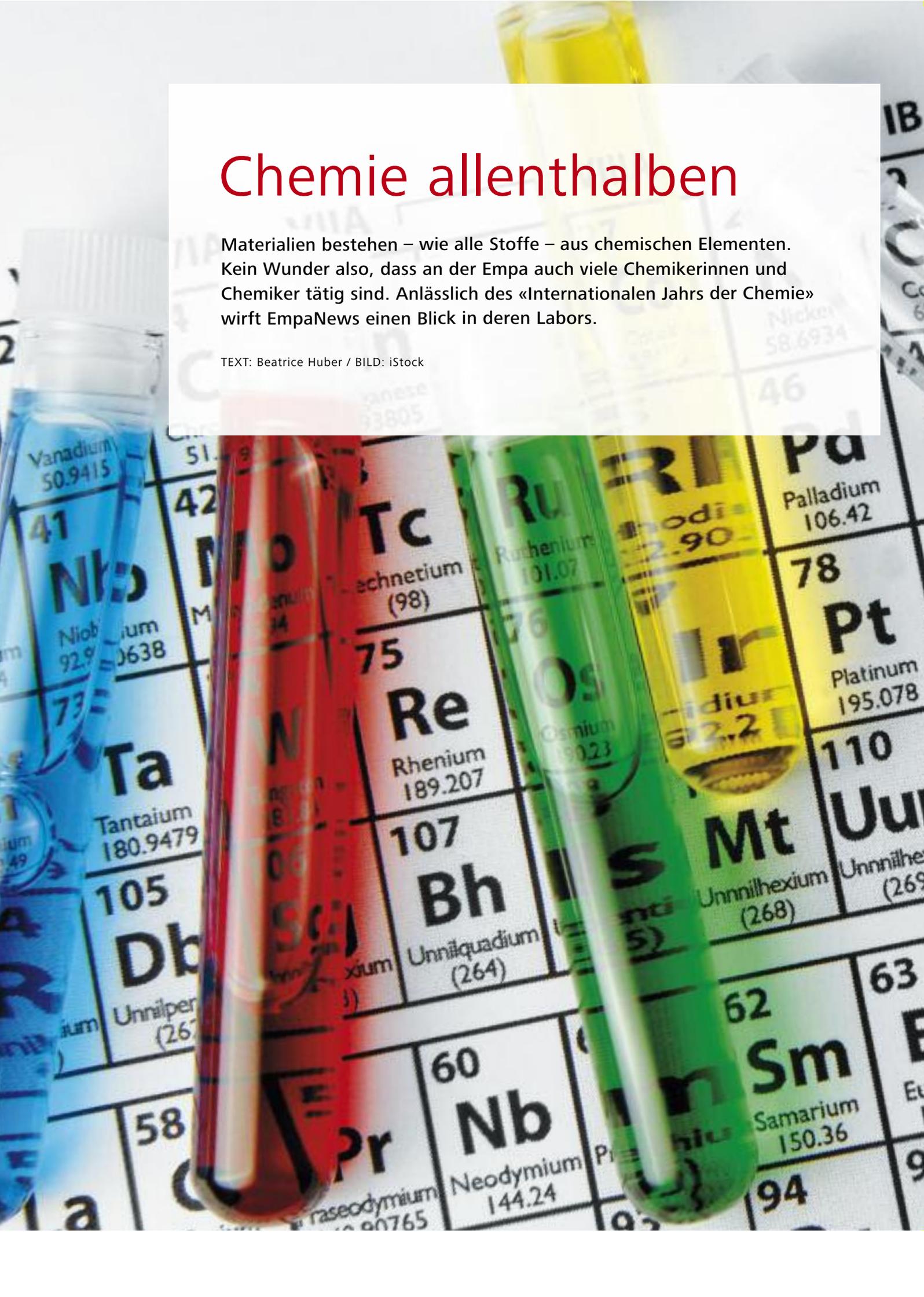
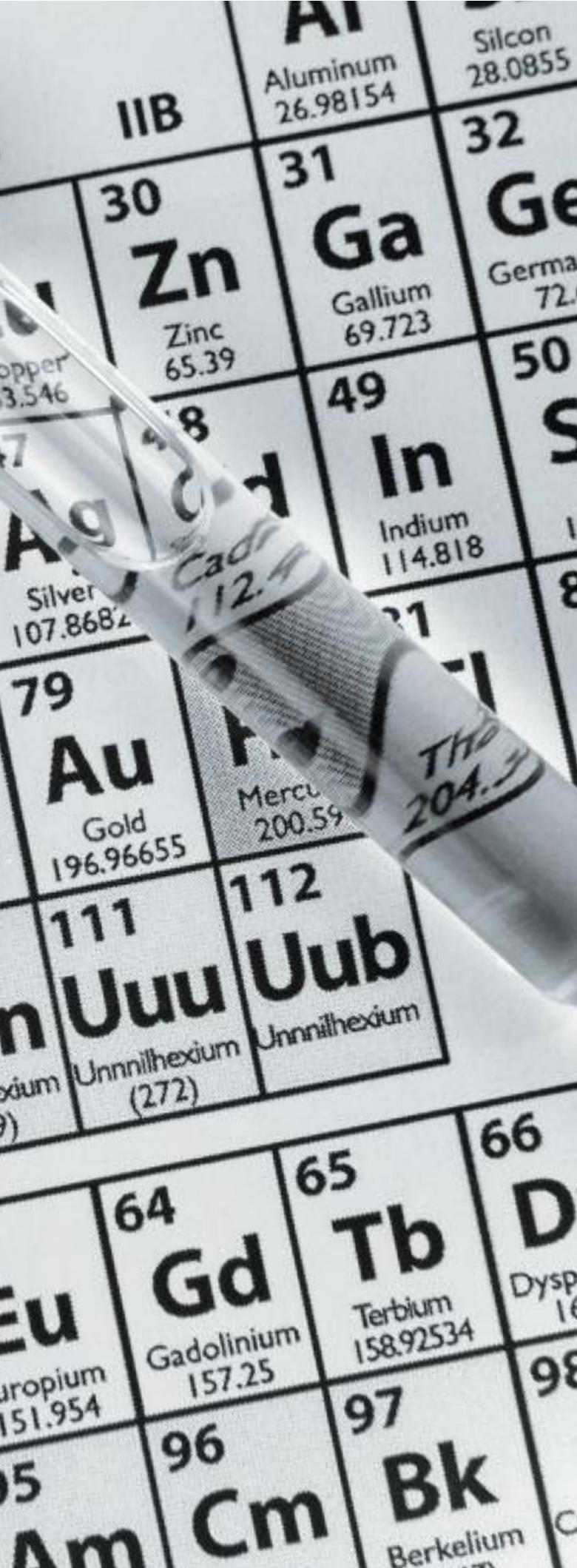


# Chemie allenthalben

Materialien bestehen – wie alle Stoffe – aus chemischen Elementen. Kein Wunder also, dass an der Empa auch viele Chemikerinnen und Chemiker tätig sind. Anlässlich des «Internationalen Jahrs der Chemie» wirft EmpaNews einen Blick in deren Labors.

TEXT: Beatrice Huber / BILD: iStock





Im Periodensystem sind die chemischen Elemente entsprechend ihrer Ordnungszahl aufgeführt. Diese Zahl entspricht der Anzahl Protonen im Atomkern. Moderne Technologien, die zum Beispiel in der Telekommunikation oder für die Mobilität eingesetzt werden, nutzen eine Vielzahl auch eher seltener Elemente wie Gold (Au), Platin (Pt), Indium (In) oder Gallium (Ga). (Bild: iStock)

Die UNESCO hat zusammen mit der IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) 2011 zum Jahr der Chemie erkoren. Unter dem Motto «Chemie – unser Leben, unsere Zukunft» sollen die Errungenschaften der Chemie sowie ihre Beiträge zum Wohle der Menschen hervorgehoben werden. Auch die Materialwissenschaft ist eng mit der Chemie verwoben, bestehen doch alle Materialien letztlich aus den Elementen des Periodensystems. Und moderne Technologien verwenden immer mehr davon, wie das Beispiel Mobiltelefon zeigt: Im Gehäuse steckt meist Kohlenstoff (in Form eines Kunststoffes) oder Aluminium, im Chip Silizium, in der Leiterplatte Gold, im Touchscreen Indium und in der Batterie Lithium. Doch das ist nur der Anfang der Liste; insgesamt sind es im Schnitt rund 40 Elemente.

