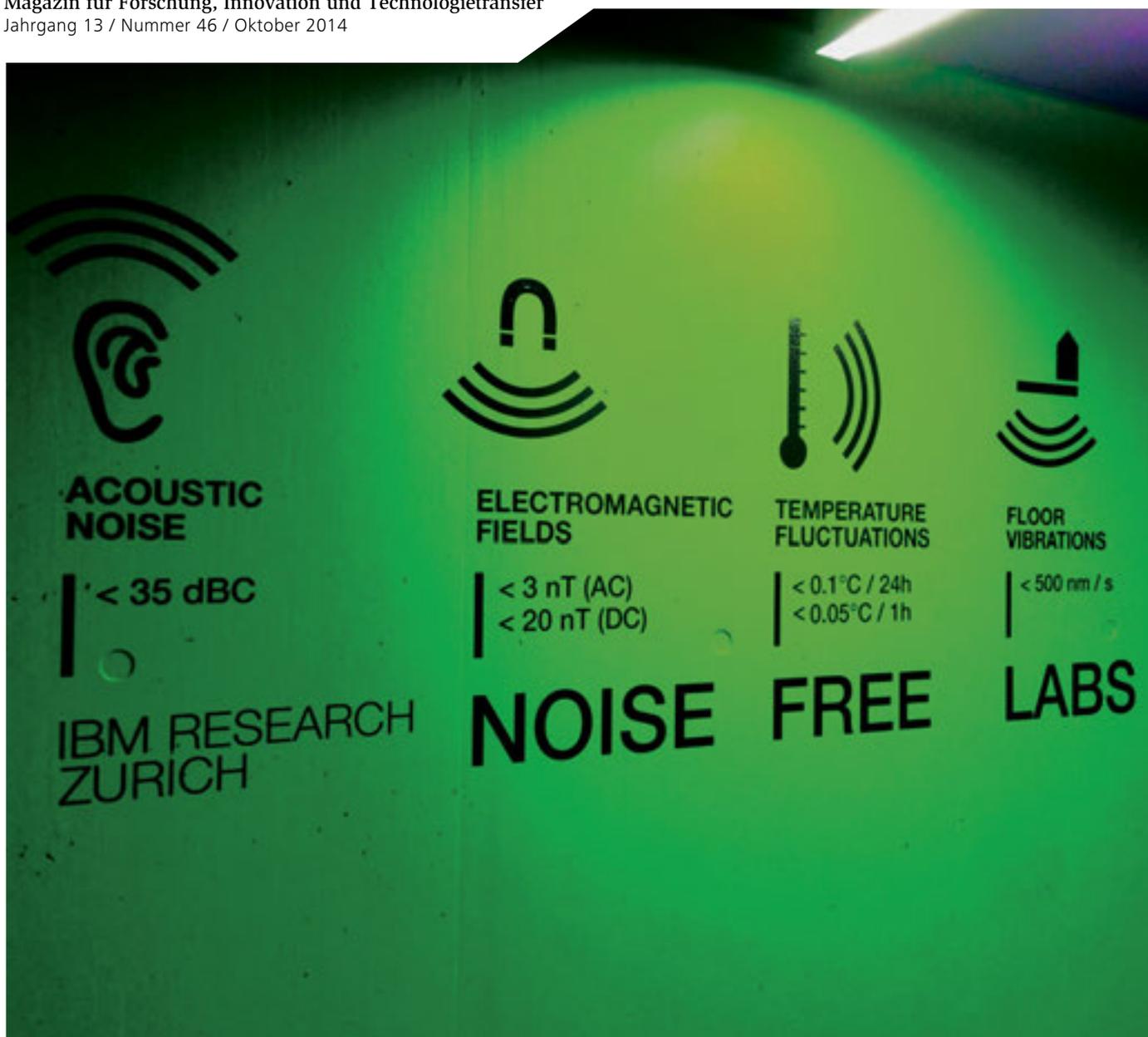


# Empa **News**

Magazin für Forschung, Innovation und Technologietransfer  
Jahrgang 13 / Nummer 46 / Oktober 2014



## Die grosse Stille



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

# Ein Loch im Ozon – und in Bierdosen

Liebe Leserin, lieber Leser

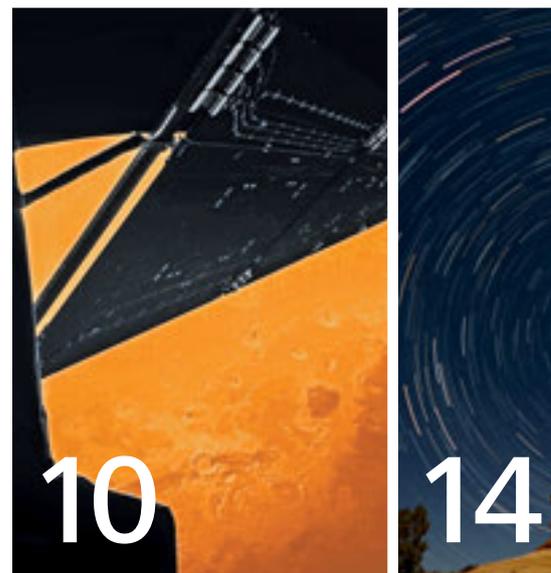
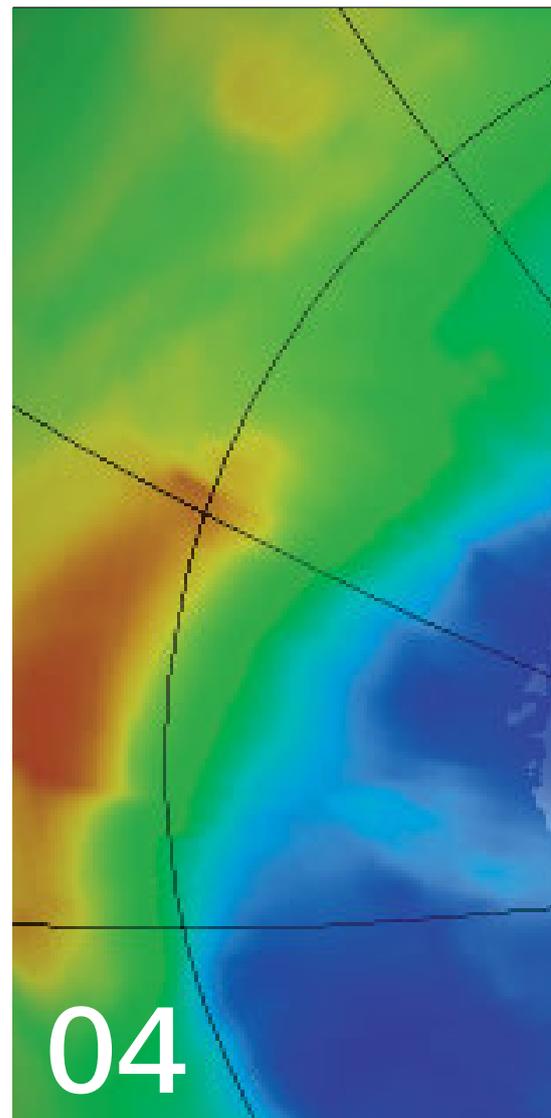
«Bad news are good news», heisst es in der Medienbranche im Allgemeinen, denn das bringt Auflage beziehungsweise Quote. Und wenn es um die Umwelt geht, dann sind schlechte Neuigkeiten praktisch programmiert. Schmelzende Polkappen, Umweltgifte im Gletschereis, Artenschwund, Plastikmüll in den Ozeanen. Unserem Planeten geht es offenbar immer dreckiger.

Doch es gibt auch kleine Lichtblicke. Das Ozonloch über der Antarktis dehnt sich zumindest nicht mehr weiter aus und dürfte sich sogar in den nächsten Jahrzehnten wieder regenerieren, wie ein kürzlich veröffentlichter UN-Bericht unter wesentlicher Mitarbeit von Empa-Forschern zeigt. Ein Erfolg, der nicht von ungefähr kommt, sondern durch eine globale Übereinkunft, das Montreal-Protokoll, ermöglicht wurde – und einmal mehr zeigt, wie wichtig heutzutage internationale Zusammenarbeit und Partnerschaft sind. Was beim Ozonloch augenscheinlich gelang, steht beim Klimawandel – Stichwort Kyoto-Protokoll – noch immer auf der Kippe. Die physikochemischen Zusammenhänge, die das globale Klima beeinflussen, sind jedenfalls deutlich schwerer zu durchschauen als die Wirkungsmechanismen von Ozonkillern.

Umwelt und Ökologie stehen auch für den Empa-Forscher Bernd Nowack im Zentrum. Der Umwelt-naturwissenschaftler figuriert seit kurzem auf einer illustren Liste: «The world's most influential scientific minds» des Medienkonzerns Thomson Reuters. Herzliche Gratulation zu dieser Anerkennung! Nowack untersucht den Einfluss freigesetzter Nanopartikel auf die Umwelt – und hat ein nicht ganz alltägliches (und ästhetisch durchaus wertvolles) Hobby: die Solarigrafie. Was es damit auf sich hat und welche Rolle durchlöchernte Bierdosen dabei spielen, erfahren Sie im Porträt ab S. 14.

Apropos Umwelt: Falls Sie Versand und Papier der EmpaNews sparen wollen: Unser Forschungsmagazin gibt es auch als App für iPad und Android-Tablet. Infos und Downloads unter [www.empa.ch/app](http://www.empa.ch/app).

Viel Vergnügen beim Lesen!



## Titelbild

Eines der sechs «noise-free labs» im IBM-Forschungslabor in Rüschlikon. Empa-Forscher betreiben hier seit Sommer 2014 zusammen mit der IBM ein Extrem-Mikroskop, in dem Details von weniger als einem Atomdurchmesser sichtbar werden. Das Mikroskop ist 1½ Tonnen schwer, braucht aber extreme Ruhe: Selbst der feine Luftzug einer Klimaanlage kann die Messung stören. Seite 20.

## Fokus

# Atmosphärenforschung – global und lokal

- 04** **Rasterfahndung in der Atmosphäre**  
Auf der Suche nach Ozonkillern und ihren heimlichen Produzenten
- 08** **Miss den Staub, Cobra!**  
Die Feinstaubbelastung an allen Zürcher Strassenecken lässt sich errechnen

- 10** **Unendliche Weiten ...**  
Die Weltraumsonde Rosetta schnüffelt mit Empa-Technologie am Kometen «Tschuri».
- 12** **Die Reise zum Kometen**  
Mehr als 10 Jahre war Rosetta unterwegs. Was bisher geschah – und was noch kommt.
- 14** **Jäger der verlorenen Partikel**  
Bernd Nowack untersucht Umweltgefahren und fotografiert mit leeren Bierdosen.
- 18** **High-End-Bremsen für den Cinquecento?**  
Im Labor für Hochleistungskeramik entsteht Autotechnik von morgen.
- 20** **Ich sehe was, was du nicht siehst**  
Das Extrem-Mikroskop im «noise-free lab» von IBM.
- 22** **Navi aus dem Chemielabor**  
Ein Diffusionsexperiment zeigt den kürzesten Weg durchs Labyrinth.



