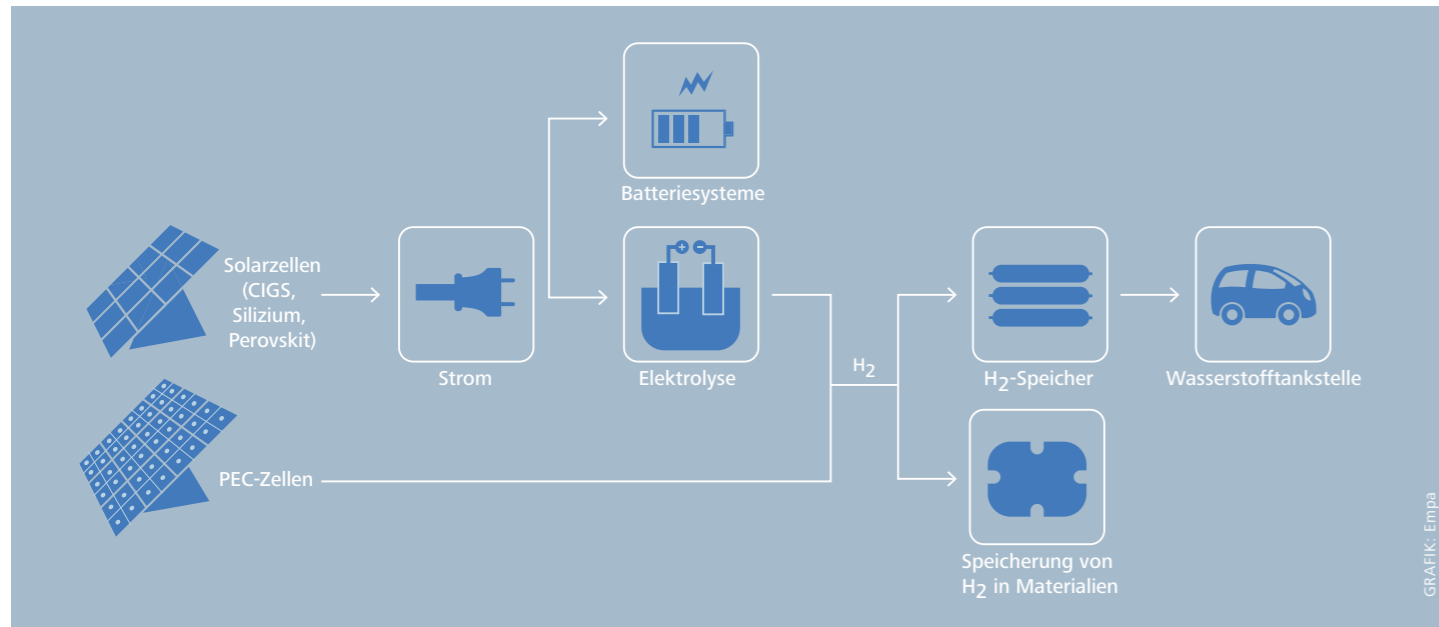
TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: iStockphoto.com; Empa / GRAFIK: Empa

Die effiziente Gewinnung und Nutzung von Solarenergie ist ein immer schneller wachsendes Bedürfnis der Bevölkerung sowie der Politik. In der Schweiz arbeiten gleich mehrere Forschungsinstitutionen mit Hochdruck daran, Fotovoltaikanlagen effizienter zu machen. Doch das Know-how blieb bislang oft innerhalb der jeweiligen Forschungsgruppen. Verschiedene durch das Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität (CEEM) des ETH-Bereichs geförderte Projekte wie ThinPV, Dursol und Connect-PV brachten vor einigen Jahren erstmals alle Beteiligten an einen Tisch, um das Know-how zu bündeln. Darunter die beiden Empa-Abteilungen «Thin Films and Photovoltaics» von Ayo-dhya Tiwari und «Functional Polymers» von Frank Nüesch sowie das «Photonics and Interfaces Laboratory» von Michael Grätzel und das «Photovoltaics and Thin Film Electronics Laboratory» von Christophe Ballif an der EPFL. Diese Vorprojekte waren dann auch Auslöser für das derzeit laufende, vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) geförderte Projekt PV2050, bei dem mehr als zehn Partner an fünf Schwerpunkten gleichzeitig forschen und das von Christophe Ballif koordiniert wird.

Herausforderungen der Solarenergie

Solarstrom soll bis ins Jahr 2050 als Hauptstromquelle etabliert werden. Das stellt Forschung und Entwicklung vor enorme Herausforderungen. Zum einen müssen die Kosten weiter sinken, um im Markt bestehen zu können. Auch das Stromnetz und saisonale Speichermöglichkeiten müssen mitwachsen, wenn der Anteil an Solarenergie ausgebaut wird. Denn im sonnenreichen Sommer werden grosse Strom-Überschüsse produziert, im Winter könnte es dagegen an Strom mangeln. In der Schweiz kommen geografische Herausforderungen hinzu: der Platz für Solarparks ist sehr begrenzt. Daher sind neuartige Technologien erforderlich: etwa Solarzellen, die auch im indirekten Licht oder im Halbschatten Energie liefern, oder Fensterscheiben, die nicht nur Licht ins Gebäude lassen, sondern dabei Strom erzeugen und damit massgeblich zu energieeffizientem Bauen beitragen und helfen, den CO₂-Fussabdruck zu verringern.

Die Empa forscht seit geraumer Zeit an der Optimierung von Fotovoltaikanlagen, vor allem an der Steigerung der Energieumwandlungseffizienz – denn längst sind die Zeiten vorbei, in denen Solarstrom allein zur Optimierung der Energiebilanz von Eigen-



In der Zukunft wird es nötig sein, Treibstoffe aus Solarenergie zu gewinnen. Mit Wasserstoffautos werden auch Langstreckenfahrten möglich, die mit batteriegetriebenen Fahrzeugen schwer zu schaffen sind. Wasserstoff lässt sich auf verschiedenen Wegen aus Sonnenlicht erzeugen. Die Empa forscht an allen hier gezeigten Herstellungs- und Speicherverfahren.

Siebenmal schneller beschichten

Um die Effizienz von Solarzellen zu steigern, betreibt die Empa Grundlagenforschung. Die Empa wäre aber nicht die Empa, wenn sie nicht viel versprechende Ansätze technologisch weiterentwickelte. Einen davon in Zusammenarbeit mit der Firma Solaronix in Aubonne am Genfersee und mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesamt für Energie (BFE).

Für die industrietaugliche Beschichtung von Solarzellen hat die Empa einen Prozess entwickelt, der in der Umsetzung sieben Mal schneller sein soll als bislang übliche Methoden. Bislang kamen bei Solaronix für die Beschichtung ihrer Solarzellen Siebdruckverfahren zum Einsatz. Es gibt zwar bereits Solarzellen, die bis zu einem gewissen Teil mit dem Schlitzdüsenverfahren hergestellt werden. Dies betrifft aber oft nur einen Teilschritt. «Uns ist es gelungen, sämtliche Schichten im Schlitzdüsenverfahren und mit industrietauglicher Geschwindigkeit herzustellen», so Frank Nüesch, Leiter der Abteilung «Functional Polymers» an der Empa.