Chemikerinnen und Chemiker an der Empa befassen sich unter anderem mit neuen Materialien, die leistungsfähiger, günstiger und umweltfreundlicher sein sollen als die heute eingesetzten (siehe Artikel auf Seite 16). Dazu synthetisieren sie zahlreiche bislang unbekannte Materialien und untersuchen deren Eigenschaften. Ein weiteres wichtiges Gebiet der Chemie ist die Analytik. Empa-Forschende können beispielsweise nachverfolgen, wie langlebige Schadstoffe, die zum Teil bereits vor Jahrzehnten verboten wurden, sich in verschiedenen Ökosystemen anreichern (siehe Artikel auf nachfolgender Seite).

#### Würdigung für Marie Curie

Mit dem Jahr der Chemie wird auch das Schaffen von Maria Skłodowska Curie gewürdigt. Die aus Polen stammende Wissenschaftlerin erforschte in Paris das Phänomen der Radioaktivität. Genau vor 100 Jahren erhielt Marie Curie den Chemie-Nobelpreis für die Entdeckung der chemischen Elemente Radium und Polonium, die beide radioaktiv sind. Sie war nicht nur die erste Frau, die mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde, sondern auch eine von nur vier Personen, die den Nobelpreis zweimal erhielten; ihr wurde bereits 1903 zusammen mit Henri Becquerel und ihrem Ehemann Pierre Curie der Nobelpreis für Physik verliehen. //

# Kurz nützlich, lang lästig

Manche Industriechemikalien lagern sich in der Umwelt ab und gefährden noch Jahrzehnte später die Gesundheit von Mensch und Tier. Um zu zeigen, wo und in welchen Mengen poly- und perfluorierte Verbindungen (PFC) sowie polychlorierte Biphenyle (PCB) vorliegen, entwickeln ChemikerInnen der Empa massgeschneiderte, hochempfindliche Analysenmethoden.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa

Manche «Veredler» entpuppen sich im Nachhinein als Bumerang. Um Materialien die gewünschten Eigenschaften zu verleihen, verwenden viele Industriezweige chemische Verbindungen, die sich in der Umwelt nur schlecht oder gar nicht zersetzen. Oft tauchen diese dann noch Jahrzehnte nach ihrem Produktionsstopp in Gewässern, Luft und Sedimenten auf, reichern sich in unerwartetem Ausmass in der Natur an und offenbaren ernst zu nehmende Gefahren für Mensch und Tier.

## Hartnäckig oberflächenaktiv – perfluorierte Verbindungen

Etwa perfluorierte Verbindungen (engl. «perfluorinated compounds», PFC), organische Kohlenwasserstoffverbindungen, bei denen sämtliche Wasserstoffatome durch Fluoratome ersetzt sind. PFC sind ausserordentlich temperaturresistent und chemisch fast unverwundlich. Normale Kläranlagen scheitern an ihnen, da sie nicht abgebaut oder «rausgefiltert» werden können.

Der Vorteil von PFC: Sie sind gleichzeitig Fett und Wasser abweisend. Die Textil- und auch Papierindustrie benutzen länger-kettige PFC, um Schmutz, Fett und Wasser abweisende Stoffe und Verpackungen zu produzieren, beispielsweise Regenjacken und Einwickelpapier für Hamburger. PFC können aber auch in Schmier-, Imprägnier- und Skiwachsmitteln enthalten sein.

PFC mit einer hydrophilen, wasserliebenden Endgruppe, so genannte perfluorierte Tenside (PFT), verringern zudem die Oberflächenspannung von Löserschäumen. Indem sie sich nahezu vollständig über ei-

nen Kerosinbrand verteilen und zwischen Brandgut und Schaum einen gasdichten Flüssigkeitsfilm bilden, unterbinden sie die Zufuhr von Sauerstoff. Auch in der galvanischen Industrie sind einige dieser PFT beliebt; sie verhindern während der Hartverchromung in offenen Metallbädern das Entstehen von toxischen Nebeln.

Bislang sind PFC ohne Einschränkungen «im Einsatz»; nur eines der wichtigsten PFT, das Perfluorooctansulfonat (PFOS), darf seit 2010 bloss noch eingeschränkt industriell verwendet werden: Es steht im Verdacht, Krebs erregend zu sein. Im Körper binden PFC an Proteine, sie sind im Blut und vor allem in der Leber nachweisbar, wo sie, wie Studien an Tieren gezeigt haben, Krebs verursachen können.

**Nachgewiesen in Bergseen und Eisbären**  
«PFC findet man wirklich überall in der Umwelt, sogar in der Leber von Eisbären», sagt Claudia Müller, Doktorandin in der Empa-Abteilung «Analytische Chemie», die ihre Dissertation bei Konrad Hungerbühler, Professor für Sicherheits- und Umweltschutztechnologie an der ETH, über die problematischen Verbindungen schreibt. «Das war in den 1950er-Jahren, als die industrielle Nutzung dieses Stoffes einsetzte, nicht vorherzusehen.» Erst vor rund zehn Jahren sei das Problem erkannt worden. 2006 waren dann in Nordrhein-Westfalen erstmals Grund- und Trinkwasser mit PFT verseucht. Landwirtschaftliche Betriebe hatten falsch deklarierten «Biodünger» – in Wahrheit PFT-haltiger Industriemüll – benutzt, der nach Regenfällen von den Feldern in die Flüsse Möhne und Ruhr gespült wurde. Die Sanie-



Wie lassen sich schlecht wasserlösliche Stoffe, wie PCB, nachweisen? Passivsammler aus einem speziellen Silikongummi wurden an einer Stange befestigt ins Wasser gesetzt, wo sie vier Wochen verblieben.



rungskosten beliefen sich auf mehrere Millionen Euro, die BürgerInnen werden seitdem regelmässig auf Giftrückstände untersucht; auch Jahre nach dem Skandal sind noch Belastungen festzustellen.

«Doch wie sieht es in der Schweiz aus?», fragte sich das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Im Allgemeinen sind die PFC-Konzentrationen hier zu Lande zwar niedrig. Doch noch liegt zu wenig Wissen über die Quellen vor und darüber, wie sich die Substanzen in der Umwelt ausbreiten. Denn die Verbindungen sind äusserst beweglich und nur sehr aufwändig zu analysieren. Eine Herausforderung, die Claudia Müller reizte: «Mich interessierten in erster Linie die Zusammenhänge: Kommen perfluorierte Verbindungen eher aus Privathaushalten oder aus industriellen Prozessen? Gibt es grosse Punktquellen, wie beispielsweise Flughäfen? Wie weit verbreitet sind PFC-Produkte?» An 44 Stellen in der ganzen Schweiz, aus verschiedenen Flüssen und Seen sowie einem abgelegenen Bergsee und mehreren möglichen «Hot-Spots» – Stellen in der Nähe von Flughäfen und Metallveredlungsbetrieben –, entnahm sie Proben, um deren Belastung mit 14 perfluorierten Stoffen zu bestimmen.

#### Verbreitung von PFC in der Schweiz

Die Analyse gestaltete sich alles andere als einfach. Zuerst einmal sind PFC sehr oberflächenaktiv und haften gerne an den Probenbehältern. Ausserdem musste Müller penibel darauf achten, dass die Proben nicht «kontaminiert» wurden. Denn geringe Spuren von PFC finden sich – wie überall – auch in den Labors der Empa. Gemeinsam mit ihren Kollegen im Team von Empa-Forscher Andreas Gerecke entwickelte sie ein Verfahren, um PFC aus den Wasserproben zu extrahieren und mit einem Massenspektrometer zu analysieren. Ergebnis: Die Konzentrationen der verschiedenen Substanzen waren generell tief, zwischen 0,02 und 10 Nanogramm pro Liter. Zudem konnte sie nachweisen, dass die Belastung gut mit der Bevölkerungszahl korrelierte. Das weist darauf hin, dass die Emissionen aus Konsumgütern stammen, zum Beispiel aus Putzmitteln, imprägnierten Textilien und Möbeln, und nicht aus Industrieprozessen.

Ist deshalb Entwarnung angesagt? Nicht unbedingt. «Einerseits», so Claudia Müller, «zeigen die Proben nur eine Momentaufnahme». Das BAFU werde deshalb neue Studien in Auftrag geben, in denen mit der neuen Analysenmethode Klärschlamm auf PFC untersucht werden soll.

«Andererseits können sich die Stoffe in der Natur anreichern. Das ist möglicherweise an gewissen Schweizer Flüssen ein Nachteil für Fisch fressende Vögel», sagt sie.

