

Empa **News**

Die Kunden- und Publikumszeitschrift der Empa
Jahrgang 7 / Nummer 26 / Juli 2009



Hightech-Tuning für Kraftmikroskope 20

EMPA 
Materials Science & Technology

Tensairity-Drachen
soll Strom produzieren 04

Andreas Züttel wirbt für den
Energieträger Wasserstoff 10

Brennstoffzellen-Kehmaschine
im Praxiseinsatz 15

«Es hat, solange es hat», ist keine Lösung

Hier zu Lande ist das Leben meist recht komfortabel: Benzin gibts an der Tankstelle, warmes Essen in der Kantine, und Strom kommt aus der Steckdose. Energie ist einfach da. Verfügbar. Immer und (fast) überall. Zwar nervt es, wenn die Tankfüllung praktisch im Monatsrhythmus teurer wird. Doch bislang war das – Hand aufs Herz – kein grosses Problem.



Jetzt ist Krise. Da dämmert es vielleicht einigen, dass es nicht ewig so weitergehen kann. Übrigens eine Binsenweisheit, die bereits in den Siebzigerjahren, während der ersten Ölkrise, aufkam. Und sich seither entsprechend abgenutzt hat. Doch alle verfügbaren Daten weisen daraufhin, dass wir besser heute als morgen das post-fossile Zeitalter einläuten.

An den notwendigen Technologien und Materialien arbeitet die Empa schon geraume Zeit, etwa am viel versprechenden Energieträger Wasserstoff (Fokus-Thema, ab S. 10). Dabei gilt es indes nicht nur, technologische Hürden zu überwinden, sondern auch ein gesellschaftliches Umdenken einzuleiten. Dies ist das Ziel des «World Resources Forum» im September in Davos (S. 23).

Die Nanotechnologie bildet einen zweiten Themenschwerpunkt in diesem Heft. Pünktlich zur 3. NanoConvention Anfang Juli in Zürich, bei der – so hoffen wir – wieder lebhaft und kontrovers über die Auswirkungen dieser «Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts» auf Wirtschaft und Gesellschaft, Umwelt und Gesundheit debattiert und gefachsimpelt wird.

Michael Hagmann
Leiter Kommunikation



**Mit Luft gefüllt
Tensairity-Drachen
soll Strom produzieren 04**



Titelbild

Empa-ForscherInnen haben ein Rasterkraftmikroskop (AFM, Atomic Force Microscope) mit einem Gerät für die Messung makroskopischer physikalischer Eigenschaften (PPMS, Physical Properties Measurement System) kombiniert. Das neue Hochleistungsinstrument kann beispielsweise für die Entwicklung künftiger magnetischer Festplattenspeicher eingesetzt werden.



**Mit Engagement dabei
Andreas Züttel wirbt für den
Energieträger Wasserstoff 10**



**Mit Wasserstoff unterwegs
Brennstoff-Kehrmaschine
im Praxiseinsatz 15**



**Mit Preis gekrönt
Empa-Brücke überzeugt durch
Design und Materialwahl 19**

Impressum

Herausgeberin

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

Redaktion & Gestaltung
Abteilung Kommunikation

Kontakt

Telefon +41 44 823 45 98
Telefax +41 44 823 40 31
empanews@empa.ch

Erscheint viermal jährlich



ISSN 1661-173X

Forschung und Entwicklung
04 Kraftwerk mit Flügeln

Forschung und Entwicklung
06 Solares Leichtgewicht

Forschung und Entwicklung
08 Der unmögliche Kristall

Forschung und Entwicklung
09 Die Moleküldreher

Fokus: Wasserstoff als Energieträger der Zukunft

10 «Wir können das Energieproblem lösen»

13 Testlauf für die Wasserstoff-Gesellschaft

14 Wenn Wasserstoff das Wasser kocht

15 Ist sauber, macht sauber

16 Komplexe H₂-Speicher: Hydride im Tank

17 Das Kraftwerk im Hause

18 Natürlich künstlich

Wissens- und Technologietransfer
19 Mit Spannung überbrückt

Wissens- und Technologietransfer
20 Hightech-Tuning für Kraftmikroskope

Wissens- und Technologietransfer
22 Silbersocken im Waschgang

Wissens- und Technologietransfer
22 Mehr Effizienz bitte!

Wissenschaft im Dialog
23 Nano? Aber sicher.

24 Veranstaltungen

Kraftwerk mit Flügeln

Tensairity-Elemente aus Membranen, Stangen und Kabeln haben sich im Bau bereits als extrem leichte und dennoch stabile Tragstrukturen bewährt. Aber eignet sich die Technologie auch für den Einsatz in der Luftfahrttechnik, etwa als Tragstrukturen für Drachen? Empa-Forscher loten derzeit die Grenzen aus – und wollen mit einem Demonstrator gar Strom produzieren.

TEXT: Martina Peter / FOTOS: Empa



1
Der ultraleichte Drachen hat eine Spannweite von 8 Metern, wiegt aber nur 3 Kilogramm.

2
Beim Schlepptest wird der Drachen von einem Fahrzeug in die Höhe gezogen.

3
Einer der Prototypen des Tensairity-Drachen im Labor des «Center for Synergetic Structures».

2



Zusammengefaltet wie eine schlafende Fledermaus liegt das Bündel auf dem Tisch. Plastikmembranen, Stangen, Kabel und Schnüre warten – fein säuberlich aneinandergefügt – auf ihren nächsten Flug. «Wir wollen wissen, ob sich Tensairity-Bauteile auch als Flügel für Drachen eignen», erklärt Physiker Rolf Luchsinger, Leiter des «Center for Synergetic Structures» an der Empa. Tensairity-Tragelemente aus einer mit Luft gefüllten Membran, Stangen und Kabeln werden bereits heute im Bauwesen eingesetzt, etwa als Träger für eine Parkhausüberdachung mit 28 Meter Spannweite in Montreux. Die ausserordentlich leichten, aufblasbaren Träger können aber auch für temporäre Bauten, beispielsweise Brücken, verwendet werden, überall dort, wo der Aufbau schnell und unkompliziert vonstatten gehen muss.

Nun wollen die Forscher ein weiteres Gebiet für diese Tragstrukturen erschliessen. Da Leichtbauweise auch in der Luftfahrt unentbehrlich ist, ein nahe liegender nächster Schritt. «Wie kommen wir vom Balken zu Flügeln?», fragten sich Luchsinger und Co. Flügel-Tragstrukturen für Drachen sind nicht nur für Sport- und Freizeit-anwendungen attraktiv, sondern auch interessant für Ingenieure. Beispielsweise im Einsatz als Zugdrachen, die Windenergie nutzen und als zusätzlicher Antrieb dieselbetriebene Frachter über die Weltmeere ziehen. Die «Kites» sollen Reedereien helfen, die hohen Treibstoffkosten zu senken.

Drachen kommen aber auch für die Stromgewinnung durch Wind in Frage. Die Drachen, so die Idee, steigen an Seilen mehrere Kilometer in die Höhe. Durch das Hochziehen wird am Boden ein Windensystem in Bewegung gesetzt, das Strom generiert. Auf Zielhöhe angelangt, legt der Drache gewissermassen die Flügel an und lässt sich Richtung Boden sinken, um gleich wieder hochzuziehen. Ein spannendes Einsatzgebiet für extrem leichte Tragstrukturen, da die Drachen für eine effiziente Windenergienutzung sehr gross sein müssen.

Wo sind die Grenzen?

Luchsinger setzte sich mit seinem Team das Ziel, einen aufblasbaren Drachen zu konstruieren, der dank optimalem Materialeinsatz leicht, stabil und effizient sein sollte. «Mit einem Demonstrator wollten wir herausfinden, wo flugtechnisch gesehen die Knackpunkte sind und woraus die Vorteile eines Tensairity-Drachens gegenüber traditionellen Flugobjekten bestehen», so Luchsinger.

Schon während seines Praktikums begann Luchsingers Mitarbeiter, Joep Breuer, der an der Universität Delft Luft- und

Raumfahrt studierte, mit dem Planen und Konstruieren von Tensairity-Flügeln. «Joep hat an der Nähmaschine bestimmt schon mehrere hundert Meter vom leichten Drachenstoff Icarex zusammengenäht», sagt Luchsinger. Wichtig sei, dass so ein Produkt nicht nur am Reissbrett entsteht. «Ob etwas funktioniert oder nicht, finden wir nur heraus, wenn wir das Ergebnis auch bauen und testen können.»

So entstand aus einer Vielzahl von Ideen zu Formen und Grösse des Drachens schliesslich eine Serie von Modellen mit verbesserter Aerodynamik und überzeugendem statischem Verhalten: Je schlanker und stabiler die mit Luft gefüllten Flügelholme sind, desto effizienter steigt der Drache, desto besser kann seine Zugkraft genutzt und zur Stromgewinnung eingesetzt werden. Alles eine Sache der Synergie, der konstruktiven Wechselwirkung zwischen Materialkomponenten mit unterschiedlichen Eigenschaften, also zwischen den mit Luft gefüllten Membranen, Stangen und Seilen, welche die Wissenschaftler zu einer neuen Einheit zusammenfügen.

Der bisher grösste Tensairity-Drache, den Luchsingers Team entwickelte und im Labor zahlreichen Belastungstests zur Statik aussetzte, hat eine Spannweite von acht Metern und eine Oberfläche von elf Quadratmetern. Mit einem Gewicht von 2,5 Kilogramm ist er dafür ausgelegt, eine Zugkraft von 1000 Newton zu erbringen. Rein theoretisch könnte dieser Drache 4000 Meter hoch steigen. Die Weltrekordhöhe liegt derzeit bei über 4000 Metern und wurde in der kanadischen Prärie im mittleren Westen erzielt. «Dort hat es rundherum nichts», sagt Luchsinger und erzählt von den Herausforderungen, die sich beim Testen der Fluggeräte stellen. Denn die Wissenschaftler wollen nach dem langwierigen Berechnen und erfolgreichen Bau natürlich wissen: Steigt der Drache nun in die Höhe? Wie hoch fliegt er? Fliegt er stabil auch bei hohen Geschwindigkeiten? Und – nicht zu vergessen – kommt er am Ende des Flugs wieder heil unten an? Hierauf können Schlepptests unter freiem Himmel eine Antwort geben.

Drachen im Testflug unter freiem Himmel

Doch einfach vor der Empa in Dübendorf aufs offene Feld gehen und dort den Drachen steigen lassen, ist nicht möglich. Luchsinger: «Für Drachen, die über 60 Meter hoch fliegen sollen, braucht es in der Schweiz eine Bewilligung.» Auf einem für sie reservierten Rollweg auf dem Militärflugplatz Dübendorf durften sie erste

Solares Leichtgewicht

Nur mit Sonnenenergie die Welt umrunden, das könnte schon bald Wirklichkeit werden. «Solar Impulse» soll als erstes solarbetriebenes Flugzeug ohne Treibstoff die Erde umrunden. Nach langer Forschungs- und Entwicklungszeit ist der Ultraleichtflieger bald gebaut. Auch dank zahlreichen Entwicklungen verschiedener Institutionen. Darunter die Empa, die ihr Know-how vor allem bei der Auswahl der geeigneten Materialien einbrachte.