Auch beim Herstellen der einzelnen Schichten der Solarzelle machten die Empa-Forscher erhebliche Fortschritte: Wo bis anhin jede Schicht einzeln gebrannt werden musste, schafften sie es, alle Zellschichten in einem einzigen Schritt gemeinsam zu brennen. Bereits zwei Patente sind eingereicht; eine weitere Zusammenarbeit mit Solaronix ist auf gutem Weg. Denn nun gilt es, die Hochskalierung auf Industriemassstab voranzutreiben, um den Prozess an den Industriepartner transferieren zu können.

heimen eingesetzt wird. Solarstrom kann auch andere künftige Versorgungslücken decken – etwa in der Mobilität. Dazu muss der erzeugte Strom, etwa mittels Elektrolyse, in Wasserstoff umgewandelt werden, um ihn in Brennstoffzellen-Fahrzeugen einsetzen zu können – im Demonstrator «move» auf dem Empa-Campus in Dübendorf wird diese Art der Energienutzung bereits heute erprobt.

Fortschritte zeichnen sich auch in neuartigen Speichermöglichkeiten von Solarstrom ab – auch hier beispielsweise in Form von Wasserstoff (siehe Textbox rechts) oder mittels neuartiger Batterien (siehe Seite 30). Je mehr Strom aus Solarzellen gewonnen werden kann, umso vielfältiger die Möglichkeiten, das Stromnetz der Schweiz so zu optimieren, dass die hoch gesteckten Ziele bis 2050 erreicht werden können.

Zwischenflächen sind entscheidend

Innerhalb des PV2050-Projekts entwickeln die Partner in einem von Empa-Forscher Frank Nüesch koordinierten Teilprojekt neue Materialien und Zwischenflächen für noch leistungsstärkere Fotovoltaikanlagen. «Dabei kommt den Zwischenflächen eine besondere Beachtung zu», erklärt Nüesch. Sie helfen dabei, positive und negative Ladungsträger zu trennen, und verhindern deren Wiedervereinigung. Nur so kann aus Sonnenlicht effizient Strom erzeugt werden. Zwischenschichten aus speziellen Oxiden können ausserdem die Effizienz von kristallinen Silizium-Solarzellen weiter erhöhen.

Bei der Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Forschergruppen steht der Wissens- und Erfahrungsaustausch im Vordergrund. «Jede Solarzellentechnologie braucht Zwischenflächen», so Nüesch, «aber alle

verfolgen andere Ansätze.» Ein Topf voller Ideen, wie er hinzufügt. Daraus entstand im Rahmen des Projekts PV2050 die Idee, die unterschiedlichen Ansätze gewissermassen «auszutauschen», also abzuklären, ob Technologien, die für eine Solarzelle funktionieren, auch für eine andere Art von Zelle in Frage kommen.

Tandem-Solarzellen leisten mehr

Während sich Nüeschs Team innerhalb des Projekts PV2050 vollständig auf die Erforschung der Zwischenschichten konzentriert, ist die Abteilung «Thin Films and Photovoltaics» von Ayodhya Tiwari und Stephan Bücheler noch an zwei weiteren Themenschwerpunkten beteiligt, auch hier in enger Zusammenarbeit mit den EPFL-Forschungsgruppen um Michael Grätzel und Christophe Ballif sowie dem CSEM. Das Ziel sind Tandemzellen – also Zellen, die unterschiedliche PV-Technologien in einer Zelle vereinen, um eine höhere Effizienz zu erreichen.

In diesen Tandemzellen wird das sichtbare Licht zunächst in der transparenten Schicht absorbiert und in Strom umgewandelt. Ein Teil des Lichts, im nahen Infrarotbereich, dringt jedoch durch und wird von der darunter liegenden Dünnschicht-Solarzelle aufgenommen. Die Stromausbeute wird auf diese Weise merklich erhöht, da ein grösserer Teil des Sonnenlichtspektrums genutzt werden kann.

«Wir arbeiten dabei mit herkömmlichen Siliziumzellen, aber auch mit Dünnschicht-Zellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS), die mit transparenten Perovskit-Solarzellen kombiniert werden», so Bücheler. Dieses Projekt wird im Rahmen der Nano-Tera-Initiative erforscht, die speziell die Entwicklung solcher Tandemzellen fördert. Das Team von Tiwari und Bücheler konnte dabei das Konzept der effizienzsteigernden Perovskit-CIGS-Tandem-Solarzelle bereits erfolgreich demonstrieren.

Computersimulation neuer Systeme

Im zweiten interdisziplinären Projekt, an dem die beiden Empa-Forscher und ihre EPFL-Kollegen beteiligt sind, geht es gemeinsam mit Forschern der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) unter Leitung von Matthias Schmid um die Computersimulation von Solarzellen-Systemen. Wenn es gelingt, erfolgreiche Systeme im Computer «nachzubauen», können Materialkombinationen für künftige Erfolg versprechende Forschungsprojekte leichter identifiziert werden. So liesse sich die Geschwindigkeit der Solarzellenforschung deutlich steigern.

Weitere Forschungsthemen befassen sich mit der optischen Integration von Solarzellen ins Schweizer Landschaftsbild – denn alternative Energie wird dann von der Bevölkerung akzeptiert, wenn sich deren Erzeugung möglichst nahtlos in die Umgebung einfügt. Die Bündelung dieser verschiedenen Projekte innerhalb des PV2050-Konsortiums soll massgeblich beitragen, die Energiestrategie des Bundes umsetzen zu können. Effiziente Fotovoltaikanlagen, die preisgünstiger sind als heute und mit geringerem Platzbedarf Strom produzieren, könnten die Energieversorgung der Schweiz erleichtern – dank der Zusammenarbeit aller Institutionen und dem Zusammenführen von Know-how aus allen Teilen der Schweiz. //

FORSCHUNGSPARTNER

Alain Christophe Ballif, EPFL
Michael Grätzel, EPFL
Christophe Moser, EPFL
Julien Bailat, CSEM

INDUSTRIEPARTNER

Solaronix SA, 1170 Aubonne
GRZ Technologies, 1951 Sion

Von der Solarenergie zum Wasserstoff

Wasserstoff gewinnt in der Diskussion um alternative Energien immer mehr an Zugkraft, doch noch ist dessen Herstellung aufwändig. Die Fotoelektrolyse (auch Fotoelektrochemie, PEC, genannt) ist dabei ein viel versprechender Ansatz: Dabei wird mit Hilfe sogenannter PEC-Zellen Solarenergie nicht «nur» in Elektrizität umgewandelt, sondern direkt zu Wasserstoff «veredelt» – eine elektrolytische Wasserspaltung ist in diesem Fall also nicht mehr nötig. Im Rahmen des Projekts «SHINE» entwickeln der Empa-Wissenschaftler Artur Braun zusammen mit Christophe Moser, Dmitri Psaltis und Sophie Haussener von der EPFL und Julien Bailat vom Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique



Andreas Züttel, Leiter des LMER in Sion

(CSEM) in Neuchâtel ein Gerät, das die Photosynthese der Pflanzen nachahmen kann und dabei nicht auf seltene Spezialmetalle angewiesen ist. Wasserstoff sollte praktisch «in einem Schritt» aus Sonnenlicht mittels günstiger und einfach verfügbarer Materialien («Earth abundant materials») entstehen. Dadurch liessen sich die Kosten senken und zugleich die Effizienz der elektrochemischen Reaktionen steigern.

