

Empa **News**

Magazin für Forschung, Innovation und Technologietransfer
Jahrgang 9 / Nummer 33 / Mai 2011



Chemie allenthalben 15

EMPA 
Materials Science & Technology

Transparente Elektroden,
biegsam und stabil 07

Enzyme für den
industriellen Einsatz 08

Langlebigen Schadstoffen
auf der Spur 12

In Materialforschung steckt viel Chemie

Die Vollversammlung der Vereinten Nationen hat das Jahr 2011 unter dem Motto «Chemie – unser Leben, unsere Zukunft» zum Internationalen Jahr der Chemie (IYC2011) erklärt. Ein gutes Thema, ist doch die ganze Welt um uns – irgendwie – Chemie. Die



Lehre, das Wissen von Aufbau, Verhalten und Umwandlung von Stoffen ist sowohl aus unserem Alltag – denken wir nur an Produkte wie Brot oder Wein und so profane Vorgänge wie Kochen oder das Starten eines Motors – als auch aus unserer Wirtschaft nicht mehr wegzudenken.

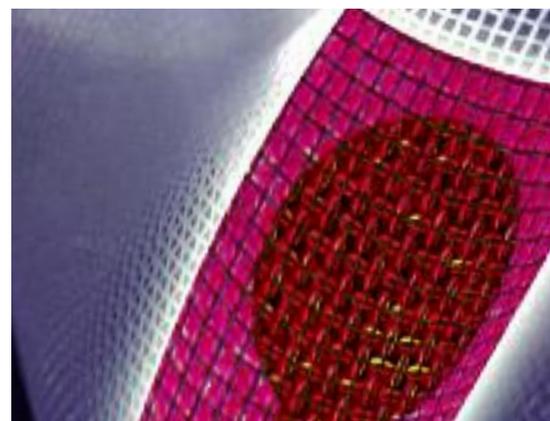
Auch bei der Entwicklung neuer Materialien spielen chemische Reaktionen eine zentrale Rolle. Empa-Forschende versuchen etwa – unter anderem durch die Kombination

von Experiment und Simulation – komplexe Reaktionsmechanismen Schritt für Schritt aufzuklären, um diese beispielsweise mit neuartigen Katalysatoren steuern und so letztlich bessere Materialien synthetisieren zu können (siehe Seite 20). Oder sie spüren dank hochempfindlichen Analysemethoden umweltbelastende Stoffe selbst in kleinstmengen in verschiedenen Ökosystemen auf (siehe Seite 12) – und entwickeln, wenn immer möglich, unbedenkliche(re) Ersatzstoffe. Der aktuelle Fokus zeigt einige spannende Beispiele.

Gleichzeitig erinnert das IYC2011 an den 100. Jahrestag der Verleihung des Chemie-Nobelpreises an Marie Curie für die Entdeckung der chemischen Elemente Radium und Polonium. Die erste mit dem Nobelpreis gekürte Frau prägte auch den Begriff «radioaktiv» für die von ihr untersuchten Substanzen. Ein Begriff, der in letzter Zeit auf tragische Weise wieder an Aktualität gewonnen hat. Doch gerade auch im Energiebereich versprechen neuartige Materialien – etwa für hocheffiziente Batterien (siehe Seite 15) – einiges für eine nachhaltige, sichere Energieversorgung; ein Thema, über das wir bereits verschiedentlich in den EmpaNews berichtet haben und das uns auch in Zukunft weiter beschäftigen wird.

Viel Vergnügen beim Lesen.

Michael Hagmann
Leiter Kommunikation



**Gewebe entwickelt
Transparente Elektroden,
biegsam und stabil 07**



Titelbild

Materialien bestehen – wie alle Stoffe – aus chemischen Elementen. Kein Wunder also, dass in vielen Empa-Labors Chemikerinnen und Chemiker arbeiten. Etwa in der Abteilung «Festkörperchemie und -katalyse», wo die Anwendung perowskitartiger Metalloxide in Batterien, Katalysatoren und thermoelektrischen Wandlern erforscht wird.