### 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**



# Rasterfahndung in der Atmosphäre

Noch immer zerstören FCKW die Ozonschicht, Industriegase mit extrem hohem Treibhauspotenzial heizen die Atmosphäre auf. Doch die Verursacher bleiben nicht unentdeckt: Atmosphärenforscher der Empa spüren mit hochsensitiven Geräten den schädlichen Gasen nach und identifizieren mit Hilfe von Meteodaten die Quellen der Belastung.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: iStockphoto, Empa, Nasa

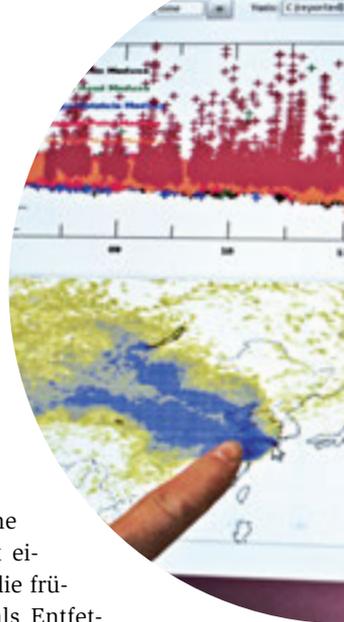
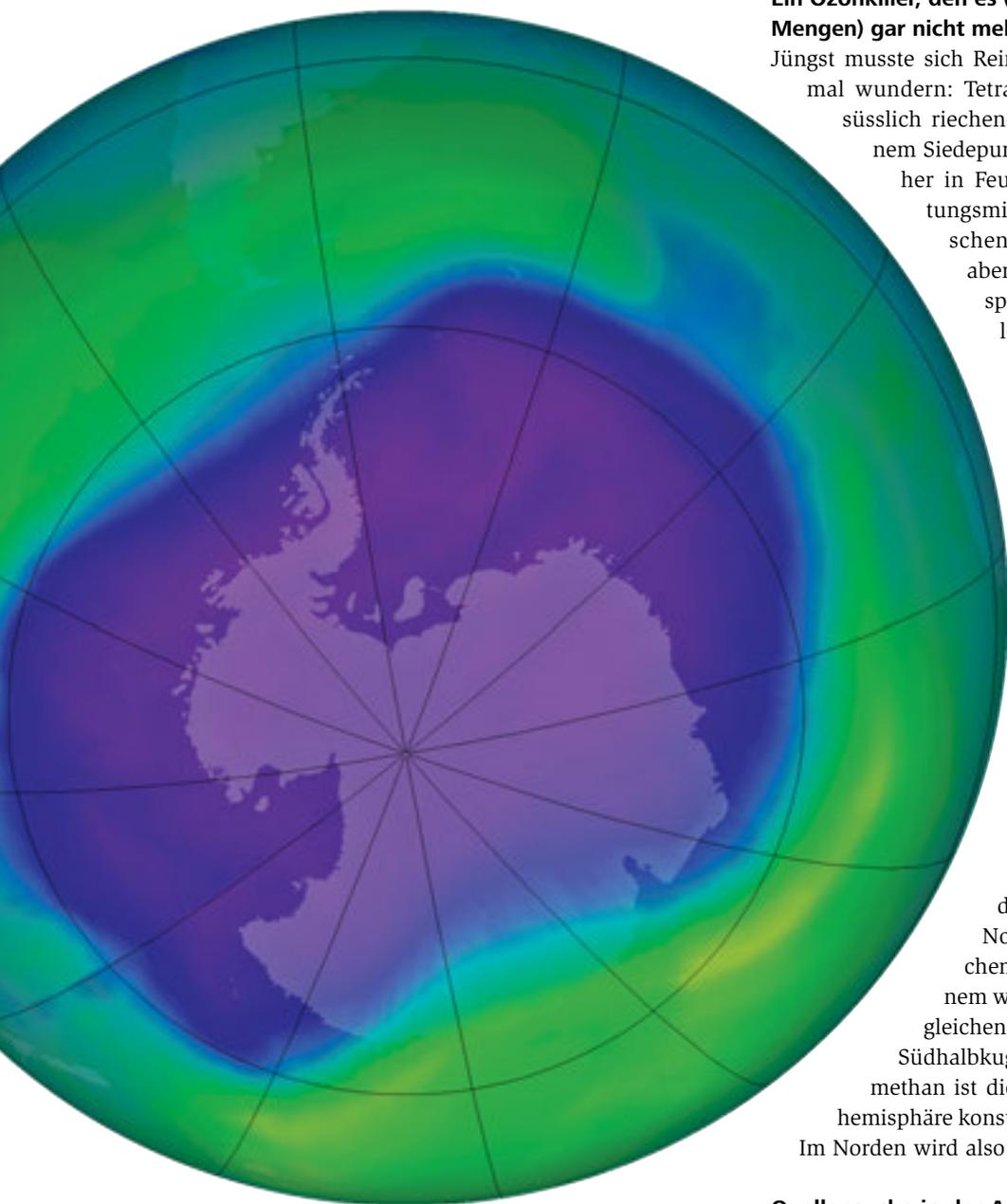




**B**eten und auf Besserung hoffen hätte nichts genützt. Die bedrohlich dünner werdende Ozonschicht liess sich 1987 nur durch ein internationales Abkommen retten – das Montreal-Protokoll. 197 Länder haben das Protokoll seither ratifiziert und die schlimmsten Ozonkiller verboten: Treibgase in Spraydosen und Kunststoffschäumen, Kühlmittel, Feuerlöschgase. Jüngste Modellrechnungen zeigen, dass sich die Schutzhülle der Erde auf dem Pfad der Besserung befindet. Etwa um 2050 dürfte die Ozonschicht über der Südhalbkugel wieder so dicht sein wie im Jahr 1980 – wenn wir weiterhin aufpassen.

Welche Stoffe der Ozonschicht aktuell besonders zusetzen, beobachtet Stefan Reimann mit seinem Team. Der Empa-Forscher sitzt in einem eher stillen Raum im Untergeschoss des Laborgebäudes. Sein Arbeitsmittel ist der Computer. Hier laufen die Daten des Netzwerks AGAGE zusammen – «Advanced Global Atmospheric Gases Experiment». Weltweit halten ultrasensitive wissenschaftliche Geräte buchstäblich ihre Nase in den Wind, um Spurengase zu entdecken, die nicht da sein sollten. Die Schweizer Schnüffelnase steht in 3580 Metern Höhe auf dem Jungfraujoch, die irische in Mace Head an der Atlantikküste, die norwegische am Ny-Ålesund auf Spitzbergen.

Alle zwei Stunden «atmen» diese Geräte zwei Liter Luft aus ihrer Umgebung und ziehen sie durch einen auf  $-170$  Grad Celsius gekühlten Aktivkohlefilter. Am Ende der Messung wird der Filter auf über



100 Grad erhitzt, und die eingefangenen chemischen Substanzen gelangen in ein GC-MS, einen Gas-Chromatografen mit angeschlossenem Massenspektrometer. Dort lässt sich jede Substanz dank ihres Molekulargewichts einzeln identifizieren.

### Ein Ozonkiller, den es (in diesen Mengen) gar nicht mehr geben dürfte

Jüngst musste sich Reimann wieder einmal wundern: Tetrachlormethan, eine süßlich riechende Flüssigkeit mit einem Siedepunkt von 77 Grad, die früher in Feuerlöschern und als Entfettungsmittel in Werkstätten und chemischen Reinigungen benutzt wurde (heute aber weltweit verboten ist), nimmt in der Atmosphäre viel langsamer ab als erwartet. Normalerweise müsste der Stoff in der Atmosphäre allmählich zerfallen – die Konzentration sollte um etwa vier Prozent pro Jahr zurückgehen. Das tut sie aber nicht, wie Reimann aus seinen Daten lesen konnte. Sie sinkt nur um rund ein Prozent jährlich. Irgendwoher kommt also neues Tetrachlormethan nach; die Forscher schätzen an die 39 000 Tonnen pro Jahr. Der Stoff darf zwar immer noch von der Industrie als Zwischenprodukt für chemische Synthesen verwendet werden – aber kleine Lecks in einigen Fabriken erklären bei weitem noch nicht ein solches Ausmass an Emissionen.

Noch ein weiteres Indiz in Reimanns Daten deutet auf anhaltende Tetrachlormethan-Emissionen hin. «Rund 90 Prozent der weltweiten Emissionen stammen von der Nordhalbkugel», erläutert der Atmosphärenchemiker. Würde eine Substanz – etwa nach einem weltweiten Bann – nicht mehr emittiert, dann gleichen sich die Konzentrationen auf der Nord- und Südhalbkugel allmählich an. Reimann: «Bei Tetrachlormethan ist dies nicht der Fall. Wir messen in der Nordhemisphäre konstant ein bis zwei Prozent mehr als im Süden. Im Norden wird also weiterproduziert.»

### Quellensuche in der Atmosphäre

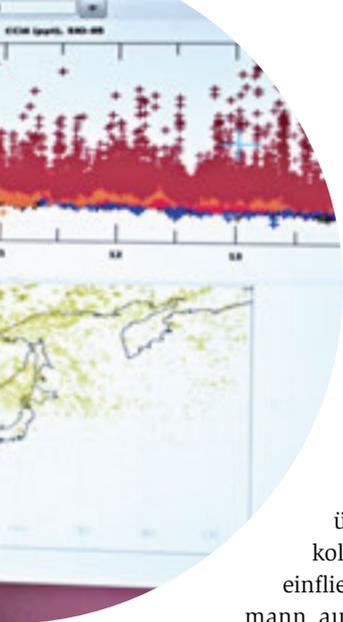
Jedesmal, wenn auf dem Jungfrauoch hohe Konzentrationen gemessen werden, gleicht der Empa-Forscher die auffälligen Peaks seiner Messungen mit meteorologischen Daten ab. Die Windströmungen während der Messung verraten, an welchem Ort der Stoff in die Luft geblasen wurde. «In Europa liegt die Schadstoffquelle für Tetrachlormethan nicht», so Reimann, «das war recht schnell klar.» Da die europäischen Messstationen allein indes keine genauen Ortsangaben für den Rest der Erde liefern können, analysierte der Empa-Forscher die Daten des globalen AGAGE-Netzes. Und tatsächlich: Eine Station in Südkorea zeigte deutliche Peaks, was die Herkunft eines Teils der Emissionen aus Asien wahrscheinlich macht.

Damit die neusten Erkenntnisse über den Zustand und die Chemie unserer Atmosphäre auch von der Politik und der breiten Öff-



Video

Was wäre geschehen, wenn FCKW 1987 nicht verboten worden wären? Eine Animation der Nasa zeigt es



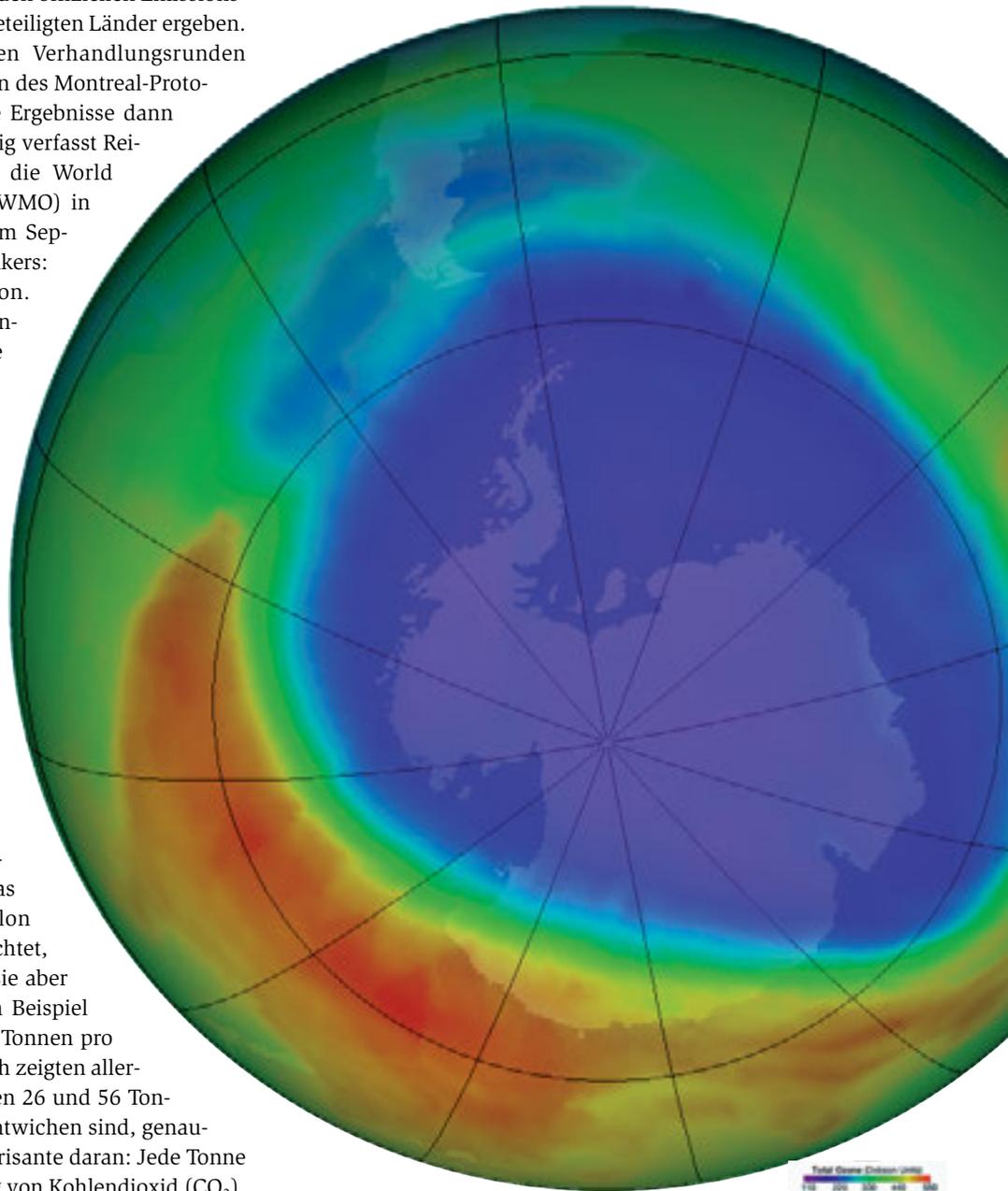
fentlichkeit zur Kenntnis genommen werden, schreibt Stefan Reimann mit seinen internationalen Kollegen regelmässig Artikel in Fachzeitschriften und liefert die Daten ans Bundesamt für Umwelt (BAFU). Dort werden die Beobachtungen der Empa mit Abschätzungen des BAFU verglichen, dies sich aus den offiziellen Emissionsangaben der beteiligten Länder ergeben. In den nächsten Verhandlungsrunden über Anpassungen des Montreal-Protokolls könnten diese Ergebnisse dann einfließen. Regelmässig verfasst Reimann auch Berichte für die World Meteorological Organization (WMO) in

Genf. Sein jüngster Beitrag stammt vom September 2014: Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion. Darin warnt die WHO vor einem wachsenden indirekten Einfluss der Klimagase Lachgas, Methan und Kohlendioxid auf die Ozonschicht. Ausserdem machen steigende Mengen an Fluorkohlenwasserstoffen (H-FKW) die Fortschritte des Montreal-Protokolls bezüglich der Abschwächung auf die Klimaerwärmung bereits teilweise zunichte. Das Problem ist also noch nicht wirklich gelöst.

#### Treibhausgase aus Norditalien

Nicht nur ozonschädliche Gase, sondern auch klassische Treibhausgase (die im Kyoto-Protokoll geregelt sind) gehen den Forscherfahndern regelmässig ins Netz. Eines der besonders schädlichen Treibhausgase ist HFC-23 (Trifluormethan). Der Stoff entsteht als Nebenprodukt bei der Fabrikation von HCFC-22, das unter anderem zur Herstellung von Teflon gebraucht wird. Die Hersteller sind verpflichtet, HFC-23-Emissionen zu melden. Dies tun sie aber offensichtlich nur lückenhaft. Italien zum Beispiel meldete für 2009 Emissionswerte von 2,6 Tonnen pro Jahr – die Messungen auf dem Jungfraujoch zeigten allerdings, dass im besagten Zeitraum zwischen 26 und 56 Tonnen über Norditalien in die Atmosphäre entwichen sind, genauer gesagt: aus einer einzigen Fabrik. Das Brisante daran: Jede Tonne HFC-23 hat die 15 000-fache Klimawirkung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die Emission dieser Fabrik trägt zum Treibhauseffekt in einem Jahr also so viel bei wie 50 000 italienische Mittelklassewagen, die jeweils 10 000 Kilometer zurücklegen.

Leider, sagt Reimann, werde die Messmethode noch nicht zur Verifizierung des Kyoto-Protokolls benutzt, mit dem der Treibhauseffekt international begrenzt werden soll. Der Grund: Seine Analysetechnik, in der Spurengasmessungen mit Wetterdaten abgeglichen werden, ist erst seit zehn Jahren ausgereift. Das Kyoto-Protokoll wurde jedoch bereits 1997 verhandelt und trat 2005 in Kraft – bevor die Unterhändler die heutigen Fähigkeiten der Luft-Detektive kennen konnten. Und so bleibt es bis zum nächsten Klimagipfel den einzelnen Nationen überlassen, ihre Emissionen korrekt zu melden – oder eben nicht. //



**Bild links:** Am 24. September 2006 war das Ozonloch bisher am grössten.

**Bild rechts:** Das Ozonloch über der Antarktis, gemessen am 18. September 2014. Quelle: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/> (Die Skala der Dobson-Units zeigt die Gesamtmenge Ozon von der Erdoberfläche bis ins leere Weltall; blau-violett: am wenigsten, rot: am meisten Ozon.)

**Bild oben:** Der Ozonkiller Tetrachlormethan wird in Asien immer noch in grosser Menge produziert. Die Quelle des Schadstoffs ist Dank des globalen Überwachungsnetzes AGAGE deutlich auszumachen.



# Miss den Staub, Cobra!

Während sich ein Teil der Atmosphärenforscher an der Empa mit globalen Effekten beschäftigt, untersuchen deren Kollegen die Luftqualität in der Zürcher Innenstadt: Spezielle Feinstaubsensoren fahren auf Cobra-Trams durch die Stadt und liefern riesige Datenmengen, aus denen die Forscher die Schadstoffbelastung an jedem Ort der Metropole ermitteln.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: VBZ, Empa

**1**  
Zehn Cobra-Trams der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) sind auf ihren Dächern mit Feinstaubmessgeräten ausgerüstet, die die ETH Zürich betreibt. (Fotomontage: Empa)

**2**  
Aus den Daten dieser Feinstaubmessungen errechnen Empa-Forscher für 30-minütige Zeitfenster detaillierte Luftbelastungskarten fürs Zürcher Stadtgebiet – mit 10×10 Meter Auflösung. Die Karte zeigt die Belastungssituation um 8.30 Uhr an einem Donnerstag im Winter 2014.

**S**tädtische Windströmungen und die damit verbundene Ausbreitung von Luftschadstoffen sind komplex. Dennoch wollen Stadtplaner, Lufthygieniker und nicht zuletzt die Bewohner wissen, in welchen Vierteln die Luft sauber ist und wo hohe Schadstoffkonzentrationen vorkommen. Die grössten Emissionsquellen sind bekannt: Autos und Heizungen. Und wo die Bebauung locker ist und die Luft zirkulieren kann, verdünnen sich Schadstoffe schneller. Bei dichter Bebauung wird die Luft dagegen schnell einmal dick.

So weit, so einfach. Doch wer die Belastungssituation in jedem Winkel der Stadt in Echtzeit kennen will, braucht ein Modell. Christoph Hüglin und Michael Müller haben sich zum Ziel gesetzt, die Schadstoffbelastung in städtischen Räumen am Computer zu simulieren. Aus den laufenden Forschungsarbeiten soll ein Rechenmodell entstehen, das den Zusammenhang zwischen der Schadstoffbelastung und geografischen Informationen exakt beschreibt und die Schadstoffbelastung an jedem Ort in der Stadt berechnen kann – auch wenn dort nie eine Messung stattgefunden hat. Zürich dient den Forschern als Modellstadt, um ihr Computermodell zu prüfen und zu verfeinern.



2



### Modellstadt Zürich

Die Datengrundlage liefert die Zürcher Stadtverwaltung: ein dreidimensionales Stadtmodell, das Kataster der Hausfeuerungen, Verkehrsdaten. Diese Informationen werden ergänzt durch aktuelle Feinstaubmessungen aus verschiedenen Teilen der Stadt. Die Empa-Forscher nutzen dabei Daten des Messnetzes «OpenSense», das von der ETH Zürich betrieben wird: Zehn spezielle Sensoren fahren den ganzen Tag auf Tramdächern durch die Stadt und messen die Feinstaubbelastung. Zurzeit arbeiten Hüglin und Müller ausschliesslich mit Messwerten für Feinstaub. Doch sobald für andere Luftschadstoffe ausreichend gute Messwerte vorliegen, können auch diese in analogen mathematischen Modellen verwendet werden. Die Berechnungsmethode könnte also in Zukunft Belastungskarten für verschiedene Luftschadstoffe, etwa für Stickoxide oder Kohlenmonoxid, liefern. Für das Projekt haben sich zwei Disziplinen zusammengetan: Christoph Hüglin arbeitet seit vielen Jahren in der Luftforschung und kennt die Verfrachtungswege der Schadstoffe gut. Michael Müller ist promovierter Geomatikingenieur und Spezialist für die Auswertung von GPS-Daten und die Modellierung räumlicher Pro-

zesse. Denn bezüglich der Modellierung sind etliche Probleme zu lösen: Tramlinien erschliessen nicht das ganze Stadtgebiet. Auch haben die zehn mit Sensoren bestückten Trams variierende Einsatzpläne sind daher unregelmässig auf den Strecken unterwegs. Daher gibt es an Tram-Knotenpunkten wie dem Bahnhofplatz eine Fülle von Messwerten, während die Schadstoffbelastung am Hang des Zürichbergs nur sporadisch von einem «Mess-Tram» dokumentiert wird. Nachts, wenn keine Trams unterwegs sind, fehlen Messungen. Dennoch funktioniert die Berechnung bereits recht gut. Auf Wetterdaten können die Forscher derzeit verzichten, da die Wetterverhältnisse indirekt durch die Messwerte selbst wiedergegeben werden. «Regen wäscht die Schadstoffe aus der Luft», sagt Hüglin. «Die Messwerte sind dann deutlich tiefer.»

### Stadtwanderungen als Beweis

Auch das beste Modell muss sich der Realität stellen und überprüft werden. Stimmen die Werte auch am Waldrand? Ist der Schadstoffgradient beim Übergang ins Stadtgebiet richtig vorhergesagt? Zusätzliche Messungen in der Stadt müssen dies zeigen. Und so machte sich Geomatikingenieur Müller im

Januar, ausgerüstet mit einem Messgerät im Rucksack, auf den Weg und absolvierte 16 Stadtrundgänge durch verschiedene Zürcher Quartiere, entlang stark belasteter Strassen, durch Aussenquartiere und entlang dem Waldrand.

Ergebnis: Das Projekt ist auf gutem Weg. Schon heute lassen sich damit Feinstaubbelastungen in der Zürcher Innenstadt auf  $10 \times 10$  Meter genau und im Zeitfenster von 30 Minuten berechnen. Natürlich sind noch Wünsche offen: «Wenn wir aktuelle Verkehrsdaten in unser Modell einsetzen könnten, würde das die Genauigkeit deutlich verbessern», sagt Christoph Hüglin. Und Michael Müller ergänzt: «Zusätzliche Sensoren am Waldrand und in Parkanlagen würden wichtige Informationen zur momentanen Hintergrundbelastung liefern. Das würde helfen.»

Am Ende können die an der Empa entwickelten Schadstoffkarten nicht nur Lufthygienikern und Stadtplanern dienen, sondern auch Gesundheitsforschern und der interessierten Öffentlichkeit. //

# Unendliche Weiten ...

**Rosetta ist angekommen. Nach langer Reise durchs All bis zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko – von den Forschenden liebevoll «Tschuri» genannt – hat der Weltraumorbiter sein Ziel erreicht. Mit an Bord sind hochkomplexe Empa-Sensoren aus Metall-Keramik, eingebaut in zwei Massenspektrometer.**

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: ESA

Vor mehr als zehn Jahren startete die Raumsonde Rosetta ihre Reise ins Weltall mit dem Ziel, nicht nur den Kometen während eines Jahres zu begleiten, sondern erstmals einen Lander (Philae) auf der Oberfläche eines Kometen abzusetzen – ein grosses Unterfangen und der ganze Stolz der European Space Agency (ESA). Vor kurzem ist das letzte Bremsmanöver geglückt, das es der Raumsonde ermöglicht, den Zielkometen 67P/Churyumov-Gerasimenko von allen Seiten zu erfassen. Kometen gelten als primitive Blöcke in unserem Sonnensystem und haben möglicherweise Wasser oder sogar einfache Bauteile für Leben auf die Erde gebracht. Viele grundlegende Fragen zu den riesigen, aus Staub und Eis bestehenden Klumpen sind noch offen, und Rosetta wird helfen, sie zu beantworten. Erste Bilder des Kometen aus 12.000 Kilometern Entfernung zeigen, dass «Tschuri» aus zwei Klumpen besteht, die über einen «Hals» verbunden sind. Dies gibt dem Kometen das Aussehen einer riesigen Badeente.

## Die Empa mit an Bord

Eine der zahlreichen Gerätschaften von Rosetta entstand unter Mithilfe der Empa. Die Instrumentengruppe Rosina (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) wurde unter Leitung der Universität Bern entwickelt. Sie besteht aus zwei Massenspektrometern, einem Drucksensor (der auch die Temperatur und Geschwindigkeit des Kometengases misst) sowie einer Datenverarbeitungseinheit. Die Berner Forschergruppe holte die Empa ins Boot, die die Entwicklung und Herstellung der Ionen-optischen Sensoren für die beiden Spektrometer übernahm. Diese sollten nicht nur leicht sein, sondern auch den harschen Bedingungen im Weltraum standhalten.

Rosina soll nach dem kosmischen Rendezvous mit dem Kometen Ionen und Neutralgastteilchen in der (extrem dünnen) Atmosphäre und in der Ionosphäre von 67P/Churyumov-Gerasimenko analysieren. Denn dies erlaubt Rückschlüsse auf die Entstehung unseres Sonnensystems. Das Massenspektrometer DFMS (Double Focusing Mass Spectrometer) hat zwei unterschiedliche Operationsmodi, einen Gasmodus zur Messung von Neutralgas-

teilchen und den Ionenmodus für die Analyse ionisierter Teilchen. Das Flugzeitmassenspektrometer RTOF (Reflectron Time of Flight) erweitert das DFMS, indem es die Sensitivität des gesamten Instrumentes erhöht. Die Massenanalyse erfolgt dabei mit einer Technik namens «Time of Flight». Die Kombination aus extrem hoher Massen- und Zeitauflösung ermöglicht Momentaufnahmen über den gesamten Massenbereich von 1 bis 1000 amu (atomare Masseneinheit).

## Erfolgreiche Prozessentwicklung

Entwickelt und hergestellt wurden die Ionen-optischen Baugruppen für die beiden Massenspektrometer von einem Team um Empa-Ingenieur Hans Rudolf Elsener. Eine grosse Herausforderung war, die Vorstellungen und Anforderungen der Astrophysiker in ein multifunktionelles «weltraumtaugliches» Produkt umzusetzen, das allerhöchsten Ansprüchen genügt: Ultraleicht, mechanisch sehr robust, hochspannungsfest und hochpräzise sollte es sein.

Nebst Designanpassungen entwickelte Elsener verschiedene Prozesse, um unterschiedliche Werkstoffe wie Metalle und Nichtmetalle (Keramiken) miteinander zu verbinden. So wurden die Einzelteile nicht wie üblich miteinander verschraubt, sondern im Vakuumofen gelötet. Dabei werden die Materialien mit Hilfe von Lotwerkstoffen chemisch miteinander verbunden. Dafür sind unterschiedlichste Beschichtungen nötig, die zuvor allesamt erprobt werden mussten. Die zu fügenden Teile liegen im festen Zustand vor – einzig der Lotwerkstoff wird aufgeschmolzen und reagiert entweder mit der Beschichtung oder dem Grundwerkstoff.

Die an der Empa entwickelten Methoden und Technologien waren derart erfolgreich, dass bald weitere Weltraumprojekte folgten. Zurzeit entwickelt Elsener mit seinem Team für die russisch-indische Mondmission LUNA einen neuen Ionen-optischen Sensor für ein noch kleineres und leichteres Massenspektrometer; und für die europäisch-japanische Merkur-Mission BepiColombo fertigten die Empa-Ingenieure kürzlich ebenfalls hochkomplexe Baugruppen und Sensoren. //



Am 25. Februar 2007 flog Rosetta am Planeten Mars vorbei. Dieses «Selfie» der Sonde wurde aus einer Distanz von 1000 Kilometern geschossen, kurz vor der Annäherung auf 250 Kilometer an die Marsoberfläche. Darauf zu sehen ist einer von Rosettas Solarflügel sowie die nördliche Hemisphäre von Mars, auf welcher Details der Region Mawrth Vallis zu erkennen sind.

**Bild links:** Das Bild von 67P/Churyumov-Gerasimenko, aufgenommen 2014 am 16. August, 93,5 Kilometer von seiner Oberfläche entfernt. Durch seine zweigeteilte Form erinnert der Komet an eine Gummiente.

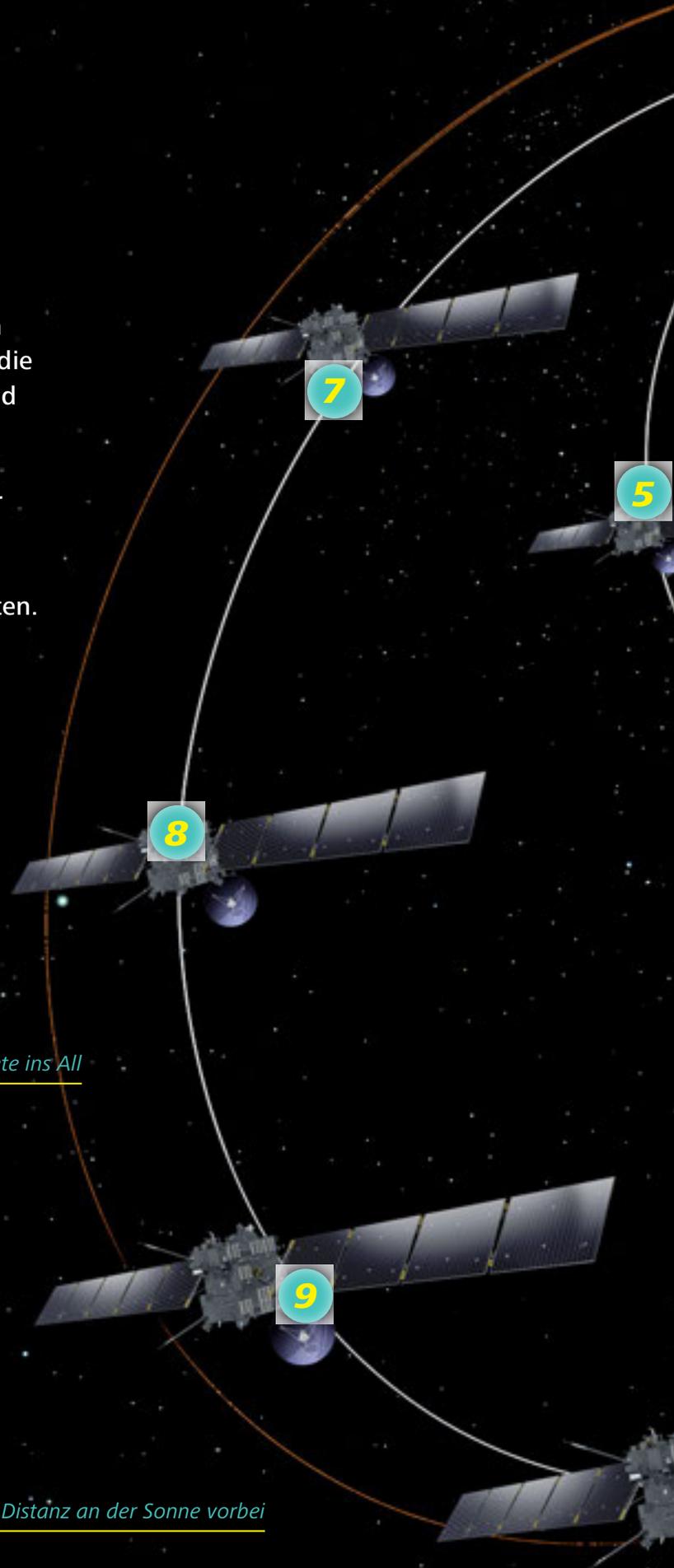
## Rosetta und Philae

Der Raumorbiter Rosetta erhielt seinen Namen vom berühmten Rosettastein, der vor 200 Jahren massgeblich dazu beitrug, die ägyptischen Hieroglyphen zu entziffern. Es ist eine steinerne Stele mit einem in drei Sprachen eingemeisselten Priesterdekret (Hieratisch, Demotisch und Altgriechisch). Sie stammt aus dem Jahr 196 v. Chr. und ehrt den ägyptischen König Ptolemaios V. Der Lander Philae hat seinen Namen von einer Insel inmitten des Nils, auf der ein Obelisk steht. Dieser hatte eine zweisprachige Inschrift und half, die Hieroglyphen auf dem Rosettastein zu entziffern.

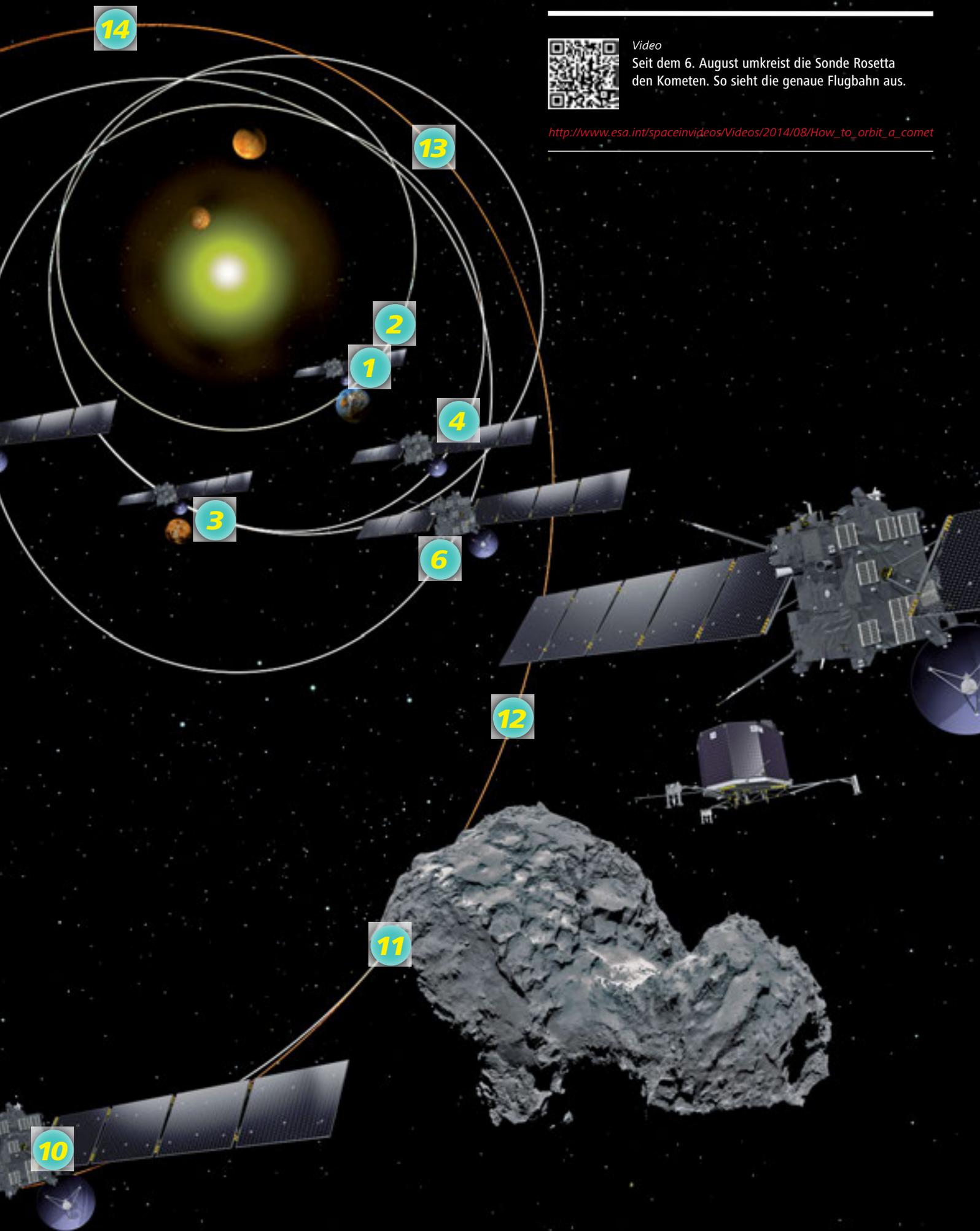
Genau wie die beiden Steine dabei geholfen haben, die ägyptischen Hieroglyphen zu entziffern, erhoffen sich die Forschenden, dass Rosetta dabei helfen kann, Kometen und das frühe Sonnensystem besser zu verstehen. Ausserdem transportiert Rosetta eine so genannte Rosetta Disk. Eine Scheibe aus Nickellegierung, auf der Informationen nicht gespeichert, sondern als Bild eingätzt wurden. Sie sollen auch in 10 000 Jahren noch lesbar sein. Auf der Rosetta Disk sind 13 000 Seiten Text in 1200 unterschiedlichen Sprachen eingätzt.

# Die Reise zum Kometen

Rosetta hat eine lange Reise hinter und noch einen weiten Weg vor sich. Mittlerweile hat die Sonde den Zielkometen «Tschuri» erreicht und sucht nach einem geeigneten Landeplatz für den Lander. Rosetta und ihr Komet sind mittlerweile 405 Millionen Kilometer von der Erde entfernt und haben ihr Rendezvous erfolgreich überstanden. Rosetta wird den Kometen nun für mindestens ein Jahr begleiten.



- 1 März 2004: Rosetta startet an Bord einer Ariane-5-Rakete ins All
- 2 März 2005: Erster Erd-Gravitationsschub
- 3 Februar 2007: Mars-Gravitationsschub
- 4 November 2007: Zweiter Erd-Gravitationsschub
- 5 September 2008: Vorbeiflug an Asteroid Steins
- 6 November 2009: Dritter Erd-Gravitationsschub
- 7 Juli 2010: Vorbeiflug an Asteroid Lutetia
- 8 Juni 2011: Rosetta geht in den Tiefschlaf
- 9 Januar 2014: Rosetta wird aus dem Tiefschlaf geweckt
- 10 Mai 2014: Rendezvous-Manöver beim Zielkometen
- 11 August 2014: Ankunft am Zielkometen
- 12 November 2014: Manöver des Landers Philae
- 13 August 2015: Rosetta und «Tschuri» fliegen in kürzester Distanz an der Sonne vorbei
- 14 Dezember 2015: Geplantes Ende der Mission



Video

Seit dem 6. August umkreist die Sonde Rosetta den Kometen. So sieht die genaue Flugbahn aus.

[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How\\_to\\_orbit\\_a\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet)

# Jäger der verlorenen Partikel

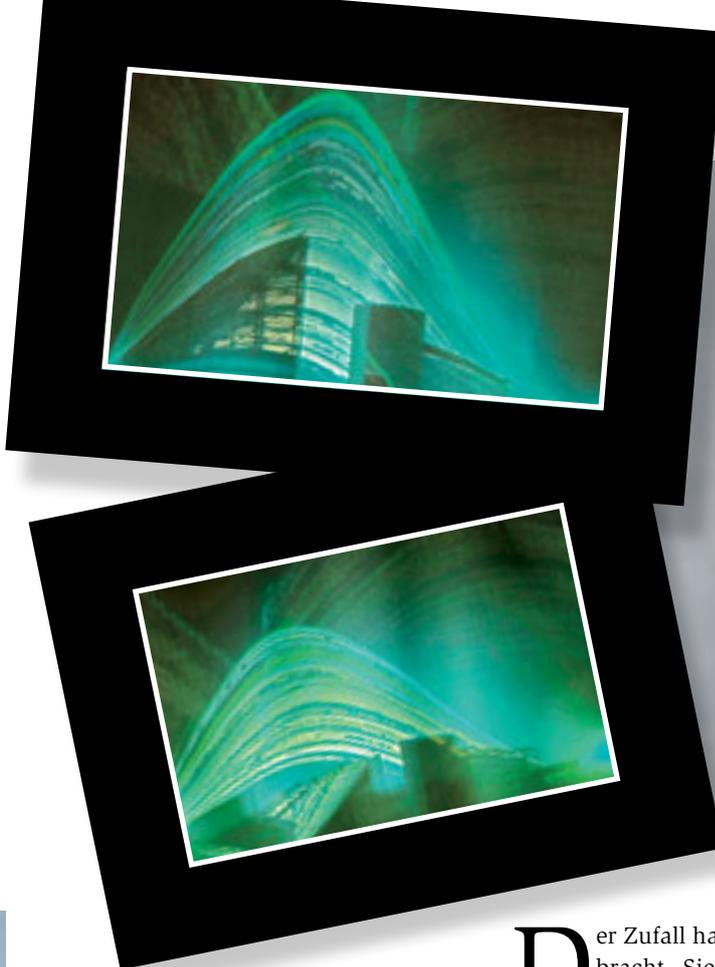
Bernd Nowack von der Abteilung Technologie und Gesellschaft wurde kürzlich von der Medienagentur Thomson Reuters, Anbieter von wissenschaftlichen Online-Datenbanken, in den Kreis der weltweit einflussreichsten Wissenschaftler auf dem Gebiet der Umweltwissenschaften aufgenommen. Der Empa-Forscher untersucht Umweltaspekte von Nanopartikeln. Ein Besuch in St. Gallen.

INTERVIEW: Martina Peter / BILDER: Empa, B. Nowack



Bernd Nowack mit einer Bierdose, die auf einem der Empa-Gebäude in St. Gallen als Langzeit-Lockkamera fungiert.

**Solarigrafie:** Auf den sechs Monate lang belichteten Fotopapieren sind der Lauf der Sonne und die Empa-Gebäude zu sehen.



Der Zufall hat Bernd Nowack auf Nanopartikel gebracht. Sieben Jahre war der Umweltchemiker Oberassistent am Institut für Terrestrische Ökosysteme der ETH Zürich. 2006 wurde er ins «Editorial Board» der Fachzeitschrift «Environmental Pollution» berufen. Der Chefredaktor suchte gerade einen Autor für einen Artikel zum Thema «Nanoteilchen in der Umwelt» für die Jubiläumsausgabe des Blattes. Kurztentschlossen empfahl Nowack sich selbst. Denn fast gleichzeitig hatte er eine neue Stelle an der Empa angetreten, in der es darum ging, die Auswirkungen der Nanotechnologie auf die Umwelt zu untersuchen.

Gesagt, getan. Der Artikel war Nowacks Einstieg in die Nanowelt – er wurde sein bislang meistzitiertes Artikel. Forscher, die über die Umweltexposition von Nanopartikeln schreiben, kommen um ihn nicht herum. Noch heute werde der Artikel pro Jahr rund 100 Mal zitiert, bemerkt Nowack nicht ohne Stolz, häufig auch von Autoren aus ganz anderen Disziplinen.

Als Forscher beschäftigt ihn heute vor allem die Frage, wie und in welcher Form sich Nanomaterialien aus Produkten freisetzen, wie sich mit Hilfe von rechnerischen Modellen die Materialflüsse in die Umwelt bestimmen lassen und welche Risiken dabei entstehen können. Darüber hat er bislang etwa 50 Artikel publiziert. Das hat Nowack nun einen Platz auf der Liste der weltweit einflussreichsten Wissenschaftler beschert.

#### Ein Mann mit vielen Interessen

«Chancen zu packen, wenn sie sich einem bieten, das ist mein Ding», sagt Nowack. «Ich gehe nicht gern in die Tiefe.» Er kann es sich nicht vorstellen, sich wie andere Wissenschaftler über Jahrzehnte hinweg mit den Details eines akademischen Gegenstands zu beschäftigen. Nowack sieht sich als einen Typus Forscher, der herausfindet, dass es Pi gibt, dass Pi 3,1 irgendwas ist und dass man mit diesem Wissen etwas Konkretes machen kann. «Andere

«Chancen zu packen,  
wenn sie sich einem bieten,  
das ist mein Ding.»





können dann gern die nächste Million Stellen identifizieren.» Ihn fesseln Themen, zu denen er mit seinem Team etwas Wesentliches beitragen kann. Um bald zum nächsten Thema weiterzugehen. «Hier an der Empa gibt es noch viele umweltrelevante Fragestellungen in Bezug auf neue Materialien».

Schon sein Studienfach wählte er damals aus, weil es ihm vielfältig schien. Im damals an der ETH Zürich neu angebotenen Studiengang Umwelt naturwissenschaften konnte er all die naturwissenschaftlichen Fächer belegen, die ihm schon in der Schule gefielen. «Das Thema Waldsterben trieb uns in den 1980er-Jahren alle um», blickt er zurück. «Uns Jugendlichen wurde gesagt, Mitteleuropa würde eine Säuresteppe sein, wenn wir erwachsen sind.» Dabei sah sich Nowack nicht als «Fundi». Ihm war es als «Realo» wichtiger, die wissenschaftlichen Aspekte des Problems zu verstehen, als die Welt zu retten. Es habe damals ein grosses Aufschaukeln in den Medien stattgefunden. So sei etwa das regionale Waldsterben im Erzgebirge, das ganz eindeutig durch den lokalen Schwefeldioxid-Ausstoss der Industrie in Sachsen entstanden ist, öffentlichkeitswirksam als globales Problem deklariert worden.

#### **Lieber einfach als spektakulär – dafür relevant**

Einfach mal etwas machen und dabei auch mutig sein, lautet sein Grundsatz. Manchmal sei es ihm vorgekommen, als brauche es beinahe mehr Mut, anstatt der spektakulären die einfachen Themen anzupacken. Es sei ihm ein Rätsel, weshalb sich beispielsweise praktisch niemand detailliert mit Nanopartikeln beschäftigt habe, die aus Textilien, etwa silberbeschichteten antibakteriellen Socken, in die Waschlauge austreten. Jahrelang gab es dazu keine wissenschaftlichen Studien. Nowack: «Offenbar dachten alle, das Thema sei zu banal.»

Doch der Empa-Forscher sah die gesellschaftliche Relevanz. Die Menschen – nicht zuletzt der Gesetzgeber – wollten schliesslich wissen, was in ihrer Waschmaschine vor sich geht und ob austretende Nanopartikel gefährlich werden können. Darauf müsse er als Forscher Antworten geben. Dabei hat er mit seinem Team Interessantes entdeckt: Textilien mit Nanobeschichtung verursachen weniger Nanopartikel im Waschwasser als mit «normalem» Silber beschichtete. Dies führte ihn zur Frage, wie die chemische Zusammensetzung des Waschmittels die Freisetzung beeinflusst; daran arbeitet er zurzeit.

#### **Nicht aufschaukeln, sondern Ruhe in die Diskussion bringen**

Mit seinen Studien deckt Nowack meist keine Skandale auf, im Gegenteil, er kann häufig Entwarnung geben. Wäre es ihm nicht lieber, auch einmal einen Coup zu landen und von einem bedenklichen Resultat zu berichten? «Jeder», so seine Antwort, «der sich im Risikobereich bewegt, würde natürlich gern einmal publizieren, dass er ein Problem geortet habe.» Er sehe seine Aufgabe jedoch in erster Linie darin, fundierte Daten und Auswertungen zu liefern, um die Sachlage unabhängig beurteilen zu können. Nowack will bei kontroversen Themen nichts totschweigen, aber auch nicht zum Aufschaukeln beitragen, sondern vor allem Ruhe reinbringen. Sein Erbe aus den 80er-Jahren.

Der Erfolg gibt ihm Recht. Er ist als Forscher momentan in der angenehmen Lage, dass er seine Forschungsprojekte frei auswählen kann. Er erhält mehr Anfragen für gemeinsame Projekte und Expertisen, als er mit seinem Team bewältigen kann. Das wichtigste seien seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die Ideen aufgreifen, eine Arbeit in eine gänzlich neue Richtung lenken oder Wissen beisteuern, das er selber nicht hat.



**Bild links:** Aufnahme des Sternenhimmels im Mondschein von Bernd Nowack. Entstanden in Devils Garden, Grand Staircase-Escalante National Monument, Utah, USA

**Bild rechts:** Bernd Nowack beim Fotografieren; «The Subway», Zion National Park, Utah

Nur im Team sei es heutzutage möglich, Forschung in ihrer ganzen Bandbreite zu betreiben und in immer neue, interessante Gebiete und Fragestellungen vorzustoßen.

#### **Kunst aus der Bierdose: Solarigrafie**

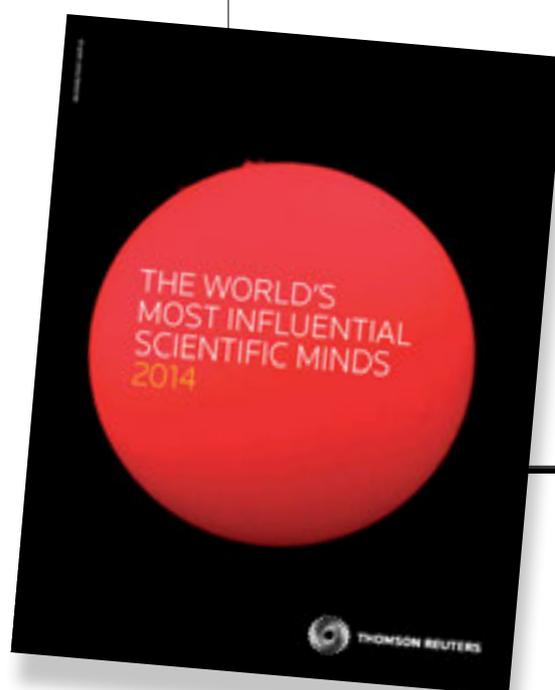
Ein ebenfalls ganz neues Feld betritt Nowack dann auch in seiner Freizeit. Er widmet sich der so genannten Solarigrafie, einer ganz besonderen Art der Fotografie. Nach der Sonnenwende im Dezember, spätestens im Januar, verteilt er in der Natur, an Brücken oder auf Dächern – etwa auf den Empa-Gebäuden in St. Gallen – Bierdosen-Lochkameras. In diesen liegt ein Fotopapier, das während sechs Monaten über ein winziges Loch belichtet wird und die Spuren der Sonne aufzeichnet. Im Juni, wenn die Sonne ihren Höchststand erreicht hat, «erntet» Nowack die Dosen. Faszinierend sei, dass zwischen der Komposition des Bildes vor Ort und der fertigen Aufnahme ein halbes Jahr vergehe. «Der Zufall ist oft mein wichtigster Mitspieler», bemerkt er.

Manchmal sind die Dosen verschwunden oder beschädigt, oder sie produzieren verrückte Effekte. Nowack scannt die langzeitbelichteten entwickelten Fotopapiere ein und wendet die Bilddaten im Bildbearbeitungsprogramm zum Positiv. Die Farben entstehen durch farbige Silbersalze, die im Negativ gelblich oder rötlich sind.

Gerne möchte er darüber nächstens einmal einen wissenschaftlichen Artikel schreiben, mehr über die Beziehung von Kunst und Wissenschaft reflektieren. Denn im weitesten Sinne geht es auch hier um Nanotechnologie: Silberpartikel in Nanogrösse sorgen dafür, dass das Licht in einem chemischen Prozess auf dem Papier Spuren hinterlässt. Hier schliesst sich dann der Kreis zu seiner wissenschaftlichen Arbeit über Silber. //

### «The World's Most Influential Scientific Minds»

Bernd Nowack wurde vom Medienkonzern Thomson Reuters als einer der rund 140 weltweit einflussreichsten Forscher auf dem Gebiet der Umweltwissenschaften/Ökologie bezeichnet. Anhand des von Thomson Reuters betriebenen «Web of Science», das mehrere Online-Zitationsdatenbanken umfasst, ermittelte das Unternehmen die «Highly Cited Researchers» der Jahre 2002 bis 2012 in 21 Forschungsgebieten. Wie oft eine Forscherin oder ein Forscher zitiert wird, gilt als entscheidender Messwert für den Einfluss einer wissenschaftlichen Veröffentlichung und das Ansehen der Autoren in der Fachwelt. Die Liste «The World's Most Influential Scientific Minds» umfasst insgesamt um die 3200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.



Video  
Kollektion von Bernd Nowack auf  
[www.fotocommunity.de](http://www.fotocommunity.de)



**J**akob Kübler ist der Stolz anzusehen, dass sein paneuropäisches Forschungsprojekt nun auf der Zielgeraden ist. Es hat Geduld gebraucht und viele Monate, um die Partner zusammenzubringen: Unter der Leitung des «Politecnico di Torino» und zusammen mit dem spanischen Bremsenhersteller Fagor Ederlan, dem liechtensteinischen Lötpezialisten Listemann AG und dem Fiat-Forschungszentrum C.R.F. soll die Empa eine neuartige Brems Scheibe für massenproduzierte Kleinwagen entwickeln. Den schweizerisch-liechtensteinischen Forschungsanteil finanziert die KTI. Im April nächsten Jahres soll ein Prototyp der Bremse funktionsbereit sein. Während heutige Brems Scheiben aus schwerem, hitzebeständigem Gusseisen gefertigt sind, sollen die Scheiben der Zukunft, an der das Konsortium forscht, aus leichtem Aluminium bestehen. Das spart Gewicht und damit Sprit. Zugleich verbessert sich das Fahrverhalten, weil die ungedeckelten Massen im Fahrwerk kleiner werden.

Doch Aluminium ist weich und für hart zupackende Bremszangen nicht geeignet. Eine Keramikschicht muss daher die Aluminium-Brems Scheiben schützen, die Reibarbeit übernehmen und die entstehende Hitze ableiten. Die Empa entwickelt dieses entscheidende Bauteil, an dem das Projekt scheitern oder aber Trends setzen kann.

Keramikbremsen sind an sich nichts Neues. Im Sport- und Rennwagenbau werden sie seit langem eingesetzt. Nur – sie sind teuer. Beim Porsche 911 etwa sorgen Keramik-Carbon-Bremsen für einen Aufpreis von schlappen 12 000 Franken. Dafür bekäme man beinahe schon einen kompletten Fiat 500. Für den Einsatz in preisgünstigen Kleinwagen scheint die Technik also kaum geeignet.

#### **Mehrere technische Hürden auf einmal**

Das Konsortium sucht daher eine andere Lösung: Die Bremse muss sich in grossen Stückzahlen rasch fertigen lassen, sie darf nicht teuer sein, und sie muss mindestens so lange halten wie bisher übliche Gusseisen-Bremsen. Für Keramikforscher Kübler sind das mehrere technische Hürden auf einmal. «Zunächst einmal mussten wir nach einem preisgünstigen, keramischen Material suchen, das Wärme gut leitet und sich auch gut verarbeiten lässt», erläutert der Forscher. Zirkonoxid fällt also aus – es ist isoliert zu stark. Siliziumcarbid leitet Wärme gut, bricht aber zu leicht. Als Grundstoff bleibt einzig: Aluminiumoxid. Der Stoff ist in vielerlei Keramikbauteilen, vom Wasserhahn bis zum Hüftgelenk, enthalten und preisgünstig zu haben.

Daraus konzipierte Kübler mit seinem Team ein Keramiklaminat – eine rund zwei Millimeter dünne Keramikplatte, die aus bis zu 15 einzelnen Schichten besteht: Zu den Aluminiumoxid-Schichten kommt Siliziumcarbid, um die Wärmeleitfähigkeit zu erhöhen, eine Deckschicht, um den Verschleiss zu regulieren, eine Haftschiicht, mit der die Keramik auf die Alufläche gelötet werden kann. Jede der Schichten wird als Schlicker mit Wasser angerührt, dann auf eine Kunststoffolie aufgezogen. Schliesslich werden die Schichten zusammengepresst, der Kunststoff dazwischen herausgebrannt und die verschiedenen Schichten bei mehreren hundert Grad miteinander verbunden und verdichtet. Wie gut die vertikale Vernetzung funktioniert hat, zeigt dann das Elektronenmikroskop.

Das Konsortium entschied sich, kleine Kacheln zu fabrizieren, die nebeneinander – wie Badezimmerkacheln – auf die Brems Scheibe aufgelötet werden. Der Grund: Bei Hitze dehnt

# High-End-Bremsen für den Cinquecento?

Im Labor für Hochleistungskeramik reift ein ehrgeiziges Projekt heran: Keramik-Bremsscheiben für Kleinwagen. Zusammen mit italienischen, spanischen und liechtensteinischen Partnern entwickeln Empa-Wissenschaftler Automobiltechnik von morgen. Nur – lässt sich die Hightech-Lösung auch günstig genug realisieren?

TEXT: Rainer Klose / BILD: iStockphoto



sich Aluminium drei bis vier Mal mehr als die Keramik. Ein einteiliger Keramik-Bremssbelag würde also aufgrund von Spannungsrissen vom Alu-Träger abfallen. Doch auch mit kleinen Kacheln ist das Festlöten kein triviales Problem: Aluminium schmilzt bei knapp 700 Grad, daher muss die Lötung bei tieferen Temperaturen geschehen. Trotzdem darf das Lot auch bei einer Notbremsung nicht weich werden, sonst fallen die Kacheln genau dann ab, wenn man sie am nötigsten braucht.

Ein einziger Keramik-Mix genügt also nicht. Kübler und sein Team müssen immer wieder auf Feedback der Lötungspezialisten aus Turin eingehen, die Mischung der Keramik weiter optimieren und neue Proben liefern. Dabei muss er schon bei der Konzeption auf die Kosten achten: Teure Verfahren, etwa im Vakuum oder unter Schutzgas, gilt es zu vermeiden – die wären nicht tauglich für die Massenfertigung.

Die Listemann AG in Vaduz entwickelt unterdessen die spezielle, industriegeeignete Füge-technik zum Festlöten der Kacheln. Der Bremshersteller Fagor Ederlan konzipiert das Bremssystem aus Aluminium und die nötigen Dimensionen der Bremsscheibe. Am Ende des Projekts steht ein Prototyp der «Forscher-Bremse», die dann auf Bremsprüfständen auf Herz und Nieren getestet und anschliessend in ein Versuchsfahrzeug integriert werden kann. Wenn sie sich bewährt, entsteht in den nächsten Jahren daraus ein Serien-Bauteil, das europäischen Autos einen Vorsprung auf dem Weltmarkt verschafft. Merke: Es braucht viel Anlauf, bis man gut bremsen kann. //

# Ich sehe was, was du nicht siehst

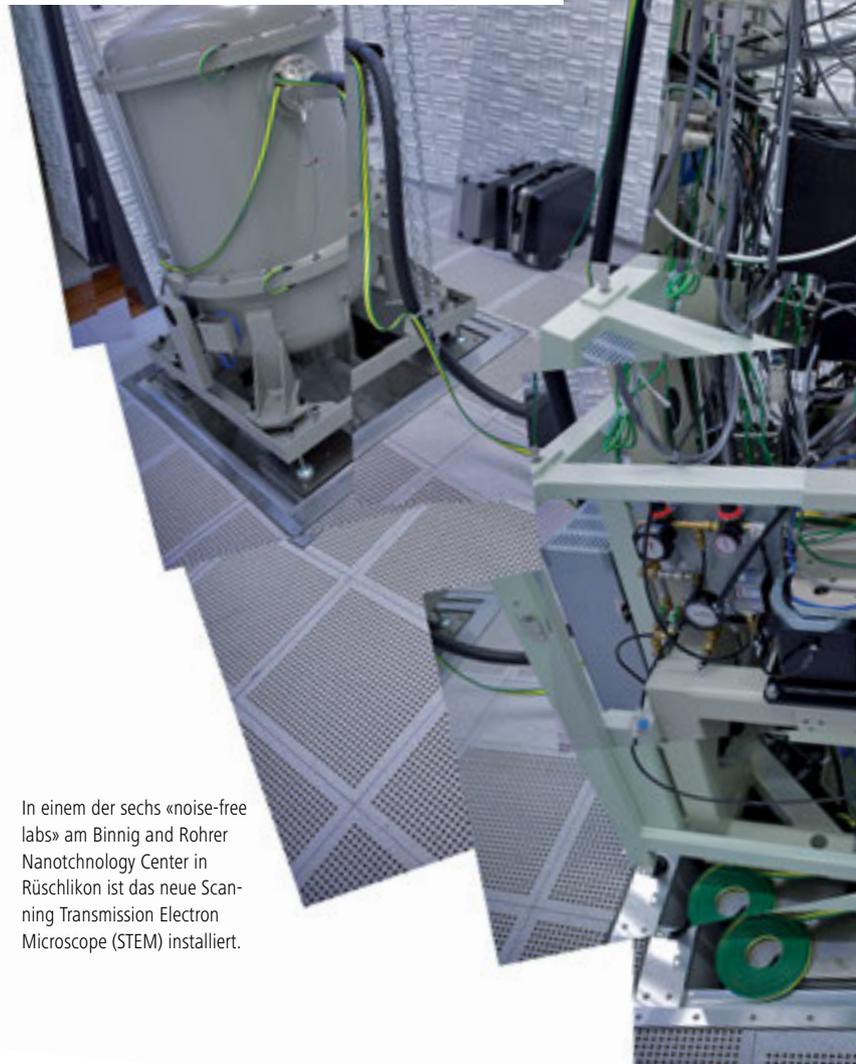
Seit dem Sommer hat die Empa am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon ein einzigartiges Transmissionselektronenmikroskop im Einsatz. Es erlaubt Auflösungen im Sub-Angström-Bereich, also unterhalb von  $10^{-10}$  Metern. Damit lassen sich atomare Strukturen untersuchen. Möglich wird dies im «noise-free lab», das jegliche Erschütterungen vom Mikroskop fernhält.

TEXT: Martina Peter / BILD: Urs Siegenthaler (IBM)

**A**cht Meter unter dem Boden, im Kellergeschoss des Binnig and Rohrer Nanotechnology Center des IBM-Forschungslabors in Rüschlikon, ruht auf einem 40 Tonnen schweren Sockel ein Mikroskop der Sonderklasse. Es kann Details zeigen, die kleiner sind als der Durchmesser eines Atoms. Trotz seiner eineinhalb Tonnen Gewicht und über drei Meter Höhe ist der Koloss erstaunlich empfindlich; schon ein von der Klimaanlage erzeugter Luftzug kann die Messungen beeinträchtigen. Ganz zu schweigen von den Temperaturschwankungen beim Öffnen der Labortür, dem Lärm der nahen Stadt oder dem Verkehr auf der nahen Autobahn. All diese Einflüsse gilt es fernzuhalten; in den «noise-free labs» werden selbst elektromagnetische Felder durch geeignete Baumassnahmen und geschicktes Abschirmen und Dämpfen auf ein Minimum reduziert.

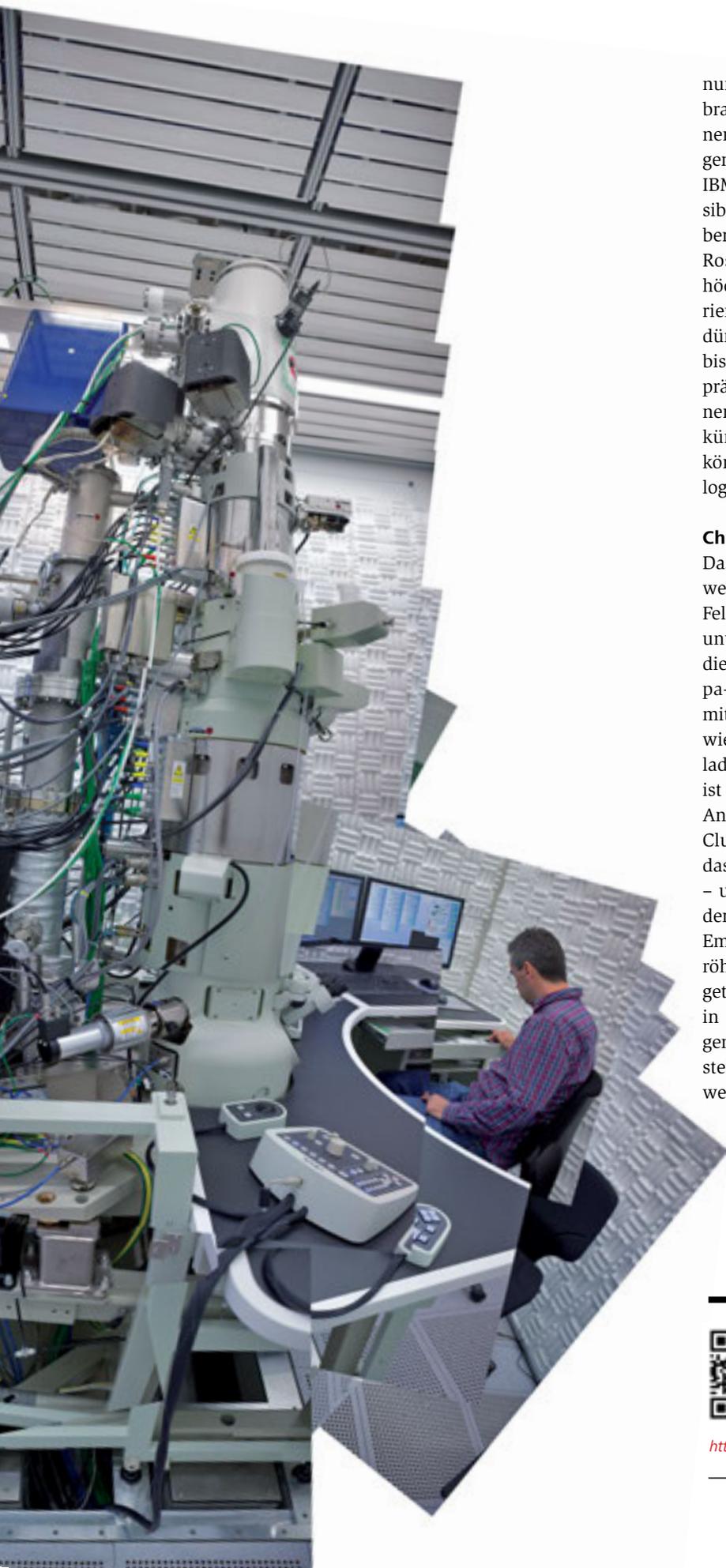
Das Transmission Electron Microscope (TEM) funktioniert ähnlich wie ein optisches Mikroskop, verwendet aber einen Elektronenstrahl anstatt Licht. Die Elektronen durchdringen die Probe, interagieren mit ihr und werden über verschiedene Linsen auf Detektoren geleitet, die die zu verschiedenen Winkeln gestreuten und gebeugten Elektronen in ein Bild «übersetzen». Weil das TEM sowohl im Breitstrahl- als auch im Rastermodus (Scanning TEM, STEM) arbeitet, kann es die Struktur einer Probe nicht nur abbilden, sondern sogar einzelne Atome chemisch bestimmen.

Die Kombination von Speziallabor und erstklassiger Elektronenmikroskopie ermöglicht Messungen mit einer Präzision, wie es sie in der Schweiz noch nie und weltweit



In einem der sechs «noise-free labs» am Binnig and Rohrer Nanotechnology Center in Rüschlikon ist das neue Scanning Transmission Electron Microscope (STEM) installiert.





nur vereinzelt gegeben hat. Um das Gerät einzuführen, brachten Rolf Erni, Leiter des Empa-Zentrums für Elektronenmikroskopie (EMC), und seine Kollegin Marta Rossell genau die richtigen Voraussetzungen mit. Gemeinsam mit IBM-Forscher Jean Fompeyrine bauten sie das hochsensible Gerät in einem Joint-Venture-Projekt auf und betreiben es nun im Auftrag der IBM als «User Lab». Erni und Rossell besitzen mehrjährige Erfahrung im Unterhalt höchstauflösender Elektronenmikroskope und im Präparieren von Proben, die lediglich 10 bis 100 Nanometer dünn sind. Dank ihres Know-hows dauerte es nicht lange, bis Rossell auch am neuen STEM einzigartige Aufnahmen präsentieren konnte. Diese erlauben Wissenschaftlern einen Blick ins Innere «ihrer» Materialien; Materialien, die künftig in unterschiedlichste Anwendungen einfließen könnten, etwa in der Elektronik oder in neuartigen Technologien zur Energieumwandlung oder -speicherung.

#### **Chemie und Physik an einzelnen Atomen**

Das Team von IBM-Forscherin Heike Riel will beispielsweise wissen, wie sich die Nanodrähte ihrer neuartigen Feldeffekt-Transistoren auf einem Substrat ansiedeln. Sie untersucht Defekte an neuartigen Halbleiterstrukturen, die bei der Herstellung ins Kristallgitter einwachsen. Empa-Wissenschaftler wiederum untersuchen gemeinsam mit Kollegen und Kolleginnen der Universität Barcelona, wie Nanopartikel aus Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) am besten mit Palladium- und Platin-Atomen bestückt werden können. Ziel ist es herauszufinden, in welcher Zusammensetzung und Anordnung sie sich als individuelle Einzelatome oder in Clustern für eine optimale Katalyse anbieten. Dadurch, dass  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetisch ist, kann der Katalysator einfach – und ohne Filter – gereinigt und wiederverwendet werden. Ausserdem untersucht Yucheng Zhang vom EMC mit Empa-Kollegen aus Thun verschiedene Kohlenstoff-Nanoröhrchen, auf die schichtweise Titandioxid-Moleküle aufgetragen werden. Die Schichten erlauben es, Elektronen in fotovoltaischen Prozessen besonders gut «einzufangen». Dank der STEM-Bilder lernen die Forscher zu verstehen, wie sich die Effizienz von neuartigen Solarzellen weiter steigern lässt. //



*Video*  
Die ersten Bilder des  
Hochleistungsmikroskops  
auf flickr

<https://flic.kr/s/aHsk35pmK3>

# Navi aus dem Chemielabor

Zusammen mit Kolleginnen und Kollegen aus Ungarn, Japan und Schottland haben Empa-Forschende einen chemischen Prozessor entwickelt, der zuverlässig den kürzesten Weg durch ein Labyrinth weist. Da diese Methode schneller ist als ein Navigationscomputer, könnte sie in Zukunft insbesondere in Verkehrsplanung und Logistik nützlich sein.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

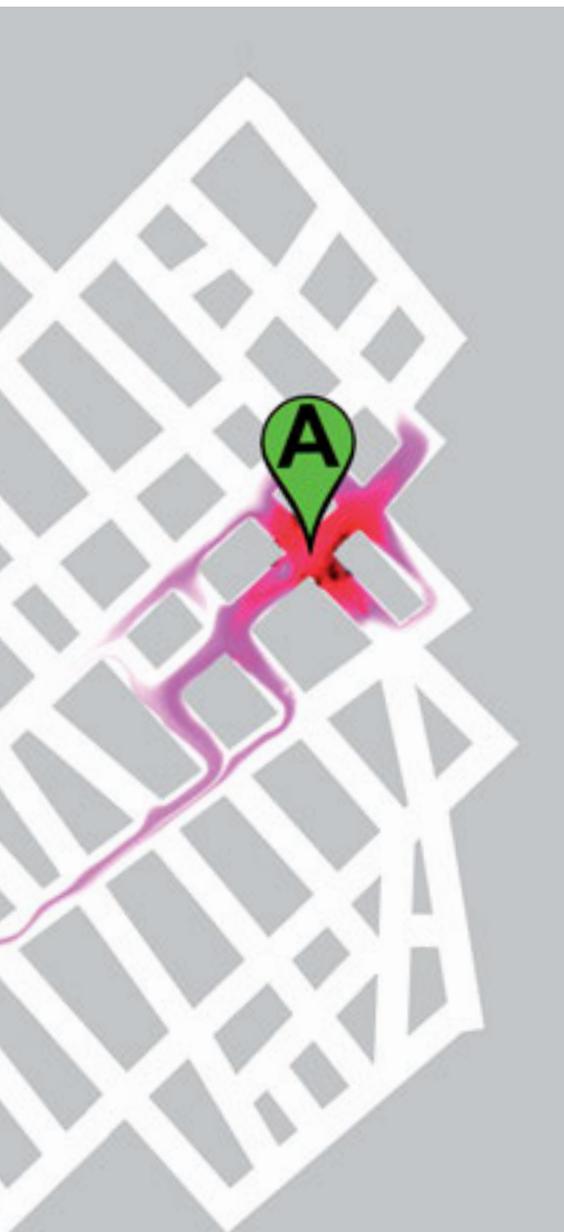
Um den richtigen Weg zu finden, braucht man nicht immer GPS, Karte oder Kompass. Ein Konsortium aus Forscherinnen und Forschern der Empa, aus Ungarn, Japan und Schottland hat eine chemische Methode entwickelt, den kürzesten Weg durch ein Labyrinth oder eben auf einem Stadtplan zu finden. Was heutigen Navigationscomputern eine enorme Rechenleistung abverlangt, lässt sich auch erreichen, indem man sich die Gesetze der physikalischen Chemie zunutze macht, also so genanntes Chemical Computing betreibt.

Der Trick funktioniert so: Am Ausgang eines mit alkalischer Flüssigkeit gefüllten Labyrinths wird ein mit Säure versetztes Gel angebracht. Innerhalb kurzer Zeit verteilt sich die Säure im noch alkalischen Irrgarten, der Grossteil davon bleibt allerdings zusammen mit dem Gel am Ausgang. Gibt man nun an das andere Ende des Labyrinths, also am Eingang, eine mit Farbstoffen versehene Lauge, sucht sie sich automatisch den Weg zum Ausgang – dem Ort mit dem höchsten Säuregehalt.

Dieser Vorgang ist ein Beispiel für den Marangoni-Effekt (s. Box), der eintritt, weil die im Labyrinth verteilte Säure mit der neu hinzugegebenen, gefärbten Lauge reagiert. Die Lauge wird vom Gemisch aus alkalischer Flüssigkeit und der Säure im Labyrinth abgestossen und zur Säurequelle am Ausgang geschoben. Dabei hinterlässt sie durch ihre Färbung eine deutliche Spur. Die gefärbte Lauge wählt dabei vornehmlich den kürzesten Weg. Alternative Wege werden gleichzeitig aber ebenfalls beschriftet – nur mit deutlich geringerer Wahrscheinlichkeit und damit schwächerer Farbspur. «Der Vorteil dieses chemischen Rechners gegenüber seinem elektronischen Pendant ist, dass er alle möglichen Weg-Varianten fast parallel findet, während ein Computer eine Möglichkeit nach der anderen sukzessive durchrechnet, was unter dem Strich länger dauert», erklärt Rita Tóth von der Abteilung «Hochleistungs-keramik». Zwar bestehen bereits Methoden, solche Wege mittels Flüssigkeiten ausfindig zu machen. Das neue Verfahren sei allerdings das erste, das rein chemisch funktioniert und bei dem direkt eine Farbspur den Weg anzeigt.

Im nächsten Schritt will sich das Forschungsteam an grössere und komplexere Labyrinth wagen – das Versuchsobjekt war nur gut ein Quadratzentimeter gross. Einen Test «in der Realität» hat das Verfahren aber bereits bestanden: In einem etwas grösseren Labyrinth nach dem Vorbild eines Budapester Quartiers hat die farbige Lauge ihr Ziel, eine Pizzeria, auf dem kürzesten Weg ausfindig gemacht. So könnte das System später auch einmal bei der Verkehrsplanung Verwendung finden. Auch in der Hirnforschung, der Psychologie, der Netzwerkforschung oder der Robotik sieht Entwicklerin Tóth mögliche Anwendungsgebiete. //





## Der Marangoni-Effekt

Flüssigkeiten, die sich nicht vermischen, liegen in «Schichten», so genannten Phasen, aufeinander. Zwischen diesen herrscht eine bestimmte Oberflächenspannung. Ist diese nicht mehr überall gleich stark, beginnen die Flüssigkeiten, in Richtung der höheren Oberflächenspannung zu strömen. Dies bezeichnet man als Marangoni-Effekt. Unterschiede in der Oberflächenspannung können beispielsweise durch lokale Veränderungen der Temperatur oder des pH-Werts hervorgerufen werden.

## 50 Jahre und kein bisschen leise

Vor etwas mehr als 50 Jahren entstand die Abteilung «Akustik/Lärminderung», was bei einem Jubiläumsanlass am 22. August würdig gefeiert wurde. Seit der Gründung bildet die Empa eine Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie und trägt massgeblich zu Innovationen in diesem Bereich bei. Zahlreiche Entwicklungen der Empa-«Akustiker» haben sich bereits am Markt etabliert, unter anderem der weltweit erste leichte, lichtdurchlässige und schallschluckende Vorhang. Auch das neueste Projekt an der Empa – das Gebäudelabor NEST – wird neben neuesten Wohn- und Arbeitsmethoden auch akustische Fragen klären.

Die Abteilung entstand aufgrund eines Engagements der «Liga gegen den Lärm» – die heutige «Lärmliga». Die Liga vertrat bereits umweltpolitische Anliegen, als der Umweltschutz noch kein Thema war. Eine Schrift, die Lärm in der Schweiz erstmals zum «juristischen Problem» erklärte, vermochte Politiker aller Lager zum Handeln zu bewegen. Ein erster Schritt war die Gründung einer entsprechenden Forschungsabteilung an der Empa, die ihrem Auftrag bis heute nachkommt. Die Abteilung leistete seit damals eine wesentliche Unterstützung bei der technischen Umsetzung des Lärmschutzrechts.

## Empa-Innovationspreis 2014 am ETIF verliehen

Der Empa-Innovationspreis wurde dieses Jahr im Rahmen des «Empa Technology & Innovation Forum» (ETIF) verliehen. Der Preis ging an das Team aus den beiden Abteilungen «Structural Engineering» und «Joining Technologies and Corrosion» mit dem Projekt «Shape memory steel as a new prestressing material for the building industry». Es ist eine erfolgreiche und beispielhafte Zusammenarbeit zwischen Material- und Ingenieurwissenschaften, wie der stellvertretende Direktor der Empa, Peter Richner, betont. Das Projekt setzt Formgedächtnislegierungen zur Vorspannung grosser Betontragwerke ein, was bislang ein viel zu teures Unterfangen war. Die neu entwickelte, auf Eisen basierende Formgedächtnislegierung hat das grundlegend verändert und erfüllt bezüglich Phasenumwandlungstemperatur und Korrosionsverhalten alle Anforderungen, um in Betonstrukturen eingesetzt werden zu können.



TOUCH THE SCIENCE

# Empa **News**

auf  
**iPad**  
und  
**Android**

*(Läuft nur auf Tablets, nicht auf Smartphones)*



Anzeigenmarketing:  
[rainer.klose@empa.ch](mailto:rainer.klose@empa.ch)

**Hier könnte auch Ihr Inserat stehen!**



## Veranstaltungen

22. Oktober 2014

**Baustoffqualität und -prüfung für Asphaltstrassen**

Zielpublikum: Baufachleute  
Empa, Dübendorf

23. Oktober 2014

**Green Toxicology**

Zielpublikum: Chemische, Textilindustrie und Forschung  
Empa, Dübendorf

27. Oktober 2014

**Graphen und Kohlenstoff-Nanoröhrchen**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

30. Oktober 2014

**Polymerwerkstoffe für technische Anwendungen**

Zielpublikum: Entwicklungs- und KonstruktionsingenieurInnen  
Empa, Dübendorf

19. November 2014

**Ökobilanzen als Instrument der Technologiefolgeabschätzung**

Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft  
Empa, Dübendorf

1. Dezember 2014

**Versagen von Hightech-Komponenten**

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

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)