

# Empa Quarterly

Forschung & Innovation #51 | Jan 16

## Additive Manufacturing – Fabrikation mit dem Laserdrucker

Kalk macht  
Holz feuerfest

Im Einmannzelt  
am Furkapass

Bundesrätin  
besucht «move»



**Empa**

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

## Ein Facelift – oder sogar zwei

Liebe Leserin, lieber Leser

Gestatten: «EmpaQuarterly». Unser Magazin für Forschung und Innovation hat einen neuen Namen und ein – wie wir finden – aufgehübschtes Erscheinungsbild erhalten. Nachdem wir im letzten Heft die 50. Ausgabe der «EmpaNews» gefeiert hatten, beginnt mit Nr. 51 also das nächste Kapitel in neuem Gewand. Einiges bleibt indes unverändert: Wir werden Sie auch in Zukunft vierteljährlich – daher der Name – mit spannenden Reportagen und Portraits, informativen Grafiken und spektakulären Bildern über die neuesten Innovationen aus der «Empa-Küche» auf dem Laufenden halten.

Warum wir unser Magazin gerade jetzt einem kleinen Facelift unterzogen haben, hat dabei neben dem Jubiläum noch andere Gründe. Auch das alt-ehrwürdige Empa-Logo kommt seit kurzem etwas zeitgemässer und eleganter daher; durch einen Blick auf die Titelseite unten rechts können Sie sich ein Bild davon machen.

Damit nicht genug. Auch unsere Website haben wir komplett überarbeitet, sie ist seit Mitte Dezember in einem völlig neuen Look unterwegs. Damit haben wir allerdings nicht in erster Linie ästhetische Ziele verfolgt; vielmehr wollen wir unseren Besuchern und Besucherinnen den Zugang zur vielfältigen Empa-Welt erleichtern und sie möglichst schnell und komfortabel zu den gewünschten Themen führen. Ob uns dies gelungen ist, wird sich zeigen. Wir freuen uns auf jeden Fall über Ihr Feedback und Ihre Anregungen.

Aus der ersten Ausgabe von «EmpaQuarterly» möchte ich Ihnen vor allem unser Fokus-Thema ans Herz legen, «Additive Manufacturing». Davon versprechen sich Experten nichts Geringeres als die nächste industrielle Revolution, in deren Zentrum die «intelligente» Fabrik und entsprechende Produktionsprozesse und -technologien stehen. Empa-Forscher und -Forscherinnen sind mit dabei und schaffen die wissenschaftlichen Grundlagen, damit der Werkplatz Schweiz den Zug nicht verpasst.

Viel Vergnügen beim Lesen!

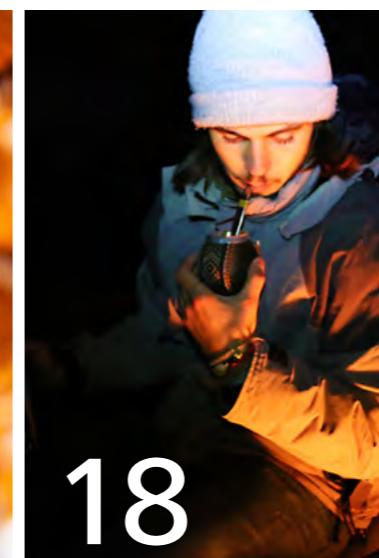
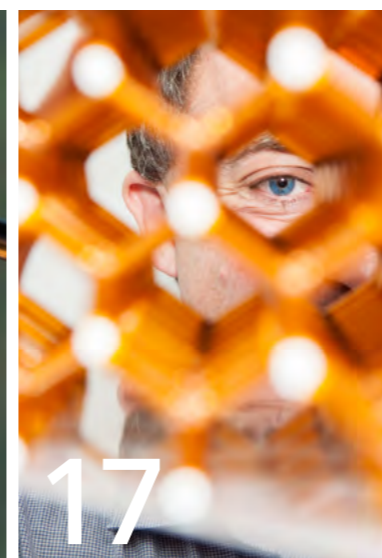
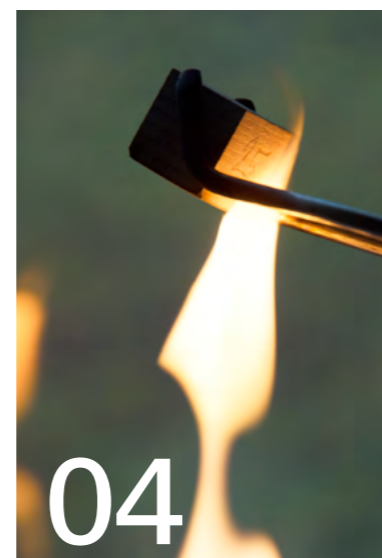


BILD: Trumpf GmbH + Co. KG

### Fokus

## Additive Manufacturing

- 08** 4. industrielle Revolution  
Nach Dampfmaschine, Fließband und Internet steht die nächste Umwälzung an: Werkstücke aus dem 3-D-Drucker.
- 10** Die Suche nach der Schmelzformel  
Laserschweißen ohne Materialfehler. Patrick Hoffmann weiss, wie das geht.
- 12** Poster: Was ist 3-D-Druck, und welches Know-how braucht man?
- 14** Unmögliche Stoffe werden wahr  
3-D-Drucker erzeugen Legierungen und Materialmixturen, die es vorher nie gab. Doch dafür brauchen sie spezielles «Futter».
- 16** «Wir wollen Know-how für künftige Maschinen liefern»  
Interview mit Pierangelo Gröning, Mitglied im Direktorium der Empa.
- 17** Lärmschlucker aus dem Drucker  
Millionenfach vergrößerte Kristallstrukturen wirken gegen Vibrationen. Die Herstellung geschieht im 3-D-Drucker.



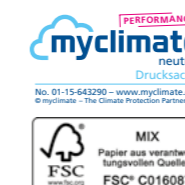
- 04** Holz, das dem Feuer trotzt  
Kalkeinlagerungen machen Hölzer dreimal resistenter gegen Feuer. Als Vorbild diente Empa-Forschern der Aufbau von Knochen.
- 18** Härtetest unter Sternen  
Ein von der Empa mitentwickeltes Ein-Mann-Schlafsystem kommt ohne Schlafsack aus. Reporter Lorenz Huber hat es auf dem Furkapass getestet.
- 22** Bundesrätin Doris Leuthard informiert sich über Ökotreibstoff  
Die neue Forschungsplattform «move» soll aus überschüssiger Elektrizität flüssigen Treibstoff machen. Die Eröffnungsfeier fand im November statt.

#### Titelbild

Diese winzigen Probekörper bestehen aus einer extrem leichten, besonders harten Titan-Aluminium-Legierung und wurden in einem 3-D-Drucker fabriziert. Additive Manufacturing heisst der Fachbegriff für Produktion von Metall- oder Keramik-Spezialteilen im Laserdrucker. Die Empa wird bei der Entwicklung eine wichtige Rolle spielen. Bild: Empa Fokus-Thema ab Seite 8

#### 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 1661-173X**



# Holz, das dem Feuer trotzt

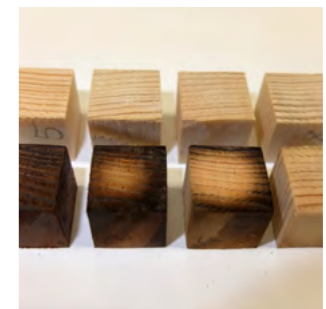
Holz ist als leichter und fester Baustoff seit Jahrhunderten beliebt. Ausserdem ist Holz ein nachwachsender und leicht zu rezyklierender Rohstoff. Der Nachteil: Holz ist brennbar. Das muss nicht sein, wie ein Forscherteam der Empa beweisen konnte.

TEXT: Lorenz Huber / BILDER: Empa

Ökologisches Bauen liegt im Trend. Aspekte wie Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gebäuden sind entscheidend. Bauherren und Architekten setzen daher immer häufiger auf Holz als Baumaterial, da der nachwachsende Rohstoff nicht nur braun, sondern auch grün ist. Tatsächlich bringt das Holz viele Vorteile mit sich, allerdings auch eine Reihe von Herausforderungen. Neben Fragen wie der Dauerhaftigkeit und der Dimensionsstabilität ist die Brennbarkeit ein limitierender Faktor bei der Verwendung des Holzes. Aus Gründen des Brandschutzes durften Bauherren bis vor kurzem Wohn- und Bürogebäude aus Holz nicht höher als sechs Stockwerke bauen. Selbst bei niederen Bauten bedurfte es oft verschiedener Verkleidungen, um einen angemessenen Brandschutz zu gewährleisten. Unter der Leitung von Empa-Forscher Ingo Burgert, der zugleich die Arbeitsgruppe «Holzbasierte Materialien» an der ETH Zürich leitet, hat nun die Doktorandin Vivian Merk einen Weg gefunden, um die Brennbarkeit des Holzes auf natürliche Weise zu reduzieren.

## Mit Chemie den Schalter umlegen

Das Forscherteam der Empa und der ETH Zürich schützt das Holz vor den Flammen, indem es Kalziumkarbonat (Kalk) in der Zellstruktur des Holzes ablagert – das Holz also mineralisiert. Die Schwierigkeit liegt darin, das Mineral tief in die Struktur des Holzes zu bekommen. «Wenn ich einfach nur den Kalk nehme und versuche, ihn ins Holz zu bekommen, habe ich keine Chance. Die Verbindung darf erst im Holz selbst geschehen, sonst würde es nicht funktionieren», erklärt Ingo Burgert. Um zum Ziel zu kommen, tränken die Forscher das Holz in einer wässrigen Lösung aus Kohlensäuredimethylester und Kalziumchlorid. Kalziumchlorid ist ein Salz, das sich im Wasser leicht auflöst, genauso wie der flüssige Ester. Dieser findet beispielsweise als «grünes» Lösungsmittel Anwendung. Ist das Holz einmal bis in die Zellen mit dem Gemisch durchtränkt, erhöhen die Forscher unter Zugabe von Natronlauge den pH-Wert, bis die Lösung basisch wird. «Wir bringen die Ausgangsstoffe, die wir brauchen, zuerst ins Holz und legen dann sozusagen den Schalter um», verbildlicht Vivian Merk. Hat das Gemisch einen gewissen pH-Wert erreicht, zerfällt das Molekül nämlich in Alkohol und  $\text{CO}_2$ . Letzteres beginnt nun mit den Kalzium-Ionen in der Lösung zu reagieren und verbindet sich zu Kalziumcarbonat, das sich tief in der Zellstruktur ablagert.