TEXT: Michael Hagmann / FOTO: Solar Impulse



>>

Schlepptests durchführen. Als äusserst nützlich stellte sich bei den ersten Versuchen die «Nase» mit Airbag-System heraus, die den Drachen bei «unkontrollierten Landungen» vor dem Schlimmsten bewahrte. Doch nicht nur die Berechtigung muss vorliegen. Wichtig sind auch Wetter- und Windverhältnisse. «Für solche Schleppversuche sollte es möglichst windstill sein», sagt Luchsinger.

Die Forscher hatten Glück: Die Bewilligung war da, die Verhältnisse waren perfekt, als Luchsinger kürzlich mit seinen Kollegen auf einem ehemaligen Militärflugplatz im Berner Oberland weitere Schlepptests durchführte. Angehängt an einen Personenwagen wurde der Drachen auf einer ein Kilometer langen Strecke in einer Höhe von ca. 50 Meter gezogen. Und er kam auch wieder heil herunter – meist ohne die Airbag-Nase einsetzen zu müssen.

«Unser System funktioniert», so Luchsingers Fazit. «Der Tensairity-Drachen hat die Erwartungen erfüllt, hat die Kräfte, die auf ihn wirkten, ausgehalten.» Nun denken die Forscher bereits an ihre nächsten Vision – ein Drache mit einer Spannweite von bis zu 30 Metern, dessen Membranen mit Helium befüllt werden, und der auch bei Windstille in der Höhe weiterschweben kann.

Das neue Flügelkonzept eignet sich nicht nur für den Drachenbau, sondern hat ebenfalls Potenzial für den Sport oder die unbemannte Luftfahrt. Auch eine Anwendung als Kommunikationsplattform ist vorstellbar: Eine Drachen-Plattform (HAPS, «High Altitude Platform System») in grosser Höhe empfängt an Stelle von Satelliten Signale für Funk und Telefonie und leitet sie weiter. //

Der Tensairity-Drachen nach erfolgreichen Schlepptests im Berner Oberland.





Fliegen soll ökologischer werden. Das Projekt Solar Impulse rund um den Flugpionier Bertrand Piccard wagt dabei den ersten Schritt. Zwar ist Solar Impulse nicht das erste Solarflugzeug, es ist jedoch das erste, das auch nachts in der Luft bleiben soll. Und zwar mit Hilfe von Lithiumbatterien, die tagsüber Sonnenenergie für die Nacht speichern.

Nicht nur die Flügel mit ihrer integrierten dünnen «Haut» aus Solarzellen, sondern jedes Glied der Antriebskette musste für Solar Impulse optimiert werden. Ein wichtiger Punkt dafür ist das Design des Flugzeuges und die Materialien, die für den Bau verwendet werden. Die Empa hat dabei einen wichtigen Beitrag geleistet, in-

dem sie an den Kohlenstofffaserlaminaten und -bauteilen sowie den Bespannfolien die mechanischen und thermischen Eigenschaften experimentell bestimmte. «Das sind wichtige Materialparameter für die Bauteilbemessung», so Giovanni Terrasi, Leiter der Abteilung «Mechanical Systems Engineering». Ziel war, das Design und die Sicherheit des Flugzeuges zu optimieren, es also leichter, widerstandsfähiger und sicherer zu machen.

Das ist gelungen: Solar Impulse hat eine Flügelspannweite von 61 Metern – somit nahezu wie der Airbus A-340, wiegt aber nur einen Bruchteil davon. Der Roll-Out des ersten Prototypen soll Mitte 2009 stattfinden, gefolgt von den ersten Testflügen. //



TV-Beitrag

Am 21. Mai 2009 zeigte das Schweizer Fernsehen in der Sendung «Einstein» einen Beitrag über die Tensairity-Drachen. Das Video «Drachen als Stromproduzenten» ist zu finden unter: <http://www.sf.tv/sendungen/einstein/sendung.php?docid=20090521>

Der unmögliche Kristall

Moleküle mit Fünffachsymmetrie ordnen sich auf einer Oberfläche als zweidimensionale Kristalle an. Einen Ansatz zum Verständnis dieses «unmöglichen» Verhaltens lieferten kürzlich Forscher der Empa und der Universität Zürich, indem sie die komplizierten Prozesse dieser Kristallisation mit einem Rastertunnelmikroskop verfolgt haben.

TEXT: Martina Peter

Was die machen, ist theoretisch eigentlich gar nicht möglich», lacht Karl-Heinz Ernst von der Empa-Abteilung «Nanoscale Materials Science» und meint damit seine Moleküle mit Fünffachsymmetrie, die sich auf einer Oberfläche möglichst dicht anordnen und in zweidimensionale Kristalle «verwandeln». In der Kristallographie ist das ein Ding der Unmöglichkeit – aus dem gleichen Grund, weshalb sich nämlich ein Boden nicht lückenlos mit gleichzeitigen fünfeckigen Kacheln fliesen lässt. Es sei denn, weitere geometrische Formen werden dazu genommen und zu einer Ebene kombiniert.

Zusammen mit Jay Siegel vom Institut für organische Chemie der Universität Zürich untersuchte Ernst so genannte Corannulen-Moleküle. Diese Moleküle mit fünfzähliger Symmetrie besitzen eine gewölbte Form – wie eine Schüssel – und gelten als Fragment von Buckminster-Fulleren, dem so genannten Buckyball. Sie werden deshalb auch als «Buckybowls» bezeichnet. Die Kohlenstoffatome der Corannulen-Moleküle sind in fünf Hexagonen um einen zentralen Fünfering angeordnet. Von Corannulen und seinen Derivaten erhoffen sich die For-

scher eine wichtige Rolle für die Weiterentwicklung neuer Materialsysteme, insbesondere für die Photovoltaik und Elektronik.

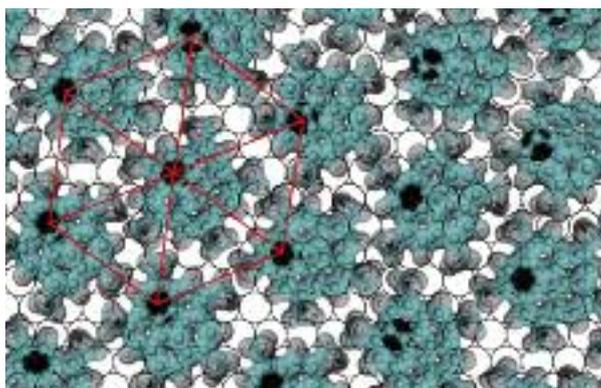
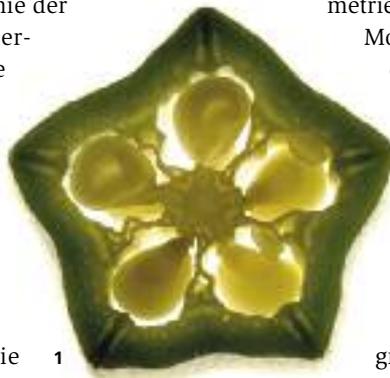
Wenn Moleküle beim Kristallisieren «schummeln»

Um zu beobachten, wie Moleküle mit fünfzähliger Symmetrie sich auf metallenen Oberflächen zu zweidimensionalen Kristallen anordnen, nutzten die Empa-Forscher das Rastertunnelmikroskop. Sie erwarteten, dass sie entweder eine unregelmässige Struktur beobachten würden, oder aber, dass die Moleküle eine perfekte Anordnung bildeten, dann jedoch mit einer von der Zahl fünf abweichenden Kristallgittersymmetrie. In der Tat moagelten die Moleküle, um eine möglichst dichte Packungsform auf der Oberfläche zu erreichen und «kippten» von der Fünffachsymmetrie weg.

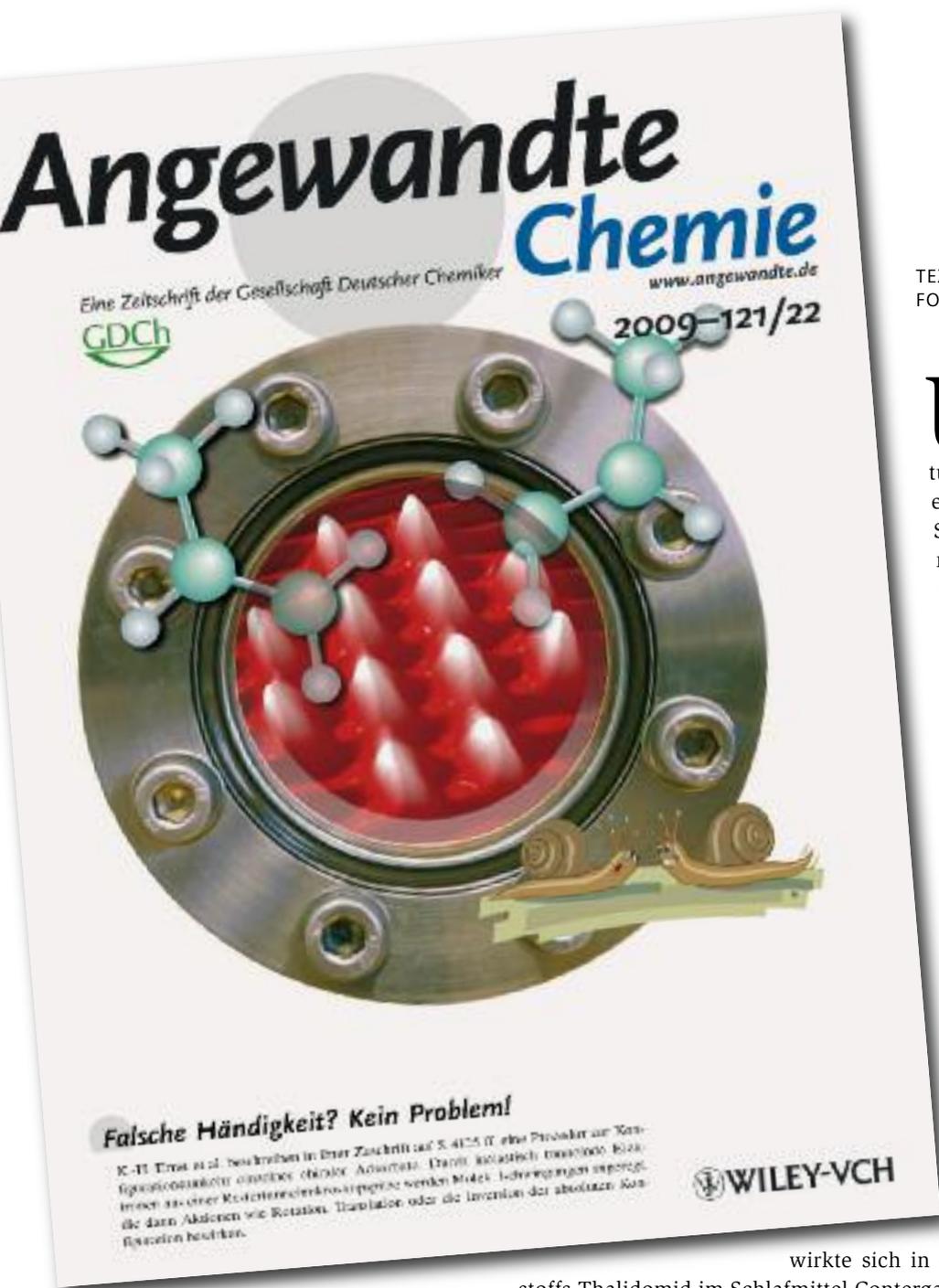
«Wir griffen deshalb in einem nächsten Experiment zu Molekülen mit sperrigen Seitengruppen. Die konnten nicht einfach umkippen und mussten weiterhin der Fünffachsymmetrie gehorchen», erzählt Ernst. Trotzdem bildeten diese Moleküle eine enge Packung. In ihren zweidimensionalen Kristallen sind die Moleküle auf einem sechseckigen Gitter angeordnet – sie bilden also eine sechszählige Symmetrie –, doch im Gegensatz zu Molekülen mit Sechsfachsymmetrie unterscheiden sich die einzelnen Corannulen-Moleküle in ihrer Ausrichtung parallel zur Oberfläche. Dieses Resultat, das die Forscher vor kurzem in der Fachzeitschrift «Journal of the American Chemical Society» veröffentlichten, wurde sowohl von mathematischen Simulationen als auch aufgrund einfacher mechanischer Modellierungen mit fünfeckigen Styropor- und Aluminiumscheiben auf Luftkissen oder Schütteltischen vorhergesagt. //

