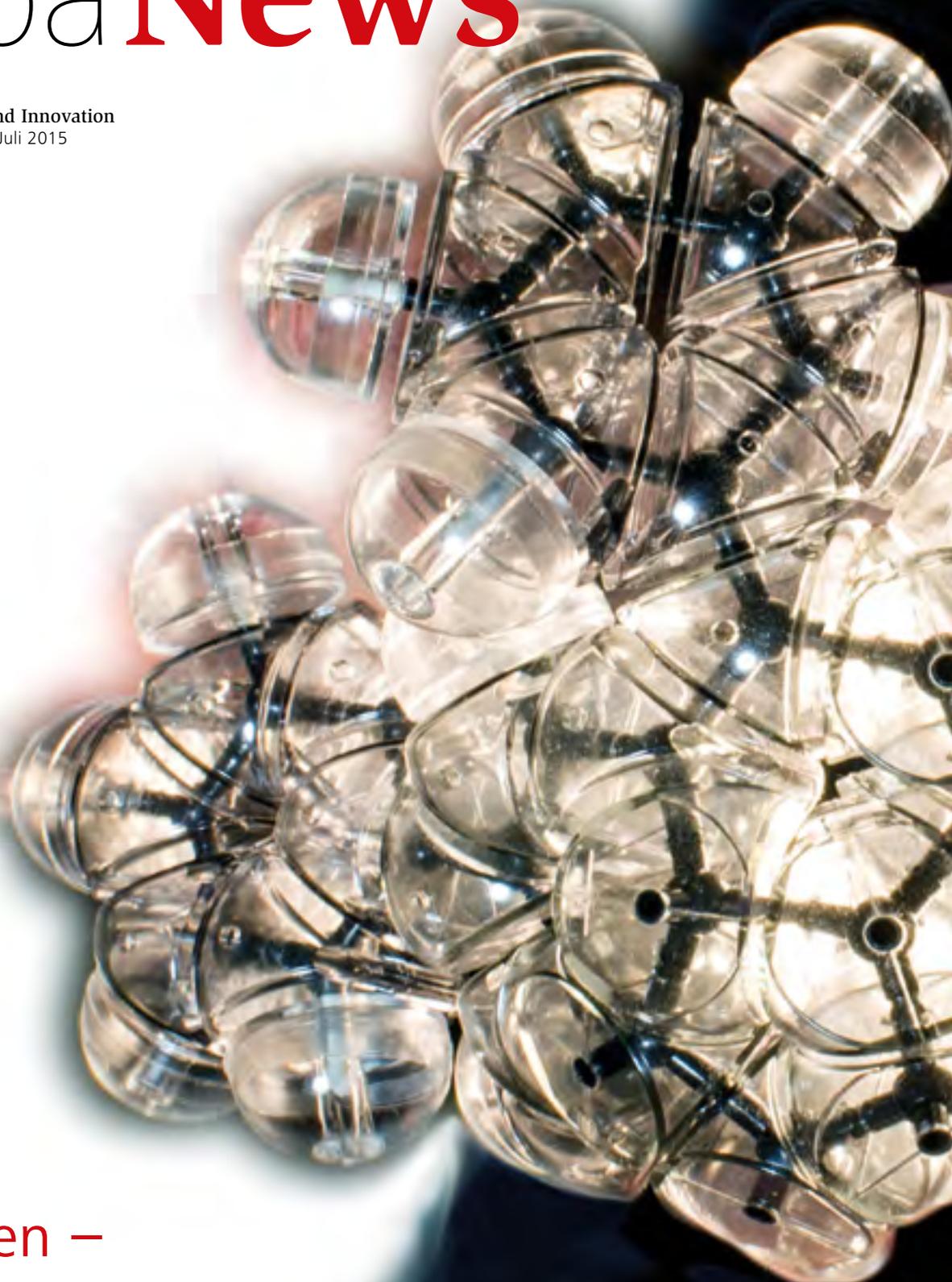


# Empa **News**

Magazin für Forschung und Innovation  
Jahrgang 13 / Nummer 49 / Juli 2015



## Solarzellen – fixfertig ab der Rolle



Betäubungsmittel  
in der Antarktis

Portrait: Karl-Heinz Ernst  
lässt Moleküle tanzen

Keramikmesser  
für Holzfräsen



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

## Die Empa geht aus

Liebe Leserin, lieber Leser

In Forschungslabors entsteht Neues, noch nie Dagewesenes. Darin gleichen sich (fast) alle Labors überall auf der Welt. Die neuartigen Ideen, Konzepte, Technologien und Materialien, die Empa-Forscherinnen und -Ingenieure ersinnen und entwickeln, müssen sich noch dazu in der «echten» Welt behaupten, sprich: den Praxistest bestehen. Denn Empa-Forscher wollen etwas bewirken, wollen zur Lösung dringender Fragen beitragen, sei es im Energiebereich, im Gesundheitssektor oder im Bemühen um eine saubere Umwelt.

Der echte Lackmustest für Innovationen findet also nicht im Labor statt, sondern «auf der Strasse». Daher sind Empa-Wissenschaftlerinnen häufig aushäusig unterwegs. Zum Beispiel in der Antarktis auf der koreanischen King Sejong-Forschungsstation oder auf dem Jungfrauoch, um dort Luftproben zu analysieren und Klimagasen sowie anderen menschengemachten Luftfremdstoffen auf die Spur zu kommen (S. 8 ff.). Oder bei der Eröffnung einer Pilotproduktionsanlage für flexible Dünnschichtsolarzellen, mit der das Empa-ETH Zürich-Spin-off Flisom die Solarbranche aufmischen will (S. 4). Oder in der Nähe der Rütliwiese, wo ein Hausbesitzer den ersten Prototypen einer neuartigen Empa-«Betonheizung» in sein Domizil einbauen liess (S. 16).

Das letzte Beispiel zeigt, dass der Technologietransfer vom Labor in die Praxis mitunter über sonderbare Wege verläuft – und immer auch eine Portion Mut benötigt: Hausbesitzer (und Bauingenieur) Mark Zumoberhaus las in einer Pendlerzeitung vor einigen Jahren einen Artikel über den Betonwärmespeicher, der damals an der Empa entwickelt wurde – und nahm flugs mit den Forscher Kontakt auf. Kommenden Winter wird der Visionär sein Ferienhaus in Seelisberg nun erstmals mit Sommerwärme aus dem Ettringit-Beton der Empa heizen. Und das alles ganz ohne Garantieleistung und doppelten Boden. Chapeau!

Viel Vergnügen beim Lesen!



### Fokus

## Atmosphärenforschung

- 08** **Anästhetika in der Antarktis**  
Fluorane kommen in Operationssälen weltweit zum Einsatz und sind starke Treibhausgase. Jetzt sind sie am Südpol angekommen.
- 12** **Die Atmosphäre vergisst nichts**  
Neue Kühl- und Schaummittel haben das lange Zeit verwendete R134a ersetzt. Das zeigt sich auch in der Spurengasanalyse an der Empa-Messstation Jungfrauoch.
- 14** **Forschen ohne Grenzen**  
Die globalen Atmosphären-Forschungsnetzwerke AGAGE und GAW auf einen Blick.



- 04** **Völlig von der Rolle**  
Pilotfabrik für flexible Solarzellen mit Empa-Technologie.
- 16** **Die Betonheizung**  
Solarenergie über den Winter speichern? Das geht mit den Spezialbetonblöcken der Empa. Ein Hausbesitzer in Seelisberg probiert es aus.
- 20** **Verhaltensforscher für Moleküle**  
Karl-Heinz Ernst lässt Moleküle hüpfen, um sie zu verstehen. Nun wurde er zum «Distinguished Senior Researcher» ernannt. Portrait.
- 24** **So schneiden Schreiner schneller**  
Ein Keramikmesser für industriellen Holzzuschnitt fräst sich 30 Prozent schneller durchs Material. Ein Vorsprung für die einheimische Industrie.

#### Titelbild

Modell der «Watschelenten»-Moleküle von Karl-Heinz Ernst. Der Forscher beschäftigt sich mit chiralen Strukturen und speziell aufgebauten Molekülen, die sich unter dem Rastertunnelmikroskop fortbewegen. Die Empa würdigte ihn im Februar 2015 mit dem Titel «Distinguished Senior Researcher». **Portrait Seite 20**

#### 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 [empanews@empa.ch](mailto:empanews@empa.ch), [www.empanews.ch](http://www.empanews.ch) // Erscheint viermal jährlich **Anzeigenmarketing** [rainer.klose@empa.ch](mailto:rainer.klose@empa.ch) **ISSN 1661-173X**



# Völlig von der Rolle

Schutzkleidung war angesagt bei der feierlichen Eröffnung der Flisom-Pilotanlage am 11. Juni. Allerdings nicht die Besucher galt es zu schützen, sondern die empfindlichen Maschinen, aus denen noch in diesem Jahr die ersten flexiblen Solarzellen aus Grossproduktion das Licht der Welt erblicken sollen. Kein Staubkörnchen darf in die Apparaturen gelangen. Die Produktionsanlage des Jungunternehmens ist eine Weltneuheit: In grossen Vakuum-Bedampfungsmaschinen entstehen bis zu ein Meter breite Rollen von flexiblen Solarzellen, basierend auf der an der Empa entwickelten CIGS-Technologie.