Der nächste Schritt – nach der Herstellung des Wasserstoffs – bildet dessen Speicherung. Das Empa-EPFL-Labor «Materialien für erneuerbare Energie» (LMER) in Sion unter der Leitung von Andreas Züttel arbeitet zusammen mit nationalen und internationalen Partnern an Möglichkeiten, Wasserstoff in festen Materialien wie Metallhydriden, Carbon-Nanotubes oder Borhydriden speichern zu können. Auf diese Weise liessen sich die oft voluminösen Druckgasflaschen ersetzen – Wasserstoffspeicher mit neuen Geometrien wären möglich. Um die Kommerzialisierung zu beschleunigen, hat Züttel 2017 das Spin-off GRZ Technologies gegründet, das Wasserstoff-basierte Energiespeichersysteme entwickelt und realisiert.

Die Umwandlung und vor allem die (langfristige) Speicherung von Solarstrom in Form von Wasserstoff ist ein Schlüsselement einer nachhaltigen Energieversorgung, unter anderem für die Mobilität. Im «move», der Demonstrationsplattform für eine nachhaltige Mobilität auf dem Empa-Campus in Dübendorf, ist bereits eine Flotte an Wasserstoff-Fahrzeugen in Betrieb; Fotovoltaikanlagen an der Fassade und auf dem Dach des Demonstrators liefern den nötigen Strom für die Wasserelektrolyse. «move» zeigt also über die gesamte «Kette» exemplarisch auf, wie die Mobilität der Zukunft ohne fossile Energie funktionieren könnte.

Korsett für historische Stahlbrücken

Ein Empa-Team rettet Eisenbrücken aus dem 19. Jahrhundert vor dem Verfall. Vorgespannte Carbonfaserstreifen verstärken die mürbe werdenden Konstruktionen. Eine Eisenbahnbrücke in der Schweiz und eine Strassenbrücke in Australien wurden bereits verstärkt. Viele historische Brücken könnten folgen. Forschungspartner ist ein Spezialist für Stahl-Ermüdung an der EPFL.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Bewahren statt wegwerfen – das gilt nicht nur für Jugendstil-Villen, für Vorkriegs-Sportwagen oder Hammond-Orgeln aus den 1950ern; bewahren statt verschrotten ist auch für alte Eisenbahn- oder Strassenbrücken eine gute Idee. Die Industriedenkmäler, oft erdacht und errechnet von Stahlbauingenieuren aus dem 19. Jahrhundert, rosten leise vor sich hin oder knirschen lautstark unter modernen Intercity-Zügen und schweren Sattelschleppern. Die gute Nachricht: Man kann sie retten.

Ein Korsett aus CFK (Carbonfaser-verstärkter Kunststoff), reversibel und denkmalschutzkonform an der Brücke fixiert, stärkt die Widerstandskraft der alten Bauwerke, macht sie sicher und lässt sie ihr Alltagsleben länger und besser überstehen.

Masoud Motavalli und Elyas Ghafoori haben bereits zwei alte Brücken mit dieser «sanften» Methode gestützt: die Münchenstein-Eisenbahnbrücke bei Basel, Baujahr 1892, und die Diamond-Creek-Strassenbrücke in Australien, Baujahr 1896. Falls ihr System sich durchsetzt, gäbe es weltweit zu tun: In Europa sind rund 30 Prozent aller Brücken älter als 100 Jahre. Ganz ähnlich sieht es in den USA, in Australien und Japan aus. Strassenbehörden und Eisenbahngesellschaften auf der ganzen Welt suchen nach Methoden, diese Bauwerke zu erhalten. Möglicherweise hat die Empa den Schlüssel dazu in der Hand. Forschungspartner der Empa ist Alain Nussbaumer, der an der EPFL



über Ermüdung und Bruchmechanik von Stahlstrukturen forscht. Nussbaumer betreut auch die Dissertationen, die im Zuge dieser Forschungsprojekte an der Empa laufen.

CFK ist für Verstärkungen von Bauwerken oft das Mittel der Wahl. Es ist korrosionsbeständig und zeigt keine Materialermüdung, ausserdem ist es leicht und belastet das Bauwerk nicht mit zusätzlichem Gewicht, wie es eine Stahlverstärkung tun würde. Die Empa hat unter ihrem früheren Di-

rektor Urs Meier in den 1990er-Jahren viel Erfahrung mit CFK-Verstärkungen von Beton- und Holzkonstruktionen gesammelt.

Im Gegensatz zu Holz oder Beton, bei dem man die CFK-Verstärkung einfach aufkleben kann, ist die Befestigung an alten Stahlträgern deutlich komplizierter. Oft sind die Brückenträger rostig oder mit dicken Schichten Farbe überstrichen. Manchmal verhindern Nieten in den Stahlträgern ein flaches Aufkleben der CFK-Pflaster. Ghafoori umgeht diese Probleme, indem er CFK nicht



Die Diamond Creek Bridge nahe Melbourne wurde 2018 mit CFK-Streifen verstärkt und nach getaner Arbeit ihre Haltbarkeit mit einem 42-Tonnen-Truck getestet.

direkt auf die Brücke klebt, sondern die Platten mit Verankerungen an der Brücke befestigt. Das spart das Blankschleifen grosser Flächen. Zusätzliches Plus: Die Brücke muss während der Montage des CFK-Streifens nicht für den Verkehr gesperrt werden. Auch das Einwickeln der Brücke mit Folie entfällt – das wird oftmals nötig, wenn alte Brücken über Flüsse führen und keine schwermetallhaltigen Farbsplitter ins Gewässer gelangen dürfen.

Die Verankerungen, mit denen Ghafoori seine CFK-Pflaster anbringt, sind nicht ganz einfach nachzubauen. «Entscheidend ist, dass beim Festklemmen des CFK die Carbonfasern nicht zerbrechen», sagt Ghafoori. Seit mehr als zehn Jahren beschäftigt er sich an der Empa mit dieser Technik und nützt die schweren Hydraulikpressen in der Bauhalle für seine Experimente. Das Büro, in dem er seine Publikationen verfasst, befindet sich direkt darüber. «Der Anfang war nicht einfach», erinnert sich der Forscher. «Als ich 2009 im Zuge meiner Masterarbeit die ersten

Verankerungen in einem Zugversuch testete, fielen sie über Nacht ab. Das hat mir nicht gerade Respekt bei meinen Kollegen verschafft. Ich erhielt sogar für einige Tage Besuchsverbot im Labor, meine Arbeit galt als zu gefährlich.»

Inzwischen ist das an der Empa entwickelte Verankerungssystem mit einem Patent geschützt und hat seine Bewährungsprobe längst bestanden: Seit 2015 ist die Münchenstein-Brücke mit den vorgespannten CFK-Pflastern verstärkt. Täglich rollen mehrere Dutzend Personen- und Güterzüge über die historische Stahlkonstruktion. Ein Langzeit-Überwachungssystem, bestehend aus einem drahtlosen Sensornetzwerk, misst Belastung und Bewegungen der Brückenteile und liefert die Daten in Echtzeit an die Empa.

