

# Empa Quarterly

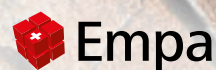
Forschung & Innovation #52 | April 16

## Holz – völlig neu erdacht

Terahertz macht  
Textilien durchsichtig

Asphalt, der Risse  
von selber heilt

Fein verteiltes AdBlue  
säubert den Diesel



Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

## Ein wahres Multitalent

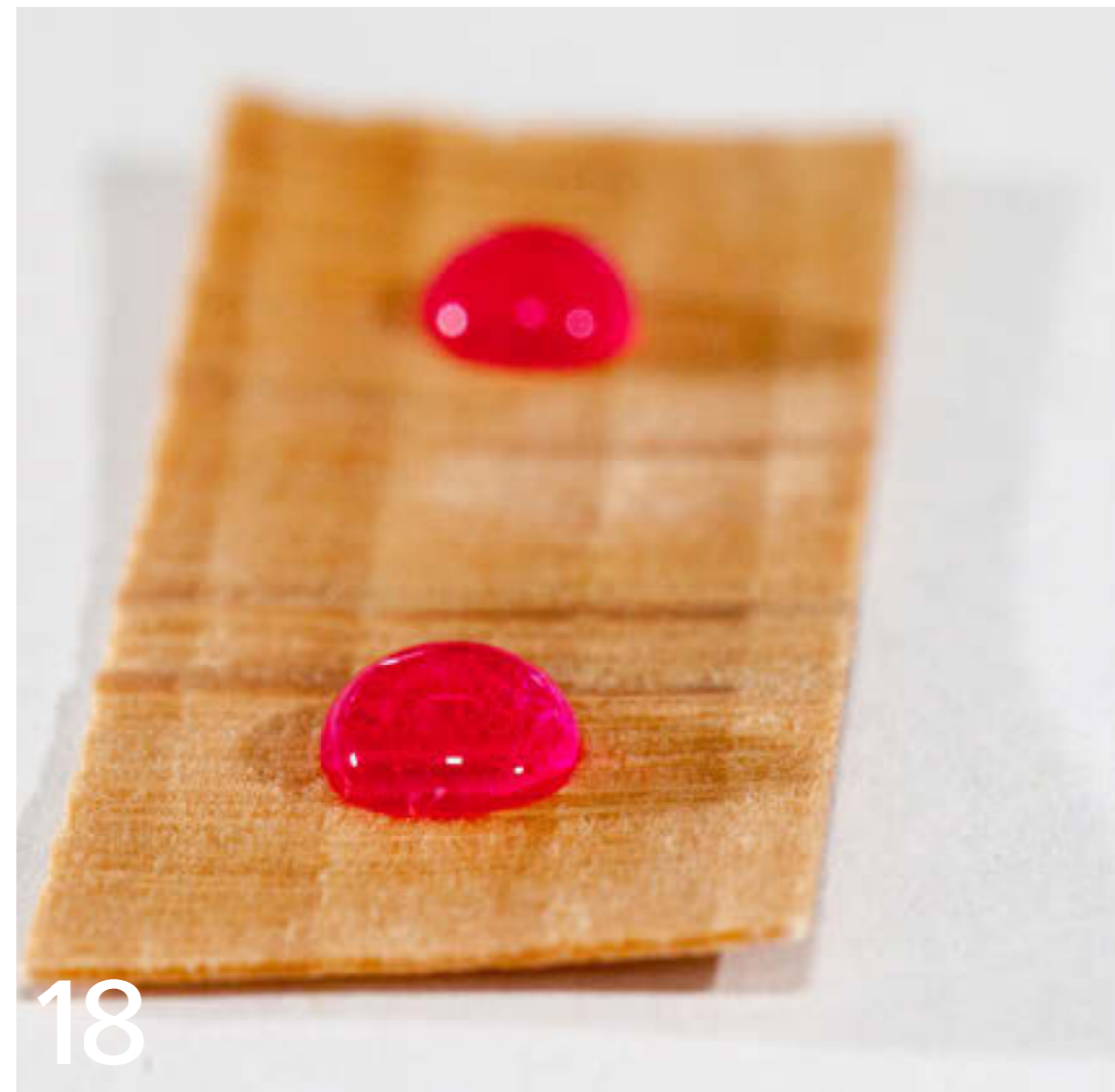
Liebe Leserin, lieber Leser

Es ist eines der ältesten Bau- und Handwerksmaterialien der Menschheit. Vielseitig einsetzbar und ästhetisch. Und dazu erst noch nachwachsend. Die Rede ist von Holz, einer der wenigen natürlichen Rohstoffe, über die die Schweiz in grossen Mengen verfügt.

So weit, so gut. Und so langweilig. Denn über Holz weiss man ja praktisch alles, sollte man meinen. Weit gefehlt, vor allem, wenn das Holz in den Empa-Labors «veredelt» wurde. Was diese neuartigen Hightech-Hölzer alles können, zeigt der Fokus der aktuellen Ausgabe von EmpaQuarterly (S.16). Da geht es unter anderem um Holz, das antimikrobiell wirkt, also Keime abtötet – nicht nur für Schneidbretter in der Küche interessant, sondern auch für Inneneinrichtungen in Spitälern. Und wir zeigen, wie man Holz so wasserabweisend machen kann, dass es sich selbst für Waschbecken oder Badewannen eignet. Eine Magnettafel aus Holz? Auch kein Problem, dank der eingelagerten Eisenoxid-Partikel. Und und und... (Über Holz, das nicht mehr brennt, berichteten wir im letzten EmpaQuarterly.) Der Fantasie, so scheint es, sind kaum Grenzen gesetzt. Die Holz verarbeitende Industrie dürfte es freuen, was sich die Holzforscher der Empa so alles ausdenken.

Ein anderer bedeutender Schweizer Industriezweig, die Haute Horlogerie, hat vor kurzem ebenfalls eine Innovation der Empa in einem ihrer noblen Produkte verwendet; die letztes Jahr präsentierten (und limitierten) «Big Bang Broderie»-Modelle der Luxusuhren-Manufaktur Hublot sind dank plasmabeschichteter, 24-karätiger Goldfäden auf Zifferblatt und Armband ein echter Hingucker. Entwickelt wurde die Technologie, Fasern mit nanometerdünnen Schichten aus Metall zu überziehen, im Textillabor der Empa in St. Gallen (s. EmpaNews Nr. 35, Januar 2012). Einen Blick auf die edlen Zeitmesser können Sie beim Uhrenhändler Ihres Vertrauens oder auf S. 31 unseres Magazins werfen.

Viel Vergnügen beim Lesen!



18



20



26



28

### Fokus

## Holz – völlig neu erdacht

- 16** **Poster: Was ist Holz?**  
Die volle Übersicht – vom Baumstamm bis zur Zellwand.
- 18** **Durch und durch wasserfest**  
Das hölzerne Lavabo wird Wirklichkeit.
- 20** **Der Bio-Magnet**  
Eingebautes Eisenoxid macht Holz anziehend wie nie.
- 21** **Keine Chance für Keime**  
Fest verankertes Iod schützt bewitterte Fassaden vor Pilzen und Spitalbewohner vor Infektionen.
- 24** **Der Sonne entgegen**  
Ein hölzernes Solarzellengestell, das der Morgensonne folgt.
- 26** **Hochhäuser aus Grasbeton**  
Bambus-Composites könnten Betonbauten in der 3. Welt billiger und umweltfreundlicher machen.
- 04** **Rauchverbot für Jets**  
Ab 2020 gilt ein internationaler Abgasstandard für Airliner.
- 08** **Reinigungsspray für Diesel-Abgas**  
Das Empa-Motorenlabor analysiert die Kunst des Sprühens.
- 10** **Des Asphalts wundersame Heilung**  
Know-how aus der Krebsmedizin lässt Strassen länger halten.
- 14** **Tera incognita**  
Empa-Forscher wollen filmen, wie Textilien die Haut wund scheuern. Sie nutzen Terahertz-Strahlung, die den Stoff unsichtbar macht.
- 28** **Italienischer Strahle(n)mann**  
Empas Chef-Analytiker Davide Bleiner ist ein begehrter Laserspezialist.

#### Titelbild

Holz – dieser uralte Baustoff ist nach wie vor beliebt und für viele Zwecke unverzichtbar. Aber aus etwas Gutem kann man immer etwas Besseres machen: Empa-Forscher verwandeln Holz in einen feuerfesten oder magnetischen, in einen Wasser abweisenden oder antimikrobiellen Werkstoff. Bild: istockphoto.com Fokus-Thema ab Seite 16

#### Impressum

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



Flugzeugturbinen erzeugen Feinstaub – vergleichbar mit Dieselmotoren ohne Partikelfilter. Zusammen mit internationalen Partnern hat die Empa eine Messmethode entwickelt, nach der ab 2020 alle Jet-Triebwerke weltweit zertifiziert werden sollen. Abgasvorschriften für die Luftfahrt werden nun möglich. Fliegen wird sauberer.

## Rauchverbot für Jets

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Charlie Atterbury / Empa

**W**ie viel Feinstaub kommt aus einer Flugzeugturbine? Eine gute Frage, die bislang niemand beantworten konnte. Denn die Abgase eines handelsüblichen Boeing 737-Triebwerks kommen bei vollem Schub mit gut 1200 km/h Geschwindigkeit aus dem Rohr und sind 700 Grad heiss. Jemand, der sie messen will, sollte besser reichlich Abstand halten.

Empa-Forscher haben es gemeinsam mit der Flugzeugwerft SR Technics und dem Schweizer Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) dennoch geschafft und damit einen internationalen Messstandard etabliert. Am 2. Februar wurde die Empa-Messmethode vom Umweltgremium der internationalen Luftfahrtorganisation ICAO in Montreal verabschiedet. Bis 2019 soll sie von allen Mitgliedsstaaten ratifiziert sein. Und ab 2020 sollen alle neu gebauten Flugzeugtriebwerke nach der Empa-Messmethode zertifiziert werden. Ab dann werden die Anzahl und das Gewicht der Feinstaubpartikel aus den Triebwerken genau registriert. Aufgrund dieser Daten können die Abgasvorschriften später angepasst werden.

### Veraltete Messmethode für sichtbaren Rauch

Werfen wir zunächst einen Blick zurück ins Jahr 1960: Das Titelbild zeigt eine Boeing 707 der American Airlines, die an einem feuchtwarmen Vormittag vom Los Angeles International Airport in Richtung Pazifik startet. Aus jedem ihrer vier Triebwerke faucht eine fette Russwolke. Nicht nur wegen der schlimmen Optik ist ein solcher Start für eine Airline nicht optimal: Das teure Kerosin wird hier nicht in Vortrieb verwandelt, sondern in nutzlose Russpartikel. Schon bald wurden die Triebwerke daher leiser und effizienter.



Volldampf voraus: Im Juni 1960 hinterlässt diese Boeing 707 eine deutlich sichtbare Russwolke beim Start auf Piste 25L des Flughafens Los Angeles. Damals wurde noch Wasser in die Triebwerke gespritzt, um sie zu kühlen. Heutige Triebwerke sind vollgasfest und viel effizienter. Sie erzeugen sehr feine Russpartikel, die nicht mehr von blossen Auge sichtbar sind.

Bild: Charlie Atterbury, Seattle

Die schwarzen Abgaswolken verschwanden bis in die 1980er-Jahre fast vollständig. Gleichzeitig hatte die ICAO 1983 erstmals Abgasvorschriften für Jet-Triebwerke erlassen: Die Messungen basierten damals noch auf der so genannten Russzahl – also dem sichtbaren Schwärzen eines weissen Filterpapiers. Abgase aus Ölheizungen und Dieselmotoren wurden damals nach einem ähnlichen Prinzip gemessen.

Heute gilt diese Messmethode als veraltet. Autos mit Dieselmotoren, die neu zugelassen werden, müssen seit 1. Januar 2013 die Abgasnorm Euro 5b (bei Lastwagen und Bussen: Euro VI) erfüllen, in der nicht nur das Gewicht der Russpartikel, sondern auch deren Anzahl reglementiert ist. Ohne Russfilter ist die Norm nicht zu schaffen. Nun hinkt die Luftfahrtindustrie hinterher. Und

eine internationale Gruppe von Forschern nahm sich des Problems an.

#### Riesentrüssel

Die Arbeiten begannen 2011. Theo Rindlisbacher, Umweltexperte beim BAZL, startete zusammen mit SR Technics das Projekt. Im Triebwerksteststand am Flughafen Zürich wurde ein fast 200 Kilo schwerer Metallrüssel installiert, der stark genug war, dem Abgasstrom einer Turbine bei vollem Schub standzuhalten. Er kann ferngesteuert millimetergenau hinter dem Triebwerk positioniert werden. An der Spitze des Rüssels nimmt ein acht Millimeter grosses Loch das Abgas auf – bei voller Leistung strömen bis zu 100 Liter Abgas pro Minute in das Messsystem.

Nun kam die Expertise der Empa ins Spiel. Schon von 1995 bis 2002

hatte die Empa massgeblich dabei geholfen, Filtertechnik für dieselgetriebene Baumaschinen in der NEAT-Baustelle zu entwickeln. Auch der Abgasstandard Euro 5 basiert auf Forschungen der Empa (siehe Infobox: «Euro 5»). Nun hatten die Forscher die Aufgabe, das Partikel-Messverfahren auf Flugzeugtriebwerke anzupassen. Projektleiter Benjamin Brem und Lukas Durdina von der Empa-Abteilung «Advanced Analytical Technologies» waren ab 2011 ständige Gäste am Triebwerkteststand der SR Technics. Die Forschungskampagne lief unter dem Namen «APRIDE» (Aviation Particle Regulatory Instrumentation Demonstration Experiments). Neben der Empa waren Wissenschaftler des Deutschen Instituts für Luft- und Raumfahrt (DRL), der Cardiff University (UK), der Missouri University of Science and Technology (USA), des National Research Council of Canada und der US-Umweltbehörde EPA beteiligt.