Von links nach rechts: Holzproben mit steigender Kalk-Konzentration neben einer unbehandelten Referenzprobe.



Flammversuch im Labor. Mit definiertem Abstand zur Flamme werden alle Proben getestet.



Ein mehrstündiges Bad in der Ester-Lösung sorgt für eine Durchtränkung bis in die Zellen.



Von links nach rechts: unbehandeltes Holz, Behandlung mit einer Lösung, Behandlung mit zwei Lösungen.



### Modellversuch «Vision Wood» im NEST

Doktorandin Vivian Merk präsentiert das Ergebnis: Die behandelten Holzproben sind dreifach resistenter gegen Feuer als unbehandeltes Holz.

Parallel zu den Mineralisierungsarbeiten, welche bereits zu KTI-Projekten mit Industriepartnern geführt haben, leitet Ingo Burgert weitere Projekte, die sich mit der Optimierung des nachwachsenden Rohstoffes aus dem Wald befassen. In Laboratorien der Empa und der ETH versuchen Forschende beispielsweise, dem Holz magnetische Eigenschaften zu verleihen, durch Polymere in der Zellstruktur seine Dimensionsstabilität zu erhöhen oder die Oberfläche des Materials vor dem Abbau durch UV-Strahlung zu schützen. Wie die verschiedenen Projekte in der Praxis funktionieren und Anwendung finden, wird ab Frühling 2016 im Versuchsgebäude NEST auf dem Empa-Campus in Dübendorf getestet. Das innovative Gebäudekonzept soll neuartigen Technologien helfen, den Schritt von der Forschung in die Praxis zu machen. Dafür werden verschiedene, austauschbare Gebäudeeinheiten installiert, die eine schnelle und praxisnahe Forschung und Entwicklung an Baustoffen, Wohnrichtungen usw. erlauben sollen. Eine der ersten Wohneinheiten wird das Modul «Vision Wood» sein. Von Empa-Forschern aus der Abteilung «Angewandte Holzforschung» entwickelt, fokussiert sie auf die innovative Anwendung der nachhaltigen Ressource Holz. Als Teil davon soll mineralisiertes Holz zeigen, wie man dank Holz ökologisches Wohnen mit Funktionalität und Design verbinden kann.

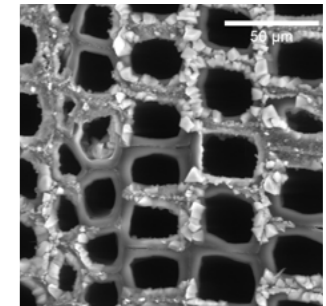
### Alternatives Verfahren in Vorbereitung

Speziell bei diesem Verfahren ist, dass sich das Mineral hauptsächlich in den Zellwänden und kleinen Poren bildet. Bei einem alternativen Verfahren der Forschenden lagert sich der Kalk direkt in den röhrenartigen Holzzellen ab, verstopft sie gewissermassen. Der Unterschied bei diesem Prozess besteht darin, dass die Forscher mit zwei verschiedenen Lösungen arbeiten, mit denen sie das Holz abwechselnd durchtränken. Welche unterschiedlichen Auswirkungen der Kalk auf die Eigenschaften des Holzes hat, wenn er sich in den Hohlräumen der Zelle oder in den Zellwänden bildet, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Bezüglich Brandschutz funktionieren beide Varianten ähnlich gut, wie Ingo Burgert anmerkt: «Es geht einfach darum, möglichst viel mineralische Phase, die nicht brennbar ist, ins Holz einzulagern.»

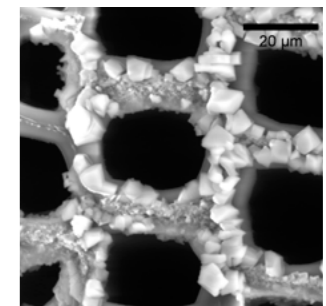
### Hybridmaterial nach dem Vorbild der Natur

Die Inspiration für die Entwicklung solcher organisch-anorganischer Materialien finden die Wissenschaftler um Ingo Burgert in der Natur. Die Evolution hat eine ganze Reihe solcher sogenannter Hybridmaterialien hervorgebracht: Muschelschalen, Zähne, Perlmutter oder Knochen sind nur einige Beispiele. Gerade am Beispiel von Knochen lässt sich erklären, was ein Hybridmaterial ausmacht. Die Mineralisierung seiner organischen Struktur hat eine beeindruckende Verbesserung der mechanischen Eigenschaften zur Folge: bei Babys sind die Knochen noch weich, später werden sie steif und tragfähig.

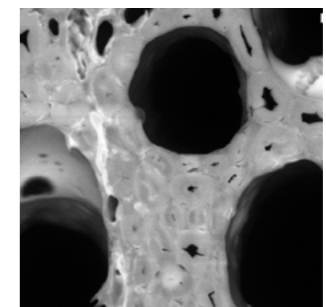
Mehrere Brandtests, welche die Arbeitsgruppe bisher durchgeführt hat, lieferten vielversprechende Ergebnisse. Dank des Kalks in der Zellstruktur gelang es den Forschenden, die Brennbarkeit des Holzes auf etwa einen Drittel zu senken. «Es funktioniert sehr viel besser, als alle erwartet haben», sagt Merk. Neben der guten Feuerresistenz zeigt das mineralisierte Holz weitere Vorteile. Sowohl Holz als auch Kalziumkarbonat binden  $\text{CO}_2$  in sich, was umwelttechnisch sehr interessant ist. Die Forscher weisen darauf hin, dass sie weder bei der Herstellung noch beim Endprodukt gefährliche Stoffe verwenden. Ein Recycling des Hybrid-Holzes ist somit unbedenklich, ganz im Gegensatz zu Hölzern, die mit herkömmlichen Methoden flammhemmend ausgerüstet sind. «Man benutzt für den Brandschutz zum Teil wasserlösliche Borate, die negative Langzeitfolgen für die Gesundheit haben können», sagt Vivian Merk. Ausserdem wird herkömmlicher Feuerschutz oft von aussen aufs Holz aufgetragen. Solche oberflächlichen Beschichtungen können sich mit der Zeit ablösen, während im Hybrid-Holz der Brandschutz tief im Innern des Baustoffs eingelagert ist. //



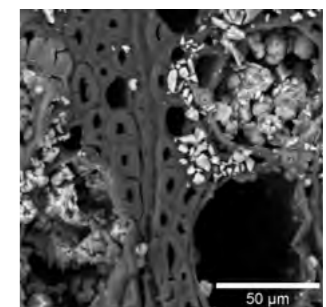
Hybrid-Holz im Elektronenmikroskop. Beim Herstellungsverfahren mit Ester und Kalziumchlorid stecken die Kalk-Kristalle in den Zellwänden.



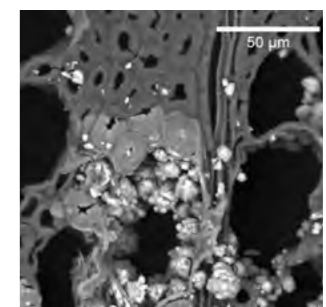
Deutlich sind die Kalk-Kristalle in den Zellwänden zu erkennen.



Hier nochmals ein Bild von Verfahren 1: Kalk in den Zellwänden



Beim alternativen Verfahren, das Vivian Merk ebenfalls entwickelt hat, kommen zwei Lösungen abwechselnd zum Einsatz. Hier stecken die Kalk-Kristalle in den Zellen selbst.



Ein weiteres Bild von Verfahren 2: Kalk in den Zellen selbst

# Additive Manufacturing: 4. industrielle Revolution

TEXT: Rainer Klose / BILD: Trumpf GmbH + Co. KG

Die nächste industrielle Revolution steht vor der Tür: Sie nennt sich «Industrie 4.0» und soll die Produktionsmethoden in den Industrieländern tiefgreifend verändern. Der Entwicklungssprung wird ähnlich dramatisch sein wie bei den drei industriellen Revolutionen der Vergangenheit: der Mechanisierung mit Wasser- und Dampfkraft im 19. Jahrhundert – der Massenproduktion an Henry Fords Fließband ab 1915 – dem Einsatz von Elektronik und IT ab den 1970er-Jahren.

«Industrie 4.0» wird nach Einschätzung von Experten die Verschmelzung von virtuellen Daten mit realen Produktionsmaschinen sein. In einer so entstehenden «intelligenten Fabrik» rücken Kunde und Lieferant näher zusammen: Produktionsaufträge werden vom Kunden direkt an die Maschine geschickt, die Produktionsdaten in Echtzeit an den Vertriebspartner übermittelt. Die Produktion wird schlanker und schneller.

## Additive Manufacturing – 3-D-Druck in Metall

Ein wesentlicher Baustein zur Verwirklichung von «Industrie 4.0» sind Maschinen, die Bauteile schneller, flexibler und präziser fertigen können als bisher. Weniger Prototypenbau, weniger Gusswerkzeuge, weniger Nachbearbeitung. Aus Daten müssen in Zukunft schneller Bauteile und Produkte werden.

Eine Vorstellung von dieser Art Produktion liefern 3-D-Drucker. Die ersten dieser Apparate wurden in den 1980er-Jahren erfunden; heute gibt es bereits Hobbygeräte für unter 700 Franken zu kaufen. Doch bislang produzierten 3-D-Drucker meist Objekte aus Kunststoff. Entsprechend begrenzt sind die mechanischen Eigenschaften und die Temperaturstabilität dieser Objekte, weshalb sie überwiegend zu Anschauungszwecken, also als Modelle verwendet werden. Deshalb wird der 3-D-Druck oft mit dem Synonym «Rapid Prototyping» umschrieben. Für die nächste industrielle Revolution muss die Technik des 3-D-Drucks einen Schritt weiter gehen: vom Rapid Prototyping zum «Advanced Manufacturing», dem Herstellen von dauerhaften, funktionellen Bauteilen mit definierten mechanischen und thermischen Eigenschaften: Produkte aus Metallen oder Keramiken.