Das Projekt, mit dem Ghafoori zugleich seine Dissertation bestritt, wurde rasch in der Fachwelt bekannt. So kam es, dass im Januar 2018 eine ganz ähnliche Brücke in Australien mit dem CFK-System verstärkt werden konnte: die 122-jährige Diamond-Creek-Brücke in

der Nähe von Melbourne. «Wir haben seit Münchenstein einiges dazugelernt», betont Ghafoori. So konnten die Forscher die Form der Verankerungen verbessern und die ganze Konstruktion flacher machen. Das ist wichtig, weil unter vielen Brücken Lastwagen durchfahren. Würde die Verspannung



Die Münchensteinbrücke nahe Basel ist seit 2015 mit CFK-Streifen verstärkt. Mehrere Intercity-Züge pro Stunde und mehrere Güterzüge pro Tag rollen über die 126 Jahre alte Brücke.

zu weit nach unten ragen, könnten besonders hohe Anhänger mit der neuen Technik kollidieren. Zudem hat das Team die Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter ins Kalkül einbezogen: Die Messungen an der Münchenstein-Brücke hatten gezeigt, dass die CFK-Versteifung der Brücke an heißen Sommertagen wesentlich stärkere Wirkung zeigt als im Winter. Der Grund: In der Sommerhitze dehnt sich die Stahlbrücke aus, die Länge der CFK-Verstärkung bleibt jedoch fast gleich. So wird die Brücke im Sommer von ihrem Stützkorsett stärker gerafft als im Winter.

Auch die Diamond-Creek-Brücke, verstärkt im Januar 2018, trägt Sensoren und wird für mindestens anderthalb Jahre online Belastungsdaten an die Empa liefern. Um zu sehen, ob die Versteifung Wirkung zeigt, hatten die Forscher vor und nach dem Befestigen der CFK-Streifen einen 42-Tonnen-Sattelschlepper über die Brücke rollen lassen. «Die ersten Daten zeigen, dass die Kräfte, die auf die Brücke wirken, um die Hälfte zurückgehen», sagt Ghafoori. «Das könnte, vorsichtig geschätzt, dazu führen, dass sich ihre Rest-Lebenszeit verdoppelt.»

Inzwischen bekommen Ghafoori und Motavalli immer öfter Besuch aus dem Ausland. Das französische Forschungsinstitut für Verkehr (IFSTTAR), das französische Zentrum für Mobilität (CEREMA) und eine chinesische Delegation haben sich angekündigt, eine US-Delegation war ebenfalls zu Besuch an der Empa. Die Methode ist ohne grossen Aufwand weltweit einsetzbar. «Für Australien haben wir die Klammern mit den CFK-Streifen bei uns an der Empa vormontiert, getestet und dann einfach per Paketpost zur Baustelle geschickt», sagt Ghafoori. «Wir mussten später nur hinfliegen und alles vor Ort montieren.»

Natürlich wollen die Forscher nicht auf dem aktuellen Wissensstand stehen bleiben. Nach dem Verstärken von geraden Stahlträgern sollen nun auch die X-förmigen Verbindungsstücke zwischen den Trägern verstärkt werden. Dort, an den Schweissnähten und Verbindungsfugen, blüht der Rost besonders gern, und es zeigen sich Ermüdungsrisse, die die Brücke instabil machen können. Ein neu entwickeltes CFK-Streifen-System könnte das Problem bald lösen. Mit dieser Art Unterstützung könnten viele Stahlbrücken aus dem 19. Jahrhundert zukunftsfest gemacht werden – und so am Ende ihre jüngeren Geschwister aus Stahlbeton noch lange überleben. //