Biokatalysator hergestellt
Enzyme für den
industriellen Einsatz 08



Quellen gefunden
Langlebigen Schadstoffen
auf der Spur 12



Windkanal aufgebaut
Nanopartikel, freigelassen
und beobachtet 22

Impressum

Herausgeberin
 Empa
 Überlandstrasse 129
 CH-8600 Dübendorf
 www.empa.ch

Redaktion & Gestaltung
 Abteilung Kommunikation

Kontakt
 Telefon +41 58 765 45 98
 empanews@empa.ch
 www.empanews.ch

Erscheint viermal jährlich

klimateutral gedruckt
 myclimate.org / natureOffice.ch / CH-XXX-XXXXXX



ISSN 1661-173X

Forschung und Entwicklung

04 **Atomar aufgelöst**

06 **Medtech-Partner verstärken Kooperation**

07 **Plastikgewebe für Solarzellen & Co.**

08 **Aufs Enzym gekommen**

Fokus: Internationales Jahr der Chemie

10 **Chemie allenthalben**

12 **Kurz nützlich, lang lästig**

15 **Designatelier für neue Materialien**

20 **Robuster Beschleuniger**

22 **Im Bann der Schwebeteilchen**

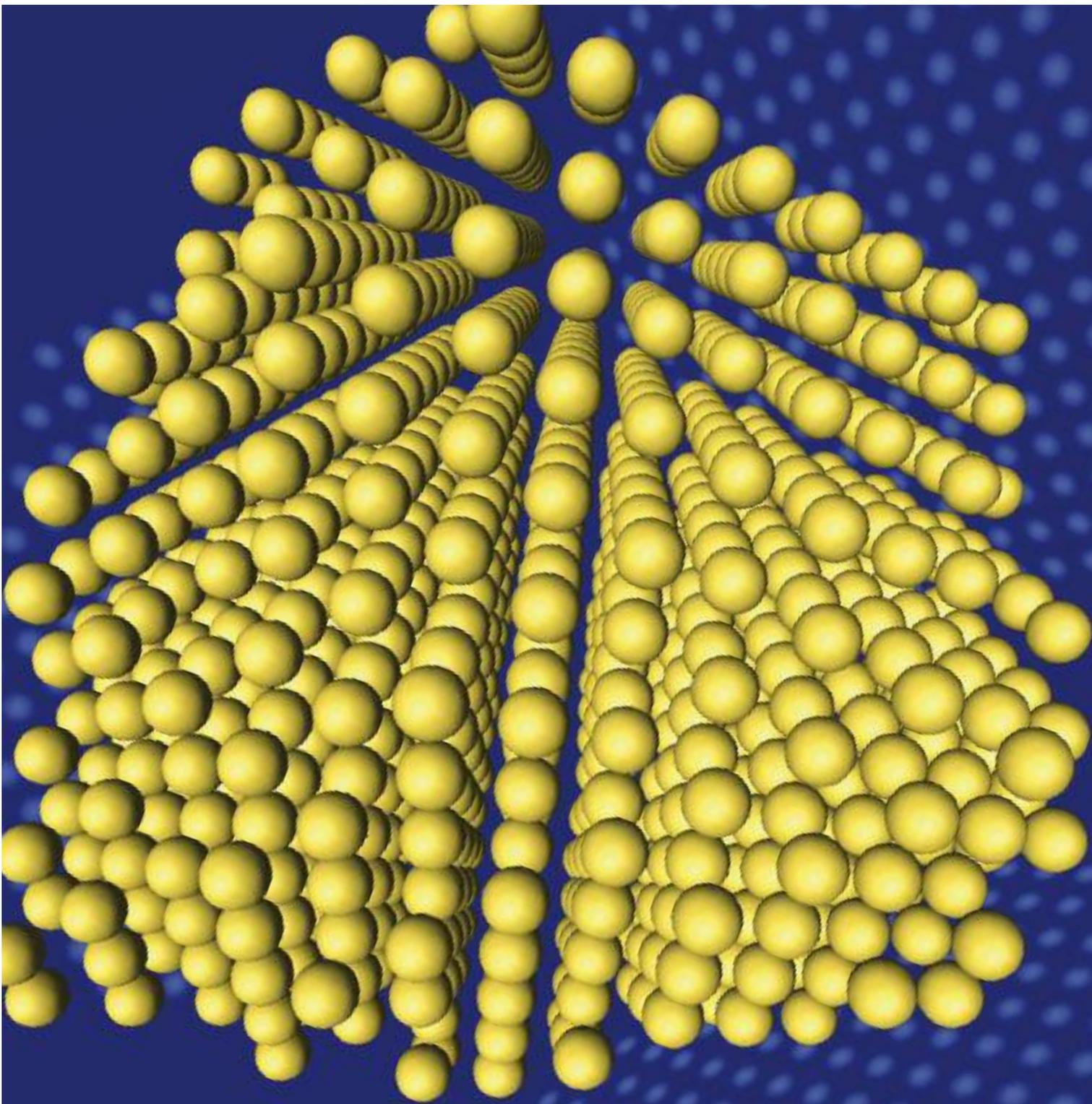
Wissens- und Technologietransfer

24 **In die chemische Tiefe**

Wissenschaft im Dialog

27 **World Resources Forum 2011**

28 **Veranstaltungen**



Erstmals ist es Forschenden gelungen, die Anordnung der einzelnen Atome und deren Anzahl in einem Nanopartikel zu bestimmen. Das Silberpartikel hat einen Durchmesser von rund zwei Nanometer. (Bild Empa/ETH Zürich)

Atomar aufgelöst

Forschende der Empa und der ETH Zürich ist es gemeinsam mit niederländischen Kollegen erstmals gelungen, die dreidimensionale Struktur einzelner Nanopartikel in atomarer Auflösung zu bestimmen. Das Verfahren, das in der Fachzeitschrift «Nature» veröffentlicht wurde, könnte es in Zukunft ermöglichen, die Eigenschaften von Nanoteilchen besser zu verstehen.

TEXT: Simone Ulmer*

Nanoteilchen besitzen andere chemische und physikalische Eigenschaften als ihre «grossen Geschwister»: Sie haben im Verhältnis zur Masse eine sehr grosse Oberfläche und gleichzeitig eine geringe Anzahl von Atomen. Dadurch kann es etwa zu Quanteneffekten kommen, die zu veränderten Materialeigenschaften führen. Beispielsweise lässt sich aus Nanomaterialien hergestellte Keramik verbiegen und eine Goldmünze ist goldfarben, während ein Nanoteilchen aus demselben Material rötlich ist.

Neue Methode entwickelt

Die Eigenschaften von Nanopartikeln werden bestimmt durch ihre exakte dreidimensionale Struktur, die atomare Anordnung und im Besonderen auch durch die Oberflächenbeschaffenheit. In einer neuen Studie, die Rolf Erni, Leiter des Zentrums für Elektronenmikroskopie der Empa, zusammen mit der ETH-Wissenschaftlerin Marta Rossell initiiert hatte, gelang es nun erstmals, die dreidimensionale Struktur von einzelnen Nanoteilchen auf atomarer Basis zu bestimmen. Das neue Verfahren könnte in Zukunft dazu beitragen, die Beschaffenheit von Nanoteilchen, inklusive deren Reaktivität und Toxizität, besser zu verstehen.

Schonendes Verfahren zur Bildgebung

Für ihre elektronenmikroskopischen Untersuchungen, die in der renommierten Fachzeitschrift «Nature» publiziert wurden, präparierten Erni und Rossell Silber-Nanoteilchen in einer Aluminium-Matrix. Die Matrix vereinfacht es, die Nanopartikel unter dem Elektronenstrahl in verschiedene kristallographische Orientierungen zu kippen und schützt gleichzeitig die Partikel vor Schäden durch die Elektronenstrahlen. Voraussetzung für die Studie war ein spezielles Elektronenmikroskop, das eine maximale Auflösung von weniger als 50 Pikometer erreicht. Zum Vergleich: Der Durchmesser eines Atoms beträgt etwa ein Ångström, das sind 100 Pikometer.

Zur zusätzlichen Schonung der Probe wurde das Elektronenmikroskop so eingestellt, dass es auch bei niedriger Beschleunigungsspannung, bei 80 Kilovolt, Bilder in atomarer Auflösung lieferte. Normalerweise arbeiten derartige Elektronenmikroskope, von denen es weltweit nur einige wenige gibt, bei 200 oder 300 Kilovolt.

Das Duo nutzte für ihre Experimente ein Mikroskop am kalifornischen Lawrence Berkeley National Laboratory. Vervollständigt wurden die experimentellen Daten durch zusätzliche elektronenmikroskopische Messungen an der Empa.

Geschärfte Bilder

Anhand der mikroskopischen Aufnahmen erstellte dann Sandra Van Aert von der Universität Antwerpen Modelle, die die Aufnahmen «schärfte» und deren Quantifizierung erlaubten. Dadurch konnten die Forschenden die einzelnen Silberatome im Kristallgitter des Nanoteilchens entlang der unterschiedlichen kristallographischen Orientierungen zählen.

Um die exakte dreidimensionale Atomanordnung im Nanoteilchen zu bestimmen, zogen Erni und Rossell schliesslich den Tomographie-Spezialisten Joost Batenburg aus Amsterdam hinzu, der mit Hilfe spezieller mathematischer Algorithmen die Anordnung der Atome im Nanopartikel tomographisch rekonstruierte. Lediglich zwei Aufnahmen genühten, um das Nanoteilchen mit seinen 784 Atomen nachzubilden. «Bis anhin liessen sich einzig die groben Umrisse von Nanoteilchen anhand vieler Aufnahmen aus unterschiedlichen Perspektiven darstellen», so Marta Rossell. Atomstrukturen hingegen konnten ohne experimentelle Grundlagen nur am Computer simuliert werden.

«Anwendungen des Verfahrens, etwa zur Charakterisierung von dotierten Nanoteilchen, sind nun geplant», sagt Rolf Erni. So könne mit der Methode in Zukunft etwa festgestellt werden, welche Atom-Konfigurationen an der Oberfläche der Nanopartikel aktiv werden, wenn diese beispielsweise toxisch oder katalytisch wirken. Rossell betont, dass sich die Studie im Prinzip auf alle Nanopartikel anwenden lässt. Voraussetzung seien jedoch experimentelle Daten, wie sie in der Studie gewonnen wurden.

Literaturhinweis

«Three-dimensional atomic imaging of crystalline nanoparticles», S. Van Aert, K.J. Batenburg, M.D. Rossell, R. Erni & G. Van Tendeloo, Nature (2011), doi:10.1038/nature09741

* Simone Ulmer ist Redaktorin von ETH Life.

Medtech-Partner verstärken Kooperation

Die Empa und das Kantonsspital St. Gallen arbeiten verstärkt zusammen. Zur bisherigen Kooperation im Bereich der humanen Stammzellen kommen aktuelle Forschungsthemen hinzu wie Nanosicherheit, Immunologie und Implantatentwicklung. Anfang 2011 sind neue Projekte angelaufen.

TEXT: Nadja Kröner

Im Rahmen der intensivierten Zusammenarbeit läuft unter anderem ein Projekt, in dem Empa-Forschende der Empa-Abteilung «Materials-Biology Interactions» zusammen mit der Frauenklinik und dem Institut für Pathologie des St. Galler Kantonsspital den genauen Transportmechanismus von Nanopartikeln durch die Plazenta sowie deren Einfluss auf das Plazentagewebe untersuchen. Eine neue Perfusionsanlage, die den mütterlichen und fötalen Kreislauf der Plazenta für einige Stunden durchblutet und somit aufrechterhält, ist derzeit an der Empa im Aufbau.

Nanosicherheit als zentrale Frage

Wie bei allen neuen Technologien können Risiken auch bei der Nanotechnologie nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Empa beschäftigt sich deshalb seit Jahren mit möglichen negativen Auswirkungen, beispielsweise auf das Ungeborene. So konnten Forschende letztes Jahr zeigen, dass Nanopartikel mit einem Durchmesser von weniger als 200 bis 300 Nanometer via Plazenta vom mütterlichen in den fötalen Blutkreislauf gelangen können.