## Die Schweiz wird den Zug nicht verpassen

In der strategischen Planung des ETH-Rats für den ETH-Bereich für 2017 bis 2020 sind im Rahmen des Fokusbereichs «Fortgeschrittene Produktionsverfahren» Investitionen von insgesamt 10 Millionen Franken in Immobilien, neue Professuren und Technologieplattformen vorgesehen. Als Koordinator für diesen Fokusbereich hat der Rat Empa-Direktor Gian-Luca Bona beauftragt. Er soll die interdisziplinären Forschungsaktivitäten von ETH Zürich, EPF Lausanne, dem PSI und der Empa miteinander abstimmen.

In diesem Heft stellen wir die Herausforderungen vor, die es bei der Entwicklung von 3-D-Druck von Metallteilen zu meistern gilt – und die bedeutenden Chancen, die diese Technologie eröffnet. Die Empa arbeitet mit drei Forschungsgruppen an diesem Thema. Eine Gruppe untersucht die optimierte Anwendung von Lasern; eine erforscht neuartige Legierungen, die mit dieser Technologie erstmals greifbar werden. Eine weitere Abteilung nutzt Additive Manufacturing zum Bau neuer geometrischer Formen, die mit herkömmlichen Herstellungsmethoden bisher nicht möglich waren.

### 3-D-Druck mit Laser und Metallpulver

Beim Metallaufbau mittels Laser (Laser direct Metal Deposition, LMD) verschmelzen Metallpartikel im Fokusbereich eines Laserstrahls. Ein Werkstück aus massivem Metall entsteht, ohne Gussform und Fräsmaschinen, nur aus CAD-Daten.

# Suche nach der Schmelzformel

3-D-Metalldruck ist doch ganz einfach – könnte man meinen. Dem ist nicht so. Denn viele Details sind noch völlig unbekannt. Patrik Hoffmann ist dem Geheimnis auf der Spur.

TEXT: Amanda Arroyo / BILDER: Empa



**E**igentlich ist es doch nur eine einzige, lange Schweissnaht.» Patrik Hoffmann spricht vom Additive Manufacturing, dem Verschmelzen von Metallpulver mit einem Laser. Und vom Schweißen versteht der Forscher einiges. Patrik Hoffmann ist Leiter der Empa-Abteilung «Advanced Materials Processing» in Thun und lehrt nebenbei an der EPFL schon seit fast 20 Jahren das Fach «Laserbearbeitung». Er und sieben Mitarbeiter aus seiner Abteilung haben sich zum Ziel gesetzt, das Additive Manufacturing verlässlicher zu machen.

«Bei der Laser-Material-Wechselwirkung weiss noch keiner, was wirklich passiert», sagt selbst der Experte. Man erkennt beim genauen Hinsehen, nachdem das Werkstück fertig aufgebaut ist, dass da Material geschmolzen ist, und man kann sich auch vorstellen, dass das Volumen des ursprünglich losen Pulvers kleiner geworden ist. Doch wie viel vom Material verdampft und wegspritzt, ist noch nicht ganz klar. Hoffmann ist überzeugt, dass es dafür eine Formel gibt. Und genau diese auszutüfteln ist schwierig, denn der Prozess ist hochdynamisch und nicht linear.

Um den Einfluss der Prozessparameter wie Laserleistung, Bewegungsgeschwindigkeit des Laserstrahls oder Fokusradius besser verstehen zu können, nutzt Hoffmann eine an der Empa selbst konstruierte Forschungslaseranlage. In seiner Anlage kann er mit Hilfe von Kameras und Mikrofonen den Verlauf des Laserschweissens nachvollziehen.

## Laserbearbeitung: Eine sprunghafte Sache

Laserbearbeitung ist eine verzwickte und recht sprunghafte Sache: Wenn jemand aus Hoffmanns Forschungsteam den Laser mit einer gewissen Leistung auf eine Goldoberfläche fokussiert, passiert zunächst einmal nichts. Das Licht wird reflektiert, nur ein Prozent der eingestrahlenen Energie fliesst ins Material. «Wenn ich da reingucke, werde ich schon blind, bevor das Gold überhaupt warm wird», sagt Hoffmann. Regelt man die Laserleistung hoch, so kommt man an einen Punkt, an welchem das Gold so warm wird, dass es zu schmelzen beginnt. Im geschmolzenen Zustand reflektiert Gold viel weniger des Lichts, und plötzlich nimmt das Mate-



**1** Eine Kette, fabriziert im Additive-Manufacturing-Verfahren (AM): Die Kettenglieder sind ineinander gefügt und dennoch in einem Stück gefertigt. Design und Herstellung: La Manufacture CSC.

**2** Patrik Hoffmann an der selbst konstruierten Forschungslaseranlage, an deren Gehäuse sich Kameras, Mikrofone und Massenspektrometer anschliessen lassen. So kann Hoffmann die Wechselwirkung von Laser und Metallpulver genau analysieren.

**3** Ein Uhrengehäuse, produziert im AM-Verfahren. Links der Rohling, mit einer Stützkonstruktion unter dem Ring, die später herausgebrochen wird. Rechts das fertig bearbeitete Werkstück. Design und Herstellung: La Manufacture CSC.

rial so viel Energie auf, dass ein Teil davon gleich verdampft. Das kann man nicht verhindern. Je mehr des Goldes jedoch verdampft wird, umso dichter wird der Dampf über dem Werkstück, und die Laserstrahlung kann nicht mehr durchdringen. Dieser Abschirmeffekt durch Dampf wird Shielding genannt.

Hoffmann und sein Team messen mit Hochgeschwindigkeitskameras, wie der Metalldampf entweicht und wo Tröpfchen wegfliegen, und sie untersuchen die Geschwindigkeit der kleinen Druckwelle, die vom Laser erzeugt wird. Daneben wird der Prozess auch akustisch verfolgt. Dabei werden drei Mikrofone am Prüfkörper befestigt, welche dann die Signale des Schweissens erfassen. Wenn beim Schweißen etwas schief läuft, kann man das hören.

Zusätzlich vermessen die Empa Wissenschaftler das Schmelzbad, das der Laser im Metall erzeugt. Während der Schmelzbad-durchmesser sich recht einfach optisch messen lässt, muss für die Ermittlung der Schmelzbadtiefe der Prüfkörper im Nachhinein aufgeschnitten werden.

Im Schnittbild eines Prüfkörpers, der im Additive Manufacturing (AM) entstanden ist, erkennt man nicht nur das horizontale Wachstum jeder aufgebauten Metallschicht. Darüber hinaus lässt sich auch noch senkrechtes Kristallwachstum durch die Schichten hindurch beobachten. «Eigentlich ist das nicht erstaunlich, wenn man etwas von Me-

tallurgie versteht», sagt Hoffmann. Die einzelnen Schichten werden bei solch einem Fertigungsprozess bis zu zehnmal aufgeschmolzen. So können Kristalle entstehen, die sich über mehrere Schichten erstrecken.

Ein weitere Herausforderung stellt sich: Weil Metall Wärme bekanntlich sehr gut ableiten kann, erkaltet das geschmolzene Material sehr schnell, was man einerseits für die Herstellung neuer Materialien nutzt, etwa für pulververstärkte ODS-Legierungen (ODS= oxide dispersion strengthened). Die schnellen Abkühlraten können andererseits auch zu Spannungen und Rissen im Material führen und produzierte Werkstücke unbrauchbar machen.

## Vom Kompetenzzentrum zur vollständigen Kontrolle

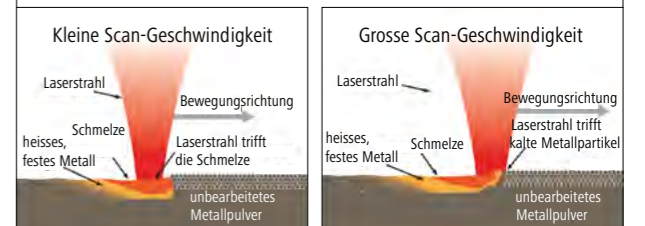
Um dieses Puzzle von Verständnis des Prozesses, von den Eigenschaften des Materials und den Eigenspannungen lösen zu können, will Hoffmann nun verschiedenste Fachkräfte hinzuziehen. Damit alle Seiten abgedeckt sind, benötigt er Physiker, Festkörperchemiker, Mechaniker, Akustiker, Metallurgen, Spektroskopie-Spezialisten, Elektroniker und Experten für Computersimulation.

Fernziel der Forschungsarbeit

ist eine so genannte Closed-Loop-Prozesskontrolle, bei welcher sämtliche Vorgänge beim Laserschweißen beziehungsweise Additive Manufacturing in Echtzeit überwacht werden. Wenn irgendetwas falsch läuft, muss die Steuerung den Laser sofort automatisch korrigieren, damit das gewünschte Bauteil ohne innere Materialfehler, ohne Spannungen und Risse aus dem Herstellungsprozess herauskommt. Bis zur Traumfabrik, die virtuelle Konstruktionsdaten schluckt und perfekt geformte, einbaufertige Metallteile ausspuckt, seien für die internationale Forschergemeinde noch einige Hürden zu meistern, meint Patrik Hoffmann. Mit seinem Team will er dazu beitragen, dass die Vision einer 3-D-Druck-Fabrik am Ende wahr wird. //

## Schnell? Oder doch lieber langsam?

Beim Pulverbett-Verfahren (SLM) kommt es darauf an, langsam genug zu produzieren. Links: Der Laser erzeugt einen Pool geschmolzenen Metalls, der kontrolliert erstarrt. Rechts: Der Laser trifft auf Metallkörner. Manche verdampfen, andere schmelzen unvollständig. Poren und Einschlüsse im Werkstück sind die Folge.