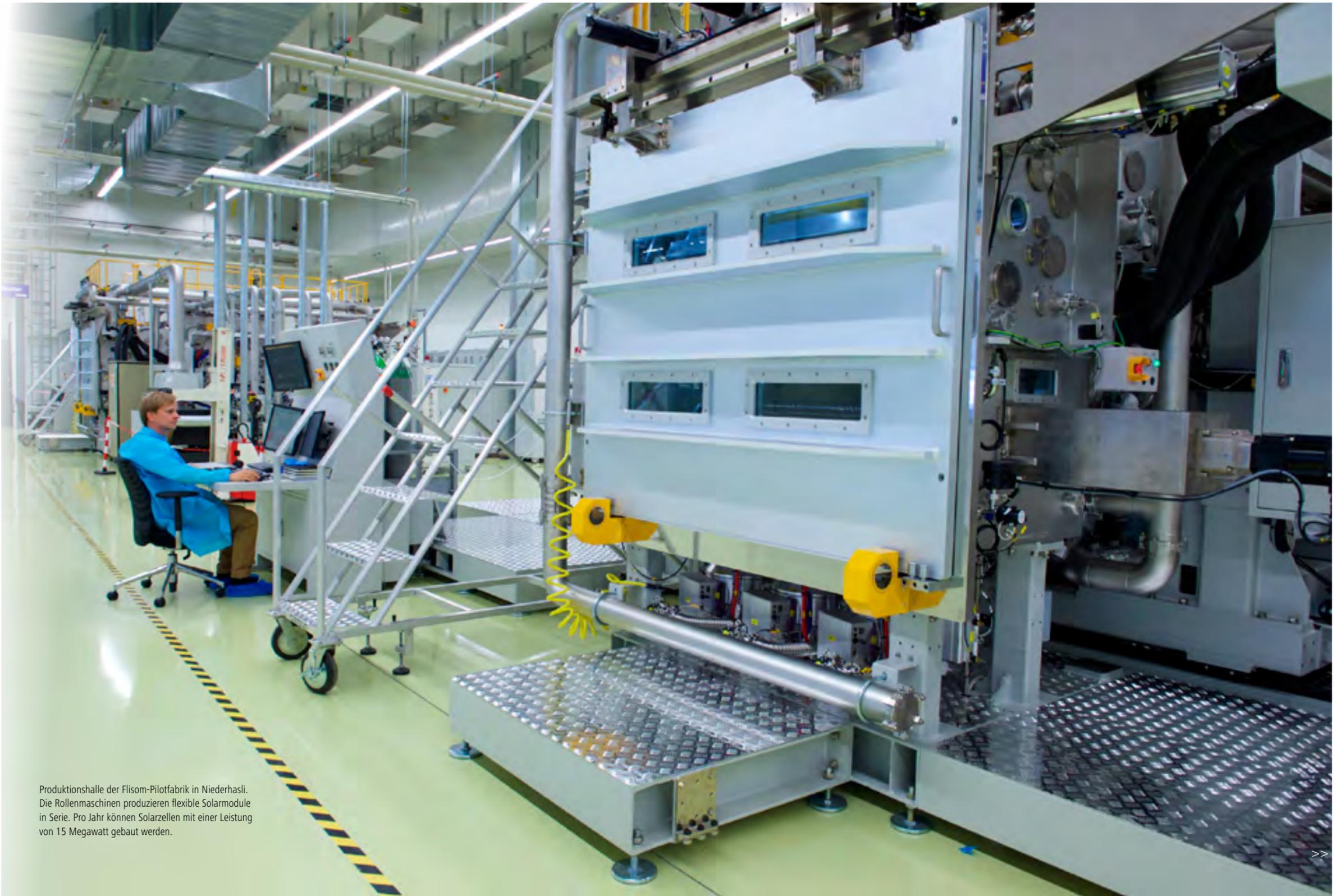
Die Abkürzung CIGS steht für Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, die Halbleitermischung, mit der das Sonnenlicht in Elektrizität umgewandelt wird. Anders als bei herkömmlichen Solarzellen aus kristallinem Silizium ist die Absorberschicht dabei nur ein Tausendstelmillimeter dick – und daher biegsam. Damit lassen sich also erstmals flexible Solarzellen herstellen. Statt einer grossflächigen Fensterfabrik genügt eine platzsparende Folienfabrik, um Solarmodule in Serie zu produzieren. Ein entscheidender Schritt zu der massenweisen Verbreitung der Solartechnik ist damit getan: Die günstigen Module können preiswert auf Dächer montiert oder ins Blechkleid von Autos, Bussen und Lastwagen integriert werden.

## So ähnlich wie Kartoffelchips-Tüten

«Was wir hier machen, hat viel mit der Verpackung von Kartoffelchips zu tun», so Ayodhya N. Tiwari. Der Firmengründer ist zugleich Flisom-Verwaltungsrat und Leiter der Empa-Abteilung «Dünnschichttechnologie und Fotovoltaik». «Auch die metallisierten Folien, die Kartoffelchips frisch halten, entstehen in solchen Rolle-zu-Rolle-Verfahren in Vakuum-Maschinen», erläutert der Empa-Forscher. Zwar sei der Aufbau der CIGS-Schichten deutlich komplizierter als die simple Aluminiumschicht, die es zum Schutz von Lebensmitteln braucht. Doch die Vision sei dieselbe: Günstige Folien, in grosser Menge produziert, haben eine Chance

In einer nagelneu eingerichteten Fabrikhalle in Niederhasli bei Zürich laufen demnächst flexible Solarzellen mit Empa-Technologie vom Band. Die Pilotanlage der Spin-off-Firma Flisom ist der erste Schritt zur Serienproduktion und könnte die Kosten für Solarmodule drastisch senken. Dahinter stecken mehr als 18 Jahre Forschung und Entwicklung, zu einem wesentlichen Teil in den Labors der Empa.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Heidi Hostettler



Produktionshalle der Flisom-Pilotfabrik in Niederhasli. Die Rollenmaschinen produzieren flexible Solarmodule in Serie. Pro Jahr können Solarzellen mit einer Leistung von 15 Megawatt gebaut werden.

auf weltweite Verbreitung. K. R. S. Jamwal, Executive Director des indischen Mischkonzerns Tata Industries, hofft darauf, mit der in Niederhasli entwickelten Technik den Weltmarkt zu erobern. Jamwal ist bei Tata unter anderem für die Förderung von Start-ups verantwortlich; der Weltkonzern investierte in den vergangenen Jahren bereits mehrere Millionen Franken in die Schweizer Firma. «Wir engagieren uns in Hightech-Firmen im Silicon Valley, in Boston, an Standorten in Grossbritannien – und nun hier im Grossraum Zürich, wo die Startbedingungen mindestens so gut sind wie in den USA», sagte Jamwal zur Eröffnung. «Ich bin froh, dass ich hier auf hochkarätige Wissenschaftler gestossen bin, mit denen man nicht nur über Forschung, sondern auch über Gewinn reden kann. Das ist eine wunderbare Kombination.»

Bis zu den ersten Verkaufserlösen aus der Solarzellenproduktion ist es allerdings ein weiter Weg. In den nächsten neun bis zwölf Monaten soll die Produktion anlaufen und hochgefahren werden. Doch selbst dann gelangen die ersten CIGS-Zellen von Flisom noch nicht in den freien Verkauf, sondern sind für Forschungszwecke, Langlebigkeitstests und für experimentelle Gebäude wie das «NEST» auf dem Empa-Campus in Dübendorf reserviert. Läuft die Produktion in vollem Umfang, dann kann die Fabrik in Niederhasli jedes Jahr Solarzellen mit einer Gesamtleistung von 15 Megawatt (MW) ausstossen. Die Pilotanlage dient als eine Art Blaupause für kommerzielle Fabriken mit 100 MW Gesamtleistung jährlich. Dies entspricht in etwa der Leistung des neuen Wasserkraftwerks Rheinfelden, das 2010 in Betrieb ging.

#### Was lange währt ...

Während die Anlagen in Niederhasli Solarzellen mit einem Meter Breite produzieren, läuft die etwas ältere Anlage der Flisom auf dem Empa-Campus ebenfalls weiter. Auf dieser kleineren Anlage werden Herstellungsmethoden für die Solarzellen der nächsten Generation entwickelt. Zugleich forscht Tiwaris Arbeitsgruppe an der Empa weiter an den Grundlagen der Dünnschichttechnologie, etwa daran, deren Effizienz weiter zu steigern – ein Gebiet, auf dem sein Labor bereits mehrmals Weltrekordmarken gesetzt hat.

Doch was im Labor funktioniert, lässt sich nicht sofort in die industrielle Fertigung überführen. Auch bei den biegsamen CIGS-Solarmodulen hat es knapp 20 Jahre gedauert, bis die Technologie aus dem Labor die Reife zur Massenproduktion erreicht hat. «Ein langer Weg, der ohne die Unterstützung

und das Know-how der Empa nicht möglich gewesen wäre», ist Tiwari überzeugt. «Dieses Beispiel veranschaulicht die wichtige Rolle der Empa als Brückenbauer zwischen Forschung und praktischer Anwendung», sagt Empa-Direktor Gian-Luca Bona. «Unsere langjährigen Forschungsanstrengungen auf dem Feld der erneuerbaren Energien zahlen sich eindeutig aus.»

Unterdessen arbeiten die Fachleute der Flisom bereits am Geschäftsmodell für die Vermarktung der CIGS-Zellen. «Wir treten gegen diverse asiatische Hersteller an, die ebenfalls preiswerte Solarzellen produzieren – gegenwärtig jedoch auf Glasplatten», sagt Stephan Stutterheim, zuständig für Business Development bei Flisom. «Unser Vorteil ist,

dass wir massgeschneiderte und kostengünstige Lösungen für unsere internationalen Kunden anbieten können.»