Genau wie bei der Plazenta ist auch beim Immunsystem nicht bekannt, inwiefern es durch ungewollt eingedrungene Nanopartikel beeinflusst wird. Und auch hier wäre es denkbar, Nanomaterialien für diagnostische und therapeutische Zwecken am Menschen einzusetzen. Diese Möglichkeit untersuchen Empa-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler zusammen mit dem Institut für Immunbiologie am Kantonsspital St. Gallen.

Implantatentwicklung: etablierte Kooperation

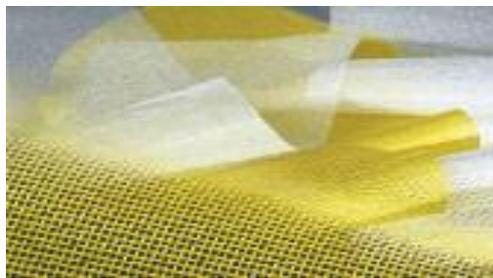
Auch mit der dortigen Klinik für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie besteht bereits seit längerem eine Kooperation: Die Klinik stellt der Empa wöchentlich Knochenmarkproben bereit. So können Materialoberflächen optimiert und neue Materialien, etwa für Implantate, getestet werden. Die Frage dabei ist, wie Oberflächen für Implantate beschaffen sein müssen, damit sich die Stammzellen darauf «richtig» entwickeln – also in den gewünschten Zelltyp, zum Beispiel in eine Knochenzelle, differenzieren. Denn nur so kann das Implantat mit dem Knochen stabil verwachsen und seine Funktion übernehmen.

«Dank der Zusammenarbeit mit dem Spital sind wir in der Lage, unsere Aktivitäten in der Bio- und Medizinaltechnologie deutlich auszubauen. Dadurch machen wir einen grossen Schritt Richtung klinische Anwendung der von uns entwickelten Materialien und Methoden», so Peter Wick, Co-Leiter der Empa-Abteilung «Materials-Biology Interactions». Weitere Projekte sind bereits in Vorbereitung. //

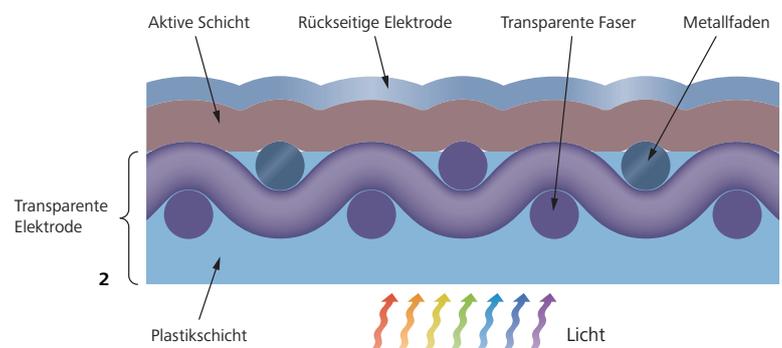
Plastikgewebe für Solarzellen & Co.

Bei formbaren Dünnschicht-Solarzellen sammelt eine transparente, flexible und leitfähige Elektrode das Licht und leitet den Strom ab. Empa-Forschende haben eine Polymer-Gewebeelektrode entwickelt, die nun erste viel versprechende Resultate erzielt und sich als Alternative zu Beschichtungen mit Indium-Zinnoxid anbietet.

TEXT: Rémy Nideröst



1



2

Rohstoffknappheit und steigender Verbrauch von seltenen Metallen verteuern zunehmend elektronische Bauteile und Geräte. Eingesetzt werden diese Metalle zum Beispiel für transparente Elektroden in Touchscreens von Mobiltelefonen, in Flüssigkristallbildschirmen, organischen Leuchtdioden und Dünnschicht-Solarzellen. Das Material der Wahl dafür ist Indium-Zinnoxid (ITO, engl. indium tin oxide), ein leitendes, weitgehend transparentes Mischoxid. Da ITO jedoch relativ teuer ist, eignet es sich nicht für grossflächige Anwendungen wie in Solarzellen.

Suche nach Alternativen

Zwar gibt es Indium-freie transparente Oxide, doch mit zunehmender Nachfrage zeichnen sich auch hier Versorgungsengpässe ab. Zudem bleiben prinzipielle Nachteile wie Brüchigkeit bei Verformung bestehen. Daher werden alternative transparente und leitfähige Beschichtungen intensiv erforscht, wie etwa leitende Polymere, Kohlenstoff-Nanoröhrchen oder Graphen. Kohlenstoff-basierte Elektroden haben jedoch meist einen zu hohen Oberflächenwiderstand und sind somit zu wenig leitfähig. Wird ein metallisches Gitter in die organische Schicht integriert, vermindert sich der Widerstand, aber ebenso die mechanische Stabilität: Wird die Solarzelle gebogen, brechen die Schichten und sind nicht mehr leitend. Die Herausforderung besteht also darin, biegsame und trotzdem stabile leitende Substrate herzustellen, idealerweise in einem kostengünstigen industriellen Rollenverfahren.

Eine Lösung: Gewobene Elektroden

Als eine viel versprechende Möglichkeit stellte sich ein transparentes, flexibles Polymer-Gewebe heraus, das Empa-Forschende aus der Abteilung «Funktionspolymere» in einem von der Kommission für Technologie und Innovation KTI finanziell unterstützten Projekt zusammen mit der Sefar AG entwickelten. Die auf Präzisionsgewebe spezialisierte Schweizer Firma kann das Gewebe günstig und in grossen Mengen über ein Roll-to-roll-Verfahren ähnlich wie beim Zeitungsdruck produzieren. Für die nötige elektrische Leitfähigkeit sorgen eingewobene Metallfäden. In einem zweiten Prozessschritt wird dann das Gewebe in eine inerte Plastiksicht eingebettet, ohne dass dabei die Metallfäden ganz abgedeckt und elektrisch isoliert werden. Die so erhaltene Elektrode ist transparent, stabil und doch flexibel. Darauf brachten die Empa-Forschenden dann organische Solarzellen als Schichtsystem auf. Deren Effizienz ist vergleichbar mit herkömmlichen ITO-basierten Zellen; zudem ist die Gewebeelektrode bei Verformung deutlich stabiler als kommerziell erhältliche, flexible Plastiksubstrate, auf die ITO als dünne leitfähige Schicht aufgetragen ist. //

Literaturhinweis

«Flexible Mesh Electrodes: Woven Electrodes for Flexible Organic Photovoltaic Cells», W. Kylberg, F. Araujo de Castro, P. Chabreck, U. Sonderegger, B. Tsu-Te Chu, F. Nüesch and R. Hany, Adv. Mater. 8/2011, page 920, doi: 10.1002/adma.201190019

1 Flexibles Präzisionsgewebe, das in Zusammenarbeit mit der Schweizer Firma Sefar AG zu einer Elektrode für Dünnschicht-Solarzellen entwickelt wurde. (Bild: Sefar AG)

2 Querschnitt durch eine Dünnschicht-Solarzelle mit gewobener Elektrode. (Grafik: André Niederer)

Aufs Enzym gekommen

Enzyme sind umweltfreundlich und arbeiten unter milden Bedingungen. Kein Wunder, interessiert sich die Industrie für diese «Biokatalysatoren». Empa-Forschende untersuchen die Laccase, ein Enzym, das besonders für die Papier-, aber auch die Textil- und Holzindustrie beachtenswert ist. Dabei ist interdisziplinäre Arbeit gefragt.

TEXT: Nadja Kröner / BILDER: iStock, Empa

1
Die Laccase ist ein Enzym, das in der Natur als Katalysator sowohl für die Synthese als auch für den Abbau von Lignin wirkt, dem Hauptbestandteil von verholzten Zellen. In der Industrie könnte es auch gute Dienste leisten, beispielsweise als «Biobleaching» des in der Papierindustrie verwendeten Zellstoffs.

2
Reaktion des Enzyms Laccase mit einer farbbildenden Substanz auf einer Agarplatte (blaugrüne Färbung).

3
Die filamentösen Pilze scheiden das Enzym Laccase in die Kulturflüssigkeit aus.

Holz ist ein Biomaterial. Deshalb bietet sich eine Zusammenarbeit der Empa-Abteilungen «Holz» und «Biomaterials» an. Das gemeinsame Forschungsobjekt ist die Laccase, ein Enzym, das in Bakterien, Pilzen und höheren Pflanzen vorkommt und als Katalysator sowohl für die Synthese als auch für den Abbau von Lignin wirkt, dem Hauptbestandteil von verholzten Zellen. Da das Enzym unter milden Bedingungen, also in wässriger Lösung, bei Raumtemperatur und Normaldruck arbeitet und keine giftigen Nebenprodukte bildet, ist es auch für die industrielle Anwendung von Nutzen.