FORSCHUNGSPARTNER

Alain Nussbaumer, EPFL

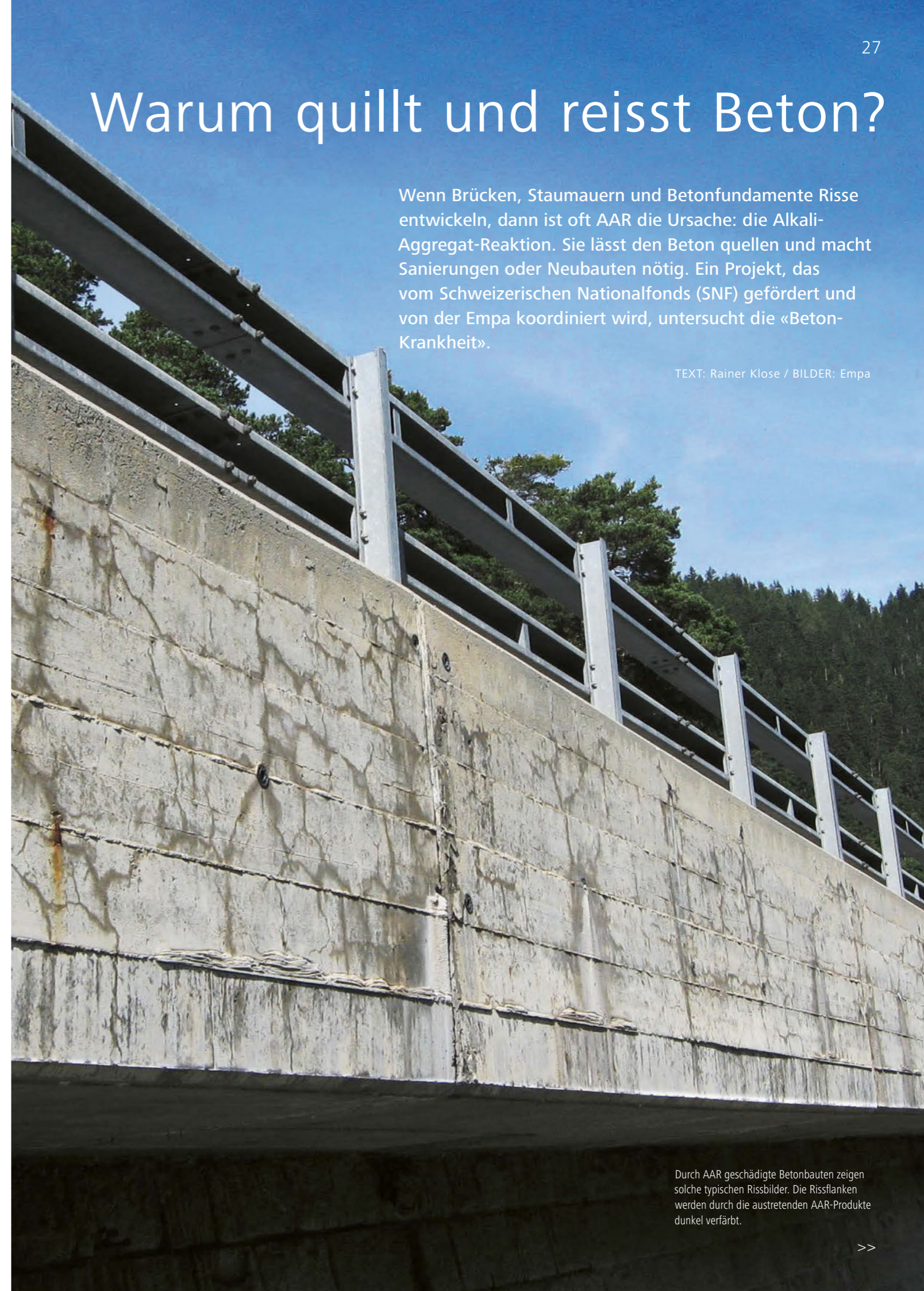
INDUSTRIEPARTNER

S&P Clever Reinforcement Company AG, 6423 Seewen

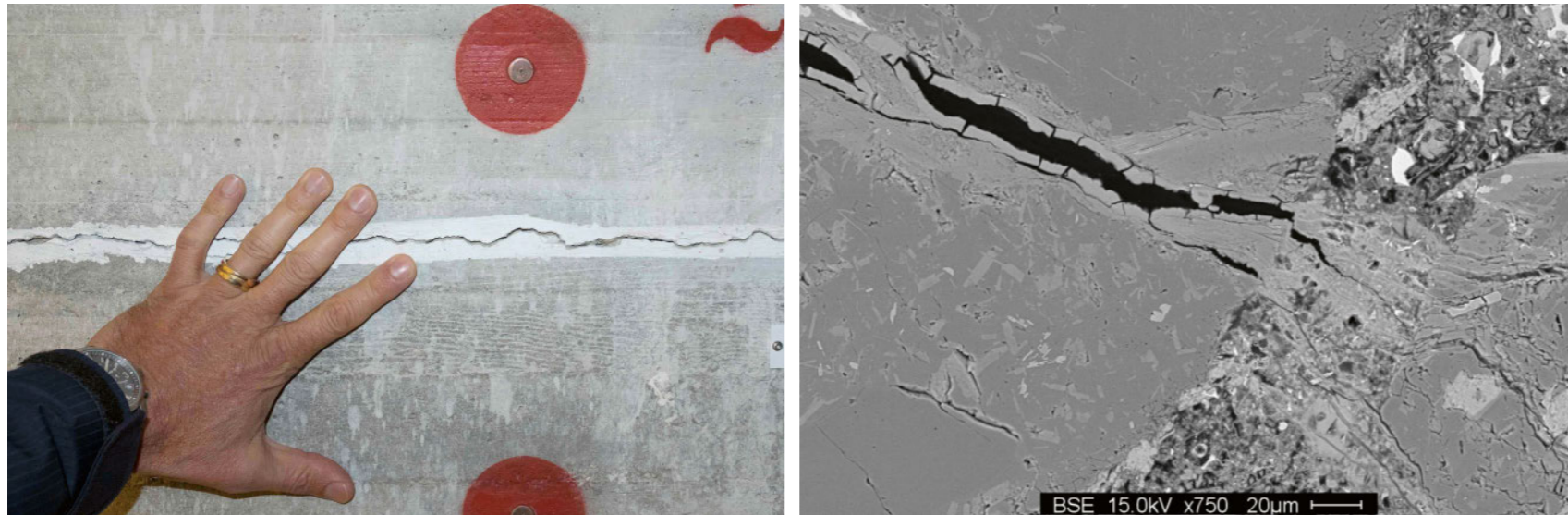
Warum quillt und reisst Beton?

Wenn Brücken, Staumauern und Betonfundamente Risse entwickeln, dann ist oft AAR die Ursache: die Alkali-Aggregat-Reaktion. Sie lässt den Beton quellen und macht Sanierungen oder Neubauten nötig. Ein Projekt, das vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) gefördert und von der Empa koordiniert wird, untersucht die «Beton-Krankheit».

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



Durch AAR geschädigte Betonbauten zeigen solche typischen Rissbilder. Die Rissflanken werden durch die austretenden AAR-Produkte dunkel verfärbt.



Beton hält leider nicht ewig. Auch an Betonbauten in der Schweiz nagt der Zahn der Zeit. Betroffen sind nicht nur stahlbewehrte Konstruktionen wie Brücken, sondern auch Betonbauten ohne Bewehrung, wie Stauwauern. Einer der Gründe dafür ist die sogenannte Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR). Sie kann alle Betonbauten unter freiem Himmel betreffen. Bei der AAR sind die Zutaten des Betons selbst das Problem: Zement – der «Leim» des Betons – enthält Alkalimetalle wie Natrium und Kalium. Die Feuchtigkeit im Beton wird dadurch zu einer Lauge. Die Hauptbestandteile von Beton sind Sand und Kies. Diese wiederum bestehen unter anderem aus Silikaten, beispielsweise Quarz oder Feldspat. Mit diesen Silikaten reagiert nun das alkalische Wasser und führt zur Bildung von Alkali-Kalzium-Silikat-Hydrat. Dieses Mineral lagert mehr und mehr Wassermoleküle in seiner Struktur ein, dehnt sich dadurch aus und sprengt mit der Zeit den Beton von innen.

Bemerkenswert dabei: In zahlreichen Kieskörnern, die im Beton stecken, läuft die gleiche Reaktion ab; die Steinchen werden einzeln gesprengt. Der Druck, der durch diese Mikroreaktion auf ein ganzes Bauwerk ausgeübt werden kann, ist gewaltig: Eine Stauwand etwa kann sich um einige Dezimeter ausdehnen. Das kann zu Schäden an den seitlichen Anschlusspunkten zum Fels oder zu Verformungen im Bereich von Schleusen führen. Die Reaktion verläuft langsam, so dass bei betroffenen Bauwerken erst nach 10 bis 15 Jahren erste Schäden bemerkbar werden. Durch das kontinuierliche Quellen des Betons kann allerdings die Lebensdauer von Bauwerken stark verkürzt werden.

2015 gelang es einem Team aus Wissenschaftlern der Empa und des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) die Struktur des wasserhaltigen Kristalls, der das Quellen im Beton auslöst, erstmals zu identifizieren. Zuvor war die Struktur Gegenstand vieler Spekulationen gewesen.

Die Entdeckung war der Auslöser für ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanziert wird. Beteiligt sind neben der Empa und dem PSI zwei Institute der EPFL; die Forschungsaktivitäten koordiniert der Empa-Forscher Andreas Leemann. «Wir wollen die AAR in allen Dimensionen untersuchen und verstehen, von der Atom-Ebene und der Längenskala im Angström-Bereich bis hin zu den Auswirkungen auf ganze Bauwerke in der Zentimeter- und Meterskala», erläutert Leemann.

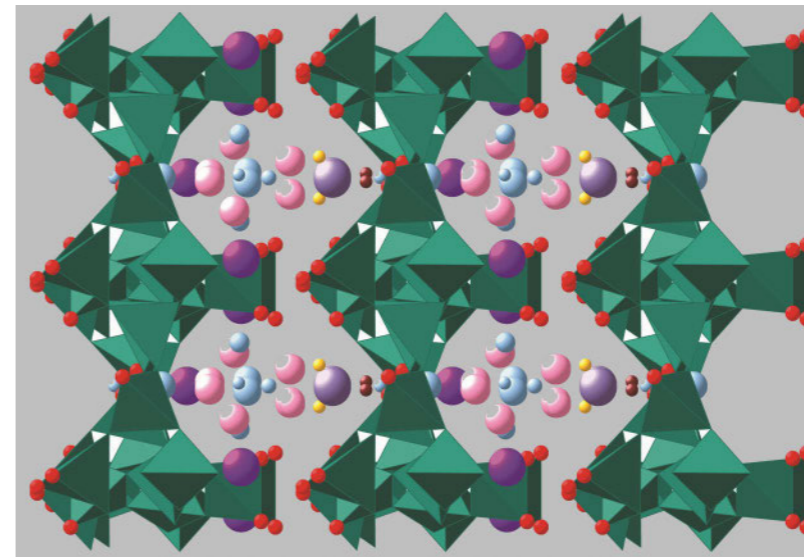
Sechs Teilprojekte für alle Dimensionen
Zu diesem Zweck wurden in dem SNF-Synergia-Projekt sechs Teilprojekte definiert: Das PSI untersucht mit Hilfe von Synchrotronstrahlung die Struktur der Reaktionsprodukte, um ihr Quellen erklären zu können. An der EPFL werden die massgebenden Rahmenbedingungen für das Auflösen der Silikate und die Zusammensetzung der anfänglich gebildeten Reaktionsprodukte untersucht; zudem werden mit Computersimulationen die Auswirkungen des Quellens auf Bauwerke erforscht. Und an der Empa wird einerseits die Entstehung der Risse im Beton räumlich und zeitaufgelöst mit Computertomografie im Empa-Röntgenzentrum erfasst; andererseits werden die wasserhaltigen Kristalle im Labor synthetisiert. So können die Forscher grössere Mengen des Stoffs

erhalten, der gewöhnlich in nano- bis mikrometerkleinen Rissen der Kieskörner steckt. Nur mit grösseren Mengen der fraglichen Substanz lassen sich jedoch physikalische Eigenschaften genau bestimmen. Die so gewonnenen Erkenntnisse sollen nicht nur dazu dienen, die AAR besser zu verstehen, sondern auch Wege aufzeigen, wie sich Schäden – und dadurch Kosten – vermeiden lassen.