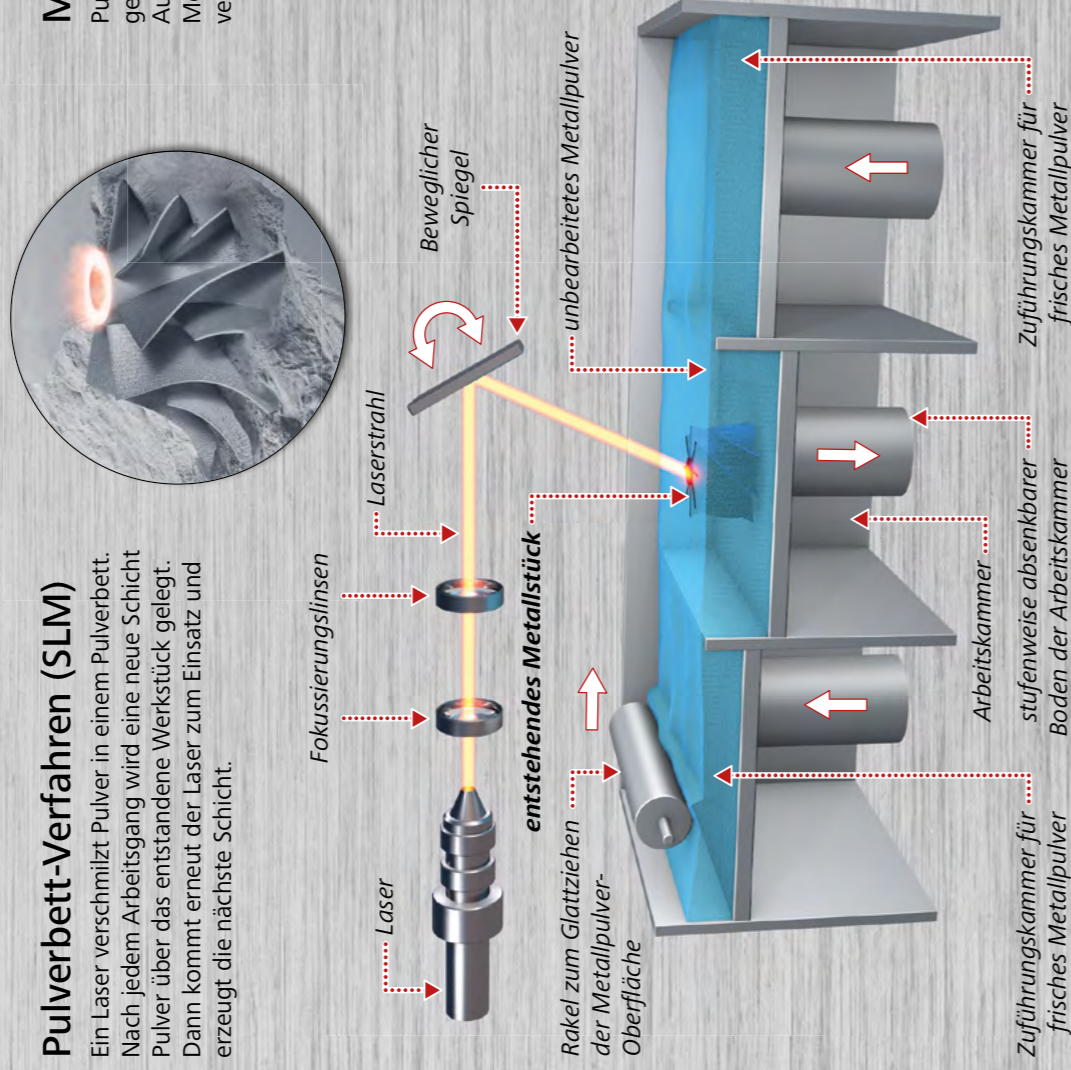


# Additive Manufacturing

Die ersten 3-D-Druck-Verfahren wurden in den 1980er Jahren entwickelt. Als RapidPrototyping ist der 3-D-Druck heute eine etablierte Technologie, um aus Kunststoff sehr schnell und sehr flexibel Anschauungsmodelle zu fertigen, so z.B. in der Architektur, im Maschinenbau oder in der Chirurgie. In Zukunft sollen mit Hilfe des 3-D-Drucks nicht nur Modelle, sondern echte, funktionsfähige Bauteile mit ausreichenden mechanischen Eigenschaften und genügender Hitzebeständigkeit – als Einzelstücke und in Kleinserien hergestellt werden. Das geht nur mit Metallen oder Keramiken. Derzeit sind zwei Methoden bekannt, um mit Hilfe von Metallpulver und Laserlicht metallische Objekte zu formen.

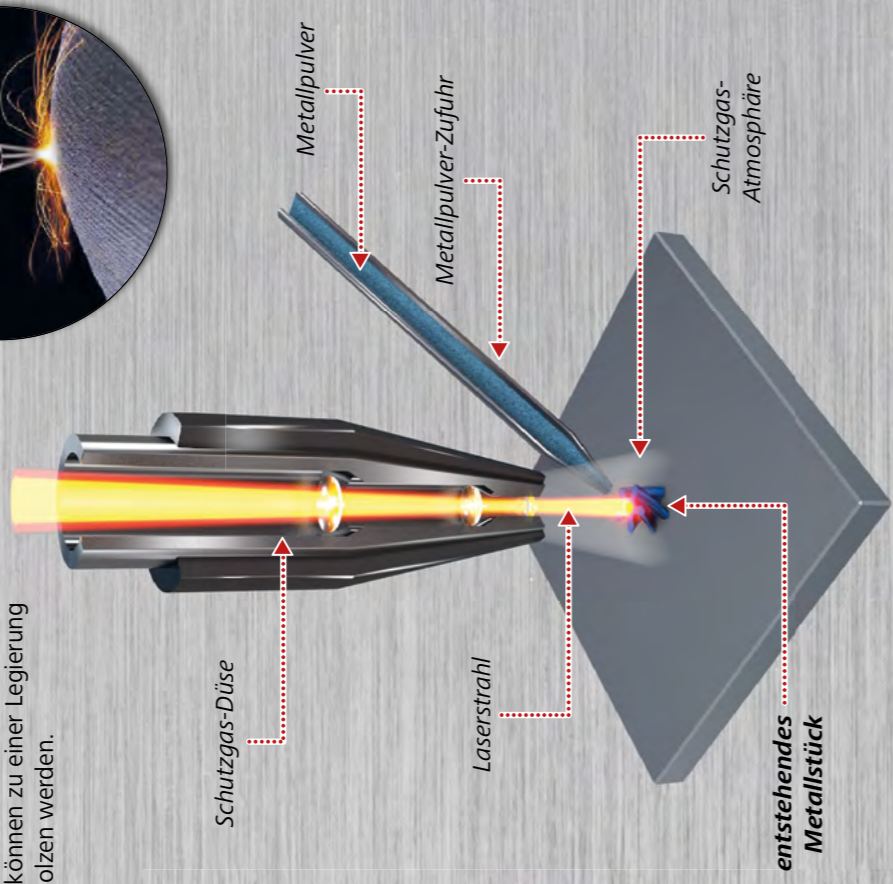
## Pulverbett-Verfahren (SLM)

Ein Laser verschmilzt Pulver in einem Pulverbett. Nach jedem Arbeitsgang wird eine neue Schicht Pulver über das entstandene Werkstück gelegt. Dann kommt erneut der Laser zum Einsatz und erzeugt die nächste Schicht.



## Metallaufbau mittels Laser (LMD)

Pulver wird aus Düsen in den Laserstrahl hinein-geblasen und schmilzt an dem Punkt, an dem die Auftragung gewünscht ist. Bis zu vier verschiedene Metalle können zu einer Legierung verschmolzen werden.



# Vom Labor zur Produktion

Um aus 3-D-Laserdruck eine völlig neue Industrie zu formen, braucht es mehr als nur spezielle Maschinen. Vieles muss neu erfunden werden. Neue Möglichkeiten im Maschinenbau, in der Hochtemperaturtechnik, im Design und in der Ausrichtung von Unternehmen tun sich auf. Die eidgenössischen Hochschulen und Institute bearbeiten viele der Fragestellungen gleichzeitig. Die Forschungsaktivitäten innerhalb des ETH-Bereichs im Überblick.

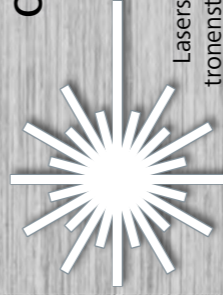
## Pulver funktionalisieren

Neue, rieselfähige Metallpulver für SLM und LMD. (Empa)



## Optimiertes Lasern

Optimierte Steuerung von Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen ermöglicht bessere Materialqualität und zugleich höhere Fertigungsgeschwindigkeit. (Empa, EPF Lausanne, Inspire AG)



## Mikrostruktur des gedruckten Bauteils

Welche Legierungen entstehen? Lassen sich neuartige Legierungen mit Materialgradienten formen? Neuartige Composite-Materialien mit bisher unerreichter Härte, Zähigkeit oder Temperaturbeständigkeit? (Empa, EPF Lausanne, PSI, Inspire AG)



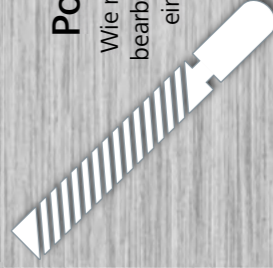
## Äussere Form des gedruckten Bauteils

Wie ist die Oberfläche? Wie ist die Masshaltigkeit? Sind im Bauteil innere Eigenspannungen entstanden – wie lassen sich die verhindern? Qualitätskontrolle mittels zerstörungsfreier Prüfverfahren. (Empa, ETH Zürich, Inspire AG)



## Post Processing

Wie muss das Bauteil nachbearbeitet werden, bevor es eingebaut werden kann? (EPF Lausanne)



Recycling  
Kann das Metallgranulat aus dem SLM-Verfahren erneut verwendet werden? Was ist zur Aufbereitung nötig? (Empa)

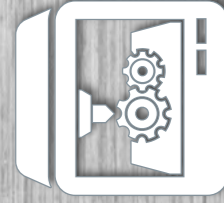
## Design

Ingenieure können Bauteile konstruieren, deren Geometrie in Fräsvfahren nicht zu verwirklichen wäre. Neue Leichtbaukonzepte, neue Montagestrategien, neue Bauteilkombinationen werden möglich. (ETH Zürich, Inspire AG)