#### CityPOP – Emissionen aus Baumaterialien

Als nächstes gehen die ForscherInnen der Abteilung «Analytische Chemie» der Frage nach, wie und von wo PFC in einen abgelegenen Bergsee gelangen können – vermutlich via Verfrachtung über die Luft. Erste Proben wurden kürzlich im Rahmen des neu gestarteten Projekts «CityPOP» gesammelt. An 30 Standorten in der Stadt Zürich wurden einen Monat lang eigens präparierte Schaumstofffilter der Luft ausgesetzt. Dieses von Stadt und Kanton Zürich sowie vom BAFU unterstützte Projekt soll klären, welche chemischen Substanzen von Baumaterialien in Gebäuden der Stadt Zürich an die Luft abgegeben werden.

Gerecke und der ETH-Forscher Christian Bogdal konzentrieren sich dabei vor allem auf langlebige organische Schadstoffe (engl. «persistent organic pollutants», POP) wie etwa das Flammenschutzmittel HBCD (Hexabromcyclododecan). HBCD wird in Polystyrol-Bauelementen eingesetzt, den hellblauen oder rosaroten Platten, die der Gebäudeisolation dienen. Diese und weitere Substanzen, wie etwa Weichmacher, treten auch Jahrzehnte nach dem Einbau noch aus den Baumaterialien aus, ein typisches Beispiel für «Altlasten» im Baubereich. Aus den Messdaten wollen Gerecke und Bogdal bis im nächsten Jahr eine Karte erstellen, die zeigt, welche Quartiere wie stark von POP-Emissionen aus Baumaterialien belastet sind. Diese Erkenntnisse werden auch dazu beitragen, emissionsfreie Baumaterialien zu entwickeln.

#### Langlebig und giftig – polychlorierte Biphenyle (PCB)

Als unerfreuliches «Erbe» erwiesen sich auch die bis in die 1980er-Jahre eingesetzten polychlorierten Biphenyle (PCB). Verwendet wurden sie beispielsweise als Kühl- und Isolierflüssigkeiten in Transformatoren und Kondensatoren, als Hydrauliköle sowie als Weichmacher und Brandverzögerer in Anstrichmitteln, Dichtungsmassen und Kunststoffen. Seit 1986 gilt in der Schweiz ein Totalverbot dieser giftigen und Krebs auslösenden Stoffe. Trotzdem sind in der Schweiz auch heute noch grosse Mengen PCB aus früheren Anwendungen vorhanden, etwa rund 100 Tonnen in Fugendichtungsmassen in Gebäuden. Weitere mögliche PCB-Quellen sind Mülldeponien, Industriebrachen und das Metallrecycling (zum Beispiel in Metallshredder).

>>

Aus diesen «Reservoirs» können PCB in die Umwelt freigesetzt werden und sich wie PFC in der Nahrungskette anreichern. So wurden 2007 Fische aus der Saane im Kanton Fribourg und aus der Birs im Kanton Jura mit einer hohen PCB-Belastung entdeckt: Die in Lebensmitteln erlaubte Höchstkonzentration von acht Picogramm Toxizitätsäquivalenten pro Gramm Frischgewicht wurde zum Teil um das Zehnfache überschritten. Freizeitfischern wurde empfohlen, den Verzehr der in diesen Gewässern gefangenen Fische einzuschränken; für besonders belastete Flussabschnitte wurde ein Fischfangverbot erlassen.

**Neuartige PCB-Sammler aus Silikon**

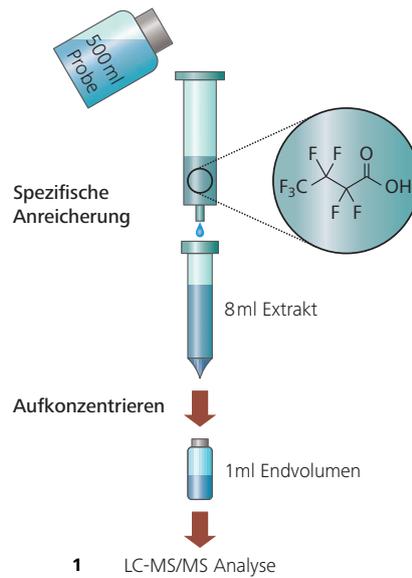
Gleichzeitig machten sich die betroffenen Kantone daran, die PCB-Quellen im Einzugsgebiet der Flüsse zu identifizieren, um mit den Geländebesitzern allfällige Sanierungsmassnahmen einleiten zu können. Der Fall Saane war schnell gelöst: Die Emissionsquelle ist die ehemalige Deponie von La Pila, rund sieben Kilometer von Fribourg flussaufwärts.

Die Situation an der Birs unterhalb von Choindéz musste von der Empa im Auftrag des Kantons Jura jedoch genauer unter die Lupe genommen werden. «Denn der Fisch ist für uns nur ein Bioindikator», erklärt Projektleiter Markus Zennegg, Chemiker an der Empa. Da Fische ständig unterwegs seien, befände sich der Fangort der hoch belasteten Fische nicht unbedingt in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle. Zusammen mit Forschenden der Eawag entwickelte Zennegg deshalb ein Analysenverfahren, mit dem sich nun erstmals auch «homöopathische» Mengen des dioxinähnlichen PCB in Gewässern nachweisen lassen.

Der dafür verwendete «Passivsammler» besteht aus einem speziellen Silikon-gummi in A5-Grösse, der ähnlich einer Fahne an einer Stange befestigt und im Fluss platziert wird. Zennegg und seine KollegInnen setzten zu zwei verschiedenen

Zeitpunkten je 13 dieser Fahnen an unterschiedlichen Stellen in die Birs. Nach jeweils vier Wochen hatten sich dort Stoffe angereichert, die schlecht wasserlöslich sind und sich deshalb gerne auf Öl-ähnlichen Oberflächen wie Silikon niederlassen. «Wie ein Fisch die Schadstoffe über Kiemen und Haut aufnimmt, so diffundieren PCB aus dem Wasser in den Kunststoff», erläutert Zennegg.

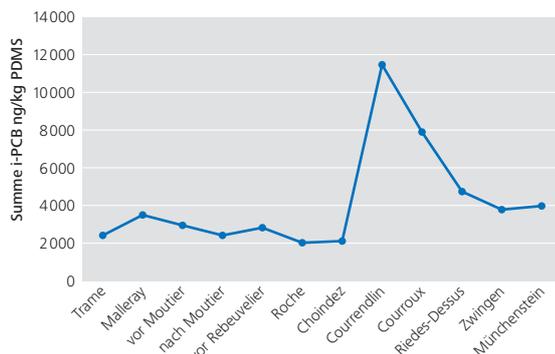
Durch die Auswertung des angesammelten Materials wurde klar, dass ein Fabrikstandort flussabwärts von Choindéz die Quelle sein musste, auf dem seit Mitte des 19. Jahrhunderts Stahl produziert wurde, und wo noch heute Stahl verarbeitet und auch recycelt wird. Flussaufwärts wurden keine erhöhten PCB-Werte gemessen. Der Kanton Jura klärt zurzeit mit den Betreibern der Produktionsanlage die Herkunft der in die Birs gelangenden PCB ab und arbeitet Massnahmen aus, um in Zukunft Einträge ins Gewässer zu unterbinden. //



1 Die Analyse der verschiedenen poly- und perfluorierten Substanzen gestaltete sich schwierig, weil die Verbindungen auch sehr oberflächenaktiv sind.

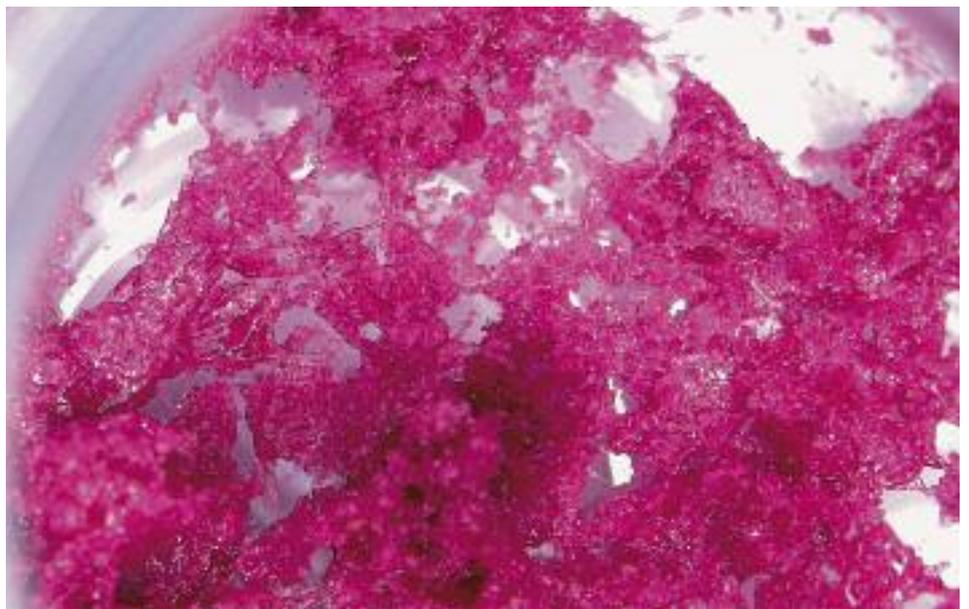
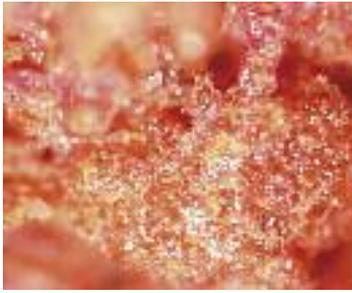
2 Aus der Aare am Grimsel wurden Wasserproben entnommen und auf PFC untersucht.