1 Nicht nur bei den «Buckybowl»-Molekülen zu finden – auch der Querschnitt einer Okraschote offenbart eine Fünffachsymmetrie. (Foto: iStock)

2 Beispiel einer Anordnung von Corannulen-Pentamethyl-Derivaten: Die schwarzen Punkte zeigen das regelmässige hexagonale Gitter, zu dem sich die fünfachs-symmetrischen Moleküle «zusammenraufen», doch ist jedes Molekül unterschiedlich auf den Gitterpunkten platziert. (Foto: Empa)



Die Moleküldreher



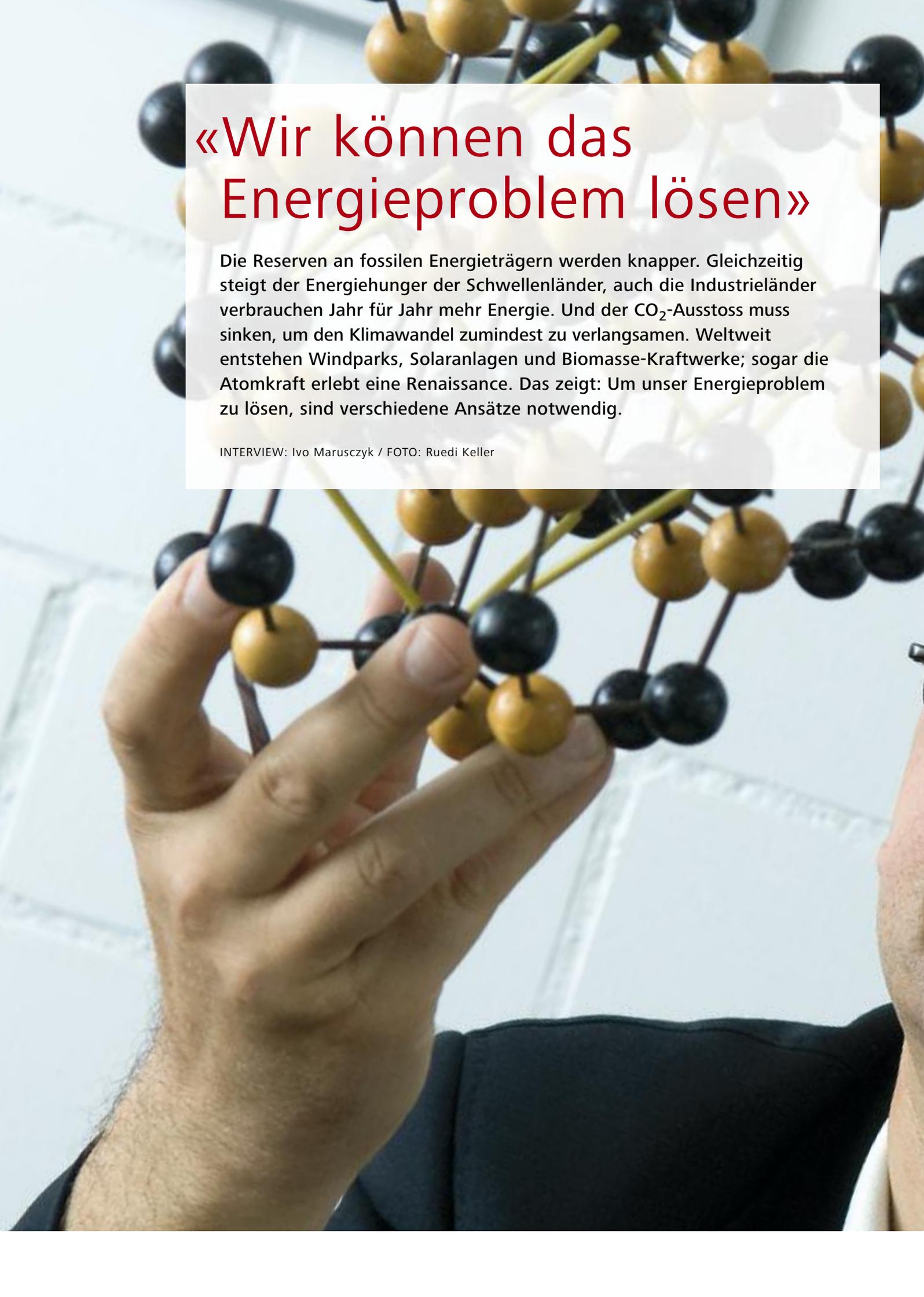
TEXT: Martina Peter /
FOTOKOMPOSITION: Anton Koster

Um chemische Reaktionen zu untersuchen, die auf Oberflächen stattfinden, versetzte Manfred Parschau im Rastertunnelmikroskop (RTM) einzelne Moleküle mit einem Elektronenstrahl hochpräzise in Schwingung. Die angeregten Moleküle begannen erst zu zappeln, dann zu hüpfen, drehten sich um ihre Achse, konnten aber auch blitzschnell «invertieren», das heisst in die gegensätzliche Spiegelbildform wechseln.

Diese Spiegelbildlichkeit oder Chiralität fesselte Parschau und seinen Kollegen Karl-Heinz Ernst: In der Natur kommen derartige «Paare», die gleich aussehen und doch verschieden sind, und auch mit Drehen und Wenden nicht zur Deckung gebracht werden können, häufig vor. Paradebeispiele für Chiralität sind Schneckenhäuser und Mineralien und – eben auch – Bausteine wichtiger Biomoleküle wie DNA und Proteine. Diese kommen fast ausschliesslich in einer der beiden Formen vor. Die unterschiedlichen Spiegelbildformen chiraler Moleküle können trotz identischer physikalischer und chemischer Eigenschaften biologisch völlig unterschiedlich wirken. So riecht beispielsweise der Duftstoff Carvon – abhängig von seiner linken oder rechten «Händigkeit» – entweder nach Minze oder nach Kümmel. Weniger harmlos

wirkte sich in den 1960er-Jahren die Händigkeit des Wirkstoffs Thalidomid im Schlafmittel Contergan aus: Seine rechtshändige Form brachte den erhofften Schlaf, das linksdrehende Thalidomid führte bei Schwangeren zu schweren Missbildungen der Ungeborenen.

Die Arbeit von Parschau und Ernst schaffte es in der Angewandten Chemie, Volume 48 Issue 22, Ausgabe 18. Mai, aufs innere Titelblatt (siehe Abbildung) und wurde von Nature Nanotechnology (online, 20. Feb. 2009) als «Research Highlight» ausgewählt. //

A close-up photograph of a person's hand holding a ball-and-stick molecular model. The model consists of black and yellow spheres connected by thin rods, representing atoms and bonds. The background is a blurred white grid pattern.

«Wir können das Energieproblem lösen»

Die Reserven an fossilen Energieträgern werden knapper. Gleichzeitig steigt der Energiehunger der Schwellenländer, auch die Industrieländer verbrauchen Jahr für Jahr mehr Energie. Und der CO₂-Ausstoss muss sinken, um den Klimawandel zumindest zu verlangsamen. Weltweit entstehen Windparks, Solaranlagen und Biomasse-Kraftwerke; sogar die Atomkraft erlebt eine Renaissance. Das zeigt: Um unser Energieproblem zu lösen, sind verschiedene Ansätze notwendig.

INTERVIEW: Ivo Maruszyk / FOTO: Ruedi Keller

A close-up portrait of Andreas Züttel, a man with glasses and a slight smile, looking towards the camera. The background is slightly blurred, showing what appears to be a laboratory or office setting with some equipment.

Andreas Züttel, Leiter des Empa-Forschungsprogramms «Materialien für Energietechnologien».

An der Empa forscht die Abteilung «Wasserstoff & Energie» an Lösungen für das Energieproblem. Die EmpaNews fragte Andreas Züttel, Leiter des Empa-Forschungsprogramms «Materialien für Energietechnologien», warum er fest an Wasserstoff als Ersatz für fossile Energieträger glaubt, und wann wir endlich mit Wasserstoffautos herumfahren können.

Herr Züttel, warum setzen Sie auf Wasserstoff?

Weil ich fest davon überzeugt bin, dass wir uns nach einem neuen Energieträger umsehen müssen. Wir haben uns daran gewöhnt, Energie einfach von der Tankstelle mitzunehmen. Auch in Zukunft wird es diesen Bedarf geben, es ist eine Sache der Bequemlichkeit. Und wenn wir auf fossile Brennstoffe verzichten müssen – sei es, weil die Vorräte zur Neige gehen, sei es, um den Klimawandel zu bremsen –, dann brauchen wir eine Alternative. Wasserstoff wird ganz bestimmt ein wesentlicher Teil davon sein, wenn nicht DER Energieträger schlechthin.

Was macht Sie so sicher?

Der Mangel an anderen Möglichkeiten. Es gibt nicht viele Stoffe, die als Energieträger in Frage kommen. Und Wasserstoff ist der einzige, den wir schon heute herstellen können. Wenn wir ihn dann noch an Stickstoff oder Kohlenstoff binden, könnten wir sogar synthetischen Treibstoff herstellen. Das wäre ein riesiger Schritt, um endgültig von fossilen Brennstoffen wegzukommen.

Nicht alle glauben an die Zukunft des Wasserstoffs. Die US-Regierung hat alle Zuschüsse für die Forschung in diesem Bereich gestrichen, sie setzt auf Elektromobile statt auf Wasserstoffautos.

Das halte ich für einen fatalen Schritt in die falsche Richtung. Die US-Regierung wird bald merken, dass Elektrofahrzeuge nicht dasselbe bieten können wie Benzinautos. Um ein Auto mit so viel Energie zu versorgen, wie in Form fossiler Brennstoffe getankt wird, sind riesige Batterien notwendig. Um 70 Liter Diesel zu ersetzen, benötigen wir beispielsweise eine Batterie mit einem Gewicht von einer Tonne. Oder ein Flugzeug: Batterien, die so viel Energie speichern, wie in 100 Tonnen Kerosin steckt, wiegen rund 4000 Tonnen. Das ist das zehnfache Startgewicht eines Airbus A380.

>>

Und die Energiedichte von Wasserstoff?

Wasserstoff kommt der Energiedichte fossiler Brennstoffe viel näher. Bei einer Verdoppelung des Tankvolumens kommen wir immerhin halb so weit wie mit fossilem Sprit.

Aber Wasserstoff lässt sich im Gegensatz zu Diesel oder Benzin nicht ohne Weiteres in den Tank füllen. Bei Wasserstoffautos der ersten Generation diffundiert der Wasserstoff einfach durch die Tankhülle, der Tank leert sich von selbst.