## Neue 3-D-Druckmaschinen

Neue Konzepte für 3D-Fertigungsmaschinen und Maschinenparks. Von der Labor-Manufaktur zur Massenproduktion «on demand». (ETH Zürich, Inspire AG)



## Neue Geschäftsmodelle für «Industrie 4.0»

Businessmodell für 3D-Produktion «on demand». Juristische Lösungen für die Produkthaftung und Zertifizierung bei 3-D-Einzelstücken und Kleinserien. (ETH Zürich)



# Unmögliche Stoffe werden wahr

Vierorten wird versucht, bestehende Metallpulver optimal zu verarbeiten, also die Druckmaschine an das Pulver anzupassen. Die Empa geht einen Schritt weiter: Hier suchen Forscher nach neuen, besser für 3-D-Druck passenden Legierungen. Und sie versuchen, neuartige Composite-Materialien zu schaffen, die es ohne 3-D-Druck gar nicht geben kann.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Die letzte Novemberwoche 2015 war für Christian Leinenbach und Christoph Kenel ein lang ersehnter Moment: Die 3-D-Druckmaschine vom Typ M2 cusing steht fertig aufgebaut im neuen Laboratorium auf dem Empa-Campus und ist angeschlossen. Ab 2016 sind eigene Versuche mit Metalllegierungen, Lasergeschwindigkeiten und Linienabständen möglich. Die Maschine des deutschen Herstellers Concept Laser kann mit Hilfe eines Faserlasers komplexe 3-D-Bauteile aus Metall erzeugen, die bis zu 25 cm in jeder Dimension messen. «Die meisten unserer Prüfkörper sind jedoch deutlich kleiner», sagt Christian Leinenbach. «Wir wollen einerseits neue, an den Fertigungsprozess angepasste Werkstoffe entwickeln und andererseits erforschen, wie man mit Hilfe von Additive Manufacturing völlig neue Materialien erschaffen kann.»

## Suche abseits der ausgetretenen Pfade

Die Forschung an 3-D-Druck mit Metall boomt; ständig finden rund um den Globus Konferenzen zu dem Thema statt. Leinenbach verfolgt die Veröffentlichungen in der Szene und hat eine gewisse Schiefelage entdeckt: Von über 200 Beiträgen, die an verschiedenen internationalen Konferenzen in den letzten beiden Jahren vorgestellt wurden, beschäftigen sich erstaunliche 75 Prozent mit nur drei Materialklassen: der berühmten Titanlegierung Ti-6Al-4V, kommerziellen Nickel-Chrom-Legierungen und rostfreiem Stahl. «Mir ist ganz klar, warum so viel auf genau diesen Legierungen geforscht wird», sagt Leinenbach. «Sie sind von hohem kommerziellem Interesse für Luft- und Raumfahrt, für die Rüstungsindustrie und im Offshore-Bereich. Viele für die Schweizer Industrie interessante Werkstoffe wie Werkzeugstähle oder Edelmetalle wurden bislang kaum oder gar nicht untersucht.» Auf der Strecke bleibt auch oft das grundlegende Verständnis für die Wechselwirkung von Material und Laser. «Mit einem komplexen System aus drei und mehr Metallen und etlichen Phasen kann ich nur sehr schwer funktionstüchtige Komponenten in einem Versuch-und-Irrtum-Verfahren entwickeln. Dafür gibt es zu viele Variablen», kritisiert der Metall-Spezialist.

## Grundlagenforschung mit Titanaluminiden

Leinenbach hat sich mit seinem Doktoranden Christoph Kenel im Rahmen eines EU-Projekts daher Legierungen aus Titan und Aluminium vorgenommen, die aufgrund ihrer geringen Dichte für Teile etwa in Flugzeugtriebwerken interessant, allerdings sehr schwer zu verarbeiten sind. Allein diese beiden Metalle bilden bei verschiedenen Mischungsverhältnissen und Temperaturen mehr als ein Dutzend verschiedener Phasen aus, von denen nur eine Mischung aus zwei Phasen für die technische Nutzung geeignet ist. Dieses Phasensystem ist schon lange sorgfältig erforscht – und genau auf diesem bekannten Terrain lohnt es sich, mit Hilfe von AM neue Methoden der Verarbeitung zu ergründen.

Lange bevor die Laseranlage an der Empa installiert wurde, begannen die Forscher bereits mit ihren Grundlagenexperimenten. Ein Experiment betraf den Einfluss der Abkühlrate der Schmelze auf die Phasenbildung. Während klassische Verfahren wie Gießen mit Raten von maximal mehreren 10 Grad pro Sekunde gut verstanden sind, sind die Zustände beim Laserschmelzen bisher weitgehend unerforscht. Im sehr kleinen Schmelzpool, den der Laser erzeugt, sind Abkühlraten von über 10 000 Grad pro Sekunde möglich, wodurch auf einmal Phasen bei Raumtemperatur stabil werden, die es dort üblicherweise nicht gibt.



Christian Leinenbach am neu installierten 3-D-Laserdrucker.

Leinenbach und Kenel untersuchten Titanaluminide mit einer speziellen Versuchsanordnung in verschiedenen Zusammensetzungen bei Abkühlraten bis zu 15 000 Grad pro Sekunde. Die Ergebnisse verglichen sie mit Simulationsrechnungen. Damit wurde ein bisher unbekanntes Gebiet der Metallurgie gewissermaßen kartografiert. Mit diesen Erkenntnissen konnten die Empa-Forscher eine neue Legierung identifizieren, die sich deutlich besser für die Verarbeitung im 3-D-Laserdrucker eignet als die derzeit verfügbaren Titanaluminid-Werkstoffe.

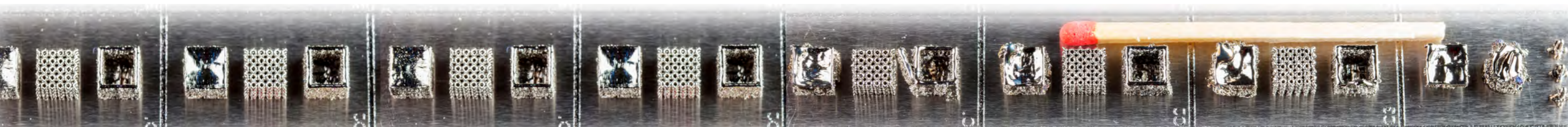
## Traummaterialien für Schleifmaschinen

Ein erstes greifbares Ergebnis der hohen Abkühlraten im 3-D-Drucker könnten neuartige Verbundwerkstoffe aus Metall und Diamant sein. Gesinterte Diamantwerkzeuge mit einfachen Geometrien werden bereits heute zum Schleifen von Keramikbauteilen verwendet. Die Herstellung von Metall-Diamant-Verbunden auf schmelzmetallurgischem Weg ist jedoch sehr schwierig. Bringt man Diamanten mit flüssigen Metallen in Kontakt, so lösen sie sich meistens auf, oder sie schwimmen aufgrund ihrer geringen Dichte an die Oberfläche. Diamanten bestehen zudem aus reinem Kohlenstoff und verbrennen bei Temperaturen oberhalb 400 Grad an der Luft. Zusammen mit

Partnern von der ETH und Inspire gelang Leinenbach und Kenel im 3-D-Drucker die Herstellung von Metall-Diamant-Kompositen: Dafür mischten sie kleine Industriediamanten mit einem Pulver aus einer Kupfer-Zinn-Titan-Legierung. Nach dem Prozess blieben die Diamanten intakt und sind zudem mit einer dünnen Titancarbid-Schicht überzogen, die sie chemisch in der Metallmatrix verankert. Auf diesem Weg sollen in Zukunft Werkzeuge mit komplexerer Geometrie hergestellt werden, wie es sie heute noch nicht gibt.

Doch auch hier gilt: Die bisher bekannten Legierungen sind für eine Verarbeitung im 3-D-Drucker noch längst nicht optimal geeignet. Weitere Entwicklungen werden folgen. Die frisch aufgestellte 3-D-Druckanlage auf dem Empa-Campus wird also bald viel zu tun bekommen. //

Probekörper aus Titanaluminid mit eingebetteten Keramikpartikeln. Diese Legierung ist aufgrund ihrer geringen Dichte etwa für Flugzeugtriebwerke interessant, jedoch schwer zu verarbeiten. Die Probekörper zeigen, mit welchen Parametern der 3-D-Druck am besten funktioniert.







Pierangelo Gröning ist Mitglied des Direktoriums der Empa und koordiniert die Forschung zum Thema Additive Manufacturing. Im EmpaQuarterly erläutert er, wohin die Reise geht.

INTERVIEW: Rainer Klose / BILD: Empa

## «Wir wollen Know-how für künftige Maschinen liefern»

### Herr Gröning, welche Rolle spielt die Empa beim Thema Additive Manufacturing (AM)?

Advanced Manufacturing wurde vom ETH-Rat für die Periode 2017 bis 2020 zu einem strategischen Forschungsschwerpunkt erklärt. Additive Manufacturing – also der 3-D-Druck mit Metallen – stellt dabei eines von verschiedenen Elementen von Advanced Manufacturing dar, das generell neue, modernere Produktionstechniken umfasst. Sie sind für den Werkplatz Schweiz von grosser Bedeutung. Dort müssen wir gut sein, damit wir uns in Zukunft international behaupten können.

### Auf welche der verschiedenen Bereiche, Materialien und AM-Verfahren konzentriert sich die Empa?

Als Materialforschungsinstitution sehen wir die grossen Herausforderungen in der Kombination von Metallen und Keramiken. Als Verfahren studieren wir zunächst Selective Laser Melting (SLM), Laser direct Metal Deposition (LDM) sowie Selective Laser Sintering (SLS).