3 Wie die Auswertung des Materials aus dem Passivsammler zeigte, wurden die grössten Mengen an PCB in der Birs flussabwärts zwischen Choindéz und Courrendlin gefunden.



3

2



# Designatelier für Materialien

Selbst alltägliche Technologien wie Abgaskatalysatoren oder wiederaufladbare Batterien für Mobiltelefone und Elektrofahrzeuge nutzen «exotische», das heisst seltene Elemente. Diese sind teuer und oft auch noch giftig. An der Empa forschen Chemikerinnen und Chemiker an neuen Materialien aus gut verfügbaren, preiswerten und umweltfreundlichen Elementen.

TEXT: Beatrice Huber / BILDER: Empa

Die Vielfalt der Materialien, die in der modernen Technik eingesetzt werden, ist schier unbegrenzt. Die Werkstoffe enthalten sehr häufig vorkommende chemische Elemente, zum Beispiel Titan, Eisen oder Aluminium, aber auch sehr seltene wie Tellur (für Solarzellen) oder Rhodium (für Katalysatoren).

Doch die Suche nach neuen, besseren Materialien macht ständig Fortschritte. Dabei geht es einerseits darum, Materialeigenschaften zu optimieren, andererseits um den Ersatz von Materialbestandteilen, die hinsichtlich Verfügbarkeit (Tellur), Preis (Edelmetalle) oder Umwelteinfluss (Cadmium) Nachteile aufweisen.

## Multitalent Perowskite

Empa-Forscherin Anke Weidenkaff arbeitet mit ihrer Abteilung «Festkörperchemie und -katalyse» bereits seit längerem mit perowskitartigen Metalloxiden. Dabei handelt es sich um eine Substanzklasse mit der chemischen Summenformel  $ABO_3$  – A und B stehen für Übergangsmetalle, O ist Sauerstoff. Aufgrund ihrer hohen Temperatur-, Druck- und Oxidationsstabilität sind sie vielseitig einsetzbar und ökologisch unbedenklich. Im natürlich vorkommenden Perowskit ist A Calcium und B Titan. «Dank ihrer flexiblen und dennoch

An der Empa arbeiten Chemikerinnen und Chemiker mit perowskitartigen Metalloxiden. Da diese Substanzklasse eine flexible und dennoch stabile Kristallstruktur besitzt, lässt sich die chemische Zusammensetzung stark variieren, wodurch physikalische Eigenschaften der Materialien – beispielsweise die Farbe – verändert werden können.



stabilen Kristallstruktur kann die chemische Zusammensetzung der Perowskite stark variieren», beschreibt Weidenkaff die Vorzüge. «Durch gezielten Austausch der Metallionen, aber auch des Sauerstoffs können wir die physikalischen Eigenschaften der Materialien optimieren, also magnetisches Verhalten, elektrische und thermische Leitfähigkeit, Farbe und vieles mehr.» Die Idee ist dabei immer, einfach verfügbare, preiswerte und umweltfreundliche Elemente zu nehmen und so neue Materialien für unterschiedliche Anwendungen zu synthetisieren. Zum Beispiel für wiederaufladbare Batterien in Elektrofahrzeugen, für Abgaskatalysatoren und als so genannte Thermoelektrika, das heisst Materialien, die Wärme direkt in Strom umwandeln.

### Stromspeicherung als Schlüsseltechnologie

Erneuerbare Energiequellen wie Sonne und Wind haben den Nachteil, dass sie nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen und somit nicht «bedarfsgerecht» genutzt werden können. Deshalb kommt Technologien zur Energieumwandlung und -speicherung eine Schlüsselposition zu, um das Angebot auf die Nachfrage abzustimmen und erneuerbaren Energien zum Durchbruch zu verhelfen. An der Empa findet das zum Beispiel auch Ausdruck in Forschungsprojekten zu Polymersolarzellen oder solarer Wasserspaltung.

Besonders für den mobilen Einsatz sind Batterien das Speichermedium der Wahl. Diese wandeln Strom in chemische Energie um und machen ihn so «speicherbar». Wird der Prozess umgekehrt, entsteht aus der chemischen Energie wieder Strom, beispielsweise für den Antrieb von Elektrofahrzeugen oder Plug-in-Hybridfahrzeugen. Batterien müssen drei Grundanforderungen erfüllen, nämlich sicher, zuverlässig und bezahlbar sein. Dass diese Anforderungen hoch sind, zeigt eine kleine Rechnung. Künftig soll die Lebensdauer der Batterien denjenigen der Fahrzeuge entsprechen, also im Schnitt rund 15 Jahre. Geht man davon aus, dass die Batterie täglich aufgeladen wird, ergibt das insgesamt rund 5500 Lade- und Entladezyklen. Heutzutage erreichen nur hochwertige Batterien, die für den Einsatz in Elektrofahrzeugen viel zu teuer sind, diese Zyklenzahl.

### Ersatz für das «Schwergewicht» Cobaltoxid

Lithium-Ionen-Batterien gelten derzeit als Stand der Technik. Perfekt sind sie aber noch lange nicht. So ist das in Lithiumcobaltdioxid ( $\text{LiCoO}_2$ ), das häufig als Kathodenmaterial eingesetzt wird, enthaltene Cobalt schwer, was auch die Batterien schwer macht, und aufgrund seiner Seltenheit teurer als andere Übergangsmetalle. Materialien, die wenig oder gar kein Cobalt enthalten, dafür beispielsweise Mangan, sind zurzeit ein gefragtes Forschungsthema. Die Empa geht noch einen Schritt weiter. «Wir wollen nicht einfach nur das Cobalt ersetzen», sagt Angelika Veziridis aus dem Team von Anke Weidenkaff. «Wir suchen nach ganz neuen Materialien, denn auch die Leistung der Batterien, das heisst, Energiedichte und Zuverlässigkeit, muss deutlich besser werden.»

#### 1

In den Laborversuchen geht es nicht einfach nach «Trial and Error»; die Empa-Forschenden befassen sich intensiv mit der Frage, welche Beziehungen zwischen Kristallstruktur, Zusammensetzung, Mikrostruktur und Eigenschaften des Materials bestehen.

Perowskitartige Metalloxide zeigen bei Raumtemperatur eine sehr hohe Leitfähigkeit für Lithium-Ionen, was sie als alternative Elektrolytmaterialien, aber auch als Anode oder Kathode in Lithium-Ionen-Batterien interessant macht. Die Empa-Forschenden versuchen durch Substitutionen diese Leitfähigkeit noch weiter zu erhöhen. Dazu tauschen sie nicht nur die Metallionen aus, sondern auch den Sauerstoff durch Stickstoff. Diese Oxidnitride weisen eine höhere Lithiumkapazität und eine bessere Leitfähigkeit auf. Zudem sind sie chemisch und thermisch stabiler als reine Oxide oder Nitride.

### Beziehung zwischen Zusammensetzung, Struktur und Wirkung

Die Chemikerinnen und Chemiker setzen in ihren Versuchen allerdings nicht einfach auf «Trial and Error», sondern befassen sich auch intensiv mit der Frage, wie die Zusammensetzung und damit auch die Mikrostruktur die Eigenschaften des Materials beeinflussen. «Nur wenn wir die Kristallstruktur oder die Orte, an denen mobile Ionen in die Kristallstruktur eingelagert werden, oder den Oxidationszustand des Übergangsmetalls genau kennen, können wir ermitteln, wie die Struktur der Materialien deren Eigenschaften beeinflusst», sagt Weidenkaff. In enger Zusammenarbeit mit Forschenden anderer Empa-Abteilungen und der ETH Zürich synthetisiert Weidenkaffs Team verschiedene komplexe Oxide und Oxidnitride und untersucht unter anderem, wie diese sich in Batterien einsetzen lassen.