Beispielsweise für die Vorbehandlung des in der Papierindustrie verwendeten Zellstoffs: Das Enzym baut Lignin ab, das das Papier braun färbt, und wirkt dadurch wie ein «Biobleaching». Bisher wird chemisch gebleicht, was jedoch die Umwelt belastet. Laccasen aber sind bioabbaubar, etwa in Kläranlagen. Bereits genutzt wird Laccase, um Jeans zu bleichen, da sie den für Jeans typischen Farbstoff Indigo abbauen kann. Eine weitere mögliche Anwendung wäre daher auch die enzymatische Abwasserbehandlung in der Textilindustrie.

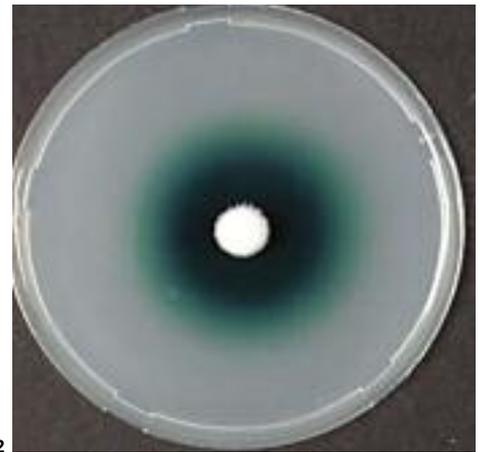
In der Industrie ist das Interesse an neuen effizienten und umweltfreundlichen Prozessen enorm gestiegen. Doch obwohl Laccasen viele chemisch-technische Verfahren ersetzen könnten, ist ein breiter Einsatz derzeit noch nicht möglich. Das Enzym kann noch nicht zu Preisen produziert werden, die einen Einsatz im grossen Massstab erlauben würden. Zudem sind die heute verfügbaren Laccasen teilweise nicht aktiv und stabil genug, um mit chemischen Prozessen konkurrieren zu können. Es ist also noch einiges an Entwicklungsarbeit nötig.

Holz- und Biomaterialforschung treffen sich

Die Abteilung «Holz» erforscht schon seit längerem die Holz zersetzende Wirkung von ganz bestimmten Pilzen, sogenannten Braun- und Weissfäuleerregern. Dabei geht es einerseits darum, herauszufinden, was für Schäden die Pilze verursachen und wie die verschiedenen Holzbestandteile abgebaut werden. Andererseits wird aber auch untersucht, wie sich diese Eigenschaften der Pilze nutzen lassen, um die Materialeigenschaften des Holzes gezielt zu verändern.



1



2



3

Schon länger ist bekannt, dass Laccase insbesondere beim Ligninabbau eine entscheidende Rolle spielt. An dieser Stelle kamen die Enzymspezialisten der Abteilung «Biomaterials» ins Spiel: In einem gemeinsamen Projekt wiesen sie nach, dass die Laccasebildung bei Weissfäulepilzen sehr stark variiert, und zwar zwischen verschiedenen Stämmen wie auch zwischen unterschiedlichen Wachstumsbedingungen. «Mit filamentösen Pilzen zu arbeiten ist für uns eher exotisch, daher ist die Zusammenarbeit mit den Holz-Fachleuten für uns sehr interessant», so Julian Ihssen von der Abteilung «Biomaterials». Zusätzlich zu Laccasen aus Pilzen werden an der Empa auch ähnliche Enzyme erforscht, die in Bakterien vorkommen. Obwohl sich bakterielle Laccasen grundsätzlich einfacher biotechnologisch herstellen lassen als solche aus Pilzen, liegt noch wenig Wissen über diese Enzyme vor.

Für technische Anwendungen ist es wichtig, dass die Eigenschaften eines Enzyms möglichst im Detail bekannt sind. Denn je nach Laccasen, die aus verschiedenen Pilzen oder Bakterien stammen, variiert das Spektrum der Moleküle, die umgesetzt werden.

Aber auch die optimalen Bedingungen für die Reaktion, wie etwa Temperatur, pH-Wert oder Lösungsmitteln, sind unterschiedlich. Entsprechende Untersuchungen führt die Empa mit Hilfe von miniaturisierten, auf Farbänderungen basierenden Enzymtests durch. Sollten die Eigenschaften natürlich vorkommender Laccasen den industriellen Anforderungen nicht genügen, besteht im Weiteren die Möglichkeit, das Enzym im Labor durch «gerichtete Evolution» gezielt zu verbessern. Diese in der Biotechnologie immer wichtiger werdende molekularbiologische Technik hat sich in den letzten zwei Jahren in der Abteilung «Biomaterials» etabliert.

Jede Laccase hat ihren optimalen Mediator

Um bestimmte Reaktionen bei Laccasen zu beschleunigen oder überhaupt erst zu ermöglichen, werden so genannte Mediatoren eingesetzt. Dies sind Moleküle, die zwischen Laccase und abzubauen Substanz «vermitteln». Die Laccase reagiert also mit dem Mediator, während dieser daraufhin beispielsweise mit Lignin oder einem Farbstoff reagiert und dadurch in den Ursprungs-

zustand zurückversetzt wird, das heisst wieder bereit ist für die Laccase. So können auch schwer zugängliche oder grosse Substanzen effizient abgebaut werden. «Die Suche nach dem richtigen Mediator für die richtige Laccase und für die richtige Anwendung ist komplex. Das ist manchmal wie ein Glücksspiel», so der Empa-Holzfachmann Mark Schubert.

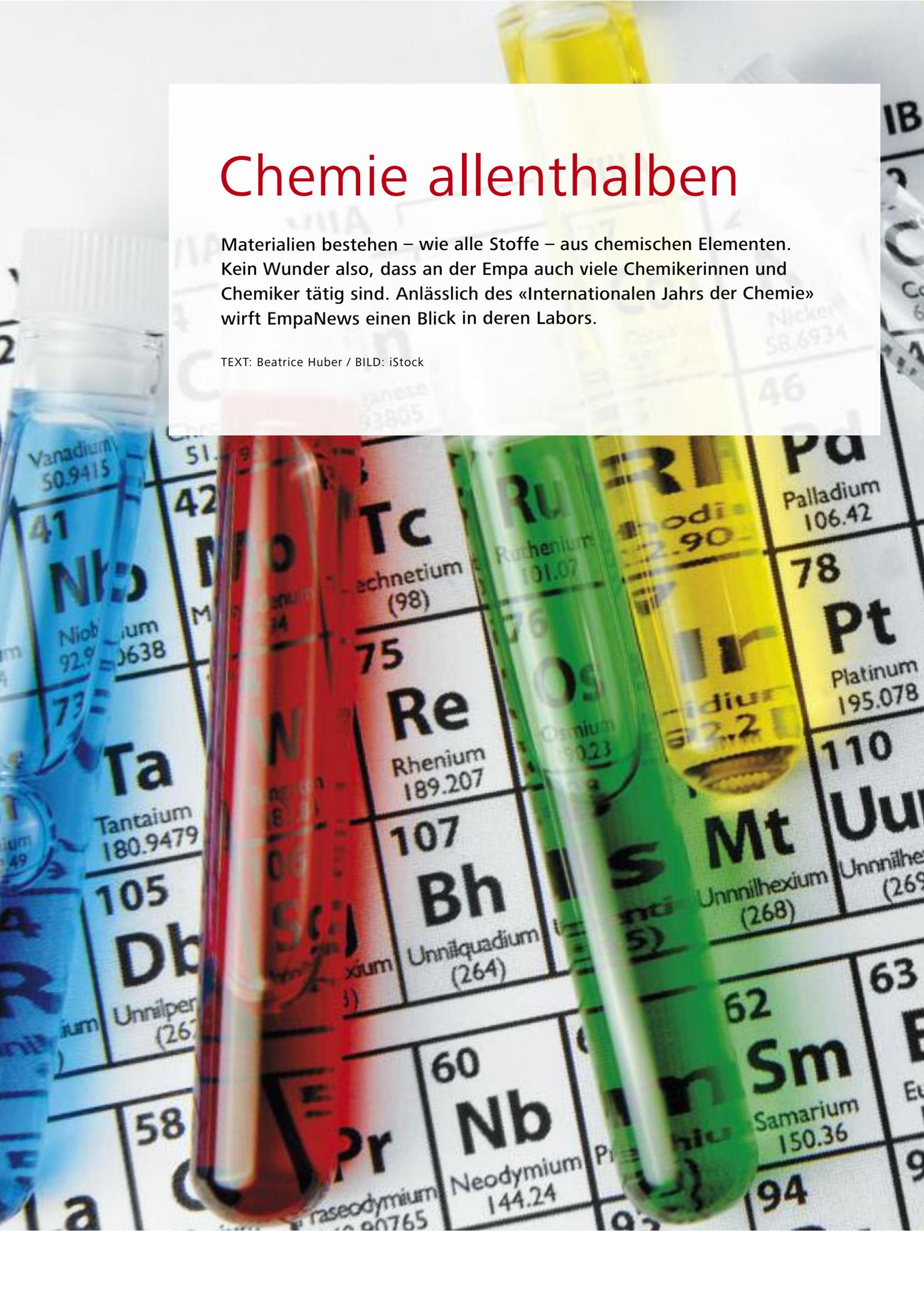
Die Empa verzeichnet schon erste Erfolge: Ein sehr ergiebiger Laccaseproduzent, der Weissfäuleerreger *Heterobasidion annosum*, liess sich mit Hilfe eines neu entwickelten Screeningverfahrens identifizieren und für die Laccaseherstellung einsetzen. Ausserdem ist es gelungen, eine bislang unbekannte thermostabile bakterielle Laccase gentechnisch in *E. coli* herzustellen, aufzureinigen und zu charakterisieren.