Ein erstes Ergebnis dieser engen Verzahnung mit Kunden war bei der Eröffnung zu sehen: Roland Kern, verantwortlich für die Produktentwicklung bei Flisom, zeigte einbaufertige Dachmodule samt Solarzellen und elektrischer Verkabelung. «Wir können unsere flexiblen Zellen direkt auf Alu- oder Stahlblech integrieren. Das Blech kann nachträglich zu einem Blechdachziegel oder zu einem Fassadenelement gebogen werden», so Kern. «Die Montage dieser leichten und semiflexiblen Solarmodule ist dann für den Handwerker genauso einfach wie die Montage eines normalen Blechdachs.» //



Bild oben: Eröffnung der Flisom-Pilotproduktion am 11. Juni 2015 in Niederhasli ZH. Sitzend: K. R. S. Jamwal vom indischen Investor Tata Industries; hinter ihm Empa-Forscher und Firmengründer Ayodhya N. Tiwari, rechts daneben Staatssekretär Mauro Dell'Ambrogio, der Zürcher Regierungsratspräsident Ernst Stocker, Empa-Direktor Gian Luca Bona und Flisom-COO Sudheer Kumar.

Bild rechts: Flisom-Produktentwickler Roland Kern zeigt, wie aus flexiblen Flisom-Solarmodulen montagefertige Dachpfannen werden.



#### Kopf-an-Kopf-Rennen der Forscher

Während in der Flisom-Pilotanlage die Produktion startet, darf die Forschung im Labor nicht stillstehen. Über die Jahre gelang es den Empa-Forschern, den Wirkungsgrad flexibler CIGS-Solarzellen immer weiter zu steigern: von 12,8% im Jahr 1999 auf 14,1% (2005), 17,6% (2010) und 18,7% (2011). 2013 gelang dem Team von Ayodhya N. Tiwari ein neuer Rekordwert von 20,4%. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) steigerte 2014 mit CIGS-Solarzellen auf Glas diese Marke sogar auf 21,7%. Grundlage für den Erfolg des Empa-Teams war eine neue Herstellungsmethode für CIGS-Solarzellen, bei der Natrium und Kalium in die CIGS-Schicht eingebaut werden. Durch die spezielle Behandlung ändert sich die chemische Zusammensetzung der komplizierten Sandwichstruktur – und damit deren elektronische Eigenschaften, wie unter anderem detaillierte elektronenmikroskopische Untersuchungen ergaben. Mit einer Effizienz von 20,4% können die CIGS-Zellen – endlich – mit den besten polykristallinen Siliziumsolarzellen mithalten. Empa-CIGS-Zellen zählen damit zu den effizientesten weltweit. Die Forschungsarbeiten werden vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF), der Kommission für Technologie und Innovation (KTI), dem Schweizerischen Bundesamt für Energie (BFE) sowie den EU-Rahmenprogrammen gefördert.

# Anästhetika in der Antarktis

Bei Operationen kommen oft Inhalationsanästhetika, so genannte Flurane, zum Einsatz, die als starke Treibhausgase wirken. Wie viel davon weltweit hergestellt wird, ist unklar; Atmosphärenforscher versuchen, die tatsächliche Menge anhand globaler Luftmessungen zu bestimmen, unter anderem in der koreanischen Forschungsstation King Sejong in der Antarktis.

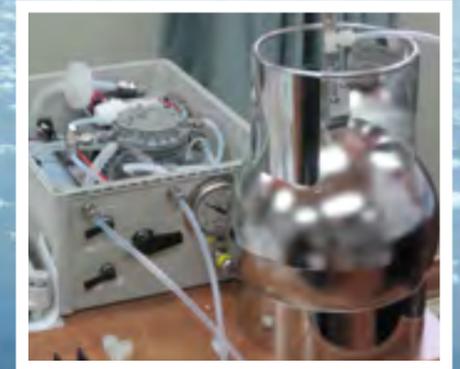
TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Martin Vollmer

Sie heißen Desfluran, Isofluran und Sevofluran und verheissen einen süßen Schlaf, während Chirurgen einen im OP zusammenflicken. Aber sie haben auch eine dunkle Seite: Sie heizen dem Erdklima ordentlich ein; Desfluran ist als Treibhausgas beispielsweise 2500-mal potenter als CO<sub>2</sub>. Eine weltweite Inventur wäre also ganz im Sinne des Kyoto-Protokolls. Doch das erweist sich als schwieriger als erwartet, denn die Industrie gibt sich zugeknöpft. Bislang lagen nur Schätzungen vor, die im Bottom-up-Verfahren ermittelt wurden. Dabei wird der Verbrauch in Krankenhäusern hochgerechnet und daraus eine ungefähre Produktionsmenge abgeleitet.

Empa-Forschende um Martin Vollmer haben nun den entgegengesetzten Weg gewählt: top-down. Sie analysierten Luftproben von verschiedenen Stationen des weltweiten Messnetzes AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment – siehe Karte S. 14) nach Spuren der Inhalationsanästhetika und berechneten daraus die weltweite Produktionsmenge. Diese entspricht umgerechnet einer Menge von drei Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. «Das klingt zwar nach viel», so Vollmer, «allein der Schweizer Personenverkehr produziert pro Jahr aber etwa dreimal mehr.» Es handelt sich also um eine vergleichsweise geringe Menge Treibhausgas, die über Operationssäle in unsere Atmosphäre gelangt. Dennoch gilt vor allem Desfluran als besonders klimawirksam und ist mit einer Halbwertszeit von 14 Jahren extrem langlebig, während sich Sevofluran und Isofluran nach «nur» einem bzw. drei Jahren abbauen.

## Nach zwei Jahren tauchen die Gase am Südpol auf

Messungen in der Antarktis haben zudem gezeigt, dass diese Substanzen bis in die hintersten Regionen unserer Erde gelangen. Für ihre Reise zu den Polen benötigen die Treibhausgase ein bis zwei Jahre. Der Atmosphärenwissenschaftler Vollmer war bereits zweimal auf der koreanischen Forschungsstation King Sejong in der Antarktis, um dort Messungen vorzunehmen und die Luftproben zu analysieren. Da dies für eine dauerhafte Überwachung dann doch zu aufwändig ist, füllen koreanische Kollegen auf der Station regelmäßig Luft in Flaschen ab und schicken sie nach Dübendorf. Für ihre Analysen kann Vollmers Team ausserdem auf Proben aus einem Luftarchiv zurückgreifen; seit 1978 zapfen australische Forscher regelmäßig Luft aus der Atmosphäre ab und lagern sie für spätere Untersuchungen ein. Doch was ist zu tun, da nun effektive Zahlen



vorliegen und sogar bekannt wird, dass diese Substanzen nicht nur in den urbanen Zentren vorkommen – wo sich hauptsächlich verwendet werden –, sondern bis ans Ende der Welt reisen? «Darüber ist sich niemand wirklich einig», meint Vollmer.

#### Umstrittener Handlungsbedarf

Flurane werden bereits seit den 1980er-Jahren hergestellt, und schon damals gab es Gegner und Befürworter. Zwar handelt es sich um extrem starke Treibhausgase, doch ist die absolute Menge so gering, dass sie insgesamt kaum ins Gewicht fällt. Demgegenüber stehen etliche Vorteile in Human- und Tiermedizin. Veterinäre nutzen die Anästhetika, um rasch und unkompliziert ganze Viehbestände zu betäuben und anschließend beispielsweise Kastrationen bei Ferkeln vorzunehmen. In der Veterinärmedizin ist dies weitaus günstiger, als ein Tier nach dem anderen durch Injektionen zu narkotisieren. In der Humanmedizin spielen die Kosten eine geringere Rolle, doch ist die Inhalationsanästhesie für die Patienten angenehmer.

Im Hinblick auf die drohende Klimaerwärmung bleibt dennoch die Frage, ob sich nicht atmosphärenschonendere Alternativen entwickeln liessen. //

#### Auszeichnung für Berner Forscher

Der Klimaphysiker Hubertus Fischer von der Universität Bern erhielt den renommierten «ERC Advanced Grant» für seine Forschung an polaren Eisbohrkernen. Im Rahmen des Projekts deepSLICE («Deciphering the greenhouse gas record in deepest ice using continuous sublimation extraction/laser spectrometry») soll das Team eine neuartige Extraktionsmethode für Luft aus Eisbohrkernen sowie eine spezielle Analyseverfahren zur Messung der Treibhausgaskonzentrationen und der Kohlendioxidisotope entwickeln. Im Projekt wird Fischer vom Empa-Team um Lukas Emmenegger unterstützt. Es ist führend in der Entwicklung und Anwendung von laserspektroskopischen Methoden für die Gasanalytik in der Atmosphärenforschung. Die laserbasierte Gasanalytik ist hochpräzise und benötigt nur sehr kleine Gasmengen. Beides ist entscheidend für die Messung der Proben einer für 2019/20 geplanten internationalen Eiskernbohrung in der Antarktis. Diese soll die Treibhausgas-Geschichte auf die letzten 1,5 Millionen Jahre erweitern – bislang konnte die Wissenschaft mit Hilfe der Eiskerne «nur» 800 000 Jahre in die Vergangenheit blicken. Für deepSLICE hat der Europäische Forschungsrat in den nächsten fünf Jahren knapp 2,3 Millionen Euro vorgesehen.

# Die Atmosphäre vergisst nichts

Erst seit wenigen Jahren sind halogenierte Kühl- und Schäummittel der vierten Generation im Umlauf. Sie ersetzen langlebige Treibhausgase wie R134a, die in (Auto-)Klimaanlagen, Kühlschränken und in diversen Schäumen verwendet wurden. Die neuste Generation dieser Substanzen ist ein grosser Fortschritt: Sie zersetzen sich in der Atmosphäre wesentlich schneller als ihre Vorgänger. Substanzen wie HFC-1234yf, HFC-1234ze(E) und HCFC-1233zd(E) werden mittlerweile schon vermehrt eingesetzt, wie erste Ergebnisse aus den Empa-Messstationen auf dem Jungfraujoch und in Dübendorf zeigen. Seit Beginn der Messungen im Jahr 2011 werden diese drei Kühlmittel immer häufiger in der Luft nachgewiesen. Das lässt darauf schliessen, dass immer mehr Hersteller auf die neue Generation umsteigen. Die Ergebnisse wurden vor kurzem in der Fachzeitschrift «Environmental Science & Technology» veröffentlicht.