### Wird die Empa Kurse anbieten, in denen Fachkräfte Additive Manufacturing erlernen können?

Die Empa ist in erster Linie ein Forschungsinstitut. Zum einen wollen wir den Laserbearbeitungsprozess verstehen und zum anderen neue, für den 3-D-Druck optimierte Rohmaterialien entwickeln. Ziel der Forschung ist es, den 3-D-Druck von Metallen vom heutigen Stadium der «Manufaktur» in ein robustes und zuverlässiges industrielles Verfahren überzuführen. Mit der eigentlichen Verfahrenstechnik, also dem Betrieb von Anlagen oder der Konstruktion und Optimierung des Druckprozesses von Bauteilen, werden wir uns nicht befassen. Diese Aufgabe sehen wir gut bei den Schweizer Fachhochschulen oder Instituten wie dem ETH-Spinoff inspire aufgehoben. Dort ist auch die Ausbildung von Fachkräften in guten Händen.

### Sie haben dennoch gerade einen 3-D-Laserdrucker an der Empa in Betrieb genommen. Was unternehmen Sie mit der Maschine?

Für unsere Forschung brauchen wir natürlich auch Anlagen, auf welchen wir die neu entwickelten Materialien unter Realbedingungen und bestmöglicher Prozessüberwachung verarbeiten können. Zum einen ist dies ein mit aufwendigem Prozess-Monitoring modifizierter kommerzieller 3-D-Drucker. Daneben werden wir eigene Forschungsapparaturen aufbauen, mit welchen wir die Laser-Material-Wechselwirkung und den Entstehungsprozess des Werkstücks und damit auch des Werkstoffes genau untersuchen und eines Tages kontrollieren können.

### Es geht also um die Echtzeitsteuerung des Prozesses?

Genau. Wir wollen für zukünftige Maschinen Know-how liefern, mit dem sich der Laserbearbeitungsprozess regeln lässt.

### Was ändert sich für Industrieunternehmen, wenn sie mit Additive Manufacturing beginnen?

Eine der Konsequenzen ist, dass das Qualitätsmanagement völlig neu organisiert werden muss: Heute produziert man im Serienbau eine Anzahl Teile, entnimmt Stichproben, testet sie und schliesst vom Ergebnis dieser Tests dann zurück auf die Güte des Herstellungsprozesses. Beim Additive Manufacturing erzeuge ich jedoch Einzelstücke oder nur sehr wenige Teile nacheinander. Das bedeutet aber, dass man vom ersten Produktionsmoment bis zur Fertigstellung des Werkstücks den kompletten Prozess überwachen muss, weil man hinterher keinen Test machen kann, ohne das Bauteil zu zerstören. Dem Kunden, der das Einzelstück kauft, muss der Hersteller die Produktionsprotokolle zur Verfügung stellen – nur dann kann er eine Garantie für das Produkt abgeben. Wir Forscher müssen für diese neue Produktionsweise die Grundlagen liefern. Wir müssen grundlegend verstehen lernen, wie ein solches Werkstück im Laserlicht entsteht, welche Fehler passieren, wie man sie erkennt und vermeidet.

## Lärmschlucker aus dem Drucker

Schwingungen tilgen mit Hilfe von Kristallstrukturen? Das klingt wie Esoterik – ist es aber nicht. Zwei Empa-Forscher beweisen, dass es geht. Beim Bau der Testmodelle hilft der 3-D-Drucker.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Was sehen Sie da?» fragt Andrea Bergamini und lächelt. In den Händen hält er eine Sandwichkonstruktion aus zwei dünnen Aluminiumblechen, dazwischen steckt eine Gitterstruktur aus orange Röhrchen und weissen Verbindungsstücken. Es sieht aus wie eine sorgfältige, sehr ordentliche Bastelarbeit ohne tieferen Sinn. «Zwischen diesen Blechen steckt eine Diamantstruktur», sagt Bergamini – nun schaut man genauer hin. Tatsächlich: Wer im Chemieunterricht schon mal etwas vom Diamant gehört und ein Kristallmodell des Diamanten betrachtet hat, erkennt die Struktur wieder: Die weissen Verbindungsstücke im Modell sind Tetraeder – genau wie die Kohlenstoffatome im Diamanten. Nur: was soll das? Was soll ein Diamantenmodell im Sandwich von Alu-Blechen?

### Auf den Spuren von Paul Scherrer

Hinter der sorgfältigen Bastelarbeit steckt eine gewagte Idee: Lassen sich die Eigenschaften eines Kristalls um mehrere Grössenordnungen hochskalieren und nutzbar machen? Vor genau 100 Jahren entwickelte der Schweizer Physiker Paul Scherrer zusammen mit seinem niederländischen Kollegen Peter Debye das noch heute gebräuchliche Debye-Scherrer-Verfahren: Mit Hilfe der Beugung von Röntgenstrahlen lässt sich so die Struktur von Kristallen bestimmen. Nun sind ja Röntgenstrahlen nichts anderes als elektromagnetische Wellen, die von den Kristallstrukturen abgelenkt werden. Manche der Wellen löschen sich gegenseitig aus, andere verstärken sich – es entsteht ein charakteristisches Fleckenmuster rund um den Kristall. Die einfallenden Röntgenwellen werden in kleine Wellenbündel zerteilt und in verschiedene Richtungen zurückgeworfen.

### Das Eigenleben des Makro-Kristalls

Wenn man nun die Kristallstruktur milliardenfach vergrössert, könnte diese Struktur dann auch grössere Wellen zerteilen und ablenken? Etwa Schallwellen oder Vibrationen? Andrea Bergamini und sein Kollege Tommaso Delpero gingen dieser Frage nach. Sie bauten das Sandwich-Modell aus Aluminiumblechen und Teilen eines Molekülbaukastens und zum Vergleich ein zweites Modell,

Schwingung an. Die Forscher hatten in ihrem Makro-Kristall damit eine sogenannte Bandlücke entdeckt – eine Eigenschaft, die auch in der Halbleitertechnik eine zentrale Rolle spielt. Innerhalb dieser Bandlücke gibt der Makro-Kristall keine Schwingung weiter.

### Präzise Modelle aus dem 3-D-Drucker

Mit dieser Erkenntnis lassen sich möglicherweise schwingungsdämmende Zwischendecken konstruieren, auf die vibrierende Maschinen montiert werden können. Auch andere Anwendungen im Maschinenbau sind denkbar. Nun müssen die Forscher jedoch weg vom selbst gebastelten Modell mit all seinen typischen Fehlern. Hier hilft der nun an der Empa verfügbare Metall-3-D-Drucker. Das Gerät kann Geometriedaten aus theoretischen Berechnungen direkt in eine Kristallstruktur verwandeln. Die makrokristalline Zwischenschicht wird dann fest und gleichmässig aus Metall gedruckt – die Ungenauigkeiten der Bastelarbeit sind ausgeräumt. Durch die gesteigerte Präzision sind auch verschiedene Strukturvarianten gut vergleichbar. Die Forschung am Schallschluck-Kristall nimmt damit Fahrt auf. //



Andrea Bergamini und Tommaso Delpero zeigen Modelle ihres dreidimensionalen, fononischen Kristalls.

in dem zwischen den Alublechen nur harter Schaum steckt. Dann spannten sie mit ihren Kollegen der Abteilung Akustik, Armin Zemp und Stephan Schönwald, die beiden Konstruktionen in ein Rüttelgerät und untersuchten, was herauskam. Tatsächlich: Wie erwartet, schluckte der Schaum die Vibrationen gleichmässig, die Kristallstruktur entwickelte dagegen ein richtiges Eigenleben: Manche Vibrationen wurden quasi zurückgespiegelt: Die Alu-Platte, an der gerüttelt wurde, bewegte sich stärker, doch auf der Unterseite der Sandwich-Struktur kam keine

Literatur: Delpero T., Schoenwald S., Zemp A. and Bergamini A. (2015). Structural engineering of three-dimensional phononic crystals. *Journal of Sound and Vibration*, 1–10. doi: 10.1016/j.jsv.2015.10.033

# Härtetest unter Sternen

Das Start-up Polarmond hat zusammen mit Forschern der Empa ein innovatives Schlafsystem entwickelt fürs Übernachten draussen bei bis zu minus 30 Grad. EmpaQuarterly-Reporter Lorenz Huber hat für uns seinen Rucksack gepackt – und auf dem Furkapass übernachtet.

TEXT: Lorenz Huber / BILDER: Empa



Die ersten Schneefelder tauchen auf einer Höhe von ungefähr 2000 Metern vor mir auf, jeweils an den Nordhängen des Furkapasses. In diesem November bleibt der Schnee lediglich dort liegen, wo sich die Sonne den ganzen Tag nicht blicken lässt. Auf der Passhöhe, 2429 Meter über Meer, gibt es ein Plateau, wo ich den geliehenen Toyota stoppe, um mir einen Überblick zu verschaffen. Als ich die Autotür öffnen will, schlägt ein überraschend starker Wind sie gleich wieder zu. Beim zweiten Versuch bin ich vorbereitet. Auf der kurzen Fussstrecke bis zum Rand der Ebene muss ich den Kopf tief zwischen die Schultern ziehen und die Hand vors Gesicht halten. Der Wind jagt kleine Hagelkörner vor sich her, die auf der Haut schmerzen wie Peitschenhiebe. Die Temperatur liegt knapp unter dem Nullpunkt. Umstände, die für das Biwak, in dem ich schlafen will, kein Problem sein sollten. Das Start-up Polarmond entwickelte dieses All-in-one-Schlafsystem zusammen mit Forschern der Empa für Temperaturen bis zu minus 30 Grad. Unter dem Inlet im geräumigen Innenraum soll es dabei nicht kälter als 25 Grad werden. In der Kältekammer hat das Produkt den Labortest bestanden und muss sich nun in der Praxis beweisen.

Von der Passhöhe überblickt man auf der Urnerseite das Urserental. In die andere Richtung schaut man von oben auf die Walliser Gemeinde Obergoms. Vereinzelt durchbrechen hartnäckige Sonnenstrahlen die dunkeln Wolken am Himmel und erhellen schneebedeckte Berggipfel. Die Passstrasse, die auf beiden Seiten den Hang hinauf schlängelt, wird nur spärlich genutzt. Ich finde einen Abzweiger rechts den Hang hinauf und parke bei einer kleinen Holzütte.