Weil die kurzen Testläufe von revidierten Kundentriebwerken der SR-Technics nicht ausreichten, mieteten die Forscher auf dem



Boeing-737-Triebwerk im Teststand der SR Technics am Flughafen Zürich. 95 Stunden lang untersuchten Empa-Forscher die Emissionen beim Rollen, bei Start, Steigflug und Reiseflug.

Luftfahrtmarkt eine Turbine vom Typ CFM56 – eines der meistgebauten Triebwerke der Welt, das unter den Flügeln fast jeder Boeing 737 hängt. 95 Betriebsstunden lang wurde das Abgas des Triebwerks untersucht. Die Forscher simulierten das Rollen vom Gate zur Startbahn mit nur 7 Prozent Triebwerksleistung, Start und Steigflug mit 85 bis 100 Prozent Leistung und den Reiseflug mit 40 bis 60 Prozent Triebwerksleistung. Dabei mussten sie die Betriebsvorschriften der Turbine peinlichst einhalten, genau wie eine Airline. 130 Tonnen Kerosin wurden im Teststand der SR Technics in Lärm, Hitze, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Russpartikel verwandelt – und genauestens analysiert. Diese Messung dient gewissermassen als Blaupause für alle Triebwerkszertifizierungen, die ab 2020 stattfinden sollen. Damit setzten die Forscher einen neuen Standard für die Jet-Abgase der nächsten Jahre und Jahrzehnte.

#### Fünf Minuten auf dem Rollfeld ist wie ein Jahr Autofahren

Die Ergebnisse waren verblüffend: Beim Rollen vom Gate zur Startbahn laufen die Triebwerke mit weniger als 10 Prozent Leistung – also nicht im optimalen Betriebsbereich. In dieser Zeit stossen etwa die beiden Triebwerke einer Boeing 737 pro Sekunde so viele Russpartikel aus wie ein modernes Euro-VI-Dieselauto mit Partikelfilter, das 60 km weit gefahren ist. Nach fünf Minuten auf dem Rollfeld ist das Äquivalent einer Jahresfahrleistung von 18000 Kilometern erreicht. Besonders viele ultrafeine Russpartikel produziert die Turbine im Leerlauf, beim Start und im Steigflug. Im Reiseflug arbeitet das Triebwerk effizienter und stösst deutlich weniger Partikel aus. Die Partikel selbst sind etwa viermal kleiner als diejenigen aus einem Diesel-PW: Sie haben einen Durchmesser von einem Hunderttausendstelmillimeter. Im Elektronenmikroskop lässt sich sogar erkennen, dass Leerlauf-Partikel eine andere Struktur haben als Vollast-Partikel.

#### Was bringen alternative Treibstoffe?

Nachdem jetzt erfolgreich eine Messmethode etabliert worden ist, die ab 2020 Abgase aus Jet-Triebwerken erfasst, wollen sich Benjamin Brem, Lukas Durdina, Jing Wang und mehrere Abgasspezialisten der Empa um die Analyse der Abgasbestandteile kümmern. Bereits im November 2015, kurz nach Abschluss des Forschungsprojekts APRIDE, startete an der Empa das Nachfolgeprojekt «EMPAIR-EX». Noch einmal wird der Probenrüssel im Triebwerkteststand der SR Technics zum Einsatz kommen. Nun sollen verschiedene Kerosin-Zusammensetzungen untersucht werden. Vorhergegangene Messungen deuten auf grosse Unterschiede in der Abgasqualität hin, je nachdem, ob das Flugzeug in Europa, in Amerika oder in Südamerika mit dem dort vermarkteten Kerosin betankt wird. Zusätzlich

wollen die Forscher den Zusatz alternativer Treibstoffe zum fossilen Kerosin prüfen. Diese klimaneutralen, aus Abfallfetten und -ölen aus der Lebensmittelindustrie oder aus Zuckerrohr gewonnenen Treibstoffe sind bereits auf dem Markt. Doch niemand weiss genau, ob sie im Triebwerk auch sauberer verbrennen als Kerosin aus fossilen Quellen. Die Messungen der Empa sollen Antwort liefern.

#### Wie giftig sind die Russpartikel wirklich?

Auch die chemischen Anhaftungen an den Russpartikeln selbst sollen im Gaschromatografen genauer betrachtet werden. Der Empa-Analytikspezialist Norbert Heeb bringt hier seine langjährige Erfahrung ein. Er hat in Partikelfiltern von Baumaschinen bereits unschöne chemische Überraschungen entdeckt. «Unsere Arbeit wird Auswirkungen auf die Luft haben, die unsere Kinder und Enkel atmen», sagt Empa-Forscher Benjamin Brem. «Denn Flugzeugturbinen sind 20 bis 30 Jahre im Einsatz – so lange wie die Flugzeuge selbst.» Ein Triebwerkmuster, das 2020 zertifiziert wird, wird also mit hoher Wahrscheinlichkeit noch 2040 am Flughafen Zürich, in europäischen Grossstädten und an vielen Feriendestinationen im Einsatz sein. //



Empa-Forscher Lukas Durdina überwacht die Messungen.

### Vom NEAT-Tunnel zur Abgasnorm Euro 5

Die Empa hat mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Analyse von Russpartikeln aus Verbrennungsmotoren. Alles begann 1993 mit dem Beschluss, den NEAT-Basistunnel zu bauen. Schnell war klar, dass die Arbeitsschutzvorschriften in der 60 km langen Tunnelbaustelle mit ungefilterten Diesel-Baumaschinen nicht hätten erfüllt werden können. Doch niemand konnte damals die Wirkung von Diesel-Partikelfiltern beweisen.

Im Rahmen des VERT-Projektes (<http://vert-certification.eu>) war die Empa ab 1997 an der Entwicklung einer Zertifizierungsmethode für Partikelfilter beteiligt, die in der EU auf grosses Interesse stiess. Ende 2000 wurde an der Empa die internationale Arbeitsgruppe PMP, Particle Measurement Programme, gegründet, mit dem Ziel, einen neuen, empfindlicheren Partikelgrenzwert in der EU-Gesetzgebung zu verankern. Knapp zwei Jahre später richtete die Empa eine aufwändige Messkampagne aus, in der sämtliche damals bekannten und verfügbaren Messverfahren verglichen wurden.

Auf der daraus resultierenden Empfehlung, «die Anzahl nicht-flüchtiger Partikel» im Nanobereich als neue Messgrösse zu verwenden, basiert der seit der Abgasnorm Euro 5b (September 2011) in Europa geltende Grenzwert für die Partikelanzahl. Dank diesem Grenzwert verfügt heute jedes neue Dieselfahrzeug über einen Partikelfilter, der die Partikelemissionen um das Hundert- bis Tausendfache senkt.

Die Abgaswerte von Diesel-Personenwagen werden seit dem VW-Abgasskandal im Herbst heiss diskutiert. Es wurde klar, dass vor allem bei der Entgiftung der Stickoxide  $\text{NO}_x$  noch viele Fragen offen sind. Ein Empa-Team erforscht seit vier Jahren genau dieses Problem und erarbeitet Grundlagenwissen für den sauberen Diesel von morgen.

# Reinigungsspray für Diesel-Abgas

TEXT: Stephan Hauri / BILDER: Empa

**W**ir sind in den Startlöchern für eine neue Dieselabgastechnik», sagt Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler, der mit einem Team aus Empa-Forschern und ETH-Studenten seit rund vier Jahren an der Optimierung der Harnstoffeinspritzung in den Dieselabgasstrom arbeitet. Mit der Einführung der Abgasnorm Euro 6 für alle Neufahrzeuge ab 1. September 2015 müssen die Stickoxidemissionen ( $\text{NO}_x$ ) auf extrem niedrige 80 mg/km gesenkt werden. Das macht ein aufwendiges Katalysatorsystem notwendig. Kleinere Autos kommen in der Regel mit dem kostengünstigeren  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator aus, grössere und schwerere Fahrzeuge dagegen sind auf ein sogenanntes SCR-System angewiesen («Selective Catalytic Reduction»). Dabei wird die Harnstofflösung AdBlue in die Abgasleitung eingespritzt.

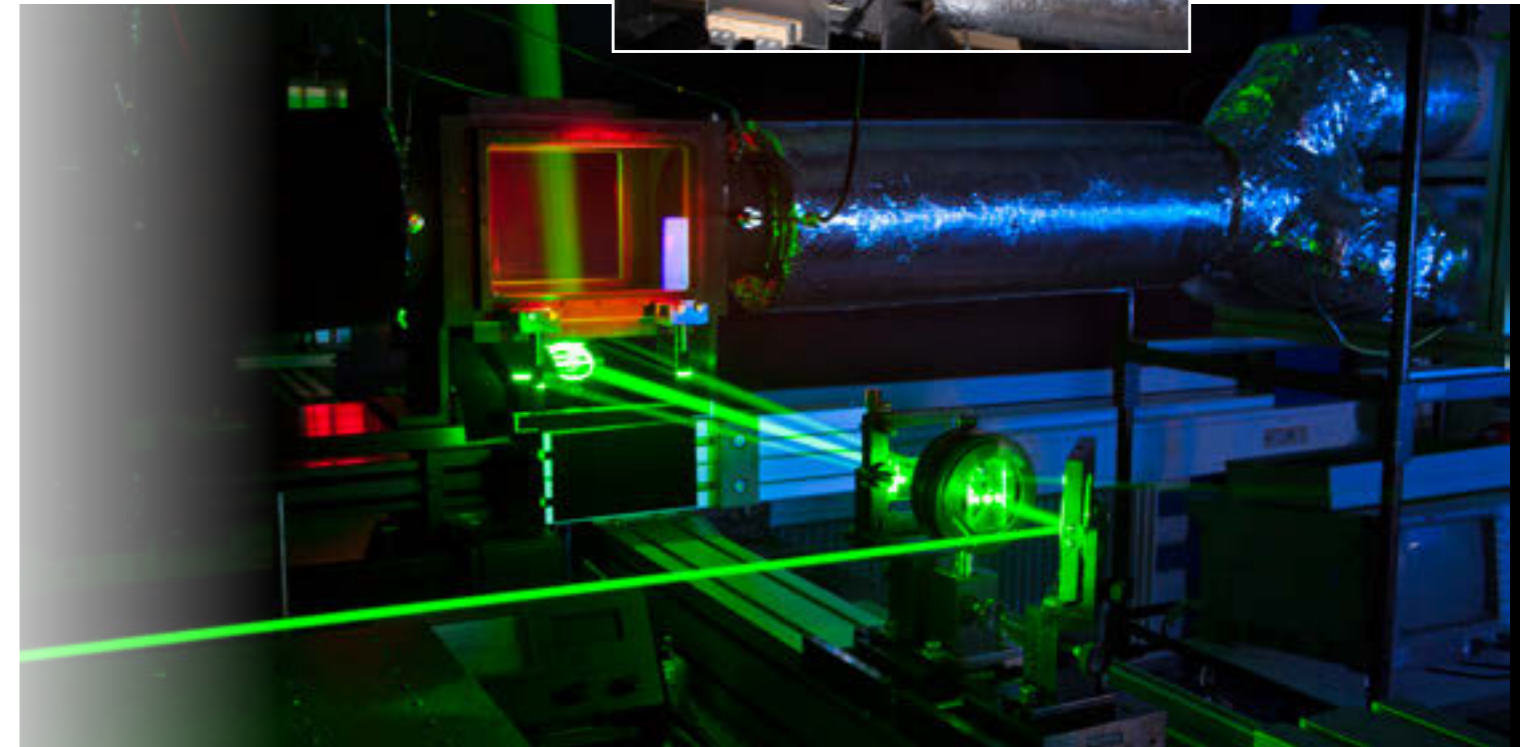
Im Lastwagenmotor funktionieren solche SCR-Systeme schon seit rund zehn Jahren einwandfrei. Im Personenwagen aber ist die AdBlue-Zumischung schwieriger, weil der Motor mit häufig und schnell wechselnder Belastung betrieben wird. Um den Schadstoffausstoss nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch im Alltagsverkehr zuverlässig zu verringern, muss die AdBlue-Einspritzung also noch wesentlich verbessert werden. Zum einen muss die Einspritzmenge genau gesteuert werden, zum anderen sind weitere Faktoren, etwa die Temperaturen in der Abgasleitung, zu beachten.

## Entgiftung mit AdBlue

Die selektive katalytische Reduktion erfolgt durch Einspritzung einer wässrigen Harnstofflösung – bekannt unter der Handelsbezeichnung AdBlue – in die Abgasleitung hinter Partikelfilter und Oxidationskatalysator. In der Hitze zerfällt die Harnstofflösung, es entsteht Ammoniak. Die im Abgas enthaltenen Stickoxide werden durch diesen vor Ort gebildeten Ammoniak reduziert – also in die ungiftigen Komponenten Stickstoff und Wasser umgewandelt.

Im Bereich der Personenwagen, wo anders als bei schweren Nutzfahrzeugen mit schnell variierenden Motorlasten und -drehzahlen gefahren wird, hat sich nun herausgestellt, dass die Harnstoffeinspritzung alles andere als banal ist. Es gilt nicht nur die Einspritzmenge genau zu dosieren, sondern auch zahlreiche andere Einspritzparameter zu beachten. Wird zu wenig Harnstoff eingespritzt, bleiben die  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu hoch; ist die Dosierung zu gross, ist der AdBlue-Verbrauch zu hoch, und es entstehen unangenehme Ammoniakgerüche. Zudem können sich Ablagerungen bilden, die den SCR-Katalysator im Extremfall wie eine Tropfsteinhöhle aussehen lassen und zum Ausfall des Entgiftungssystems führen.

Zur optimalen Umwandlung aller  $\text{NO}_x$ -Gase ist eine präzise Harnstoff-Einspritzanlage unumgänglich. Doch um hohe Präzision zu erreichen, müssen die Techniker begreifen, was im Abgasstrom kurz vor dem SCR-Katalysator genau abläuft. Und hier hat



Das Empa-Forscherteam Potis Dimopoulos Eggenschwiler und Alexander Spitiari an der Messkammer für Sprühversuche.

Eine Laseroptik zählt die Sprühtröpfchen und analysiert Grösse und Flugbahn.

das Empa-Forscherteam um Potis Dimopoulos Eggenschwiler die Nase ganz weit vorn. Mittlerweile sind die Erkenntnisse so weit gediehen, dass der Empa-Forscher mit einer baldigen Umsetzung in einem Serienfahrzeug rechnet.

## Forschung am einzelnen Tröpfchen

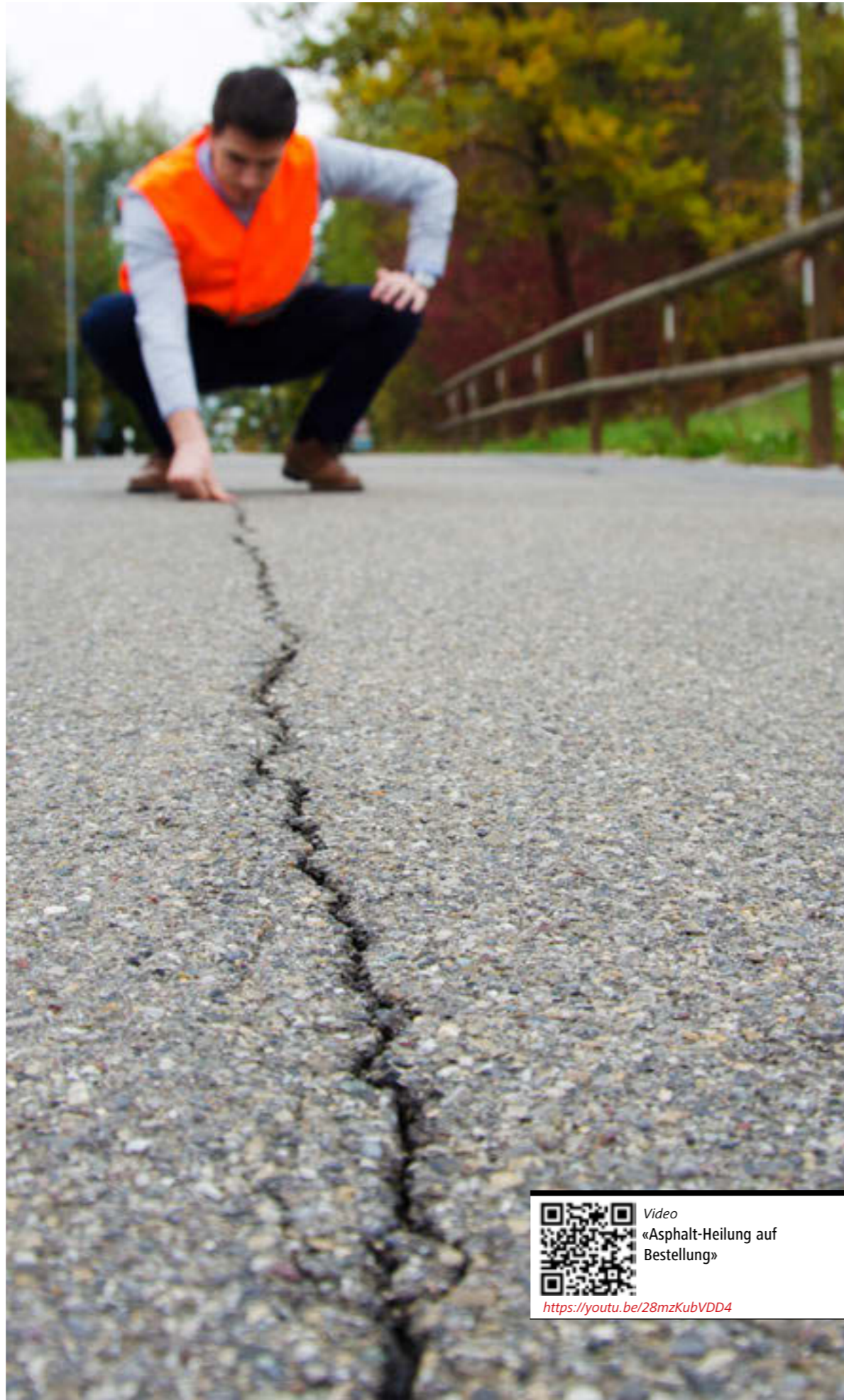
In einer in Eigenregie aufgebauten aufwändigen Versuchsanlage auf dem Empa-Campus in Dübendorf wird der Einspritzvorgang systematisch erforscht. Dabei stellte sich heraus, dass sowohl die Positionierung des Injektors als auch die Form und die Richtung des Sprühstrahls sowie vor allem die Grösse der einzelnen AdBlue-Tröpfchen eine grosse Rolle spielen. Wichtig ist, dass der Harnstoff schnell und komplett verdampft, sich gut mit den Abgasen vermischt und dann in das Reduktionsmittel Ammoniak umgewandelt werden kann. Es hat sich zudem gezeigt, dass das Verdampfen der zerstäubten AdBlue-Flüssigkeit stark temperaturabhängig ist. Treffen die Tröpfchen auf eine rund 150 °C heisse Oberfläche in der Abgaslei-

tung, verdampfen sie schnell. Ist die metallische Auspuffwand, auf die der AdBlue-Spray aufschlägt, aber heisser, bildet sich eine Dampfschicht um die flüssigen Tröpfchen, so dass sie noch immer in flüssiger Form und mit nur wenig geringerem Volumen wieder abprallen.

Parallel zur Forschung am Einspritzvorgang haben die Empa-Spezialisten zusammen mit Ingenieuren des Paul Scherrer Instituts (PSI) einen neuartigen kleinen Katalysator entwickelt, der die Ammoniakbildung zusätzlich beschleunigt. Dieser sogenannte Hydrolysekatalysator wird vor dem SCR-Hauptkatalysator in die Auspuffleitung integriert. Zusammenfassend stellt Dimopoulos Eggenschwiler fest, dass der Entstickungsgrad der Dieselabgase stark abhängig von der Qualität der AdBlue-Einspritzung ist. Und so detailliert wie im Empa-Labor ist derzeit das entsprechende Know-how bei den meisten Auto- und Motorenherstellern nicht. Das Team um Dimopoulos Eggenschwiler hat in der Vergangenheit die Hersteller von Lastwagenmoto-

ren bei der Entwicklung der Abgasentgiftungsanlagen erfolgreich unterstützt. Jetzt muss das gleiche bei Personenwagen gelingen. Das Grundlagenwissen dazu entsteht an der Empa. //

Vom Labor auf die Strasse  
– Jeoffroys Produkt ist bereit  
für den Praxistest.



Video  
«Asphalt-Heilung auf  
Bestellung»

<https://youtu.be/28mzKubVDD4>

# Des Asphalts wundersame Heilung

Etienne Jeoffroy hat ein Verfahren entwickelt, das brüchigen, alten Asphalt heilen kann. Inspiriert hat ihn eine Methode aus der Krebsbehandlung.

TEXT: Lorenz Huber / BILDER: Empa

**K**onzentriert blickt Etienne Jeoffroy durch seine Schutzbrille. Mit einem kleinen Löffel rührt er ein kupferfarbenes Pulver in ein Reagenzglas. Was aussieht wie Kupferpulver, das sind in Wirklichkeit Eisenoxid-Nanopartikel. Beim Arbeiten mit ihnen muss Jeoffroy seine Hände in einen sogenannten Autoklaven stecken, einen Glaskasten, dessen Innenraum mit reaktionsträgem Schutzgas gefüllt ist. Normalerweise forschen Wissenschaftler von der Gruppe Prof. André Studart an der ETH Zürich in diesem Labor an sogenannten bioinspirierten Materialien. Heute gehört der Arbeitsplatz dem Doktoranden aus der Empa-Abteilung Road Engineering: Jeoffroy will mit den Eisen-Nanopartikeln versuchen, den Strassenbau zu revolutionieren.

Um Asphalt zu mischen, wird im Strassenbau Bitumen verwendet, ein Material, das bei der Verarbeitung von Erdöl gewonnen wird. Bitumen ist pechschwarz, extrem dickflüssig und klebrig. Es fungiert im Strassenbelag als eine Art Leim, der kleine Steine und Sand zusammenhält. Durch Abnutzung, Temperaturunterschiede oder chemische Substanzen wie Luftsauerstoff wird dieser Leim brüchig. Es entstehen mit der Zeit Risse im Asphalt. Die sind anfangs mikroskopisch klein, vergrössern sich dann stetig unter der ständigen Belastung des Strassenverkehrs. Das führt über kurz oder lang dazu, dass ganze Strassenabschnitte repariert werden müssen, was bedeutet: hohe Kosten, Baustellen, Stau.

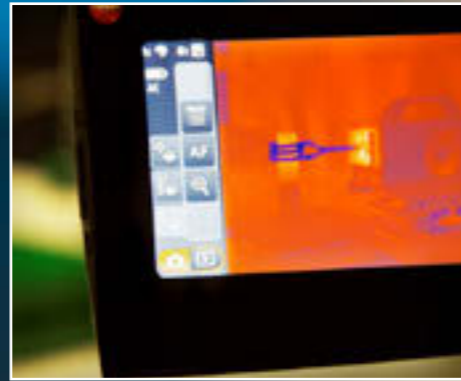
Damit dies in Zukunft vermieden werden kann, hat Jeoffroy eine Art heilbares Bitumen entwickelt. Die Idee ist es, die Risse im Belag zu schliessen, solange sie noch klein sind. «Wenn man die Risse von blossen Auge sehen kann, ist es bereits zu spät», erklärt er. Um das Material heilbar zu machen, mischt Jeoffroy Eisenoxid-Nanopartikel ins Bitumen. Werden sie einem Magnetfeld ausgesetzt, erwärmen sie sich. Die Wärme wird an das Bitumen abgegeben, welches bereits bei Temperaturen von 50 bis 100 Grad seine Viskosität stark reduziert. Das heisst, es beginnt langsam wieder flüssig zu werden und schliesst die kleinen Risse in der Oberfläche der Strasse. Um eine so vorbereitete Strasse instand zu halten, müsste man sie in Abständen von etwa einem Jahr mit einem Spezialfahrzeug abfahren, welches ein magnetisches Feld erzeugt. So würden Mikrorisse im Asphalt immer wieder geheilt, und der Strassenbelag würde deutlich länger halten.



Laborarbeit für den Strassenbau –  
Jeoffroy mischt Nanopartikel in eine Lösung.



Eine Spule erzeugt ein  
Magnetfeld um die Probe.



Eine Infrarotkamera zeigt  
auf, wie sich die Probe erwärmt.

Vor einigen Jahren verfolgte das Road-Engineering-Labor der Empa unter der Leitung von Manfred Partl bereits einen ähnlichen Ansatz. Anstelle von Nanopartikeln verwendeten die Forschenden damals noch Stahlwolle-Fasern. Das Verfahren wies jedoch drei Schwächen auf: Die Fasern waren schwierig mit dem Bitumen zu vermischen. Anstatt sich gleichmässig zu verteilen, bildeten sich an verschiedenen Stellen Klumpen. Jeoffroy nennt das den «Wollknäuel-Effekt». Er führte zu lokalen Überhitzungen, wenn die Fasern sich unter der Wirkung eines Magnetfelds erhitzen. So könnten Schäden im Belag entstehen.

Ein weiterer Punkt war die Korrosion der Fasern. Da sie aus Stahlwolle bestanden, bildete sich nach einer gewissen Zeit Rost an der Oberfläche.

Das weitaus grösste Problem aber war, dass sich Metallfasern dieser Grösse in einem Magnetfeld nur langsam erwärmen. So hätte man für die «Heilung» eines halben Meters Strasse mehrere Minuten gebraucht. Das macht, hochgerechnet auf einen 12 Kilometer langen Strassenabschnitt (ungefähr die Länge der Nordumfahrung Zürichs) eine Heilungszeit von ein bis zwei Monaten. Da man eine Strasse zur Behandlung mit dem Magnetfeld-Fahrzeug sperren muss, wäre eine solch lange Servicezeit schlichtweg unrealistisch.

Um die Schwachpunkte der alten Methode zu beheben, verfolgte Jeoffroy verschiedene Lösungsansätze. Als erstes verwendete er an Stelle von Stahlwolle-Fasern Stahlpartikel im Millimeterbereich. So umging er zwar den «Wollknäuel-Effekt», hatte aber immer noch das Problem der Korrosion und der zwar etwas verkürzten, aber immer noch viel zu langen Aufheizzeit.

#### Lösung aus der Hightech-Medizin

Schliesslich fand Jeoffroy in der Medizin eine Lösung: Magnetische Hyperthermie ist ein Verfahren, das seit einigen Jahren bei der Bekämpfung von Krebstumoren zum Einsatz kommt. Dabei werden magnetische Eisenoxid-Nanopartikel in den Tumor gespritzt und, genau wie beim Asphalt, von aussen einem Magnetfeld ausgesetzt und erhitzt. Der Tumor soll auf diese Weise von innen her ausgebrannt und zerstört werden.

Inspiziert von diesem Verfahren, ging Jeoffroy zwei Grössenordnungen tiefer – vom Millimeter- in den Nanometerbereich – und setzte anstelle von metallischen Stahlpartikeln magnetische Nanopartikel ein. «Je kleiner dabei die Teilchen sind, desto schneller erwärmen sie sich», erklärt Jeoffroy. Tatsächlich gelang es ihm mit Hilfe der Eisenoxid-Nanopartikel aus der Krebsbekämpfung, die Aufwärmzeit auf wenige Sekunden zu verkürzen. Gleichzeitig lösten die Nanopartikel das Rostproblem. Eisenoxid ist kein Metall, und wo kein Metall, da entsteht auch kein Rost.

#### Nie wieder Risse im Belag

Tests mit dem Nanopartikel-Bitumen verliefen allesamt sehr vielversprechend. «Bei einem Asphalt mit diesem Bitumen werden nie wieder Risse im Belag der Grund sein, wieso ein Strassenstück erneuert werden muss», verkündet er.

Auch gesundheitlich sei das Verfahren unbedenklich. Die ohnehin biokompatiblen Eisenoxid-Nanopartikel, werden im Bitumen so stark gebunden, dass sie praktisch nie wieder «freikommen».

Der einzige Haken an Jeoffroys Methode ist derzeit ihr Preis. Die verwendeten Nanopartikel sind momentan viel zu teuer für eine tatsächliche Anwendung. Doch auch für dieses Problem meint Jeoffroy eine Lösung zu kennen: In einem ganz anderen Bereich der Wirtschaft hat er ähnliche Nanopartikel gefunden, die sich, seiner Meinung nach, ebenfalls für das Verfahren eignen. Sie seien zwar minim grösser als die Nanopartikel aus der Krebsheilung, dafür viel billiger. Das macht das Bitumen marktauglich. Ein Jahr muss Jeoffroy noch auf die Bestätigung seines Patents warten. Diese Zeit will er nutzen, um die neuen Partikel auszuprobieren und um sein Verfahren in der Praxis zu testen. «Im Labor hat alles funktioniert. Jetzt muss es das auch noch draussen», sagt er. Seine Laborkleidung wird Jeoffroy also schon bald ablegen, denn nun gilt es für den Doktoranden, die Forschungsräume zu verlassen und seinen Asphalt den Strapazen der Strasse auszusetzen. //

Schwarz und zähflüssig.  
Mit Nanopartikeln  
angereichertes Bitumen.

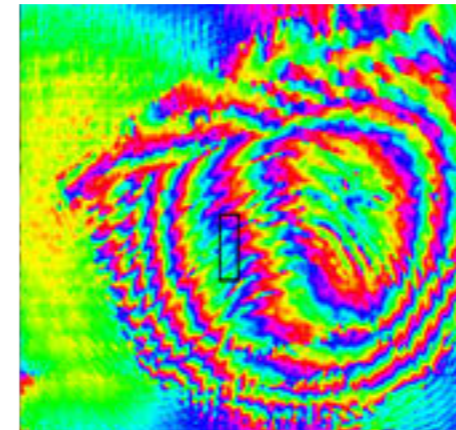
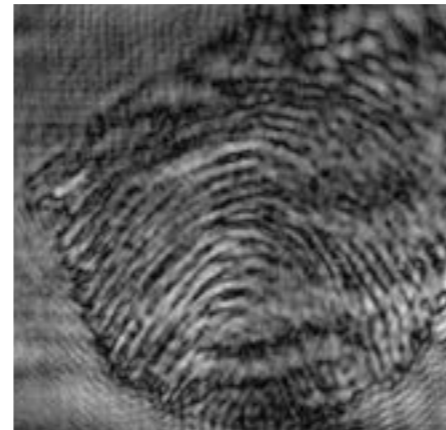
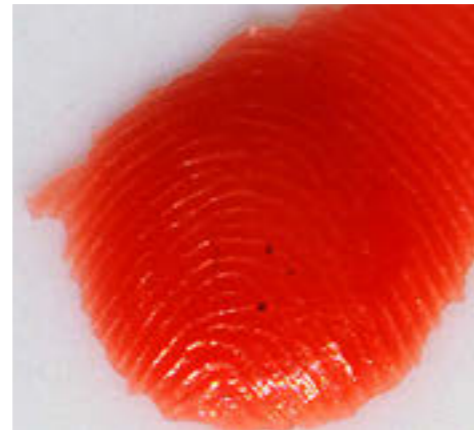
# Tera incognita

**Terahertz-Strahlung ist so ungefährlich wie eine lauwarme Tasse Tee, doch sie kann Textilien durchdringen und die Hautoberfläche abtasten. Empa-Forscher wollen mit dieser Technik unter anderem erforschen, warum Babys, verschwitzte Wanderer und bettlägerige Senioren sich wund scheuern.**

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Fast das ganze Spektrum elektromagnetischer Wellen, von der Röntgenstrahlung bis zu den niederfrequenten Radiowellen, ist heute technologisch ausgereizt. Das ganze Spektrum? Nein. Ein kleiner Bereich zwischen den Mikrowellen und der wärmespendenden Infrarotstrahlung widersetzt sich hartnäckig einer technologischen Nutzung: die Terahertzstrahlung. Bislang war es schwer, für diesen Frequenzbereich leistungsfähige Sender und Empfänger zu einem vernünftigen Preis herzustellen. Zu allem Überfluss reicht die Strahlung nicht allzu weit: An einem regnerischen Tag wird sie von der feuchten Luft einfach verschluckt. Sie scheint daher recht nutzlos zu sein für drahtlose Datenübertragung, für Rundfunk, Fernsehen und Militär.

Erwin Hack und Peter Zolliker von der Empa-Abteilung «Reliability Science and Technology» haben es sich zur Aufgabe gemacht, mit Hilfe von Terahertzstrahlung neu sehen zu lernen, Materialien mit dieser Methode zu durchleuchten und dabei Erkenntnisse zu gewinnen, die es so noch nie gab – oder die bislang nur mit immens teuren Apparaturen zu gewinnen waren. «Uns geht es dabei nicht primär um Spektroskopie», sagt Hack, «uns geht es um möglichst präzise Bilder aus dem Inneren von Materialien und Grenzschichten – und um Echtzeitaufnahmen einer Veränderung, letztlich also um Videos.» Auf diesem Gebiet, so betonen die beiden Empa-Forscher, seien nur wenige Forschergruppen weltweit aktiv. Es gibt also wissenschaftliches Neuland zu entdecken.



## Das Wundscheuer-Problem

Eine der Fragen, die mit Terahertzstrahlung beantwortet werden sollen, ist sehr nahe am Alltag vieler Menschen: wunde Stellen an der Haut. Jeder Wanderer kennt es, und jeder, der schon mal ein Baby gewickelt hat, kann davon berichten. Generationen von Erfinderrinnen und Erfindern haben sich an der Lösung versucht. Sie haben die Wegwerfwindel erfunden, diverse Puder und Cremes entwickelt, die die Rötungen verhindern oder bei der Heilung helfen sollen. Doch so erstaunlich es klingen mag, der Mechanismus vom Wundscheuern der Haut ist bislang weitgehend unerforscht. Terahertzstrahlung könnte nun weiterhelfen, denn für diese Wellenlänge sind Textilien «durchsichtig» – an feuchter Haut werden sie jedoch reflektiert.

Hack und Zolliker wollen nun in Zusammenarbeit mit den Textilexperten der Empa das Potenzial der Terahertzbilder ausschöpfen, um die Wechselwirkung zwischen Textil und Haut studieren zu können. Im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) mitfinanzierten Projekts erarbeitet Lorenzo Valzania in seiner Doktorarbeit die Grundlagen dafür. Es ist dazu viel Vorarbeit nötig. So müssen in einer Reihe von Vorversuchen die optischen Eigenschaften der Materialstrukturen ergründet werden. Wie bricht sich der Strahl an Kunstfasern? Wie an Baumwolle? Auch das Textilgewebe selbst ist ein Problem: Es ist ja keine ebene Fläche, sondern

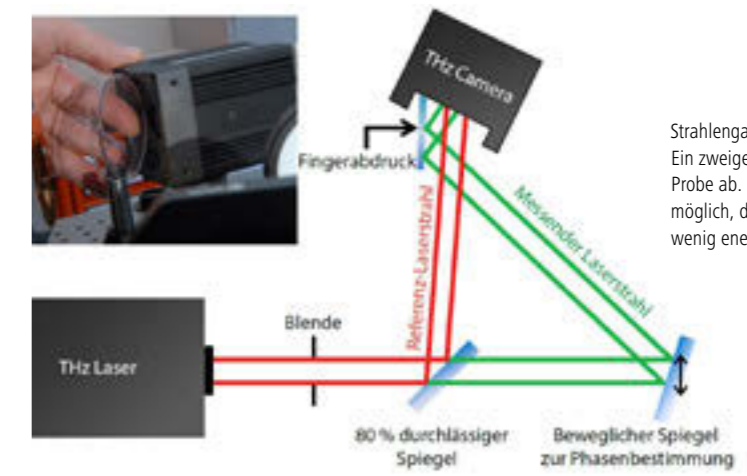
ein Gitter, das die Strahlen beugt. Das Bild der Hautoberfläche wird durch Textilien also verzerrt – etwa so wie Glasbausteine in einer Hauswand ein sehr verwaschenes Bild des Gartens zeigen, wenn man durch sie nach draussen schaut. Erst eine aufwändige Nachbearbeitung am Computer mit speziellen Algorithmen macht aus dem verwaschenen Bild eines mit Aussagekraft. Und das ist nur eine der Herausforderungen.

## Grundlagenversuche an Materialproben

Die Apparatur, mit der die Forscher den Wellen auf die Spur kommen, passt auf einen grossen Labortisch: Das grösste Bauteil ist der Gas-Laser, er steckt in einem Gehäuse von anderthalb Metern Länge.

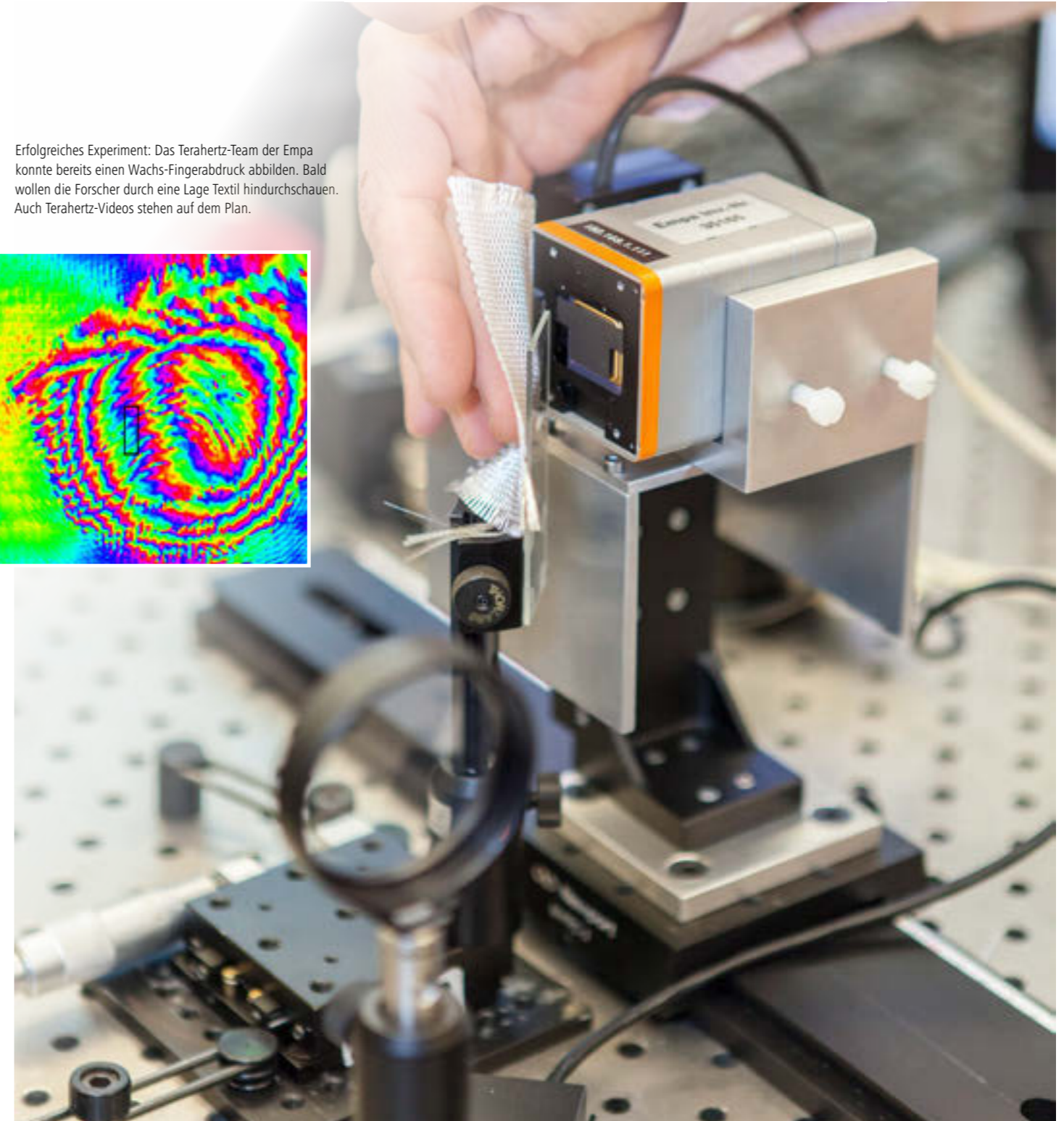
An seinem Ausgang spaltet ein halb durchlässiger Spiegel den Strahl in zwei Strahlen auf. Schliesslich trifft das Laserlicht auf eine Probe, die auf einem gläsernen Objektträger befestigt ist. Im spitzen Winkel zeichnet eine Wärmebildkamera die reflektierte Strahlung auf.

Der Versuchsaufbau der Empa hat bereits Bilder produziert, die es so nie zuvor zu sehen gab: Das Forscherteam durchleuchtet routiniert viele nicht leitende Stoffe, wie Polyethylen, Textilien und Holzproben, und zeichnet schon jetzt das Durchfeuchten dieser Materialien in Echtzeitvideos auf. Darüber hinaus sind Hack und Zolliker auf bestem Weg, einen grossen Nachteil der Terahertz-Bild-Erfassung technologisch zu umgehen: die mangelnde Auflösung der Bilder. Weil Terahertz-Strahlung eine Wellenlänge zwischen 0,1 mm und 1 mm hat, lassen sich damit keine Feinstrukturen abbilden – jedenfalls bis jetzt. Mit Hilfe von Holografie-Technik ist das dennoch möglich. Neben der Intensität kann damit auch die Phaseninformation der Terahertz-Welle bestimmt werden. So wird es möglich, Strukturen abzubilden, die zehnmal kleiner sind, und zusätzlich 3-D-Informationen der Probenaufnahme mit auszuwerten. Die Wirksamkeit dieses Techniktricks bewiesen die Optikspezialisten mit einem Fingerabdruck. Die Struktur mit 0,5 mm Linienabstand ist in der Terahertz-Holografie deutlich zu erkennen, und ihr Höhenprofil wird zugleich vermessen – ein wichtiger Schritt in Richtung Abbildung wund gescheuerter Hautpartien. //



Strahlengang des Terahertz-Experiments: Ein zweigeteilter Laserstrahl tastet die Probe ab. Hineinfassen ist problemlos möglich, denn Terahertz-Strahlung ist wenig energiereich und daher harmlos.

Erfolgreiches Experiment: Das Terahertz-Team der Empa konnte bereits einen Wachs-Fingerabdruck abbilden. Bald wollen die Forscher durch eine Lage Textil hindurchschauen. Auch Terahertz-Videos stehen auf dem Plan.





# Was ist Holz?

Holz ist robust und vielseitig einsetzbar. Doch auch das beste Material stösst an seine Grenzen. Deshalb arbeiten Empa-Forscher daran, Holz in ein Hightech-Material zu verwandeln und so das Anwendungsspektrum dieser natürlichen Ressource zu erweitern. Sie greifen in die Zellstruktur des Holzes ein und deponieren dort Materialien mit unterschiedlichsten Eigenschaften. Doch bevor Sie auf den nächsten zehn Seiten dieses Hefts erfahren, was man alles aus Holz machen kann, schauen wir uns diesen Wunderstoff der Natur nochmal genau an, z. B. wie ein Baum wächst, was die Jahrringe uns sagen und wie der mikroskopische Aufbau von Holz aussieht.

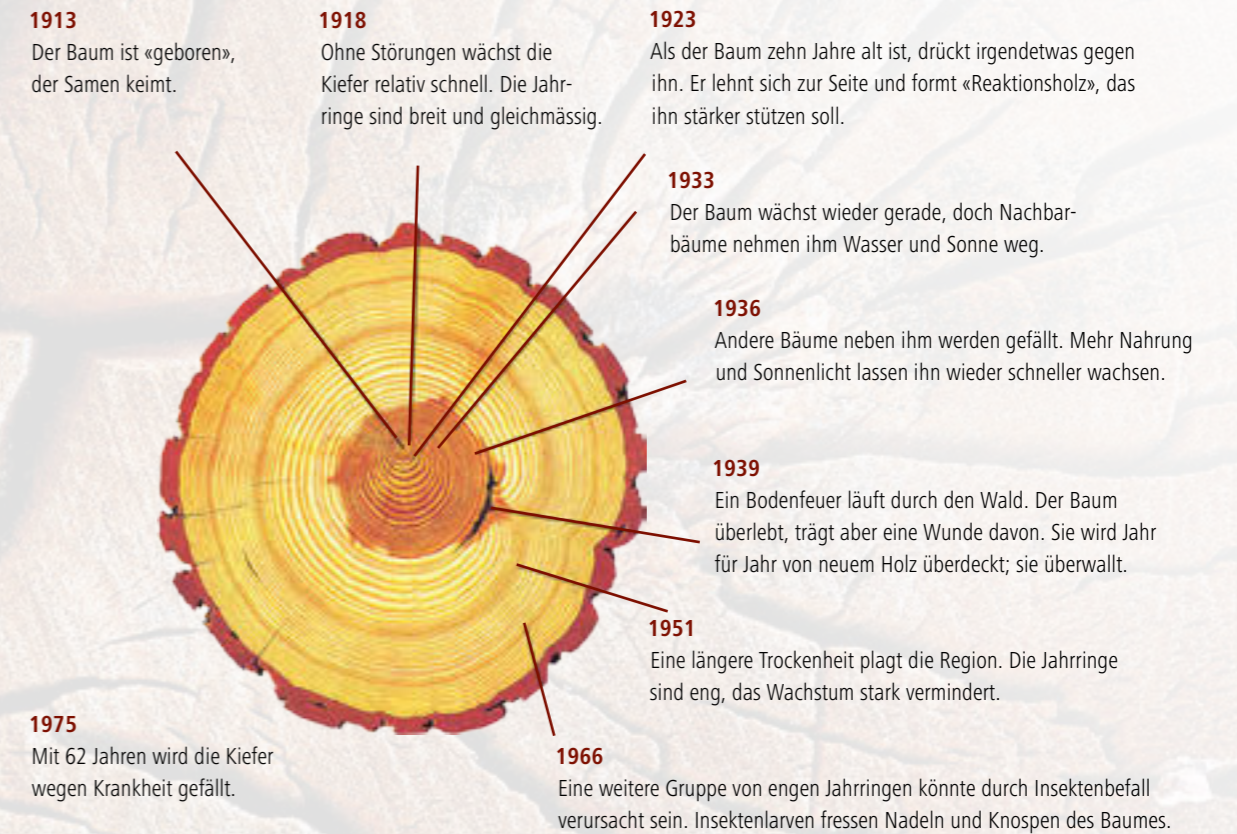
## Von der Borke zum Kernholz

Der Aufbau eines Baumstamms



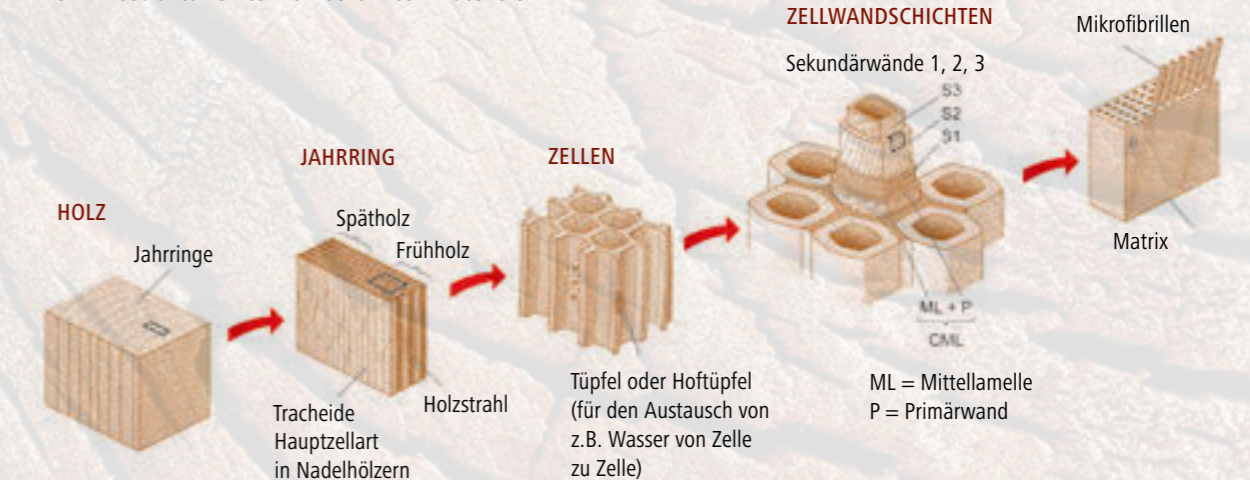
## Was Jahrringe erzählen

62 Wachstumszyklen am Beispiel einer Kiefer



## Vom Jahrring zur Zellwand

Die Mikrostruktur eines wohlbekannten Materials



Video  
«Wunderwerkstoff Holz – belastbar, vielseitig und nachwachsend»

[https://youtu.be/L\\_SoteRa1fM](https://youtu.be/L_SoteRa1fM)

# Durch und durch wasserfest

Wasser lässt Holz vermodern und verwittern. Das sieht nicht nur unansehnlich aus, es zerstört das Holz auch allmählich. Dagegen haben Empa-Forscher nun eine Strategie entwickelt.



**1**  
Den Prüfkörpern aus Fichte sieht man nicht an, dass Kunststoff in den Zellzwischenräumen steckt.

**2**  
Die Wasser abweisende Imprägnierung wirkt perfekt – das Holz hält dem Wasser stand.

**3**  
Etienne Cabane prüft die frisch modifizierten Lamellen. Daraus soll ein Waschbecken entstehen.

**4**  
Der Vergleich: Im Gegensatz zur behandelten, saugt die naturbelassene Buche das gefärbte Wasser sofort auf.



2



3



4

TEXT: Amanda Arroyo / BILDER: Empa

**T**ropenhölzer wie Teak werden gern im Freien benutzt, weil sie äusserst witterungsbeständig sind. Doch so resistent gegen Wasser sind sie nur, weil die Holzzellen Stoffe namens Flavonoide und Terpene in die engen Räume zwischen den Zellen deponieren. In den Zellzwischenräumen bleibt kaum mehr Platz für Regenwasser, und so bleibt Teakh Holz vor Verwitterung verschont. «Dies lieferte uns die Idee für unseren ersten Versuch», sagt der Empa-Forscher Etienne Cabane. Zunächst haben er und sein Team versucht, noch mehr Flavonoide in das Holz zu bringen. Als er allerdings die angereicherte Probe einige Stunden ins Wasser legte, lösten sich die Stoffe wieder heraus. Das geschieht, weil die Substanzen nicht chemisch an das Holz gebunden sind. Deshalb verwittert auch Teakh Holz, allerdings deutlich langsamer.

## Kunststoff in den Holzzellen

Da sich die Flavonoide chemisch nicht binden lassen, suchten die Forscher nach anderen Stoffen. Sie mussten nicht lange suchen, denn einzelne Moleküle miteinander verknüpfen ist das Prinzip von Kunststoffen oder Polymeren. Doch solche Moleküle in die Zellzwischenräume zu bringen, ist nicht einfach. Dazu ist eine Trägerflüssigkeit notwendig. Wasser wäre ideal, weil es vom Holz gut aufgesaugt wird. Doch leider quillt das Wasser die Fasern auf und verur-

sacht Mikrorisse in der Zellwand. «Aber genau das wollen wir ja bekämpfen», sagt Cabane. Gute Trägerflüssigkeiten, die das Holz nicht anschwellen lassen, sind chemische Lösungsmittel wie DMSO oder Pyridin. Und obwohl sie weder gesund noch umweltfreundlich sind, konnten die Forscher damit zumindest im Labor zeigen, dass die Idee prinzipiell funktioniert.

## Waschbecken als Praxistest

So haben sie Moleküle namens Styrene, einen Baustein des bekannten Kunststoffes Polystyrol, in die Zellzwischenräume gebracht, sie chemisch mit dem Holz verbunden und miteinander verknüpft. Aus natürlichem Holz wird so ein Holz-Kunststoff-Verbundmaterial. Einerseits verändern die Forscher so die Chemie der Holzoberfläche, andererseits füllen sie den Platz in den Zellzwischenräumen aus. Beides führt dazu, dass das Holz Wasser abweisend wird.

«Das Holz bleibt selbst dann noch Wasser abweisend, wenn ich es zerkratze», sagt Cabane, «denn der Kunststoff ist tief im Material drin.» Er spricht von Millimetern, nicht von Zentimetern. Wenn er also ein dickes Stück Holz Wasser abweisend machen will, muss eine andere Technik her. «Wir bauen im Moment gerade ein Waschbecken», sagt der Forscher. Dafür schneiden sie das Holz in dünne Schichten, integrieren den Kunst-

stoff und kleben die Schichten dann wieder zusammen – Furnierholz nennt sich das. Noch ist ihre Forschung nicht ganz am Ziel, denn die Forschergruppe plant, von den schädlichen Trägerflüssigkeiten wegzukommen. Statt Lösungsmittel wollen sie in Zukunft Wasser oder superkritisches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) benutzen. Denn diese Stoffe sind nicht nur gesundheitlich unbedenklich, sondern auch in Unmengen vorhanden – ein weiterer Faktor, der für die Massenproduktion von wasserfestem Holz und dessen Akzeptanz bei Konsumenten entscheidend ist. //

# Der Bio-Magnet

Holz lässt sich magnetisieren. Wie genau, hat ein Empa-Team ausgetüftelt. Auch wenn es nur für kleinere Anwendungen in Frage kommt, haben bereits erste Industriepartner Interesse angekündigt.

TEXT: Amanda Arroyo / BILDER: Empa



Die Empa- und ETH-Forscherin Vivian Merk sitzt im Labor und spielt mit einem Magneten. Doch sie vertreibt sich nicht einfach die Zeit, das ist ihre Arbeit. Der Magnet in ihrer Hand ist nicht irgendein Magnet, er ist aus Holz, und Merk hat ihn selbst magnetisiert. «Das lässt sich sehr einfach bewerkstelligen», sagt die Forscherin.

Um ein Stück Holz zu magnetisieren, weicht Merk es in einer sehr sauren Lösung ein, die Eisenchloridsalze enthält. Wenn die Flüssigkeit tief in das Holz eingedrungen ist, legt Merk die Probe in eine starke Lauge. Was dann passiert, nennt sich Fällungsreaktion. Es sieht aus, als würde es im Reagenzglas plötzlich schneien, und genau dies geschieht auch im Inneren jeder Holzzelle – dem Lumen. An den Zellinnenwänden setzt das Schneegestöber an. Doch die Schneeflocken sind nicht weiss, sondern nahezu schwarz, denn die Flocken sind Nanopartikel aus Eisenoxid. Entlang der Faserrichtung ist die Magnetisierbarkeit am stärksten, weil die Holzzellen in Längsrichtung angeordnet sind und in diese Richtung am meisten Eisenoxidpartikel eingelagert werden. Die Partikel sind im Holz eingeschlossen und bleiben, auch wenn das Holz tagelang gewaschen wird, darin.

Die magnetischen Partikel kommen in zwei unterschiedlichen Formen vor – als Maghemit und als Magnetit. Das braune Maghemit entsteht aus dem schwarzen Magnetit, wenn es an Luft oxidiert. So bilden sich mehr Fehlstellen im Kristall, was sich auf die Farbe auswirkt. Darum ist das magnetisierbare Holz auch sehr dunkel.

«Realistisch gesehen, werden wir nie einen ganzen Balken in einem Haus behandeln», sagt die Forscherin, «das magnetische Holz ist eher etwas für kleinere Anwendungen.» Dies könnten Dinge wie Spielzeuge oder Möbel sein, wie die Magnettafel, die sie zurzeit fertigt. Auch ein Einsatz in der Automobilindustrie wäre denkbar, um künftig Holzarmaturen zu funktionalisieren. Diese hätten nicht nur eine interessante Zusatzfunktion, sondern würden wegen der dunklen Farbe auch noch edel aussehen. //

Vivan Merk demonstriert, dass der Holzwürfel tatsächlich am Magneten haftet.



Video  
«Holz in Hochform:  
Optimierter Schutz für  
Oberflächen»

<https://youtu.be/QdEAWpVzCtM>

# Keine Chance für Keime

Enzyme aus Pilzen, Bakterien und Pflanzen machen Holz widerstandsfähig gegen zersetzende und pathogene Mikroorganismen. Denkbare Anwendungen wären keimresistente Holzoberflächen für Spitäler und Pflegeheime, aber auch pilzresistente Fassaden, die ohne Schutzanstrich länger halten.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa, iStockphoto.com



Verwitterte Holzfassaden im Aussenbereich bieten oft einen trüben Anblick: Von Pilzbewuchs grau geworden, von Bakterien zerfressen, büsst das ansehnliche Material viel von seinem ursprünglichen Glanz ein. Das hält viele Eigenheimbesitzer und Bauherren davon ab, Holz als Baustoff zu verwenden. Auch in Küchen oder Pflegeinstitutionen, in denen hoher Wert auf Hygiene gelegt wird, gilt Holz als Tabu. Als Naturstoff bietet Holz nämlich vielen pathogenen Mikroorganismen eine ideale Brutstätte.

Holzlacke oder Lasuren können einem Befall zwar vorbeugen, doch beschieren sie nicht selten neue Probleme, da sie oft giftige Stoffe enthalten. Diese sind in der Produktion und beim Auftragen ein Gesundheitsrisiko und können aus dem Holz durch Regen oder Zersetzung ausgewaschen werden. Dadurch gelangt zum Beispiel Kupfer in Böden, wo es zur Belastung für die Umwelt wird.

## Pilze als Werkzeug zur Holzbearbeitung

Ideal wäre es also, das Holz ohne toxische Zusatzstoffe vor Pilzen und Bakterien zu schützen. Eine solche Methode haben Empa-Forscher der Abteilung «Angewandte Holzforschung» nun gefunden. Der Clou: Die Wissenschaftler benutzen dazu eine biochemische Methode, die mit einem Stoff arbeitet, der selber aus Pilzen stammt. Der Forst- und Umweltwissenschaftler Mark Schubert ist Spezialist für Holzpilze. Für ihn sind Pilze mehr als nur «Schädlinge», die Holzfassaden zersetzen. In manchen Pilzarten findet man nämlich auch Enzyme, die das Material mit nützlichen Eigenschaften ausstatten können. So verfügt zum Beispiel die Schmetterlingstramete, eine weltweit vorkommende Holz bewohnende Pilzart, über Enzyme, die Holz mit einem antimikrobiellen Iodschutz «ausrüsten».

Diese Enzyme – Laccasen genannt – sorgen als Katalysatoren in ihrer natürlichen Umgebung für die Oxidation phenolischer Substanzen. So wirken in holzigen Pflanzen Laccasen etwa bei der Synthese und dem Abbau von Lignin, einem der Hauptbestandteile in verholzten Zellwänden, mit.

Eine Aussenfassade aus Holz sollte vor Pilzbefall geschützt sein. Dank der Empa-Methode sind keine Gifte nötig

Die Idee der Forscher: In einer «künstlichen» Umgebung soll die aus Weissfäulepilzen gewonnene Laccase dafür sorgen, dass Iod auf eine Holzoberfläche kovalent – also chemisch «fest» – gebunden wird. In einer wässrigen Lösung oxidiert die Laccase das Iodid ( $I^-$ ) zum hochreaktiven Iod ( $I_2$ ), das eine Bindung mit dem Lignin an der Fichtenholzoberfläche eingeht. «Der Vorteil», so erklärt Schubert, «ist, dass das chemisch gebundene Iod auswaschungsresistent und damit dauerhaft ist.»

Die Forscher haben die ökofreundliche, einfache und günstige Anwendung, die die visuellen und haptischen Eigenschaften des Holzes nicht verändert, bereits patentieren lassen. Sie sind nun mit verschiedenen Partnern aus der Möbel-, Bau- und Papierindustrie im Gespräch, die das Verfahren für ihre Zwecke nutzen wollen. Sei es, um Möbel mit antiseptischer Oberfläche für Spitäler zu produzieren, Holzfassaden anzubieten, die Bakterien- und Pilzbefall gegenüber immun sind, oder um toxische Bindemittel für Fasern bei der Papierherstellung zu ersetzen.



Die Schmetterlingstramete, ein Holzpilz, verfügt über Enzyme, die die Holzstruktur verändern können. Diese Eigenschaft war Vorbild für die Forschungsarbeit.



Mark Schubert verändert mit Hilfe eines Enzyms die chemische Struktur des Lignins im Holz. So können Hilfssubstanzen wasserfest im Holz «installiert» werden.

#### Einsatz im NEST

Gerade starten am NEST – dem modularen Forschungs- und Innovationsgebäude von Empa und Eawag – zwei Langzeitversuche mit iodisiertem Holz. Dabei wird für die Fassade einheimisches Tannen- und Fichtenholz verwendet; im Innenbereich kommen Türklinken aus Eichenholz zum Einsatz. Das Holz wird zunächst mit Hilfe der Laccase aus dem Pilz *Trametes versicolor* iodisiert. Dann sollen die behandelten Hölzer während mehrerer Jahre den Alltagsbedingungen ausgesetzt werden, damit die Forscher eine Vorstellung davon bekommen, wie sich Bakterien- und Pilzbefall in der Praxis reduzieren oder gar verhindern lassen.

Damit nicht genug: Laccase-katalysierte Verfahren eignen sich nicht nur für die Iodisierung von Oberflächen; im NEST werden auch Dämmplatten eingesetzt, deren Qualität die Empa zusammen mit dem Industriepartner Pavatex in einem KTI-Projekt verbessert hatte. Es gelang ihnen, das synthetische Bindemittel zuerst zu reduzieren und später dank Laccase-katalysierten Reaktionen komplett durch nachhaltige und umweltschonende Biopolymere zu ersetzen.

#### Laccasen in Jeans und Orangensaft

Laccasen sind bereits in zahlreichen Industriebranchen im Einsatz: In der Lebensmittelindustrie benutzt man das Enzym beispielsweise, um giftiges Polyphenol aus Orangensaft oder aus Biermais zu entfernen. Die Textilindustrie verwendet Laccasen zum Färben von Jeans oder um glattere Textiloberflächen zu schaffen. In der Kosmetikindustrie nutzt man Laccasen zur Herstellung von Aromen und Düften. Für die Industrie sind die Biokatalysatoren interessant, weil sie robust sind, keine besonderen Zusätze benötigen und in grösseren Mengen und zu bezahlbaren Preisen erhältlich sind. Zudem arbeiten Enzyme unter milden Bedingungen, also in wässriger Lösung, bei Raumtemperatur und unter Normaldruck. //

#### Die optimale Laccase

Herauszufinden, welche Laccase sich für eine bestimmte Reaktion am besten eignet, war bislang ein Ratespiel. Dem schufen Empa-Forscher nun Abhilfe: Theoretisch sind Hunderttausende Kombinationen möglich, die alle experimentell bestimmt werden müssten, um die optimale Laccase für das gewünschte Einsatzgebiet zu finden. Deshalb griffen die Forschenden zu künstlicher Intelligenz – genauer zu so genannten künstlichen neuronalen Netzen.

Künstliche neuronale Netze sind der Arbeitsweise des menschlichen Gehirns nachempfunden. Sie sind lernfähig und können durch geschicktes Training und Design selbständig komplizierte Zusammenhänge und verdeckte Abhängigkeiten anhand von unscharfen Daten erkennen und diese Informationen für eine Prognose nutzen. So wird die Zahl der Kandidaten, die sich für bestimmte Einsätze eignen, stark eingeschränkt. Nur die tauglichsten Laccasen werden dann in einem weiteren Schritt für Experimente im Labor benutzt. Mit einem künstlichen neuronalen Netzwerk gelang es Mark Schubert nun zum ersten Mal, die Eignung diverser Laccasen für bestimmte Reaktionen vorherzusagen und dies später im Experiment zu verifizieren.

# Der Sonne entgegen

Holz verfügt über eine Eigenschaft, die üblicherweise für Probleme sorgt: Es quillt auf, wenn es feucht wird. Da Holz dies aber nach strengen Regeln macht, möchten Empa-Forscher daraus sich automatisch bewegende Bauteile herstellen.



1

TEXT: Amanda Arroyo / BILDER: Empa



2

Schon als Kind hatte ich Tannenzapfen in der Hand und mich gefragt, wie das funktioniert», sagt der Forscher Markus Rüggeberg. Er spricht davon, wie sich die Zapfen von selbst öffnen und schliessen. Dafür verantwortlich ist die Luftfeuchtigkeit. Wasserdampf dringt tief in die Pflanzenfasern ein und lässt sie aufquellen. Doch Holz dehnt sich nicht in alle Richtungen gleichmässig aus; dies geschieht vor allem quer zur Faserrichtung. Eigentlich ist das eine unerwünschte Eigenschaft von Holz. «Genau das, was andere bekämpfen, möchten wir nutzen», sagt der Forscher.

## Krumm wie ein Croissant

«Das Prinzip ist einfach», sagt Rüggeberg, «man klebt lediglich zwei Hölzer zusammen.» Wichtig dabei ist die Ausrichtung der Fasern. Wenn sie im 90-Grad-Winkel quer zueinander liegen und sich die Feuchtigkeit im Holz verändert, quillt oder schrumpft die eine Schicht, und die andere bleibt starr. Da aber beide Lagen fest miteinander verbunden sind, biegt sich das Holz wie ein Croissant. Eine andere Art Biegung wird durch eine 45-Grad-Ausrichtung erzeugt. Dann verdrillt sich das Holz wie eine Schraube.

Wie sehr das Holz sich dabei verkrümmt, kann Rüggeberg exakt voraussagen. Denn dafür gibt es eine Formel, sie wurde bereits vor hundert Jahren ausgetüfelt. Eigentlich für die Ausdehnung von Metallen, doch für Holz stimmt sie ebenso. Dazu muss die Dicke der Holzschichten jedoch auf den Zehntelmillimeter genau stimmen. Es ist auch wichtig, welche Holzart im Einsatz ist. Denn Buche hat beispielsweise einen sehr hohen Quellungskoeffizienten. Daher eignet sich dieses Holz für besonders starke Krümmungen.

## Immer der Sonne nach

Warum sich Rüggeberg gerade Holz für seine Forschung ausgesucht hat, ist klar: Nebst der Quellfähigkeit ist das Material stark und robust, es lässt sich gut verarbeiten, und es wird in grossen Dimensionen damit gebaut. Dies bietet verschiedene Einsatzmöglichkeiten. So hat der Forscher beispielsweise einen autonomen Motor gebaut, der Solarpanels zur Sonne hin ausrichtet. Denn je nach Wetter und Tageszeit herrscht eine unterschiedliche Luftfeuchtigkeit. Wenn die Sonne aufgeht, trocknet sie die nächtliche Feuchtigkeit. Auf diese Weise verbiegt sich das Holz, das mit der Fotovoltaikanlage verbunden ist, und richtet sie zur Sonne aus.

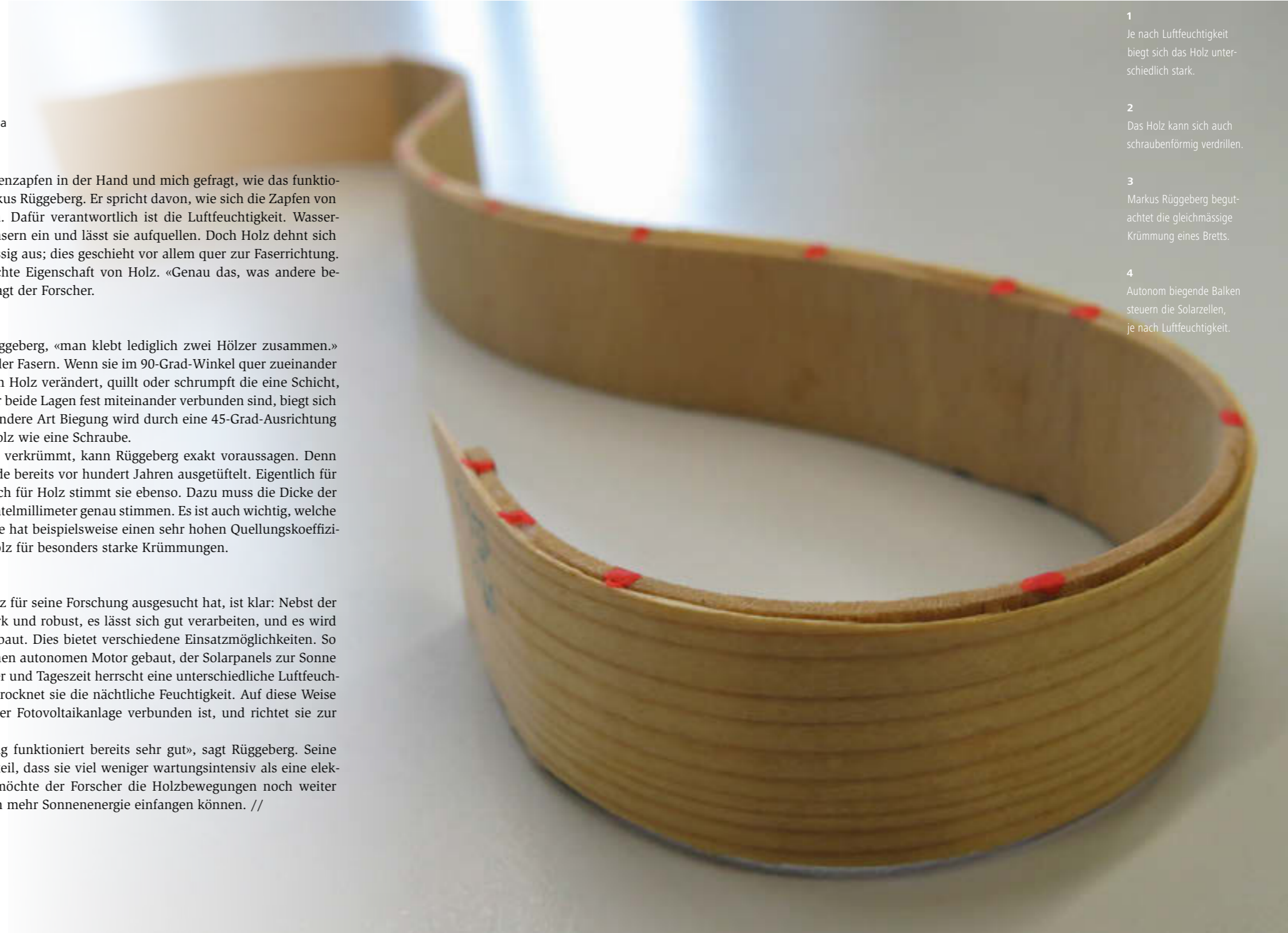
«Diese autonome Nachführung funktioniert bereits sehr gut», sagt Rüggeberg. Seine autonomen Panels bieten den Vorteil, dass sie viel weniger wartungsintensiv als eine elektronische Variante sind. Darum möchte der Forscher die Holzbewegungen noch weiter präzisieren, damit sie künftig noch mehr Sonnenenergie einfangen können. //



3



4



1

Je nach Luftfeuchtigkeit biegt sich das Holz unterschiedlich stark.

2

Das Holz kann sich auch schraubenförmig verdrillen.

3

Markus Rüggeberg begutachtet die gleichmässige Krümmung eines Bretts.

4

Autonom biegende Balken steuern die Solarzellen, je nach Luftfeuchtigkeit.

# Hochhäuser aus Grasbeton

**Bambus ist eine Meisterleistung der Natur, das Gras enthält Fasern, die zugfest sind wie Stahl. Mit etwas Unterstützung aus dem Labor, hat es das Potenzial zum Baustoff der Zukunft.**

TEXT: Amanda Arroyo / BILDER: Empa, iStockphoto.com

**S**tädte in Entwicklungs- und Schwellenländern wie Malaysia und Indonesien wachsen besonders schnell. Für den Aufbau werden jährlich Unmengen an Stahl benötigt, der aber nicht vor Ort produziert wird. Also muss er importiert werden. Doch dies ist weder besonders ökologisch noch ökonomisch. Daher suchte die Gruppe um Dirk Hebel von der ETH Zürich zusammen mit den Empa-Forschern Mateusz Wielopolski und Sébastien Josset nach einer Alternative. Und fanden sie: Bambus, ein Gras mit der Zugfestigkeit von Baustahl. Allerdings ist es sechsmal leichter und noch dazu besonders nachhaltig, denn es wächst in den Tropen.

Dass dieses Gras schier unglaubliche Kräfte aushält, weiss man schon lange. Doch als Baumaterial nutzen konnte man es bislang trotzdem nicht. Bereits in den 1960er Jahren haben Forscher versucht, Armierungseisen durch Bambus zu ersetzen. Aber die Stäbe saugten so viel Wasser auf, dass sie beim Aufquellen den Beton sprengten.

## Spezialharz schützt vor dem Aufquellen

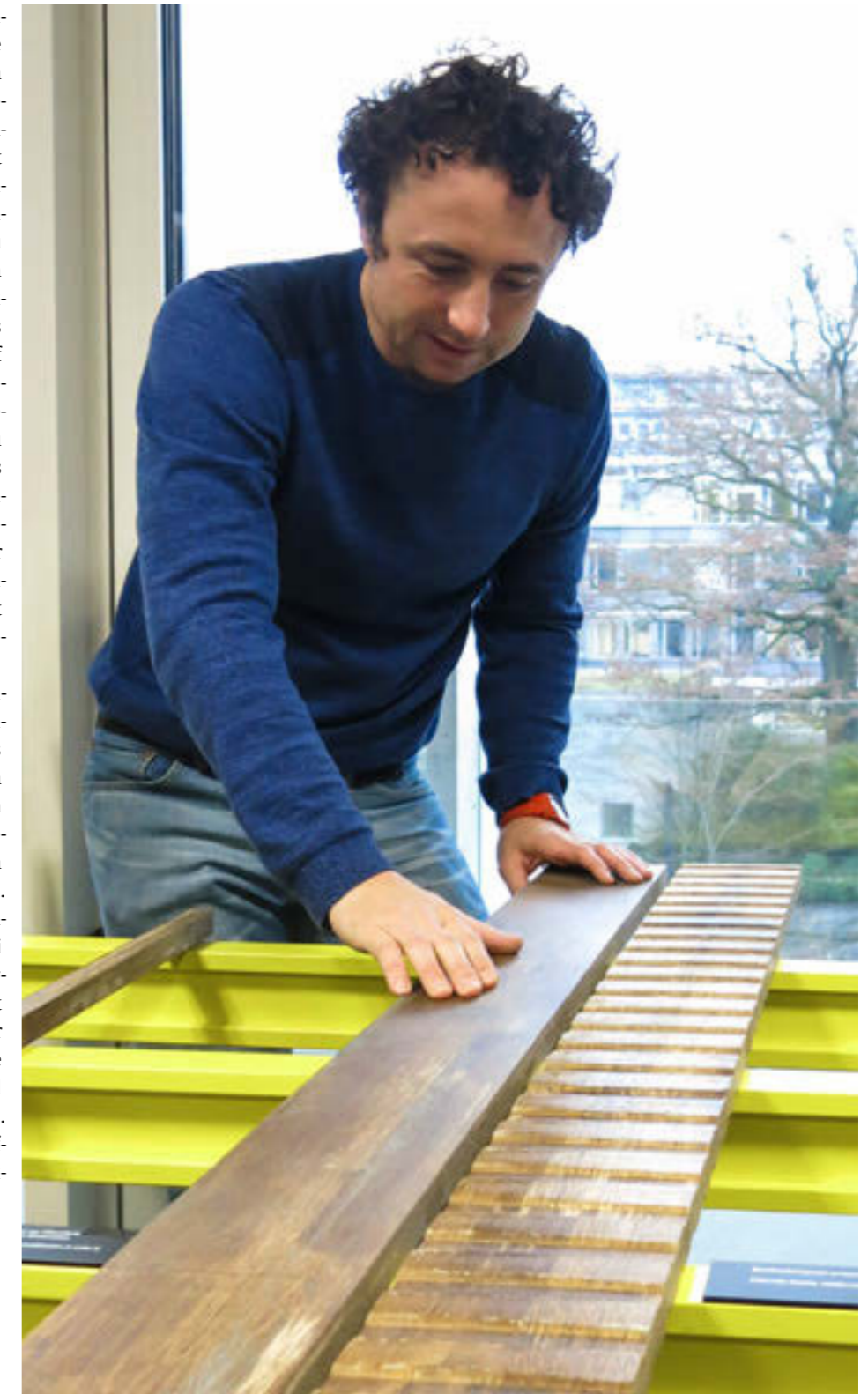
Um dies zu verhindern, haben die Schweizer Forscher ein raffiniertes Verfahren entwickelt. Dabei nutzen sie Bambus nicht einfach so, wie er gewachsen ist. «Wir schneiden Bambus auseinander und kleben ihn wieder zusammen», erklärt Wielopolski. Der Kleber ist ein eigens entwickeltes Harz, das Holz Wasser abstossend macht. So brachte Wielopolski die besten Materialwerte zustande, die jemals für Bambusverbundstoffe erreicht wurden.

Bambus als Armierung eröffnet in der Architektur ganz neue Möglichkeiten. «Da das Material sechsmal leichter als Stahl ist, könnte man damit viel höher bauen», so Wielopolski. Es könnte nicht nur Stahl ersetzen, sondern lässt sich anstelle von Carbon-, Glas- oder anderen Holzfasern auch in Verbundwerkstoffen einsetzen. Eigentlich hätte

Wielopolski keinen neuen Klebstoff entwickeln müssen. Denn es gibt bereits sehr gute Harze auf dem Markt, die beispielsweise in der Auto- und der Flugzeugindustrie eingesetzt werden. Beim Flugzeug werden nämlich Bauteile wie Flügel immer öfter verleimt – und die müssen hohen Belastungen standhalten. «Doch wir wollten nicht solche High-Performance-Kleber benutzen, da sie viel zu teuer sind», sagt Wielopolski, «die kann sich kein Entwicklungsland leisten.» Denn Kostentreiber ist nicht der Bambus, sondern das Harz. Darum reduzierte er dessen Anteil auf ein Minimum und erhielt so auch die Nachhaltigkeit. Zusätzlich stammt der neue Kleber aus erneuerbaren Rohstoffen, genau gesagt aus Pflanzenöl. «Natürlich ist das nicht Olivenöl Extra Vergine», sagt Wielopolski mit einem Lächeln, «wir verwenden dafür Pflanzenabfälle.» Aus diesen gewinnt er das Öl und, über eine chemische Umwandlung, das Harz. Dieses macht das Holz nicht nur wasserfest, sondern auch formbar – optimal für ein breites Anwendungsspektrum.

«Wir haben etwas entwickelt und wollen es jetzt auch einsetzen», sagt Wielopolski. Doch er hat bereits realisiert, dass es sehr schwierig ist, innovative Materialien in Neubauten in der Praxis zu testen. «Darum bin ich froh über das Empa-Forschungsgebäude NEST», sagt Wielopolski. In ihm kann er sein Material nun erstmals ausprobieren. Doch es wird noch kein Hochhaus aus Bambus entstehen. Zunächst startet Wielopolski mit kleineren Anwendungen, mit einem Terrassenboden und mit Gartenmöbeln. Damit testet er die Witterungsbeständigkeit unter Realbedingungen. Sobald das Material diese Hürde bestanden hat, wird bald einmal Bambus als Armierung ein Thema sein. «Doch es ist ein langer Weg, wenn wir künftig etablierte Werkstoffe aus der Bauindustrie ersetzen möchten» sagt Wielopolski. //

Mateusz Wielopolski freut sich über das Resultat seiner Arbeit: Der Bambusverbundwerkstoff lässt sich einsetzen, wo ein starkes und wetterbeständiges Material mit geringem Gewicht gefragt ist.



# Italienischer Strahle(n)mann



Vor gut anderthalb Jahren hat Davide Bleiner die Leitung der Empa-Abteilung «Advanced Analytical Technologies» übernommen. Und er hat Grosses vor – mit kleinen Dingen. Oben auf seiner Wunschliste steht die Entwicklung eines Plasma-basierten Röntgen-Lasers – auf Tischfussballgrösse. Seine Neugier und sein Wissensdurst haben ihn nicht nur an fremde Orte, sondern auch in die unterschiedlichsten Fachgebiete verschlagen.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

Die meisten Labors an der Empa forschen an neuen Materialien. Mein Labor hingegen entwickelt neue Messmethoden, um chemische Prozesse während der Anwendung solcher Materialien zu beobachten.» Davide Bleiner hat ehrgeizige Pläne, auch für seine Abteilung, die er von «Analytische Chemie» in «Advanced Analytical Technologies» umbenannt hat. Während Laserstrahlen noch vor 50 Jahren als Spielerei für Atomphysiker galten, sind sie heute aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Bleiners Abteilung arbeitet mit Analytik, die es ermöglicht, selbst kleinste Teile und Konzentrationen – beispielsweise im Nanobereich auf Spurenniveau – zu quantifizieren. Während «normale» Röntgenquellen, etwa im medizinischen Bereich, wie eine Lampe fungieren und «Weisslicht-Strahlen» in alle Richtungen aussenden, können «farbige» Laser die Strahlen gebündelt und energieselektiv auf einen Punkt fokussieren und somit kleinste Dinge ausleuchten. Neueste Entwicklungen in der Laserspektroskopie machen die Beobachtung von ultraschnellen Prozessen in Echtzeit möglich («Femtochemie»). Forschende aus Bleiners Abteilung etablieren an der Empa diese «Advanced Technologies» im Hinblick auf konkrete materialwissenschaftliche Fragestellungen. Beispielsweise zur Analyse der Verbrennungsvorgänge in Motoren oder der katalytischen Umwandlung von Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> in Kohlenwasserstoffe.

## Teilchenbeschleuniger in Tischgrösse

Die Pläne des gebürtigen Italiener gehen allerdings weit über die «blosse» Routineanalytik hinaus: Sein Ziel ist die Laboranwendung eines so genannten Röntgenlasers («Free Electron Laser», FEL). Diese Art von Laser gibt es zwar seit wenigen Jahren bereits, allerdings nur in Form von riesigen Elektronenbeschleunigern – wie etwa dem derzeit im Bau befindlichen SwissFEL am Paul Scherrer Institut (PSI) – und somit nicht sehr zahlreich auf dem Globus. «Nicht jeder kann sich, sobald er eine tolle Idee hat, ein 300 Millionen teures Synchrotron in sein Labor stellen», meint Bleiner. Die Benutzung

eines dieser Synchrotrone setzt viel Vorarbeit und teure Reisen voraus. Ganz zu schweigen vom Zeitverlust: Für ein Projekt muss Bleiners Team in der Regel ein halbes bis anderthalb Jahre warten, ehe es Messungen durchführen kann – unter anderem in Kalifornien, Japan, Italien. «Für alle wäre es ein enormer Vorteil, die eigenen Experimente im eigenen Labor durchführen zu können.» Daher arbeiten Bleiner und sein Team an einer TableTop-Version eines Plasma-Lasers. Bereits als SNF-Förderungsprofessor am Institut für angewandte Physik der Universität Bern befasste er sich mit dem Thema und arbeitete an und mit einem Table-Top-Röntgenlaser namens «Beagle». «Wir wollen nicht nur neue Laborwerkzeuge entwickeln, sondern auch die dazugehörige 24/7-Anwendbarkeit optimieren», fasst Bleiner die Arbeit seiner Abteilung zusammen.

## Von der Steinzeit in die Moderne

Dass Bleiner sich nun mit Lasern beschäftigt, verdankt er einem Wink des Schicksals. Der Empa-Forscher hat nämlich einen Studienabschluss in Geologie in der Tasche. Ursprünglich wollte er auch in Geochemie an der ETH Zürich promovieren, doch bevor er beginnen konnte, erhielt sein zugeteilter Oberassistent eine Assistenzprofessur in der Analytischen Chemie. «Er sagte zu mir, wenn ich mit in die Chemie ginge, müsste ich auf Wanderungen und Feldarbeit verzichten, das kam mir sehr gelegen.» Bleiner willigte ein. Bereits in seiner Doktorarbeit ging es um Mikro-Analyse von Erzeinschlüssen mittels Laserablation und die Herleitung einer mathematischen Beschreibung der Messsignale. Sein geochemisches Know-how kam ihm dabei sehr zugute.

Nach seinem Doktorat an der ETH, einer Stelle als Projektleiter an der Empa und zwei Jahren als Postdoc an der Uni Antwerpen, wo er sich mit den Grundlagen des Laserplasmas und mit Computersimulationen beschäftigte, brachte ihn sein Weg zurück in die Schweiz an die ETH Zürich – allerdings nicht in die Chemie, sondern zum Maschinenbau. «Das war ein bisschen ungewöhnlich», sagt Bleiner dazu, «aber Laser-Know-»



Links: Davide Bleiner mit dem Buch «Short Wavelength Laboratory Sources» – er ist einer der Herausgeber des Standardwerkes.

Rechts: Bleiner ist leidenschaftlicher Bassist und spielt in Jazzbands und klassischen Orchestern.

how ist in fast jedem Gebiet gefragt.» Er entwickelte gemeinsam mit Ingenieuren eine lasergetriebene Quelle extrem ultravioletter Strahlung zur Anwendung in der Next-Generation-Lithografie. «Die Ingenieure waren dankbar für mein Wissen in Bezug auf Laser, und für mich war es bereichernd, weil ich in einer Umgebung tätig war, nämlich der Strömungsmechanik, in der ich noch viel zu lernen hatte.» Das sei der Vorteil, wenn man öfters mal sein Arbeitsgebiet wechselt, so Bleiner: «Ich fühlte mich oft im Leben wie Forrest Gump und fand mich in Situationen wieder, in denen ich nicht verstand, was mich an diesen Ort geführt hatte, aber am Ende kam immer etwas Gutes heraus.»

An der ETH Zürich waren dies etwa Themen wie Strömungsmechanik, Turbinen und so weiter – Wissen, das er nun im Rahmen eines laufenden Projekts an der Empa gut nutzen kann. Gemeinsam mit SR Technics und dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) entwickelten seine Mitarbeiter ein Verfahren, die die Feinstaubemissionen von Passagierflugzeugturbinen direkt messen kann. Dabei werden auch kleinste Partikel mit weniger als einem Hunderttausendstelmillimeter – also unter zehn Nanometer – Durchmesser erfasst. (Lesen sie mehr über dieses Projekt auf S. 4).

#### Als Bücherschmuggler

Überhaupt: Mit Flughäfen kennt sich Bleiner aus. Seine Reiselust, verbunden mit seiner Liebe zu Physikbüchern, hat ihm am Flug-

hafen Zürich einst einen unliebsamen Moment beschert. Dort hatten ihn die Beamten für einen Bücherschmuggler gehalten, als er mit drei Koffern voller Bücher am Zoll vorbeierollen wollte. Er kam nicht um eine Busse herum – denn wie hätte er beweisen sollen, dass er all diese Quantenmechanikbücher für den Eigengebrauch und nicht zur Betreibung eines illegalen Handels über die Grenze bringen wollte? Abgesehen von Sachbüchern gibt es nur eines, das er mit grösserer Leidenschaft verfolgt: Calcio, also Fussball. Nicht mehr selbst auf dem Platz, aber als Fan des AS Roma – einem der Fussballclubs seiner Heimatstadt.

Die Schweiz ist mittlerweile zur neuen Heimat geworden. Er fühle sich hier äusserst wohl, und einigen falle nicht auf, dass er eigentlich kein Schweizer sei. «Die meisten halten mich für einen Tessiner.» Und auch dazu hat Bleiner schmunzelnd eine Geschichte parat. Damals, als Doktorand an der Empa, sei ihm geraten worden, «ein paar Jahre im Ausland zu forschen», denn das mache sich ausgesprochen gut im Lebenslauf. Daraufhin habe er nur verwirrt erwidert: «Aber ich bin doch schon im Ausland!» Er nahm sich den Rat allerdings dennoch zu Herzen und arbeitete unter anderem in Belgien, den USA und Italien, ehe es ihn zurück in die Schweiz zog.

#### Die Schweiz als idealer Forschungsplatz

Seine gesammelte Erfahrung auf seinen Reisen durch fremde Länder und Forschungsgebiete möchte Bleiner allerdings nicht nur fachlich in die Abteilung einbringen. Vor

allem Teamgeist sei ihm wichtig, nun, da er fünf Forschungsgruppen leitet. Es gäbe im Forschungsumfeld überall viele Lionel Messis. «Aber ein Messi macht noch keine Mannschaft – dazu fehlen zehn weitere gute Leute, die zusammenarbeiten.» Es sei daher absolut unabdingbar, auf die einzelnen Mitglieder des Teams einzugehen und einen «Lab Spirit» zu kreieren, ansonsten verliere man die Freude an der Arbeit und werde unzufrieden. Das ist die Essenz seiner Umstrukturierung. Für ihn sind Austauschprogramme daher von Vorteil.

Er selbst ist das konkrete Beispiel dafür. Als er nach seinem PhD an der ETH vor mehr als zehn Jahren an die Empa kam, hatte er die Forschungsumgebung an der Empa nicht richtig geschätzt, doch bei seinen Arbeitsorten im Ausland ist ihm eines speziell aufgefallen: In der Schweiz und vor allem an der Empa haben es Forschende ausgesprochen bequem, doch meist sei ihnen das – ebenso wie ihm damals – gar nicht bewusst. Er erinnert sich noch daran, wie er am renommierten «Lawrence Berkeley Lab» bemerkte, dass sich fünf Forschende ein Büro teilen, das halb so gross war wie sein jetziges Büro an der Empa: Und das ohne Fenster und nur mit einem altersschwachen Ventilator in der Sommerhitze Kaliforniens. Zustände, wie sie in der Schweiz undenkbar wären.

#### Über Misserfolge zum Ziel

Als Abteilungsleiter ist Bleiner nun allerdings nicht mehr oft an den Analysegeräten und im Labor – für ihn aber kein Problem. «Irgendwann muss jeder Fussballspieler vom Feld auf die Trainerbank wechseln», sagt er dazu und widmet sich nun umso intensiver der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Demnächst wird er es seinem grossen Vorbild Erwin Schrödinger nachmachen und eine Professur an der Universität Zürich antreten. An der Empa

betreut er seine Doktoranden bei ihren Projekten und sieht auch darin immer neue Herausforderungen – vor allem bei komplizierten Fällen. «Wenn man zu mir sagt, das ist zu schwierig, dann sind das für mich genau die Projekte, die am meisten begeistern.»

Natürlich predigt er seinen Doktoranden nicht, sie sollen drei Jahre lang nur Misserfolge produzieren – allerdings sei die Chance grösser, bei Misserfolgen auf spannende neue Erkenntnisse zu stossen. «Wenn man ein Experiment durchführt, und das Ergebnis ist genauso, wie man es erwartet, dann ist das keine Forschung, sondern ein Praktikum. Wenn aber die Resultate unerwartet sind – dann wird es spannend.» So war auch sein Werdegang geprägt von unerwarteten Wendungen, aber das sei auch gut so, betont Bleiner. «Das Leben ist ein Kinofilm, kein Buch. Bei einem Buch können wir an den Schluss blättern und einen Blick riskieren. Bei einem Film geht das nicht. Aber irgendwie läuft es immer.» //

## Wie hart ist Diamant wirklich?

Die Festigkeit eines Diamanten zu prüfen ist schwer, denn fast jedes Material, das man zum Draufdrücken verwenden könnte, ist weicher. Aufgrund der inneren Kristallstruktur hat ein Diamant «weichere» und «härtere» Seiten. Die Richtung mit der höchsten Festigkeit – nämlich senkrecht zur 111-Ebene – nahmen sich Empa-Forscher Johann Michler und sein Team vor. Sie frästen aus einem Diamanten mit Hilfe von Ionenstrahlen kleine Säulen heraus – nur knapp 300 Nanometer im Durchmesser. – und belasteten sie mit Diamantgegenkörpern, bis sie brachen. Ergebnis: Das härteste Material der Welt zeigt die höchste jemals experimentell gemessene Festigkeit, wie es die Theorie voraussagt. Michlers Bestätigung bringt das Theoriemodell für die superharten Stoffe dieser Welt einen wichtigen Schritt weiter.



## Nanopartikel-Info jetzt auch auf Französisch

Die Datenbank zu Risiken und Umweltgefahren durch Nanopartikel ist jetzt auch in französischer Sprache online gegangen. Unter dem Link <http://www.nanora.eu/tools> findet sich die «Dana 2.0 Knowledge Base» und ist in deutscher, englischer und französischer Sprache zugänglich. Die Datenbank eignet sich für Industrieunternehmen, Politiker und Journalisten, die auf einen Blick die Eigenschaften von Nanopartikeln bestimmter Sorten erfahren möchten. Durch die Übersetzung ist die Datenbank nun noch besser für internationale Kooperationen und mehrsprachig arbeitende Firmen geeignet. Von Seiten der Empa hat der Nanopartikel-Spezialist Harald Krug am Aufbau der Datenbank entscheidend mitgewirkt.



## Empa-Goldgarn in der Luxusuhr

Liebhaberinnen feiner Stickereien und goldener Luxusuhren können nun ihre Leidenschaften mit der Damenuhr «Big Bang Broderie Gold» der Manufaktur Hublot vereinen. Das Zifferblatt der Uhr, die Lünette und das Armband sind mit Stickerei der Schweizer Traditionsmarke Bischoff verziert. Das glänzende goldene Garn dazu wird nach einem Empa-Patent bei der Tersuisse Multifils SA in Emmenbrücke hergestellt. Dazu wird ein Goldstück im Plasmaverfahren kalt verdampft – der Metalldampf setzt sich auf dem Garn ab und haftet dort fest. Für die Big Bang Broderie wird das Goldgarn auf Carbonfasern gestickt, in Kunstharz getaucht und gepresst. Schliesslich darf der Zeiger der Uhr nicht am Stickmuster hängen bleiben.



In Zusammenarbeit mit der KTI

**Förderprogramm Energie**  
Swiss Competence Centers for Energy Research

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Kommission für Technologie und Innovation KTI

**FAAO+**  
future energy efficient  
buildings & districts

**Empa**  
Akademie

## 1. FACHKONGRESS

# Energie + Bauen



Olma Messen, St. Gallen  
Freitag, 27. Mai 2016, 9 – 18 Uhr

Online-Anmeldung unter [www.empa.ch/eub](http://www.empa.ch/eub)

  
**Energie-Tage  
St. Gallen**  
26.–27. Mai 2016

Die Energie-Tage sind eine Wissens- und Community-Plattform rund um die Energiewende. Auf dem Gelände der Olma Messen St. Gallen treffen sich Expertinnen und Praktiker aus dem In- und Ausland.

[www.energie-tage.ch](http://www.energie-tage.ch)

**5. Internationaler  
Geothermie-Kongress**

Donnerstag, 26. Mai 2016  
[www.geothermie-bodensee.ch](http://www.geothermie-bodensee.ch)



**2. Fachkongress  
Energie + Bauen**

Freitag, 27. Mai 2016  
[www.empa.ch/eub](http://www.empa.ch/eub)



**4. Nationaler Energie-  
konzept-Kongress**

Donnerstag, 26. Mai 2016  
[www.energiekonzeptkongress.ch](http://www.energiekonzeptkongress.ch)



**7. St. Galler Forum für  
Management Erneuer-  
barer Energien**

Donnerstag/Freitag, 26./27. Mai 2016  
[www.hsg-energieforum.ch](http://www.hsg-energieforum.ch)



Mit Unterstützung von



Veranstalter und Organisator



# Veranstaltungen

11. Mai 2016

**FSRM-Kurs Polymerwerkstoffe  
für technische Anwendungen**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa.ch/polymerwerkstoffe](http://www.empa.ch/polymerwerkstoffe)  
Empa, Dübendorf

27. Mai 2016

**Fachkongress Energie + Bauen**

[www.empa.ch/eub](http://www.empa.ch/eub)  
St. Gallen, Olma Messen

07. Juni 2016

**FSRM-Kurs Elektrochemische Charakterisierung  
und Korrosion**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa.ch/korrosion](http://www.empa.ch/korrosion)  
Empa, Dübendorf

16. Juni 2016

**Workshop Electro-Spinning**

Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft  
[www.empa.ch/e-spinning](http://www.empa.ch/e-spinning)  
Empa, St. Gallen

20. August 2016

**Tag der offenen Tür in St. Gallen**

Zielpublikum: Öffentlichkeit  
[www.empa.ch/tdot2016](http://www.empa.ch/tdot2016)  
Empa, St. Gallen

Details und weitere Veranstaltungen unter

[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

Ihr Zugang zur Empa:



[portal@empa.ch](mailto:portal@empa.ch)  
Telefon +41 58 765 44 44  
[www.empa.ch/portal](http://www.empa.ch/portal)