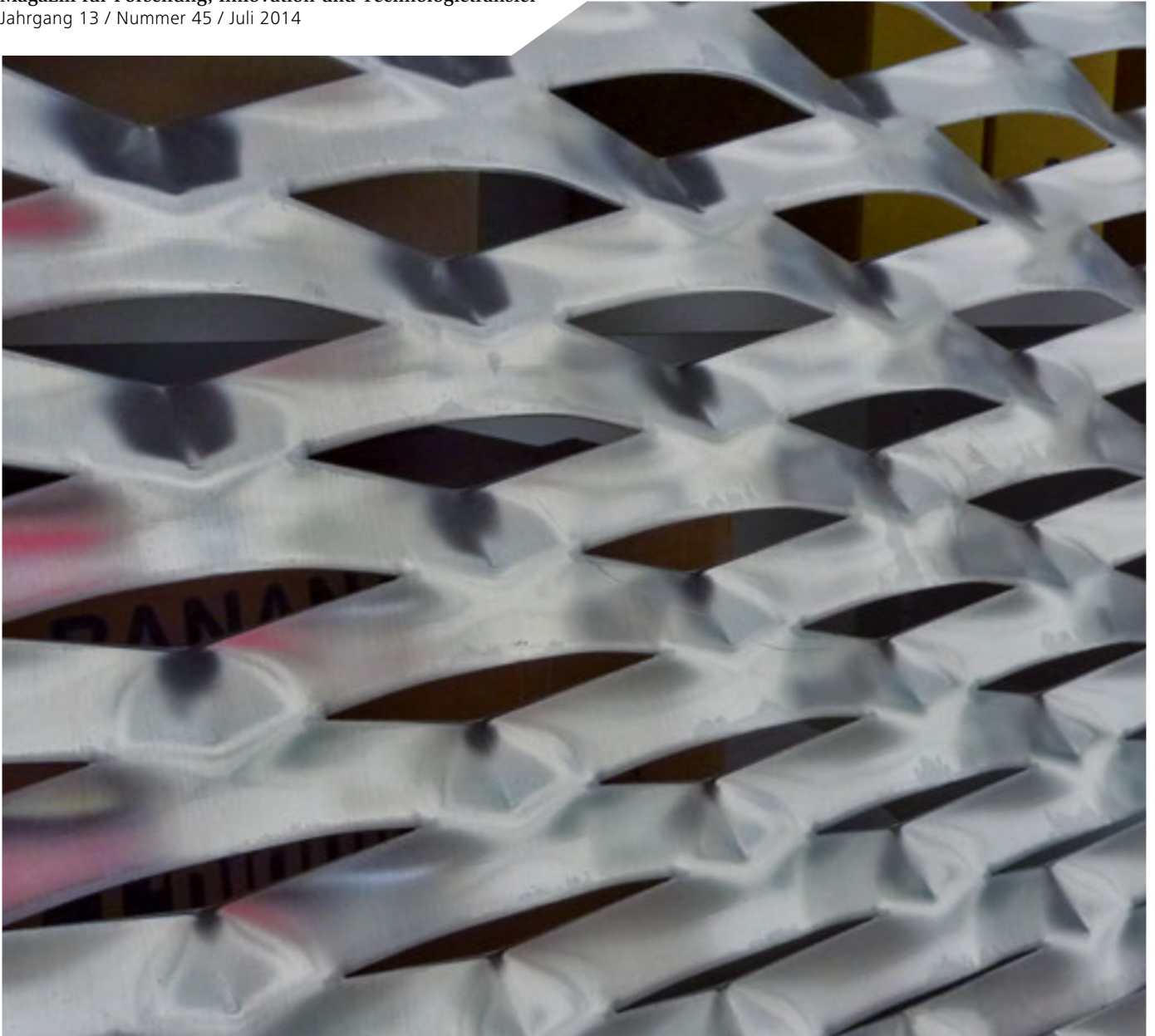


Empa **News**

Magazin für Forschung, Innovation und Technologietransfer
Jahrgang 13 / Nummer 45 / Juli 2014



Aus Strom wird Treibstoff



Seltene Metalle in
Schrottcomputern

Beton vorspannen
mit Memory-Stahl

Bandscheiben-Ersatz
fürs ganze Leben



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

In (Stoff-)Kreisläufen denken

Liebe Leserin, lieber Leser

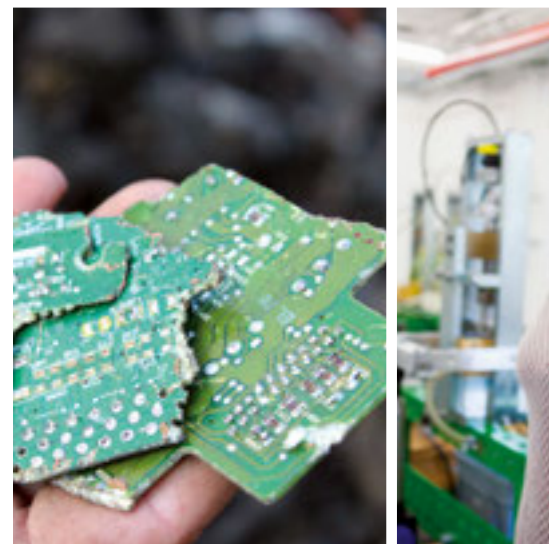
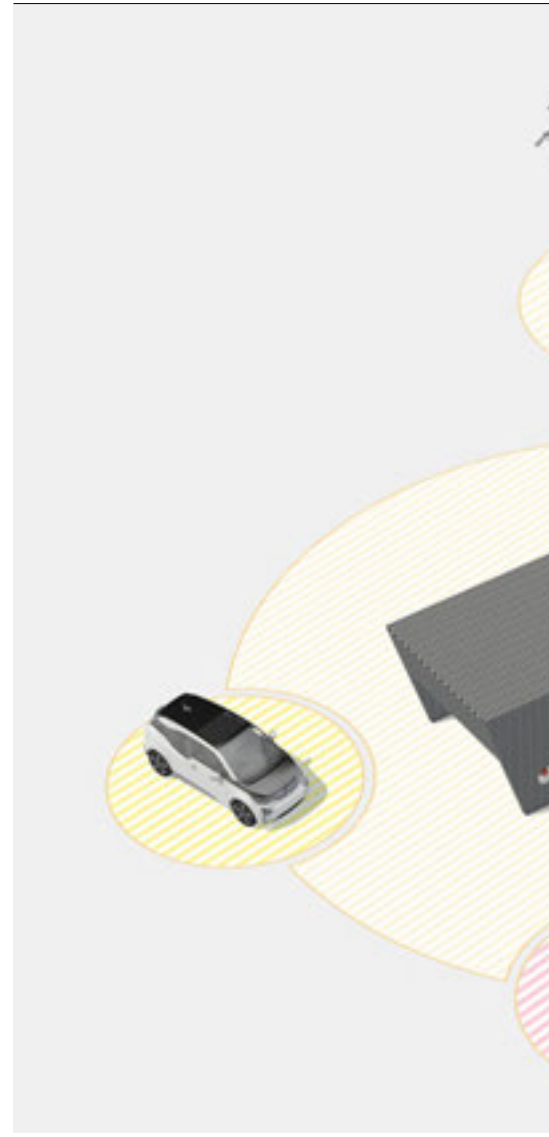
Atemberaubend schnell wirft die Unterhaltungselektronik neue Produkte auf den Markt. In immer kürzeren Abständen locken ihre iPhones, Galaxy's und Tablets mit noch mehr Features – und flugs nennt man den neusten kleinen digitalen Alleskönner sein eigen. Derweil der Vorgänger in der Schublade verstaubt.

Dabei steckt in den ausrangierten Gadgets allerhand Wertvolles: an die 50 teils seltene Metalle, die eigentlich – ein schönes deutsches Wort – in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden müssten, damit auch die nächste Menschengeneration sie noch verwenden kann. «Urban Mining» heisst diese Idee, die einen entscheidenden Vorteil gegenüber der Rohstoffförderung aus Erzminen hat: In unserem Elektroschrott sind die wertvollen Metalle bis zu 30-mal konzentrierter vorhanden als im Gestein. Da wäre es unklug, diese sekundäre Rohstoffquelle nicht zu nutzen, oder? Empa-Forscher untersuchen, wie sich dies technisch und wirtschaftlich am besten bewerkstelligen lässt.

Um Kreisläufe geht es auch bei unserem neuen Grossprojekt «Future Mobility». Dabei dreht sich alles um Energie, genauer: um die Treibstoffe der Zukunft. Die stammen idealerweise nicht mehr aus fossilen Quellen, sondern sind regenerativ. Gespeist aus erneuerbaren Energiequellen, etwa Sonne und Wind, lassen sich umweltfreundliche Treibstoffe wie Wasserstoff und Methan herstellen.

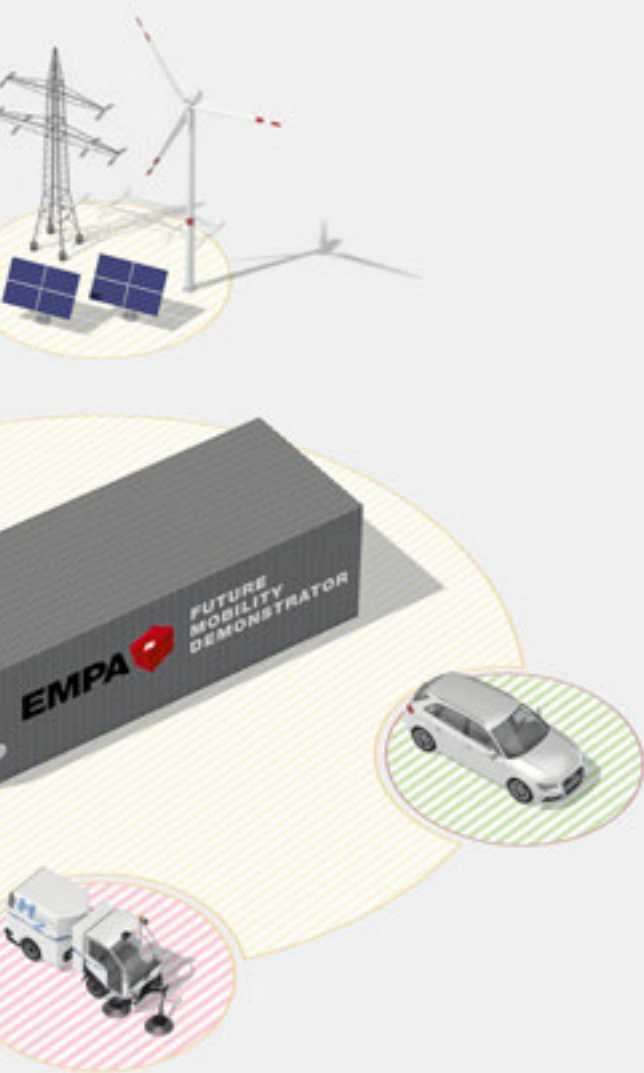
Beiden Themen gemein ist die Abkehr von einer gewissen Wegwerfmentalität beziehungsweise vom linearen Denken in Kategorien wie Rohstoffgewinnung, Produktfertigung und Entsorgung. Die Zukunft spielt sich in Kreisläufen ab. Eine runde Sache sozusagen. Übrigens, falls Sie den Postversand und Papier sparen wollen: Diese EmpaNews gibt es auch als App für iPad und Android Tablet. Infos und Downloads unter www.empa.ch/app.

Viel Vergnügen beim Lesen!



Titelbild

Fassadenelement des Future Mobility Demonstrator. Mit diesem Forschungsobjekt will die Empa zeigen, wie sich überschüssiger Öko-Strom in wertvolle Treibstoffe verwandeln lässt.



Fokus

Future Mobility – was fahren wir morgen?

- 12 **Die Sonne im Tank**
Wie viel ungenutzte Energie gibt es in der Schweiz?
- 14 **Treibstoff aus Überschuss-Strom**
Übersichtsgrafik: So funktioniert die Umwandlung
- 16 **Elektroautos**
Mittagssonne für die Rush-Hour
- 17 **Wasserstoff-Fahrzeuge**
Stromspitzen abfangen und speichern
- 18 **Erdgasautos**
Sommer-Energie für den Winter
- 19 **Wasserstoff im Erdgasauto**
Eine wirklich «zündende» Idee



- 04 **Wohlstandsmüll als Rohstoffquelle**
Wertvolles aus Autos und Laptops /
Problemlösung in Afrika
- 10 **Künstliches Mottenaugen als Lichtfänger**
Wasserstoff aus Sonnenlicht – ein Traum wird wahr
- 20 **Formbewusste Legierungen**
Betonträger vorspannen – mit Starkstrom
- 24 **Nanozellulose gegen die Ölpest**
Spezialschwamm aus Altpapier rettet die Umwelt
- 26 **Gelenkimplantate ohne Ablaufdatum**
Bandscheibenersatz made by Empa

Impressum

Herausgeberin Empa, Überlandstrasse 129,
8600 Dübendorf, Schweiz, www.empa.ch /
Redaktion & Gestaltung Abteilung Kommunikation /
Tel. +41 58 765 47 33 empanews@empa.ch,
www.empanews.ch // Erscheint viermal jährlich,
Anzeigenmarketing: rainer.klose@empa.ch
ISSN 1661-173X





Wohlstandsmüll als Rohstoffquelle

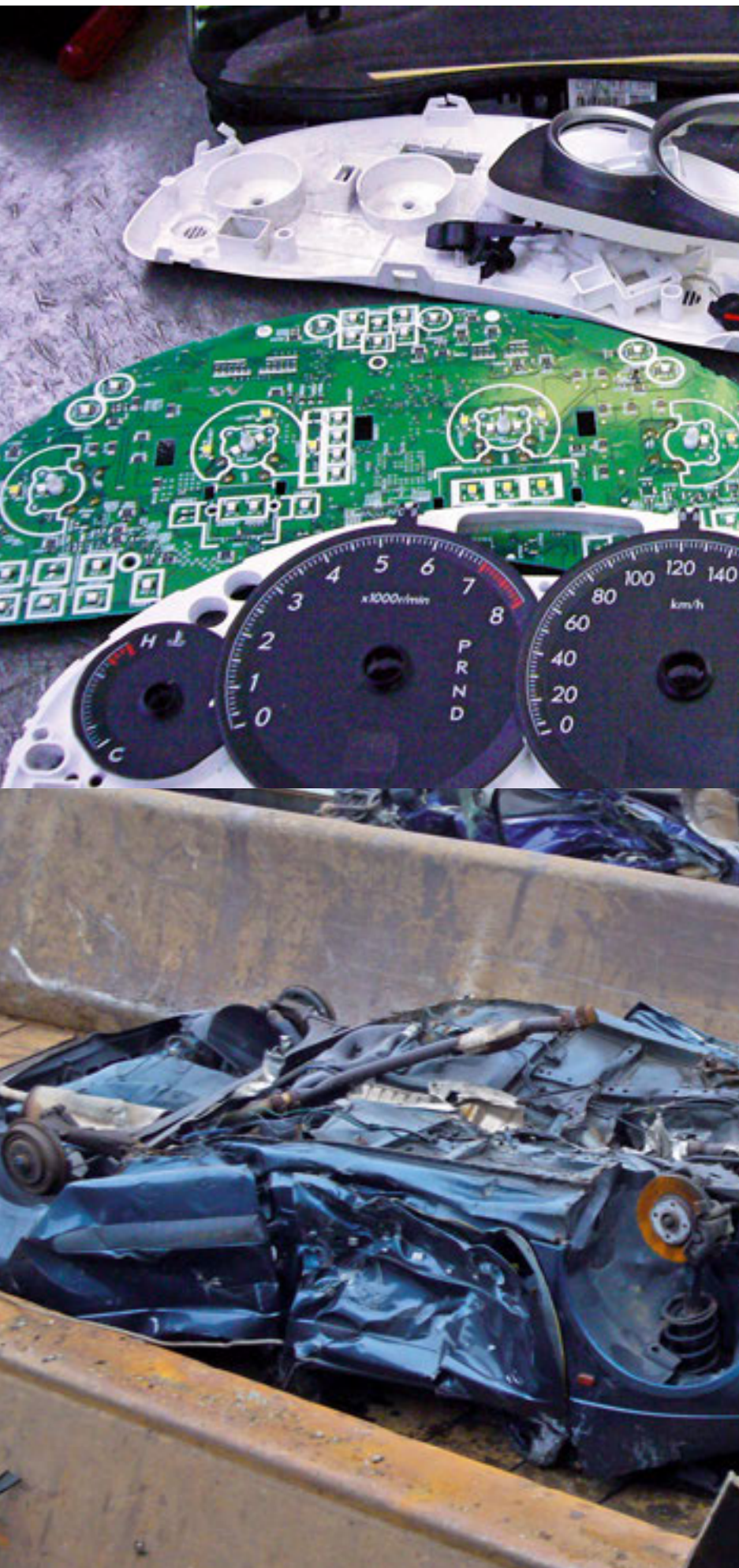
Ressourcenknappheit und sich ständig erweiternde Funktionalitäten verlangen nach einem neuen Umgang mit ausgedienten elektronischen Geräten. Die Empa-Abteilung «Technologie und Gesellschaft» bestimmt das wachsende Feld der sekundären Rohstoffgewinnung an vorderster Front mit. Eines ist klar: Recycling und Urban Mining sind Begriffe, die uns noch lange begleiten werden.

TEXT: Anna Ettlín / BILDER: Empa

Der Bedarf an Werkstoffen für hochspezialisierte Anwendungen steigt. Zum Beispiel in der Elektronik, die immer kleiner und leistungsfähiger wird: Ein gewöhnliches Handy enthält etwa 50 verschiedene Metalle, darunter seltene, wie Tantal, Indium, Platin und Palladium. Viele werden als kritisch eingestuft: Ihre langfristige Verfügbarkeit ist aus geologischen, politischen oder technischen Gründen unsicher und könnte in Zukunft stark eingeschränkt werden.

Bei der Beschaffung dieser kritischen Metalle treten «städtische Minen», also ausgediente Produkte, in denen die begehrten Stoffe verbaut sind, immer mehr in den Vordergrund. Elektrische und elektronische Geräte enthalten oft viel höhere Konzentrationen an wertvollen Metallen als selbst die ergiebigsten Minen. Einer gezielten Förderung dieser urbanen Minen stehen jedoch nicht selten die hohen Kosten und der technische Aufwand im Weg.

Die Empa forscht auf verschiedenen Gebieten des «Urban Mining». Zunächst geht es darum, welche Metalle sich in welchen Geräten und Komponenten befinden und in welchen Mengen. Dann: Welche Recyclingprozesse ermöglichen eine möglichst hohe Ausbeute? Und zahlt sich die Rückgewinnung ökologisch und wirtschaftlich aus? Drei aktuelle Projekte zeigen das Spektrum der Forschung. Empa-ForscherInnen untersuchen etwa, unter welchen Voraussetzungen sich die äusserst seltenen Metalle Indium und Neodym in der Schweiz recyceln lassen. Ein zweites Projekt widmet sich einer urbanen Mine, die bisher brachliegt: die Automobilelektronik. Und schliesslich sollen die Erkenntnisse aus der Forschung Entwicklungsländern zugute kommen, die mit wachsenden Bergen von mitunter gefährlichem Elektronikschrott zu kämpfen haben.



Zu schade für die Presse

Dass Handys und Computer recycelt werden, ist in der Schweiz heute nahezu selbstverständlich. Doch Elektronik findet sich in modernen Haushalten nicht mehr nur im Büro oder Wohnzimmer, sondern auch in der Garage: im Auto. 100 000 Autos werden pro Jahr in der Schweiz verschrottet – noch einmal so viele gehen in den Export und landen schliesslich auf Schrottplätzen im Ausland. Und alle stecken voller Elektronik: GPS und Stereoanlage steigern den Komfort, zahlreiche Sensoren und Chips überwachen die Sicherheit und den Energieverbrauch. Bereits 2010 machte die Elektronik schätzungsweise ein Drittel des Materialwerts jedes Neuwagens aus. Dieser Anteil wird mit steigender «Elektrisierung» des Verkehrs weiter steigen.

Daher enthält ein modernes Auto etwa gleich viele Metalle wie ein Handy, darunter auch seltene Elemente wie Gallium und die Seltenerdmetalle Dysprosium und Lanthan. «Von den rund 50 verschiedenen Metallen liessen sich bis zu 20 wiedergewinnen», sagt Rolf Widmer von der Abteilung «Technologie und Gesellschaft». Heute beschränkt sich das Recycling im Wesentlichen auf drei: Eisen, Aluminium und Kupfer. Die anderen gehen beim Schreddern der ausgedienten Fahrzeuge verloren.

Gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS), der Vereinigung der offiziellen Autosammelstellenhalter (VASSO) sowie mit weiteren Industriepartnern sucht die Empa nach Lösungen. «Wir wollen zunächst die urbane Mine Automobil charakterisieren», erklärt Projektleiter Widmer. Daraus sollen Vorschläge zu einer verbesserten Bewirtschaftung dieser wertvollen Rohstoffquelle abgeleitet werden. Für die zweite grosse urbane Mine in der Schweiz, Consumer Electronics, ist laut Widmer die Recycling-Infrastruktur bereits vorhanden, beim Autorecycling sei dies noch nicht der Fall. Hier sieht der Empa-Forscher ein enormes Potenzial: «Könnten Auto-Recycler von den Elektronik-Recyclern lernen? Könnte die Autoelektronik vielleicht sogar dem Elektronik-Recycling zugeführt werden, etwa indem man sie ausbaut, bevor das Auto seinen Weg in den Schredder nimmt?»

Das Projekt, das solch konkrete Fragen beantworten soll, befindet sich in Vorbereitung, eine internationale Zusammenarbeit ist bereits geplant – auch andere Länder wollen das Recycling von Autoelektronik verbessern, da mit zunehmender «Smartness» des Verkehrs die rollende urbane Mine immer ergiebiger wird.

