

Empa Quarterly

Forschung & Innovation #63 | Januar 19

Heimische Werte

Edle Metalle aus
Elektroschrott

Brandschutz
aus Altpapier

Architektin
der Energie



Empa

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

Die Schweiz als Rohstoffland?

Liebe Leserin, lieber Leser

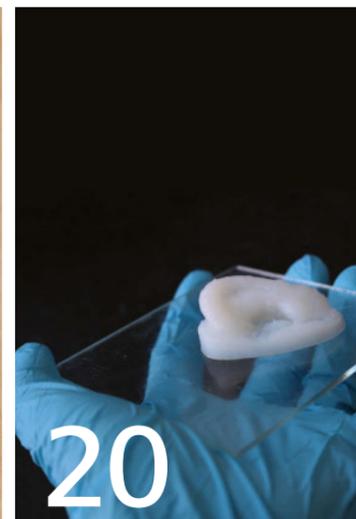
«Rohstoffarm» ist eines der weniger erfreulichen Attribute, die der Schweiz anhaften. Wenn wir uns mit Rohstoffgiganten wie China vergleichen, die vor klassischen Bodenschätzen nur so strotzen, dann hat das auch seine Richtigkeit. Und doch verbergen sich hierzulande Goldminen, die nur darauf warten, geschürft zu werden – etwa in unseren aussergewöhnlichen elektronischen Gadgets und anderem Elektroschrott.

Dazu sind allerdings helle Köpfe und innovative Technologien notwendig – einer der «Rohstoffe», über die die Schweiz gottlob zu Hauf verfügt. Die aktuelle Ausgabe des EmpaQuarterly präsentiert Ihnen einige dieser ressourcenschonenden Ansätze sowie die findigen Forscherinnen und Forscher, die dahinterstehen. Dabei werden Sie vermutlich auf einiges Erstaunliche stossen. Etwa auf einen Dämmstoff, der als Brandschutz dient und aus Altpapier hergestellt wird. Oder auf holzersetzen Pilze, die herkömmliches Buchenholz – eher billig und von biederem Aussehen – in hochpreisiges «Marmorholz» verwandeln, wunderschön gemasert und von Möbeldesignern hochgeschätzt.

Unabhängig von ihrer konkreten Anwendung haben die in diesem Magazin vorgestellten Konzepte eines gemeinsam: Sie stehen für einen verantwortungsvolleren Umgang mit unseren endlichen natürlichen Ressourcen. Ein Thema, dem wir indes nur gerecht werden können, wenn wir uns nicht auf neue Technologien allein verlassen, sondern auch unser alltägliches Verhalten anpassen. Nachdem der weihnachtliche Kaufrausch vorbei ist, wäre das ein guter Vorsatz für 2019.

Lassen Sie sich durch die aktuelle Ausgabe des EmpaQuarterly ein wenig zum Nachdenken anregen.

Eine spannende Lektüre, und alles Gute fürs neue Jahr!



Fokus

Heimische Werte: Ressourcen aus der Schweiz

- 10** Edle Metalle aus Elektronikschrott
Indium, Neodym und Gold lagern mitten unter uns
- 13** Zweites Leben für Altbauten
Beton-Verstärkung mit Memory-Steel – ohne Hydraulikpressen
- 14** Wärme aus der Konserve
Saisonale Energiespeicherung – das Thema der Zukunft
- 18** Ganz schön verfault
Bio-Marmorierung verschönert Schweizer Buchenholz
- 20** Das Ohr aus dem 3-D-Drucker
Knorpel-Implantate aus bioabbaubarer Nanocellulose
- 22** Brandschutz aus Altpapier
Ein erfolgreicher Dämmstoff gewinnt durch Empa-Know-how an Wert
- 04** Virtueller Lärm
Eine Computersimulation zeigt, was wir gegen Eisenbahnlärm tun können
- 24** Architektin der Energie
Kristina Orehounig leitet die Abteilung «Urban Energy Systems»
- 27** Auf zum Merkur!
Heizelemente der Empa schützen Raumsonden der ESA
- 30** Drohnen, Schweiss und Wasserstoff
Was an der Empa sonst noch geschah, Kurznachrichten

Titelbild

Die Altstadt von St. Gallen. Hier schlummern Ressourcen, und hier werden sie verbraucht: 80 Prozent der im Winter benötigten Energie ist Wärme. Muss man sie aus fossilen Brennstoffen erzeugen? In jeder grossen Stadt lagern Tausende von LCD-Bildschirmen, Festplatten und Handys. Wie gewinnt man die darin enthaltenen seltenen Metalle zurück? Seite 09 – 23. Bild: © St. Gallen-Bodensee Tourismus, Mattias Nutt

Impressum

Herausgeberin Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Schweiz, www.empa.ch /
Redaktion & Gestaltung Abteilung Kommunikation /
Tel. +41 58 765 47 33 empaquarterly@empa.ch,
www.empaquarterly.ch // Erscheint viermal jährlich
Anzeigenmarketing rainer.klose@empa.ch
ISSN 2297-7406 EmpaQuarterly (deutsche Ausg.)



Empa Social Media



Virtueller Lärm

Eisenbahnlärm stört. Vor allem in der Nähe von Wohngebieten sorgen Züge regelmässig für schlaflose Nächte. Umso wichtiger ist es, Züge und Schienen so zu optimieren, dass Geräusche gedämmt werden. Empa-Forschende haben eine Computersimulation entwickelt, die realitätsgetreu aufzeigt, wie Bahnlärm entsteht und welche technischen Massnahmen zielführend sind, ihn zu verhindern.



Hier sehen Sie, was Sie hören werden: die Lärm-Simulation der Empa läuft auch auf Virtual-Reality-Brillen, tragbar und stereo.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

Der Zug rauscht heran, der Lärmpegel steigt, es dröhnt unangenehm in den Ohren, wenn die Waggon vorbeirattern. Ein paar Sekunden später ist der Spuk vorbei, die Lautstärke nimmt ab, und die Waggon verschwinden am Horizont. Was auf den ersten Blick wirkt wie die gewöhnliche Aufnahme eines vorbeifahrenden Zuges, ist in Wirklichkeit weit mehr. Weder die Geräusche, die man durch Lautsprecher oder Kopfhörer hört, noch die Bilder, die man sieht, sind echt: Alles entstand im Rahmen einer Simulation am Computer.

Lärm: Ein Ensemble aus über hundert Geräuschquellen

«Lärm besteht aus verschiedenen Bestandteilen», erklärt Reto Pieren von der Empa-Abteilung «Akustik und Lärminderung», verantwortlich für die Programmierung der Simulation, die ein Team von Empa-Forschern in einem Horizon2020-Projekt der EU entwickelte. «Die Räder, die Schienen, die Lüftung, der Motor – alles erzeugt Geräusche und verursacht als Ganzes dann die Lärmemission des Zuges.» In anderen Worten: Pieren hat für die über 100 Geräuschquellen eines fahrenden Zuges einzelne Algorithmen entwickelt. Das ermöglicht es, den Zug als Ganzes «hörbar» zu machen oder aber nur einzelne Komponenten.

Nebst den diversen Geräuschquellen eines fahrenden Zuges integriert er ausserdem Umwelteinflüsse in seine Berechnungen. Dazu gehören Lärmschutzwände, Fahrgeschwindigkeit, Zustand der Gleise, Aussentemperatur und sogar die Beschaffenheit des Bodens. Ziel der Simulation ist es, nicht nur Optimierungspotenzial bestehender Zugkompositionen aufzuzeigen, sondern in Zukunft auch Voraussagen treffen zu können, wie beispielsweise neue Räder oder Bauteile den Lärm einer Bahnlinie verändern würden.

Erschaffen am Computer

Die Simulation der Empa ist einzigartig, denn bisherige Programme verwenden echte Tonaufnahmen. Pieren jedoch hat die einzelnen Geräusche am Computer hergestellt. Dabei wird für jede Zugkomponente unter Berücksichtigung der physikalischen Parameter das entsprechende akustische Signal berechnet. Physikalische Parameter heisst in diesem Fall Eigenschaften wie die Oberflächenbeschaffenheit und das Material der Gleise und der einzelnen Räder. Diese Grundparameter stammen dabei aus eigenen Messungen, Messungen von Fahrzeugherstellern und Simulationsrechnungen und werden in die Simulation eingespeist. Aus diesen Daten berechnet der Algorithmus den abgestrahlten Schalldruck, aus dem wiederum das Geräusch bei einem bestimmten Zuhörerpunkt simuliert wird.

Doch es geht noch komplexer: Beim Rollgeräusch beispielsweise wird das Bremssystem der Wagen mit einberechnet. «Dahinter verbergen sich Datensätze, die die Oberflächenmikrostruktur der Räder beschreiben. So wird für jedes Rad eine individuelle Oberflächenstruktur berechnet», erklärt Pieren. Diese Oberflächenstruktur

ist massgeblich an der entstehenden Reibung mit den Geleisen und somit an der Schall- respektive Lärmentwicklung beteiligt. Je weniger Unebenheiten die Oberfläche der Räder und der Gleise aufweisen, umso leiser das Fahrgeräusch.

Der Schall macht es aus

Ein vorbeifahrender Zug verursacht Lärm, so viel ist klar. Wie ein Anwohner diesen Lärm allerdings wahrnimmt, hängt massgeblich von der lokalen Umgebung und der Schallausbreitung ab. Schall erfährt bei der Ausbreitung diverse Veränderungen. Er wird durch Luft absorbiert, was dazu führt, dass hohe Frequenzen stärker gedämpft werden als tiefe. Ähnliches passiert bei einer Lärmschutzwand: Hohe Frequenzen sind hinter der Wand tatsächlich weniger laut, tiefe Töne werden jedoch über die Wand gebeugt. Diese zentralen Faktoren können in der Simulation ebenfalls nachgestellt werden, ebenso wie der Standort des Zuhörers – von dem die eigentliche akustische Wahrnehmung des Lärms abhängt.

Den künstlich erzeugten Lärm hat Pieren mit Probanden in einem Hörexperiment überprüft. Erfreulicherweise zeigte sich, dass die Probanden die Simulationen und die künstlich generierten Geräusche als sehr plausibel einstufen. Mit der Simulation lassen sich also Auswirkungen von unterschiedlichen Massnahmen «auralisieren», also hörbar machen. Beispielsweise lässt Pieren die Simulation laufen, platziert im Anschluss eine Schallschutzwand und lässt erneut einen Zug vorbeifahren. «Wenn wir sagen, eine Massnahme reduziert den Geräuschpegel um drei Dezibel, können sich die wenigsten vorstellen, was das bedeutet. Wenn ich diese drei Dezibel im direkten Vergleich aber hörbar mache, ist der Effekt sofort klar.»

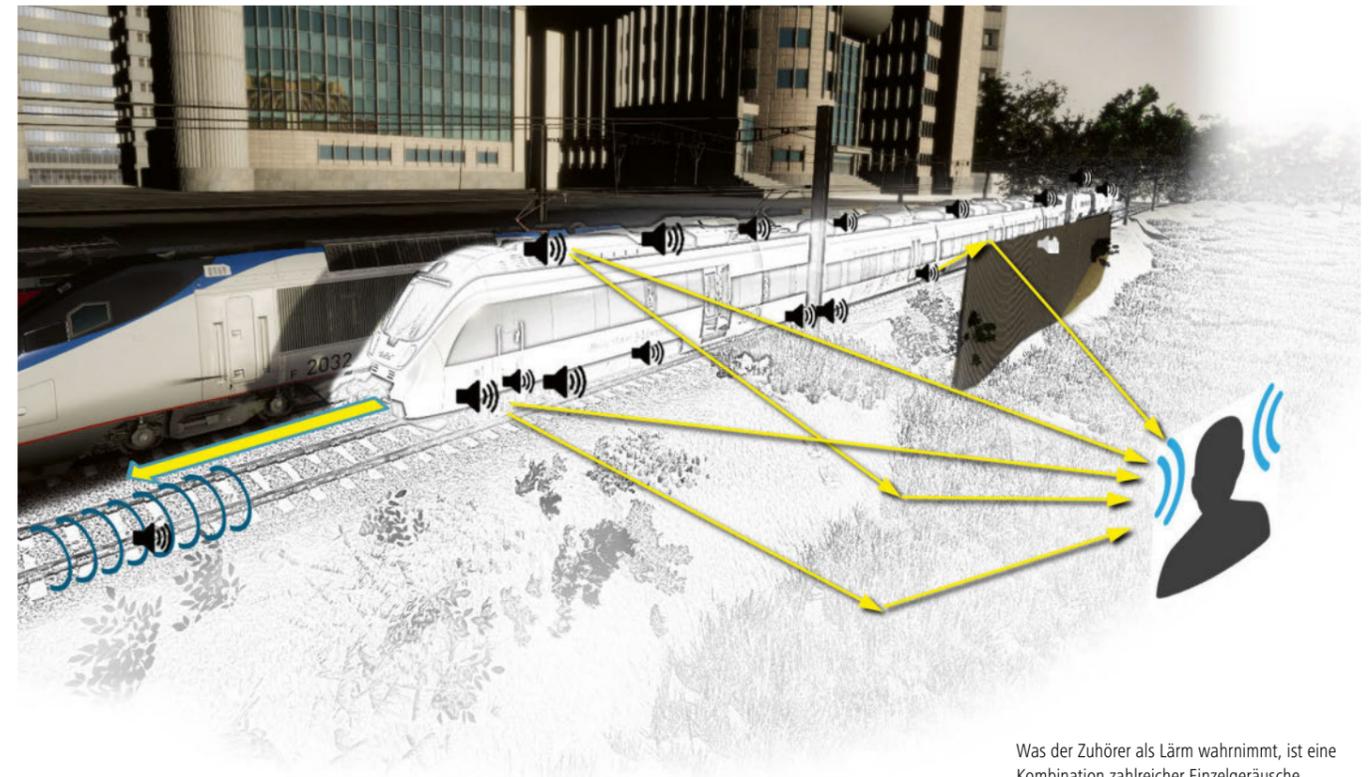
Die Simulation funktioniert nicht nur im Labor oder mit einem Virtual-Reality-Set. Auch Videos auf YouTube zeigen den Vergleich und machen deutlich, was die Simulation leisten kann. Zukünftig soll sie helfen, wichtige Entscheidungen bezüglich Bau und Ausbau von Bahnlinien und Zügen zu unterstützen. Davon profitieren langfristig Bahnbetreiber, Planer und vor allem die Anwohner.//



Empa Rail-Noise-Experience

Stört es? Auf YouTube können Sie Empa-Lärmsimulationen unterschiedlicher Züge und Lärmschutzmassnahmen vergleichen.

https://youtu.be/rtEB_qsaWw



Was der Zuhörer als Lärm wahrnimmt, ist eine Kombination zahlreicher Einzelgeräusche.



Im «AuraLab» der Empa kann die Simulation in einem schalldichten Raum an Probanden getestet werden.

Ressourcen aus der Schweiz

Längst schlummern die wertvollsten Rohstoffe nicht mehr unter der Erde, sondern in unseren Städten. Wie können wir sie erfolgreich nutzen? Wir könnten Indium, Neodym und Gold aus Elektronikschrott gewinnen, wir könnten Altbauten mit Memory-Steel zu neuen Nutzungen ertüchtigen. Wir könnten Dämmstoffe für Holzhäuser aus Altpapier und Knorpel-Implantate aus Zellulose herstellen. Wir könnten Sommerwärme einlagern und an kalten Wintertagen nutzen. In dieser Ausgabe von EmpaQuarterly erfahren Sie, wie.



Edle Metalle aus Elektronikschrott

Indium, Neodym und Gold finden sich in vielen elektronischen Geräten. Was geschieht mit den wertvollen Stoffen, wenn die Geräte nicht mehr gebraucht werden? Und wie viel edles Metall steckt in Mobiltelefonen, Computern und Bildschirmen, die derzeit noch in Gebrauch sind? Diesen Fragen sind Empa-Forscher nachgegangen.



Gold aus elektronischen Kontakten wird heute grösstenteils wiedergewonnen – Indium und Neodym hingegen gehen verloren.

TEXT: Karin Weinmann / BILDER: Empa, iStockphoto

Die drei Rohstoffe Gold, Neodym und Indium gehören zu den rarsten Elementen auf der Erde: Jedes der drei Metalle macht weniger als 0,00001% der Erdkruste aus. Sie finden sich in einer Vielzahl von elektronischen Geräten – zwar in geringen Mengen, dafür aber in Schlüssel-funktionen: Indium ist als Indiumzinnoxid elektrisch leitend und gleichzeitig durchsichtig. Wegen diesen Eigenschaften wird das Material etwa in LCD-Bildschirmen eingesetzt. Neodym wird in Verbindung mit Eisen und Bor verwendet, um starke Magneten herzustellen. Sie finden sich etwa in Festplatten, Lautsprechern, Kopfhörern und Mobiltelefonen. Gold ist ein sehr guter Leiter, der nicht korrodieren kann. Das Metall wird deshalb in Elektronikbauteilen wie Schaltkontakten oder Leiterplatten verwendet.

Das Problem: Insbesondere Neodym und Indium gelten als kritische Metalle. Das heisst, es besteht zum einen ein Risiko des Versorgungsunterbruchs, da die beiden seltenen Elemente fast ausschliesslich in China abgebaut werden. Zum anderen wird ihre Bedeutung für Schlüsseltechnologien als hoch und die Auswirkungen möglicher Unterbrüche als besonders gravierend eingestuft.

Doch genau genommen besitzt auch die Schweiz Minen für diese drei Rohstoffe. Und zwar unter anderem in elektronischen Geräten, die in Gebrauch stehen oder schon ausgedient haben. Die Empa-Doktorandin Esther Thiébaud von der Abteilung «Technologie und Gesellschaft» hat nun erstmals untersucht, wo sich die drei seltenen Metalle in der Schweiz finden lassen – und wie viel davon für einen weiteren Gebrauch bereits verloren ist.

Thiébauds Analyse zeigte, dass sich bei allen drei Stoffen der grösste Anteil in Geräten befindet, die zurzeit im Gebrauch sind. Dann trennen sich die Wege der Elemente: Der zweitgrösste Anteil an Indium befindet sich in der Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen – und ist damit für eine Rückgewinnung verloren. Dasselbe gilt für den zweitgrössten Anteil an Neodym; er findet sich in Schlacke aus Metallhütten, die für den Baubereich verwendet wird. Gold hingegen wird bereits heute aus ökonomischen Gründen zu 70% wiedergewonnen, wenn Geräte ihren Lebenszyklus beendet haben. Während also bei Gold die Recyclingquote schon sehr gut ist, wird Neodym und Indium in der Schweiz noch überhaupt nicht zurückgewonnen.

Recycling wäre ökologisch sinnvoll

Bereits 2015 untersuchte das Empa-Team unter der Leitung von Heinz Böni im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und dem schweizerischen Verband der Anbieter von Informations- und Kommunikationstechnologien (Swico), ob die Rückgewinnung von Indium und Neodym ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar ist.

Technisch lässt sich Indium bereits heute zurückgewinnen, wenn auch mit relativ grossem Aufwand. Und wirtschaftlich gesehen fallen für die Rückgewinnung von Indium aus Bildschirmen nur moderate Zusatzkosten an. Sie liessen sich durch eine Erhöhung des vorgezogenen Recyclingbeitrags von 50 Rappen pro Bildschirm decken. Ökologisch jedoch ist die Sache klar: Einen Berg ausgedienter Bildschirme hat einen höheren Indiumanteil als eine Mine mit dem gleichen Volumen, aus der das Indium als Primärrohstoff gewonnen wird. Auch sind die Umweltwirkungen beim Recycling laut Studie gleich hoch, wenn nicht sogar besser als bei der Primärproduktion aus Mineralien. Dies gilt aber nur, wenn die ausgedienten Geräte im ersten Verarbeitungsschritt manuell zerlegt und nicht mechanisch zerkleinert werden.

Bei Neodym ist die Bilanz aus ökologischer Sicht sogar noch eindeutiger: Stammt das Material aus dem Recyclingprozess, dann belastet dies die Umwelt um einen Drittel weniger, als wenn es aus einer Mine gewonnen wird.

Die Menge macht's

Ähnlich wie Gold befinden sich auch Indium und Neodym klar lokalisiert in separierbaren Komponenten eines elektronischen Geräts. Auch wäre die Wiedergewinnung der Rohstoffe machbar, wenn auch mit einigem Aufwand. Warum also werden diese Metalle bisher nicht zurückgewonnen?

Dazu lohnt es sich, die Mengen zu betrachten. Indium wird erst seit der Jahrtausendwende in nennenswerten Mengen genutzt. Im Jahr 2014, für das die aktuellsten Zahlen vorliegen, waren in der Schweiz 1,7 Tonnen des Metalls in Geräten vorhanden, die noch in Gebrauch waren. Die Geräte, die im gleichen Jahr entsorgt wurden, enthielten insgesamt aber nur 135 kg Indium. Rund ein Drittel davon erreichten den Recyclingprozess gar nicht – etwa, weil die Geräte in den normalen Kehricht geworfen oder ins Ausland ausgeführt wurden. Von den 90 kg Indium, die den Recyclingprozess durchliefen, endeten laut Studie 90% in Kehrichtver-

brennungsanlagen, 5% gehen im Schmelzprozess verloren – und nur 5% wurden für eine allfällige zukünftige Wiederaufbereitung aufbewahrt.

Neodym ist schon seit Anfang der 80er-Jahre in grösseren Mengen in verkauften Elektronikgeräten vorhanden. 2014 befanden sich 39 Tonnen Neodym in noch genutzten Geräten, die im gleichen Jahr entsorgten Geräte enthielten 3,9 Tonnen. Davon erreichten immerhin 2,8 Tonnen den Recyclingprozess, wo das Element indes in der Schlacke des Schmelzprozesses endete. Beim Gold liegen die Zahlen dazwischen: 4,8 Tonnen waren in Geräten, 440 Kilo wurden in goldhaltigen Komponenten separiert, und 330 Kilo davon erreichten den Recyclingprozess. Ab da sind die Verluste gering: Das Gold, welches die Phase der manuellen Zerlegung erreicht, kann zu 95% wiedergewonnen werden.

An den Mengen allein kann es also nicht liegen, dass nur beim Gold der zusätzliche Aufwand für die Rückgewinnung betrieben wird. Interessant wird es, wenn man den Wert der Metalle betrachtet: Die 90 kg Indium, die im Entsorgungsprozess landen, sind zurzeit 36 000 US-\$ wert; 2800 Kilo Neodym 200 000 US-\$ und 330 Kilo Gold 13 600 000 US-\$. Bei Gold lohnt sich also der Aufwand wirtschaftlich betrachtet trotz der geringen Mengen – bei Neodym und Indium ist die finanzielle Motivation für die Recyclingunternehmen hingegen (noch) gering.

«Der weitaus grösste Anteil an Neodym und Indium ist immer noch in den aktuell genutzten Geräten», erklärt Esther Thiébaud. «Eine geringfügige Erhöhung des vorgezogenen Recyclingbeitrags würde bereits genügen, um das Recycling wirtschaftlich attraktiv zu machen.» Bis dahin wäre es zumindest sinnvoll, Bauteile mit einem relativ hohen Anteil an Indium und Neodym zwischenzulagern – damit die Rohstoffe nicht für immer verloren sind. //



Oben

LCD-Bildschirme enthalten kleine Mengen an Indium. Ökologisch gesehen lohnt es sich, das Material zu extrahieren – doch nur dann, wenn die Geräte manuell auseinandergenommen werden.

Unten

Indium und Neodym gelten als kritische Metalle: Es besteht ein Risiko von Versorgungsunterbrüchen, da die beiden seltenen Elemente fast ausschliesslich in China in riesigen Minen abgebaut werden. Das Risiko ist enorm: Schlüsselindustrien können ohne diese Materialien nicht arbeiten. Ein Versorgungsengpass würde gewaltige Schäden verursachen.

Zweites Leben für Altbauten

Ein neues, an der Empa entwickeltes Baumaterial kommt auf den Markt: Mit Memory-Steel lassen sich nicht nur neue, sondern auch bestehende Betonstrukturen verstärken – ein probates Mittel, um Altbauten für neue Nutzungen vorzubereiten.



TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

links

Armierungsstäbe aus Memory-Steel sind seit Ende 2018 auf dem Markt.

rechts

Verstärkung einer Altbau-Zwischendecke mit Hilfe von Streifen aus Memory-Steel.

Bislang wurden die Stahl-Armierungen in Betonbauwerken meist hydraulisch vorgespannt. Dazu sind Hüllrohre für die Führung der Spannkabel, Anker zur Kraftübertragung und ölgefüllte Hydraulikpressen notwendig. Der Raumbedarf all dieser Apparaturen schuf die geometrischen Rahmenbedingungen für jedes Bauwerk aus Spannbeton; die nachträgliche Versteifung älterer Bauten scheitert daher bisweilen am hohen Platzbedarf dieser bewährten Methode.

In rund 15 Jahren Forschungsarbeit haben Experten der Empa und des Spin-offs Refer AG nun eine alternative Methode zur Serienreife gebracht: Formgedächtnislegierungen auf Eisenbasis, die sich beim Erhitzen zusammenziehen und die Betonstruktur so dauerhaft vorspannen. Auf hydraulische Vorspannung kann dadurch verzichtet werden – es genügt, den Stahl kurz zu erhitzen, etwa durch elektrischen Strom oder mittels Infrarotstrahler. Unter dem Namen Memory-Steel wird der neue Baustoff ab sofort vertrieben. Mehrere Pilotprojekte, etwa die Verstärkung von Stahlbetondecken, verliefen bereits erfolgreich.

Neue Möglichkeiten für alte Gebäude

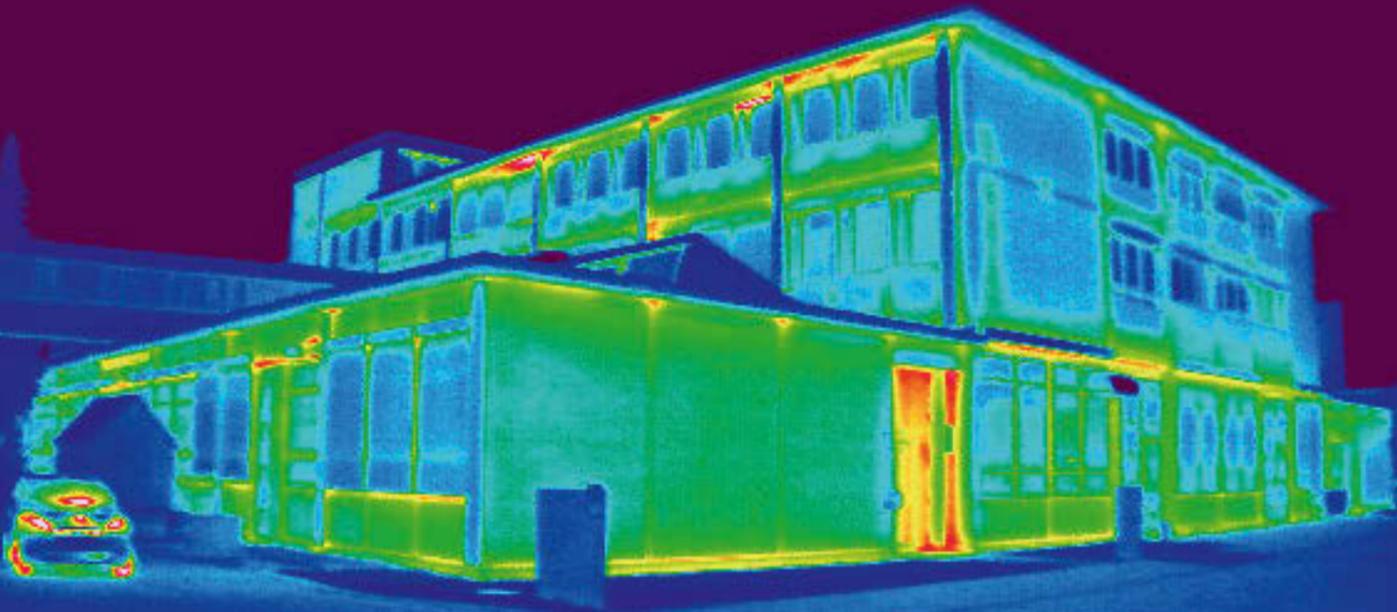
Memory-Steel eignet sich ganz besonders dafür, bestehende Gebäude nachträglich zu verstärken. Sobald zum Beispiel in die Betonstruktur eines Altbaus neue Fenster, Türen oder Aufzugsschächte eingebaut werden, ist eine Verstärkung der Tragstruktur oft unumgänglich. Bei Industriegebäuden muss bisweilen die Traglast einer alten Zwischendecke erhöht werden. Dank Memory-Steel sind solche Aufgaben nun auch in engen Räumen gut lösbar: Entweder wird ein Streifen des Spezialstahls mittels Dübeln unter der Decke befestigt und dann mit Strom oder per Infrarotstrahler erhitzt. Alternativ dazu kann die Verstärkung auch einbetoniert werden.

Markteinführung von Memory-Steel

Die einbaufertigen Profile aus Memory-Steel werden von der Voestalpine Böhler Edelstahl GmbH & Co KG in Österreich hergestellt. Ausserdem entwickelt die Firma gemeinsam mit Refer und der Empa die Zusammensetzung der Legierung weiter. //

Wärme aus der Konserve

Der Ausbau von Solarenergie und das Abschalten von Atomkraftwerken wird unsere Energieversorgung drastisch verändern: Überschüsse an Strom und Wärme entstehen im Sommer, im Winter mangelt es an beidem. Abhilfe könnten Wärmespeichertechnologien bringen, die Sommerwärme bis in den Winter konservieren können. Die Empa forscht daran.



TEXT: Rainer Klose / BILDER: QC-Expert AG, Empa

Unser Forschungsgebiet ist nicht ganz neu, aber wir erleben gerade eine Renaissance», sagt Luca Baldini. Er ist Mitarbeiter der Empa-Abteilung «Urban Energy Systems» und leitet dort die Forschungsgruppe «BEST – Building Energy Systems and Technologies». Baldini und seine Kollegen sind Spezialisten, wenn es darum geht, im Sommer gewonnene Energie bis in die Wintermonate zu speichern.

«Wenn man über Speichertechnik spricht, denken die meisten sofort an Elektrizität und an Batterien», sagt der Forscher. «Doch im Sektor Privathaushalte ist im Winter mehr als 90 Prozent des Energieverbrauchs Wärme. Wir müssen also auch darüber nachdenken, wie wir Wärme speichern können – nicht nur Strom.» Tatsächlich wird

das bereits seit Mitte der 1980er-Jahre erforscht. Es gab Pionieranlagen zur Wärmespeicherung etwa an der Universität Stuttgart. Diese einfachen Wärmespeicherbecken, gefüllt mit Wasser oder einem Wasser-Kies-Gemisch wurden über die Jahre weiterentwickelt, vor allem in Deutschland und in Skandinavien.

Vernetzung statt Autarkie

Nun steht ein Paradigmenwechsel an, den Baldini so beschreibt: «Früher waren saisonale Wärmespeicher etwas für Öko-Freaks, die ihr Häuschen ganz allein autark durch den Winter bringen wollten. Heute gilt es, Wärmespeicher landesweit einzusetzen und mit anderen Energieflüssen, etwa der Elektrizitätsversorgung, zu vernetzen. So

können wir mit Hilfe gespeicherter Wärme CO₂-Emissionen einsparen und die wachsende Spitzenlast auf den elektrischen Netzen verringern.» Aber wie lassen sich grosse Wärmemengen vom Sommer in den Winter überführen? Man kann die Technologien in vier Kategorien einteilen (siehe Grafik auf der folgenden Doppelseite). Die Empa ist auf allen Gebieten mit Forschungsprojekten aktiv.

Erdbecken- und Erdsondenspeicher

Erdbeckenspeicher sind besonders grosse, abgedeckte Speicherbecken, die wie erwähnt mit Wasser oder einer Wasser-Kies-Mischung gefüllt sind. Das Wasser in so genannten Nutzwärmespeichern wird, zum Beispiel mit Abwärme aus der Industrie, auf bis zu 90 Grad Celsius aufgeheizt, die Wärme kann direkt verbraucht werden. Niedertemperaturspeicher werden dagegen bei 5 bis 25 Grad betrieben. Daraus wird die Wärme mit Hilfe von Wärmepumpen entnommen. Auch Erdsonden zählen zu dieser Art Speicher.

Baldinis Arbeitsgruppe ermittelt via Computersimulation, wie viel Wärme ein Erdsondenfeld maximal speichern kann und wie sich dessen Betrieb optimieren lässt, um insgesamt möglichst wenig CO₂ auszustossen. In einem solchen Feld heizt sich der Boden am Rand des Feldes weniger stark, in der Mitte des Feldes aber stärker auf. Ein solches Erdsondenfeld würde geringere Wärmeverluste erleiden als einzelne Erdsonden und könnte im Winter den CO₂-Ausstoss und die Spitzenlast auf den elektrischen Netzen deutlich verringern.

Phasenwechselfpeicher

Hier kühlt sich das Speichermedium bei der Wärmeentnahme ab, bis sich dessen Aggregatzustand ändert, etwa von flüssig zu fest. Zusätzlich zur Wärme aus der Flüssigkeit gewinnt man dadurch die Kristallisationsenergie, die beim Festwerden freigesetzt wird. Ein Eisspeicher etwa gibt gerade einmal ein Drittel seiner gespeicherten Energie durch das Abkühlen des Wassers von 30 auf 0 °C ab; zwei Drittel der Energie werden frei, wenn das Wasser dann gefriert. Ein weiterer Vorteil: Die Wärmeverluste an die Umgebung sind je nach Schmelztemperatur gering – bisweilen wird sogar Umgebungswärme gewonnen, wenn der Speicher im Boden eingegraben ist.

Die Empa betreibt einen knapp 70 Kubikmeter grossen Eisspeicher, der zur kombinierte Wärme- und Kälteversorgung des Forschungsgebäudes NEST dient und gleichzeitig für Forschungszwecke zur Verfügung

steht. Phasenwechselfpeicher können aber auch mit Paraffin oder mit speziellen Salzen anstatt mit reinem Wasser betrieben werden.

Sorptionsspeicher

Im Sorptionsspeicher wird eine «trockene» Substanz beispielsweise mit Wasser angefeuchtet. Die Wasseraufnahme erzeugt Wärme. Ist die Substanz vollständig durchfeuchtet, hat der Speicher seine gesamte Wärmeenergie abgegeben. Zum Aufladen benötigt er wieder Wärme, die das Wasser verdampft beziehungsweise die Substanz wieder «trocknet». Manche dieser Speicher arbeiten mit Zeolith, einem porösen, künstlich hergestellten Silikatmineral. Auch mikroporöse, metallorganische Materialien, so genannte MOFs, werden untersucht.

Die Empa forscht in verschiedenen Projekten auf dem Gebiet. Matthias Koebel untersuchte im NFP70-Projekt «THRIVE» gemeinsam mit IBM Research in Rüschlikon Adsorptionswärmespeicher, die Bestandteile künftiger Klimaanlage werden könnten. Luca Baldini forscht mit seiner Gruppe BEST an flüssigen Speichersystemen aus konzentrierter Natronlauge. Die Lauge setzt beim Verdünnen mit Wasser Wärme frei; zum Wiederaufladen des Speichers muss die Lauge erhitzt und dadurch entwässert werden.

Thermochemische Speicher sind leistungsfähiger als Erdbecken- und Phasenwechselfpeicher. Sie eignen sich daher für kompakte saisonale Wärmespeicher in einzelnen Gebäuden.

Power-to-Gas-Anlagen

Bei der Power-to-Gas-Technologie wird zum Aufladen des Energiepeichers nicht Wärme, sondern Elektrizität verwendet: Überschüssiger Strom aus Solar- oder Windenergie, der im Sommer nicht sofort genutzt werden kann, wird mittels Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff umgewandelt und kann dann in Gasflaschen gespeichert werden. In einem weiteren Schritt ist es möglich, aus Wasserstoff und CO₂ Methan (CH₄) zu erzeugen – das ist künstlich hergestelltes Erdgas. Dieses Gas kann im bereits bestehenden Erdgasnetz eingelagert und verteilt werden.

Der Vorteil dieser Technologie: Aus der gespeicherten Energie lässt sich nicht nur Wärme, sondern auch Elektrizität gewinnen. Die Empa untersucht die Power-to-Gas-Technologie in ihrem Mobilitätsdemonstrator Move in Dübendorf.

Wie viel der elektrischen Überschussenergie in Wärmespeicher oder aber in chemische Energieträger wie Wasserstoff oder Methan umgewandelt werden soll, ist für



Luca Baldini leitet die Forschungsgruppe BEST – «Building Energy Systems and Technologies» an der Empa.

unser künftiges Energiesystem eine entscheidende Frage.

Wärme speichern, Geld verdienen

Während bei der ersten Generation von Wärmespeichern Solarwärme aus Sonnenkollektoren direkt genutzt wurde, scheint es heute sinnvoller, Wärmespeicher mittels Solarstrom und elektrischen Wärmepumpen aufzuladen. Dadurch erreicht man eine Kopplung zum Stromnetz, und es wird möglich, das Netz zu stabilisieren: Wenn im Sommer Solar- und Windkraftwerke zu viel Strom liefern und eine Netzüberlastung droht, könnten die Speicher-Wärmepumpen den überschüssigen Strom abnehmen und die Wärmespeicher aufladen. Schon heute wird der Verbrauch von Überschussstrom als Dienstleistung bezahlt. Der Bedarf nach dieser «Regelleistung» wird in Zukunft stark wachsen. Man kann also mit dem Einlagern von Wärme sogar Geld verdienen.

Eine weitere Chance bietet sich darin, die (Ab-)Wärme aus der sommerlichen Klimatisierung von Gebäuden abzuleiten und für den Winter zu speichern. Bis jetzt geben die meisten Klimaanlage ihre Hitze an die Umgebung ab, was städtische Gebiete – die im Sommer ohnehin Hitzeinseln im Vergleich zu ihrer Umgebung sind – noch zusätzlich aufheizt.

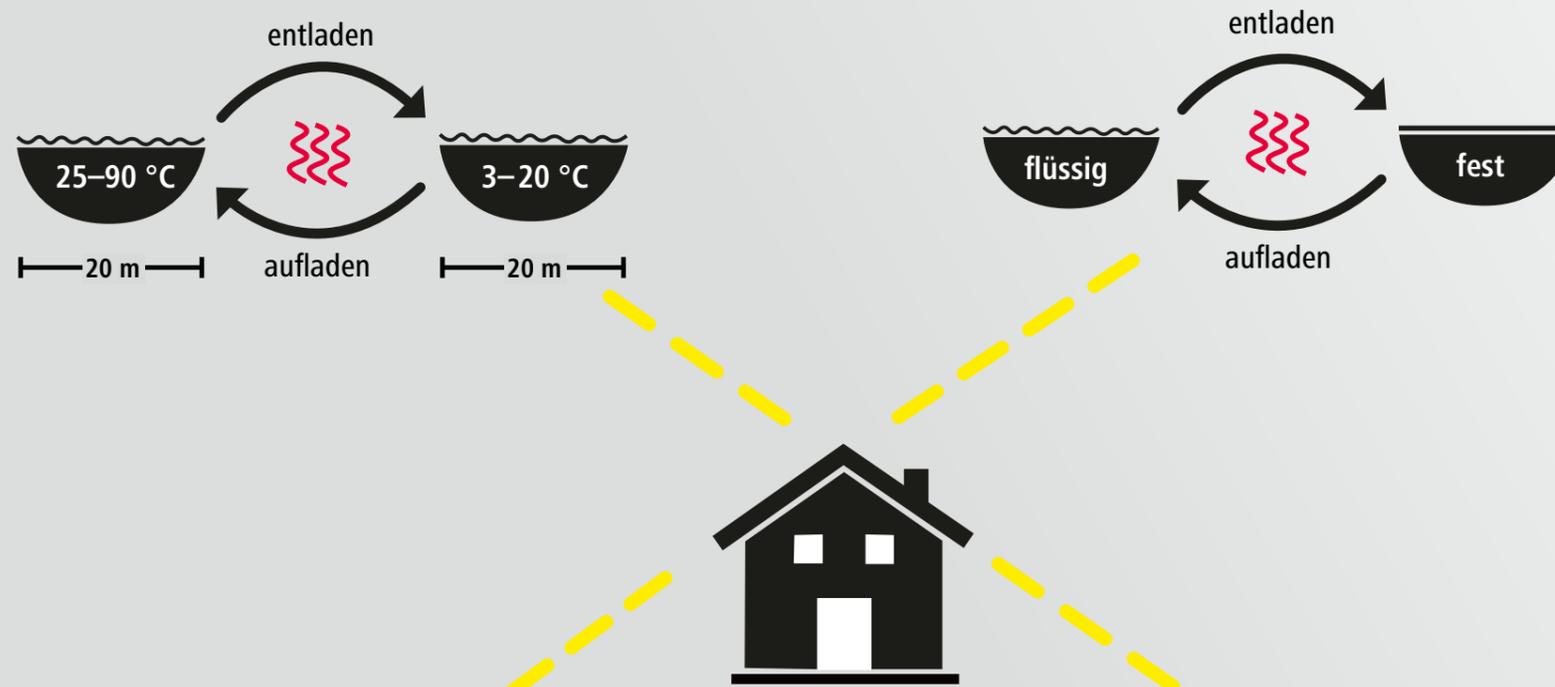
Mitarbeit in politischen Gremien

Um die Energiewende zu verwirklichen, darf die Forschung an Wärmespeichern nicht im Verborgenen stattfinden. Luca Baldini ist daher etwa im «Forum Energiespeicher» der AEE Suisse aktiv, der Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Die AEE Suisse nimmt an Vernehmlassungen teil und organisiert parlamentarische Anlässe. //

Saisonale Energiespeicher. Welche Technik wofür?

Erdbecken-/Erdsondenspeicher
= Speicher für sensible Wärme

Material Wasser oder Wasser-Kies-Gemisch, Erdreich
Vorteil einfache, robuste Technik
Nachteil lohnt nur für Grossspeicher ab ca. 100 Kubikmeter, Wärmeverlust an Umgebung
Funktion Speicher wird mit Überschusswärme aufgeheizt, Wärme wird direkt oder über eine Wärmepumpe genutzt.



Phasenwechselspeicher
= Speicher für latente Wärme

Material Wasser, Salzösung oder Paraffin (flüssig/fest).
Vorteil mehr Speicherkapazität pro Volumen als bei Erdbecken-Erdsonden-Speichern.
Nachteil teureres Speichermedium (Salz, Paraffin). Bei Eisspeichern Wärmepumpe notwendig.
Funktion Speicherung in Form von Kristallisationsenergie: Wasser wird zu Eis, Paraffin wird fest. Beim Verfestigen wird Wärme frei. Beim Verflüssigen wird Energie gespeichert.

Sorptionsspeicher
= thermochemische Speicher

Material Natronlauge, Zeolith oder MOF («metal-organic frameworks»)
Vorteil höhere Energiedichte, verlustfreie Lagerung, auch Kleinspeicher sind möglich
Nachteil teures Speichermedium, komplexere Technik
Funktion Wärme ist im entwässerten Medium gespeichert. Beim Anfeuchten wird Wärme frei. Beim Austrocknen wird Energie gespeichert.

Power-to-Gas-Anlagen
= Elektrolyse mit Überschussstrom

Material Wasserstoff, Erdgas
Vorteil speichert Elektrizität, erzeugt Wärme und Elektrizität zugleich. Verlustfreie Lagerung.
Nachteil hohe Verluste beim Umwandeln von Elektrizität in Wasserstoff oder Erdgas.
Funktion überschüssiger Solar- und Windstrom wird per Elektrolyse in Wasserstoff verwandelt. Aus Wasserstoff kann Erdgas erzeugt werden. Nutzung der gespeicherten Energie mit Brennstoffzellen, Gasturbinen oder Motoren.

Ganz schön verfault

Pilze, die normalerweise Baumstämme zersetzen, können auch Kunstwerke ins Holz zaubern. In der Natur verzieren die Fäulnis-erreger den Baum jedoch nicht nur, sie zerstören ihn auch. Empa-Forscher bringen den Pilzen im Labor nun das Zeichnen bei. Dabei entstehen marmorierte Hölzer, die zu wunderschönen Möbeln und Musikinstrumenten verarbeitet werden können.

TEXT: Andrea Six / BILDER: Jan Thornhill, Empa

Mitunter entdeckt man Schönheit an ganz ungewöhnlichen Orten. Wie Phoenix aus der Asche entsteht beispielsweise aus faulendem Holz am Waldboden die begehrte Trüffelbuche. Einzigartig gemustert, ist sie seit der Antike ein gesuchter Rohstoff für die Möbelherstellung. Nur ist die Suche nach natürlich entstandenen Trüffelbuchen aufwändig. Selbst wer Baumstämme absichtlich im Wald verrotten

lässt, muss Jahre warten, bis er hoffen kann, ein von Pilzen verziertes und dennoch nutzbares Holz zu erhalten. Forscher der Empa haben nun eine Technologie entwickelt, mit der Harthölzer wie Buche, Esche und Ahorn mit Pilzkulturen behandelt werden können, so dass sich die Musterung im Holz kontrollieren, steuern lässt.

Die feinen schwarzen Linien ziehen sich hierbei durch das Holz als Spuren eines

Kampfes. Mal schlängeln sie sich unruhig aufeinander zu und trennen kleine Parzellen auf ihrem hellen Untergrund ab. An anderen Stellen fliessen die dunklen Zeichnungen ruhig und gelassen als Mahnmahl einer Grenze, die keiner der Beteiligten überschreiten mag

Pilze haben hier im Holz ein Gefecht um Territorium und Ressourcen ausgetragen und sich mit dunkel pigmentierten Linien

deutlich voneinander abgegrenzt. Die feinen Fäden der Pilzgemeinschaft schützen mit diesen Demarkationslinien ihre Kolonie aber nicht nur vor anderen Pilzen – die Pigmentgrenze sorgt zudem dafür, dass Bakterien und Insekten fernbleiben und dem Lebensraum ein ideales Mass an Feuchtigkeit erhalten bleibt.

Schwarze Linien aus Melanin

«Wir konnten in der Natur wachsende Pilzarten identifizieren und analysieren, um jene mit den günstigsten Eigenschaften als Holzveredler auszuwählen», sagt Empa-Forscher Hugh Morris von der Abteilung «Applied Wood Materials» in St. Gallen. Der Brandkrustenzug etwa oder die Schmetterlingstramete hinterlassen mit dem Farbstoff Melanin pigmentierte schwarze Linien und bleichen gleichzeitig das umliegende Holz dank ihres Enzyms Laccase aus. «So entsteht ein Muster mit besonders starkem Kontrast im Holz», erklärt Morris.

Je nach Kombination der eingesetzten Pilzspezies, gestalten sich die Linien wild und ungestüm oder nahezu geometrisch

präzis. Morris ist sich sicher, dass den Pilzen beizeiten sogar das Schreiben von Worten im Holz abgerungen werden kann.

Holzstruktur bleibt stabil

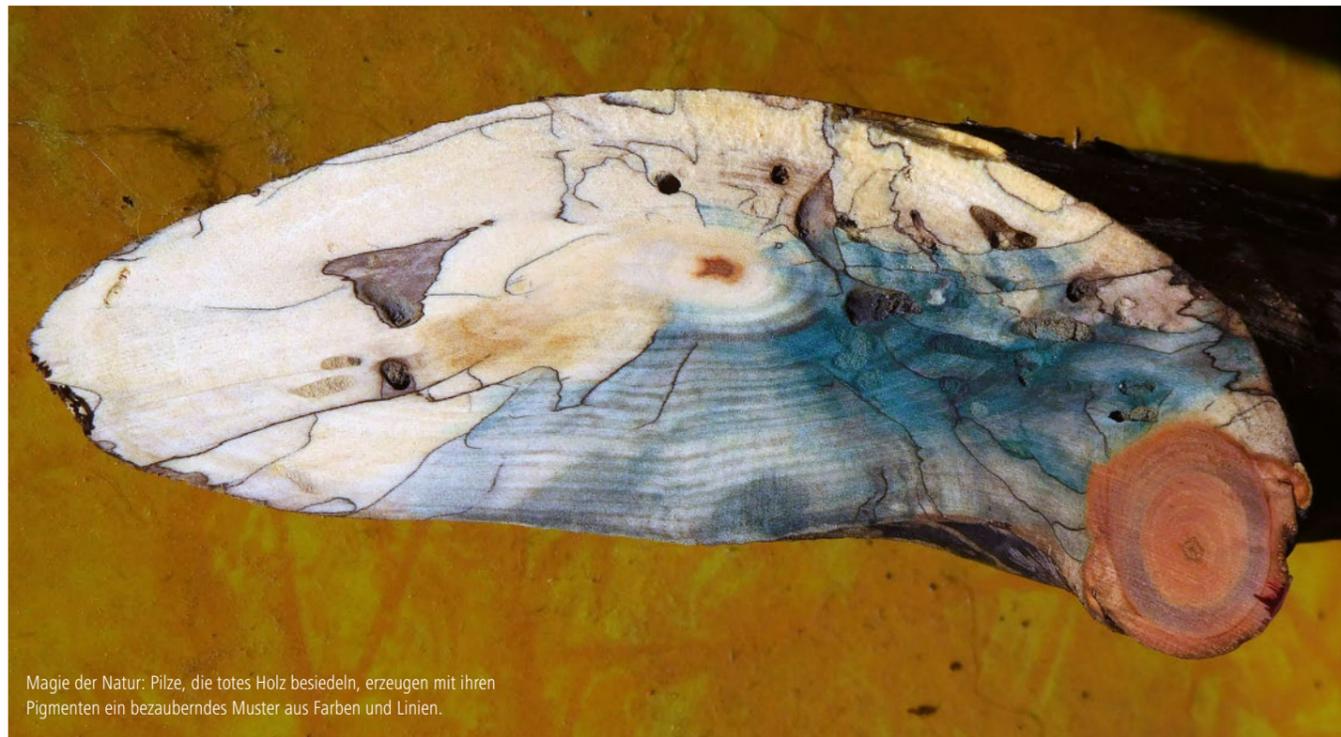
Besonders vorteilhaft an den im Empa-Labor verwendeten Pilzen ist deren sanfter Biss: Denn trotz des ausgeprägten Zeichentalents zernagen die ausgewählten Kandidaten ihren Untergrund kaum. «Das Holz wird zwar von den Pilzen grosszügig mit Pigmenten versorgt, behält aber seine Stabilität und Form bei», so der Biologe.

Dass der Prozess je nach gewünschtem Ergebnis gesteuert werden kann, liegt jedoch nicht nur an der Art der verwendeten Fäulniserreger. Die Forscher entwickelten zudem ein Verfahren, bei dem das Holz bereits innert Wochen zur Verarbeitung bereitsteht. Grund ist unter anderem, dass die gewählten Pilzarten bei deutlich geringerer Feuchtigkeit im Holz zur Tat schreiten. Daher muss der Rohstoff nach seiner Veredlung und vor der Verarbeitung zum Möbel nicht erst langwierig, kosten- und energieintensiv getrocknet werden.

Produkte aus Schweizer Buche

Gemeinsam mit dem Industriepartner Koster Holzwelten AG in Arnegg (SG) sind die Forscher daran, einen effizienten und ökologisch nachhaltigen Produktionsweg zu implementieren. Hierzu gehört die Nutzung regionalen Holzes. «Buchenholz ist ein in der Schweiz häufiges, aber für Möbeldesigner uninteressantes Hartholz», erklärt Firmeninhaber Tobias Koster. Mit Marmorholz aus einheimischer Buche könne man jedoch am Schweizer Holzmarkt, dessen jährlicher Umsatz rund drei Milliarden Franken betrage, gesuchte Produkte anbieten.

Zusätzlich zu Möbeln, Parkettböden und Küchenfronten kann Marmorholz auch für dekorative Objekte und Musikinstrumente verwendet werden. Bereits in der Antike wurden aus dem gemusterten Holz Unikate geschaffen. Mit der neuen Technologie lassen sich diese Einzelstücke nun schneller, nachhaltiger und erst noch mit der gewünschten Marmorierung herstellen. //



Magie der Natur: Pilze, die totes Holz besiedeln, erzeugen mit ihren Pigmenten ein bezauberndes Muster aus Farben und Linien.



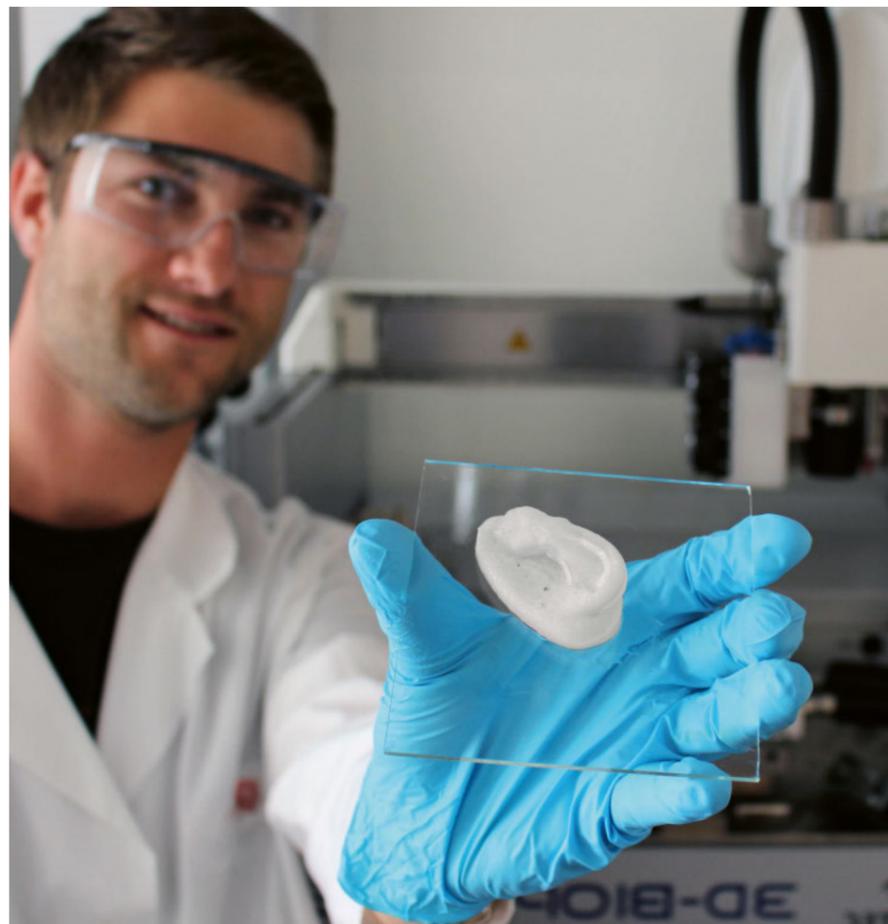
Marmorholz aus dem Labor: Je nach verwendeter Pilzart lässt sich der Verlauf der Muster im Holz steuern.

Das Ohr aus dem 3-D-Drucker

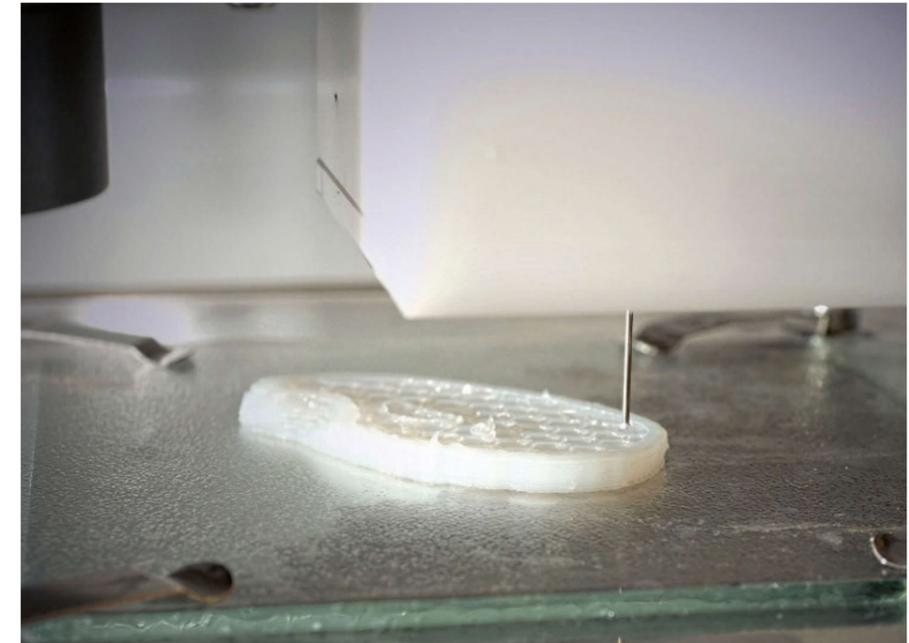
Aus Holz gewonnene Nanocellulose verfügt über erstaunliche Materialeigenschaften. Empa-Forscher bestücken den biologisch abbaubaren Rohstoff nun mit zusätzlichen Fähigkeiten, um Implantate für Knorpelerkrankungen mittels 3-D-Druck fertigen zu können.

TEXT: Andrea Six / BILDER: Empa

Alles beginnt mit einem Ohr. Empa-Forscher Michael Hausmann entfernt das Objekt in Form eines menschlichen Ohrs aus dem 3-D-Drucker und erklärt: «Nanocellulose lässt sich in zähflüssiger Form hervorragend mit dem Bioplotter zu komplexen räumlichen Formen gestalten.» Einmal ausgehärtet, bleibt die produzierte Struktur trotz ihrer Zartheit stabil. Hausmann untersucht derzeit die Charakteristika des Nanocellulose-Hydrogels, um die Stabilität und den Druckprozess weiter zu optimieren. Wie die Zellulose in dem Biopolymerkomposit verteilt und organisiert ist, ermittelte der Forscher bereits durch röntgenanalytische Untersuchungen.



Ohr aus dem 3-D-Drucker: Empa-Forscher Michael Hausmann nutzt Nanocellulose als Basis für neuartige Implantate.



Mit dem Bioplotter lässt sich das zähflüssige Nanocellulose-Hydrogel zu komplexen Formen ausdrucken.

Momentan besteht das ausgedruckte Ohr zwar lediglich aus Nanocellulose und einer zusätzlichen Biopolymerkomponente. Ziel ist es jedoch, das Grundgerüst mit körpereigenen Zellen und Wirkstoffen zu bestücken, um biomedizinische Implantate zu erzeugen. Wie sich beispielsweise Knorpelzellen in das Gerüst integrieren lassen, wird derzeit in einem neuen Projekt erforscht.

Sobald die Besiedlung des Hydrogels mit Zellen etabliert ist, könnten die Nanocellulose-basierten Komposite in Ohrform Kindern mit einer angeborenen Ohrmuschelfehlbildung als Implantat dienen. Bei der so genannten Mikrotie etwa sind die äusseren Ohren nur unvollständig ausgebildet. Mit einer Rekonstruktion der Ohrmuschel wird die Fehlbildung kosmetisch, aber auch medizinisch behoben, da die Hörfähigkeit ansonsten stark eingeschränkt sein kann. Im weiteren Verlauf des Projekts sollen die Nanocellulose enthaltenden Hydrogele auch für Kniegelenksimplantate bei Gelenkverschleiss etwa durch chronische Arthritis eingesetzt werden.

Das Implantat löst sich im Körper auf

Ist das Implantat einmal im Körper eingepflanzt, kann sich ein Teil des Materials biologisch abbauen und mit der Zeit im Körper auflösen. Nanocellulose selbst wird zwar nicht abgebaut, eignet sich aber als biokompatibles Material dennoch gut als Implantat-Gerüst. «Zusätzlich machen die mechanischen Eigenschaften die Nanocellulose zu einem eleganten Kandidaten, da die winzigen, aber stabilen Fasern beispielsweise Zugkräfte sehr gut aufnehmen», so Hausmann.

Zudem erlaubt die Nanocellulose, Funktionen über ganz unterschiedliche chemische Modifizierungen in das zähflüssige Hydrogel einzubinden. So lassen sich Struktur, mechanische Kapazität und die Interaktion der Nanocellulose mit ihrer Umgebung je nach gewünschtem Endprodukt variieren. «Auch Wirkstoffe, die das Wachstum der Knorpelzellen begünstigen oder Gelenkentzündungen lindern, lassen sich in das Hydrogel einbauen», sagt der Empa-Forscher. Nicht zuletzt ist der Rohstoff Cellulose das am häufigsten vorkommende natürliche Polymer auf der Erde. Die Nutzung der kristallinen Nanocellulose profitiert demnach nicht nur von der schlichten Eleganz des Verfahrens, sondern auch von der einfachen Verfügbarkeit des Rohstoffs.

Das weisse Ohr aus Nanocellulose liegt glänzend auf dem Glasträger. Frisch aus dem Bioplotter entnommen, ist es bereits robust und formstabil. Hausmann kann für die künftigen Projektschritte grünes Licht geben. //



Empa-Know-how für die Industrie: Franziska Grüneberger und Willi Senn entwickelten ein neues Bindevverfahren, welches den Isofloc-Dämmstoff deutlich feuerfester macht als bisher. Hier stehen die beiden im Brandlabor, in dem die entscheidenden Versuche stattfanden.

Brandschutz aus Altpapier

Empa-Wissenschaftler haben gemeinsam mit der Isofloc AG einen Dämmstoff aus Altpapier entwickelt, der sich für vorfabrizierte Holzelemente auch in mehrgeschossigen Holzhäusern eignet und die Konstruktion wirksam vor Feuer schützt. Das Bindemittel ist eine für Mensch, Tier und Umwelt unbedenkliche Substanz.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa

Entscheidend ist, was der Altpapier-Faserwürfel nicht macht: zerbröseln. Genau diese Eigenschaft ist wichtig, um tragende Elemente von Holzhäusern lange vor Feuer zu schützen. Genau diese Festigkeit ist jedoch in der industriellen Herstellung von Dämmstoffschichten schwer zu erreichen. «Wir haben es hier nicht mit Dämmstoffmatten zu tun, die von Arbeitern zugeschnitten und ins Bauteil eingepasst werden müssen», erläutert die Forscherin. «Die Altpapier-Fasern werden vielmehr automatisch in einen Hohlraum eingeblasen, bis er ganz gefüllt ist.» Das Einblasen soll aus Kostengründen möglichst leicht und schnell erfolgen, deshalb müssen die Fasern in diesem Moment gut fließen. Sobald sie jedoch im Hohlraum sind, sollen sie formstabil bleiben. So kann die Konstruktion bei Bränden geschützt werden. Am Ende soll die maschinell eingeblasene Dämmung so fest und formatfüllend im Bauteil sitzen wie eine von Menschenhand eingepasste Dämmplatte. Nur so kann sie die Hitze eines Feuers lange genug zurückhalten und einen vorzeitigen Abbrand der Konstruktion verhindern.

Die Aufgabe ist nicht ganz leicht: «Wir haben für die bereits am Markt etablierten Zellulosefasern der Isofloc AG nach einem geradezu magischen Bindemittel suchen müssen – ein Stoff, der möglichst von einer Sekunde auf die nächste wirkt», sagt Grüneberger. Sie schnipst mit den Fingern wie ein Zauberer. Nur das Wort «Simsalabim» fällt in diesem Moment nicht.

Ein Parforceritt durch die Chemie

Das Industrieprojekt gemeinsam mit der Dämmstofffirma Isofloc begann im Frühjahr 2017. Franziska Grüneberger und ihr Kollege Thomas Geiger begannen nach geeigneten Bindemitteln zu suchen – ein Parforceritt durch die Chemie, wie sich schnell zeigen sollte. Denn nur wer sich auf diesem Gelände sicher bewegt, findet die passende Substanz.

Erste Randbedingung: Für den Einsatz im nachhaltigen Holzbau sollte das Bindemittel nachweislich ungiftig sein – ein Stoff, mit dem Menschen dauerhaft und problemlos in Berührung kommen können. In Frage kommen Hilfsstoffe aus der Textil-, Papier-, Kosmetik- und Lebensmittelindustrie – oder Substanzen aus der Natur. Zweite Randbedingung: Das gewünschte Bindemittel soll günstig und in grossen Mengen verfügbar sein.

«Wir stellten gemeinsam mit Willi Senn, dem Entwicklungsingenieur bei Isofloc, eine Reihe von Versuchen an und verbanden die Dämmfasern mit unterschiedlichen Zusatzstoffen», berichtet die Forscherin. Zugleich lief die Suche nach dem geeigneten «Startschuss», der die Fasern von einem Moment zum nächsten verbindet. Erhitzen mit Dampf? Mit Infrarotstrahlung? Über magnetische

Induktion? Schliesslich fand sich aus der grossen Reihe von «Verdächtigen» der gewünschte Stoff – eine Substanz aus der Lebensmittelindustrie. Laborversuche an der Empa und bei der Isofloc AG in Bütschwil zeigten auch im Brandfall eine zuverlässige Verbindung des Zelluloseflockengefüges.

Upscaling und Brandversuch

Doch gelingt das auch im Grossmassstab, in einer Produktionshalle? Ein Upscaling-Versuch brachte den Beweis: Die Flocken wurden in mehrere Test-Holzrahmen eingeblasen, daneben ein identischer Hohlraum mit Flocken ohne den neuartigen Zuschlagstoff, und im herkömmlichen Verfahren eingebracht. Nun ging es ins Brandlabor der VKF ZIP AG. Dort wurde der Holzrahmen eine Stunde lang einer 800 bis 1000 Grad heissen Flamme ausgesetzt. Der Holzrahmen durfte an keiner Stelle durchbrennen, und es durften auch keine glühenden Flocken herausfallen. Die neue Isolierung hielt dem Test stand und schützte die Konstruktion zuverlässig, während die Flocken ohne Zuschlagstoff durch die fehlende Verklebung aus dem Holzrahmen herausfielen.

Die Vorteile erläutert Jon-Anton Schmidt, Leiter Anwendungstechnik bei der Isofloc AG: «Das Dämmmaterial in loser Form einzubringen, ist schon eine enorme Zeitersparnis. Mit dem zusätzlichen Vorteil der Formstabilität und der damit verbundenen Brandschutzwirksamkeit erreichen wir Schutzwirkungen, die mit geklemmten Steinwollmatten vergleichbar sind. Das macht die ohnehin schon ökologische und effiziente Dämmung für die Bauindustrie noch interessanter.»

Neue Generation von industriellen Dämmsystemen

Der finale Entwicklungsschritt geschieht nun beim Industriepartner Isofloc AG. Dort müssen die Maschinentechner und Ingenieure aus dem bestehenden Prototypen eine neue Generation von Einblasmaschinen entwickeln, die die Anforderung an Reproduzierbarkeit und Qualitätskontrolle erfüllen. Die Dosierung des Bindemittels ist dabei wichtig. Sie muss in allen Produktionsschritten in engen Toleranzen eingehalten und überwacht werden können.

In einem Jahr, so schätzt man bei Isofloc, kann die neue Dämmung zusammen mit den passenden Einblasmaschinen auf den Markt kommen. Aus Bergen von Altpapier wird dann ein wertvolles Dämmmaterial, das nicht nur bei der Herstellung und im Einsatz grosse Mengen fossiler Brennstoffe einsparen hilft, sondern industriell als einziger loser Dämmstoff brandschutzwirksam eingesetzt werden kann. //

Architektin der Energie

Interdisziplinär, vernetzt und auf eine nachhaltige Zukunft ausgerichtet: Dies beschreibt Kristina Orehounig ebenso treffend wie die Empa-Forschungsabteilung «Urban Energy Systems», die sie seit Februar 2018 leitet. Sie hat einen ungewöhnlichen Weg zu ihrer heutigen Wissenschaftsdisziplin gewählt – doch gerade das sieht sie als Vorteil in ihrem Forschungsalltag.

TEXT: Karin Weinmann / BILDER: Empa

Die Technik im Fokus: Schon während ihres Architekturstudiums in Wien hat es Kristina Orehounig zu den technischen Aspekten des Bauens hingezogen, vor allem die Bauphysik faszinierte sie. Trotzdem bereut sie es keineswegs, dass ihre Ausbildung nicht ganz gradlinig verlaufen ist, bevor sie in der Simulation von Energiesystemen ihr berufliches Zuhause gefunden hat: «Als Architektin bin ich in gewissen Denkweisen freier. Man lernt, ganzheitlich zu denken und auch auf den ersten Blick vielleicht utopische wirkende Ideen weiterzuverfolgen, um auf Lösungen zu kommen», erklärt sie.

Das grosse Ganze im Blick

Angefangen hat Kristina Orehounig mit der Simulation einzelner Gebäude. «Es wurde mir aber schnell klar, dass es nicht reicht, ein Gebäude isoliert zu betrachten.» Deshalb weitete Sie ihren Fokus auf die Rahmenbedingungen aus. Dazu gehört etwa das Mikroklima, das ein Gebäude umgibt. Von einzelnen Gebäuden ging sie weiter zu Arealen und Quartieren, bis sie schliesslich bei ganzen Städten landete. «Zum Glück liegt mir das vernetzte Denken – mir gefällt die Herausforderung, das grosse Ganze im Blick zu behalten und dennoch an einzelnen zentralen Stellen in die Tiefe der Materie zu tauchen.»

Nach sechs Jahren als Forscherin und Dozentin an der ETH Zürich leitet Orehounig seit Februar 2018 die Forschungsabteilung «Urban Energy Systems» an der Empa. Deren Name ist Programm: Die Abteilung forscht an vernetzten Energiesystemen mit dem Ziel, den Energiebedarf und den CO₂-Ausstoss von Gebäuden und Quartieren massiv zu senken. Dafür arbeiten mehr als 20 Forschende aus unterschiedlichen Diszi-

plinen zusammen: Vertreten sind die Bauingenieurwissenschaften, Maschinenbau, Elektrotechnik, Architektur, Umwelttechnik und das relativ neue Feld «Industrial Ecology», das sich mit Material- und Energieflüssen durch Industriesysteme beschäftigt.

Man spürt bei Orehounig die Begeisterung für Energiethemen – und für Forschung generell. Bleibt neben den Managementaufgaben, die das Leiten einer Forschungsgruppe so mit sich bringt, dafür genug Zeit? «Ehrlich gesagt, zu Beginn befürchtete ich, dass der Managementteil zu gross wird. Aber zum Glück herrscht in der Gruppe ein toller Teamgeist – obwohl wir erst kürzlich mehrere Labs zusammengeführt haben. Jeder hat seinen Bereich, in dem er oder sie Experte ist, und gleichzeitig sind alle Teammitglieder sehr offen. So entstand ein tolles interdisziplinäres Team, das hervorragend zusammenarbeitet.» Dadurch schafft sie es sogar, an der ETH Zürich weiterhin Vorlesungen für das Master-Programm «Integrated Building Systems» zu halten. Dieses hat sie während ihrer Zeit an der ETH mit aufgebaut und koordiniert.

Von der Simulation zur Realität

Energiesysteme von Gebäuden, Quartieren und Städten zu simulieren, klingt auf den ersten Blick etwas abstrakt. Doch wenn man Orehounig zuhört, merkt man schnell, dass die Forschenden sich mit sehr realen – und dringenden – Herausforderungen beschäftigen. Denn der Energiebedarf von Gebäuden macht mehr als 40% des Gesamtenergiebedarfs in der Schweiz aus – und das muss sich laut der Schweizer Energiestrategie 2050 ändern. Und zwar massiv: Das «Swiss Competence Center for Energy Research on Future Energy-Efficient Buildings & Districts» (SCCER FEED&D), das unter der Lei-



«In meiner Arbeitsgruppe herrscht ein toller Teamgeist. Das hilft beim Entdecken.»

Kristina Orehounig leitet seit Februar 2018 die Forschungsabteilung «Urban Energy Systems» an der Empa. Zuvor war sie Forscherin und Dozentin an der ETH Zürich.

tung der Abteilung «Urban Energy Systems» steht, hat sich zum Ziel gesetzt, den ökologischen Fussabdruck von Gebäuden in der Schweiz bis zum Jahr 2035 um den Faktor 3 zu senken.

Dazu arbeitet Orehoungs Team gemeinsam mit Städten und Gemeinden an Energiekonzepten, bei denen die Forschenden mit ihren Simulationen helfen können, konkrete Fragestellungen zu klären. Etwa: Lohnt es sich noch, ein Gasnetz zu betreiben? Wäre ein thermisches Netz nicht sinnvoller? Oder doch eine Kombination von beiden? «Uns erreichen viele Anfragen für solche Projek-



te», erzählt Orehoung. Um alle zu bearbeiten, fehlt aber die Kapazität – auch wenn geplant ist, das Team auf 30 Personen auszubauen.

«Bei der Auswahl der Projekte achten wir darauf, ob es unsere Forschung voranbringt, ob wir auf eine neue spannende Fragestellung treffen. Unser wichtigstes Forschungsziel ist, die von uns entwickelte Simulationsplattform hochzuskalieren: Im Moment simulieren wir hauptsächlich Quartiere, in Zukunft sollen es ganze Städte sein.»

Von der Forschung zur Industrie

Die Plattform soll bald den Sprung von der Forschung in die Industrie schaffen – dafür soll ein neues Start-up entstehen, das es Energieunternehmen und Ingenieurbüros ermöglicht, mit den Modellierungstools der Empa Energiesysteme für ganze Quartiere zu entwerfen und zu optimieren.

Und es geht noch realer. Orehoung: «Der «Energy Hub», kurz ehub, im NEST ermöglicht es, zumindest einen Teil unserer Forschungsarbeit an einem echten Quartier

zu verifizieren – und natürlich auch sichtbar zu machen.» Das sei zudem ein wesentlicher Punkt für ihre Forschungspartner: «Die meisten wünschen sich, ein Projekt unter Einbezug des ehub durchzuführen – und damit zu demonstrieren, was in der realen Welt alles möglich ist.»

Globale Auswirkungen erwünscht

Nach knapp einem Jahr als Abteilungsleiterin hat sich Orehoung inzwischen gut eingelebt – und schmiedet bereits Pläne für die Zukunft: «Neben der Skalierung unserer Modelle ist Big Data ein wichtiges Stichwort.

Wir wollen mehr messen – etwa mit Smart Metern, also intelligenten Stromzählern. Diese Daten und die Simulationen wollen wir zusammenbringen. Ein weiteres Ziel ist es, die Mobilität einzubeziehen, etwa durch move, die Empa-Demonstrationsplattform für nachhaltige Mobilität. Eine Möglichkeit ist beispielsweise, Elektrofahrzeuge als Zwischenspeicher für Solarstrom zu nutzen.»

Lösungen für Entwicklungsländer

Eine Doktorandin arbeitet ausserdem bereits an einem Ziel, das Orehoung besonders am Herzen liegt: Entwicklungsländern eine Zukunft mit erneuerbarer Energie zu ermöglichen. «Mir ist die globale Wirkung unserer Forschung ein wichtiges Anliegen. Gerade in Entwicklungsländern liegt ein grosses Potenzial: Wird der dort rasant steigende Energieverbrauch mit fossiler Energie gedeckt, dann haben wir keine Chance, den Klimawandel aufzuhalten. Hier können unsere Tools helfen, den künftigen Verbrauch vorzusagen und eine langfristige nachhaltige Planung zu realisieren.» //

Auf zum Merkur!

Mit Bepi Colombo ist im Oktober eine weitere Raumsonde der European Space Agency (ESA) gestartet. An Bord ist auch Empa-Technologie. Für den Sensor eines Flugzeitmassenspektrometers hat die Empa Einzelteile in Feinarbeit beschichtet und gelötet. Auch zukünftige ESA-Missionen starten mit Empa-Know-how an Bord.



Die Metall-Keramik-Struktur mit den eingebauten Heizkörpern, die im Flugzeitmassenspektrometer von Bepi Colombo zum Einsatz kommen.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: ESA, Empa

Das Ziel: der Planet Merkur. Die Raumsonde Bepi Colombo, benannt nach Giuseppe (Bepi) Colombo, ist im Oktober 2018 gestartet und tritt die lange Reise zum sonnennächsten Planeten an, um ihn zu kartografieren und die geologische und chemische Zusammensetzung seiner Oberfläche zu bestimmen. Dazu nötig ist unter anderem ein Flugzeitmassenspektrometer, von dem Einzelteile an der Empa entstanden sind.

Hans-Rudolf Elsener von der Abteilung «Joining Technology and Corrosion» hat in einem komplexen Verfahren mit viel Finger-spitzengefühl eine beheizbare Metall-Keramik-Struktur mitentwickelt und gebaut. Die darauf montierten Silizium-Wafer – also kleine Plättchen – wandeln Neutralteilchen in geladene Partikel um. Dank den Empa-Heizern ist diese Umwandlung um ein Vielfaches effizienter als ohne, denn Ablagerungen von organischen Stoffen, verbunden mit der kosmischen Strahlung, würden die beschichteten Plättchen irreversibel schädigen. Das regelmässige Aufheizen sorgt dafür, dass die Messempfindlichkeit des Instruments nicht beeinträchtigt wird.

Wenig Platz im All

Weltraumsonden müssen leicht sein, und der Platz auf ihnen ist beschränkt, daher wird auch bei den kleinsten Teilen Gewicht gespart, wo immer möglich. So auch bei der beheizten Struktur für die europäisch-japanische Weltraummission zum Merkur. Verschrauben und verdrahten gestaltet sich da schwierig und sorgt für Platzverschwendung. Also müssen die Bauteile gelötet werden, was indes weitere Schwierigkeiten mit sich bringt.

Die Heizerstruktur, bestehend aus Titan und Aluminiumoxid-Keramik, hat Elsener mit Gold-Germanium im Vakuumofen gefügt. Dabei musste er darauf achten, die unterschiedlichen Bauteile des Heizers beim Lötprozess nicht zu beschädigen. Keramik ist höchst hitzeempfindlich, das Löten von Materialien mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften führt entsprechend zu hohen mechanischen Spannungen, die Einzelteile beschädigen oder sogar zerstören können. Elsener beschichtet daher in einem ersten Schritt alle Komponenten der Metall-Keramik-Struktur, so dass er dank der Beschichtung bei deutlich tieferen Temperatu-

ren löten kann. Die Komponenten überstehen den Lötvorgang somit unbeschadet: Ein komplexes Zusammenspiel aus fachlichem Know-how und handwerklichem Geschick ist gefragt.

Langjährige Zusammenarbeit

Elsener druckt, beschichtet und lötet die feinen Keramikteile im Auftrag der Universität Bern und greift dabei auf langjährige Erfahrung zurück, denn nach Bepi Colombo folgen weitere Missionen. So hat Elsener unter anderem Keramikheizer für die ESA-Missionen Cheops und Juice fertiggestellt, und sie werden auch bei der kommenden Luna-Mission eingebaut. Die fertigen Keramikheizer sind dann nur 20 x 15 mm gross und 1,3 mm dick, was höchste Präzision erfordert. Sie entstehen in einer eingespielten Kooperation zwischen der Empa sowie der Uni Bern, bei der Elsener auch für die Feinarbeit der Heizer zuständig ist. Bereits bei der erfolgreichen Rosetta-Mission zum Kometen Churyumov-Gerasimenko hat die Uni Bern für die Bauteile der Massenspektrometer auf das Fachwissen der Empa und Elseners handwerkliches Geschick zurückgegriffen. //

Bepi Colombo

Die vierteilige Raumsonde Bepi Colombo startete am 20. Oktober 2018 zum Merkur und soll eine umfassende Beschreibung des Planeten mit Hinweisen auf seine Geschichte liefern. Entstanden ist Bepi Colombo in einer Kooperation zwischen der ESA und der japanischen Raumfahrtbehörde JAXA. Bis zur Ankunft beim Merkur wird die Sonde ein Swing-by-Manöver an der Erde (2020) und zwei Swing-by-Manöver an der Venus (2020/2021) durchführen, worauf dann sechs Swing-by-Manöver am Merkur selbst folgen, ehe Bepi Colombo 2026 in die Umlaufbahn des Planeten einschwenken kann. Enden soll die Mission 2027.

Cheops

Cheops soll Anfang 2019 startbereit sein und die Suche nach potenziell lebensfreundlichen Planeten unterstützen. Dabei misst der Satellit die Helligkeit von Sternen, die jeweils leicht abnimmt, wenn ein Exoplanet vor seinem Mutterstern vorbeizieht. Aus der Helligkeitsabnahme bei einem solchen Transit lässt sich die Grösse des Exoplaneten bestimmen. An der Cheops-Mission sind Institute aus elf europäischen Ländern beteiligt – gebaut wurde der Satellit an der Universität Bern. Die insgesamt fünf Heizer, die bei Cheops zum Einsatz kommen, hat ebenfalls Hans-Rudolf Elsener an der Empa gefertigt.

Juice

Der Start der Jupiter-Mission Juice ist für Juni 2022 geplant. Die Raumsonde soll die Galileischen Monde des Planeten Jupiter erforschen und wird mit einer Ariane-5 Rakete vom Centre Spatial Guyanais starten. Auch bei Juice werden Empa-Heizer zum Einsatz kommen, die das «Particle Environment Package» (PEP) unterstützen – ein Teilchenspektrometer zur Messung von neutralen und geladenen Teilchen im Jupitersystem. Auf dem Weg zum Jupiter wird Juice Swing-by-Manöver an Erde, Venus und Mars durchführen und nach siebeneinhalb Jahren das Ziel erreichen. Dort soll Juice dann dreieinhalb Jahre lang Daten sammeln.

In hohem Bogen über den Nachthimmel von Kourou: Am 20. Oktober 2018 hob die Sonde Bepi Colombo vom Europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana ab. Ziel: der Merkur.

«NEST Aerial Robotics Hub»

Im neu gegründeten «NEST Aerial Robotics Hub» der Empa und des Imperial College London werden autonome Drohnen erforscht. Dank der Kooperation der beiden Partner lassen sich funktionale Materialien in die Robotertechnologie integrieren. So sollen etwa neuartige Drohnen entwickelt werden, die mit «soft materials» ausgestattet sind. Als Fluggelände nutzen die Flugroboter künftig das Forschungs- und Innovationsgebäude NEST in Dübendorf. Eingesetzt werden die autonomen Drohnen zunächst, um den Gebäudeunterhalt einfacher und effizienter zu machen.

Unter der wissenschaftlichen Leitung des Robotikforschers Mirko Kovac werden die Drohnen im «NEST Aerial Robotics Hub» weiter optimiert. Für die Wissenschaftler besonders interessant: Wie bewähren sich die Flugroboter als ständige «Mitbewohner», und wie gestaltet sich ein gemeinsames Ökosystem von Menschen und Robotern?

Empa-Direktor Gian-Luca Bona (links) und Mirko Kovac, wissenschaftlicher Leiter des «NEST Aerial Robotics Hub» mit einer der Drohnen, die künftig das NEST «bewohnen» werden.



Schweiss auf Knopfdruck beseitigen

Das weltweit erste Kleidungsstück mit integrierter elektronisch steuerbarer Membran wurde am 15. November von der Schweizer Sportbekleidungsmarke Kjus präsentiert. Dank der zusammen mit der Empa entwickelten Hydro-bot-Technologie pumpt die Skijacke den Schweiß aktiv nach aussen. Dadurch beseitigt sie das Problem des Auskühlens nach dem Skifahren, das sich sonst durch die in der Innenbekleidung eingeschlossene Feuchtigkeit ergibt. So wird sichergestellt, dass Skifahrer kaum Energie aufwenden müssen, um sich warm zu halten, und ihnen daher mehr Energie für den Sport bleibt. Möglich macht dies die neuartige Hydro-bot-Technologie, bei der zwei Funktionsmembranen in der Rückenzone der Jacke integriert sind, wo man in der Regel am meisten schwitzt. Die Technologie besteht aus drei Schichten: einer Membran aus Milliarden von Poren pro Quadratmeter, die von einem elektrisch leitfähigen Gewebe umgeben ist. Mittels eines kleinen elektrischen Impulses verwandeln sich die Poren in Mikropumpen, die aktiv Feuchtigkeit vom Körper schnell und effizient nach aussen leiten. Die Jacke wird mit dem integrierten Steuergerät oder über die iPhone- & Android-App extrem einfach ein- und ausgeschaltet.



Auszeichnung für die Erforschung von Fahrzeugemissionen

Der diesjährige Swiss Aerosol Award geht an die Empa-Forscherin Maria Muñoz für ihre Untersuchungen des Emissionsverhaltens von Benzindirekteinspritzern (kurz GDI). Die Ergebnisse ihrer Analysen sind alarmierend: Sämtliche untersuchten Fahrzeuge – aus den Baujahren 2001 bis 2016 – stießen genotoxische Abgase aus. Das Krebspotenzial dieser Abgase lag bis zu 17-mal höher als beim untersuchten Dieselfahrzeug. Auf Grund der chemischen Zusammensetzung der Abgase und der hohen Partikel-Emissionen stellen GDI-Benzinmotoren somit ein ähnliches Gesundheitsrisiko dar wie Dieselmotoren ohne Partikelfilter.

Mit Partikelfiltern in GDI-Motoren könnte sich die Gesundheitsgefährdung der Abgase senken lassen. Inzwischen hat der Gesetzgeber reagiert: Neu zugelassene Fahrzeuge mit GDI-Motoren müssen seit dem 1. September 2018 die gleichen Partikelgrenzwerte einhalten wie Dieselmotoren. Ohne Filter ist das praktisch unmöglich. Problematisch bleibt jedoch, dass alle zuvor in Verkehr gesetzten Fahrzeuge ohne Filter weiterhin herumfahren dürfen und eine Nachrüstung nicht vorgesehen ist – obwohl eine Nachrüstung mit Partikelfiltern bei älteren Fahrzeugen deren Emissionsverhalten massiv verbessern würde.



Wasserstoff-Tankstelle zum Ausprobieren

Die Empa macht mobil: Im März 2018 erklärten unsere Experten am Automobilsalon in Genf, warum Wasserstoff sich als Antriebsquelle für zukünftige Autos anbietet. Am Stand der Erdöl-Vereinigung konnten die Besucher eine realistische Wasserstoffbetankung mit Empa-Technologie an einem Hyundai iX35 Fuel Cell ausprobieren. Ab sofort ist unsere simulierte Wasserstofftankstelle auch während des Jahres auf Schweizer Ausstellungen zu sehen und darf ausprobiert werden. Den Auftakt machte im Oktober 2018 die Bau- und Lifestylemesse «Nuova ArteCasa» in Lugano. Weitere Auftritte folgen. Auch beim Autosalon in Genf 2019 wird die Empa gemeinsam mit der Erdöl-Vereinigung Mobilitätskonzepte der Zukunft präsentieren: 7.–17. März, Palexpo Genf, Halle 6, Stand 6239.



EmpaQuarterly

– das Forschungsmagazin



Was läuft in Forschung und Technologie? Welche Rolle spielt die Empa? Wie werden aus Entwicklungen aus dem Labor Innovationen, die sich am Markt behaupten? Empa-Quarterly, unser Magazin für Forschung und Innovation, gibt Antworten – mit Interviews, Portraits und packenden Reportagen aus unseren Labors. Ein informativer und kurzweiliger Streifzug durch die Welt der Materialwissenschaften.

Abonnieren Sie das Heft kostenlos hier:

www.empaquarterly.ch

Veranstaltungen

30. Januar 2019

Kurs: Die Welt der Stähle

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/staehle

Empa, Dübendorf

01. März 2019

Kurs: Tribologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/tribologie

Empa, Dübendorf

23. Mai 2019

Topical Day: High-Perf. Multiscale Modeling

Zielpublikum: Wissenschaft

www.empa-akademie.ch/multiscale

Empa, Dübendorf

24. Mai 2019

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/korrosion

Empa, Dübendorf

26. Juni 2019

Kurs: Kriterien zur Wahl eines Elektromotors

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/elektromotor

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

EV|UP ERDÖL-VEREINIGUNG
UNION PÉTROLIÈRE



Quade & Zurfluh

Entdecken Sie, wie wir morgen tanken:
an der Geneva International Motor Show, vom 7. – 17. März 2019
Halle 6, Stand 6239

In Kooperation mit



immer-in-bewegung.ch



@EmpaMaterialScience



Empa_CH



EmpaChannel



Empa



empa_materials_science