### Weniger Edelmetall in Katalysatoren

Kurzfristig lässt sich effiziente Mobilität jedoch ohne fossile Energieträger noch nicht realisieren. Dabei kommt dem Erdgas als Treibstoff eine immer grössere Bedeutung zu, da beim Verbrennen im Vergleich zu Benzin und Diesel weniger Stickoxide und CO<sub>2</sub> entstehen. Die Abgase von Erdgasfahrzeugen müssen jedoch speziell behandelt werden, um Spuren von nicht verbranntem Methan zu entfernen. Denn Methan ist ein starkes Treibhausgas, mehr als 20-mal klimaschädlicher als CO<sub>2</sub>.

Bislang wurden Katalysatoren aus benzinbetriebenen Fahrzeugen lediglich an das Emissionsprofil von Erdgasfahrzeugen angepasst. Damit aber auch geringe Methanmengen katalytisch entfernt werden können, enthalten diese mindestens dreimal mehr Edelmetalle. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Intelligente Materialien» entwickeln Forschende der Abteilung «Festkörperchemie und -katalyse» zusammen mit Ingenieuren der Abteilung «Verbrennungsmotoren» neuartige Katalysatoren speziell für Erdgasfahrzeuge. Diese sollen langlebig sein und mit wenig Edelmetall auskommen. Auf Rhodium, Bestandteil der gängigen Katalysatoren, aber eines der seltensten und deshalb auch teuersten Metalle überhaupt, will das Empa-Team ganz verzichten. Stattdessen nutzen die Forschenden die von perowskitartigen Me-

talloxiden bekannte Eigenschaft, Edelmetallatome in oxidierender Atmosphäre in ihr Kristallgitter einzubauen und in reduzierender Atmosphäre an ihrer Oberfläche auszuscheiden. Dadurch werden unerwünschte Sinterungsprozesse minimiert und die katalytische Aktivität bleibt dauerhaft erhalten.

Das Forschungsteam untersucht momentan die katalytische Effizienz verschiedener perowskitartiger Metalloxide, indem sie sowohl Struktur und chemische Zusammensetzung als auch die Reaktivität in Oxidations-Reduktions-Zyklen, wie sie für Autoabgaskatalysatoren typisch sind, analysieren. Erste ermutigende Resultate mit LaFe<sub>0.95</sub>Pd<sub>0.05</sub>O<sub>3</sub> sind erreicht. In einem weiteren Schritt sollen dann Materialien, die im Labor viel versprechende Ergebnisse gezeigt haben, in einem realen, mit Erdgas betriebenen Motor getestet werden.

### Ersatz für den «Problemfall» Tellur

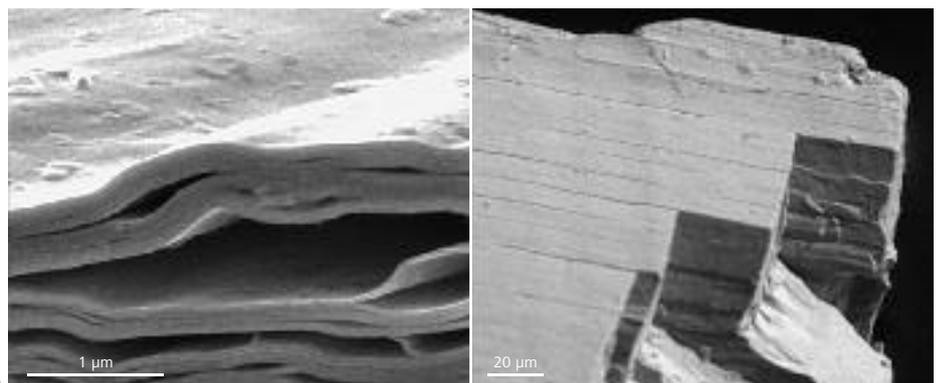
Für eine nachhaltige Energieversorgung ist letztlich aber unabdingbar, Primärenergieträger einzusparen und effizienter zu nutzen. Technische Geräte und Anlagen produzieren zum Teil sehr viel Abwärme, die meist ungenutzt verpufft – oder sogar noch aufwändig abgeführt werden muss. Thermoelektrische Generatoren können diese Abwärme direkt, ohne mechanisch bewegte Teile, in Strom umwandeln. Allerdings wurden solche Generatoren bislang nur in Nischenanwendungen wie Raumsonden oder Bojen eingesetzt, da keine günstigen und effizienten thermoelektrischen Materialien verfügbar waren. So ist Tellur, Bestandteil der zurzeit gängigsten Thermoelektrika, selten, teuer und dazu noch giftig. Zudem ist der Wirkungsgrad dieser Materialien bescheiden und sie sind nur bis Temperaturen von 300 Grad Celsius stabil.

Das Team von Anke Weidenkaff versucht, auch für Thermoelektrika perowskitartige Metalloxide zu entwerfen. Da diese Oxide an der Luft thermisch äusserst stabil sind, eignen sie sich für Anwendungen bei Temperaturen bis 1000 Grad Celsius. Die Forschenden suchen nach neuen Thermoelektrika, optimieren die Materialien aber auch, indem sie sie zum Beispiel nanostrukturieren. So wird die unerwünschte Wärmeleitfähigkeit reduziert, gleichzeitig aber die gewünschte elektrische Leitfähigkeit erhöht.

Ein nanostrukturiertes Metalloxid (bestehend aus Sauerstoff, Calcium, Mangan und Niob) konnten die Forschenden bereits herstellen. Es zeigt im Vergleich zum mit herkömmlichen Festkörperreaktionen synthetisierten Oxid eine Verdoppelung der Kennzahl ZT und stellt somit das beste bisher bekannte n-leitende perowskitartige Thermoelektrikum dar. ZT ist das Mass für die Güte eines thermoelektrischen Materials. Die derzeit besten Thermoelektrika haben ZT-Werte zwischen 0,8 und 1,1. Die Erhöhung der Güte auf ZT-Werte zwischen 1,2 und 1,5 bei guter thermischer Stabilität würde ausreichen, damit der einst thermoelektrische Generatoren aus der Wärme der Autoabgase den gesamten Strom erzeugen, den das Auto benötigt. //

2

Nicht nur die chemische Zusammensetzung beeinflusst die physikalischen Eigenschaften eines Materials, sondern auch die Strukturierung. Im Bild Elektronenmikroskopaufnahmen von perowskitartigen Metalloxiden.



2



Das Resultat einer Masterarbeit: Einkristalle mit thermoelektrischen Eigenschaften. (Bild: Empa)

### Zum Chemiepraktikum an die Empa

Direkter geht Wissenstransfer nicht: Jeweils im Herbstsemester absolvieren Chemiestudierende der Universität Bern einen Teil ihres Anorganisch-Chemischen Praktikums in der Empa-Abteilung «Festkörperchemie und -katalyse». Da es sich nicht lohnt, nur für einzelne Stunden von Bern nach Dübendorf zu reisen, sind die Praktika als zweitägige Blöcke organisiert. Das wiederum ermöglicht es, umfassendere Versuche im Labor durchzuführen. Studienobjekte sind perowskitartige Verbindungen (keramische Oxide) für Abgaskatalysatoren und thermoelektrische Konverter zur Wärmeverstromung. Die jungen Leute synthetisieren die Materialien und untersuchen diese auch eingehend. So werden sie in diverse Methoden eingeführt, beispielsweise zur Element- und Kristallstrukturanalyse oder wie die Morphologie von Materialien mit dem Elektronenmikroskop untersucht werden kann.