Das Problem ist inzwischen gelöst. Stationäre Tanks werden aus speziellem Edelstahl gefertigt, mobile Tanks aus Aluminiumgefässen, die durch einen Kohlenstofffaser-Epoxid-Verbundwerkstoff verstärkt werden.

Und die Versprödung des Materials durch den Kontakt mit Wasserstoff?

Die Tanks altern im Verlauf der Zeit durch Materialermüdung, das stimmt. Aber es gibt heute schon Tanks, die jahrelang eingesetzt werden können.

Wir müssen Wasserstoff aber immer noch unter sehr hohem Druck lagern oder auf minus 253 Grad kühlen, damit er flüssig bleibt.

Das stimmt, und wir erreichen noch nicht dieselbe Energiedichte wie bei fossilen Brennstoffen. Aber es gibt viel versprechende Ansätze. Sehr intensiv untersuchen wir zurzeit Hydride, spezielle Metallverbindungen, die Wasserstoff wie ein Schwamm aufsaugen und wieder abgeben können (siehe Seite 16).

Es gab und gibt etliche Versuchsautos, die mit Wasserstoff fahren. In Berlin und Hamburg sind entsprechende Busse unterwegs, Mazda und BMW zeigen bei vielen Anlässen stolz ihre Wasserstoffmodelle.

Manche Projekte sind schon wieder eingestampft worden. Wann kommen denn endlich die Wasserstoffautos für jede und jeden?

Die Autos kommen dann, wenn die Leute sie auch kaufen. Der Wasserstoffantrieb bietet der Industrie und dem Verbraucher im Moment noch keinen Vorteil gegenüber Benzin und Diesel. Deshalb wird er nicht akzeptiert. Um Wasserstoff zum neuen, nachhaltigen Energieträger zu machen, muss das ganze Wirtschaftssystem umgebaut werden, darin liegt das Problem. Unsere Wirtschaft und Gesellschaft sind auf die Verbrennung fossiler Energieträger ausgerichtet. Das wird sich erst ändern, wenn erneuerbare Energien dem System erhebliche Vorteile bringen. Solange fossile Energieträger verfügbar und halbwegs billig sind, wird sich allerdings kein anderes System durchsetzen. Aber die Zeit arbeitet für die Alternativen, schliesslich stehen uns fossile Brennstoffe nicht unbegrenzt zur Verfügung.

Rein technisch liesse sich also schon heute umsteigen?

Fast. Wir sind heute so weit zu zeigen, dass Wasserstoffautos technisch machbar sind. Serienreif ist die Technik aber noch nicht. Dazu haben die Entwickler noch einige Hürden zu meistern. Bei den Prototypen – zum Beispiel den Bussen in Berlin – wurde nicht preisgegeben, dass es Spezialfahrzeuge mit speziell ausgebildeten Fahrern waren. Alltagstauglich sind diese Fahrzeuge noch nicht, das wird gern verschwiegen. Aber keine Sorge. Wir schaffen das.



Auch mit Politikern im Gespräch: Andreas Züttel zusammen mit Bundesrat Moritz Leuenberger (rechts) im Januar 2009 am «World Future Energy Summit» in Abu Dhabi (VAE). Links: ETHZ-Präsident Ralph Eichler.

Der Ölpreisschock vom vergangenen Jahr scheint überwunden. Heisst das, alternative Antriebe haben jetzt wieder schlechte Karten?

Nein, der Ölpreis steigt ja schon wieder, und er wird weiter steigen. Dann haben wir die nächste Krise. Es wird nicht mehr funktionieren, am alten, auf fossilen Treibstoffen basierenden System festzuhalten. Wir müssen entweder unsere Bedürfnisse zurückschrauben, oder wir setzen auf eine Alternative.

Die Europäer sehen sich gern als Vorreiter in Sachen Klimaschutz und erneuerbare Energien. Zu Recht?

Ich halte uns Europäer für sehr naiv. Sie hoffen einfach, dass irgendjemand das Problem für uns löst. Im Vergleich zu den USA haben wir nur geringe politische Macht, hoffen aber trotzdem, noch Öl zu bekommen, wenn es knapp wird. Gleichzeitig setzen wir auf das falsche Pferd. Ein Grossteil der Forschungsgelder fliesst in die Hoffnung, irgendwann einen Fusionsreaktor bauen zu können, dabei weiss jeder, dass in diesem Bereich in den nächsten Jahrzehnten noch kein Durchbruch zu erwarten ist. Es macht mir Angst, dass wir in Europa nicht die Kraft aufbringen, nachhaltige Lösungen für das Energieproblem anzugehen.

Und speziell die Schweiz?

Die Schweiz hat sich lange damit gebrüstet, viel Strom aus Wasserkraft zu gewinnen, also saubere Energie zu nutzen. Das ist aber zu wenig, zumal viele Wasserkraftwerke zu einem wesentlichen Teil als Speicher für Atomstrom dienen. Bei anderen erneuerbaren Energiequellen sind uns die Nachbarn voraus. Ein Beispiel: In Europa gibt es inzwischen ein Netz von Wasserstofftankstellen, so dass ich von Norddeutschland bis Sizilien durchfahren kann – nur in der Schweiz klafft noch eine Lücke. Wir sollten heute anfangen, so viel erneuerbare Energie wie möglich ins Netz einzuspeisen. Deshalb halte ich es für falsch, die Vergütung für eingespeisten Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu beschränken.

Das heisst, das Problem wird nicht ernst genommen?

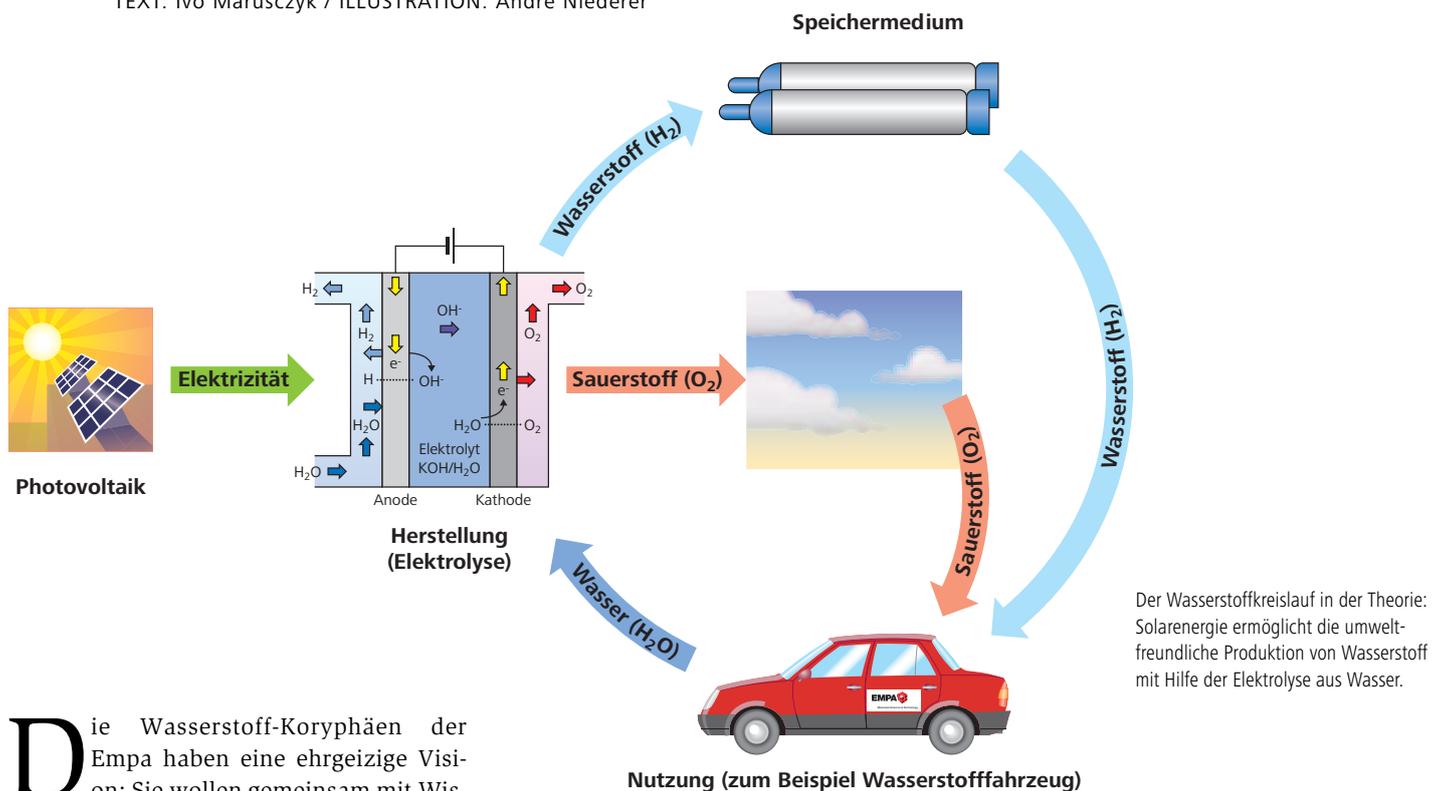
Wir können das Energieproblem lösen, davon bin ich überzeugt. Aber ich habe Zweifel, ob es gelingt, die Menschen davon zu überzeugen, dass vieles geändert werden muss. Ich fürchte, wir müssen erst eine gravierende Krise durchmachen. //

«Unsere Wirtschaft und Gesellschaft sind auf die Verbrennung fossiler Energieträger ausgerichtet.»

Testlauf für die Wasserstoff-Gesellschaft

Wasserstoff als Energieträger könnte uns aus der Abhängigkeit von Öl, Gas und Kohle befreien. Doch im Gegensatz zu fossilem Brennstoff muss Wasserstoff erst produziert werden – unter Verwendung erneuerbarer Energie. Die Empa will mit gutem Beispiel vorangehen: Schon bald könnte sie vorleben, wie ein Wasserstoffkreislauf funktioniert.

TEXT: Ivo Maruszyk / ILLUSTRATION: André Niederer



Die Wasserstoff-Koryphäen der Empa haben eine ehrgeizige Vision: Sie wollen gemeinsam mit WissenschaftlerInnen anderer Disziplinen den Traum eines Wasserstoffkreislaufs auf dem Empa-Gelände verwirklichen.

In wenigen Jahren könnten die Dächer auf dem Empa-Gelände bläulich schimmern. Bis zu 5500 Quadratmeter Dachfläche liessen sich für eine grosse Photovoltaikanlage nutzen, also ein knappes Fussballfeld. Der Strom aus den Solarzellen soll ein neues, gross angelegtes Elektrolysegerät speisen, das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff spaltet.

Der so gewonnene Wasserstoff müsste reichen, um etwa 20 Autos anzutreiben, genug also für die Empa-Flotte. Statt Abgase soll nur noch Wasser aus dem Auspuff dampfen. Ausserdem können verschiedene Labors den so gewonnenen Wasserstoff als Chemikalie in ihren Labors nutzen.

Allerdings ist umstritten, ob Photovoltaikanlagen im wolkenreichen Klima Mitteleuropas sinnvoll sind. Manche Forscher

denken beim Thema Energieversorgung im post-fossilen Zeitalter an riesige Solarfarmen in der Sahara und anderen Wüstengebieten der Erde. Doch der Empa-Forscher Andreas Züttel verweist darauf, dass die Sonneneinstrahlung auf dem Empa-Gelände in Dübendorf immerhin halb so gross ist wie in der Sahara. «Das lohnt sich auch hier», ist er überzeugt.

Realisierung trotz fehlender finanzieller Unterstützung

Züttel schätzt die Kosten für das geplante Wasserstoffprojekt auf 1.5 Millionen Franken. Zu seinem grossen Leidwesen hat das

Bundesamt für Energie es abgelehnt, den H_2 -Kreislauf auf dem Empa-Gelände zu unterstützen. Das hat das Pilotprojekt zurückgeworfen. «Wir müssen den Kreislauf eben nach und nach aufbauen. Es wird schon klappen», ist Züttel zuversichtlich.

Denn schliesslich betrifft das Pilotprojekt gleich mehrere wichtige Forschungsgebiete der Empa, allen voran die Photovoltaik und die Mobilitätsforschung. Der ohnehin geplante Umbau der Empa-Tankstelle auf Erdgas bietet die Möglichkeit, die Voraussetzungen für Wasserstoff-Betankungen zu schaffen. Was eine grosse Lücke im europäischen Wasserstoff-Versorgungsnetz schliessen würde. Auch die anderen Teile des Systems sollen im Zuge der Forschungstätigkeit aufgebaut werden, bis sich der Kreislauf schliesst. //

Wenn Wasserstoff das Wasser kocht

Zum Kochen brauchen wir normalerweise Gaskocher oder Elektroherd. Im Rahmen des Projekts «self» kommt dies allerdings nicht in Frage. self ist ein Wohncontainer, der seinen Energiebedarf deckt, indem er die benötigte Energie selber produziert. Als Küchenhilfe fungiert ein eigens dafür entwickelter Kocher, der mit Wasserstoff funktioniert.

TEXT: Simon Berginz / FOTO: Ruedi Keller

Das Ziel ist ein autarkes, das heisst von externer Energieversorgung unabhängiges Wohnen. Im Projekt self wird sich der Wohncontainer selber mit der Energie versorgen, die zum Wohnen und Leben notwendig ist. Butangas für einen Gasherd lässt sich indes nicht so einfach herstellen, und die wertvollen elektrischen Energiereserven der Lithiumionenbatterien werden unter anderem für Beleuchtung, Laptop und Kühlschrank benötigt.

200 bis 400 Grad Celsius heiss

Ulrich Vogt, Materialwissenschaftler an der Empa, hat deshalb den Prototyp eines neuen Kochers entwickelt. Die Grundlage bildet ein katalytischer Brenner der Firma Radiamon. Er besteht aus einem mit katalytisch beschichteten Fasern ausgelegten Metallgehäuse, bei dem unten und an der Seite Gasanschlüsse angebracht sind. «Diese katalytische Beschichtung, Platin, bewirkt, dass der Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft reagiert und ohne zusätzliche Zündquelle zündet», erklärt Vogt. So werden Temperaturen zwischen 200 und 400 Grad Celsius erreicht, genug für eine darüber angebrachte Keramikherdplatte. In der Tat eine besonders umweltverträgliche Sache, denn nachdem das Menu auf dem Wasserstoffherd zubereitet ist, fällt als Abfallprodukt lediglich Wasser an.

Ein altbekanntes Prinzip

Den hierzu benötigten Wasserstoff gewinnt self durch die Elektrolyse von Wasser (H_2O), das mit Hilfe von elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff (H_2 und O_2) gespalten wird. Das Wasser könne zum Beispiel der Regen liefern und nachgereinigt werden, so Vogt. Der so gewonnene Wasserstoff wird in den dafür vorgesehenen Hydriden gespeichert (siehe Artikel auf Seite 16/17). Aus diesen Wasserstofftanks kann nun bequem der benötigte Wasserstoff «abgezapft» werden. Die erzeugte Wärme ist aber nicht nur zum Kochen nützlich. Möglich wäre auch, einen Teil des Wohnraums auf diese Art zu heizen.

Wasserstoff als gute Alternative

Den Strom erzeugt self mit Hilfe von Photovoltaikzellen auf dem Dach. Doch warum dann nicht gleich einen Elektroherd damit betreiben? Die zusätzlich benötigten Batterien wären zu schwer für den Wohncontainer, dessen Gewicht maximal fünf Tonnen betragen darf, um seine Transportfähigkeit nicht allzu sehr einzuschränken. Deshalb soll nun für das Kochsystem die Wärmeerzeugung durch Wasserstoff erfolgen. Dieser wird im Sommer durch den Stromüberschuss produziert und gespeichert, im Winter als Energiequelle für Heizung und Herd verwendet.

Die Entwicklung dieses neuartigen Küchengerätes scheint die Empa-WissenschaftlerInnen inspiriert zu haben. Denn bereits wird an einem weiteren mit Wasserstoff betriebenen Modell getüftelt. «Das Konzept für einen Wasserstoffgrill liegt bereits in der Schublade», sagt Vogt verheissungsvoll. //





Ist sauber, macht sauber

Seit Mitte Mai ist Basel um eine Attraktion reicher: Strassen und Plätze werden vom «Bucher CityCat H₂» gereinigt, dem weltweit ersten Kommunalfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb, das während insgesamt 18 Monaten im Alltagsbetrieb auf Herz und Nieren getestet wird. Entwickelt wurde die Kehrmaschine von Forschern der Empa und des Paul Scherrer Instituts (PSI) in Zusammenarbeit mit mehreren Industriepartnern.

TEXT: Michael Hagmann / FOTO: Juri Weiss

Brennstoffzellen gelten als saubere Energiequelle für die Mobilität der Zukunft; sie wandeln Wasserstoff direkt in Strom um, mit dem sich beispielsweise Elektromotoren antreiben lassen. Der grosse Vorteil: Aus dem Auspuff entweichen keine Schadstoffe, sondern lediglich Wasserdampf, der in der Brennstoffzelle durch chemische Reaktion des Wasserstoffs mit Sauerstoff entsteht. Beim Einsatz in sensiblen Bereichen wie Fussgängerzonen, Bahnhofshallen oder gar in geschlossenen Räumen wie Messehallen reduziert der Einsatz solcher Fahrzeuge die Luftbelastung gegenüber konventionellen, meist mit Diesel angetriebenen Fahrzeugen erheblich.

Schrittmacher für die Wasserstofftechnologie

«Das Projekt soll nicht allein zeigen, dass eine Kehrmaschine mit Wasserstoff betrieben werden kann. Das ist trivial», erklärt

Projektleiter Christian Bach, Leiter der Empa-Abteilung «Verbrennungsmotoren». «Wir wollen die Brennstoffzellentechnologie vom Labor auf die Strasse – also in die Praxis – überführen.» Ausserdem gehe es darum, Betriebs- und Alterungsverhalten der neuen Technologie unter «ganz normalen» Alltagsbedingungen zu testen, zunächst in Basel, danach in St. Gallen und weiteren Schweizer Städten. Doch damit nicht genug: Das Projekt namens «hy.muve» (hydrogen-driven municipal vehicle) dient auch als Forschungsplattform für sozioökonomische Studien, in denen Fragen zur Akzeptanz der Wasserstofftechnologie, deren Markteinführung und Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

Kommunalfahrzeuge sind aufgrund ihres niedriglastigen Fahrprofils für derartige Antriebe besonders gut geeignet und können bereits mit einer einzigen Wasserstofftankstelle – wie nun in der «Pilotregion Basel» – sinnvoll eingesetzt werden. «Sie

üben deshalb eine wichtige Türöffnerfunktion für die Markteinführung weiterer wasserstoffbetriebener Fahrzeuge aus, zum Beispiel für Stadtbusse», so Bach. Bis Brennstoffzellen-PWs den Markt erobern, könne es indes noch 10 bis 15 Jahre dauern. «Innovative Technologien wie diese bis zur Marktreife zu entwickeln, ist äusserst kosten- und zeitintensiv», weiss Bach.

Deutlich geringerer Schadstoffausstoss

Dass der neue Antrieb in der Tat hält, was er verspricht, ergaben Computersimulationen der Empa; demnach verbraucht der Brennstoffzellenantrieb lediglich halb so viel Energie wie ein herkömmlicher Dieselantrieb. Damit lassen sich die CO₂-Emissionen selbst bei konventioneller Wasserstoffproduktion aus Erdgas um rund 40 Prozent senken. Am hy.muve-Projekt sind neben der Empa und dem PSI die Firmen Bucher Schörling, Proton Motor, BRUSA Elektronik AG und Messer Schweiz beteiligt. //

Vergleich zwischen unterschiedlichen Speicher- methoden: Für 4 Kilogramm Wasserstoff, was ungefähr 24 Litern Benzin entspricht, benötigen so genannte Metallhydride (Mg_2FeH_6 und $LaNi_5H_6$ als Beispiele) viel weniger Platz als gängige Gasflaschen und erreichen nahezu die Dichte von Benzin. (Illustration: Empa)

Komplexe H_2 -Speicher: Hydride im Tank

Trotz seiner vielen Vorzüge bereitet die Speicherung von Wasserstoff nach wie vor Kopfzerbrechen. Metallhydride – Metalle, die sich wie ein Schwamm mit Wasserstoff vollsaugen – sind eine attraktive Alternative zu Druckgas und Flüssigwasserstoff. Empa-Forschern ist ein Durchbruch bei der Herstellung neuer Hydride mit hoher Speicherkapazität gelungen.

TEXT: Ivo Marusczyk

Mit Wasserstoff wird ein Traum wahr: Aus dem Auspuff kommt nur Wasserdampf. In vielen Städten Europas waren schon Wasserstoffautos und -busse zu sehen, und in der Schweiz wischt seit Mai 2009 die erste wasserstoffbetriebene Kehrmaschine Strassen (siehe Seite 15).

«Egal, aus welchen Quellen wir in Zukunft unseren Energiebedarf decken: Für Autos brauchen wir auf jeden Fall einen Energieträger. Und Wasserstoff ist der einzige, der relativ gut und effizient genutzt werden kann», sagt Andreas Borgschulte von der Empa-Abteilung «Wasserstoff & Energie».

Doch bis Diesel und Benzin auf unseren Strassen dem Wasserstoff weichen, sind noch grosse Aufgaben zu meistern. Trotz aller Erfolge ist die Speicherung des gasförmigen Treibstoffs noch immer eine Knacknuss: Als Tank dienen entweder Gasflaschen mit 800 bar Druck. Oder die Fahrzeuge tanken flüssigen Wasserstoff – der allerdings aufwändig und teuer auf unter -253 Grad Celsius gekühlt werden muss.

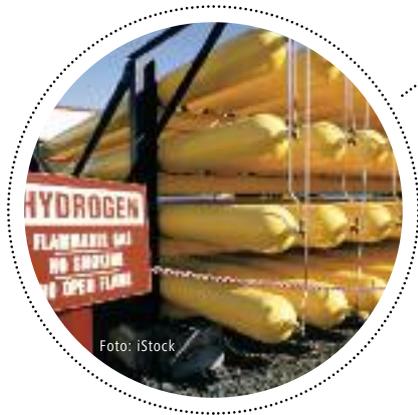
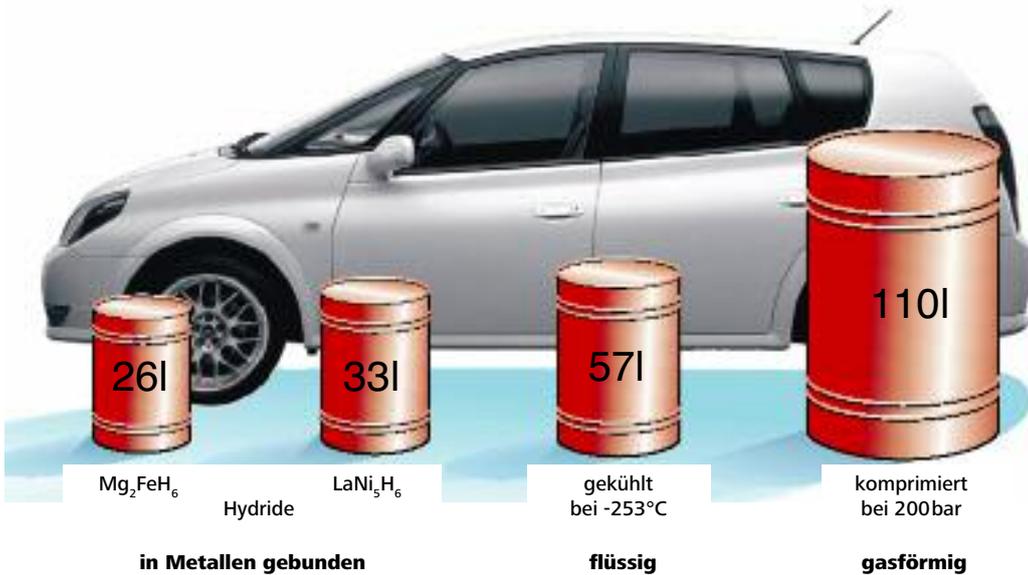
Eine dritte Möglichkeit, die durchaus eleganter wäre: Schon seit dem 19. Jahrhundert ist bekannt, dass bestimmte Metal-

le grosse Mengen an Wasserstoff aufsaugen wie ein Schwamm, ihn aber auch wieder abgeben können. Und das bei Umgebungsdruck und -temperatur.

Bislang zu schwer und zu teuer

Die Idee scheiterte bislang an zwei Problemen. Geeignete Metalllegierungen wie $LaNi_5$ sind viel zu schwer und ausserdem zu teuer, um sie als Wasserstoffspeicher in Fahrzeugen einzusetzen. Deswegen suchen Wissenschaftler nach leichten Metallen, die in ausreichender Menge zur Verfügung stehen und sich als «Wasserstoffspeicher» eignen. Einer der heissesten Kandidaten ist Lithiumborhydrid $LiBH_4$, ein komplexes Hydrid, das aus Lithium, Bor und Wasserstoff besteht. Es hat den Vorteil, dass es über eine besonders grosse gravimetrische Wasserstoffspeicherkapazität verfügt, es kann also besonders viel Wasserstoff binden.

Bislang liess sich dieses Hydrid allerdings nur mit Hilfe teurer und giftiger Lösungsmittel synthetisieren. Mit einer neuen Methode, $LiBH_4$ herzustellen, ist Empa-Forschern ein grosser Schritt auf dem Weg



zum Feststoff-Wasserstoffspeicher gelangen. Als erstes waren sie erfolgreich, $LiBH_4$ aus den Elementen, also direkt aus Lithium, Bor und Wasserstoff bei 150 bar zu synthetisieren. Bei Verwenden von Borhydriden als Ausgangsmaterial gelang dies sogar bei Normaldruck und moderaten 120 Grad Celsius. «Damit widerlegen wir ganz nebenbei die Lehrmeinung, nach der Bor und Wasserstoff nur in flüssigen Medien oder bei extrem hohen Temperaturen miteinander chemisch reagieren», sagt Empa-Forscher Oliver Friedrichs.

Noch ist das Ziel, die Reaktion unter Umgebungsbedingungen vonstatten gehen zu lassen, nicht ganz erreicht. Die Wissenschaftler suchen derzeit einen Katalysator, der die Bildung von $LiBH_4$ beschleunigt. Zudem wollen sie ergründen, ob sich die Synthesemethode auch für andere komplexe Hydride eignet. Der Erfolg hat die Wissenschaftler beflügelt. «Das ist auf jeden Fall ein viel versprechender Durchbruch», sagt Borgschulze. «Wir sind dem Hydridspeicher einen entscheidenden Schritt näher gekommen.» //

Das Kraftwerk im Hause

Verschiedene Wege führen bekanntlich nach Rom. Neben Wasserstoff gibt es noch andere regenerative Energieträger, etwa Holz- oder Biogas, die sich zur Stromproduktion nutzen lassen. «Diese Energieträger sind – im Gegensatz zu Wasserstoff – verfügbar und relativ einfach zu transportieren», meint Peter Holtappels von der Abteilung «Hochleistungskeramik». Die darin gespeicherte chemische Energie lässt sich in keramischen Brennstoffzellen (SOFCs, engl. Solid Oxid Fuel Cells) effizient in elektrische umwandeln, etwa zur Energieversorgung von Gebäuden.

SOFCs bestehen – im Gegensatz zu «herkömmlichen» Brennstoffzellen – aus mehreren gestapelten keramischen Platten; dabei fungieren die beiden äußeren Platten als Elektroden, an denen die chemische Reaktion – die «Verbrennung» des Brennstoffs und die Reduktion des Luftsauerstoffs – räumlich getrennt abläuft. SOFCs wandeln die dabei frei werdende Energie in elektrischen Strom um; zudem wird Wärme frei, die etwa für den Warmwasserbedarf genutzt werden kann. Allerdings ist die Betriebstemperatur der SOFCs mit 700 bis 850 Grad Celsius zurzeit noch recht hoch, was dazu führt, dass die Herstellung teurer wird, da zum Beispiel eine aufwändige Isolation nötig ist.

Holtappels und seine Kollegen arbeiten daran, die Effizienz der SOFCs zu steigern. «Wir forschen an neuen Materialien, mit denen sich die Betriebstemperatur auf 600 Grad Celsius senken lässt, und die gleichzeitig eine höhere Leistung ermöglichen sollen», erklärt Holtappels. Es existieren bereits kleine Demo-Kraftwerke in Bürogebäuden und Krankenhäusern, die aber regelmässig überwacht werden müssen. Verlaufen die geplanten Optimierungen der Empa-Forscher erfolgreich, könnten in Zukunft möglicherweise Wohnhäuser dank eingebauten SOFCs über ein «eigenes Kraftwerk» verfügen.

Natürlich künstlich

Letztes Jahr wurden weltweit fast 14 Milliarden Liter Erdöl verbraucht, Tendenz steigend. Der Ruf nach erneuerbaren Energieträgern wird daher immer lauter und animiert Forschung und Wissenschaft, neue Ideen zu entwickeln. So etwa in einem derzeit geplanten nationalen Forschungsprogramm, in dem die Empa künstliches Erdöl herstellen will.

TEXT: Simon Berginz / FOTOS: Ruedi Keller; Beck Energy GmbH



Solkollektoren statt Rapspflanzen: Sonnenenergie produziert Wasserstoff, der zusammen mit CO₂ aus der Luft zu einem künstlichen Treibstoff für Autos weiterverarbeitet werden soll. Dies ist wesentlich effizienter als der Anbau von Raps für Biotreibstoffe.

Our ignorance is not so vast, as our failure to use what we know», sagte einst Marion King Hubbert, ein amerikanischer Geologe und Geophysiker. Hubbert war es auch, der schon 1956 die Ölkrise von 1973 voraussagte. «Die Hälfte aller fossilen Energieträger ist bald verbraucht, und der Energieverbrauch nimmt weiterhin rapide zu», sagt der Empa-Wissenschaftler Andreas Züttel. Doch anstatt Unruhe verbreiten will Züttel einen künstlichen, erdöhlähnlichen Kohlenwasserstoff herstellen. Dazu hat er zusammen mit Heinz Berke von der Universität Zürich einen Vorschlag für ein neues Nationales Forschungsprogramm (NFP) eingereicht. Im NFP «Nichtbiogene erneuerbare Energieträger» sollen ForscherInnen aus zahlreichen wissenschaftlichen Disziplinen wie Physik, Chemie, Maschinenbau, Energietechnik, Materialwissenschaften zusammenarbeiten, um diese Idee in die Tat umzusetzen.

«Kunst-Öl» effektiver als Biomasse

Das Konzept ist relativ einfach: Mit Hilfe von Sonnenschein als natürlicher Energielieferant wird Wasser (H₂O) in Sauerstoff (O₂) und Wasserstoff (H₂) gespalten. Das Sonnenlicht wird zum Beispiel via Photovoltaikzellen in elektrische Energie umgewandelt, die mit Hilfe der Elektrolyse Wasserstoff produziert. Dieser kann dann mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Luft zu einer Kohlenwasserstoffverbindung reagieren, gemäss Vision ein möglicher zukünftiger Brenn- und Treibstoff.

Indes gestaltet sich das Einfangen des CO₂ aus der Atmosphäre eher kompliziert. Eines der zentralen Ziele des geplanten NFP ist daher, mit geeigneten Materialien, die Kohlenstoffdioxid absorbieren können, eine praktikable Lösung zu entwickeln.

Andere erneuerbare Energieträger wie Biomasse hält Züttel für weniger geeignet, unsere künftige Energieversorgung nachhaltig zu sichern. Ein konkretes Beispiel veranschaulicht dies: Würden auf einer Fläche eines Fussballfelds Rohstoffe wie Mais oder Raps für Biomasse angepflanzt (aus der dann Biodiesel hergestellt wird), könnten damit fünf Autos ein Jahr lang betrieben werden. Wenn aber auf der gleich grossen Fläche Photovoltaikzellen aufgestellt würden, um damit künstlichen Kohlenwasserstoff herzustellen, könnten 150 Autos für ein Jahr mit «Most» versorgt werden.

Entscheidung fällt Ende Jahr

«Aber dafür muss jetzt auf Teufel komm raus geforscht werden», so Züttel. Denn so einfach die Idee, so anspruchsvoll sei es, diese in die Tat umzusetzen – und daher entsprechend reizvoll für den Empa-Forscher. Eine erste Hürde hat die Idee bereits genommen: 7 von 57 eingegangenen Projektskizzen – darunter der Antrag von Züttel und Berke – wurden vor kurzem vom Staatssekretariat für Bildung und Forschung an den Schweizerischen Nationalfonds weitergeleitet. Aufgrund dessen wissenschaftlicher Prüfung wird der Bundesrat Ende 2009/Anfang 2010 entscheiden, welche Themen sich für ein NFP eignen.

Mit der Umsetzung des Projekts liesse sich nicht nur das Problem des baldigen Ölmangels lösen. Die mit dem künstlichen Erdöl angelegten Energiespeicher würden gleichzeitig den CO₂-Gehalt der Luft senken. Denn die vermehrte Ölproduktion bindet mehr CO₂ aus der Luft, als dessen Verbrennung ausstösst. Daraus ergäbe sich zudem eine Win-win-Situation: weniger Treibhausgase und erst noch volle Ölspeicher. //



Mit Spannung überbrückt

Die «Pfeilbogenbrücke», die Besucher ins Dübendorfer Verwaltungsgebäude der Empa führt, wurde am 26. Mai beim Wettbewerb «Holzpreis Schweiz 2009» als eine von 40 Holzkonstruktionen ausgezeichnet.