## Messung der alten Semester

Nebst der Analyse der neuen Generation werden nach wie vor auch deren Vorläufer untersucht. In einer kürzlich erschienenen Studie in PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) analysierte ein internationales Forscherteam – unter anderem Stefan Reimann und Martin Vollmer von der Empa – die Menge an HFC-Emissionen und verglich diese mit den offiziellen Deklarationen verschiedener Herstellerländer, die dazu verpflichtet sind, ihre Emissionen einzuschätzen und jährlich an die UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) zu melden. Die Emissionen stammen nicht nur aus dem Herstellungsprozess, sondern geraten vor allem bei der Verwendung der Substanzen in die Atmosphäre: Lecks in Kühlgeräten oder das langsame Ausdiffundieren von Treibmitteln aus eingebauten (Isolations-)Schäumen gehören zu den häufigsten Quellen. Die von der UNFCCC ausgewerteten Angaben haben die Forscher mit den gemessenen Konzentrationen verglichen. Es zeigten sich teils deutliche Diskrepanzen – und zwar in beide Richtungen. Teilweise lagen die gemessenen Werte über den rapportierten (z. B. für HFC-125 und HFC-143a), bei andern Mitteln waren sie tiefer (HFC-134a). Diese Diskrepanz sei gemäss der Autorinnen und Autoren der Studie einerseits darauf zurückzuführen, dass nicht alle Länder Angaben zum Verbrauch der Kühlmittel liefern, andererseits mangelt es für detailliertere Studien nach wie vor an Messstationen. Die Empa-Station auf dem Jungfraujoch ist beispielsweise bereits in zwei internationalen Netzwerken, bei AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment) und GAW (Global Atmosphere Watch; s. Infografik S. 14/15.)

Unsere Klimaanlagen hinterlassen Spuren – auch in der Luft. Kühl-, aber auch Schäum- und Lösungsmittel sind schädliche Treibhausgase und verbleiben oftmals sehr lange in der Atmosphäre, bevor sie sich zersetzen. Die neuste Generation Kühlmittel wurde vor wenigen Jahren lanciert; nun liegen erste Messergebnisse zu deren Verbreitung vor.

TEXT: Cornelia Zogg / BILD: jungfrau.ch



Video  
Atmosphere and Climate Research  
at Jungfraujoch

<https://youtu.be/c0uoRynYomw>

# Forschen ohne Grenzen

Als Teil der globalen Atmosphärenforschung ist die Empa weltweit vernetzt. Alle beteiligten Forscher haben Zugriff auf das gesamte Datenmaterial, das auf Beobachtungsstationen rund um den Globus gesammelt wird.



Jungfraujoch

King Sejong

## ● AGAGE-Stationen *Advanced Global Atmospheric Gases Experiment*

Die ALE/GAGE/AGAGE-Stationen sind überall auf der Welt an Küsten oder Bergen gelegen und liefern in erster Linie Messungen von Spurengasen, deren Verweildauer in der Atmosphäre als überdurchschnittlich lang erachtet wird.

## ● GAW-Stationen *Global Atmospheric Watch*

Das Programm und ihre teilnehmenden Netzwerke und Organisationen liefern Forschungsdaten und Informationen zu den chemischen Kompositionen in der Atmosphäre und ihrer natürlichen und anthropogenen Veränderungen und helfen dabei, das Verständnis über die Interaktion zwischen Atmosphäre, den Ozeanen und der Biosphäre zu verbessern.

# Die Betonheizung

In Seelisberg im Kanton Uri findet zurzeit ein einzigartiges Experiment statt: Ein Luzerner Bauphysiker lässt in die Garage seines Ferienhauses von Empa-Forschern sechs Kubikmeter Spezialbeton einbauen. Der Beton speichert im Sommer Wärme und gibt sie im Winter nach Bedarf ab. Damit kann das Einfamilienhaus einige Wochen lang beheizt werden – nachhaltig und ökologisch.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa



Das Ferienhaus des Bauphysikers Mark Zumoberhaus liegt unweit der Rütliwiese am Vierwaldstättersee. Der Bau-Experte bezeichnet sein Häuschen als «Experimentierhütte». Nun hat er einen massgeschneiderten Prototyp im Keller: den ersten Beton-Wärmespeicher der Welt. Bild unten, links: Josef Kaufmann, der den Speicher entwickelte und konstruierte.

Wir haben in der Schweiz genügend Energie, um warm über den Winter zu kommen», sagt Mark Zumoberhaus, Bauphysiker und Besitzer eines Holzverschalteten Einfamilienhauses in Seelisberg im Kanton Uri. In seiner Garage bereitet er zusammen mit Empa-Forscher Josef Kaufmann und dessen Team ein spannendes Praxis-Experiment vor. Denn Zumoberhaus ist überzeugt: Es sollte auch in einem 850 Meter über Meer gelegenen Dorf möglich sein, das ganze Jahr über ohne Heizöl oder Erdgas zum Heizen auszukommen. Seine Wärmequelle ist stattdessen die Sonne. Doch wie lässt sich genügend Sommerwärme bis zum Winter konservieren?

Sein Haus hat Zumoberhaus 2007 mit einer zeitgemässen, jedoch nicht speziell dicken Wärmedämmung ausgestattet. Herzstück ist ein neun Kubikmeter grosser Wasserspeicher, der Wärme im grossen Massstab speichern kann. Der Speicher ist an die Solar Kollektor-Anlage neben dem Haus und einen Holzcheminéeofen angeschlossen. Dadurch wird das Wasser im Sommer auf 85 Grad Celsius erwärmt. Es sorgt dafür, dass der Boiler Warmwasser liefert und im Winter die Bodenheizung läuft. In den Wohnräumen im zweiten Stock herrschen angenehme 20 Grad, für die Schlafzimmer in der ersten Etage reichen 16 Grad.

Die gespeicherte Energie reicht allerdings in der Regel nur bis Weihnachten. Und erst ab Februar ist die Ausbeute aus der Solaranlage wieder gross genug, um Boiler und Wohnräume zu heizen. «Bis Mitte Februar muss ich jedes Mal das Cheminée einfeuern, wenn ich ins Haus komme», erläutert er. Die Temperaturen sinken im Wohnraum auf etwa 15 Grad. Notfalls könnte er Nachtstrom zuschalten, erklärt er. Darauf würde er gern verzichten. Aber wie?

## Reizvolle Lösungen für Energieprobleme

«Das ist meine Experimentierhütte», sagt Zumoberhaus, der beruflich Architekten in Fragen der Bauphysik berät. Meist werden bewährte Lösungen gewünscht. Um Energie zu sparen, so seien sich die meisten Bauphysiker hierzulande einig, müsse die Wärmedämmung der Gebäudehülle möglichst dick sein. Doch Zumoberhaus setzt in seinem privaten Umfeld auf lieber auf neue, noch unerprobte Lösungen.

So besitzt sein Haus – wie viele Häuser der Gegend – eine Holzfassade. Doch hat er bei der horizontalen Holzschalung aus Weisstanne auf den üblichen konstruktiven Witterungsschutz – das heisst Vordach und Überstände – verzichtet. Stattdessen sorgt ein gutes Hinterlüftungssystem dafür, dass eingedrungene Feuchtigkeit wieder austrocknet. Die Holzfassade ist Wasser und Wind gleichmässig ausgesetzt und verwittert, ohne Flecken zu bilden.

Ein weiteres Experiment war die unbelüftete Blechdachkonstruktion mit einer variablen Dampfbremse. Diese damals neuartige Folie verhindert im Winter dank erhöhtem Diffusionswiderstand, dass zu viel Feuchtigkeit in die Dachkonstruktion eindringt und



Finish eines Speichermoduls nach dem Giessen.



Video  
Wunderbeton als Wärmespeicher (SRF)

<http://goo.gl/6kAHZX>



Die Module des Betonspeichers werden an der Empa in Spezialformen gegossen und härten aus. Der Speicher selbst besteht aus 24 solchen Modulen, die per Gabelstapler angeliefert werden. Jeder Quader wiegt rund 400 kg und ist von Kupferleitungen durchzogen. Die Quader werden in ein isoliertes, wasserdichtes Metallgehäuse gestellt. Den Anschluss an die Hausheizung erledigt der örtliche Installateur.

Fäulnis verursacht. Im Sommer wird die im Holz gespeicherte Feuchtigkeit dank der variablen Bremse via Umkehrdiffusion in die Wohnräume «zurückgedrängt»: Die Holzkonstruktion trocknet so wieder ganz aus. Zumoberhaus hatte von der von Hartwig Künzel vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten Folie und der dazugehörigen Analyse-Software gehört, die hervorragende Resultate verspricht. «Es reizte mich herauszufinden, ob sich das in der Praxis bewährt», so Zumoberhaus. Er besorgte sich darum nicht nur die Folie, sondern installierte auch Sensoren und eine Wetterstation, um die Praxisresultate mit den theoretischen Berechnungen zu vergleichen. Seine Resultate, die die Theorie des Fraunhofer-Instituts untermauerten, führten zu einer langjährigen Zusammenarbeit mit Holzbauphysik-Forschern in Deutschland und Österreich.