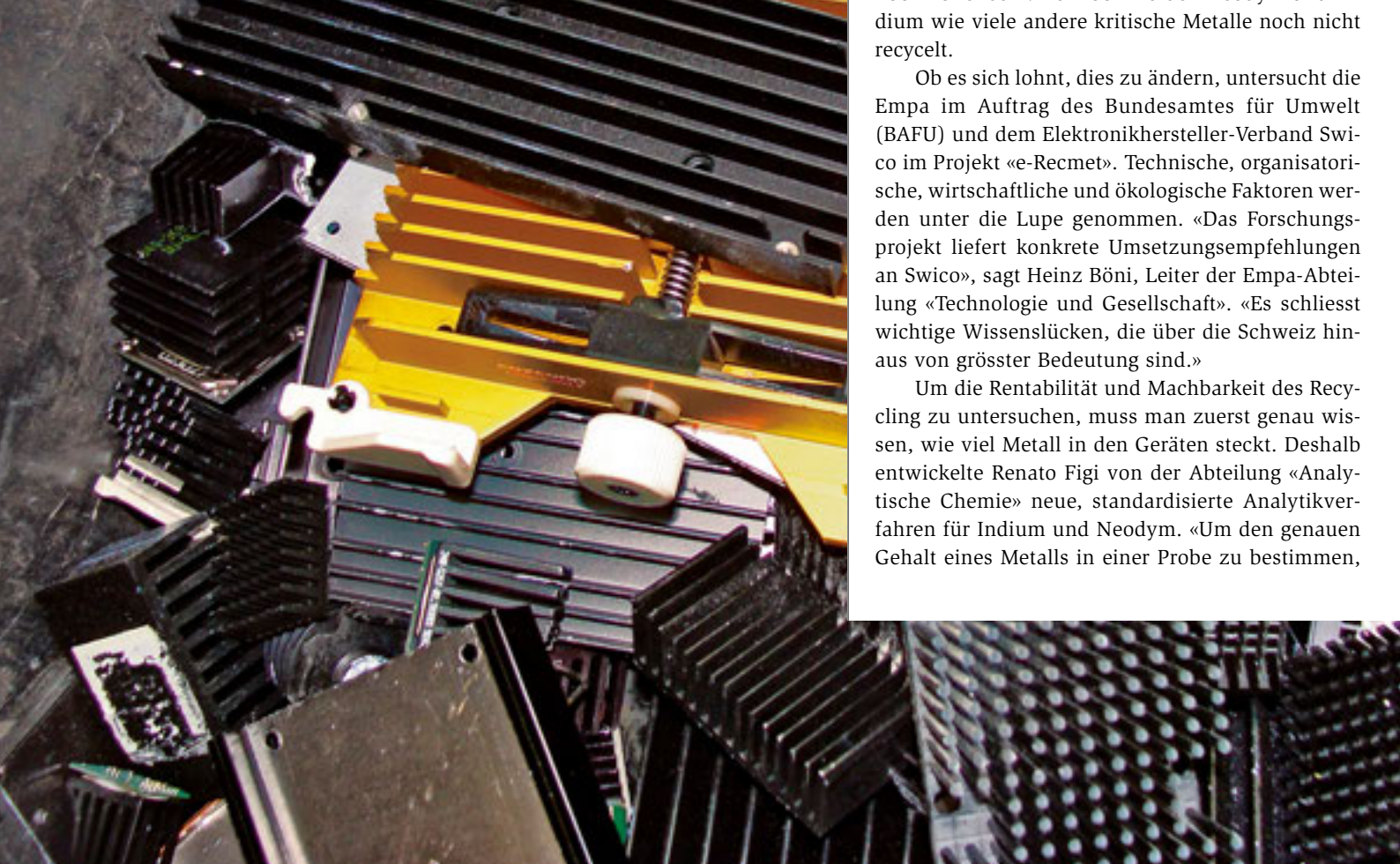


Seltene Metalle au

Rund zwei Tonnen Indium und 84 Tonnen Neodym steckten im Jahr 2009 hierzulande in elektronischen Geräten. Indium ist etwa in LCD-Bildschirmen enthalten, Neodym in Magneten von Festplatten und Lautsprechern. Heute dürfte die Menge sogar noch höher sein. Dennoch werden Neodym und Indium wie viele andere kritische Metalle noch nicht recycelt.

Ob es sich lohnt, dies zu ändern, untersucht die Empa im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und dem Elektronikhersteller-Verband Swico im Projekt «e-Recmet». Technische, organisatorische, wirtschaftliche und ökologische Faktoren werden unter die Lupe genommen. «Das Forschungsprojekt liefert konkrete Umsetzungsempfehlungen an Swico», sagt Heinz Böni, Leiter der Empa-Abteilung «Technologie und Gesellschaft». «Es schliesst wichtige Wissenslücken, die über die Schweiz hinaus von grösster Bedeutung sind.»

Um die Rentabilität und Machbarkeit des Recyclings zu untersuchen, muss man zuerst genau wissen, wie viel Metall in den Geräten steckt. Deshalb entwickelte Renato Figi von der Abteilung «Analytische Chemie» neue, standardisierte Analytikverfahren für Indium und Neodym. «Um den genauen Gehalt eines Metalls in einer Probe zu bestimmen,





s alten Laptops

müssen wir es meist aus dem Verbund herauslösen», erläutert Figi. Idealerweise löst sich das Metall dabei vollständig auf. Um etwa den Indiumgehalt eines LCD-Panels möglichst exakt zu bestimmen, musste die Probe homogen aufbereitet und im Hochdruckreaktor bei 280 °C und 135 bar Druck mit Salpetersäure aufgeschlossen werden – ein Verfahren mit rund 20 veränderlichen Parametern, die alle einzeln getestet werden mussten. Doch der Aufwand habe sich gelohnt, so Figi: «Nun haben wir ein Verfahren, das reproduzierbar überall eingesetzt werden kann, wo die nötigen Laborgeräte zur Verfügung stehen.»

Das Projekt steht kurz vor Abschluss; Heinz Böni zieht eine erste Bilanz: «Es ist technisch möglich, Indium und Neodym zu recyceln. Und aus ökologischer Sicht ist es vorteilhaft gegenüber einer primären Förderung aus Minen.» So weit, so gut, aber: «Am Ende werden die Recyclingkosten mitentscheiden», weiss Böni. Diese liegen zurzeit über dem Marktpreis der Metalle – doch mit Hilfe der vorgezogenen Recyclinggebühr, die Schweizer Konsumenten mit jedem gekauften Gerät bezahlen, könnte man sie bereits heute decken. «Das wäre ein wahrhaft pionierhafter Schritt», so Böni. «In Europa und weltweit.»



Video
Wertvoller Müll: Gewürzmetalle
aus Edelschrott.

http://youtu.be/53i8_BtD0g4

Indium

Verwendung	Dünnschichten, Lote und Legierungen, Verbundstoffe, Halbleiter
Kilopreis	ca. 700 CHF
Abbaumenge pro Jahr	über 500 Tonnen
Geschätzte Reserven	11 000 Tonnen
Konzentration in Primärmine	1–100 Gramm pro Tonne
Konzentration in Komponenten (LCD-Panel)	140–220 Gramm pro Tonne
Lagerbestand 2009 in Flachbildschirmen in der Schweiz	2,1 Tonnen Indium

Neodym

Verwendung	Festplatten, Motoren, Lautsprecher, MRI
Kilopreis	ca. 90 CHF
Abbaumenge pro Jahr	21 500 Tonnen
Geschätzte Reserven	110 Millionen Tonnen
Konzentration in Primärmine	1,2–17,6 kg pro Tonne
Konzentration in Komponenten (Neodymmagnete)	320–640 kg pro Tonne
Lagerbestand 2009 in Festplatten und Lautsprechern in der Schweiz	84 Tonnen

Fairness im Recycling

Viele unserer Rohstoffe stammen aus Entwicklungsländern. Standards und zugehörige Labels sichern die Nachhaltigkeit ihrer Gewinnung. So gibt es etwa Max-Havelaar-Bananen und Fairtrade-zertifizierte Goldminen.

Doch Gold wird nicht nur aus Minen gefördert; ausgediente Handys enthalten das Edelmetall in rund 30-mal konzentrierterer Form. Gold wird, wie viele Sekundärrohstoffe, recycelt – auch in Entwicklungsländern. Für wiedergewonnenes Gold oder Kupfer gibt es jedoch keine Zertifizierungen. Die Rückgewinnung erfolgt unkontrolliert und mit Methoden, die eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen.

Deshalb arbeiten die Empa und das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) seit 2003 an einem nachhaltigeren Elektroschrott-Recycling. Das ursprüngliche «Swiss e-Waste Programme» konnte in Indien, Südafrika, Kolumbien und Peru erste Verbesserungen bewirken. Vor einem Jahr startete das Folgeprogramm «Sustainable Recycling Industries» (SRI), das in sieben Entwicklungsländern – dazu kommen nun Ghana, Ägypten und Brasilien – über vier Jahre den Aufbau eines nachhaltigen Systems zum Elektroschrott-Recycling unterstützen soll. In Indien, Südafrika, Ägypten und Brasilien werden zudem Zentren für Ökoinventar-Daten eingerichtet. In Indien liegt ein Fokus auf gefährlichen Zusatzstoffen, wie Flammhemmer in recycelten Kunststoffen, während in Südafrika die Entsorgung alter Kühlgeräte im Vordergrund steht.

Vor kurzem wurden die Verträge mit den wichtigsten Partnern unterzeichnet, nun beginnt die Umsetzung. KMUs im Recycling-Sektor sollen dank verschiedener Projekte den Anreiz und die Möglichkeit erhalten, nachhaltiger zu arbeiten. Als Projektleiter bringt die Empa ihre wissenschaftliche Expertise ein, zum Beispiel im Schadstoffmonitoring, bei der Lebenszyklusanalyse und beim Testen von Verfahren auf Effizienz und Umweltbelastung. «Es ist eine Herausforderung», sagt Rolf Widmer von der Abteilung «Technologie und Gesellschaft», «die Schadstoffüberwachung und -analyse trotz niedriger Kosten und mit einfachsten Mitteln zum Laufen zu bringen.»

Industrieländer wie die Schweiz sind auf Rohstoffe angewiesen – je länger, je mehr auf sekundäre. «Es ist daher wichtig, dass auch diese nachhaltig produziert werden», betont Empa-Forscher Heinz Böni. Die Erkenntnisse aus den einzelnen Ländern werden deshalb regelmässig am «Global Roundtable for Responsible Recycling» zusammengeführt. Auf dieser Grundlage soll dann ein Nachhaltigkeitsstandard für sekundäre Rohstoffe entstehen.



Video

Elektronikschrott in Indien:
Recycling dank Empa-Know-how.

<http://youtu.be/RMuGAmwgX1o>







Künstliches Mottenauge

Weltweit forschen Wissenschaftler an Solarzellen, die die Fotosynthese der Pflanzen nachahmen und aus Sonnenlicht und Wasser synthetische Brennstoffe wie Wasserstoff bilden. Empa-Forscher haben nun eine solche Fotoelektrochemische Zelle dem Mottenauge nachempfunden und dadurch die Lichtausbeute drastisch erhöht. Die Zelle basiert auf billigsten Materialien: Eisenoxid und Wolframoxid.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

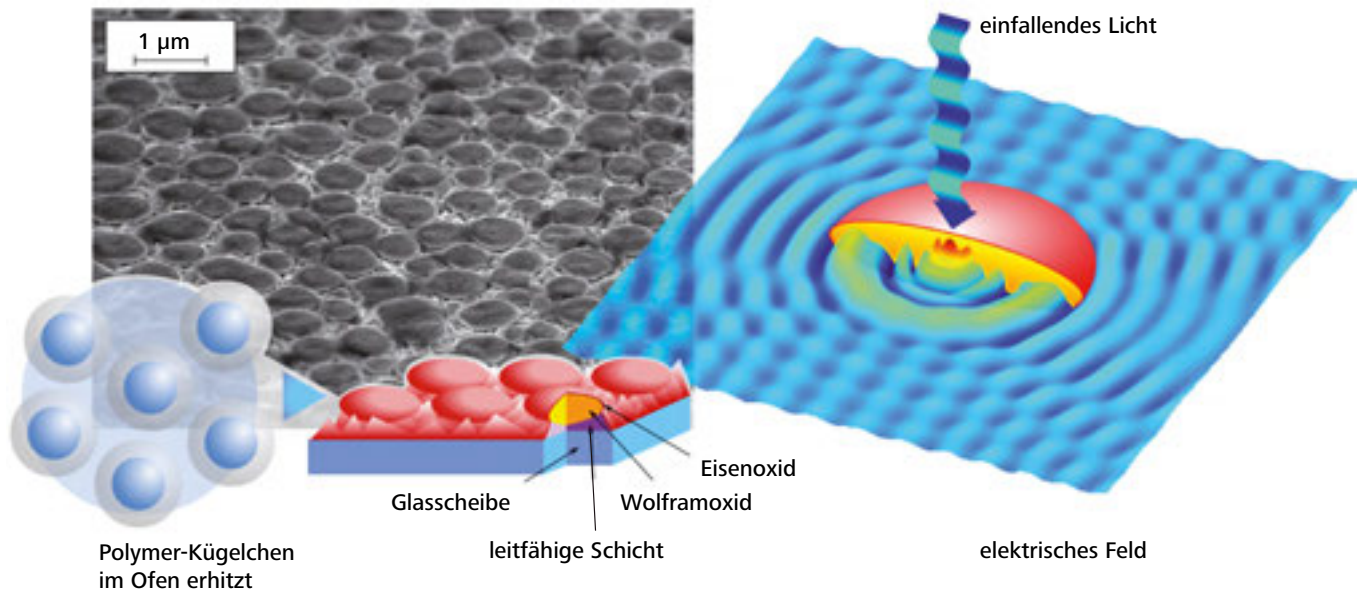
Eisenoxid, also Rost, könnte die Solartechnik revolutionieren. Aus dem meist unerwünschten Stoff lassen sich Fotoelektroden herstellen, die Wasser spalten und dadurch Wasserstoff erzeugen. So wird Sonnenenergie nicht zuerst in Elektrizität, sondern direkt in einen wertvollen Brennstoff umgewandelt. Leider hat das Ausgangsmaterial seine Tücken: Eisenoxid ist zwar unschlagbar billig und absorbiert genau in dem Wellenlängenbereich, in dem die Sonne am meisten Licht aussendet. Doch es leitet den elektrischen Strom sehr schlecht und muss daher immer in Form äusserst dünner Filme verarbeitet werden, damit die Wasserspaltung funktioniert. Der Nachteil: Diese dünnen Filme absorbieren zu wenig vom eingestrahlenen Sonnenlicht.

Mikrokügelchen fangen Sonnenlicht

Den Empa-Forschern Florent Boudoire und Artur Braun ist es nun gelungen, dieses Pro-

1
Florent Boudoire testet die Funktion seiner Solarzelle im Sonnenlicht-Simulator.

2
So entsteht die «Mottenaugen-Solarzelle», und so fängt sie das Licht.



als Lichtfänger

blem zu lösen: Eine spezielle Mikrostruktur der Fotoelektrode fängt das Licht buchstäblich ein und lässt es nicht mehr heraus, bis es komplett absorbiert ist.

Die Grundlage für diese innovative Struktur bilden winzige Partikel aus Wolframoxid, das wegen seiner satten, gelben Farbe ebenfalls für Fotoelektroden benutzt werden kann. Die gelben Kügelchen werden auf einer Elektrode aufgetragen und dann mit einer nanometerdünnen Schicht Eisenoxid überzogen. Fällt von aussen Licht auf die Partikel, wird es innen mehrfach hin und her reflektiert. Schliesslich ist alles Licht absorbiert, und die gesamte Energie steht für die Spaltung von Wassermolekülen zur Verfügung. Auf diese Weise erzeugt die Fotozelle aus Wasser den ökologisch vorteilhaften Brennstoff Wasserstoff.

Im Grunde funktioniert die neu erdachte Mikrostruktur wie das Auge einer Motte, erklärt Florent Boudoire: Die Augen von

Nachfaltern müssen viel Licht einsammeln – und dürfen so wenig wie möglich reflektieren, sonst wird der Falter entdeckt und gefressen. Die Mikrostruktur dieser Augen ist speziell auf die Wellenlänge des Lichts angepasst. Die Fotozelle der Empa nutzt den gleichen Effekt.

Um künstliche Mottenaugen aus Metalloxidkügelchen herzustellen, besprühte Florent Boudoire eine Glasscheibe mit einer Suspension aus Kunststoffpartikeln, die in ihrem Inneren jeweils ein Tröpfchen Wolframsalzlösung enthielten. Die Partikel bedecken das Glas wie eine Schicht Murmeln, die dicht aneinander liegen. Dann steckte er das Ganze in den Ofen; der Kunststoff verbrennt, und aus den einzelnen Tröpfchen der Salzlösung entstehen die gewünschten Wolframoxidkügelchen. In einem weiteren Sprühvorgang wird diese Struktur mit Eisensalz überzogen und erneut im Ofen erhitzt.

Am Computer simuliert

Nun könnte man das Mixen, Sprühen und Brennen für reine Alchemie halten – für eine Versuchsreihe, die Zufallstreffer erzielt. Doch parallel zu ihren Experimenten haben die Forscher Modellrechnungen am Computer durchgeführt und das «Einfangen des Lichts» in den Kügelchen am Computer simuliert.

Das Ergebnis der Simulationen stimmte mit den Versuchen überein, wie Projektleiter Artur Braun bestätigt. Es ist klar zu erkennen, wie viel das Wolframoxid zum Fotostrom beiträgt und wie viel das Eisenoxid. Und: je kleiner die Kügelchen sind, desto mehr Licht landet auf dem Eisenoxid, das die Kügelchen überdeckt. In einem nächsten Schritt wollen die Forscher untersuchen, welche Effekte mehrere übereinander liegende Schichten von Kügelchen auslösen können. Die Arbeit an der Mottenaugen-Solarzelle geht also weiter. //



Die Sonne im Tank

Die Empa baut auf dem Campus in Dübendorf den Future Mobility Demonstrator. Verschiedene Technologien sollen zeigen, wie überschüssiger Strom ökonomisch am sinnvollsten in Treibstoff umgewandelt werden kann. Denn dadurch lassen sich beträchtliche Mengen fossiler Brennstoffe einsparen.

TEXT: Christian Bach & Rainer Klose / BILD, ILLUSTRATIONEN: Empa

So viel ist eine Terawattstunde

Der gesamte Energieverbrauch der Schweiz lag im Jahr 2010 bei 253 Terawattstunden (TWh). Davon entfielen 60 TWh auf den Stromverbrauch. Zum Vergleich: Das Kernkraftwerk Leibstadt erzeugt in einem Jahr 10 TWh Strom.

Mit einer TWh erneuerbarem Überschussstrom, umgewandelt in Methan, können 60 Millionen Liter Benzin ersetzt oder 70 000 Gasfahrzeuge betrieben werden.

Die Schweiz verfügt über eine enorme Menge brachliegender Energiereserven. So bleibt etwa die Hälfte der hiesigen Biomasse ungenutzt, wie eine Studie der Empa aus dem Jahr 2010 ergab. In erster Linie sind dies Gülle, Mist, Holz- und Bioabfälle. In Biogasanlagen umgewandelt, ergäbe dies im Jahr rund 6 Terawattstunden (TWh; s. Kasten) Bio-Methan. Dazu kommen durch den geplanten Ausbau von Solar- und Windstrom bis ins Jahr 2050 im Sommerhalbjahr weitere 5 bis 9 TWh an zeitweise überschüssiger Elektrizität. Fotovoltaikanlagen produzieren maximale Strommengen jedoch vor allem zur Mittagszeit und bei guter Witterung. Und diese Stromspitzen können nicht immer sinnvoll genutzt werden.

Mit dem Grossprojekt «Future Mobility» will die Empa aufzeigen, wie sich diese einheimische Energie nutzen lässt, um damit importierte fossile Energieträger zu ersetzen. Dazu wird auf dem Empa-Campus in Dübendorf ein Demonstrator aufgebaut, der es der Empa und ihren Industriepartnern ermöglicht, die erforderlichen Konzepte zu entwickeln und im Zusammenspiel mit realen Nutzern auf ihre Praxistauglichkeit zu erproben.

Eine Million Fahrzeuge ohne fossilen Brennstoff

Future Mobility – um was genau geht es dabei? Die künftige Mobilität wird sich immer mehr auf erneuerbare Energie stützen müssen; deshalb stehen Antriebskonzepte im Vordergrund, die solche Energie nutzen können: Gas-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge – alles Antriebe, an denen die Empa mit Partnern im ETH-Bereich und der Industrie bereits seit Jahren forscht. Die These, die hinter dem Grossprojekt steckt und die auf Hochrechnungen basiert: Würde die ungenutzte «inländische» Energie konsequent erschlossen, könnten damit weit über eine Million Gas-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge praktisch CO₂-neutral umherfahren; dies würde den Schweizer Ausstoss an Kohlendioxid um mehr als vier Millionen Tonnen reduzieren. Dies entspricht der Schweizer Reduktionsverpflichtung im Kyoto-Protokoll.

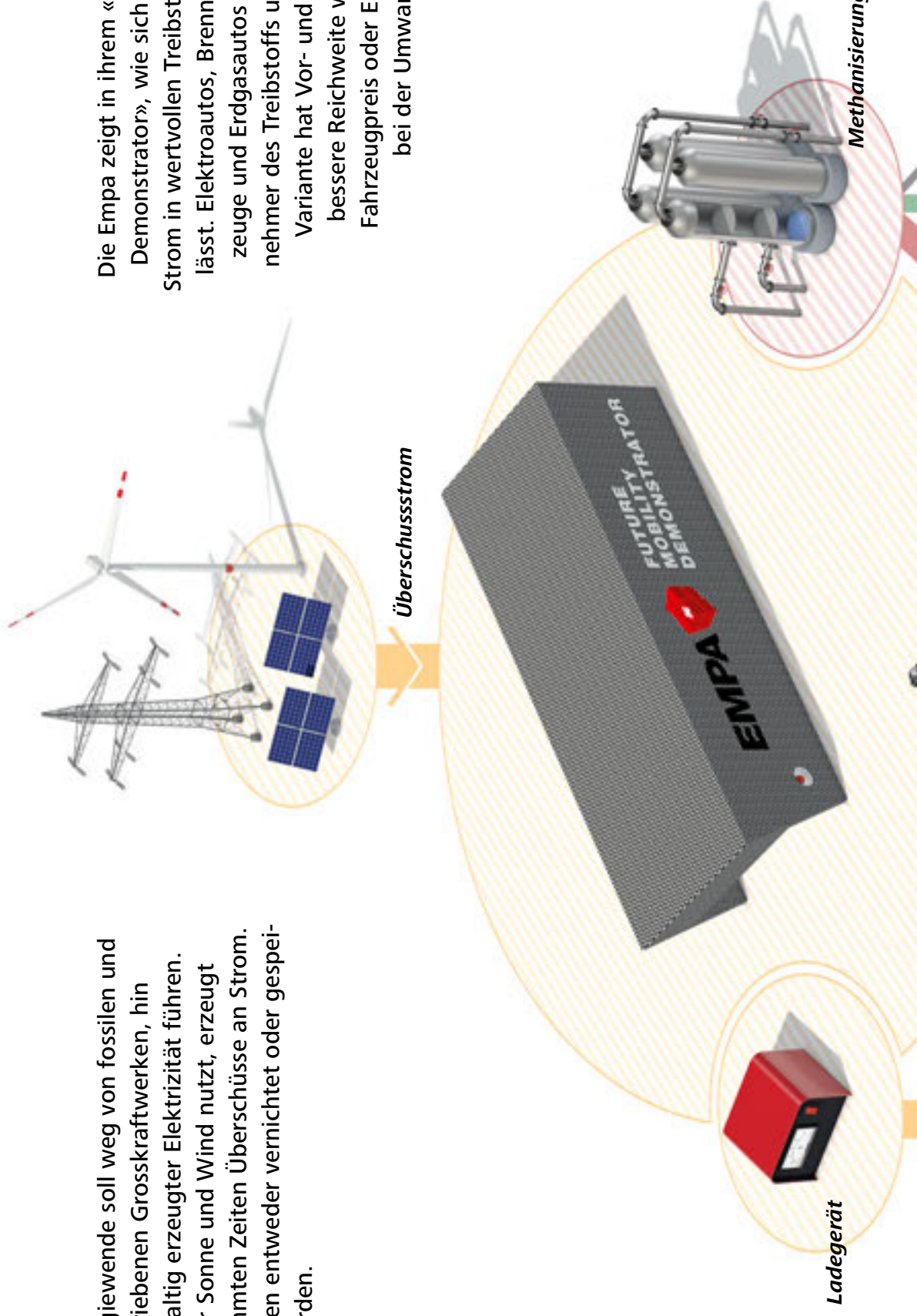
Die Herausforderung besteht dabei nicht in erster Linie darin, diese Energie aufzubereiten und bereitzustellen, sondern in der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Future Mobility soll aufzeigen, wie derartige Anlagen dimensioniert, betrieben und mit welchen Anwendungen sie kombiniert werden müssen, um ökologisch und ökonomisch erfolgreich zu sein. Denn wenn sich die Idee dereinst in der realen Welt durchsetzen soll, müssen beide Anforderungen erfüllt sein. //

So sieht das Gebäude aus, in dem der Future Mobility Demonstrator untergebracht sein wird. Das Forschungsprojekt an der Empa Dübendorf läuft im Herbst 2014 an.

Treibstoff aus Überschuss-Strom

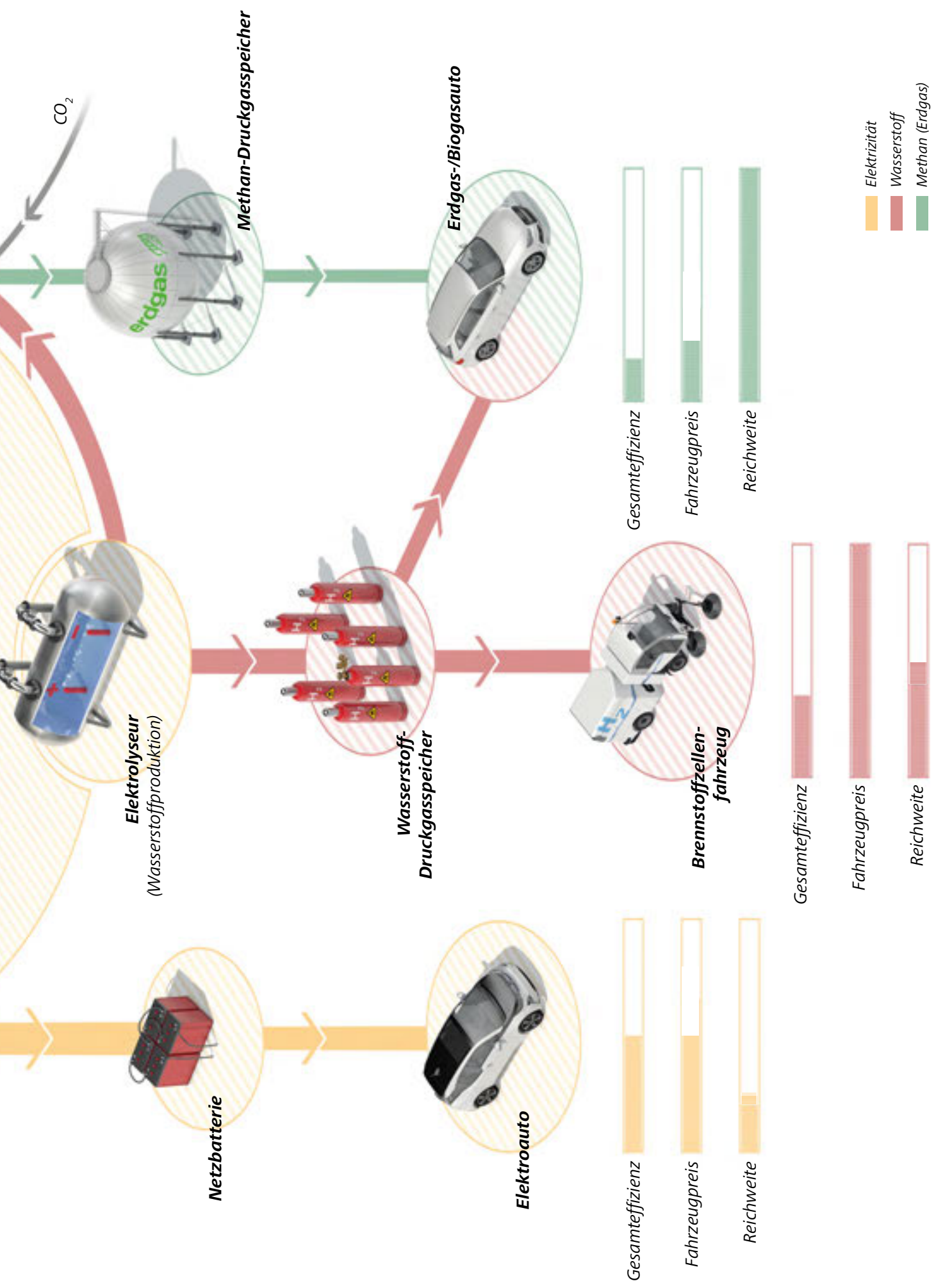
Die Energiewende soll weg von fossilen und atomgetriebenen Grosskraftwerken, hin zu nachhaltig erzeugter Elektrizität führen. Doch wer Sonne und Wind nutzt, erzeugt zu bestimmten Zeiten Überschüsse an Strom. Die müssen entweder vernichtet oder gespeichert werden.

Die Empa zeigt in ihrem «Future Mobility Demonstrator», wie sich überschüssiger Strom in wertvollen Treibstoff verwandeln lässt. Elektroautos, Brennstoffzellenfahrzeuge und Erdgasautos werden als Abnehmer des Treibstoffs untersucht. Jede Variante hat Vor- und Nachteile: Eine bessere Reichweite wird mit hohem Fahrzeugpreis oder Energieverlusten bei der Umwandlung bezahlt.



Ladegerät

Methanisierungsanlage



Elektrolyseur
(Wasserstoffproduktion)

Netzatterie

Elektroauto

**Wasserstoff-
Druckgasspeicher**

**Brennstoffzellen-
fahrzeug**

Methan-Druckgasspeicher

Erdgas-/Biogasauto

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

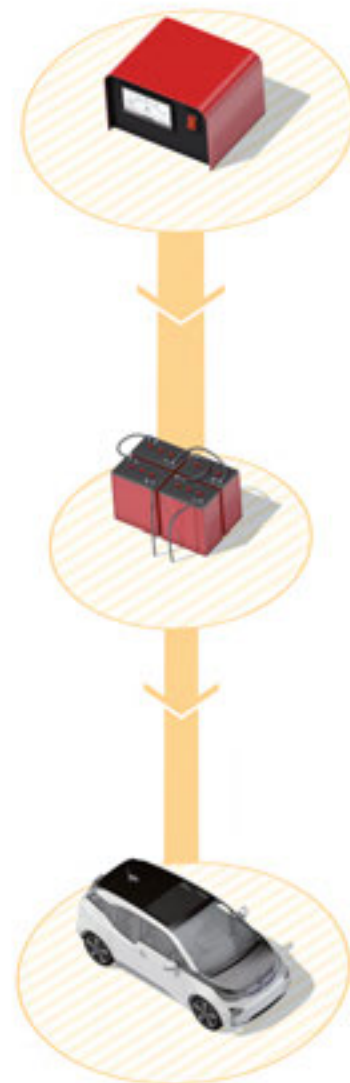
Elektrizität

Wasserstoff

Methan (Erdgas)

Mittagssonne für die Rush-Hour: Elektroautos

Theoretisch wäre es am einfachsten, mit überschüssigem Strom Elektrofahrzeuge zu betanken. Gerade im Sommerhalbjahr werden bereits in naher Zukunft grosse Mengen an temporär überschüssiger Elektrizität anfallen – leider vor allem zur Mittagszeit, wenn in der Schweiz weit weniger Elektrizität verbraucht wird, als Fotovoltaik, Windkraft oder Fließwasserkraftwerke liefern. Also muss die Elektrizität gespeichert werden – oder sie verpufft ungenutzt. Grundsätzlich eignen sich Elektrofahrzeuge (bzw. deren Batterien) für die direkte Speicherung überschüssiger Elektrizität; allerdings müssten dann möglichst viele just zur Mittagszeit mit möglichst leerer Batterie an einer Ladestation angedockt sein – und möglichst wenige sollten umherfahren. Dies sicherzustellen ist kaum möglich. Im Rahmen von «Future Mobility» übernimmt eine fest installierte Netzbatterie den Job, den typischerweise tagsüber anfallenden Überschussstrom zwischenspeichern. Des Nachts lassen sich damit dann die leeren Fahrzeugbatterien aufladen. Batteriespeicher haben einen Wirkungsgrad von über 75% und können zudem helfen, das Stromnetz zu stabilisieren, also Differenzen zwischen Angebot und Nachfrage sekundenschnell zu glätten. Das derzeit grösste Problem sind die Kosten für die Netzbatterien. Die Empa erforscht und entwickelt daher zusammen mit der ETH Zürich und dem Paul Scherrer Institut (PSI) neue, günstigere Batterien mit höherer Speicherdichte und geringeren Verlusten.



Szenarien des Bundesamtes für Energie (BFE) gehen für das Jahr 2050 bei Personen- und Lieferwagen in der Schweiz von einem Anteil an Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeugen von 28 bis 46% aus, bei schweren Nutzfahrzeugen von 28% und bei Motorrädern von 70%. Diese Elektrofahrzeuge würden insgesamt 11 TWh Strom verbrauchen – der Löwenanteil davon, nämlich zwischen 6 und 10 TWh, müsste durch fossile Kraftwerke oder Energieimporte gedeckt werden. Gegenüber Benzin- und Dieselfahrzeugen wäre die Energieeinsparung gering. Im Rahmen von «Future Mobility» wollen Empa-Forscher untersuchen, ob und wie sich der Anteil an erneuerbarer Energie für die künftige Schweizer Elektroflotte durch den Einsatz von Netzbatterien erhöhen lässt.

Stromspitzen abfangen und speichern: Wasserstoff-Fahrzeuge

Eine Energiewende ohne Wasserstoff als Stromspeicher ist praktisch unvorstellbar. Damit werden Wasserstoff-Fahrzeuge interessant. Diese Fahrzeuge haben einen elektrischen Antrieb, einen Wasserstoff-Druckspeicher und eine Brennstoffzelle, die aus Wasserstoff Strom produziert und damit während der Fahrt die Batterie nachlädt. Das ermöglicht vergleichsweise hohe Reichweiten bei kurzen Betankungszeiten. Doch die komplexe Technik treibt den Fahrzeugpreis in die Höhe. Dafür stossen wasserstoffbetriebene Fahrzeuge keine Abgase und kein CO₂, sondern lediglich Wasserdampf aus. Die Empa entwickelt Antriebskonzepte für Hybridfahrzeuge mit integrierten Brennstoffzellen-Systemen. Sie forscht ausserdem an neuen Technologien für die Wasserstoffspeicherung, um in Zukunft die Druckspeicherung abzulösen und die Reichweite von Wasserstoff-Fahrzeugen zu erhöhen.

Die neue Schweizer Energiestrategie geht davon aus, dass der Strom, der heute noch aus Atomkraftwerken stammt, bis 2050 zur Hälfte eingespart und zur anderen Hälfte aus neuen erneuerbaren Quellen abgedeckt werden kann. Etwa zehn TWh sollen dabei aus Fotovoltaikanlagen stammen. Das entspricht einer installierten Leistung von rund 10 Gigawatt (GW). Die Schweiz benötigt allerdings maximal 6 bis 8 GW. Das heisst: An schönen Sommertagen liefert allein die Fotovoltaik zwischen 2 und 4 GW mehr elektrische Leistung, als die Schweiz insgesamt benötigt. Eine Lösung, die im Rahmen von «Future Mobility» untersucht wird, sind dezentrale chemische Stromspeicher: Überschüssiger erneuerbarer Strom, wird durch die Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff (H₂) umgewandelt. Wie viele solcher Anlagen nötig sind, zeigt eine kleine Überschlagsrechnung: Geht man von einer Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 1 MW aus, genügen schweizweit zwischen 2000 und 4000 solcher Anlagen, um die Überschussleistung aus der Fotovoltaik vollständig aufzunehmen. Denkbar sind derartige Wasserstoffanlagen etwa bei Tankstellen, in Busdepots oder Kommunalbetrieben.

Wasserstoff ist aus heutiger Sicht der günstigste Stromspeicher – mit ähnlich hohen Wirkungsgraden wie Batterien. Wasserstoff-Fahrzeuge eignen sich wegen ihres hohen Preises indes nicht für alle Nutzergruppen. Sie sind vor allem dort sinnvoll, wo Fahrzeuge viel fahren und wenig stehen und wo zugleich eine möglichst grosse CO₂-Reduktion erwünscht ist, etwa

bei Stadtbussen und grösseren Personenwagen, die als Shuttle-Fahrzeuge oder Taxis dienen, sowie bei regional betriebenen Lieferwagen und Kommunalfahrzeugen. Im Rahmen der Forschung am Future Mobility Demonstrator wird ein gemeinsam mit dem PSI und Bucher Schörfling entwickeltes, wasserstoffbetriebenes Kehrfahrzeug zwei Jahre lang in Dübendorf zur Strassenreinigung eingesetzt.



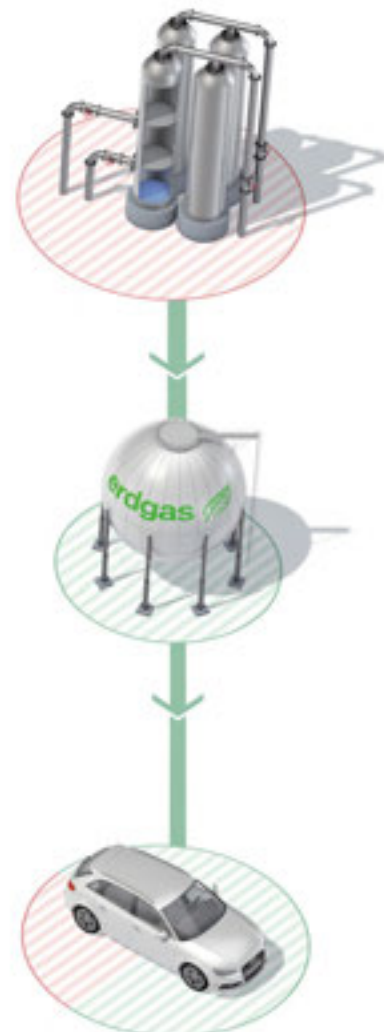
Sommer-Energie für den Winter: Erdgasautos

Eine hübsche Vorstellung wäre es, könnten wir überschüssigen Sommerstrom für den Winter aufsparen. Einen Weg zeigt das Konzept «Power-to-Gas»: Die überschüssige Elektrizität wird zuerst mittels Elektrolyse in Wasserstoff und anschliessend in einem weiteren chemischen Prozess mit CO_2 in synthetisches Methan (CH_4) umgewandelt. Dieses im Sommer erzeugte synthetische Methan liesse sich dann – zusammen mit Biogas – im Erdgasnetz über Monate speichern und im Winterhalbjahr in Gaskombikraftwerken oder Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) wieder in Strom umwandeln. Einen Wermutstropfen hat die «Power-to-Gas»-Idee allerdings: Da jeder Prozessschritt energetisch etwas «kostet», liegt der Gesamtwirkungsgrad dieser Art Speicherung bei ganzen 25 bis 35 Prozent; der zurückverwandelte Strom wäre also sehr teuer und gegenüber fossilen Energieträgern nicht konkurrenzfähig.

Deshalb müssen Alternativen her: Die Produktion von synthetischem Methan als Treibstoff für Gasfahrzeuge wäre durchaus wirtschaftlich. Denn einerseits entfallen die Verluste bei der Rückverstromung, andererseits sind Treibstoffe generell teurer als Strom. Selbstverständlich erkaufte man sich auch hier die Umwandlung von Solarstrom in Methan mit höheren Energieverlusten, und die Wirkungsgrade von «Power-to-Gas»-Anlagen sind mit 50 Prozent deutlich tiefer als diejenigen von Batteriespeichern und Wasserstoffanlagen. Dafür sind bereits heute in allen Industrieländern Gasnetze vorhanden, die gerade im Sommer – wenn Stromüberschüsse auftreten – bei weitem nicht ausgelastet sind und die Überschussenergie leicht aufnehmen und verteilen könnten.

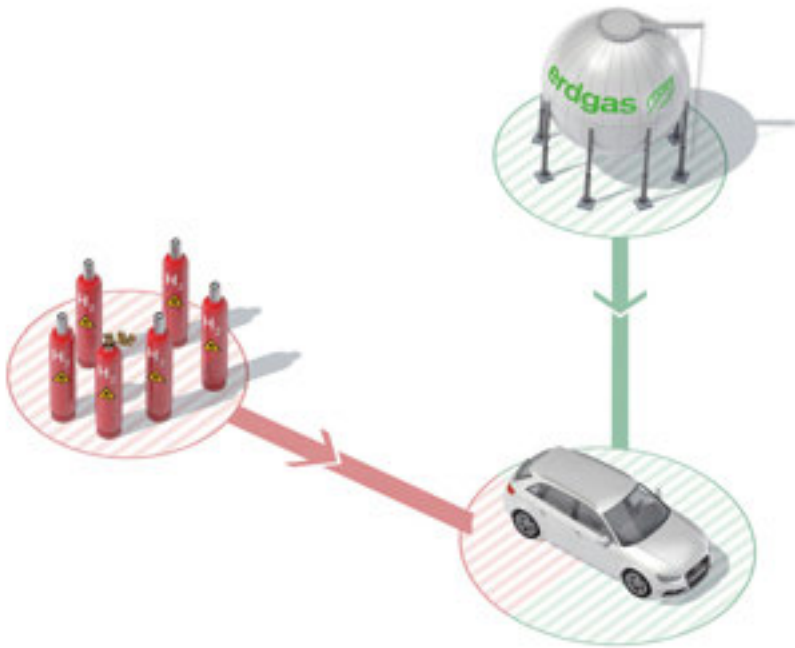
Ein weiterer (vermutlich überraschender) Vorteil der Gasmobilität: Obwohl dabei weiterhin ein Verbrennungsmotor das Fahrzeug antreibt, weisen Gasfahrzeuge, die mit Biogas oder synthetischem Methan betrieben werden, die niedrigsten CO_2 -Emissionen aller Fahrzeugkonzepte auf. Der Grund: Fahrzeuge, die ausschliesslich mit erneuerbaren Energieträgern betrieben

werden, verursachen die weitaus grösste CO_2 -Belastung bei ihrer Herstellung (und nicht durch ihren Betrieb). Hier sind Gasfahrzeuge gegenüber alternativen Fahrzeugkonzepten im Vorteil, denn Karosserie und Motor lassen sich ökonomisch und relativ Ressourceneffizient fertigen. Die Empa arbeitet mit der ETH Zürich und der Automobilindustrie intensiv an neuen Brennverfahren für Gasmotoren. Die hohe Klopfestigkeit von Methan von bis zu 130 Oktan ermöglicht in Zukunft völlig neue Motorkonzepte mit deutlich höheren Wirkungsgraden als heute.



Das richtige Auto für Vielfahrer

Elektroautos und Brennstoffzellenfahrzeuge eignen sich nur teilweise als Ersatz für heutige Autos. So sind für die Gruppe der Vielfahrer – rund 20% aller Autobesitzer, die allerdings für die Hälfte des Kilometeraufkommens verantwortlich sind – Elektroautos wegen ihrer geringen Reichweite unbrauchbar. Brennstoffzellenfahrzeuge sind kaum besser, weil ein Netz von Wasserstofftankstellen fehlt. Gasfahrzeuge sind als Einzige den Diesel- und Benzinautos ebenbürtig: Sie lassen sich minuten-schnell betanken und bieten eine Reichweite von bis zu 700 km pro Tankfüllung. Das Tankstellen-netz in der Schweiz und all ihren Nachbarländern ist flächendeckend.



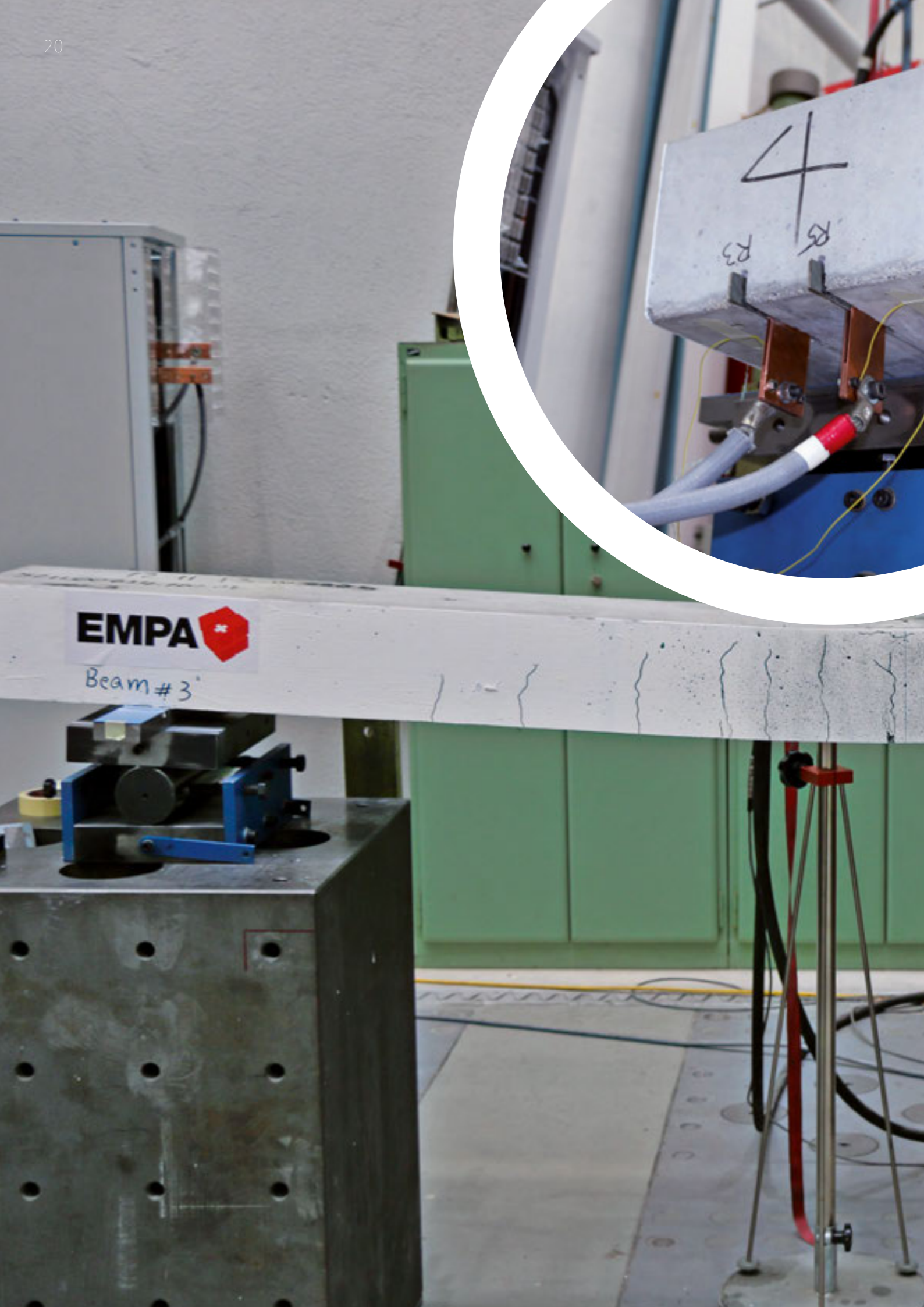
Eine wirklich «zündende» Idee: Wasserstoff im Erdgasauto

Wasserstoff kann nicht nur in teuren Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt werden, sondern auch in günstigen Erdgasautos. Aufgrund der hohen Klopffestigkeit sind synthetisches Methan, aufbereitetes Biogas oder Erdgas nahezu perfekte Treibstoffe für Verbrennungsmotoren. Moderne turbo- oder kompressoraufladene Gasmotoren nutzen diese Vorteile zunehmend aus; Erdgasmotoren sind heute deutlich leistungsstärker als noch vor zehn Jahren. So erfreulich die hohe Klopffestigkeit für die Verbrennung ist, so herausfordernd ist sie dagegen für die Zündung des Treibstoffs und die «Flammkernbildung» vor der eigentlichen Verbrennung. Daher wird weltweit intensiv an optimierten Zündverfahren für Gasmotoren und an einem besseren Verständnis der Vorgänge während der Entflammungsphase geforscht – so auch an der Empa in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der Automobilindustrie.

Eine wesentlich bessere Zündung kann man bei Gasmotoren etwa erzielen, wenn dem Bio- oder Erdgas

Wasserstoff beigemischt ist. Denn: Wasserstoff lässt sich sehr leicht entzünden. In Versuchsreihen mit einer Wasserstoffbeimischung von bis zu 25 Volumenprozent konnten Empa-Forscher den Wirkungsgrad des Motors deutlich steigern und gleichzeitig die Abgasemissionen senken – dies bereits, ohne den Motor technisch zu verändern.

Der «Future Mobility Demonstrator» verfügt über eine Tankstelle für Erdgas/Biogas mitsamt einer Anlage zur Beimischung von Wasserstoff. Damit werden drei gasbetriebene Lieferwagen der Schweizerischen Post mit einem Wasserstoff-Methan-Gemisch betankt und im Alltagsbetrieb untersucht. Da Wasserstoff im Motor zu Wasserdampf verbrennt und zugleich den Wirkungsgrad steigert, lassen sich schon mit einer relativ geringen Wasserstoffbeimischung beträchtliche Mengen CO₂ einsparen. Gasfahrzeuge sind daher die günstigste Möglichkeit, Wasserstoff aus Überschussstrom sinnvoll zu nutzen.



EMPA 

Beam #3

4

R3

R5

Formbewusste Legierungen

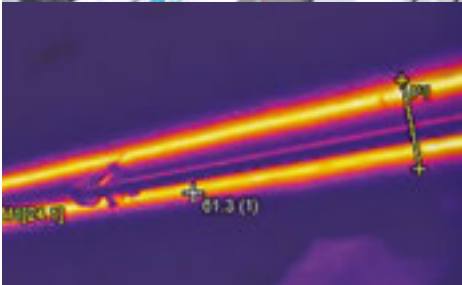
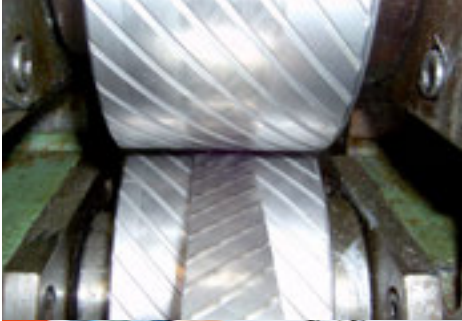
Eine verbogene Brille wieder in ihre Form zurückzubiegen, ist gar nicht so einfach. Wer allerdings ein Brillengestell aus einer Formgedächtnislegierung besitzt, ist das Problem los: Die Brille einfach in heisses Wasser legen, und schon findet sie zu alter Form zurück. Empa-Forscher zeigen, dass diese Materialien auch für Anwendungen im Bauwesen genutzt werden können.

TEXT: Martina Peter, Remy Nideröst / BILDER: Empa, TU Freiburg

Formgedächtnislegierungen (engl. shape memory alloy, SMA) nehmen selbst nach starker Verformung automatisch oder durch Wärmeeinwirkung wieder ihre ursprüngliche Gestalt an. Das macht sie zu einem interessanten Werkstoff, der heute ausser für Brillengestelle bereits für Thermostate, Stents und Mikroaktuatoren verwendet wird. Auch im Bauwesen sind Anwendungen denkbar, für die Verstärkung von Brücken etwa.

Wird ein Betonträger mit SMA-Stäben bewehrt, lassen sich diese durch Hitze «aktivieren»: Sie wollen sich in ihre ursprüngliche Form zusammenziehen. Da sie aber einbetoniert sind, geht das nicht, es entsteht eine Vorspannung. Der Effekt liesse sich somit nutzen, um zum Beispiel ganze Brückendecks vorzuspannen. Die SMA-Stäbe müssen lediglich mittels Durchleiten von Strom erhitzt werden, damit sie sich vorspannen. Eine aufwändige Spannvorrichtung und Hüllrohre entfallen.

Für den Bau wenig attraktiv sind Nickel-Titan-Legierungen, aus denen Brillengestelle oder Stents gefertigt werden. Interessant sind vielmehr Produkte auf Eisenbasis, da diese nicht nur



viel günstiger sind, sondern auch deutlich geringere Prozesskosten aufweisen. Bislang mussten sie zur Aktivierung des Formgedächtniseffekts allerdings auf bis zu 400 °C erhitzt werden. Das ist für den Einsatz in Beton und Mörtel oder anderen temperaturempfindlichen Materialien zu hoch. Empa-Forschern um Christian Leinenbach aus der Abteilung «Fügetechnologie und Korrosion» ist es nun gelungen, eine neuartige Eisen-Mangan-Silizium-Legierung zu entwickeln: Sie lässt sich bereits bei für Beton erträglichen Temperaturen um die 160 °C aktivieren. Dazu «designten» die Materialwissenschaftler mittels thermodynamischer Simulationen virtuelle Legierungen. Die aussichtsreichsten Kombinationen wurden daraufhin im Labor hergestellt und auf ihre Formgedächtniseigenschaften hin untersucht. Mit Erfolg: Gleich mehrere dieser neuen Materialien genügten den Anforderungen der Bauingenieurkollegen – ein Meilenstein auf dem Weg zum günstigen Formgedächtnisstahl für Anwendungen im Industrie- sprich Tonnenmassstab.

Der lange Weg vom Labor zum fertigen Produkt

Christoph Czaderski von der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» sieht für eisenbasierte SMA im Bauwesen gute Chancen, weil das Vorspannen einfacher und deshalb günstiger ist als bei konventionellen Spannsystemen. Zudem sind sogar vorgespannte Systeme denkbar, die mit konventionellen Methoden nicht oder nur sehr schwierig machbar sind, wie Kurzfaserbeton, Stützenumwicklungen, Einschlitzlamellen oder gerippte Bewehrungsstähle. Eine von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) finanzierte Machbarkeitsstudie zeigte vor Kurzem, dass die neuen Legierungen nicht nur im Labormassstab von wenigen Kilogramm, sondern sogar im Industriemassstab hergestellt werden können. Der Herstellungsprozess wurde mit der österreichischen Universität Leoben, der deutschen TU Bergakademie Freiberg und der deutschen Firma G. Rau GmbH entwickelt.

Die Umformung von rund 100 kg schweren Gussblöcken zu etwa zwei Millimeter dünnen Lamellen oder zu gerippten Bewehrungsstäben bei Temperaturen von mehr als 1000 °C benötigt ein enormes Fachwissen – und die entsprechende Ausrüstung. Auch mussten die Umformungsprozesse auf die neuartigen Legierungen angepasst werden. Die so hergestellten Lamellen bewährten sich in den nachfolgenden Tests, bei denen sie in Schlitz in der Betonoberfläche von Stahlbetonträgern einbetoniert wurden. Aufbauend auf den Empa-Entwicklungen, wurde 2012 das Start-up-Unternehmen re-Fer AG gegründet, das künftig eisenbasierte SMA für das Bauwesen produzieren und vertreiben wird. Die Kosten sollen dabei in der Grössenordnung von rostfreiem Edelstahl liegen. //

So entsteht Formgedächtnis-Stahl (von oben nach unten): Der Gussblock wird im Spezialofen der TU Freiberg aufgeheizt, dann wird der Stahl heiss gewalzt. Im kalten Zustand prägt eine Maschine Rippen in den Stahl. Empa-Techniker mörteln zwei Lamellen aus Formgedächtnis-Stahl in einen Stahlbetonträger ein. Wärmebild: der elektrisch aufgeheizte Stahl erreicht im Betonbalken 160 Grad Celsius und zieht sich zusammen. Belastungsprobe des fertig verspannten Betonträgers nach dem Abkühlen: Experiment geglückt.



Video

Formgedächtnislegierungen /
shape memory alloys.

http://youtu.be/eWgOa0Y4R_I

Brücken- heilkunde



In unserem nördlichen Nachbarland wird zurzeit hitzig über die dringend notwendige Sanierung maroder Verkehrswege – vor allem Brücken – diskutiert. Vielerorts dürfen Strassenbrücken nur noch einspurig befahren werden, um sie nicht über Gebühr zu belasten. Masoud Motavalli entwickelt an der Empa Lösungen, mit denen alte Brücken wieder fit gemacht werden können.

INTERVIEW: Martina Peter / BILD: Empa

Herr Motavalli, sind die Brücken in der Schweiz auch so marod wie in Deutschland?

Zum Glück nicht. Wir verfügen über ein engmaschiges Überwachungssystem. Wo repariert werden muss, wird repariert. Das Problem der maroden Brücken gibt es allerdings nicht nur in Deutschland. In den USA geht man davon aus, dass jede vierte der etwa 600 000 Brücken Mängel aufweist und dringend repariert werden müsste. 50, 60 Jahre nach Bau der Tragwerke stellt man fest, dass der Beton beschädigt und das Metall korrodiert ist.

Wurde damals schlechtes Material verwendet?

Nein, das kann man nicht behaupten. Material ermüdet. Zudem wurde das Material viel stärker belastet als ursprünglich angenommen. Denken Sie nur daran, wie massiv der Verkehr in den letzten 50 Jahren zugenommen hat.

Wie kann eine alte Brücke wieder fit gemacht werden?


Wir forschen an unterschiedlichen Reparaturmethoden. Seit Jahren entwickeln wir daraus praktikable Lösungen. Vor gut 20 Jahren hat Urs Meier mit seinem Empa-Team in einer Weltpremiere kohlenfaserverstärkte Lamellen (CFK für carbonfaserverstärkter Kunststoff) an eine havarierte Stahlbeton-Brücke geklebt. Dadurch wurde die Ibachbrücke bei Luzern vor dem Einsturz gerettet. Heute verstärken wir sogar Stahlbrücken mit vorgespannten CFK-Lamellen. Aber anstatt sie anzukleben, klemmen wir die Lamellen an Stahlprofile. So können wir sie auch an Stellen be-

festigen, wo Kleben schwierig ist, etwa da, wo Bolzen hervorste-
hen. Ausserdem können CFK-Lamellen sehr einfach, diskret und ohne die Struktur zu beschädigen wieder entfernt oder ersetzt werden, falls dies erforderlich ist. Genau so haben wir übrigens kürzlich in einem Projekt mit den SBB eine von Gustave Eiffel konstruierte Eisenbahnbrücke nachträglich verstärkt. (Anm. der Redaktion: 1891 ereignete sich im basellandschaftlichen Münchenstein ein schweres Eisenbahnglück: Eine von Gustave Eiffel konstruierte Eisenbahnbrücke stürzte ein. Mit einer ihrer allerersten Untersuchungen überhaupt brachte die Empa zutage, dass zur Berechnung eine ungeeignete Formel verwendet worden war.)

Gibt es noch andere Methoden?

Wir wollen vermehrt auch Metalllegierungen mit «Gedächtnis» benutzen, um Brücken zu reparieren. (siehe Artikel nebenan) Das funktioniert im kleineren Massstab schon sehr gut. Nächstens führen wir Versuche an knapp sieben Meter langen Betonbalken durch. Sie sollen mit Spritzbeton, der mit Formgedächtnislegierungen bewehrt ist, verstärkt werden. Uns interessiert, wie viel Energie nötig ist, damit die nachträglich angebrachte Verstärkung aus «Gedächtnismetall» die Brücke wieder tragfähig macht. Schliesslich wollen wir ja auch wissen, wie wir das in der Praxis am besten durchführen. Mit den geeigneten Massnahmen kann die Lebensdauer einer Brücke also noch einmal um gut 50 Jahre verlängert werden – egal, was vorher passiert ist. //

Schwämme aus Nanozellulose gegen die Ölpest



Ein neues saugfähiges Material aus der Empa-Holzforschung könnte bei zukünftigen Ölkatastrophen helfen: chemisch modifizierte Nanozellulose-Schwämme. Der leichte Stoff saugt die Öllache auf, bleibt schwimmend auf dem Wasser liegen und kann dann eingesammelt werden. Das Saugmaterial lässt sich umweltfreundlich aus Altpapier, Stroh oder landwirtschaftlichen Abfällen gewinnen.



Alle Industrienationen benötigen grosse Mengen Erdöl, das meist per Hochseetanker oder Binnenschiff zum Bestimmungsort geliefert wird. Bei Unfällen droht eine Ölpest. Die umweltfreundlichste Methode, um die Natur nach einem Ölunfall zu säubern, ist das Aufsaugen und Einsammeln des schwimmenden Ölfilms. Den Empa-Forschern Tanja Zimmermann und Philippe Tingaut ist es zusammen mit Gilles Sèbe von der Universität Bordeaux gelungen, ein sehr wirksames Saugmaterial zu entwickeln, welches gezielt den Ölfilm vom Wasser abtrennt und sich danach leicht einsammeln lässt: Schwämme aus chemisch veränderter, «silylierter» Nanozellulose. In Laborversuchen saugten diese Schwämme bis zum 50-fachen ihres Eigengewichts an Mineralöl oder Motoröl auf und blieben dabei so in Form, dass sie mit einer Pinzette aus dem Wasser gezogen werden konnten. Nun gilt es, die Schwämme weiterzuentwickeln, um sie nicht nur im Labormassstab, sondern bei echten Unglücksfällen einsetzen zu können. Dazu wird nun ein Industriepartner gesucht.

Herstellung in einem Schritt – aus Zellulose

Nanofibrillierte Zellulose (NFC), das Basismaterial für die Schwämme, wird aus zellulosehaltigen Abfallstoffen wie Stroh, Holzschliff oder Altpapier gewonnen, in dem diese mit Wasser versetzt und der wässrige Brei unter hohem Druck durch mehrere enge Düsen gepresst wird. Es entsteht eine gel-artige Suspension aus langen, feinen, untereinander verbundenen Zellulosefasern und Wasser.

Entzieht man nun dem Gel per Gefriertrocknung das Wasser, so entsteht ein Nanozellulose-Schwamm. Das unbehandelte Material saugt gleichermassen Wasser und Öl auf – es ist also für den vorgesehenen Zweck noch untauglich. Den Empa-Forschern gelang es, die chemischen Eigenschaften der Nanozellulose in nur einem Verfahrensschritt zu verändern, in dem sie dem Gel vor der Gefriertrocknung ein reaktives Alkoxysilan zusetzten. Dadurch verliert die Nanozellulose ihre hydrophilen Eigenschaften, wird nicht mehr von Wasser benetzt und verbindet sich nur noch mit öligen Substanzen.

Im Labor saugte die «silylierte» Schwamm aus Nanozellulose innerhalb von Sekunden verschiedene Testsubstanzen wie Motoröl, Silikonöl, Ethanol, Aceton oder Chloroform auf. Nanofibrillierte Zellulose-Schwämme vereinen damit mehrere wünschenswerte Eigenschaften: sie sind sehr saugfähig, schwimmen auch im vollgesogenen Zustand zuverlässig auf dem Wasser und sind dazu biologisch abbaubar. //



Nanofibrillierte Zellulose saugt normalerweise Wasser und Öl zugleich auf. Die Empa hat das Material chemisch verändert, sodass es sich nur mit öligen Substanzen verbindet. Der Effekt ist im Laborversuch zu sehen: Das rote Öltröpfchen verschwindet im Schwamm. Klares Wasser bleibt zurück.

Grosses Bild links: Philippe Tingaut entwickelte die chemische Modifikation der Nanozellulose.

Gelenk-Implantate ohne Ablaufdatum

Bandscheibenvorfälle sind schmerzhaft. Oft folgt ein operativer Eingriff, bei dem die Bandscheibe versteift werden muss, was die Bewegungsfreiheit der Patienten einschränkt. Bewegliche Implantate sind zwar bei Hüften und anderen Gelenken bereits möglich, doch müssen sie aufgrund des Abriebs nach einigen Jahren ersetzt werden, was bei Bandscheiben riskant wäre. Forschenden der Empa ist es gelungen, bewegliche Bandscheiben-Implantate so zu beschichten, dass sie keinerlei Abrieb zeigen und ein Leben lang halten.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

Durch die tägliche Beanspruchung und Bewegung im Körper nutzen sich auch die besten künstlichen Gelenke ab; das Material verschleisst, Abriebpartikel können unerwünschte Immunreaktionen auslösen, sodass ein Ersatz notwendig wird. Grundsätzlich ein Standardeingriff, der bei den meisten Implantaten bis zu drei Mal wiederholt werden kann. Da beim Explantieren des Implantats jedes Mal Knochenmaterial verloren geht, muss das neue Gelenk mehr Knochen ersetzen und ist daher grösser. Bei Bandscheiben ist das allerdings kaum möglich. Zu nahe liegen sie an Rückenmark-Nervenbahnen und Gewebestrukturen, die bei einer weiteren Operation beschädigt werden könnten.

Bandscheiben wurden bislang nicht durch bewegliche Gelenke, sondern durch so genannte Cages ersetzt, eine Art Platzhalter, der einerseits stützt, andererseits eine Fusion der benachbarten Wirbelkörper ermöglicht, diese also zusammenwachsen lässt. Das allerdings versteift die Stelle, an der zuvor die Bandscheibe für ausreichend Bewegungsfreiheit gesorgt hat. Diese Versteifung kann dann dazu führen, dass im Laufe der Jahre die benachbarten Bandscheiben aufgrund der höheren Beanspruchung ebenfalls versteift werden müssen. Bewegliche Bandscheiben-Implantate könnten dieses Problem verringern. Viele derzeit erhältliche Produkte bergen allerdings das Risiko, aufgrund des Materialabriebs Allergien oder Abstossungsreaktionen auszulösen.

«Das halbe Periodensystem durchprobiert»: Forscherin Kerstin Horwarth präsentiert Bauteile des Bandscheibenersatzes.

Was macht künstliche Gelenke haltbar?

Erste Versuche, die Lebensdauer von künstlichen Gelenken zu erhöhen, wurden in der Vergangenheit von diversen Herstellern mit einer superharten Beschichtung aus DLC («diamond-like carbon») erbracht – mit katastrophalen Folgen. Rund 80% aller DLC-beschichteten Hüftgelenke versagten innerhalb von nur acht Jahren. Forscher der Empa-Abteilung «Nanoscale Materials Science» nahmen sich des Problems an und fanden heraus, dass das Implantatversagen nicht von der Beschichtung selber herrührte, sondern am Korrosionsverhalten des Haftvermittlers zwischen der DLC-Schicht und dem Metallkörper lag. Diese Schicht bestand bislang aus Silizium und korrodierte im Laufe der Jahre, was zum Abplatzen der Schicht, einem stärkeren Abrieb und als Folge davon zu Knochenschwund führte. «Unser Ziel war es, einen Haftvermittler zu finden, der nicht korrodiert und ein Leben lang im Körper hält», erklärt Kerstin Thorwarth.

Bandscheiben als erster Schritt

Eine mühsame Aufgabe, wie die Empa-Forscherin betont: «Wir haben das halbe Periodensystem durchprobiert.» Schliesslich wurde man fündig und setzte Tantal als Haftvermittler ein. Getestet wurde diese Beschichtung auf einem so genannten Total Disc Replacement – einem beweglichen Bandscheibenimplantat. 100 Millionen Zyklen, also ungefähr 100 Jahre Bewegung, wurden in einem eigens hierfür konstruierten Gelenksimulator nachgestellt. Das kleine Bandscheibenimplantat hielt stand und blieb ohne Abrieb und Korrosion vollständig einsatzfähig. Bald soll der neue Haftvermittler in Kombination mit DLC-Beschichtungen auch bei anderen Gelenken zum Einsatz kommen. «Die Bandscheibe ist das heikelste Gelenk für Implantate. Weil sich Tantal hierbei so gut bewährt hat, kann das DLC-Projekt nun auf andere Gelenke angewandt werden», sagt Thorwarth. //

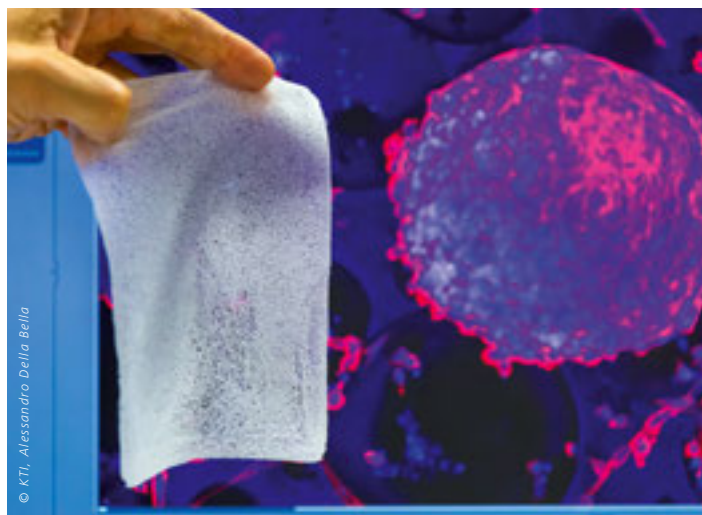


Silber in der Waschmaschine

Wo Nano drin ist, kommt nicht primär Nano raus. Empa-Forschende um Bernd Nowack haben silberbeschichtete Textilien in der Waschmaschine untersucht und Erstaunliches entdeckt: Herkömmlich beschichtete Stoffe setzen beim Waschen mehr Nanopartikel ins Abwasser frei als solche mit Nanobeschichtung. Eine Erkenntnis, die die künftige Analyse und den Umgang mit Silber-Textilien verändern dürfte: Nano-Textilien sollten nicht strikter als Textilien mit konventioneller Beschichtung reguliert werden, was in der gegenwärtigen Diskussion um eine mögliche spezielle Regulierung von Nano-Silber berücksichtigt werden sollte. In einem nächsten Schritt wollen die Empa-Forscher das Verhalten von Silber-Beschichtungen und deren Veränderung beim Waschen mit handelsüblichen Waschmitteln untersuchen.

Neue Wege zur Prävention und Therapie chronischer Wunden

Unsere alternde Gesellschaft leidet immer häufiger an chronischen Wunden. Verschiedene Unternehmen spezialisieren sich auf diese Thematik, und oft holen sie dazu die Empa mit ins Boot. Ein «Technology Briefing» in St. Gallen zeigte einige gemeinsame Projekte. Das Empa-Spin-off «Compliant Concept» entwickelte etwa den «Mobility Monitor», der Informationen darüber liefert, wann und wie oft eine Patientin oder ein Patient umgelagert werden muss, um schmerzhafte Druckstellen zu vermeiden, die zu chronischen Wunden führen können. Die Empa entwickelte zudem mit der Firma Schoeller ein Bettlaken, das durch seine mikrostrukturierte Oberfläche Wundliegen verhindert. Und die Firma Nolax entwickelte mit der Empa einen «Wundschaum», ein Polymer, das den Körper beim Heilen chronischer Wunden unterstützt (siehe Foto).



Effiziente Entgiftung von Dieselabgasen

Dieselfahrzeuge stossen dank Partikelfiltern so gut wie keine gesundheitsschädigenden Russsteilchen mehr aus. Trotzdem bleiben Partikelfilter ein hochaktuelles Thema, wie das fünfte VERT-Forum an der Empa mit über 20 Vortragenden aus Forschung, Industrie und Behörden zeigte. Vor einigen Jahren entwickelte die Empa zusammen mit Industrie und Behörden einen Test zur Filterbewertung. Bei einem VERT-zertifizierter Partikelfilter ist garantiert, dass dieser bis zu 98% der Russpartikel zurückhält. Bislang sind 40 zertifizierte Partikelfiltersysteme im Handel, und die Forschung arbeitet mit Hochdruck an weiteren Optimierungen.

HAUPTVERANSTALTUNG

Technologien in der Mobilität

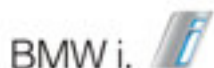
Ein Blick in die Zukunft



Empa, Dübendorf
Donnerstag, 2. Oktober 2014, 13.30 – 19.30 Uhr

Online-Anmeldung: www.tage-der-technik.ch

Gold-Sponsor



Silber-Sponsor



Patronats-Partner



Veranstaltungen

21. August 2014

Innovation Day:

Textil als Basis neuer Wertschöpfung

Zielpublikum: Textil- und Bekleidungsindustrie

www.swisstextnet.ch/news

Empa, Dübendorf

22. August 2014

Jubiläumsveranstaltung:

50 Jahre Akustik an der Empa

Zielpublikum: Forschung, Industrie, Politik

www.empa.ch/akustik50

Empa, Dübendorf

8. September 2014

Annual Meeting

Swiss Crystallographic Association

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa.ch/sgk

Empa, Dübendorf

16. September 2014

LICARA Workshop Nanoprodukte:

Abwägen von Chancen und Risiken

Zielpublikum: Industrie und Wissenschaft

www.empa.ch/tblicara

Empa, Dübendorf

14. Oktober 2014

Empa-FSRM-Kurs:

Aluminiumlegierungen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa.ch/aluleg

Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter

www.empa-akademie.ch

Ihr Zugang zur Empa:



portal@empa.ch
Telefon +41 58 765 44 44
www.empa.ch/portal