TEXT: Simon Berginz / FOTOS: Empa

Urs Meier, der frühere Direktor der Empa Dübendorf, tüftelte schon in den 1990er-Jahren an Brückenkonzepten mit neuartigen Materialien. 1996 sollte eine spektakuläre Fussgängerbrücke auf dem Gelände der Olympischen Spiele von Atlanta entstehen. Doch den US-Verantwortlichen fehlte das Vertrauen in die von Meier propagierten neuen Werkstoffe. Meiers Brücke sollte ausschliesslich aus Holz und Kunststoff bestehen und ohne gängige Baumaterialien wie Beton und Metall auskommen. Auch die Idee, beim Zürcher Escher-Wyss-Platz eine solche «Pfeilbogenbrücke», die mit Kunststoffbändern wie ein Pfeilbogen gespannt wird, über die Limmat zu errichten, scheiterte. Vom Fluss mitgeführtes Treibholz hätte den sensiblen Unterbau der Brücke gefährden können.

Geduld hat sich ausgezahlt

Im Jahr 2007 gab es dann doch noch ein Happy End. Im Rahmen der Renovation des Empa-Verwaltungsgebäudes in Dübendorf wurde – endlich – eine echte, zwölf Meter lange «Pfeilbogenbrücke» Tatsache. Auf die Jury des Wettbewerbs «Holzpreis Schweiz» machte die einzigartige Brückenkonstruktion einen derart grossen Eindruck, dass sie diese am 26. Mai mit der «Anerkennung Region Nord» auszeichnete. «Den Bau der Brücke habe ich zuerst als

Trostpreis betrachtet, doch nun hat sie sogar noch einen richtigen Preis gewonnen», freut sich Urs Meier.

Über dem tragenden Brückendeck aus Brettschichtholz liegt eine Platte aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK). Mit Bändern aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) wird die Brücke wie ein Pfeilbogen gespannt und schlägt einen eleganten Bogen über den darunter liegenden Teich. Die Werkstoffkombination aus Holz und Kunststoff ergibt optimale Synergien: Das Holz gewinnt so nicht nur an Steifigkeit, die CFK-Zugbänder korrodieren auch nicht und haben eine ausgezeichnete Festigkeit auf Zugbeanspruchung.

Fortsetzung folgt – in grossem Massstab

Gemäss Meier hätten sich bereits Interessenten gemeldet, die die Brücke nachbauen wollen. Bis zu einer Länge von 100 Meter wäre dies wahrscheinlich möglich. Deshalb wird die Brücke messtechnisch überwacht, um mehr über ihr Langzeit- und dynamisches Verhalten in Erfahrung zu bringen.

Die «Pfeilbogenbrücke» der Empa steht aber nicht nur als (nun preisgekrönte) Baukonstruktion vor dem Verwaltungsgebäude in Dübendorf. Sie steht als Sinnbild dafür, was die Empa täglich anstrebt: eine Brückenbauerin zu sein zwischen Forschung und praktischer Umsetzung. //

1 Bänder aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff sorgen für Spannung und korrodieren nicht.

2 Die Brücke schlägt einen eleganten Bogen über den darunter liegenden Teich.

3 Gesamtansicht: Die preisgekrönte «Pfeilbogenbrücke» vor dem Empa-Gebäude.



1



2



3

Hightech-Tuning für Kraftmikroskope

Eine innovative Technologie, ein gutes Netzwerk und eine geschickte Personalentwicklung sind die «Ingredienzen» für einen erfolgreichen Technologietransfer. Das gilt auch für das an der Empa entworfene und von der Firma NanoScan weiterentwickelte Instrument, das physikalische Eigenschaften von Materialien auf Nanometermassstab hochpräzise auslotet.

TEXT: Martina Peter / FOTOS: Ruedi Keller; Empa



Mit dem neuen Instrument können wir verschiedene Eigenschaften wie Topografie, magnetische und elektrische Felder sowie die Piezoresponse von Materialien zuverlässig lokal messen», erklärt Hans Josef Hug, Leiter der Empa-Abteilung «Nano-scale Materials Science» und Gründer der Firma NanoScan AG, ein Spin-off seiner damaligen Arbeitsgruppe an der Universität Basel.

Ein ergiebiges mögliches Einsatzgebiet sieht Hug bei der Entwicklung künftiger magnetischer Festplattenspeicher. «Dafür müssen auf der Oberfläche des Speichermediums mit höchster Präzision winzige magnetische Inseln mit einem Durchmesser von 10 bis 20 Nanometer hergestellt und während des Speicherprozesses in einem sehr schmalen Magnetfeldbereich ummagnetisiert werden können.» Um die Qualität solcher Speichermedien zu analysieren, eignet sich das neue Hochleistungsinstrument namens PPMS-AFM, das ein Rasterkraftmikroskop (AFM, Atomic Force Microscope) mit einem Gerät für die Messung makroskopischer physikalischer Eigenschaften – ein so genanntes PPMS (Physical Properties Measurement System) – vereint.

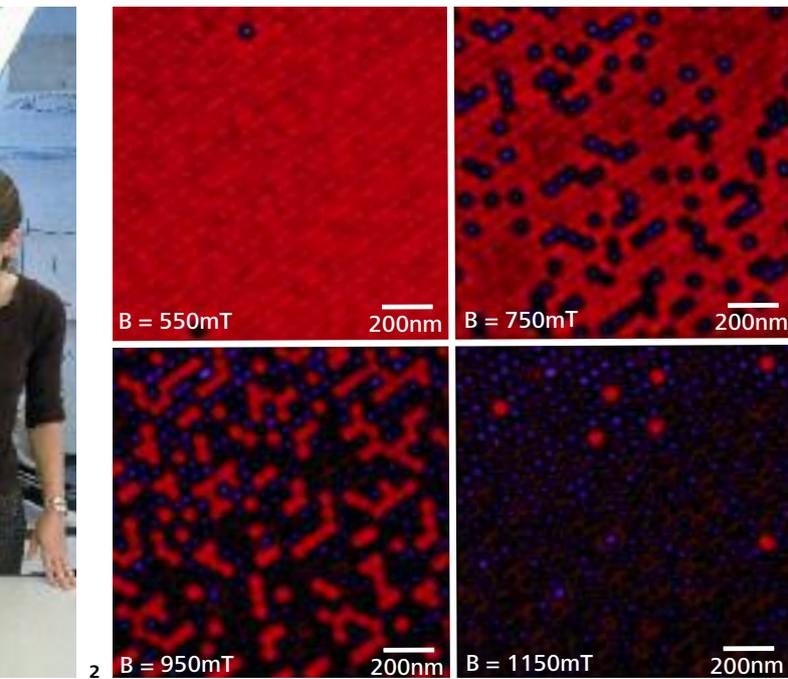
An der Empa hat Hug in den vergangenen Jahren zusammen mit dem Maschinenbau-Ingenieur Sasa Vranjkovic und den PhysikerInnen Raphaëlle Dianoux und Quang Thai ein innovatives

Ultrahochvakuum-Tiefemperatur-Rasterkraftmikroskop entwickelt, mit dem sich kleinste Kräfte in zwei Dimensionen messen lassen. Es kann beispielsweise ermitteln, wie steif Moleküle sind, oder welche Kräfte aufgewendet werden müssen, um Atome und Moleküle auf einer Oberfläche zu verschieben.

Von der Empa via NanoScan auf den Markt

In einem zweiten Schritt entwickelten Hug und Vranjkovic aus dem Gerät aber auch ein miniaturisiertes Rasterkraftmikroskop-Modul für das weit verbreitete PPMS der US-Firma «Quantum Design». PPMS-Geräte werden weltweit in Forschungslabors eingesetzt, um verschiedenste physikalische Eigenschaften einer Probe bei Temperaturen zwischen 2 und 400 Kelvin und in Magnetfeldern bis zu 16 Tesla zu messen.

«Die Nachfrage nach unserem Mini-AFM ist enorm; deshalb haben wir die Weiterentwicklung und Vermarktung des PPMS-AFM an NanoScan übertragen», so Hug. «Dort ist die Empa-Technologie dank zwei äusserst erfahrenen Physikern in guten Händen.» Erst vor kurzem ist NanoScan eine strategische Partnerschaft mit der Firma ION-TOF eingegangen, einem Industriepartner aus derzeit laufenden EU-Projekten, der Instrumente zur Oberflächenanalyse herstellt.



1

Empa-Forscher Hans Josef Hug und Raphaëlle Dianoux von der Firma Nanoscan mit ihrem Produkt, einem PPMS-AFM, das ein Rasterkraftmikroskop mit einem Gerät für die Messung makroskopischer physikalischer Eigenschaften vereint.

2

Künftige Speichermedien könnten aus kleinsten magnetischen Inseln mit 10 bis 20 Nanometer Durchmesser aufgebaut sein (blaue bzw. rote Punkte, je nach magnetischer «Polung» der Inseln). Die von den NanoScan-Physikern Guido Tarrach und Tim Ashworth aufgenommenen PPMS-AFM-Bilder zeigen, wie sich diese Inseln mit zunehmender magnetischer Feldstärke umpolen lassen – allerdings noch über einen relativ grossen Bereich: Bei einem Magnetfeld von 550mT schaltet eine erste Insel ihre Magnetisierung um (o.l.); bei 750mT hat noch immer eine Mehrheit der Inseln die ursprüngliche Polung (o.r.), bei 950mT hat die Mehrheit der Inseln geschaltet, doch selbst bei 1150mT sind noch nicht alle Inseln umpolt (u.r.; Probe von Seagate, USA).



In Raphaëlle Dianoux fand Hug dann auch gleich eine kompetente Mitarbeiterin, die nicht nur das notwendige technische Know-how mitbrachte, sondern auch bereit war, bei NanoScan die Aufgaben eines CEO zu übernehmen. Hug, nebenbei auch Verwaltungsratspräsident von NanoScan, war sich sicher: Mit der nötigen Unterstützung durch den Verwaltungsrat gelingt seiner ehemaligen Postdoc-Mitarbeiterin der Sprung ins kalte Wasser der Businesswelt und des Managements. «Das war eine echte Herausforderung und gleichzeitig eine grosse Chance für die berufliche Weiterentwicklung», sagt Dianoux.

Hugs Entscheid zahlt sich aus: Schon nach wenigen Monaten konnte NanoScan ein PPMS-AFM an eine spanische Universität verkaufen. Und nach erfolgreich verlaufenden Testmessungen hat nun auch eine grosse US-amerikanische IT-Firma ein NanoScan-Gerät in ihre Budgetplanung aufgenommen. Weitere Interessierte haben sich bereits gemeldet, so etwa eine chinesische Universität. //

Wie funktioniert ein PPMS-AFM?

Wie in jedem Rasterkraftmikroskop wird auch beim PPMS-AFM die Probe relativ zur Spitze gerastert; die Spitze «tastet» die gesamte Oberfläche also gewissermassen ab. Die dabei zwischen der in einen winzigen Federbalken (Cantilever) integrierten Spitze und der Probe auftretenden Kräfte führen zu einer Auslenkung des Cantilevers oder – je nach Betriebsart – zu einer Änderung seiner Schwingungsfrequenz. Die Auslenkung des Cantilevers wird dann durch ein hochempfindliches fiberoptisches Interferometer mit subatomarer Präzision gemessen. Bestimmt durch die physikalische Natur der herrschenden Kräfte, können unterschiedlichste Eigenschaften der Probe lokal gemessen und abgebildet werden.