Interessierte Industriepartner aus dem Feinchemikalien- und Holzbereich sind gefunden und in zwei von der Kommission für Technologie und Innovation KTI finanzierten Projekten wird nun seit Ende 2010 weiter geforscht. Ein industrieller Einsatz der Laccasen dürfte also nicht mehr allzu lange auf sich warten lassen. //

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 Flammschutzmittel 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

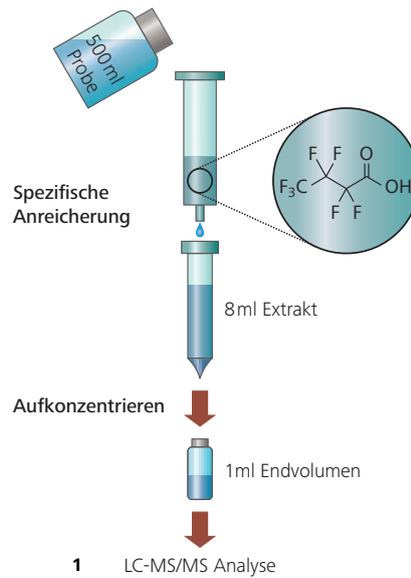
Gleichzeitig machten sich die betroffenen Kantone daran, die PCB-Quellen im Einzugsgebiet der Flüsse zu identifizieren, um mit den Geländebesitzern allfällige Sanierungsmassnahmen einleiten zu können. Der Fall Saane war schnell gelöst: Die Emissionsquelle ist die ehemalige Deponie von La Pila, rund sieben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

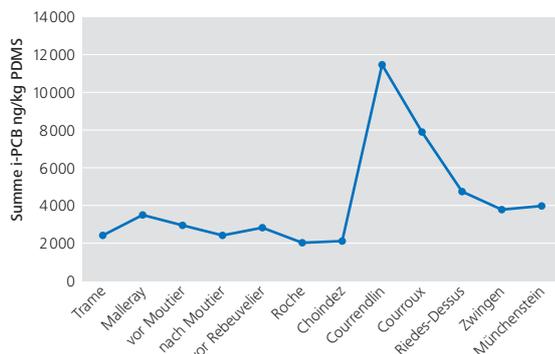
Durch die Auswertung des angesammelten Materials wurde klar, dass ein Fabrikstandort flussabwärts von Choindéz die Quelle sein musste, auf dem seit Mitte des 19. Jahrhunderts Stahl produziert wurde, und wo noch heute Stahl verarbeitet und auch recycelt wird. Flussaufwärts wurden keine erhöhten PCB-Werte 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.

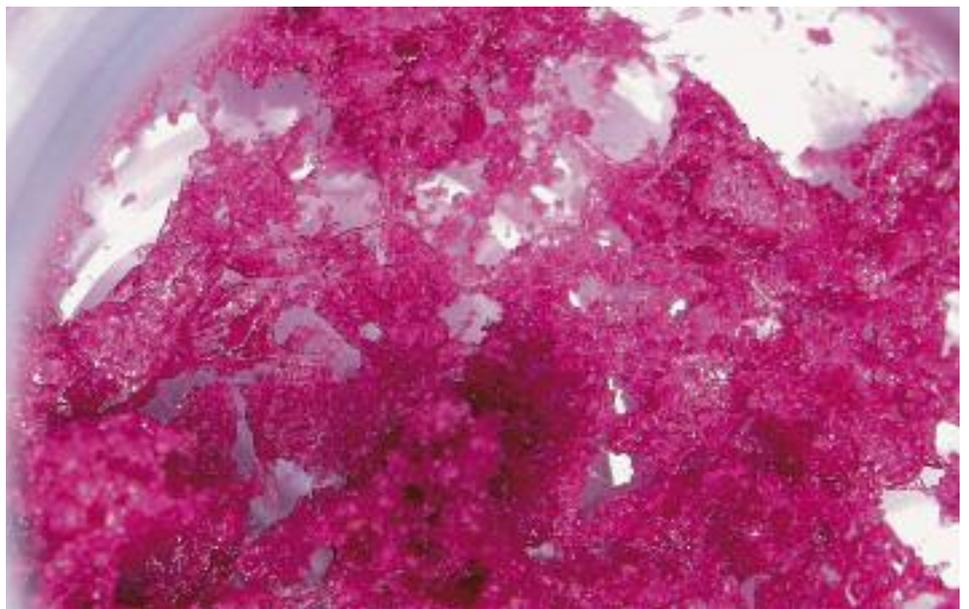
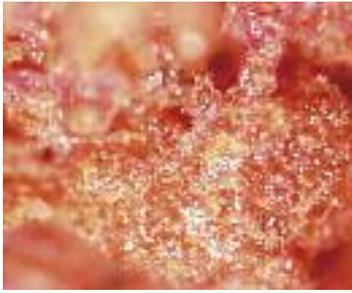
2 Aus der Aare am Grimsel wurden Wasserproben entnommen und auf PFC untersucht.

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 (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 CO₂ 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 CO₂.

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_{0.95}Pd_{0.05}O₃ 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

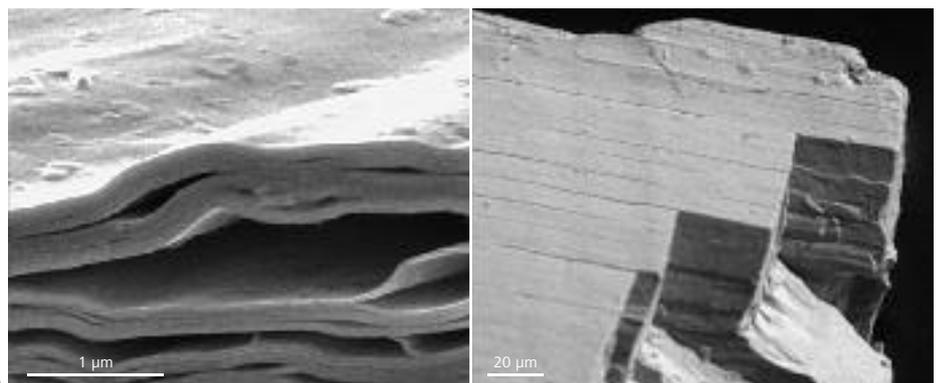
Für eine nachhaltige Energieversorgung ist letztlich aber unabdingbar, Primärenergieträger einzusparen und effizienter zu nutzen. Technische Geräte und Anlagen produzieren zum Teil sehr viel Abwärme, die meist ungenutzt verpufft – oder sogar noch aufwändig abgeführt werden muss. Thermoelektrische Generatoren 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.