### Betonwärmespeicher im Modulsystem

Auch die Idee mit dem Betonwärmespeicher der Empa begeisterte ihn, als er 2012 in den Medien darüber las. Die Forscher der Empa-Abteilung «Beton/Bauchemie» berichteten, dass sich Betonbauteile, die mit Calcium-Sulfoaluminat-Zement (CSA) hergestellt werden, hervorragend als saisonale Wärmespeicher eignen könnten. Werden die Blöcke im Sommer via Heizschlangen etwa mit Hilfe von Sonnenkollektoren auf 80 Grad erwärmt, gibt das im CSA-Zement enthaltene Mineral Ettringit Wasserdampf ab. Übrig bleibt dehydrierter Beton, in dem die Wärme praktisch verlustfrei «gespeichert» ist. Im Winter läuft der Prozess umgekehrt: Wasser wird in den trockenen Beton geleitet, vom Ettringit aufgenommen – und schon wird Wärme frei, die über die Heizschlangen abgeleitet und genutzt werden kann.

Könnte das die Lösung sein, um die Lücke zwischen Weihnachten und Februar zu schliessen? Nach einem Gespräch mit den Empa-Forschern war Zumoberhaus sicher: Mit diesen Leuten konnte er das Projekt wagen. «Andere Männer in meinem Alter stellen sich ein Cabrio in die Garage», lacht Zumoberhaus. Er habe sich dafür entschieden, in seiner Garage einen sechs Kubikmeter grossen Betonblock aufzustellen.

Die Empa-Wissenschaftler Josef Kaufmann und Frank Winnefeld freuen sich darüber: «Die Zusammenarbeit ist eine einmalige Chance für uns, ein System, das sich im Labor bewährt hat, praxistauglich weiterzuentwickeln.» Unterstützung erfuhren sie dabei vom Bundesamt für Energie (BFE) und der School of Engineering der ZHAW.

In diesem Frühling schliesslich fuhr das Empa-Team mit dem Schwertransporter und 24 an der Empa gegossenen Betonquadern vor und baute den Blöcke an der Rückwand der Garage ein. Erste Trocknungsversuche des Betonspeichers verliefen positiv, auch wenn er noch nicht auf die vorgesehenen 80 °C aufgeheizt wurde. Zumoberhaus ist von den Vorteilen des Energiespeichers überzeugt: Abgesehen von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Transport und Herstellung ist er ökologisch unbedenklich. Und preiswert: Eine Tonne CSA-Beton kostet weit weniger als 400 Franken.

Ist der Betonspeicher in dieser Form nun eine alltagstaugliche Lösung für Hausbesitzer? «Nein», betont Zumoberhaus. Das sei aber gar nicht sein Anspruch. «Für mich ist es einfach ein weiteres Experiment, zu dem ich mich entschlossen habe.» Wenn es nicht klappt, kann er den Wärmespeicher nach der dreijährigen Testphase ausbauen, denn der Betonspeicher ist modular aufgebaut. «Bestimmt aber stellen sich Erkenntnisse ein, die der Forschung zu Energiespeichern und damit der Lösung unserer Energieprobleme dienlich sind», ist Zumoberhaus überzeugt. Es erstaunt deshalb nicht, dass die beiden Empa-Forscher Kaufmann und Winnefeld mit Zumoberhaus bereits über einer praxistauglicheren Lösung brüten. //

Labor-Prototyp des Beton-Wärmespeichers im Jahr 2011.



## Wärme speichern im Kristall: So gehts

«Der Wärmespeicher entstand eigentlich aus reiner Neugier», sagt Josef Kaufmann, einer der beiden Erfinder. Bei einer Recherche war er auf die interessanten Eigenschaften des Minerals Ettringit gestossen, dessen Entwässerung sehr viel Wärme bindet. Dies müsste sich doch zur saisonalen Speicherung von Wärme nutzen lassen, dachte er sich. Zur gleichen Zeit forschte sein Kollege Frank Winnefeld an einem KTI-Projekt, aus dem ein besonders schnell härtender Mörtel hervorgehen sollte. Unter den untersuchten Zementen war ein chinesischer CSA-Zement (Kalzi-sulfoaluminat-Zement), der in Europa noch Exotenstatus hat. Dieser Zement bildet beim Abbinden (Hydratation) sehr hohe Anteile an Ettringit. Also eine nahezu perfekte Beton-Mischung für einen Wärmespeicher. Ettringit, ein Mineral mit der Summenformel  $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{ CaSO}_4 \cdot 32 \text{ H}_2\text{O}$ , bindet in seiner Kristallstruktur 32 Moleküle Wasser. Über 80 Grad Celsius gibt der Kristall jedoch den grössten Teil des Wassers wieder ab, und aus Ettringit wird so genannter Meta-Ettringit – die «trockene» Form des Minerals. Dabei bleibt das Material grösstenteils formstabil und kann unter Ausschluss von Feuchtigkeit unbegrenzt gelagert werden. Gibt man Wasser hinzu, verwandelt sich Meta-Ettringit zurück in Ettringit; dabei wird Wärme frei, etwa 600 Kilojoule pro Kilogramm.

### Vom Labortisch in die Garage

Als erstes entwickelte Frank Winnefeld mit Hilfe von Phasendiagrammen einen Spezialbeton aus CSA-Zement, Portland-Zement und Gips, der einen maximalen Anteil Ettringit enthält. Dann gossen die beiden Forscher kleine Probezylinder, trockneten sie, befeuchteten sie wieder und analysierten die abgegebene Wärmemenge im Kalorimeter.

Nach vielversprechenden Ergebnissen folgte 2011 der erste Labor-Prototyp: ein kleiner Betonblock von 18 x 40 x 50 cm Grösse. Er hatte bereits Bohrlöcher zum schnelleren Durchnässen und eingebaute Kupferrohre, um den Block von innen her auszuheizen. Die Versuche überzeugten: Giesst man bei Zimmertemperatur Wasser über den Block, dann erwärmt er sich innerhalb einer Stunde auf 80 Grad Celsius. Der Praxisbeweis war erbracht, das Verfahren wurde zum Patent angemeldet. Im Januar 2012 berichtete die «EmpaNews» über das Projekt, Schweizer Fachzeitungen, Internetportale und Tageszeitungen folgten.

«Wir waren sehr erfreut, als sich Mark Zumoberhaus meldete und sich einen Wärmespeicher-Prototyp für sein Haus in Seelisberg wünschte», sagt Empa-Forscher Kaufmann. «Damit bekamen wir die einmalige Chance, einen derartigen Speicher im Massstab 1:1 zu demonstrieren.» Kaufmann entwarf mit seinen Mitarbeitern den modularen Aufbau des Prototyps: 24 einzelne Betonelemente, versehen mit Bohrungen und Wasserlaufnischen, um den Beton mit Wasser benetzen, und mit Aussparungen für Gabelstapler, um den Speicher ein- und ausbauen zu können. In jeden Block sind Kupferleitungen einbetoniert, die miteinander verbunden werden und durch die im Sommer solar erhitztes Wasser läuft, um den Beton zu trocknen. Im Winter läuft kaltes Wasser durch und befördert die vom Ettringit erzeugte Hydrationsenergie ins Ferienhaus.

Manches ist noch nicht abzuschätzen: Durch die Umwandlung von Ettringit in Meta-Ettringit und wieder zurück können Risse im Betonspeicher entstehen. Erhöhen sie die Speicherleistung, oder bewirken sie das Gegenteil? Entspricht die abgegebene Wärmemenge in der Praxis den Werten aus dem Labor? An welchen Stellen liesse sich die Konstruktion noch optimieren? Im Mai und Juni 2015 floss bereits Solarwärme in den Betonspeicher. Nächstes Jahr wissen wir mehr.

# Verhaltensforscher für Moleküle

«Distinguished Senior Researcher» – so lautet der Titel, den die Empa kürzlich Karl-Heinz Ernst verliehen hat. Seine Karriere verlief über viele Umwege, bis er schliesslich an der Empa landete. Und auch sein Forschungsgebiet hat viel mit Richtungswechseln zu tun. Seit mehr als zwanzig Jahren erforscht er die Chiralität von Molekülen.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Gian Vaitl, privat

Verhaltensforscher für Moleküle – so könnte man Karl-Heinz Ernst trefflich umschreiben. Die Frage, wie Moleküle auf externe Einflüsse reagieren und warum sie sich genau so und nicht anders verhalten, treibt den Chemiker seit den Anfängen seiner beruflichen Karriere um. Er erforscht links- und rechtshändige, so genannte chirale Moleküle und ihr Verhalten auf unterschiedlichen Oberflächen. Zahlreiche chemisch identische Verbindungen, etwa Proteine oder Zuckermoleküle, können nämlich in zwei unterschiedlichen Konfigurationen vorliegen; das heisst, ihre Moleküle unterscheiden sich lediglich in der räumlichen Anordnung ihrer Atome voneinander und verhalten sich zueinander wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbild. Man spricht von Enantiomeren (Spiegelbildisomere), die sich in ihren Eigenschaften zum Teil deutlich voneinander unterscheiden.

Ein besonders drastisches Beispiel hierfür ist das Beruhigungsmittel Contergan, das in den 1960er-Jahren häufig verschrieben wurde. Während die rechtshändige Form des Wirkstoffs Thalidomid für guten Schlaf sorgte, führte das linkshändige Molekül bei Schwangeren zu schweren Missbildungen der Föten. Da bei der chemischen Synthese derartiger Substanzen meist beide Enantiomere gemeinsam entstehen, lässt sich das Problem nur dadurch lösen, dass man die eine Form von der anderen mehr oder weniger mühsam abtrennt. Das wird häufig durch Kristallisation erreicht, bei der nur eines der beiden Enantiomere ausgefällt wird. Ein Prozess, der – obwohl schon seit mehr als 100 Jahren gebräuchlich – auf molekularer Ebene noch immer nicht verstanden ist und meist nur durch schlichtes Ausprobieren zum Erfolg führt. Wie sich chirale Moleküle untereinander erkennen und miteinander wechselwirken, erforscht Karl-Heinz Ernst mit seinem Team seit bald 20 Jahren.



### Eins nach dem anderen

Wenig sprach zunächst für eine erfolgreiche akademische Laufbahn; mit 15 Jahren hatte Ernst bereits genug von der Schule und entschied sich für eine Ausbildung zum chemisch-technischen Assistenten. «Ich mochte die Schule nie. Ausser Chemie», so Ernst. Danach machte er dann doch noch die Fachhochschulreife nach und studierte schliesslich Chemie-Ingenieur an der Technischen Fachhochschule Berlin. Sein Plan war es, irgendwann einen guten Job in der Industrie zu ergattern. Doch auch den schmiss er schnell wieder über den Haufen; ein Ferienjob beim Reifenhersteller Continental bescherte ihm sein persönliches «Heureka»-Erlebnis. «Dort fiel mir auf, dass ein Ingenieur immer von einem promovierten Chemiker gesagt bekommt, was er zu tun hat. Da war mir klar, ich muss weitermachen.» Will heissen: ein Chemie-Studium an der Freien Universität (FU) Berlin und schliesslich 1990 seine Dissertation zum Thema der Wasserstoffadsorption auf Metalleinkristalloberflächen, ebenfalls an der FU Berlin und bei der Berliner Elektromotoren-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung m. b. H. (BESSY).

Derart gewappnet, wollte sich Ernst nun – endlich – wieder seinem ursprünglichen Plan zuwenden und in der chemischen Industrie anheuern. Abermals wurde nichts daraus, allerdings weniger wegen ehrgeiziger Pläne als vielmehr wegen der allgemeinen Wirtschaftslage. Die Krise in den 1990er-Jahren verhinderte seinen Einstieg in die Industrie – und so kam es, dass er in der FAZ auf ein Job-Inserat der Empa stiess. Ernst: «Die Analysemethoden ESCA und Auger, die im Inserat explizit erwähnt wurden, sind Oberflächenmethoden, die nur Insider verstehen. Das hat mich gereizt.»

### Langeweile als Ansporn

Mit diesen Analysemethoden beschäftigte er sich dann auch an der Empa, nachdem er sich gegen 130 Bewerber durchgesetzt und die Stelle ergattert hatte. «Ich war am Aufbau der damaligen Forschungsabteilung «Oberflächen und Fügetechnik» beteiligt», erzählt Ernst. «Wir haben nach Fehlern gesucht.» Wenn irgendwo ein Metall zu Bruch ging – sei es bei Flugzeugabstürzen oder Seilbahnunglücken – war es deren Aufgabe, die Ursache zu finden und die Materialoberflächen an den Bruchstellen genauestens zu analysieren. «Die Aufträge hierfür kamen meist aus der Industrie, wir waren primär im Hintergrund tätig als Dienstleister.» Dabei gab es durchaus spektakuläre Fälle zum Untersuchen, etwa den Absturz eines Jumbojets in ein Wohnhaus in Amsterdam, den Ernst mit seinen hochempfindlichen Analysemethoden aufzuklären half.

Dennoch auf die Dauer deutlich zu wenig Herausforderung für den neuen Empa-Mitarbeiter, Ernst war schlicht langweilig. Seine Ambitionen gingen weit über die reine Fehlersuche hinaus, ihn faszinierte nach wie vor die Grundlagenforschung. Zum Beispiel das Verhalten bestimmter Moleküle auf unterschiedliche äussere Einflüsse und auf verschiedenen Oberflächen, das ihn bereits während seiner Diplomarbeit umtrieb. Insbesondere warum sich enantiomere Moleküle auf der einen Oberfläche lieber mit ihrgleichen versammeln oder aber sich auf einer anderen Oberfläche die links- und rechtshändigen Isomere lieber mischen. «Es sind Antworten auf solche Detailfragen, die wir suchen. Kleine Puzzleteile, die aber irgendwann vielleicht einmal elementares neues Wissen hervorbringen.»

Das Interesse für diese Grundlagen führte dazu, dass er blitzschnell auf einen Hinweis seines damaligen Vorgesetzten Roland Hauert reagierte. Man könne auch eigene Forschungsanträge einrei-

chen, habe Hauert einmal beiläufig zu Ernst gesagt – und damit den Startschuss für dessen weitere Karriere gegeben. Ernst reichte beim Schweizerischen Nationalfonds (SNF) ein Projekt ein mit dem Ziel, chirale Moleküle mit einer schraubenförmigen Struktur auf eine Oberfläche aufzubringen und anschliessend Metall aufzudampfen, das die spezifische Struktur der Moleküle hätte übernehmen sollen. Mit seiner Projektidee rannte er beim Managementkomitee des damaligen «Nationalen Forschungsprogramms 36 Nanowissenschaften» offene Türen ein, und obwohl er hierzulande ein Nobody war, wurde sein Antrag bewilligt und kräftig gefördert. Ernst versuchte, Kupfer und Palladium auf die Molekülstruktur aufzudampfen, doch es funktionierte nicht wie erwartet. Das Aufdampfen des Metalls bei ca. 100K (–173 °C) zerstörte die Struktur. Dennoch brachte ihn das Projekt weiter. «Damals war das zu einfach gedacht», bestätigt er. «Aber auf dem Weg zu diesem neuen Material, das wir damals bauen wollten, haben wir andere interessante Effekte gesehen und haben unsere Forschung dort weitergeführt.» Womöglich war Ernst seiner Zeit einfach ein wenig voraus. «Heute gibt es schonendere Methoden. Vielleicht versuche ich das demnächst mal wieder», sagt Ernst und lächelt vielsagend.

### Ein Aufwand, der sich lohnte

Nach Lächeln war ihm in seiner Anfangszeit an der Empa allerdings nicht immer zumute. «Anfang der 1990er-Jahre war «Forschung» bereits im Namen der Empa vorhanden, aber noch nicht in den Labors und in den Köpfen der Leute angekommen.» Er musste hart um jedes Instrument und jedes Projekt kämpfen, und erst als die Direktion wechselte und sich die Empa unter der Leitung von Louis Schlapbach voll auf Forschung fokussierte, ging es für Ernst bergauf. «Gebt diesem Mann ein Labor», habe es geheissen, und von einem Tag auf den anderen kam die Sache ins Rollen. Die Forschungsabteilung «Nanoscale Materials Science» wurde ins Leben gerufen, und Karl-Heinz Ernst wechselte in die neue Abteilung. Rasch folgten Publikationen in guten Forschungsmagazinen.

Unter anderem gelang es seinem Team, Moleküle im Rastertunnelmikroskop (STM für engl. «scanning tunnelling microscope») mit einem Elektronenstrahl hochpräzise in Schwingung zu versetzen. So lassen sich einzelne Atome und Moleküle manipulieren. Die Moleküle beginnen zu hüpfen, drehen sich oder wechseln sogar in die gegensätzliche Spiegelbildkonfiguration. Mit Hilfe des STM konnten Ernst und Co. dieses Verhalten bildlich nachweisen, was in der Forschungswelt für grosses Auf- und Ansehen sorgte. Ein Beispiel dafür war ein Molekül-Auto. Das Team brachte die Räder des Fahrzeugs

gezielt in Rotation. Da sich diese bei Stimulation nur in eine Richtung drehen, war es möglich, dieses Molekül über eine Oberfläche «fahren» zu lassen. Über diese Arbeit wurde 2011 weltweit in den Medien berichtet. Die chinesische Akademie der Wissenschaften zählte sie zu den zehn wichtigsten Entdeckungen des Jahres.

Nun wollen die Forschenden nachhaken. Zurzeit untersuchen sie Motormoleküle – Ernst nennt sie liebevoll «Watschelenten» – und versuchen herauszufinden, warum diese Moleküle immer nur in eine Richtung wandern und nicht in die andere. «Das ist sehr fundamentale Forschung. Die Verhaltens- und Funktionsweisen von Molekülen sind nicht ganz einfach zu verstehen, und dazu wollen wir gern etwas beitragen. Man muss einfach auch mal verrückte Sachen machen. Und das machen wir. Wir lassen Moleküle hüpfen.»

Diese Neuausrichtung der Empa brachte nicht nur Ernst grosse Vorteile. Auch der Empa kam dieser Schritt zugute. «Früher kannte im Ausland niemand die Empa. Heute ernte ich oft anerkennende Blicke», sagt Ernst, der aufgrund seiner Erfolge Anfang Februar von der Direktion der Empa zum «Distinguished Senior Researcher» ernannt wurde.

### Freiraum und Abstand

Nur «verrückte» Sachen sind indes nicht immer möglich. Bei der Betreuung und Ausbildung von Nachwuchsforschern gilt es Richtlinien einzuhalten. Die strikten Vorgaben der Universitäten würde den Jungforschern in seinem Team wenig Freiraum zubilligen, klagt Ernst. Projektpläne, Milestones, Vorhersagbarkeit seien gefragt; schliesslich soll nach

drei Jahren die Dissertation abgeschlossen sein. Überraschende Entdeckungen seien so kaum mehr möglich, so Ernst. Dafür brauche es Freiraum und Abstand. Er habe sich regelmässig eine Auszeit genommen, um Dinge zu tun, die vom Alltäglichen abweichen. «Abkoppeln» ist für ihn das Schlagwort. Sich aus bestehenden Prozessen herausnehmen, um so auch mal eine neue Perspektive zu bekommen oder eine neue Idee zu generieren. Aber diese Freiheit müsse man sich erkämpfen. «Es kommt niemand zu dir und sagt: Geh doch mal ein paar Monate weg und mach dir Gedanken.»

Seit 2010 ist Ernst zudem Professor für Chemie an der Universität Zürich. «Auszeiten zu nehmen, wird dadurch nicht einfacher», sagt Ernst. Zu seiner Professur kam er wie die Jungfrau zum Kinde: Beworben hatte er sich nicht, die Position wurde ihm von Michael Hengartner, dem jetzigen Präsidenten der Universität Zürich, in Aussicht gestellt. «Ich war mit 47 Jahren eigentlich schon zu alt dafür und dachte nur: Jetzt noch?» Üblich sei eine Habilitation mit Anfang 30. Trotzdem nahm er seine «Spätberufung» an und betrachtet seinen Karriereweg inzwischen selbst als eine Art Experiment: «Vieles muss man eben einfach einmal ausprobieren», sagt er lapidar. Genauso offen geht er bei seiner Forschung vor: in kleinen Schritten zum Erfolg. Aber da spielt es – im Gegensatz zu seinen Molekülen – keine Rolle, ob nun nach links, nach rechts oder geradeaus. Denn auch Umwege führen in der Forschung häufig zum Ziel. //



**EMPA**  
DUBENDORF

Für unser junges Team im expandierenden Bereich **Gründflächenanalytik / Oberflächenanalytik** suchen wir einen innovativen, teamfähigen Wissenschaftler

**PHYSIKER(IN) / CHEMIKER(IN)**

mit Promotion im Fachgebiet Oberflächenanalytik mit Kenntnissen in Adhäsion, Hartstoffbeschichtung, Oberflächenchemie.

Sie werden vor allem Forschungsarbeiten aus den Gebieten **Modifikation von amorphen Polymeren** im Zusammenhang mit Fremdaufträgen bearbeiten. Dazu werden Sie hauptsächlich unsere modernen **Auger-** und **ESCA-Anlagen** einsetzen, welche Analysen im Atomleistungsbereich ermöglichen, die Schichten selbst in der direkt mit der Analytik verbundenen UHV-Präparationskammer herstellen und bezüglich ihres Einsatzzweckes modifizieren.

Als interdisziplinär arbeitende Wissenschaftler/in mit Kenntnissen und Erfahrung in einer der obigen Fachrichtungen (als Bedingung), der/die über EDV- und Englischkenntnisse verfügt, finden Sie bei uns ein facettenreiches Tätigkeitsgebiet. Für Fachauskünfte steht Ihnen Herr Dr. M. Roth und Herr Dr. R. Hauert zur Verfügung; Ihre Bewerbung richten Sie bitte an den Personaldienst.

**EMPA**  
DUBENDORF

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Berlindstr. 129, 8600 Dubendorf, Tel. 01 823 55 11

# So schneiden Schreiner schneller

Küchenmesser aus Keramik sind weit verbreitet. Was in Schweizer Küchen zum Standard gehört, könnte bald auch der Industrie zum Vorteil gereichen. Forschende der Empa haben ein Keramikmesser für den industriellen Holzzuschnitt entwickelt, das leichter ist als die bisherigen Schneidwerkzeuge aus Hartmetall. Vor kurzem bestand das neue Messer die Feuertaufe in einer Schreinerei in Embrach.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

Die Fräsmaschine setzt an, frisst sich durch das Holz und formt aus dem etwas dickeren Brett ein gebrauchsfertiges, sauber zugeschnittenes Profil für Fenster- und Türrahmen. So wie in der Schreinerei in Embrach werden überall auf der Welt Hölzer in Form gebracht. Herkömmliche Maschinen arbeiten mit Messern aus Wolframcarbid, ein vor rund 80 Jahren entwickeltes Hartmetall, dessen Basismaterial Wolfram vor allem aus der Volksrepublik China stammt. Versorgungsengpässe des mittlerweile als kritisch eingestuften Materials (siehe Box) bedrohen daher auch Schweizer KMU.

In weiser Voraussicht hat die Empa mit der Firma Oertli Werkzeuge AG bereits vor Jahren begonnen, Keramikmaterialien für die superscharfen Holzschneider zu entwickeln. Die in einem ersten Schritt entwickelten und auf Aluminiumoxid basierenden Keramikkomposite sind extrem hart; allerdings weisen sie für die Holzbearbeitung einen entscheidenden Schwachpunkt auf: Keramik ist kein guter Wärme(ab)leiter. Ohne Kühlung käme es also am Messer zu einem Hitzestau, der auf dem Holz unschöne Brandspuren verursachen würde. Kein Wunder, beim Schneidprozess entstehen Temperaturen von bis zu 800 Grad. Doch auch hierfür wurde eine Lösung gefunden: Eine hauchdünne Beschichtung verringert die Reibung und leitet die Wärme besser ab.

## In mehreren Projektschritten zum Ziel

Im vergangenen März startete die Oertli Werkzeuge AG mit dem Team um Empa-Forscher Jakob Kübler erste einsatzrelevante Schneidversuche mit den neuen Messern. Dabei wurden verschiedene Modelle vor allem auf ihre Dauerhaftigkeit hin untersucht. Dasjenige Schneidmesser, welches buchstäblich am besten abschneidet, soll dann in Massenproduktion gehen. Zu Beginn des Projektes habe die Kostenfrage im Vordergrund gestanden, sagt Jakob Kübler von der Empa-Abteilung «Hochleistungskeramik»: «Das zunächst entwickelte Messer war zwar bis zu fünf Mal leistungsstärker als herkömmliche Messer, für die Massenproduktion aber schlichtweg zu teuer.» Also wurde das Projektziel darauf ausgerichtet, nicht nur ein innovatives Produkt zu entwickeln, sondern auch zu einem marktfähigen Preis. Resultat der nun abgeschlossenen Praxistests: Die neuen Keramikmesser schneiden genauso gut wie Modelle aus Hartmetall, sind aber um einiges leichter und lassen daher ihre Vorgänger in Sachen Geschwindigkeit deutlich hinter sich. Anstelle von 75 bis 95 Meter pro Sekunde können die leichteren Keramikmesser mit einer Geschwindigkeit von 120 bis 150 Meter pro Sekunde durchs Holz fräsen. Ausserdem können sie preislich durchaus mit Hartmetallmessern mithalten.

## So entsteht aus Forschung Innovation

«Für uns sind Schneidwerkzeuge klar ein wirtschaftlicher Faktor», bestätigt Bruno Ehrle, Bereichsleiter Technologie der Oertli Werkzeuge AG. «Wir konnten bei diesem Projekt auf das vielfältige Know-how der Empa vertrauen und somit in guter Zusammenarbeit eine marktfähige Innovation lancieren.» Das sieht Projektleiter Kübler genauso. «Unser Ziel haben wir nun erreicht.» Nun liegt das Zepter bei der Oertli Werkzeuge AG, die den kommerziellen Teil übernimmt und auf eine Markteinführung hinarbeitet. Auch die Förderung des Projektes durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) trug zum Erfolg bei. Das Projekt zeigt eindrücklich, wie sich marktfähige Innovationen durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie effizient umsetzen lassen. «Es war für uns eine grosse Herausforderung, nicht nur neue Materialien und Kombinationen zu entwickeln, sondern auch die Produktionskosten im Auge zu behalten», sagt Empa-Forscher Kübler. Und gerade das ist bitter nötig. Denn der Preis für Wolfram ist in den letzten Jahren massiv gestiegen. Viele kleine Produktionsfirmen sind unter diesen Umständen nicht mehr konkurrenzfähig. Daher ist es umso wichtiger, Schweizer KMU mit marktfähigen Innovationen und Alternativen international wettbewerbsfähig zu halten. //

Testlauf der neu entwickelten Keramik-Klingen auf der Fräsmaschine einer Schreinerei in Embrach ZH. Unten rechts: Bruno Ehrle, Projektverantwortlicher bei der Oertli Werkzeuge AG, prüft mit einem Mitarbeiter die Standfestigkeit der neuen Klingen. Mit Hilfe der an der Empa entwickelten Schneidtechnik kann Holz um ein Drittel rascher bearbeitet werden als mit herkömmlichen Hartmetall-Klingen.



## Webtool klärt Versorgungsrisiken bei KMU

Zahlreiche metallische Elemente gelten als «kritisch» – es besteht ein hohes Risiko für Versorgungsengpässe. Betroffen davon sind auch Schweizer KMU, denen häufig nicht klar ist, von welchen Materialien sie abhängig sind. Ersatz zu finden, ist oft schwer, weil Faktoren wie Produktperformance und -qualität, Kosten und Energieaufwand berücksichtigt werden müssen. Damit Unternehmen überhaupt handeln können, müssen sie erst einmal wissen, welche kritischen Rohstoffe sie in ihren Prozessen und Produkten verwenden. Ein von Ernst Basler + Partner und Empa-Forschern gemeinsam entwickeltes Webtool wird solche Informationen zur Verfügung stellen. So lassen sich die Versorgungsrisiken für mehr als 30 Metalle, ökologische und soziale Auswirkungen sowie die Anfälligkeit des Unternehmens gegenüber Versorgungsunterbrüchen abschätzen. Das Webtool «Metal Risk Check light» soll bald auf der Website des Verbandes Swissmem erscheinen.



Video  
Ceramic-composites as wood cutting tips

<https://youtu.be/1GKeL8vzXA>

## Hightech aus nanofibrillierter Zellulose

Bei einem Besuch des Fasertechnologielabors der Firma Wicor Weidmann in Rapperswil am 12. Juni zeigt sich Bundesrat Johann Schneider-Ammann beeindruckt vom mikrofibrillierter Zellulose als umweltfreundlichem Hightech-Baustoff. Empa-Forscherin Tanja Zimmermann erläutert die Wirkungsweise eines Öl absorbierenden Zelloschwamms.



Gedacht ist etwa an schwimmfähige NFC-Saugkörper, die bis zum 50-fachen ihres Eigengewichts an Öl aufnehmen, dabei aber völlig wasserabweisend sind. Diese Empa-Entwicklung könnte in Zukunft bei Ölunfällen unschätzbare Dienste leisten und helfen, Umweltkatastrophen einzudämmen. Bei der Anpassung der Produktionsmethode vom Labor- auf den Industriemassstab war die Empa massgeblich beteiligt. Weidmann Fiber Technology gehört zur Wicor-Gruppe mit weltweit 2900 Mitarbeitenden und Hauptsitz in Rapperswil. Die Firmengruppe stellt Bauteile für Transformatoren und die Autoindustrie her. In einem von der KTI geförderten Entwicklungsprojekt soll nun mikrofibrillierte Zellulose (MFC) im Industriemassstab produziert werden. Das umweltfreundliche und rezyklierbare Material soll in den kommenden Jahren in neuen Produkten für die Papier- und Kartonindustrie, im Automobilbau, im Bauwesen, der Kosmetik, dem Filterbau und für spezielle Umweltprodukte eingesetzt werden.



Video  
«Mikrozellulose-Schwämme gegen  
ausgelaufenes Öl»

<https://youtu.be/TKPZgAfZ7Y>

## Auszeichnung für Empa-Textilforscher



Der an der Empa entwickelte Brustgurt für die Langzeitüberwachung von Herz-/Kreislauf-Patienten gewann den Tectextil Innovation Award 2015. Der Preis wurde am 4. Mai auf der «Tectextil» in Frankfurt am Main verliehen. Im Bild das Empa-Forscherteam Michel Schmid, Alexander Haag, René Rossi und Rudolf Hufenus (v.l.n.r.).

Die flexiblen Befeuchtungselemente im EKG-Messgurt lassen sich mit rund 30 Milliliter Wasser befüllen und sorgen dafür, dass die Haut permanent feucht bleibt, damit die metallisierten Sensoren die Körpersignale optimal registrieren und stabil übertragen können. Das Wasser-Reservoir besteht aus einer wasserdichten Membrane und einer dampfdurchlässigen Textilschicht, die mit einer an der Empa perfektionierten Methode mittels Laser verschweisst werden. Die neuen Elektroden lösen ein lange bekanntes Problem bei Langzeit-EKG: Bisher verwendete Gel-Elektroden trocknen nach einem Tag aus und geben keine geeigneten Signale mehr ab. Besonders bei älteren Menschen, die sich wenig bewegen und wenig schwitzen war es bisher schwer, Langzeit-EKGs zu messen. Das Projekt wurde von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) unterstützt. In über 100 Experimenten wurde der Prototyp des EKG-Gurts bereits erfolgreich getestet. Als Nächstes stehen klinische Tests am Universitätsspital Basel auf dem Programm.

# Empa-Vorsitz bei US-Materialforscherkonferenz

Vom 6. bis 10. April 2015 trafen sich 5500 Materialforscher beim Frühjahrestreffen der Materials Research Society (MRS) in San Francisco. Den Vorsitz des weltweit grössten Fachtreffens teilen sich jedes Jahr fünf Meeting Chairs. Dieses Jahr gehörte Empa-Forscher Artur Braun von der Abteilung Hochleistungskeramik zum Organisationskomitee.

schwendung. Aber ich habe mehrere MRS-Symposien organisiert, nachdem der frühere Empa-Direktor Louis Schlapbach uns ermuntert hatte. Ich erinnere mich sehr gut an seinen jährlichen Abteilungsbesuch bei uns in der «Keramik» 2008, wo er uns ins Stammbuch schrieb: «Als Materialforscher müssen Sie Symposien organisieren, und zwar bei der MRS.»

**Wir haben 2009 berichtet, «The Power of the Sun».**

Genau. Damals lernte ich gerade, wie man mit der Sonne Chemie machen kann. Und zwar für sauberes Trinkwasser und für saubere Energie. Ich hielt also – mit Unterstützung der Empa – ein Symposium zu Fotokatalyse und Fotoelektrochemie. Dann hatte ich mich dran gewöhnt und jedes Jahr weitere MRS-Symposien zu allen möglichen Themen, auf denen ich arbeite, organisiert. Das sprach sich wohl herum. Vor zwei Jahren fragte mich die MRS-Präsidentin von der Boeing Company, ob ich Meeting Chair werden möchte.

INTERVIEW: EmpaNews / BILD: Empa

**EmpaNews: Herr Braun, was muss man tun, um MRS Meeting Chair zu werden?**

Artur Braun: Diese Frage stellte ich meinem Kollegen Sam Mao, als er mir als MRS Meeting Chair 2011 gegenüberstand. Ihn kenne ich aus unserer gemeinsamen Zeit in Berkeley. Er antwortete: «Ein Symposium mit über 250 Abstracts organisieren.»

**Und? Haben Sie das geschafft?**

Nein. Darüber bin ich auch froh. Ansonsten müsste man ja über die Hälfte an Abstracts zurückweisen. Das wäre pure Ver-



**Werden Sie weiter MRS-Symposien organisieren? San Francisco ist ja ein schöner Arbeitsort!**

San Francisco ist eine tolle Stadt und meine amerikanische Heimat. Ich habe nach meiner Doktorarbeit mehrere Jahre dort gearbeitet. Ja, ich werde mich weiter als «volunteer» in der MRS engagieren. Es ist von unschätzbarem Wert, dass die MRS je-

dem Interessierten ihre Tore zum Mitmachen öffnet. Ich kann sie all jenen, die im weiten Sinn irgendwie mit Material arbeiten, als Austauschforum empfehlen. So froh ich darüber bin, dass ich einmal die Ehre hatte, MRS Meeting Chair zu sein, so schade ist es natürlich, dass das MRS-Frühjahrestreffen jetzt zum letzten Mal in San Francisco stattgefunden hat. Ab 2016 werden die MRS Spring Meetings in Phoenix in Arizona stattfinden.

**Das klingt sehr trocken. Was sagt denn die Community zu diesem Wechsel?**

Die Meinungen waren in der Tat geteilt. Aber die MRS hat sich ihre Entscheidung reiflich überlegt: Für eine Organisation wie die MRS mit 16 000 Mitgliedern aus 80 Ländern war die weltoffene Stadt zwischen Westküste und Silicon Valley am Ende zu eng geworden. Die MRS wird sicher weiter wachsen und findet den nötigen Platz in der Wüstenstadt. Ich bin schon einmal da hingefahren und habe mir Phoenix angeschaut. //

gasmobil



TAGUNG

## 11. gasmobil-Symposium Treibstoffwende mit Erdgas/Biogas



Empa, Dübendorf, Überlandstrasse 129  
Mittwoch, 28. Oktober 2015  
10.00 – 17.30 Uhr

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

Patronat

amag

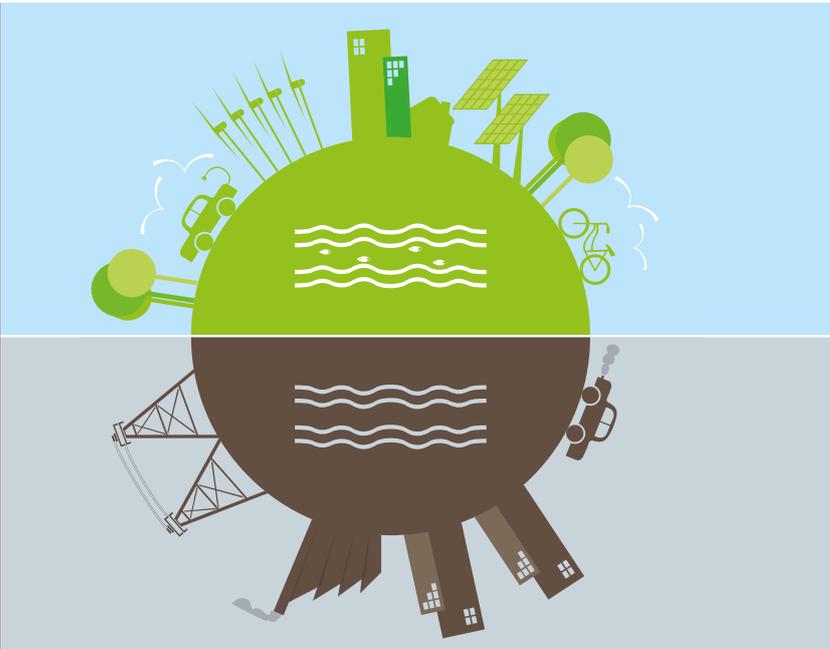
ASTAG

energie360°

**HAUPTVERANSTALTUNG**

# Energiesysteme der Zukunft – viel mehr als Strom!

Ein Blick in die Zukunft



Empa, Dübendorf, Überlandstrasse 129  
Dienstag, 27. Oktober 2015, 13.30 – 19.30 Uhr

Online-Anmeldung unter [www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch)

Gold-Sponsor

Silber-Sponsoren

Patronats-Partner



## Veranstaltungen

13. August in Dübendorf / 23. August in St. Gallen

**Holz – überraschend anders («Forschung live»)**

Zielpublikum: Öffentlichkeit

Auskunft: [anja.pauling@empa.ch](mailto:anja.pauling@empa.ch)

Empa, Dübendorf / St. Gallen

27. August 2015

**Innovation Day**

Zielpublikum: Textil- und Bekleidungsindustrie

[www.swisstexnet.ch](http://www.swisstexnet.ch)

Empa, Dübendorf

02. September 2015

**FSRM-Kurs: Materialbearbeitung mit Laser**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa.ch/laser](http://www.empa.ch/laser)

Empa, Dübendorf

16. September 2015

**FSRM-Kurs: Die Welt der Stähle**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa.ch/staehle](http://www.empa.ch/staehle)

Empa, Dübendorf

29. September 2015

**FSRM-Kurs: Die Wärmebehandlung –  
«Werkzeug» zur gezielten Einstellung  
von Eigenschaften**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.empa.ch/waerme](http://www.empa.ch/waerme)

Empa, Dübendorf

11. – 14. Oktober 2015

**World Resources Forum 2015**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

[www.wrforum.org](http://www.wrforum.org)

Kongresszentrum, Davos

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)