Silbersocken im Waschgang

Viele Sportler setzen auf versilberte Fussbekleidung gegen Schweißfüsse. Doch beim Waschen verhalten sich die Funktionssocken anders als erwartet.

TEXT: Ivo Maruszyk / FOTO: iStock (bearbeitet)

Silbertextilien liegen im Trend: Silberbeschichtete Fäden im Gewebe oder gar Silber-Nanopartikel in den Fasern sollen Bakterien und Pilzen den Garaus machen und somit Schweißfüssen und anderem Ungemach entgegenwirken. Weitgehend unbekannt ist allerdings, was mit dem Edelmetall passiert, wenn die Kleidungsstücke nach dem Sport in der Maschine gewaschen werden.

Luca Geranio hat sich im Rahmen einer gemeinsamen Masterarbeit der Empa-Abteilungen «Technology and Society» und «Advanced Fibers» unter der Leitung von Bernd Nowack und Manfred Heuberger dieser Frage angenommen: Er untersuchte, ob und in welcher Form Silber aus den entsprechenden Textilien freigesetzt wird.

Ergebnis: Wie viel Silber sich letztlich in der Waschlauge findet, hängt in erster Linie vom Herstellungsprozess der Textilien ab. Es gibt Produkte, in denen silberbeschichtete Fäden zum Einsatz kommen. Andere Textilien bestehen aus Fasern, die Silber-Nanopartikel enthalten. Diese enthalten weniger Edelmetall, geben also auch weniger ab. Dabei kann das Silber als gelöste Ionen, in Form von Nanopartikeln oder als grössere Teilchen, etwa in Faserbruchstücken, freigesetzt werden. Grössere Silber-



mengen lösen sich vor allem beim ersten Waschen heraus, bei weiteren Wäschen nimmt die Menge deutlich ab.

Andere Erkenntnisse hingegen überraschten die Forscher: Der Waschlauge zugesetzte Bleichmittel setzen nicht mehr Silber aus den Fasern frei als mildere Waschmittel; demnach ist beim Waschen keine besondere Vorsicht walten zu lassen. Dies obwohl Bleichmittel alleine, also ohne Waschlauge, Silber-Nanopartikel äusserst schnell auflösen können.

Noch mehr erstaunte die Wissenschaftler jedoch ein anderes Resultat: In der Waschlauge von Socken mit Nano-Silberpartikeln fand sich nur sehr wenig dieses Metalls in gelöster Form, sondern vor allem in Form grösserer Teilchen – genauso wie bei Socken aus silberbeschichteten Fasern. Der Anteil freier Nanopartikel war dagegen gering. Überraschenderweise setzen also «Nano»-Socken das enthaltene Silber nicht in erster Linie in Nano-Form frei.

Diese Erkenntnis sei wichtig, wenn es um das weitere Verhalten und die Effekte des freigesetzten Silbers etwa in Kläranlagen und der Umwelt geht, so der Umweltwissenschaftler Bernd Nowack (siehe EmpaNews Nummer 25). //

Mehr Effizienz bitte!



World Resources Forum 2009

September 16, 2009 • Davos Switzerland

«Wie können wir weiterwachsen, obwohl unser Planet nicht wächst?» Diese Frage steht im Mittelpunkt des World Resources Forum (WRF), das sich am 16. September 2009 zum ersten Mal in Davos zu einer Vollversammlung trifft. Eine Frage, die kaum aktueller sein könnte. Schliesslich führt die Wirtschaftskrise deutlich vor Augen, dass ein allein auf Wachstum bauendes Wirtschaften nicht auf Dauer funktioniert.

Vor diesem Hintergrund fordern die Initiatoren des WRF ein Umden-

ken in Industrie und Politik: WissenschaftlerInnen aus der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Japan und China haben sich zusammengetan, um einen bewussteren und nachhaltigeren Umgang mit den begrenzten Ressourcen dieses Planeten einzufordern.

«Wir werden in Zukunft noch mehr Nutzen aus noch weniger natürlichen Ressourcen ziehen müssen», so umschreibt Lorenz Hilty, Leiter der Empa-Abteilung «Technologie und Gesellschaft» und einer der Haupt-Ini-

tiatoren des WRF die zentrale Botschaft. Der Umgang mit den Ressourcen der Erde – wie zum Beispiel mit knappen Metallen für Hightech-Produkte, mit Land für Siedlungs- und Agrarflächen oder mit Wasser – müsse überdacht werden. Ziel ist ganz klar eine massiv verbesserte Ressourcenproduktivität. Das WRF will realistische Handlungsalternativen darlegen und einen offenen Diskurs zum «nachhaltiger Umgang mit Ressourcen» in Politik, Industrie, Wissenschaft und der ganzen Gesellschaft anstossen.

Nano? Aber sicher.

Nach 20 Jahren Forschung und Entwicklung haben zahlreiche Nanoprodukte Einzug in unseren Alltag gehalten. Doch wie sich die Produkte während ihrer gesamten Lebensdauer – von der Entstehung über den Gebrauch bis zur Entsorgung – auf Umwelt und Gesundheit auswirken, ist noch nicht ausreichend erforscht. Das EU-Projekt «NanoImpactNet» bietet Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern eine Plattform, auf der sie ihr Wissen austauschen können.

TEXT: Martina Peter / FOTO: iStock

Das unabhängige US-amerikanische «Woodrow Wilson International Center for Scholars» verzeichnet in seiner Datenbank¹ mehr als 800 Nano-Alltagsprodukte, die weltweit auf dem Markt sind. Auch Schweizer Produkte sind darin aufgeführt: Zahnpasta mit Aufhelleffekt; eine Emulsion, die besonders tief in die Haut einzuwirken verspricht; ein Koffer mit Wasser abweisender Hülle. Sie verdanken ihre besonderen Eigenschaften der Nanotechnologie.

«Wir alle kennen die vielen verheißungsvollen Eigenschaften von Nanoprodukten», sagt Umweltwissenschaftler Bernd Nowack von der Empa-Abteilung «Technologie und Gesellschaft». «Doch wie sich diese Produkte auf die Umwelt auswirken, wissen wir nicht. Und auch nicht, ob und wie sie unsere Gesundheit beeinträchtigen können.» Die Forschung zu toxikologischen Aspekten hat in den letzten Jahren stark zugenommen; auch an der Empa erforschen Nowacks Kollegen Harald Krug und Peter Wick die Wechselwirkungen zwischen Nanopartikeln und Zellen beziehungsweise Gewebeproben. Doch noch immer ist unklar, welche Eigenschaften bestimmter Nanoteilchen beispielsweise dafür verantwortlich sind, dass diese die Zellmembranen mehr oder weniger ungehindert durchqueren können.

Lebenszyklen für Nanoprodukte unter der Lupe

«Nicht in jeder Lebensphase hat ein bestimmtes Nanoprodukt die gleichen Umweltauswirkungen», erklärt Nowack. Sicherheit wird allerdings nicht erst ein Thema, wenn das Produkt im Industriemassstab produziert wird und in Umlauf kommt. Bereits bei seiner Entwicklung im Labor können die winzigen Bestandteile theoretisch negative Folgen für die damit

hantierenden Forscher haben. Das gleiche gilt für die industrielle Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien. Und wie schaut es aus, wenn Produkte dann in den Handel kommen und im Gebrauch sind? Was passiert bei deren Entsorgung auf der Müllhalde oder als Sondermüll, bei der Verbrennung oder dem Recycling?

Nowack und seine Kollegin Claudia Som nehmen die Lebenszyklen verschiedener Nanoprodukte genauer unter die Lupe. «Wir nutzen Lebenszyklusanalyse-Methoden, um zu verstehen, wo während Herstellung, Gebrauch und Entsorgung der Nanoprodukte kritische Situationen entstehen können, der Einsatz von Nanoteilchen aber auch eine Chance bietet», sagt Som. Mit Hilfe von Computermodellierungen bewerten sie, welche Auswirkungen Nanomaterialien in der Umwelt haben können. Zudem werden auch Experimente zur unbeabsichtigten Freisetzung der Nanoteilchen aus Nanoprodukten durchgeführt. «Mit unserem Beitrag helfen wir der Industrie, nachhaltige und bessere Nanoprodukte zu entwickeln», fasst Som ihre Arbeit zusammen.

Dieses Wissen zum Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt will Bernd Nowack Forschungskreisen und Entscheidungsträgern auch über das europäische Netzwerk «NanoImpactNet»² zugänglich machen; Nowack ist Co-Leiter eines der sechs «Work Packages». Das im Rahmen des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms

finanzierte Projekt gibt WissenschaftlerInnen, Behördenmitglieder und Industrievertreter Gelegenheit, sich über mögliche Auswirkungen von Nanomaterialien auf Gesundheit und Umwelt auszutauschen. Ziel ist, Wege zu finden, um Nanomaterialien ohne Risiken und verantwortungsvoll weiterzuentwickeln. Regulatorische Massnahmen sollen gemeinsam definiert und in der Europäischen Rechtsschreibung verankert werden.

Informationen für alle zugänglich machen

Michael Riediker, NanoImpactNet-Koordinator und Chef der Gruppe «Partikel und Gesundheit» am Institut für Arbeit und Gesundheit (IST) in Lausanne, betont den Wert einer umsichtigen Kommunikation: «Alle, die sich informieren wollen, sollen die für sie wesentlichen Informationen auch bekommen.» Da für die Industrie derartige Informationen aber oft sehr sensibel seien und Daten, die in falsche Hände fielen, teure Ausfälle zur Folge haben können, müsse der Kommunikation zwischen Industrie und Wissenschaft ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ein Netzwerk wie NanoImpactNet soll den dafür nötigen Vertrauensrahmen schaffen, so Riediker. //

¹ Datenbank für Nano-Alltagsprodukte des «Woodrow Wilson International Center for Scholars»: <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer>

² NanoImpactNet: European Network on the Health and Environmental Impact of Nanomaterials: www.nanoimpactnet.eu



Meinung

Jarosław Starzyk



Jarosław Starzyk
Polnischer Botschafter in der Schweiz

“

Die Führung durch die Empa-Labors erlaubte mir zu verstehen, welchen wichtigen Beitrag die Empa zur Entwicklung neuer Technologien leistet, und was für eine wertvolle Brücke sie zwischen Wissenschaft und Wirtschaft darstellt.

”

Veranstaltungen

22. bis 24. Juli 2009

SHMII-4 2009

The 4th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure
ETH, Zürich

31. August 2009

Was kommt nach dem Öl?

Wissenschaftsapéro
Empa, Dübendorf

14. bis 16. September 2009

R'09 Twin World Congress und World Resources Forum (WRF)

Kongresszentrum Davos und Nagoya University, Japan

25. September 2009

Nacht der Forschung

Forschung zum Anfassen – am und auf dem Zürichsee, zwischen Bellevue und Zürichhorn

26. Oktober 2009

Fachtagung Nano und Umwelt

Für Hersteller und Vertrieber von «Nanoprodukten»
Empa, Dübendorf

4. und 5. November 2009

Bionik-Workshop

Für Ingenieurinnen und Entwicklungsleiter
Empa, Dübendorf

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

Ihr Zugang zur Empa:

 Portal

portal@empa.ch
Telefon +41 44 823 44 44
www.empa.ch/portal