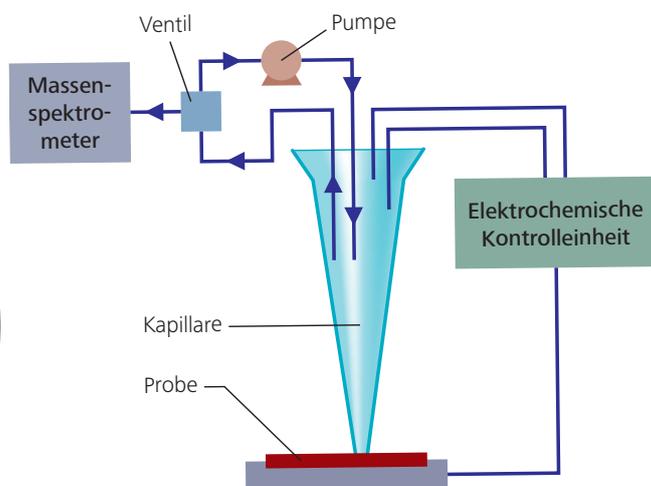
Diese Praktika haben Studierende auch schon motiviert, ihre Masterarbeit an der Empa zu machen. So aktuell David Moser: Im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunkts MANeP (Materialien mit neuartigen elektronischen Eigenschaften) befasst er sich in seiner Masterarbeit mit der Herstellung thermoelektrischer Einkristalle (für Untersuchungen per Angle Resolved Photoemission Spectroscopy ARPES). «Der direkte Zugang zu allen benötigten Analysengeräten, das interdisziplinäre Arbeiten und das grosse Team sind aus meiner Sicht die Vorteile gegenüber einer klassischen Uni», sagt Moser. «Ich erhalte genügend Zeit zum Lernen und kann so an den Aufgaben wachsen.»

### Erwünschte Korrosion für Implantate

Korrosion ist normalerweise unerwünscht, doch sie kann auch genutzt werden, etwa für bioresorbierbare Implantate. Dabei ist das richtige Timing entscheidend: Das Implantat muss seine Funktion erfüllen und soll sich deshalb gleichmässig und in einem bestimmtem Tempo auflösen. Die Empa-Abteilung «Analytische Chemie» hat ein Analysengerät entwickelt, um lokale Auflösungsprozesse während der Korrosion zu messen. So kann festgestellt werden, welche Metalle sich aus einer Legierung schneller herauslösen und welche nicht. Der automatisierte Betrieb erlaubt dabei nicht nur Momentaufnahmen, sondern auch das Messen zeitlicher Verläufe. In Zusammenarbeit mit der Abteilung «Korrosion und Werkstoffintegrität» werden derzeit mit diesem Aufbau Magnesium-Legierungen untersucht, die wegen der hohen Biokompatibilität für selbstauflösende Implantate besonders interessant sind. Das Korrosionsverhalten hängt stark davon ab, welche Legierungsmetalle vorhanden und wie sie verteilt sind. So sind Einschlüsse häufige Angriffspunkte für lokale Korrosion. Zudem untersuchen die Empa-Forschenden, in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und Industriepartnern, wie beispielsweise Metalle aus der Gruppe der Seltenen Erden die kontrollierte zeitliche Auflösung der Magnesiumlegierungen verzögern können.



Wie lassen sich Nanopartikel in einem so flüchtigen Medium wie dem Aerosol einer Spraydose messen? Empa-Forschende haben dazu einen Versuchsaufbau entworfen. Untersucht werden verschiedene Sprayprodukte und das Verhalten von Spraydosen mit standardisierten Sprühköpfen. (Bild: iStock)



Schema des neu entwickelten Analysengeräts: Auf die zu untersuchende Probe ist eine dünne Kapillare aufgebracht, durch die eine korrosive Lösung (beispielsweise eine Kochsalzlösung) gepumpt wird. In definierten Zeitintervallen wird ein kleiner Teil der Lösung aus der Kapillare durch ein Ventil entnommen und sofort in einem Massenspektrometer auf die chemische Zusammensetzung analysiert. (Bilder: iStock, Empa)



International Year of  
**CHEMISTRY**  
2011

### Tage der offenen Tür

Das Jahr der Chemie nehmen verschiedene Schweizer Universitäten zum Anlass, ihre Labors zu öffnen und so der Bevölkerung Einblick in die chemische Forschung zu geben. Die meisten Veranstaltungen finden am Samstag, 18. Juni, statt. Details dazu gibt es unter den angegebenen Internetadressen oder [www.chemistry2011.ch](http://www.chemistry2011.ch). Weitere Informationen zum Jahr der Chemie finden sich unter [www.chemistry2011.org](http://www.chemistry2011.org) (in Englisch).

#### – Universität Basel

Fest der Moleküle  
Departement Chemie  
[www.fest-der-molekuele.ch](http://www.fest-der-molekuele.ch)

#### – Universität Bern

Tag der offenen Tür  
Departement für Chemie und Biochemie  
Eine der Referentinnen ist Anke Weidenkaff, Empa-Abteilungsleiterin und Professorin an der Universität Bern.  
[www.dcb.unibe.ch](http://www.dcb.unibe.ch)

#### – Universität Fribourg

Fest der Chemie  
Departement Chemie

#### – Universität Zürich / ETH Zürich

Kulturleistung Chemie  
Universität Zürich Campus Irchel («Farbstoffe, Duftstoffe, Kunststoffe»)  
ETH Zürich Campus Hönggerberg («Werkstoffe, Wirkstoffe, Naturstoffe»)  
[www.kulturleistungchemie.ch](http://www.kulturleistungchemie.ch)

### Nanopartikel aus der Spraydose

Weltweit sind schon mehr als 1000 Alltagsprodukte mit synthetischen Nanopartikeln auf dem Markt. Darunter befinden sich auch Sprays, die beispielsweise Nanopartikel aus Silber für antibakterielle Anwendungen enthalten. Da einerseits beim Spraysen erzeugte Aerosole leicht eingeatmet und andererseits Nanopartikel vor allem über die Lunge leicht aufgenommen werden können, ist es für eine Risikobeurteilung wichtig zu wissen, ob beim Spraysen die synthetischen Nanopartikel freigesetzt werden und wie sie sich dabei verhalten. Um zuverlässig und reproduzierbar Nanopartikel in Lösung und in Aerosolen zu untersuchen, hat die Empa-Abteilung «Analytische Chemie» einen Versuchsaufbau entworfen. Damit kann das Team, an dem auch Forschende der Empa-Abteilung «Luftfremdstoffe/Umwelttechnik» und die Gruppe von Konrad Hungerbühler an der ETH Zürich beteiligt sind, Grösse, Grössenverteilung, Chemie sowie Morphologie der Nanopartikel bestimmen.

Die Resultate zeigen, dass besonders bei Treibgasspray-Anwendungen die Aerosole durchaus Partikel enthalten können, die kleiner sind als die für Zellen kritische Grösse von rund 200 Nanometer. Auch konnten diese Nanopartikel noch einige Minuten nach dem Spraysen nachgewiesen werden. Ob vor allem einzelne freie Nanopartikel vorliegen oder diese schnell zu grösseren Teilchen «verklumpen», hängt von der Art des Nanopartikels, der Zusammensetzung des Sprayprodukts und dem Sprühgefäss ab. Diese Resultate schaffen die Datengrundlage, um das Verhalten synthetischer Nanopartikel über eine längere Zeit zu modellieren und die Exposition von Konsumentinnen und Konsumenten mit Nanopartikeln abschätzen zu können.

# Robuster Beschleuniger

Auf der Wunschliste der Industrie steht er ganz oben: ein robuster, langlebiger Katalysator für die Polyethylenproduktion. Eine neuartige Palladium-Gallium-Verbindung ist ein viel versprechender Kandidat. In einem europäischen Projekt klärt die Forschung nun, ob der künftige Einsatz sich auch wirtschaftlich rechnet. Ein wissenschaftliches Team der Empa verfolgt dabei auf atomarer Ebene, wie sich einzelne Moleküle der Ausgangsstoffe Acetylen und Wasserstoff auf der Katalysatoroberfläche verhalten und miteinander reagieren.

TEXT: Martina Peter / Bilder: Empa

1

Die Photoelektronenspektroskopie bringt es an den Tag: Der Palladium-Gallium-Einkristall ist chiral: Vorder- und Rückseite sind nicht identisch, sondern verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild.

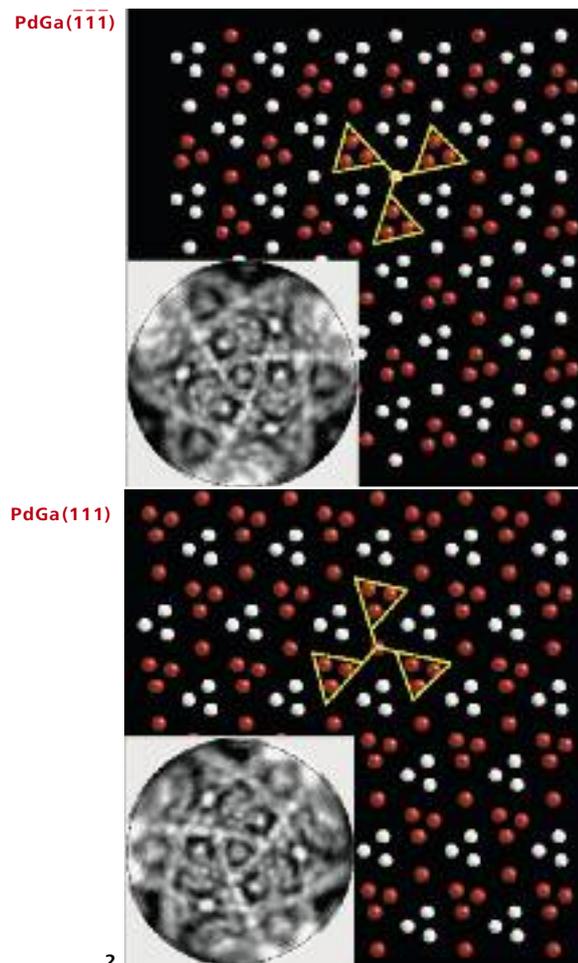
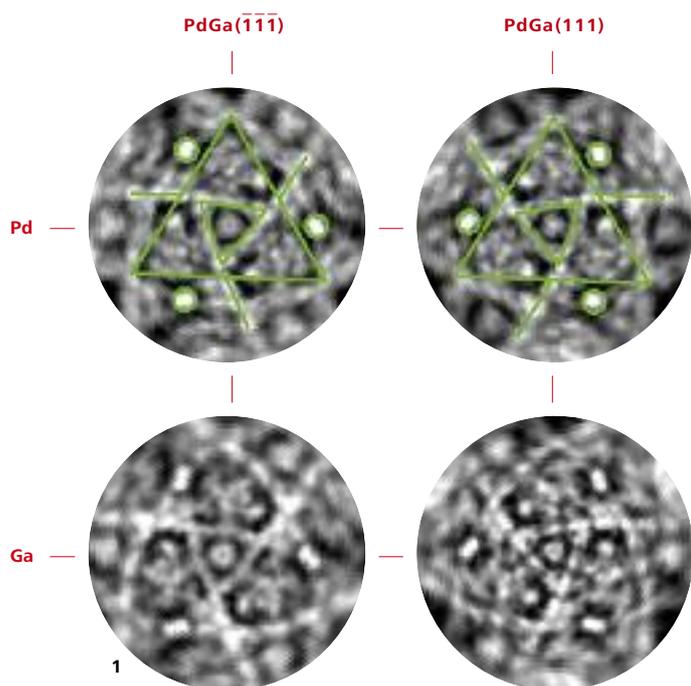
2

Der Einkristall von hinten (oben) und von vorne (unten). In der schematischen Darstellung von Kristallen dienen die Ziffern – so genannte Millersche Indizes –  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  und  $(111)$  der eindeutigen Bezeichnung der Kristallflächen beziehungsweise Ebenen im Kristallgitter.

**F**ast 80 Prozent aller Chemieprodukte entstehen heutzutage durch katalysierte Verfahren. So leiten Katalysatoren etwa bei der Herstellung von Polymeren chemische Reaktionen ein, beschleunigen und lenken diese, so dass vorwiegend – oder gar ausschliesslich – das gewünschte Produkt entsteht, beispielsweise durch Polymerisation von Ethylen der vielseitig einsetzbare thermoplastische Kunststoff Polyethylen. Das Problem: In der industriellen Produktion ist der Ausgangsstoff oft mit Spuren von Acetylen verunreinigt. Dieses «vergiftet» die pulvrigen, typischerweise aus Palladium-Silber-Legierungen bestehenden Katalysatoren, die daher regelmässig ersetzt werden müssen. Bei einer Produktion von weltweit 60 Millionen Tonnen Polyethylen pro Jahr ein erheblicher Kostenfaktor.

## **Palladium-Gallium widersteht dem «Gift»**

Um einen langlebigeren Katalysator zu entwickeln, setzen ForscherInnen der Empa, des Max-Planck-Instituts für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden, des Fritz-Haber-Instituts in Berlin sowie der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in München auf die intermetallische Verbindung von Palladium mit Gallium. Der neuartige Katalysator, der im Unterschied zu Legierungen regelmässige Gitterstrukturen besitzt, soll unerwünschte Nebenreaktionen unterdrücken, die Segregation, das heisst die Entmischung der unterschiedlichen Elemente, verhindern und die chemischen Aktivitäten dadurch überschaubarer machen. Die Verbindung Palladium-Gallium kann dem «Gift» widerstehen, indem sie das unerwünschte Acetylen



durch selektive Semihydrierung in Ethylen umwandelt. Da Palladium-Gallium allerdings deutlich teurer ist als bisherige Katalysatoren, müssen die Forschenden bereits im Labor genau ausloten, ob sich dessen Einsatz künftig lohnen könnte. Für die Industrie kommt der neuartige Katalysator nämlich nur dann in Frage, wenn er sehr selektiv, langlebig, und hochwirksam ist – also dadurch eben kosteneffizient.

#### Mit atomistischem Ansatz chemische Reaktion klären

In dem vom Schweizer Nationalfonds unterstützten Projekt beschäftigt sich ein wissenschaftliches Team der Empa-Abteilung «nanotech@surfaces» mit der Oberflächenstruktur des Katalysators. «Während die Chemiebranche sich auf die eigentliche Reaktion konzentriert, verfolgen wir an der Empa einen atomistischen Ansatz», erklärt Projektleiter Roland Widmer. «Wir nehmen ein einzelnes Acetylenmolekül und wollen wissen, wo genau es sich auf der Palladium-Gallium-Oberfläche niederlässt, was das Wasserstoffmolekül macht, und wie genau die beiden miteinander reagieren.» Widmers Ziel ist, die chemische Reaktion Schritt für Schritt nachzuvollziehen und zu erklären, um den Reaktionsmechanismus im Detail zu verstehen. Denn, so Widmer: «Bis heute wurden Katalysatoren auf rein empirischer Grundlage weiterentwickelt. Mit unserem Ansatz möchten wir dazu beitragen, die Effizienz von Katalysatoren systematisch zu verbessern.» Die Erkenntnisse sollen dazu führen, die Oberflächen der-

art zu designen und zu bearbeiten, dass der katalytische Prozess so günstig und so umwelt- und ressourcenschonend wie möglich ablaufen kann.

Dazu benutzt das Empa-Team Palladium-Gallium-Einkristalle, die die Münchner LMU-Kollegen «züchten» und die ein homogenes Gitter besitzen, in dem jedes Atom an einem definierten Ort sitzt. Einzelne Schichten des Kristallgitters bestehen hauptsächlich aus Palladium, andere aus einem Palladium-Gallium-Gemisch, wieder andere vornehmlich aus Galliumatomen. Je nachdem, wie die Schichten ausgerichtet sind, und welche Oberflächenenergie sie besitzen, fungieren sie als katalytisch aktive Oberfläche in der Reaktion zwischen Acetylen und Wasserstoff unterschiedlich; mal ist der Katalysator mehr, mal weniger effizient.

#### Physikalische Methoden bringen erstes Ergebnis

Derzeit untersuchen Widmer und seine Kollegen die Katalysatoroberflächen mit verschiedenen physikalischen Methoden wie Rastertunnelmikroskopie und Röntgenphotoelektronenspektroskopie, unterstützt von Modellierungen am Computer. Ein erstes Ergebnis können die sie bereits vorweisen: Der Palladium-Gallium-Einkristall ist chiral; Vorder- und Rückseite sind nicht identisch, sondern verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild. Ob dies Einfluss auf die katalytische Aktivität der beiden spiegelbildlichen Kristalle hat, ist eine der Fragen, der das Forschungsteam in den nächsten Monaten auf den Grund gehen will. //

# Im Bann der Schwebeteilchen

Der frischgebackene ETH-Professor und Empa-Forscher Jing Wang untersucht kleine und kleinste Partikel, die in der Luft schweben. Um solche Teilchen in Nanogrösse studieren zu können, hat er an der Empa spezielle Laboratorien eingerichtet, darunter einen Windkanal, der zeigen soll, wie sich Nanoteilchen in der Luft verhalten.

1



TEXT: Remy Nideröst / BILDER: Empa

**E**in Raum voller stählerner Abluftrohre. Sonst hat nicht viel Platz. Wozu dient das, was aussieht wie eine Lüftungsanlage? Es ist ein Labor mit Windkanal, dem augenfälligsten «Arbeitsgerät» einer neuen Forschungsgruppe an der Empa. Erst im März wurde ein Windkanal in der Abteilung «Gebäudetechnologien» eingeweiht (siehe Seite 26) und schon steht hier eine zweite derartige Einrichtung. «Damit machen wir allerdings etwas völlig anderes als die KollegInnen der «Gebäudetechnologien», die damit Windeffekte auf das Klima in Städten simulieren», sagt der gebürtige Chinese Jing Wang, der seit August 2010 an der Empa tätig ist. «Wir hingegen untersuchen mit unserem Windkanal das Verhalten von in der Luft schwebenden Nanopartikeln.»

Nanopartikel haben es Jing Wang angetan. Bereits während seiner Dissertation an der US-amerikanischen University of Minnesota beschäftigte er sich mit Schwebeteilchen in Flüssigkeiten und Gasen wie Luft. Beispielsweise mischte er Nanopartikel verschiedenen Polymeren bei, um deren Eigenschaften gezielt zu verändern. «So haben wir neue Flüssigkeiten mit extremer Dehnviskosität hergestellt.» Seitdem beschäftigt er sich hauptsächlich mit feinen, in der Luft schwebenden Partikeln, so genannten Aerosolen. Etwa als Assistenzprofessor in Minnesota, wo er ab 2007 das «Particle Technology Laboratory» leitete.

## Dann doch zu kalt

Nach insgesamt zehn Jahren in den USA führt seine Karriere «Jim» Wang – die amerikanisierte Version seines Vornamens ist ein Relikt dieser Zeit – nun in die Schweiz. Vergangenen Sommer wurde er als Assistenzprofessor für Industrieökologie/Luftreinhaltung ans Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU) der ETH Zürich berufen; gleichzeitig leitet er eine Forschungsgruppe in der Abteilung «Analytische Chemie» der Empa. Einerseits hatte er genug vom rauen Klima in Minnesota mit seinen extrem langen und kalten Wintern. «Der Winter in der Schweiz ist mir dagegen wie ein Frühling vorgekommen», meint Wang. Andererseits reizen ihn die beruflichen Möglichkeiten, die ihm die Professur in Zürich bietet. «Die ETH gehört zu den besten Hochschulen weltweit. Dazu kommt, dass die Kombination von ETH und Empa für mich geradezu ideal ist». Wang schwärmt von der ausgezeichneten Infrastruktur und dem Umfeld,

das ihm an der Empa für seine Forschung geboten wird. Allein das Labor mit dem Windkanal misst rund 100 Quadratmeter. «Dies ist weit mehr, als man mir in den USA zur Verfügung gestellt hätte», so Wang.

Noch ist alles im Aufbau. Einer der Räume ist zwar möbliert, sonst jedoch weitgehend leer. In einem anderen stehen Instrumente, eben erst ausgepackt. Eines davon produziert Nanopartikel, andere charakterisieren sie. Hinzu kommt bald ein Analyseninstrument, das Wang selbst entwickelt hat. Mit ihm lassen sich Nanopartikel – oder auch Agglomerate davon – exakt auf Grösse, Morphologie, Oberfläche, Volumen untersuchen. Beim Chemieunternehmen BASF, das die Entwicklung mitfinanzierte, ist ein Prototyp in Gebrauch. Es charakterisiert die dort hergestellten Nanopartikel, beispielsweise Titandioxid. Diese dienen als Katalysatoren in chemischen Prozessen oder kommen als Pigmente in Farben zum Einsatz.

Grösse und Form der in einem Flammreaktor synthetisierten Nanopartikel mussten bisher unter dem Mikroskop untersucht werden. Bis bekannt war, ob ihre Qualität ausreichte, waren schon Tonnen der Partikel produziert. Dagegen misst das von Wang entwickelte Instrument Nanopartikel «online», also während der Produktion – das Resultat liegt innert Minuten vor. Für die Industrie ein entscheidender Vorteil, daher wurde der «Universal Nanoparticle Analyzer» zum Patent angemeldet und soll nun auch von einer auf Analysengeräte spezialisierten amerikanischen Herstellerfirma gebaut und vermarktet werden. «Ich hoffe, ich werde dann auch ein solches Gerät erhalten», scherzt Jing Wang.

## In der Luft – weitgehend unerforscht

Wie sich Nanopartikel – industriell hergestellte oder solche, die im Verbrennungsprozess oder durch den Verkehr entstehen – in der Luft verhalten, ist nahezu unbekannt. Daher schützen sich Arbeitskräfte beim Reinigen einer Produktionsanlage vorsorglich mit einer Art Raumanzug. Der Windkanal ist ein hervorragendes Instrument, Nanopartikel «in Schweben» und unter definierten Bedingungen zu studieren. Dank Ventilator, Heizung und Befeuchter können Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und vieles mehr genau eingestellt werden. Bei Feldstudien etwa sind diese Parameter praktisch unbekannt.



Ein weiterer Vorteil von Wangs Versuchsaufbau ist, dass er die Nanopartikel selbst produziert und daher deren Grösse und Beschaffenheit genau kennt. Sobald sie im Windkanal «freigelassen» werden, sind sie sehr beweglich und schweben deutlich länger in der Luft als grössere Teilchen, die wegen ihres höheren Gewichtes rascher zu Boden sinken. «Wir untersuchen, wie lange die Partikel unter den eingestellten Bedingungen im Luftstrom des Kanals verbleiben, wie sie sich fortbewegen, ob sie agglomerieren und dadurch ihre Grösse verändern und ob sie chemisch miteinander – oder mit anderen Luftbestandteilen – reagieren», erklärt Wang. Dazu werden im Windkanal an verschiedenen Orten Proben genommen und analysiert.

Im Kanal lassen sich auch Lüftungsfiler entwickeln und testen, indem die Teilchenkonzentration vor und nach dem Filter bestimmt wird. Teilchen im Nanometermassstab herauszufiltern, ist eine besondere Herausforderung für Filterhersteller, mit denen Jing Wang in engem Kontakt steht, etwa mit der Firma 3M, die Gesichtsmasken herstellt, und mit Boeing für deren Flugzeug-Innenluftfilter.

#### Zusammenarbeit Empa-intern

An der Empa gibt es etliche Fachbereiche, die sich mit Nanotechnologie befassen und sich für Wangs Arbeiten interessieren. So etwa die Abteilung «Verbrennungsmotoren». Für sie untersucht er mit seinem Team Russpartikel aus Dieselmotoren. Die Erkenntnisse könnten zu wirksameren Russfiltern und Dieselmotorkatalysatoren führen.

Die ETH Zürich wie auch die Empa erstellen Lebenszyklusanalysen (engl. Life Cycle Analysis, LCA). Diese sind bei Produkten, die Nanopartikel enthalten, wegen fehlender Bewertungsfaktoren bisher nicht umfassend machbar. Ausserdem fehlt es an Informationen, was mit den Nanopartikeln während der Nutzung des Produktes geschieht, und wenn es recycelt oder entsorgt wird. Genaue Aussagen zu den dadurch eventuell vorhandenen Risiken sind erst möglich, wenn Exposition und Umweltverhalten dieser Art von Emissionen besser bekannt sind. Produkte können daher in der LCA nicht abschliessend bewertet werden; eine Lücke, die sich dank der künftigen Arbeiten von Jing Wang und seiner Gruppe wohl schliessen lässt. //

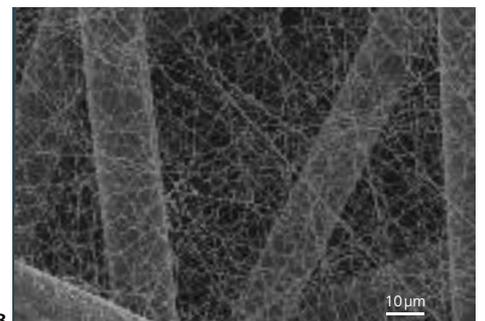
**1**  
Ein Arbeitsgerät von Empa-Forscher Jing Wang: Der Windkanal zur Untersuchung von Nanopartikeln ist rund drei Meter breit und 13 Meter lang.

**2**  
Jing Wang bei seiner Einführungsvorlesung am 30. März 2011 an der ETH Zürich.

**3**  
Filter zum Auffangen von Partikeln bestehen aus mehreren Lagen. Die feinen Fasern der einen Schicht mit einem Durchmesser zwischen 100 bis 150 Nanometer filtern auch kleinste Teilchen sehr effizient, während die rund 10 bis 20 Mikrometer dicken Fasern der anderen Schicht dem Filter die nötige mechanische Stabilität geben.



2



3