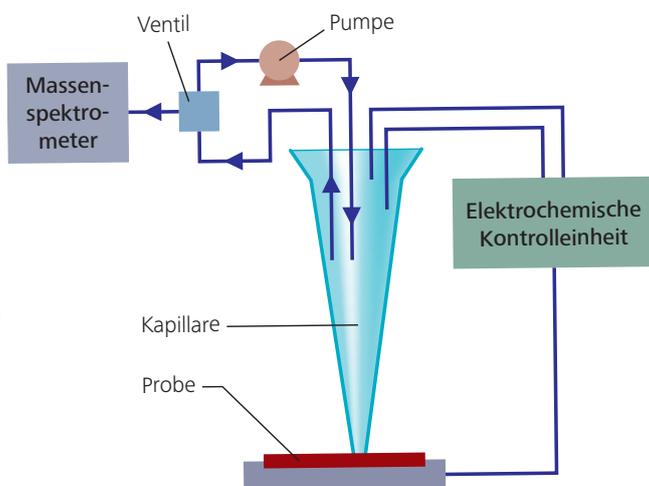
Diese Praktika haben Studierende auch schon motiviert, ihre Masterarbeit an der Empa zu machen. So aktuell David Moser: Im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunkts MANeP (Materialien mit neuartigen elektronischen Eigenschaften) befasst er sich in seiner Masterarbeit mit der Herstellung thermoelektrischer 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. Weitere Informationen zum Jahr der Chemie finden sich unter www.chemistry2011.org (in Englisch).

– Universität Basel

Fest der Moleküle
Departement Chemie
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

– 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

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.

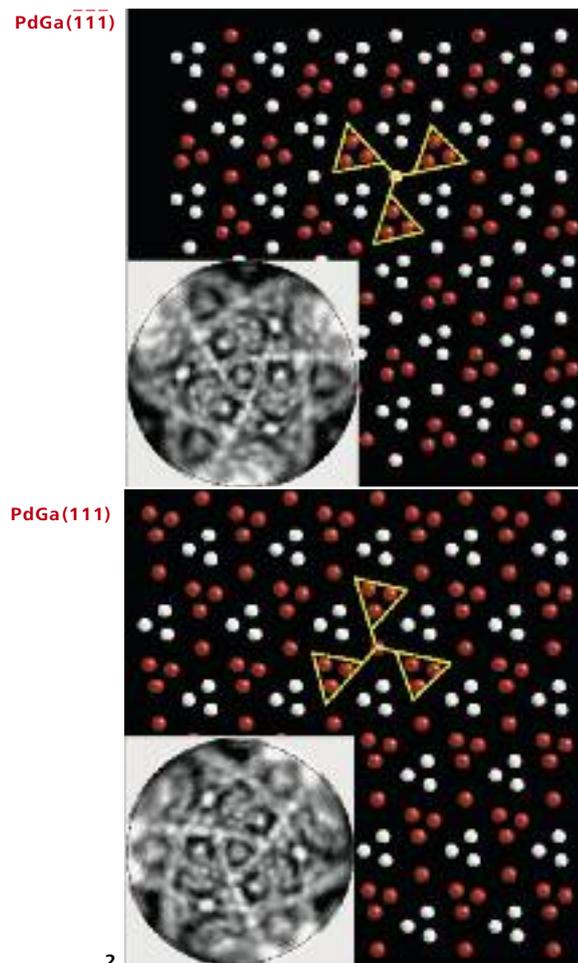
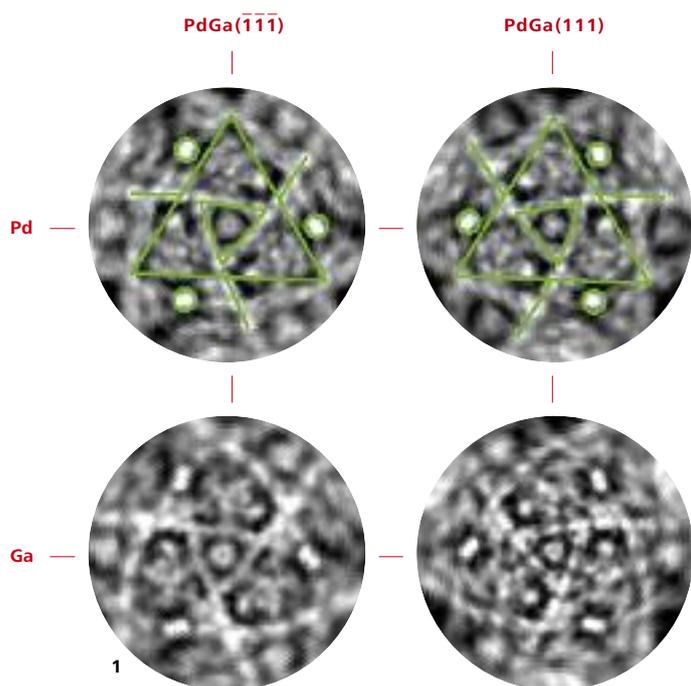
2

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.

Fast 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

Ein 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. //

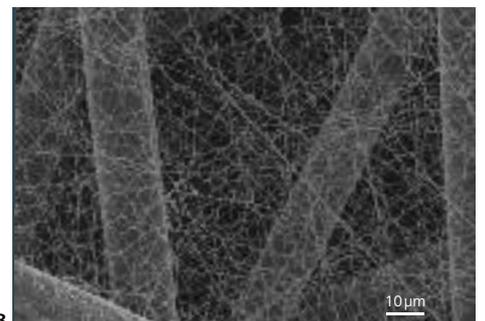
1
Ein Arbeitsgerät von Empa-Forscher Jing Wang: Der Windkanal zur Untersuchung von Nanopartikeln ist rund drei Meter breit und 13 Meter lang.

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

10 µm

Blick in die chemische Tiefe

Mit chemischen Tiefenprofilen können dünne Schichten, beispielsweise für Solarzellen, von oben nach unten auf ihre chemische Zusammensetzung analysiert werden. So lässt sich überprüfen, ob die eingesetzten Materialien in gewünschter Reihenfolge und Reinheit vorliegen. Empa-Forschende haben ein Instrument entwickelt, das chemische Tiefenprofile von sehr dünnen Schichten schnell und mit hoher Auflösung erstellen kann.

TEXT: Beatrice Huber / BILDER: Empa



Schichten im Mikro- und Nanometerbereich erfreuen sich dank spezieller physikalischer Eigenschaften grosser Beliebtheit in Forschung und Industrie. Zum Einsatz kommen sie etwa als Polymerfilme in der organischen Elektronik und in Lebensmittelverpackungen. Oder in der Photovoltaik: Fachleute an der Empa und an anderen Forschungsinstituten entwerfen neuartige Solarzellen aus verschiedenen organischen und anorganischen Materialien, die nur einige Mikrometer dick sind und dennoch eine gleich gute oder noch bessere Leistung zeigen wie gängige Solarzellen aus Silizium. Zudem sind Dünnschicht-Solarzellen deutlich leichter, was ihre Einsatzmöglichkeiten erweitert, und benötigen weniger Material zur Herstellung.

Um das Sonnenlicht in möglichst viel Strom umzuwandeln, sind die Schichten meist sehr komplex aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut. Um diese mehrlagigen Schichten präzise, zuverlässig und reproduzierbar herstellen zu können, müssen der Aufbau sowie die chemische Zusammensetzung der einzelnen Schichten regelmässig überprüft werden. Instrumente, die chemische Tiefenprofile erstellen, sind also gefragt. Die Empa-Abteilung «Werkstoff- und Nanomechanik» in Thun verfügt über den Prototyp eines solchen Gerätes.