«Wir sind bereits mittendrin, das bislang nur in Teilen bekannte Phänomen zu entschlüsseln», so Leemann. Im Mai 2017 startete das vierjährige Forschungsprojekt. Erste Ergebnisse liegen bereits vor. Im nächsten Schritt geht es nun darum, die einzelnen Arbeitsgruppen stärker zu vernetzen und auf den Ergebnissen der Partnergruppen aufzubauen. So soll am Ende ein vollständiges Bild der AAR entstehen, das es erlaubt, den Zustand und die Gefährdung von Betonbauwerken besser abzuschätzen und das Schicksal der angegriffenen Bauten wissenschaftlich fundiert zu begleiten. //

FORSCHUNGSPARTNER

Karen Scrivener, EPFL
Jean-François Molinari, EPFL
Nanocem.org
Rainer Dähn, Paul-Scherrer-Institut



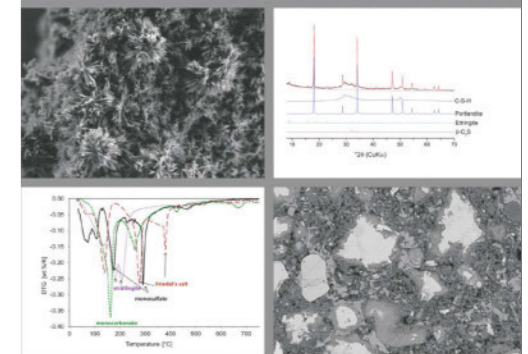
Schäden in drei Dimensionen: Die durch AAR verursachten Risse im Beton entstehen in winzigen Kristallspalten (Bild Mitte) und werden alsbald mit blossen Auge sichtbar (Bild links). Verantwortlich für das Bersten des Betons ist ein Alkali-Kalzium-Silikat-Hydrat, dessen Struktur 2015 mit Hilfe der Empa erstmals aufgeklärt werden konnte (Bild rechts).

Forschung an CO₂-armem Zement

Die Empa-Forschungsabteilung «Beton/Bauchemie» beschäftigt sich nicht nur mit zementgebundenen Baustoffen wie eben Beton, sondern auch mit der Zusammensetzung des Zements selbst. Es ist das Spezialgebiet von Barbara Lothenbach, die bereits seit 2004 eine enge Zusammenarbeit mit dem «Laboratory of Construction Materials» der EPFL unter der Leitung von Karen Scrivener pflegt. 2016 entstand aus dieser Zusammenarbeit sogar ein gemeinsames Lehrbuch (A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials, CRC Press, Oxford/UK).

Aufgrund der immensen Menge an Beton, die für den Bau und Unterhalt unserer Infrastruktur gebraucht wird, trägt die Betonherstellung fünf bis acht Prozent zu den von Menschen verursachten CO₂-Emissionen bei. Möchte man diesen Beitrag verringern, muss man die Zusammensetzung des «Portland-Zements» verändern, der bereits 1844 erfunden wurde und seither mit sehr grossem Abstand der weltweit am meisten verwendete Zement ist. Die durch die Zementproduktion verursachten CO₂-Emissionen lassen sich durch die Beimengung von Zusatzstoffen wie Hochofenschlacke, Flugasche oder gebranntem Ton vermindern. Die Zusatzstoffe reagieren zusammen mit dem Portland-Zement zu Calcium-Silikat-Hydrat (C-S-H). Die CO₂-günstigen Ersatzstoffe haben indes einen Nachteil: Die Zement-Chemie ändert sich – und damit auch die Zusammensetzung des C-S-H, das dem Zement seine Festigkeit verleiht. Und das könnte wiederum Auswirkungen auf Festigkeit und Langzeitstabilität des Betons haben, den man aus dem Zement herstellt. Grundlagenforschung mit Hilfe von chemischen Synthesen, Elektronenmikroskopie, Röntgenstrukturanalysen und weiteren Methoden ist daher nötig. Die Zusammenarbeit der Empa mit der EPFL brachte seit 2004 bereits fünf Dissertationen hervor, drei weitere laufen zurzeit. Finanziert werden die Arbeiten vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und vom internationalen Zementforschungsnetzwerk nanocem.

A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials



Edited by
Karen Scrivener, Ruben Snellings, and Barbara Lothenbach

CRC Press
Taylor & Francis Group
A SPON PRESS BOOK

Batterien, die nicht mehr brennen

Forscher der Empa und der Universität Genf haben den Prototyp einer neuartigen Natrium-Festkörperbatterie entwickelt, der in Zukunft Energie noch sicherer speichern soll.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



Hier entsteht der Prototyp einer neuen Batterie: Marie-Claude Bay und Corsin Battaglia arbeiten in einer sogenannten Glove-Box unter Ausschluss von Sauerstoff.

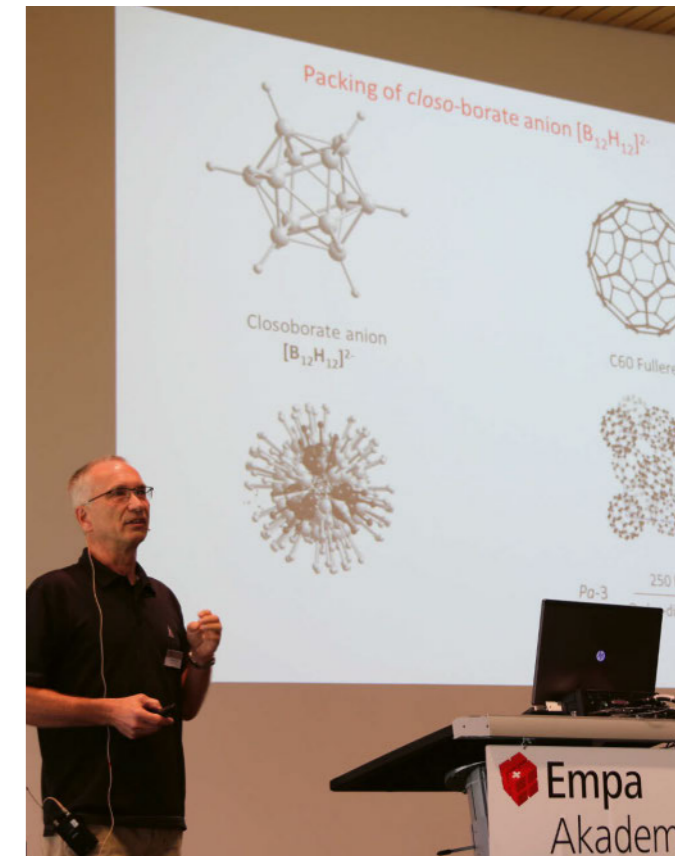
Lithium-Ionen-Akkus sind längst nicht mehr aus unserem Alltag wegzudenken. Sie werden ständig leichter, leistungsfähiger und langlebiger. Doch sie verwenden zum Teil seltene Materialien und können bei falscher Handhabung in Flammen aufgehen oder gar explodieren. Auf der Suche nach einer neuen Generation von Batterien, die leicht, leistungsfähig und zugleich sicher sein sollen, haben Forscher der Empa und der Universität Genf den Prototyp einer sogenannten Festkörperbatterie entwickelt. Sie basiert auf Natrium, einer kostengünstigeren Alternative zum sonst verwendeten Lithium, und festen Borwasserstoff-Verbindungen. Das Sinergia-Projekt wird von Arndt Remhof an der Empa koordiniert und vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanziert.

Der Vorteil des neuen Konzepts wird im Vergleich zur bisherigen Akku-Technik deutlich: Beim Aufladen eines Lithium-Ionen-Akkus verlassen die Ionen die Kathode und wandern durch den flüssigen Elektrolyten zur Anode. Damit sich keine sogenannten Dendriten bilden – mikroskopisch kleine Metallfäden, die Kurzschlüsse in der Batterie auslösen und zu einem Brand führen können – besteht bei den handelsüblichen Batterien die Anode aus Graphit. Dies schränkt allerdings die Leistung des Akkus deutlich ein. Die Verwendung eines Festkörperelektrolyten unterdrückt die Bildung von Dendriten, was wiederum den Einsatz von Anoden aus Metall und somit höhere Energiedichten ermöglicht.

Ein nicht brennbarer Akku mit festem Natrium

Die Forscherteams der Empa und der Universität Genf suchten also nach einem geeigneten festen Ionenleiter, der chemisch sowie thermisch stabil und nicht toxisch ist und zugleich den Transport der Natrium-Ionen von der Anode zur Kathode ermöglicht. Die borhaltige Stoffklasse der closo-Borate zeigte die gewünschten Eigenschaften. «Die Schwierigkeit bestand darin, einen engen Kontakt zwischen den drei Komponenten herzustellen: zwischen der Anode aus festem metallischem Natrium, der Kathode aus Natriumchromoxid sowie dem Elektrolyten, dem closo-Borat», erläutert Léo Duchêne, Forscher im Empa-Labor «Materials for Energy Conversion» und zugleich Doktorand am Departement für physikalische Chemie der Universität Genf. Die Forschenden fanden schliesslich eine Lösung: Sie fabrizierten ein Pulvergemisch aus Elektrolyten- und Kathodenmaterial, trockneten es und pressten die einzelnen Schichten zu einer festen Batterie zusammen.

Im Anschluss testeten Wissenschaftler der Empa die Leistungsfähigkeit die Batterie. «Die elektrochemische Stabilität des Elektrolyten hält einer Spannung von drei Volt stand. Viele der früher untersuchten festen Elektrolyte werden bei diesem Wert bereits zersetzt», erläutert Projektleiter Arndt Remhof. Und nach 250 Lade-Entlade-Zyklen waren immerhin noch 85 Prozent der Energiekapazität verfügbar. «Für eine marktfähige Batterie müssen es jedoch 500 Zyklen sein», so Remhof. Das Team sucht daher nach Optimierungsmöglichkeiten, um die Grenzen des Systems auszuloten. Wenn die nächsten Schritte erfolgreich sind, könnte der closo-Borat-Festkörperakku mit Hilfe von Industriepartnern zur Marktreife weiterentwickelt werden. //



Radovan Cerny, Kristallograf an der Universität Genf, stellte anlässlich eines Batterie-Symposiums an der Empa die Struktur von Boraten vor, die als Grundlage für sichere Festkörperbatterien dienen.

FORSCHUNGSPARTNER

Hans-Rudolf Hagemann, Universität Genf
Radovan Cerny, Universität Genf

Der Mann, der Elektronen filtert

Wissenschaftler der Empa und der Universität Genf untersuchen eine Frage der Atomphysik mit den Methoden der Chemie: Es geht um die Verbindung zwischen Elektronenspin und Chiralität, also die «Händigkeit» von Molekülen, den CISS-Effekt, der 1999 erstmals beschrieben wurde. Daraus möchten die Forscher einen elektronischen Filter basteln, der Elektronen mit unterschiedlichem Spin voneinander trennen kann.

TEXT: Rainer Klose / BILD: Empa

Karl-Heinz Ernst ist es gewohnt, komplexe Dinge einfach zu erklären. «Fangen wir mit dem gewünschten Ergebnis an», sagt er. «Wir möchten einen Spin-Filter bauen, also Elektronen, die durch ein Substrat fliegen, nach ihrem Spin sortieren.» In den nächsten Minuten spricht er von Gold und Schwefel, von Eierkartons und von linken und rechten Händen – und von Atomkraft-Mikroskopen, mit denen sich einzelne Atome bewegen und manipulieren lassen.

Ein kurzer Rückblick in die Wissenschaftsgeschichte bereitet die Bühne, auf der das subatomare Schauspiel stattfinden soll: Die Chiralität von Molekülen wurde im 19. Jahrhundert entdeckt; chemische Moleküle zeigen eine ähnliche Symmetrie wie rechte und linke Hand. In den 1920er-Jahren kam das Prinzip des Elektronenspins hinzu: In einer Atomhülle können zwei Elektronen, die völlig gleich wären, nicht das gleiche Orbital besetzen. Erst die Einführung des Spins – einer Art Drehrichtung – macht es möglich, etwa ein Heliumatom zu erklären, das zwei Elektronen in einem Orbital vereint.

Eine gedankliche Verbindung zwischen molekularer Chiralität («rechts-» oder «linkshändig») und dem Elektronenspin («up» und «down») wurde erstmals 1999 gezogen, und zwar in einer Arbeit von Ron Naamann vom israelischen «Weizman Institute of Science». Er nannte das Phänomen CISS («chirality-induced spin selectivity»), frei übersetzt: ein Spin-Filter aus händischen Molekülen. Seither suchen Wissenschaftler nach Wegen, diesen Effekt besser zu verstehen und sinnvoll zu nutzen. Das tiefere Verständnis könnte etwa helfen, die Rolle von Spin-Effekten in biologischen und bioaktiven Molekülen besser zu verstehen.

2010 gelang es Naamann in Zusammenarbeit mit der Universität Münster erstmals, den Spinfiltereffekt an aufrecht auf einer Goldoberfläche stehenden, chiralen DNA-Molekülen direkt nachzuweisen. Empa-Forscher Ernst will diesen Ansatz nun zusammen mit Kollegen der Universität Genf vertreiben. Sie verwenden in ihren Versuchen Gold-Nanopartikel. Gold ist mit einem Atomgewicht von 197 mehr als zehnmals schwerer als die in der DNA vorkommenden Atome Kohlenstoff (Atomgewicht 12), Stickstoff (14) und Sauerstoff (16) und gut sechsmal schwerer als Phosphor (31). Da die Wechselwirkung des Elektronenspins mit der atomaren Elektronenhülle der «Filteratome» bei schweren Atomen viel stärker ist, hätte eine chirale Konstruktion aus Gold-Atomen, sauber ausgerichtet, einen deutlich stärkeren Einfluss auf durch sie hindurchfliegende Elektronen.

Vier Jahre wird das dieses Jahr gestartete Synergia-Projekt des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) insgesamt laufen. Jérôme Lacour von der Universität Genf wird dafür Moleküle synthetisieren, die einzelne Gold-Nanopartikel wie eine Zange in einer chiralen Konfiguration festhalten sollen. Thomas Bürgi von der Universität Genf stellt die chiralen Goldpartikel her und trennt sie in «rechtshändige» und «linkshändige» auf. Und an der Empa werden die Partikel dann auf einer Oberfläche sauber aufgestellt – wie Eier in einem Eierkarton, die Spitze jeweils nach oben. Dann wollen die Forscher herausfinden, ob das goldene Atom-Ensemble tatsächlich als Spin-Filter fungiert. «Wir sind bisher weltweit die einzigen, die mit solch schweren Atomen an diesem Phänomen forschen», sagt Ernst. «Mal sehen, was dabei herauskommt. Hoffentlich der wirksamste Spinfilter der Welt.» //

Karl-Heinz Ernst ist Spezialist für chirale Moleküle

FORSCHUNGSPARTNER

Jérôme Lacour, Universität Genf
Thomas Bürgi, Universität Genf



Ein starkes Duo

TEXT: Annette Locher (FSRM) / BILD: Empa

Geplante gemeinsame Kurse 2019 an der Empa-Akademie

- Klebtechnik für Praktiker
- Graphen und Kohlenstoff-Nanoröhrchen
- Korrosion und elektrochemische Charakterisierung
- Kriterien zur Wahl eines Elektromotors
- Hightech-Keramiken
- Materialbearbeitung mit Laser
- Additive Fertigung von Metallen
- Polymerwerkstoffe für technische Anwendungen: Bewertung und Auswahl

Kursbeschreibungen und Termine:
www.fsrn.ch; www.events.empa.ch

KOOPERATIONSPARTNER

FSRM, Neuchâtel

Die im Jahr 2011 gestartete Zusammenarbeit im Bereich beruflicher Weiterbildung zwischen der Empa und der FSRM (Fondation Suisse pour la Recherche en Micro-technique) wird auch in den nächsten Jahren fortgesetzt. Die bisherige Bilanz kann sich mit 720 Kursteilnehmern in acht Jahren durchaus sehen lassen. Dadurch erreicht die berufliche Weiterbildung in der Schweiz eine nationale, mehrsprachige Dimension.

FSRM und die Empa verfolgen beide das Ziel, neues Wissen aus Forschung und Technologie in Kompetenzen für den Berufsalltag zu überführen. FSRM mit Sitz in Neuchâtel und die Empa mit drei Standorten in der deutschsprachigen Schweiz – eine Zusammenarbeit über den Röstigraben hinweg erschien daher logisch und erfolgversprechend. 2011 kamen die ersten Kontakte zustande, und schon bald wurden die ersten gemeinsam konzipierten Kurse an der Empa-Akademie in Dübendorf durchgeführt. Die Komplementarität beider Institutionen hat sich bewährt: Bisher wurden knapp 70 ein- oder zweitägige Kurse gemeinsam organisiert, die Ingenieuren, Technikern und Entscheidungsträgern aus der Industrie Wissen vermittelten, das direkt in die Praxis umsetzbar ist.

Neuer Elan

Die Zusammenarbeit geht weiter. Die Kurse für 2019 an der Empa-Akademie stehen bereits grösstenteils fest. Die Dozenten stammen entweder aus dem Pool der über 150 externen Experten, auf die FSRM zurückgreifen kann, oder aus der Empa.

FSRM, die dieses Jahr ihr 40-jähriges Bestehen feiert, hat sich seit 1992 auf die Durchführung beruflicher Weiterbildungskurse spezialisiert. Über 20 000 Ingenieure und Techniker haben bisher an den Kursen teilgenommen, die in der Schweiz – unter anderem an der Empa – und teilweise im Ausland stattfinden. Auch massgeschneiderte firmeninterne Schulungen werden angeboten, in denen auf die spezifischen Bedürfnisse der Mitarbeiter eingegangen werden kann. Die Empa und FSRM arbeiten aber auch auf anderen Gebieten zusammen, etwa dem Organisieren der «Swiss NanoConvention», des grössten Schweizer Nano-Kongresses, der jedes Jahr in einer anderen Stadt durchgeführt wird. //



Save the date – SNC 2019 – June 6 & 7, 2019
 EPFL • SwissTech Convention Center



The Swiss NanoConvention brings together Swiss and international leaders from science and industry in the field of «nano», key figures in innovation and technology, entrepreneurs, investors, administrators and politicians. The Swiss NanoConvention is a platform for connecting people, networking, debating and exchanging ideas – or even generating new ones. Key players are able to gather the best available information on the potential, but also on the risks of one of the key emerging technologies of the 21st century, and its opportunities for innovative technologies, products and services.

Please join us at next year's event

at the EPFL SwissTech Convention Center at June 6 & 7, 2019.

In short: The Swiss NanoConvention is the prime showcase for nanotechnology in Switzerland, jointly organized by the «who-is-who» in the Swiss nano scene. It is the venue for meeting the great minds in nanoscience and -technology. Key topics of the conference include Nano for ICT, the life sciences, optics, energy and materials for a sustainable development. The two-day program will feature plenary talks, topical sessions, discussion platforms and ample opportunities for indepth and informal networking. A poster session is also planned.

Infos and registration: <http://swissnanoconvention.ch/2019/>

Swiss NanoConvention 2019
 EPFL | Lausanne | June 6-7, 2019
info@swissnanoconvention.ch

A Conference by



Organised by



Sponsored by



EmpaQuarterly

– das Forschungsmagazin



Was läuft in Forschung und Technologie? Welche Rolle spielt die Empa? Wie werden aus Entwicklungen aus dem Labor Innovationen, die sich am Markt behaupten? EmpaQuarterly, unser Magazin für Forschung und Innovation, gibt Antworten – mit Interviews, Portraits und packenden Reportagen aus unseren Labors. Ein informativer und kurzweiliger Streifzug durch die Welt der Materialwissenschaften.

Abonnieren Sie das Heft
kostenlos hier:

www.empaquarterly.ch

Veranstaltungen

10. Oktober 2018

Kurs: Klebtechnik für Praktiker

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/klebtechnik
Empa, Dübendorf

17. Oktober 2018

Kurs: Materialbearbeitung mit Laser

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/laser
Empa, Dübendorf

29. Oktober 2018

International Workshop on CIGS Solar Cells

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
www.empa-akademie.ch/sharc25
Empa, Dübendorf

30. Oktober 2018

**Externe Vorspannung mit memory-steel
als Bauwerksverstärkung**

Zielpublikum: Ingenieure aus der Praxis,
Forscher aus dem Bereich Fe-SMA
www.empa-akademie.ch/memory-steel
Empa, Dübendorf

06. November 2018

Kurs: Additive Fertigung von Metallen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/addfert
Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter
www.empa-akademie.ch

Ihr Zugang zur Empa:

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



@EmpaMaterialScience



Empa_CH



EmpaChannel



Empa



empa_materials_science