Das Biwak kompakt verpackt und auf den Rucksack gezurrt, beginnt der Aufstieg. Der Wind ist ein steter und launischer Begleiter. In unregelmässigen Abständen schickt er seine Sturmböen, die an allem reissen, was sich vom Grund abhebt. Zweimal kann ich meine Wollmütze gerade noch festhalten. Ich finde eine geeignete Stelle; eine ebene Fläche, ungefähr fünf auf zehn Meter gross. Da es schon bald dunkel wird, beginne ich gleich mit dem Aufbau. Der Versuch, mit den Biwak-Komponenten eine Auslegeordnung zu erstellen, gelingt wegen der heimtückischen Luftstösse nur teilweise. Das Schlafsystem besteht aus einer blauen Schlafhülle mit Hochleistungs-Isolationsschicht, zwei Gestängen, die für Form und Stabilität sorgen, einer Isomatte, die sich in die Schlafhülle integrieren lässt, einem orange Witterungsschutz, durch durchdachtes Reissverschluss-System an die Schlafhülle andockbar, und schliesslich einem Inlet, das die Feuchtigkeit des Schlafenden vom Körper wegführen und einschliessen soll.

Der Aufbau ist grundsätzlich einfach und unkompliziert. Die Schlafhülle hat am Kopfende eine Öffnung, in welche die Isomatte hineingeschoben, teilweise eher reingequetscht wird. Das ist der einzige etwas mühselige Arbeitsschritt. Die Montage der Gestänge ist wiederum genial: Am Kopf- und Fussende der Schlafhülle gibt es auf beiden Seiten eine Lasche, durch die man die Enden der Zeltstangen führt und unten fixiert. Ausser an der Schlafhülle sind Haken angebracht, die man ganz bequem an die Gestänge klickt. Um das Gesicht vor Wettereinflüssen zu schützen, bringt man nun den Witterungsschutz an. Auch das geht mühelos. Zwei Reissverschlüsse und ein Klettverschluss sorgen für eine wasserdichte Verbindung. Mit insgesamt fünf Schnüren kann das Biwak zum Schluss am Boden fixiert werden.

Die hier beschriebene Arbeit, die auf einer windstillen Wiese im Tal sehr einfach wäre, liegt bei den heftigen, unregelmässigen Windböen auf dem Furkapass mindestens um einen Schwierigkeitsgrad höher. Jedes Teil, das nicht in den Händen gehalten wird, muss mit Steinen beschwert werden. Nachdem ich im Isomatte-in-Schlafhülle-Quetsch-Kampf siegreich war und mich daran mache, die einzelnen Teile der Gestänge ineinanderzustecken, schlägt der Wind mit voller Kraft zu und beendet beinahe die Unternehmung. Gegen eine besonders starke Böe sind die beiden Beschwerungssteine machtlos, und die Schlafhülle macht samt Isomatte einen Abflug. Sie wird förmlich wegkatapultiert und schießt 15 Meter weit durch die Luft Richtung Tal, was lautes Gefluche und einen hektischen Sprint des Schreibenden zur Folge hat. Glücklicherweise erreiche ich das Zelt vor der nächsten Sturmbö. Die nächste Herausforderung bietet der Untergrund. Wenige Zentimeter unter dem Grünzeug stösst man auf Felsen, was es schwierig macht, die Heringe regelgerecht zu versenken. Mit Hilfe von Steinen und dem Schuhabsatz gelingt auch das schliesslich, und das Biwak ist festgezurt.

Die Abenddämmerung ist bereits weit fortgeschritten. Autos fahren kaum mehr. Gleich neben dem Felsen hat jemand Steinbrocken zu einer niedrigen Mauer gestapelt. Dahinter gelingt es, trotz der widrigen Umstände, ein Feuer zu machen. Während die letzten Strahlen der Sonne hinter dem gegenüberliegenden Gebirge verschwinden, mache ich es mir neben dem Feuer bequem und bereite einen Mate-Tee zu. Das argentinische Traditionsgetränk, das aus einem ausgehöhlten und ausgetrockneten Kürbis und durch einen Metall-Trinkhalm mit Filter getrunken wird, ist stets ein guter Reisebegleiter. Da das morsche, am Pass gefundene Holz kaum Glut hinterlässt, kommt ein Campingkocher zum Einsatz, um das Abendessen zuzubereiten. Auf dem Menüplan stehen Linsen mit Speck aus der Dose.

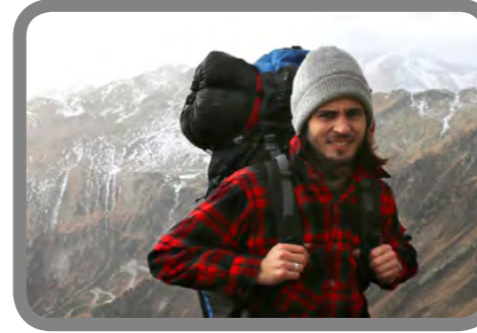
Als es ganz finster wird, setze ich mich so hin, dass das Biwak im Schein meiner Stirnlampe zu sehen ist. Mein Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Heringe hält sich anfangs in Grenzen. Regelmässige Kontrollen der Schnüre beruhigen mich aber. Das Biwak wird zwar arg durchgeschüttet, hält aber den Luftstössen stand. Zwischen den Wolken sind vereinzelt Sterne zu sehen. Die Temperatur ist merklich unter den Nullpunkt gesunken. Vom Lagerfeuer ist nur noch ein schwaches Glühen übrig. Es kommt einem vor wie Mitternacht. In Wirklichkeit ist es kurz nach sechs. Die Linsen schmecken vorzüglich. Gespannt, ob das Produkt hält, was es verspricht, klettere ich ins Biwak. Der Einstieg ist ein bisschen holprig. Zugegebenermassen stelle ich mich auch nicht sehr geschickt an. Ich brauche eine Weile, bis das Inlet richtig liegt und meine Füsse im Fussteil stecken.

Gespannt warte ich darauf, dass die Isolation ihre Arbeit tut. Und tatsächlich – bereits nach wenigen Minuten wird es wärmer. Anfangs noch in der Winterjacke, schäle ich mich bald Stück für Stück aus meiner Kleidung, bis ich in Unterwäsche daliege. Platz hat es reichlich. Neben mir in der Hülle liegen: Kamera samt Tasche, Winterjacke, Hose, Hemd und meine Wanderschuhe. Obwohl es bequem ist und man beinahe wie in einem Bett liegt, habe ich Mühe einzuschlafen. Der Bergwind bearbeitet das Biwak gnadenlos, was im Innern für eine heftige Geräuschkulisse sorgt. Ich mache mir Sorgen um meinen Rucksack, der draussen bleiben musste. Obwohl die Luftzüge des Windes auch im Innern leicht spürbar sind, ist es bald so warm, dass ich den Reissverschluss der Temperaturregulierung ein Stück weit öffnen muss.

Als ich wieder aufwache, ist es halb eins in der Nacht. Kein Getöse mehr; es ist windstill. Die Temperatur in der Schlafhülle ist immer noch angenehm, und ich steige kurz raus, um die Stabilität des Zeltes und den Verbleib meines Rucksacks zu prüfen. Es ist jetzt ganz ruhig, der Wind hat keine Spuren hinterlassen. Als ich nach oben schaue, verschlägt mir die Schönheit des Anblicks fast den Atem: Kein Wölkchen ist mehr zu sehen, man hat freie Sicht auf den Sternenhimmel – ein Meer aus funkelnden Partikeln, begrenzt nur durch die dunkeln, zackige Silhouette der Berge.

Dem Rucksack geht es gut, und auch das Biwak steht fest verankert. Als ich mich wieder hinlege, lasse ich den Witterungsschutz offen, damit ich den Himmel sehe. Plötzlich tut sich etwas dort oben. Eine Sternschnuppe schießt vorbei. Sie ist die erste von vielen. Die grossen, schnellen hinterlassen einen glühenden Strich, der sich für ein paar Sekunden ins Firmament und in die Netzhaut brennt. Etwa eine Dreiviertelstunde liege ich so da, den Körper in der warmen Schlafhülle, das Gesicht an der eisigen Bergluft. Dieses Mal habe ich keine Probleme beim Einschlafen.

Um sieben Uhr heisst es aufstehen. Nach zehn Stunden im Biwak ist die Temperatur im Innern etwas gesunken. Das ist allerdings nicht weiter verwunderlich, da der Lüftungsschlitz die ganze Nacht über geöffnet blieb. Die Innenseite der Witterungshülle ist mit Reif überzogen. Als ich beim Hinausklettern den orange Stoff streife, bekomme ich einen nassen Kopf. Doch mein gut durchgewärmter Körper erträgt die kalte Morgenluft gut. Der Boden, mein Rucksack und das Biwak liegen unter morgendlichem Raureif. Es ist immer noch windstill. Das Abbauen und Zusammenräumen ist somit ein Kinderspiel, verglichen mit dem Aufbau am Vortag. Entspannt und gut ausgeschlafen, fahre ich zurück ins Tal. Das Polarmond-Biwak hat den Test bestanden. //



Reporter Lorenz Huber beim Aufstieg zum Zeltplatz, Biwak und Rucksack auf dem Rücken. Die Winternacht in den Bergen beginnt früh: Ab 20 Uhr Festbeleuchtung im Zelt. Das Polarmond-Biwak am nächsten Morgen vor dem Einpacken: Witterungsschutz, Inlet, Isomatte und Schlafhülle liegen einzeln parat.

«Als ich nach oben schaute, verschlug mir die Schönheit des Anblicks fast den Atem»

#### Info zum Projekt «Polarmond»

Das Schlafsystem von Polarmond entstand in einer interdisziplinären Zusammenarbeit. Beteiligt waren neben der Empa das Institut für Produktdesign Entwicklung und Konstruktion IPEK, die Hochschule für Technik Rapperswil und die Schweizerische Textilfachschule. Nach Abschluss der Produktentwicklung sollen Mitte 2016 eine Biwak- und eine Sitzzelt-Variante auf den Markt kommen – erhältlich in Outdoor-Fachgeschäften und im Webshop des Unternehmens.

Das Schlafsystem ist modular aufbaubar und vereint Schlafsack, Biwak und Isomatte in einem Produkt. Einsetzbar bei Temperaturen bis zu minus 30 Grad, soll im Innern, unter dem Inlet, eine Temperatur von 25 Grad gehalten werden können.

Die Forscher Martin Camenzind und Matthew Morrissey waren von Seiten der Empa an dem Projekt beteiligt. Sie halfen das Problem der thermischen Isolation und der Entfeuchtung zu lösen.

Beim Biwak, das in der Reportage getestet wird, handelt es sich um den Deltaprototyp. Bis zur Markteinführung soll es einen weiteren Prototyp geben. Infos unter [www.mikeott.ch/wordpress](http://www.mikeott.ch/wordpress)

Im November herrscht wenig Verkehr auf dem Furkapass. Nahe der Passstrasse verbrachte unser Reporter die Probenacht im Zelt

## Die Empa auf dem Titelblatt



Die Empa-Betonspezialisten Beat Münch und Andreas Leemann haben es mit Ihrer Veröffentlichung auf die Titelseite des «Journal of Microscopy» geschafft. Sie entwickelten ein neues Konzept für die Identifikation von Mineralien basierend auf Bildern. Die Bilder werden in einem Elektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS) aufgenommen. Dabei tastet der Elektronenstrahl die Oberfläche der Probe ab. Da von jedem chemischen Element eine charakteristische Röntgenstrahlung abgegeben wird, entsteht so für jeden Bestandteil der Probe ein separates Bild. Münch und Leemann gelang es, aus diesen Einzelbildern in einem automatischen, zweistufigen Verfahren ein Gesamtbild zu kombinieren, welches die Verteilung der vorhandenen Mineralien zuverlässig abzugrenzen und zu identifizieren vermag und deutlich aussagekräftiger ist als Einzelbilder von Elementverteilungen.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jmi.12309/full>

## Die Empa als Filmkulisse

Lorenz Huber, Ex-Praktikant in der Abteilung Kommunikation der Empa! Sein Kurzfilm «Kairos» hat sich im Ostschweizer Kurzfilmwettbewerb unter 84 Konkurrenten durchgesetzt und in der Kategorie ü20 den 3. Platz gemacht. Herzliche Gratulation!

In einer Nebenrolle ist die Espressomaschine der Empa zu sehen – und der Arbeitsplatz, an dem dieses Magazin entsteht. Der Nachwuchsfilm war für uns auch als Reporter in den Bergen unterwegs. Seine Outdoor-Reportage finden Sie ab Seite 18 in diesem Heft.



Preisgekrönter Kurzfilm  
«Kairos»

<https://youtu.be/Chyt9IOB70U>



## ClimeWorks gewinnt Swiss Excellence Award

Das Zürcher Start-up-Unternehmen ClimeWorks gewann am 26. Oktober 2015 den Swiss Excellence Award für eine hervorragende Produktinnovation. ClimeWorks produziert den CO<sub>2</sub>-Kollektor – eine Maschine, die autonom arbeitet und mittels einer an der Empa und der ETH Zürich entwickelten Technik 135 kg Kohlendioxid pro Tag aus der Umgebungsluft gewinnt. Damit können Betriebe, die Kohlendioxid benötigen, völlig unabhängig von Lieferanten und Infrastruktur CO<sub>2</sub> selbst produzieren. Bei höherem Bedarf lassen sich mehrere CO<sub>2</sub>-Kollektoren zu einer Grossanlage kombinieren. Jeweils sechs Kollektoren stecken dabei stapelbar in einem 40-Fuss-Container.

[www.climeworks.com](http://www.climeworks.com)

## Bundesrätin Doris Leuthard im «move»

Führende Energie- und Mobilitätsexperten waren am 23. November 2015 zugegen, als auf dem Empa-Campus in Dübendorf die Forschungs- und Technologietransferplattform «move» eröffnet wurde. Mit Hilfe dieser Anlage werden Empa-Forscher in den nächsten Jahren untersuchen, wie überschüssige erneuerbare Elektrizität im Sommerhalbjahr in Treibstoffe für Autos, Nutzfahrzeuge und Arbeitsmaschinen umgewandelt und damit energetisch nutzbar gemacht werden kann. Der Name «move» steht dabei nicht nur für motorisierte Mobilität, sondern auch für den Umstieg von fossiler zu erneuerbarer Energie – bis hin zur Realisierung eines geschlossenen Kohlenstoffkreislaufs nach dem Vorbild der Natur.

Im Rahmen einer Tagung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) besuchte Departementsvorsteherin Doris Leuthard bereits zwei Wochen zuvor die Empa. Sie nutzte die Gelegenheit, die nagelneue Forschungsplattform vorab zu besichtigen. Brigitte Buchmann, Mitglied des Direktoriums der Empa, und Christian Bach, Leiter der Abteilung Fahrzeugantriebssysteme, erläuterten der Bundesrätin die Funktionsweise des «move».



## Veranstaltungen

13. Januar 2016

**FSRM-Kurs: Versagen von Hightech-Komponenten**

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

14. Januar 2016

**FSRM-Kurs: Klebtechnik für Praktiker**

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

26. Januar 2016

**Brennstoffzellen in automobilen Anwendungen**

Zielpublikum: Fahrzeug- und Energiefachleute  
[www.empa.ch/fcv2016](http://www.empa.ch/fcv2016)  
Empa, Dübendorf

01. März 2016

**FSRM-Kurs: Graphen und Kohlenstoff-Nanoröhrchen**

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

Details und weitere Veranstaltungen unter  
[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

Ihr Zugang zur Empa:

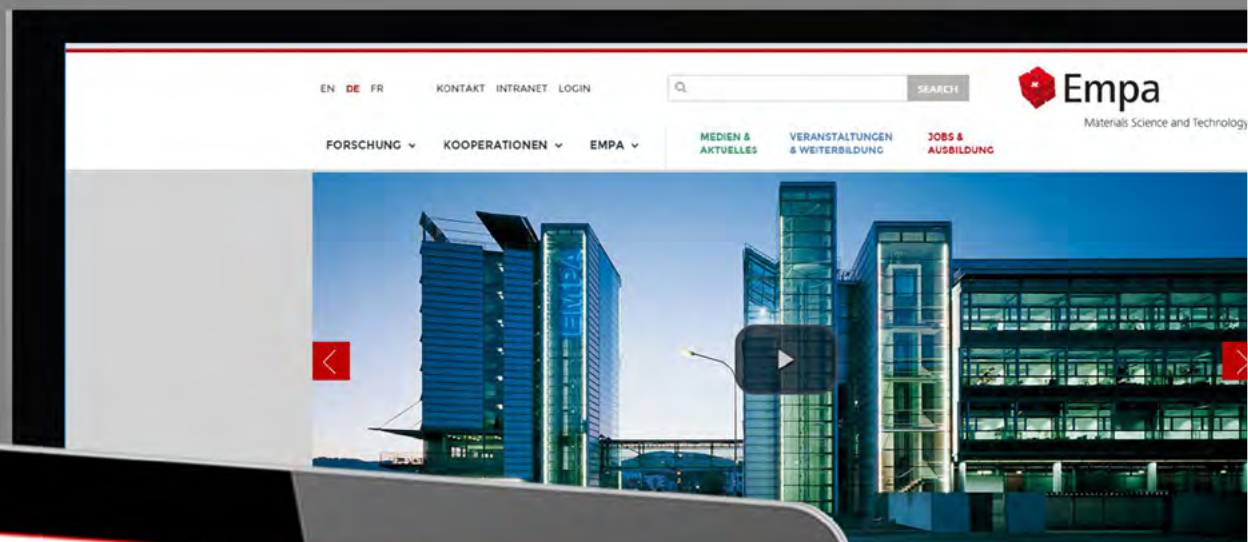


portal@empa.ch  
Telefon +41 58 765 44 44  
[www.empa.ch/portal](http://www.empa.ch/portal)

# Da wäre noch eine letzte Sache ...

...und zwar unsere neue Website – komplett überarbeitet, mit neuen Funktionalitäten und in zeitgemäßem Look-and-Feel. Sie gibt Ihnen einen Überblick über die Forschungsaktivitäten der Empa, zeigt Ihnen auf einen Blick anstehende Veranstaltungen, neue Videos, News und vieles mehr. Auf Ihrem Desktop, Ihrem Laptop, Ihrem Tablet oder Ihrem Smartphone.

Schauen Sie ungeniert rein – auf [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



Die aktuelle Ausgabe zum Download

EmpaQuarterly

Hightech-

ponenten.  
se mit  
der  
analytik,  
turwerkstoffe,  
lbearbeitung.

llierung  
und Umwelt vor

lungen zu

Aktuelles

CO<sub>2</sub>-freier Treibstoff aus erneuerbarer Elektrizität  
**move - der Weg zur Mobilität der Zukunft**  
25.11.2015 | Die Demonstrations- und Technologieanfertigungsplattform emove ermöglicht Empa-Forschern, neue Fahrzeugantriebskonzepte mit signifikant geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen zu entwickeln und dabei massiv zu reduzieren. Als Energiequelle dient überschüssige...

Um Zellenwirkstoff zu höherer Effizienz  
**Tandem-Solarzelle kann's einfach besser**  
18.11.2015 | Zwei Solarzellen übereinander bringen Vorteile. Ein grosser Anteil des Sonnenlichts kann in Solarzellen umgewandelt werden, wenn die Energie zu zwei Stufen geteilt wird. Empa-Forscher haben ein Verfahren entwickelt, um solche Tandem-

Sowas umfänglich die hitzigen Batterietechnik  
**Batterietechnik für den Massenbedarf**  
12.11.2015 | Hochleistungsfähiger Lithium-Ionen-Batterien haben ein Problem: Das Licht wird irgendwann empfangen, weil immer mehr Elektrolyt und stabilere Spezies-Batterien gefordert werden müssen. Nun haben Forscher der Empa und der ETH Zürich eine Alternative

Veranstaltungen

16.01.2016  
**Empa-FSRM-Kurs Versagen von HighTech-Komponenten**  
Versagen von Flugzeugkomponenten, Schweißnähte mit Schichtaufbau...