Schnell – und erst noch hoch auflösend

Der «Plasma Profiler» – so der Name des Instruments – kombiniert Massenspektrometrie mit Glimmentladung. Letztere nutzt ein aus dem Edelgas Argon bestehendes Plasma, um bei einem Umgebungsdruck von nur wenigen Millibar Atome und Moleküle aus der zu untersuchenden festen Probe zu lösen und zu ionisieren. Die Ionen gelangen dann in das Massenspektrometer, das die chemische Zusammensetzung der Dünnschichten bestimmt.

«Die Kombination von Glimmentladung und Massenspektrometrie ist an sich nicht neu», sagt Empa-Forscher James Whitby, der das Instrument mitentwickelt hat. «Das von uns benutzte Flugzeitmassenspektrometer ermöglicht jedoch sehr schnelle Messungen, ohne dass wir den Massenbereich, über den wir messen können, einschränken müssen. Und das gab es bislang nicht.» Denn das Flugzeitmassenspektrometer analysiert alle Ionen gleichzeitig, inklusive sehr grosse, zum Beispiel von Polymeren, selbst wenn die Schichten nur sehr dünn sind. Die Tiefenauflösung liegt bei rund fünf Nanometer.

Entwicklung auf dem Weg zur Marktreife

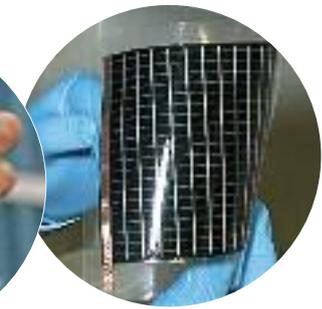
Die ersten Arbeiten für den «Plasma Profiler» begannen vor rund acht Jahren. Im Rahmen

eines von der Kommission für Technologie und Innovation KTI finanzierten Projekts wurde das Instrument weiterentwickelt. Daran war neben der Empa die Tofwerk AG beteiligt, eine Spezialfirma für Flugzeitmassenspektrometer mit Sitz in Thun. Für ein Folgeprojekt innerhalb des 6. EU-Rahmenprogramms kamen dann noch weitere europäische Universitäten und Industriepartner dazu. Insgesamt wurden drei Prototypen gebaut. Neben dem ersten Instrument in Thun steht heute noch je ein «Plasma Profiler» an der Universität im spanischen Oviedo und bei einem der Industriepartner, HORIBA Jobin Yvon SAS in Paris, der die kommerzielle Version des Instruments auch bereits vermarktet.

Die Empa-Forschenden um James Whitby haben vor allem an den Grundlagen gearbeitet. «Wir haben sehr viel Zeit investiert, um das Instrument zu verstehen und zu beherrschen», sagt Whitby. «Denn ein Analyseninstrument nützt nur dann, wenn wir dessen «Output» auch korrekt interpretieren können.» Wie müssen die Proben vorbereitet werden? Welche Umgebungsdrücke sind optimal? Bei welchen Frequenzen muss das Plasma angeregt werden? Welches Material hinterlässt welchen «Fingerabdruck» im Massenspektrum? All diese Fragen wollen beantwortet sein, soll das Instrument zuverlässige und reproduzierbare Resultate liefern.



2



Gerät mit vielen Talenten

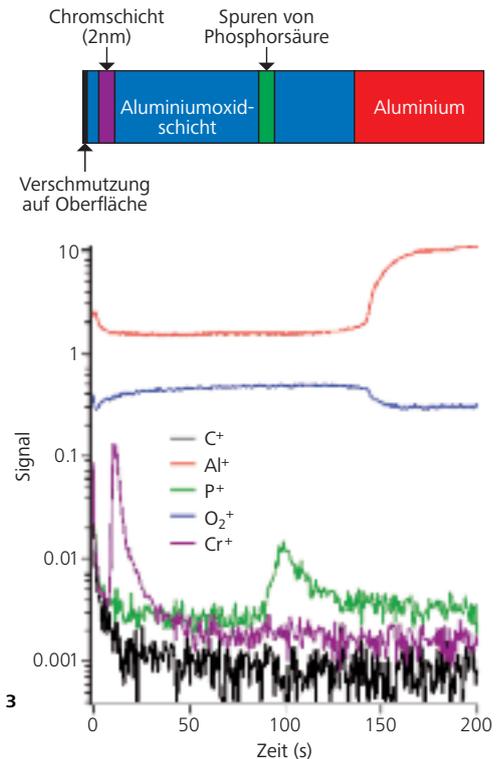
Der «Plasma Profiler» bietet eine ganze Reihe von Vorteilen: etwa die gepulste Anregung. Metastabile Argon-Atome, die während des Nachglühens, also in der kurzen Zeit nach dem Puls, besonders zahlreich im Plasma vorhanden sind, ionisieren das Probenmaterial «sanft» und vereinfachen das Massenspektrum von Molekülmaterialien. Zudem schon die gepulste Anregung das Probenmaterial, wodurch auch Substanzen wie Glas «analysierbar» werden, die bei kontinuierlicher Anregung beschädigt würden. Doch damit nicht genug: Dank dem Flugzeitmassenspektrometer kann das Instrument nicht nur positiv geladene Metallionen, sondern auch negativ geladene Anionen – beispielsweise Halogene wie Fluor und Chlor – messen, was in der Kombination mit anderen Massenspektrometern nicht so einfach ist. Da der «Plasma Profiler» Hochfrequenzanregung nutzt, lassen sich auch Proben analysieren, die elektrisch nicht leitend sind. Etwas, das mit kommerziell erhältlichen Instrumenten, die Massenspektrometrie mit Glimmentladung kombinieren, bislang unmöglich war, jedoch wichtig ist, um organische Polymere zu untersuchen.

Entsprechend vielfältig sind daher die Einsatzmöglichkeiten des Multitalents. Etwa, um Korrosionsprozesse zu untersuchen,

beispielsweise an Kulturgütern, aber auch in der Automobil- und Raumfahrtindustrie. Auch Beschichtungen von medizinischen Implantaten und dielektrische Spiegel – das sind Spiegel, die nur ein Teil des Lichtspektrums reflektieren und zum Beispiel in Lasern eingesetzt werden – lassen sich nanometergenau chemisch analysieren.

Instrument für dreidimensionale Profile

Der «Plasma Profiler» ist auf dem Weg zur Kommerzialisierung. Das Empa-Team arbeitet denn auch bereits an weiteren Projekten. So entwickeln sie beispielsweise ein Instrument, das nicht nur eine hohe Auflösung in die Tiefe zeigt, sondern auch lateral, das heisst zur Seite. Damit könnten dann dreidimensionale chemische Karten von komplexen Mehrkomponentenmaterialien erstellt werden. //



3

1

Dünne Schichten werden für verschiedene Anwendungen untersucht, beispielsweise für Photovoltaik. Um diese präzise, zuverlässig und reproduzierbar herstellen zu können, müssen der Aufbau sowie die chemische Zusammensetzung der einzelnen Schichten regelmässig überprüft werden.

2

Der «Plasma Profiler» analysiert feste Proben und erstellt chemische Tiefenprofile auch von sehr dünnen Schichten mit einer hohen Auflösung. In der Kammer links im Bild findet die Glimmentladung statt (der Probenhalter ist in geschlossenen Zustand nicht sichtbar); rechts ist das Massenspektrometer (sowie seine Stromversorgung).

3

Tiefenauflösung: In eine Aluminiumoxidschicht (Dicke 230 Nanometer, blau) wurde eine hauchdünne Chromschicht (Dicke 2 Nanometer, violett) eingebettet. Der Peak zeigt mit hoher Auflösung, wo sich die Chromschicht befindet. Das starke Signal zu Beginn der Messung stammt von einer Verschmutzung mit Kohlenstoff auf der Oberfläche.

Neues Laserzentrum in Thun

Im April 2011 wurde an der Empa in Thun im Beisein von Empa-Direktor Gian-Luca Bona und dem Stadtpräsidenten von Thun, Raphael Lanz, das neue Laserzentrum eingeweiht. Dieses beherbergt eine weltweit einzigartige UV-Laseranlage mit einer 4,5 x 2,5 Meter grossen Granitunterlage. Die Empa wird mit dem Laserzentrum in enger Zusammenarbeit mit der Crealas GmbH riesige Oberflächen mikrostrukturieren. Die Anlage dient den Forschenden unter der Leitung von Patrik Hoffmann dazu, neuartige Oberflächen zu entwickeln; Industriepartner stellen dort grosse Folien mit mikro- und nanometerfeinen Lasergravuren her. Die Bearbeitung verleiht Materialien neue physikalisch-mechanische Eigenschaften: Die Mikrostrukturen verringern Reibung, wirken wasserabstossend oder verhindern Pilzbewuchs. Anfertigen lassen sich auch Folien für optische Strukturen mit lichtleitenden Eigenschaften, sei es für neuartige Beleuchtung, 3D-Bildschirme oder Photovoltaik.



Windkanal in Dübendorf eröffnet

Eine typische Stadt: dicht gedrängte Häuserzeilen, asphaltierte Strassen, dazwischen wenig Grünflächen. Ein solches Stadtdesign führt dazu, dass sich Städte im Vergleich zu ihrem ländlichen Umfeld stärker aufheizen, es bilden sich so genannte Wärmeinseln. Abwärme von Fahrzeugen und Maschinen – zum Beispiel Klimaanlage – heizt die Städte weiter auf, selbst nachts kühlt es kaum merklich ab.

Im 26 Meter langen und rund 4 Meter hohen Windkanal, den die Empa zusammen mit der ETH Zürich aufgebaut hat und der im März feierlich eröffnet wurde, lassen sich im Massstab von 1:50 bis 1:300 Ideen simulieren, wie Städte besser «belüftet» werden können. Ein Ventilator mit einem Durchmesser von 1,8 Meter und ein Elektromotor mit 110 Kilowatt erzeugen in der Teststrecke Wind mit einer Maximalgeschwindigkeit von 90 Kilometer pro Stunde. Die Forschenden möchten wissen, wie Luftmassen Gebäude umströmen, welche Geschwindigkeiten und Turbulenzen auftreten und welche Auswirkungen dies in Bezug auf Energie, Komfort und Gesundheit hat: Ob sich so etwa Häuser im Sommer allein durch Wind (und erst noch gratis) kühlen lassen, wo Zugluft stören könnte – etwa in Strassencafés – und ob sich Schadstoffe natürlich abtransportieren lassen.

Lasertechnik macht Windgeschwindigkeiten sichtbar

Der Empa-Windkanal hat eine ausgeklügelte Messtechnik, die aus zwei Hochgeschwindigkeitskameras und einem speziellen Hochleistungslaser bestehen. Wo in anderen Windkanälen Luftbewegungen aus Einzelmessungen an spezifischen Messpunkten zusammengesetzt werden, «können wir den Luftstrom mit all seinen Fluktuationen sichtbar machen», sagt Viktor Dorer, der für den Windkanal zuständige Empa-Forscher. Damit die beiden Hochgeschwindigkeitskameras den Luftstrom «sehen» können, werden der Luft winzige Partikel beigefügt, die der Speziallaser mit einem auf eine Ebene aufgeweiteten Laserstrahl anleuchtet. Zwei Bilder – im Abstand von Millisekunden aufgenommen – machen Momentaufnahmen von Partikelbewegungen.

(Bildquelle: Monika Estermann)



World Resources Forum

Bereits zum zweiten Mal findet vom 19. bis 21. September 2011 das World Resources Forum WRF statt. Der Anlass will über die derzeitige Fokussierung auf den Klimawandel hinausgehen, denn dieser ist aus Sicht der Veranstalter nur ein Symptom eines viel ernsteren Problems: Unser heutiges Wirtschaftssystem braucht zu viel Ressourcen. Um den Verbrauch massiv zu senken, muss deshalb die Ressourceneffizienz drastisch erhöht werden.

Das WRF ist eine Initiative der Empa; zu den Partnern zählen unter anderem das International Resource Panel des Umweltprogramms der Vereinten Nationen UNEP, das Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU, das Deutsche Umweltbundesamt UBA, die Schweizer Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA, das Schweizer Staatssekretariat für Wirtschaft SECO und die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW. Anmeldung unter www.worldresourcesforum.org



«Wir wollen kreative Lösungsansätze für brennende Probleme präsentieren»



EmpaNews sprach mit Xaver Edlmann, WRF-Präsident und Direktionsmitglied der Empa, über Ziele und Highlights der Veranstaltung.

Herr Edlmann, was will das World Resources Forum erreichen?

Das World Resources Forum will für die Rohstoffproblematik sensibilisieren. Dabei geht es sowohl um seltene Metalle für Hightech-Produkte als auch generell um die Rohstoffverknappung. Man spricht neben «Peak Oil» bereits auch von «Peak Minerals» oder «Peak Metals».

Wen sprechen Sie an?

Einerseits natürlich Wissenschaftler, die die Grundlagen für einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen erarbeiten, andererseits Politik und Verwaltung, die für die politischen Rahmenbedingungen sorgen müssen, und die Wirtschaft, die sich im Sinne eines «Grünen Wirtschaftssystems» auf zukünftige Szenarien vorbereiten muss, sowie die Gesellschaft als Ganzes, speziell die junge Generation.

Warum soll man ans WRF gehen?

Weil kreative Lösungsansätze für brennende Probleme der natürlichen Ressourcen präsentiert werden. Des Weiteren ist es DIE Plattform für Ressourcenproduktivität. Ich erwarte auch wertvolle Anstösse im Hinblick auf die Realisierung einer «Grünen Wirtschaft».

Können Sie uns einige Programm-Highlights verraten?

Bundesrätin Doris Leuthard, Janez Potocnik, EU-Kommissar für Umwelt, sowie Achim Steiner, Generalsekretär des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP), haben als Redner beziehungsweise Redner zugesagt. Ashok Koshla, Co-Präsident des «Club of Rome», wird die Sicht der Schwellen- und Entwicklungsländer präsentieren. Viel verspreche ich mir auch vom Industrie-Workshop, in dem praktische Erfahrungen geschildert werden. Und zu einem echten Highlight werden hoffentlich auch die jungen Leute aus der ganzen Welt, die parallel zum WRF einen längeren Workshop bestreiten. Daraus könnten unkonventionelle, interdisziplinäre Diskussionen und Vorschläge resultieren.

Was versprechen Sie sich vom Anlass selbst?

Eine konstruktive Plattform für Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft für den Dialog. Und hoffentlich eine Fülle innovativer Ergebnisse. Letztere sollen weiterbearbeitet werden. Wir wollen das World Resources Forum zu einer lebendigen Informationsplattform im Internet ausbauen und damit die Basis für eine längerfristige Initiative bilden. //

Meinung

Heinrich Rohrer



Dr. Heinrich Rohrer
Nobelpreisträger Physik

“

Die Materialwissenschaft
an der Empa – vor allem
im Bereich Nano – ist seit
einiger Zeit im Steigflug.
Eine schöne Sache für
den Forschungsstandort
Schweiz.

”

Veranstaltungen

14., 21. und 28. Juni 2011

Flottenmanagement ganzheitlich betrachtet
Flottenmanager, Umweltfachleute,
FahrzeugverkäuferInnen, Mitarbeitende der
Fahrzeug- und Treibstoffbranche
Empa, Dübendorf

15. Juni 2011

Keramische Beschichtungen und Oberflächen
Empa-SVMT-Weiterbildungskurs
Empa, Dübendorf

16. Juni 2011

**Analytik und Forschung für Ihre
Produktentwicklung**
Für Industrie-Fachleute
Empa, St. Gallen

24. Juni 2011

**Molecular Electronics: From Organic Electronics
to Single Molecules**
Für Forschende im Bereich Molekularelektronik
Empa, Dübendorf

14. bis 18. August 2011

**Synthesis and Function of Thermoelectric
Materials**
Für Physiker, Chemikerinnen, Material-
wissenschaftler und Ingenieurinnen
Villars, Schweiz

23. August 2011

Swiss Texnet Innovation Day 2011
Für die Textil- und Bekleidungsindustrie sowie deren
Zulieferer
Empa, Dübendorf

19. bis 21. September 2011

World Resources Forum WRF
Für Interessierte und Wissenschaft,
Politik und Wirtschaft
Davos, Kongresszentrum

Details und weitere Veranstaltungen unter
www.empa-akademie.ch

Ihr Zugang zur Empa:

