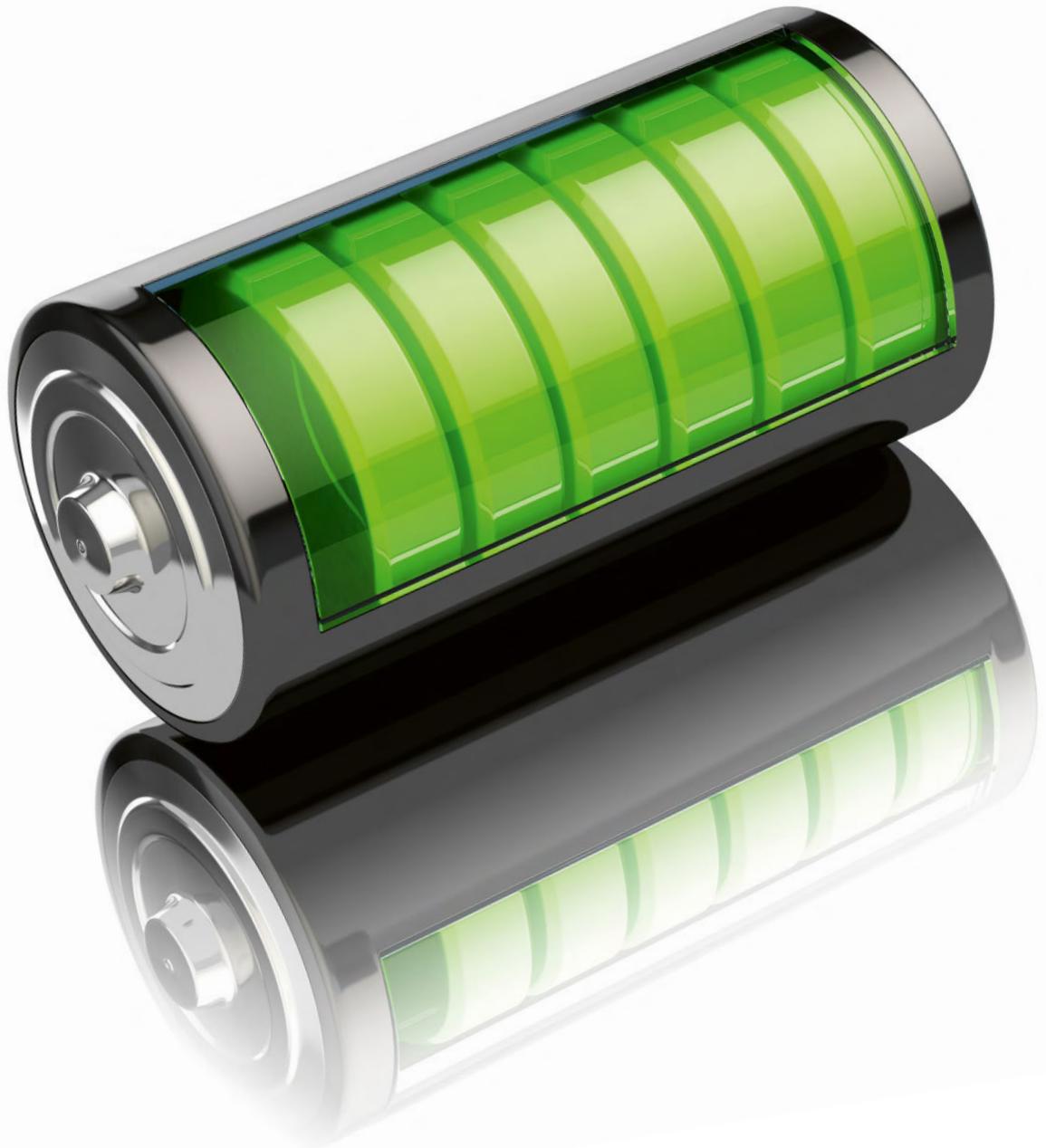


Empa Quarterly

Forschung & Innovation #58 | Oktober 17



Batterien der Zukunft

Wellnesscenter
mit Solarenergie

Wenn der Roboter
Häuser baut

Künstliches Ebenholz
aus der Schweiz



Empa

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

Alles auf Strom

Liebe Leserin, lieber Leser

Elektrizität ist DIE Gemeinschaftsenergieversorgung der Zukunft. Schon heute sind unsere zahlreichen elektronischen Helferlein und Gadgets – und damit viele von uns – hilflos ohne vollen Akku. Die zunehmende Elektrifizierung unseres Lebens, etwa in der Mobilität, auf der einen, der Ausbau von alternativen Energieformen wie Windkraft und Solarenergie, die beide unmittelbar elektrische Energie liefern, auf der anderen Seite werden unsere Stromabhängigkeit künftig noch verstärken.

Und das ist auch gut so. Denn Strom ist extrem vielseitig in der Anwendung, er kann in viele andere Energieformen umgewandelt werden. Strom ist also ein ganz zentrales Element unseres künftigen Energiesystems, das nachhaltiger und wesentlich flexibler sein muss als das heutige, auf Erdöl, Kohle und Uran basierende.

Es gibt allerdings einen Nachteil: Strom lässt sich – im Gegensatz zu Benzin und Erdgas – nur mässig gut speichern, vor allem über längere Zeit. Wie wir alle wissen, ist jeder Akku einmal leer, selbst wenn wir das Tablet ewig nicht benutzt haben. Neue, effizientere und langlebigere Stromspeicher müssen also her. Etwa um den solaren Sommerstrom fürs Winterhalbjahr zu konservieren. Daran arbeitet die Empa mit Hochdruck, wie der aktuelle Fokus (ab S. 10) eindrücklich zeigt.

Bei all der Stromeuphorie gilt es indes zu bedenken, dass man einem aus der Steckdose fließenden Elektron blöderweise nicht ansieht, wie es «entstanden» ist. Es gibt viele Arten, Strom zu erzeugen – nachhaltigere und weniger schlaue. Will man wirklich etwas für die Umwelt tun, reicht es nicht, «nur» auf Strom umzusteigen; es sollte dann schon der «richtige» Strom sein.

Eine spannende Lektüre und bis zum nächsten Heft!

10



12



22



26

Titelbild

Lithium-Ionen-Akkus sind brennbar, und der Preis für den Rohstoff steigt. Gibt es Alternativen? Ja: Empa-Forscher haben vielversprechende Ansätze entdeckt, wie man Batterien aus Meersalz oder Schrott-Metallen herstellen oder mit Hilfe von unbrennbaren Feststoffen feuersicher machen könnte. Seite 10–22. Bild: iStockphoto.

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.)



Im Fokus

Batterien der Zukunft

- 10 Strom aus der Konserve
Alle wollen Batteriestrom. Wie bekommen wir ihn in der Zukunft?
- 12 Die drei ??? der Batterieforschung
Warum es nicht eine Batterie für alle Zwecke geben kann
- 14 Kristalline Kraft
Leistungsstarke, unbrennbare Akkus aus neuartigen Feststoffen
- 16 Centerfold: Batterieforschung – wohin führt der Weg?
Gegenwärtige und künftige Batterietypen, ihre Vor- und Nachteile
- 18 Meersalz statt knappe Rohstoffe
Weg vom Lithium: Akkus aus Zutaten, die es überall reichlich gibt
- 20 Robuste Batterien aus Schrott
Low-Cost-Solarstromspeicher aus Aluminium und Abfall-Graphit
- 22 Ein Marktplatz für Energie
Wie solare Stromversorgung im Quartier optimal geregelt wird

- 04 Effizienter schwitzen
Eine energieeffiziente Wellness-Oase, wie es sie noch nie gab
- 06 Drucken statt mauern
«DFAB HOUSE»: Wände vom Roboter, Decken aus dem 3-D-Drucker
- 24 ...schwarz wie Ebenholz
Modifizierter Schweizer Bergahorn kann Tropenhölzer ersetzen
- 26 Klare Vorstellungen
Tanja Zimmermann leitet neu das Departement «Functional Materials»
- 29 «Olympia-Gold» für Jungforscher
Empa-Praktikant gewinnt die «GENIUS Olympiad» in New York

Effizienter schwitzen

Fitness und Wellness stehen für ein wachsendes Bedürfnis unserer Gesellschaft, das meist auf Kosten der Umwelt geht und grosse Energiemengen verschlingt. Im NEST, dem Forschungs- und Innovationsgebäude von Empa und Eawag, ging am 24. August als Weltneuheit eine Fitness- und Wellness-Anlage in Betrieb, die komplett mit Sonnenenergie und dem sportlichen Beitrag der Nutzer betrieben wird.



1
Die finnische Sauna, das Dampfbad und die Bio-Sauna bieten jeweils 4–5 Personen Platz. Die Abwärme aus der finnischen Sauna wird mit Hilfe einer neuartigen CO₂-Wärmepumpe recycelt und in den anderen Saunazellen wiederverwendet. So entsteht eine Energie-Kaskade von Heiss zu Kalt.

2
Die Nordseite des zweistöckigen Sauna-Moduls ist vierfach verglast. Die Wärmedämmung ist ebenso gut wie bei einer festen Wand, doch das einfallende, indirekte Licht bringt einen Wärmegewinn für den Raum.

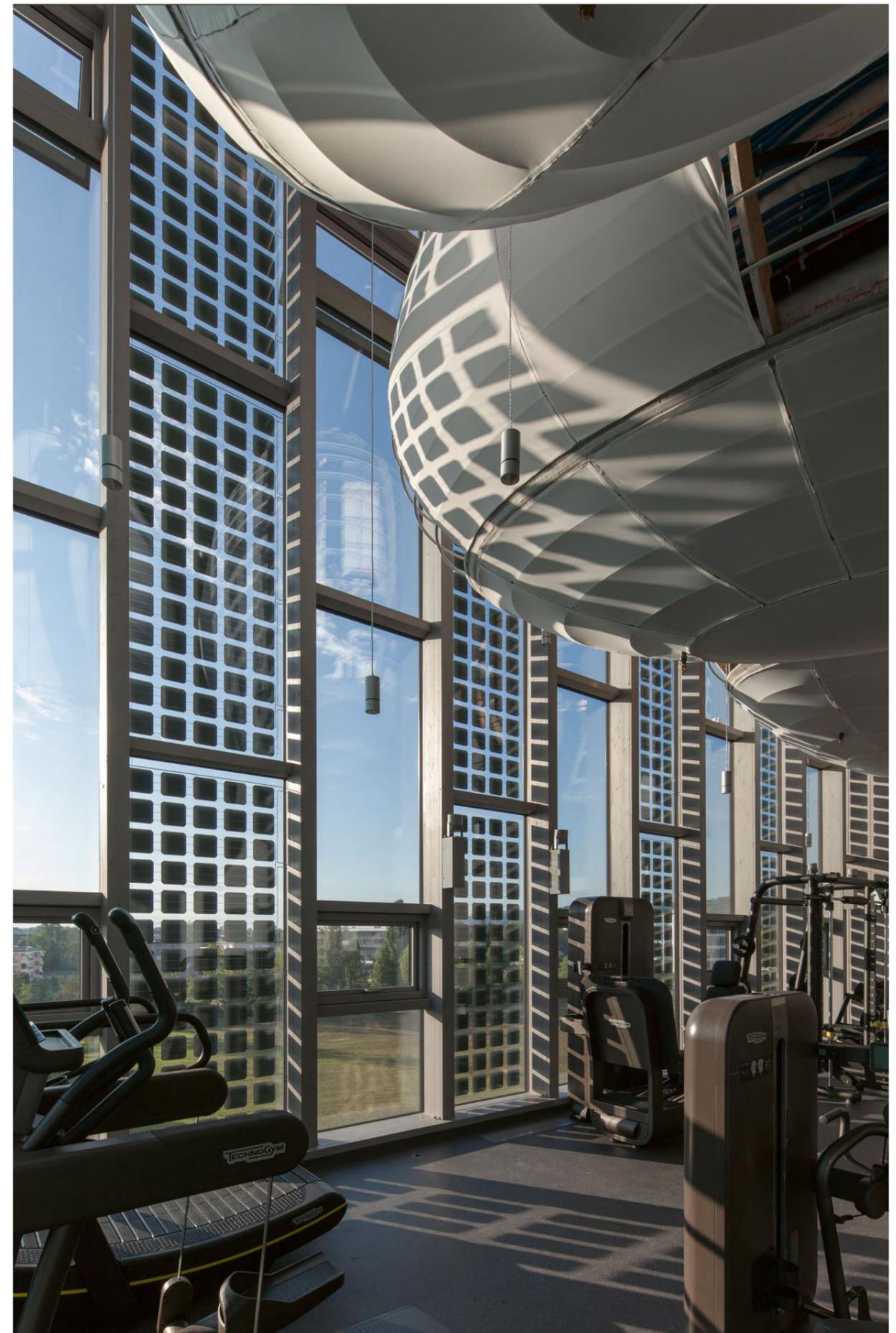
TEXT: Stephan Kälin / BILDER: Empa

Den Energieverbrauch von Wellness-Anlagen massiv senken und die verbleibende Energie selber produzieren: Das ist das Konzept der Unit «Solare Fitness & Wellness». Sie ist Teil von NEST, der modularen Plattform für Forschung und Innovation auf dem Campus der Empa in Dübendorf, und thront auf der obersten Plattform des Gebäudes. Zwei rund acht Meter hohe Glasfassaden sind der Blickfang von aussen. Der Entwurf des Architekten Peter Dransfeld ist aber auch im Innern spektakulär: In dem durchgängig offenen Raum schweben drei Ellipsoide von der Decke; sie beherbergen zwei Saunas und ein Dampfbad. Unter den Wellness-Modulen laden Fitness-Geräte zum Trainieren ein. Schon bald werden sie von den Mitarbeitenden der beiden Forschungsinstitute Empa und Eawag genutzt.

Im NEST arbeiten Forschung, Wirtschaft und öffentliche Hand zusammen, um neue Technologien, Materialien und Systeme im Bau- und Energiebereich unter realen Bedingungen testen zu können. NEST ist als

«Living Lab» konzipiert – mit tatsächlich genutzten Wohnungen und Büroräumen, die gleichzeitig Versuchsumgebungen für Neues sind. Auch im Fall «Solare Fitness & Wellness» ist deshalb die Wellness-Nutzung Mittel zum Zweck: «Unser Ziel ist es, ein energieintensives Bedürfnis wie Wellness komplett mit erneuerbarer Energie abdecken zu können», erklärt Peter Richner, stv. Direktor der Empa und strategischer Verantwortlicher von NEST.

Erst der Praxistest wird zeigen, ob die gesteckten Energieziele erreicht werden können. Und die Ziele sind ambitioniert: «Wir wollen die Anlage mit einem Sechstel der Energie betreiben, die sie bei herkömmlichem Betrieb bräuchte», sagt Mark Zimmermann, Innovation Manager NEST. Konkret: Die 120 000 kWh Strom, die die finnische Sauna, die Bio-Sauna und das Dampfbad normalerweise jährlich verschlingen würden, sollen auf rund 20 000 kWh sinken. Die Basis für diese massive Reduktion legt eine Hochtemperatur-CO₂-Wärmepumpe, die Temperaturen von bis zu 130 °C erzeu-





1

gen kann. Für einen effizienten Betrieb muss die erzeugte Wärme über einen möglichst grossen Temperaturbereich genutzt werden. Dazu ist der jeweilige Bedarf der unterschiedlichen Wellness-Module als Kaskade aufeinander abgestimmt. Die Wärme wird in einem grossen Tank geschichtet gespeichert und für die einzelnen Nutzungen bereitgestellt: 120 °C für die finnische Sauna, 90 °C für den Dampferzeuger im Dampfbad, 70 °C für die Biosauna und schliesslich 50 °C bzw. 30 °C für die Duschen und die Heizung. Das zugrunde liegende Energiekonzept haben Forschende der Empa zusammen mit der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs NTB und der Hochschule Luzern erarbeitet.

Wärme nutzen, Verluste vermeiden

Durch die Wärmeerzeugung mit der CO₂-Wärmepumpe wird der Stromverbrauch bereits um rund zwei Drittel reduziert. Mit zusätzlicher Rückgewinnung von Wärme und Feuchte aus Sauna und Dampfbad lassen sich zudem die Lüftungsverluste mindestens halbieren. «Dazu kommt ein Steuerungssystem, das auf die konkreten Buchungen der Wellness-Module reagiert und sie nur dann aufheizt, wenn es nötig ist», erklärt Zimmermann. Eine verbesserte Wärmedämmung sorgt für minimale Transmissionswärmeverluste.

Um auch die Nordfassade optimal zu nutzen, wird eine acht Meter hohe Vierfach-Verglasung der Firma Glas Troesch eingesetzt. Mit einem Isolationswert U von 0,3 W/(m²·K) erreicht diese Fassade im Winterhalbjahr bei gleichzeitig hohem Komfort und Tageslichtanteil eine günstigere Wärmebilanz als eine fünfmal dickere hochisolierte Wand.

An der Fassade sowie auf dem Dach sorgen drei Fotovoltaikanlagen dafür, dass die verbleibenden rund 20 000 kWh Strom im Jahresdurchschnitt solar erzeugt werden. Die eingesetzten bifacialen Glas-Glas-Module der Firma Meyer Burger wandeln das Sonnenlicht dabei sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite in elektrische Energie um – reflektiert vom Material des Dachs bzw. der weissen Fassadenverkleidung. Ergänzt werden die Fotovoltaikanlagen durch eine thermische Solaranlage für das Warmwasser. Zu guter Letzt tragen die Fitness-Benutzer zur Energieproduktion bei: mit Fitness-Geräten, die Strom generieren. So lässt es sich nach dem schweisstreibenden Training guten Gewissens in der Sauna entspannen. //



2

1 Die Unit «Solare Fitness & Wellness» steht auf der Nordostseite des NEST am Empa-Campus in Dübendorf.

2 Der Entwurf für die Unit stammt vom Architekten Peter Dransfeld. Spektakulär hängen die drei Sauna-Module von der Decke. Die Abwärme der Sauna-Module bleibt auf diese Weise im Raum.

3 Empa-Direktionsmitglied Peter Richner (mit Mikrofon) und Empa-Direktor Gian-Luca Bona (am Aufguss) bei der Einweihung der neuen NEST-Unit am 24. August 2017.



3

Drucken statt mauern

Das «DFAB HOUSE» ist ein einzigartiges Architekturprojekt, das nicht nur digital entworfen und geplant wurde, sondern auch digital gebaut werden wird. Zum Einsatz kommen sowohl Roboter als auch grossformatige 3-D-Drucker.

TEXT: Stephan Kälin / BILDER: ETH Zürich

Ein Lichtblitz, ein Zischen – gefolgt vom Applaus für den robotischen Protagonisten: Am 2. Mai 2017 hat der Bauroboter «In situ Fabricator» in einem symbolischen Akt die erste Schweissnaht für die Unit «DFAB HOUSE» gesetzt. Roboter, die Mauern bauen, und 3-D-Drucker, die ganze Schalungen für Geschossdecken drucken – die digitale Fabrikation in der Architektur hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunktes (NFS) Digitale Fabrikation haben sich Architektinnen, Robotiker, Materialwissenschaftlerinnen, Statiker und Nachhaltigkeitsexpertinnen der ETH Zürich mit Wirtschaftspartnern zusammengetan, um gleich mehrere neuartige, digitale Bautechnologien vom Labor in die Praxis überzuführen. Gebaut wird auf dem modularen Forschungs- und Innovationsgebäude NEST, welches die Empa und Eawag auf ihrem Campus in Dübendorf errichtet haben. Hier können Forschende neue Bau- und Energietechnologien unter realen Bedingungen testen. NEST bietet eine zentrale Support-Struktur mit drei offenen Plattformen, an die einzelne Bauprojekte – so genannte Innovationsunits – andocken können.

Digital entworfen, geplant und gebaut

Das «DFAB HOUSE» ist insofern speziell, als es nicht nur digital entworfen und geplant, sondern auch weitgehend in digitalen Prozessen gebaut wird. Mit diesem Pilotprojekt wollen die ETH-Professoren herausfinden, inwiefern digitale Technologien das Bauen nachhaltiger und effizienter machen und das gestalterische Potenzial erhöhen können. Die einzelnen Bauteile wurden auf Basis des Entwurfes digital aufeinander abgestimmt und werden nun direkt aus diesen Daten fabriziert. Eine konventionelle Ausführungsplanung entfällt. Ab Sommer 2018 soll das dreistöckige Gebäude mit einer Nutzfläche von 200 Quadratmetern Gastforschenden der Empa und Eawag sowie Partnern von NEST als Wohn- und Arbeitsort dienen.

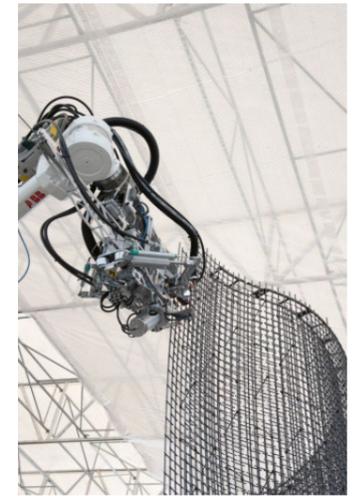
Vier neue Bauverfahren im Praxistest

Gleich vier verschiedene Bauverfahren werden im Rahmen des «DFAB HOUSE» erstmals von der Forschung in die gebaute architektonische Anwendung überführt. Die Bauarbeiten starteten mit der so genannten «Mesh Mould»-Technologie, die Ende 2016 mit dem Swiss Technology Award ausgezeichnet wurde. Die von einem interdisziplinären Team entwickelte Bauweise könnte das Bauen mit Beton künftig grundlegend verändern. Eine zentrale Rolle kommt dabei dem zwei Meter grossen Bauroboter «In situ Fabricator» zu, der sich auf Raupen selbst in einer ständig ändernden Umgebung autonom bewegen kann. Ein von ihm fabriziertes Stahldrahtgitter dient sowohl als Schalung als auch als Bewehrung für

den Beton. Dank der engmaschigen Struktur des Stahldrahtgitters und der speziellen Betonmischung bleibt der Beton innerhalb des Gitters und fliesst nicht heraus.

So resultiert eine doppelt gekrümmte, tragende Wand, welche die Architektur des offenen Wohn- und Arbeitsbereiches im Basisgeschoss prägen wird. Auf ihr wird ein so genannter «Smart Slab» zu liegen kommen – eine statisch optimierte und funktional integrierte Geschossdecke, für deren Schalung Forschende grossformatigen 3-D-Sanddruck nutzen.

Für die Fassade des Basisgeschosses kommt die Technologie «Smart Dynamic Casting» zum Einsatz. Das automatisierte, robotische Gleitschalungsverfahren kann massgeschneiderte Fassadenpfosten aus Beton fabrizieren. Die beiden oberen Stockwerke mit Einzelzimmern werden im Robotic Fabrication Laboratory der ETH Zürich mittels «Spatial Timber Assemblies» als räumlich von kooperierenden Robotern zusammengefügt Holzbau vorfabriziert. //



Der Roboter verschweisst die Armierung für die doppelt gekrümmte, tragende Wand der Unit. Die Armierung ist zugleich die Betonschalung: Ein Spezialbeton wird später hineingegossen, der durch das Gitter nur wenige Millimeter weit herausicksert und es schliesslich komplett umhüllt.



Die zweistöckige Unit «DFAB HOUSE» wird gegenwärtig auf der Nordwest-Seite des NEST errichtet, in Nachbarschaft zur Unit «Solare Fitness & Wellness». Die Zwischendecke entsteht im 3-D-Druck-Verfahren aus Sand.

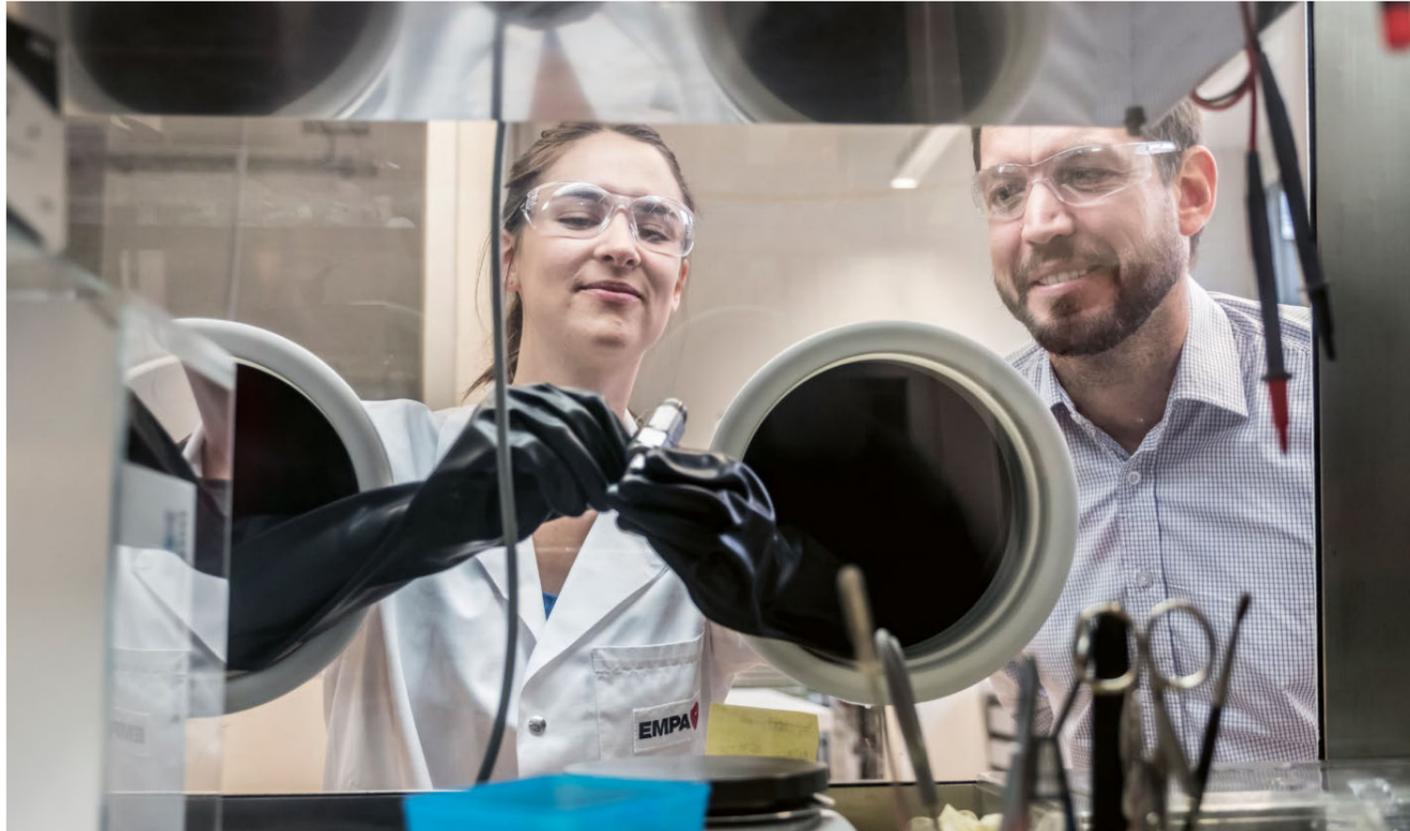


Strom aus der Konserve

Vom Handy übers Elektroauto bis zu Speicherbatterien für Wohnblocks: Lithium-Ionen-Akkus haben die Welt erobert – und den Bedarf an ständig und allorts verfügbarer Elektrizität angefacht. Das bringt zwei Probleme mit sich: Zum einen sind Hochleistungsakkus brennbar und müssen beim Laden und Entladen überwacht werden, damit nichts passiert. Zum anderen kommen Lithium-Ionen-Akkus heute mehrheitlich aus China. Der Lebensstil immer grösserer Teile der Welt hängt also von einer Lieferregion ab – ähnlich wie vor der Ölkrise der 70er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts. Dass die bewährte Lithium-Ionen-Batterie durch andere Techniken ergänzt werden sollte und dereinst ersetzt werden muss, liegt also auf der Hand. An der Empa beschäftigen sich gleich mehrere Forschungsteams mit der Batterie der Zukunft.

Die drei ??? der Batterieforschung

Batterieforschung ist ein weites Feld. Daher ist es wichtig, das Forschungsziel möglichst genau zu definieren. Corsin Battaglia erläutert, wohin die Reise geht.



Hier entsteht der Prototyp einer neuen Batterie: Marie-Claude Bay und Corsin Battaglia arbeiten in einer so genannten Glove-Box, denn die Komponenten der Batterie müssen vor Sauerstoff geschützt bleiben.

TEXT: Rainer Klose / BILD: Empa

Batterieforschung ist zurzeit hip. Für die Batterieforscher der Empa heisst es also, sich in einem starken internationalen Wettbewerb zu behaupten. Wichtig ist daher, im Voraus genau zu definieren, in welche Richtung die Forschung führen soll. Denn Batterien müssen, abhängig von der gewünschten Anwendung – ob als Solar-energiespeicher für eine Berghütte oder als Antriebsakku für einen Sportwagen – ganz unterschiedliche Kriterien erfüllen.

Schnelles und sicheres Laden

Um Elektroautos mit grösserer Reichweite zu bauen, sind Batterien mit höherer Ladungsdichte notwendig. Zugleich müssen sie grosse Ladeströme aushalten, um etwa an Autobahnraststätten schnell wieder aufgeladen werden zu können. Doch schnelles Laden birgt Risiken, vor allem bei tiefen Temperaturen: Im Akku können baumförmige Gebilde aus metallischem Lithium wachsen – so genannte Dendriten. Diese elektrisch leitenden, metallischen Ablagerungen führen zu einem Kurzschluss in der Zelle, schlimmstenfalls zum Brand. Moderne Schnellladesysteme prüfen daher die Temperatur des Akkus, bevor der Ladestrom fliesst.

Batterieforscher suchen nach leistungssteigernden Ingredienzien für Akkus, ohne die Sicherheit zu kompromittieren.

Die Crux mit seltenen Rohstoffen

Der grosse Erfolg der Lithium-Ionen-Akkus hat auch dazu geführt, dass die Nachfrage nach Rohmaterialien, die zum Bau der Batterien nötig sind, in den letzten Jahren stark gestiegen ist, sodass beispielsweise Kobalt und Graphit von der Europäischen Kommission vor einigen Jahren als kritische Rohmaterialien eingestuft wurden.

Leider ist Kobalt nicht leicht zu ersetzen, da es hohe Ladungsdichten (also viel Energie auf wenig Raum) sowie eine hohe Ladungszyklenstabilität des Akkus (also viele Lade- und Entladevorgänge) ermöglicht. Batterien für Elektroautos sind den Batterien von Tablets und Smartphones sehr ähnlich, weshalb die Nachfrage nach Kobalt und Graphit in den nächsten Jahren weiter zunehmen dürfte.

Weltweit läuft die Suche nach Ersatzmaterialien, die kostengünstig und gut verfügbar sind und keine technischen Nachteile mit sich bringen. Unter anderem war die Empa an der Entwicklung einer auf Vanadium basierenden Batterie beteiligt, deren Kommerzialisierung derzeit die Swatch-Tochterfirma Belenos vorantreibt.

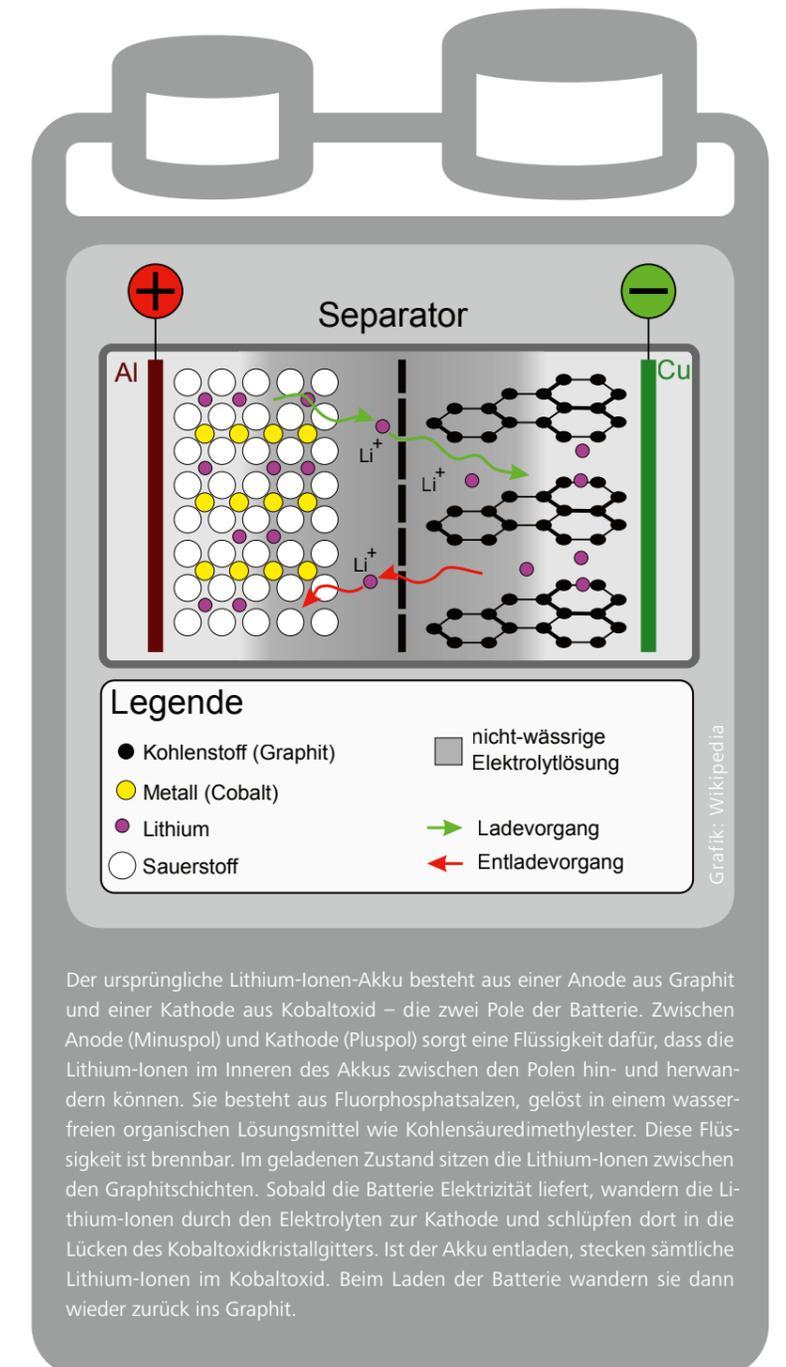
Der Preis ist entscheidend

Immer mehr Solar- und Windstrom sollte lokal gespeichert werden, um die Stromnetze weniger stark zu belasten. Bei diesen «Grossbatterien» ist eine geringe Ladezeit und eine hohe Leistungsdichte weniger wichtig – denn im Keller eines Hauses darf die Batterie mehr wiegen und mehr Platz einnehmen als im Smartphone oder im Unterboden eines Autos. Dafür sind der Preis und die Betriebskosten während der gesamten Lebenszeit des Systems entscheidend, denn der Akku muss gegen andere Energiespeicher konkurrieren.

Neben Untersuchungen mit dem Ziel, das Verhalten heutiger Lithium-Ionen-Batterien besser zu verstehen und sie dadurch zu verbessern, konzentriert sich die Forschung an der Empa darauf, komplett neue Konzepte für Batterien zu entwickeln und deren Potenzial zu erkunden. Ein langwieriger Prozess, wie Corsin Battaglia, Leiter der Empa-Abteilung «Materials for Energy Conversion», betont: «Wenn ein neues Batteriesystem sich im Labor bewährt hat, ist es noch lange nicht geschafft. Oft vergehen Jahre, bis ein marktreifes Produkt oder Konzept vorliegt. Unsere Aufgabe ist es, diesen Prozess zu beschleunigen.» //

So funktioniert ein Lithium-Ionen Akku

Der Lithium-Ionen-Akku prägt unsere Gegenwart. Für Smartphones, Spielwaren, Küchengeräte und Hobby-Werkzeuge liefert er ausreichend Energie. Doch für Elektroautos, Boote oder gar Flugzeuge dürfte es gern etwas mehr sein. Wie funktioniert der allgegenwärtige Akku überhaupt?



Der ursprüngliche Lithium-Ionen-Akku besteht aus einer Anode aus Graphit und einer Kathode aus Kobaltoxid – die zwei Pole der Batterie. Zwischen Anode (Minuspol) und Kathode (Pluspol) sorgt eine Flüssigkeit dafür, dass die Lithium-Ionen im Inneren des Akkus zwischen den Polen hin- und herwandern können. Sie besteht aus Fluorophosphatsalzen, gelöst in einem wasserfreien organischen Lösungsmittel wie Kohlendäuredimethylester. Diese Flüssigkeit ist brennbar. Im geladenen Zustand sitzen die Lithium-Ionen zwischen den Graphitschichten. Sobald die Batterie Elektrizität liefert, wandern die Lithium-Ionen durch den Elektrolyten zur Kathode und schlüpfen dort in die Lücken des Kobaltoxidkristallgitters. Ist der Akku entladen, stecken sämtliche Lithium-Ionen im Kobaltoxid. Beim Laden der Batterie wandern sie dann wieder zurück ins Graphit.

Kristalline Kraft

Der Elektrolyt einer Batterie steckt zwischen Anode und Kathode. Durch diese Schicht wandern die Ionen, wenn die Batterie geladen oder entladen wird. Schaffen wir es, leistungsfähige Elektrolyte aus Feststoffen herzustellen? Solche, die weder brennen noch auslaufen können?

Unentflammbar und auslaufsicher: Borhydride als Ionenleiter

Arndt Remhof, Gruppenleiter in der Abteilung von Corsin Battaglia, nutzt Amid-Borhydrid-Kristalle auf der Suche nach viel versprechenden Festkörperelektrolyten. Remhof hat langjährige Erfahrung mit dieser Materialklasse: Er hat sie bereits als Wasserstoffspeicher unter die Lupe genommen. Nun steht die Ionenleitfähigkeit dieser Festkörper im Fokus seiner Arbeit.

In diesem Jahr konnte er mit seinem Team bereits viel versprechende Ergebnisse veröffentlichen: Die Leitfähigkeit des an der Empa entwickelten Festkörperelektrolyten aus Amid-Borhydrid ist bei Raumtemperatur vergleichbar mit einem Flüssigelektrolyten. Auch ist der neuartige Festkörperelektrolyt selbst bei Temperaturen von bis zu 150 Grad Celsius noch stabil – herkömmliche Flüssigelektrolyten wären bei derart hohen Temperaturen ein Sicherheitsrisiko.

Noch steckt das Projekt in den Kinderschuhen und hat mit einigen Schwierigkeiten zu kämpfen. So hält das Amid-Borhydrid bislang erst eine Spannung von gut einem Volt stand. Das ist zu wenig für eine marktaugliche Batterie. Um dieses Problem anzugehen, sind die Forschenden zurzeit dabei, alternative Borverbindungen zu entwickeln und zu untersuchen – und haben damit auch bereits eine Spannung von immerhin drei Volt erzielt. «Der erste Schritt, um in Zukunft die flüssigen Lithium-Ionen-Batterien durch Festkörper-Akkus ersetzen zu können», erklärt Empa-Forscher Léo Duchêne, der die ersten 3-Volt-Prototypen entwickelt hat.

Stark und ungefährlich: Lithium-Metallanode und fester Elektrolyt

In eine Batterie gehört einfach überhaupt keine brennbare Flüssigkeit, meint Stephan Bücheler. «Die Batterie, an der wir forschen, soll während des Betriebs und selbst bei einem Ausfall keinerlei gefährliche Stoffe von sich geben», sagt der Empa-Forscher. Er ist Spezialist für die Herstellung und Charakterisierung dünner Halbleiterschichten und experimentiert an der Empa seit mehreren Jahren an flexiblen Dünnschicht-Solarzellen. Mit diesem Know-how geht er nun das Thema Batterien an.

«Dünnschicht-Solarzellen sind eine sinnvolle Sache – Dünnschicht-Batterien sind es eher nicht», erläutert Bücheler. «Denn leistungsfähige Batterien haben immer ein gewisses Volumen. Es bringt allerdings durchaus Vorteile, wenn man an bestimmten Stellen einer Batterie dünne Schichten einbaut.» Bei Büchelers Forschung geht es um den Elektrolyten – also den Teil der Batterie, der für die Ionenleitung zwischen Anode und Kathode, den beiden Polen, zuständig ist. Er muss einerseits stabil und ohne Löcher sein, damit es keinen Kurzschluss gibt. Berühren sich Anode und Kathode, ist die Batteriezelle nämlich tot. Andererseits sollen sich die Ionen beim Laden und Entladen möglichst schnell bewegen. Je kürzer also der Weg, desto leistungsfähiger die Batterie. Genau hier beginnt die Herausforderung für den Dünnschichtspezialisten. Der hauchdünne Festkörper, den er erfinden will, soll mechanisch stabil sein und hohe Spannungen aushalten. Zugleich soll er Lithium-Ionen möglichst leicht durchlassen.

Bücheler experimentiert mit Legierungen aus Lithium, Lanthan und Zirkonoxid, versetzt mit einigen Prozentanteilen weiterer Metalle. Für die Herstellung seiner hauchdünnen Schichten benutzt er eine so genannte Sputtering-Anlage: Unter Hochvakuum wird aus mehreren Tiegeln Material abgetragen, das sich auf einem Probenplättchen niederschlägt. Die so erzeugte Legierung wird mit einer Reihe physikalischer Analysemethoden auf ihre Tauglichkeit untersucht – zum Beispiel per Röntgendiffraktometrie, Raman-Spektroskopie, Röntgen-Fotoelektronen-Spektrometrie und Massenspektrometrie.

Das heikle an der Dünnschichttechnik: Die Verbindung der einzelnen Schichten untereinander muss über die gesamte Fläche der Batterie sehr innig und gleichmässig sein. «Wenn die Ionen an einigen Stellen stärker fließen als an anderen, dann versagt die Batterie sehr bald», so Bücheler. Doch die Suche nach dem richtigen Material könnte sich am Ende lohnen. Eine Lithium-Ionen-Batterie mit festem Dünnschicht-Elektrolyten benötigt keine Graphit-Anode mehr, wie die heutigen «nassen» Lithium-Ionen-Akkus. Die Anode kann aus metallischem Lithium bestehen, was die Ladungsdichte der Batterie wesentlich steigert. Bei gleichem Gewicht und gleichem Volumen wäre ein solcher Akku deutlich leistungsfähiger – und liesse sich auch schneller laden.

Festkörper-Elektrolyten sind im Prinzip Kristalle – wie dieser Quarzkristall. Die Ionen wandern durchs Kristallgitter. Um passende Kristalle zu finden oder zu entwerfen, braucht es fundierte Kenntnisse in Festkörperchemie und modernste Analysetechnik.

Batterieforschung – wohin führt der Weg?

Ausgehend von den bekannten Lithium-Ionen-Batterien, suchen Forscher in alle Richtungen. Alle Bestandteile der Batterie werden untersucht: Kathode (Pluspol), Anode (Minuspole) und der Elektrolyt, durch den die Ionen wandern. Hier sehen Sie aktuelle und künftige Batterietypen auf einen Blick.

Bekannte Batterietypen

Lithium-Ionen Batterie

Siehe Seite 13

- + hohe Energiedichte
- + bewährte Technik
- brennbar bei falscher Behandlung
- begrenzte Lebensdauer
- Zutaten aus China (Versorgungssicherheit)

Forschung an:

- Kathodenmaterial ohne Kobalt (aus China)
- Nicht brennbaren Elektrolyt-Flüssigkeiten
- höherer Leistung und Zuverlässigkeit
- geringeren Produktionskosten

Natrium-Schmelz-Batterie

Siehe Seite 19

- + lange Lebensdauer
- + viele Lade-/Entladezyklen
- + Zutaten leicht verfügbar
- Betriebstemperatur 300 °C
- muss täglich geladen / beheizt werden

Forschung an:

- festen Elektrolyten
- höherer Leistung und Zuverlässigkeit
- geringeren Produktionskosten

Forschung an neuen Batterietypen

Kathode aus Graphit, Anode aus Metall

Siehe Seite 21

- + Natrium, Aluminium, Magnesium möglich
- + Kathode aus preisgünstigem Abfall-Graphit
- + Einfacher Zusammenbau, grosse Stückzahlen
- Jedes Metall braucht eine spezielle Chemie

Lithium-Metallanode mit Dünnschicht-Elektrolyt

Siehe Seite 15

- + höhere Energiedichte als Li-Ionen-Akkus
- + nicht brennbar
- + setzt bei Unfällen/Ausfällen keine Gifte frei
- Produktion bei rund 500 °C
- Zutaten müssen hochtemperaturfest sein

Lithium-Ionen-Batterie mit festem Elektrolyt

Siehe Seite 14 und Seite 20

- + nicht brennbar
- + Natrium oder Magnesium statt Lithium möglich
- + einfache Produktion (gepresste Pulver)
- mechanischer Stress lässt Batterie altern
- optimales Elektrodenmaterial noch nicht bekannt

Meersalz statt knapper Rohstoffe

Lithium wird knapp und ist nicht in allen Weltregionen zu finden. Eine Batterie aus Natrium und Chloridionen wäre die Lösung. Die Zutaten stecken im Meerwasser. Und das gibt es (fast) überall.

Sicher und salzig: Die wässrige Natrium-Batterie

Wie man immer wieder liest, gehen Lithium-Ionen-Batterien ab und an in Flammen auf. Dieser Umstand hat 2016 zu einer spektakulären Rückrufaktion des Samsung Galaxy Note 7 geführt, 2012 den Produktionsstart des Chevrolet Volt und des Opel Ampera verzögert und 2006 den Rückruf von acht Millionen Sony-Laptop-Akkus verursacht. Der Grund: Lithium-Ionen-Akkus arbeiten mit einer brennbaren Flüssigkeit in ihrem Inneren. Und der Sauerstoff, der aus der Kathode freigesetzt wird, nährt die Flammen zusätzlich. Wäre es nicht praktisch, die brennbare Elektrolytflüssigkeit durch eine wässrige (und daher nicht brennbare) Lösung zu ersetzen? Das Problem: Wasser hält nur Spannungsdifferenzen von maximal 1,23 Volt aus, bei höheren Spannungen zersetzt es sich. Eine handelsübliche Lithium-Ionen-Batteriezelle liefert rund 3,7 Volt – also dreimal mehr.

Ruben-Simon Kühnel und David Reber aus der Empa-Abteilung «Materials for Energy Conversion» ist es nun gelungen, dieses Problem zu umgehen. Sie stellten eine extrem konzentrierte Lösung eines speziellen Natriumsalzes her, nämlich Natrium-bis(flurosulfonyl)imid, kurz NaFSI. Mehr als sieben Kilogramm dieses Salzes lassen sich in einem Liter Wasser lösen. Die dickflüssige, salzige Lösung übersteht Spannungsdifferenzen von bis zu 2,6 Volt. Damit, so meinen die Forscher, liesse sich eine Batterie auf Wasserbasis bauen. Und sie haben es ausprobiert: Versuche mit Natrium-Titan- und Natrium-Vanadium-Elektroden zeigten vielversprechende Ergebnisse.

Mit der Natrium-Wasser-Batterie wäre noch ein weiteres Problem gelöst: Die weltweiten Vorräte an leicht abbaubarem Lithium sind begrenzt. Natrium hingegen ist leicht verfügbar, es steckt in Meersalz und Kochsalz aus Salzminen. Alle anderen Grundstoffe für diese Batterie sind ebenfalls in grossen Mengen verfügbar.

Heiss und zuverlässig: Die Natrium-Schmelz-Batterie

Ein weiterer Pfad zu günstigen und sicheren Speicherbatterien ist die Natrium-Nickelchlorid-Batterie, auch Natrium-Schmelz-Batterie oder Zebra-Batterie genannt. Erste Batterien dieses Typs wurden bereits 1985 entwickelt, standen aber im Schatten der erfolgreichen Lithium-Ionen-Akkus. Zu Unrecht, meint Corsin Battaglia, Leiter der Empa-Abteilung «Materials for Energy Conversion». Diese Batterie arbeitet bei 300 Grad Betriebstemperatur, ist aber thermisch hervorragend isoliert, darum hält sich die zum Warmhalten nötige Energie in Grenzen. «Sie entspricht in etwa der Leistung, die notwendig ist, um eine Lithium-Ionen-Batterie in einem sicheren Temperaturfenster zu halten», sagt Battaglia. «Im Vergleich zu Lithium-Ionen-Akkus hat die Natrium-Nickelchlorid-Batterie wesentliche Vorteile als stationäre Speicherbatterie: Sie benötigt weder Kobalt noch Graphit, sondern besteht aus Nickel und Kochsalz und hält ihren Ladezustand, auch wenn sie längere Zeit vollgeladen aufbewahrt wird.»

Viele Telekom-Firmen verlassen sich daher bereits auf Notstrombatterien dieses Typs. Auch unter extremen klimatischen Bedingungen sind diese Batterien einsatzfähig: Wegen der guten Isolierung macht es keinen Unterschied, ob sie an einem heissen Sommertag am Flughafen Zürich oder in einer kalten Winternacht im Engadin Strom liefern müssen.

Die Schweiz ist führend in der Entwicklung dieser Batterien, die durch die Firma FZSoNick SA in Stabio produziert werden. Die Empa arbeitet mit der Firma an verbesserten Keramik-Elektrolyten für diesen Batterietyp. Die Salzschnmelze und die flüssige Natrium-Anode müssen von einer Keramik aus β'' -Alumina getrennt werden, die gleichzeitig die Ionen leiten kann. Anode und Kathode bestehen bei dieser Batterie also aus geschmolzenen Stoffen – der Elektrolyt besteht aus einer Keramikschicht, die diese Schmelzen trennt. Wenn es gelingt, diese Elektrolyt-Keramik zu verbessern, erhöhen sich Leistung und Lebensdauer der Batterie.



Elektro-Pionier

Das Elektroauto «Think City» wurde von 2008 bis 2012 in Finnland und den USA gebaut und auch in der Schweiz verkauft. Er hatte eine Reichweite von bis zu 160 km und bezog seine Energie aus einer Natrium-Schmelzsalz-Batterie mit einer Betriebstemperatur zwischen 260 und 360 Grad Celsius. Der «Think City» blieb indes eine automobiler Randerscheinung: Weniger als 3000 Autos wurden gebaut, bevor die Herstellerfirma «Think Global» im Juni 2011 in die Insolvenz ging.

Robuste Batterien aus Schrott

Lithium wird knapp? Nicht so schlimm. Günstige, langlebige Batterien bauen wir aus Abfall-Graphit und Metallen, die es überall reichlich gibt. Zum Beispiel Aluminium aus alten Flugzeugen.

Preiswert und ungefährlich: Magnesium oder Natrium statt Lithium

Am Forschungsprojekt «Novel Ionic Conductors» arbeiten Forschende der Empa zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Genf, des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) und des polnischen Henryk-Niewodniczański-Instituts für Nuklearphysik.

Die jüngsten Arbeiten unter der Leitung von Empa-Forscher Arndt Remhof (siehe auch Seite 14) zeigen, dass Natrium und Magnesium sich für die Entwicklung neuer, reiner Feststoffbatterien eignen. Funktionstüchtige Prototypzellen auf Natriumbasis lieferten bereits vielversprechende Resultate. Der Elektrolyt ist zudem ungiftig, nicht brennbar und bleibt auch über 300 Grad chemisch stabil, was ihn besonders sicher macht. An der Universität Genf hat das Team um Hans Hagemann parallel dazu eine preiswertere Technik zur Herstellung des neuen Festelektrolyten entwickelt.

Das Team hat inzwischen auch einen Festelektrolyten für Magnesium entwickelt. Die bisherigen Forschungsprojekte auf diesem Gebiet lassen sich an einer Hand abzählen. Magnesium in Bewegung zu versetzen, ist schwierig, aber umso interessanter: Es ist leicht und in grossen Mengen verfügbar, zum Beispiel als Bestandteil von Schrottautos. Was noch wichtiger ist: Magnesium-Ionen sind zweifach positiv geladen, Lithium-Ionen dagegen nur einfach. In der Praxis bedeutet das, dass Magnesium bei gleichem Volumen fast doppelt so viel Energie speichern kann.

«Bei diesen ersten Arbeiten ging es vor allem um den Machbarkeitsnachweis», sagt die Empa-Forscherin Elsa Roedern. «Von einem funktionstüchtigen Prototyp sind wir noch weit entfernt, aber wir haben einen ersten, wichtigen Schritt in die richtige Richtung gemacht.»

Günstig und langlebig: Aluminium-Batterie mit Graphit-Kathode

Kostiantyn Kravchyk arbeitet in Forschungsgruppe von Maksym Kovalenko, die zugleich an der ETH Zürich und im Empa-Labor für Dünnschichten und Photovoltaik beheimatet ist. Sein ehrgeiziges Ziel ist es, einen Akku aus den am häufigsten vorkommenden Elementen der Erdkruste zu machen – zum Beispiel Magnesium oder Aluminium. Diese Metalle bieten eine hohe Sicherheit selbst dann, wenn die Anode aus reinem Metall besteht – was bei einer Lithium-Ionen-Batterie viel zu gefährlich wäre. Diese zusätzliche Sicherheitsmarge bietet wiederum die Chance, die Batterien auf eine sehr einfache, preiswerte Art zusammenzubauen und die Produktion schnell hochzuskalieren.

Um eine solche Batterie zum Laufen zu bringen, muss die Elektrolytflüssigkeit aus speziellen Ionen bestehen, die bei Raumtemperatur nicht kristallisieren – also eine Art Schmelze bilden. In dieser «kühlen Schmelze» wandern die Metallionen, umrahmt von einer dicken Hülle aus Chloridionen, zwischen Kathode und Anode hin und her. Alternativ dazu könnten grosse Anionen aus organischen Chemikalien benutzt werden. Das bringt aber ein Problem mit sich: Wo sollen diese «dicken» Ionen hin, wenn die Batterie geladen wird? Zum Vergleich: Beim Lithium-Ionen-Akku besteht die Kathode aus einem Metalloxid, das die kleinen Lithium-Ionen während des Ladevorgangs aufnehmen kann (s. S. 13). Das funktioniert bei solch grossen Ionen nicht. Ausserdem sind die Ionen, um die es hier geht, negativ geladen, genau anders herum wie die Lithium-Ionen.

Kovalenkos Team löste das Problem mit einem Trick: Die Forscher stellten das Prinzip des Lithium-Ionen-Akkus auf den Kopf. Während im Lithium-Ionen-Akku die Anode (der Minuspol) aus Graphit besteht, wird bei Kovalenkos Batterie der Graphit als die Kathode (Pluspol) eingesetzt. In den Zwischenräumen lagern sich die dicken Anionen ein. Die Anode (der Minuspol) ist bei Kovalenkos Batterie dagegen aus Metall.

Eine bemerkenswerte Entdeckung machte Kostiantyn Kravchyk auf der Suche nach dem «richtigen» Graphit: Er fand heraus, dass Abfall-Graphit, der bei der Stahlherstellung anfällt, so genannter «Kish-Graphit», sehr gut als Kathodenmaterial funktionieren. Auch natürlicher Graphit geht gut – wenn er in groben «Flakes» geliefert wird und nicht allzu fein vermahlen ist. Der Grund: Die Graphitschichten liegen an den Bruchkanten offen, und die dicken Metall-Chlorid-Ionen können leichter in die Struktur hineinschlüpfen. Dagegen eignet sich der fein vermahlene Graphit, der üblicherweise in Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz kommt, für Kovalenkos Batterie kaum: Durch das Vermahlen der Graphitpartikel werden die Schichten geknickt wie in einer zerknüllten Papierkugel. In diesen geknüllten Graphit können nur kleine Lithium-Ionen eindringen, die dicken Anionen der neuen Batterie dagegen nicht.

Die Graphit-Kathoden-Batterie, gebaut aus Abfallstoffen der Stahlherstellung oder aus rohen, natürlichen Graphit-Flakes, hat also das Potenzial, wirklich preisgünstig zu sein. Langlebig ist sie auch – darauf weisen jedenfalls erste Experimente hin. Über mehrere Monate überstand ein Laborsystem tausende von Lade- und Entladezyklen. «Die Aluminiumchlorid-Graphit-Batterie könnte bei einem täglichen Einsatz in einem Haus jahrzehntelang halten», meint Kravchyk.



Ein Marktplatz für Energie

Das Energienetz wird immer komplexer: Dezentrale Energieerzeuger benötigen Speichermöglichkeiten wie Batterien, damit unsere Energieversorgung auch mit stark fluktuierenden Energiequellen wie Sonne und Wind gewährleistet ist. Wie Energieflüsse intelligent und in Echtzeit optimal geregelt werden können, untersucht ein Projekt an der Empa-Forschungsplattform «ehub» (Energy Hub).

TEXT: Karin Weinmann / BILD: iStockphoto.com

Die Schweizer Stromversorgung steht vor dem Umbruch: Statt weniger Grosskraftwerke speisen immer mehr dezentrale kleine Erzeuger Strom aus Biomasse, Windkraft oder Fotovoltaik (PV) ins Netz ein. Insbesondere bei Windkraft- und PV-Anlagen unterliegt die eingespeiste Energiemenge je nach Wetter starken zeitlichen Schwankungen. Um das Netz stabil zu halten und eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten, kommen Speicher zum Einsatz. Dies macht das Stromnetz der Zukunft jedoch ungleich komplexer: Statt die grossen Kraftwerke zentral so zu regeln, dass sie genau so viel Energie erzeugen wie gerade benötigt wird, müssen die dezentralen Erzeuger die gerade anfallende Energiemenge unter Umständen zwischenspeichern, wenn sie nicht benötigt wird. Damit das Verteilnetz mit den zahlreichen zusätzlichen Energieerzeugern und -speichern im Gleichgewicht bleibt und die Leitungen nicht überbeansprucht werden, müssen die Energieflüsse mit Hilfe von «smarter» Rege-

lung optimiert werden. In einem Projekt am Energiedemonstrator ehub der Empa in Dübendorf testen Forscher nun im Quartiermassstab eine neue Möglichkeit, wie Netz, Erzeuger, Verbraucher und Speicher intelligent miteinander verknüpft werden können. Ziel ist, herauszufinden, wie erneuerbare Energie im Quartier zur Netzstabilität beitragen und optimal untereinander ausgetauscht werden kann.

Die Idee dahinter wurde an der EPFL in Lausanne entwickelt. Das Energienetz wird dabei als Handelsplatz interpretiert: Jeder Teilnehmer kann Energie mit einer eigenen Kostenfunktion anbieten oder anfordern. Ein übergeordneter Kontrollpunkt leitet die Energieflüsse so, dass die Gesamtkosten des Systems so tief wie möglich gehalten werden.

Was kostet das Laden?

Nehmen wir als Beispiel eine Speicherbatterie: Ist diese fast vollständig geladen, ist es wenig sinnvoll, sie weiter mit Strom voll zu pumpen – das Laden der Batterie wird also

in diesem «Marktplatz der Energie» teuer. Gleichzeitig bietet sich die Batterie in diesem Zustand aber als Energiequelle an – der Bezug wird günstig. Wenn die Batterie hingegen auf einen Ladezustand von wenigen Prozenten gesunken ist, so ist umgekehrt das Laden günstig, das Entladen hingegen teuer.

In diesem Marktplatz der Energie besitzt jeder Teilnehmer, egal ob Erzeuger, Verbraucher oder Speicher, einen eigenen Agenten. Dieser übersetzt die aktuellen Bedürfnisse des Gerätes in eine abstrakte gemeinsame Sprache. Der Agent leitet diese Informationen an einen Knotenpunkt weiter, der für ein Teilnetz zuständig ist.

Der Knotenpunkt besitzt die eigentliche Intelligenz: Er überwacht den Netzzustand, er sammelt die Bedürfnisse und Angebote aller Teilnehmer «seines» Teilnetzes und berechnet zehnmal pro Sekunde, wie die Energieflüsse am besten geleitet werden sollten. Eine neutrale Energiebörse ist geschaffen.

Damit lassen sich auch spezielle Charakteristiken abbilden: Schwankt etwa die Stromproduktion in kurzer Zeit stark, ist es sinnvoller, einen Superkondensator auf- und wieder zu entladen, anstatt eine Batterie mit zahlreichen Lade- und Entladezyklen zu belasten, was diese schnell altern lässt. In diesem Fall sind also die Kosten, die Batterie zu laden, deutlich höher als diejenigen zum Laden des Superkondensators – die Energie wird also zum Superkondensator fliessen.

Flexibel und beliebig ausbaubar

Ein Vorteil der Idee ist, dass sich das System auch in Zukunft flexibel erweitern lässt: Kommen neue Speichermöglichkeiten, Erzeuger oder Verbraucher hinzu, benötigen diese nur einen eigenen Agenten, der ihre Bedürfnisse und Angebote übersetzt – und schon sind sie Teil des Energie-Marktplatzes.

Die Empa testet dieses Prinzip im Energiesystem des ehub. Der Energiedemonstrator ehub, der das Forschungsgebäude NEST und den Mobilitätsdemonstrator move mit

Energie versorgt, verknüpft thermische und elektrische Energiekomponenten. Darunter sind eine Fotovoltaikanlage, Wärme- und Kältespeicher, ein Wasserstoffkreislauf, Wärmepumpen sowie Superkondensatoren und Batterien, die in unterschiedlichen Netzen miteinander verbunden sind. Jedes dieser Teilnetze wird von einem eigenen Knotenpunkt geregelt.

Das System soll künftig auch im ganz grossen Massstab funktionieren. Wie das gelingen kann, haben die Forschenden bereits ausgearbeitet: In einem Quartier fasst ein Knotenpunkt die vorhandenen Ressourcen sowie das von ihm überwachte Teilnetz zusammen zu einer virtuellen Ressource mit einer einzigen, «akkumulierten» Kostenfunktion.

So erhält der nächsthöhere Knotenpunkt eine relativ einfache Information. Damit könnte ein solcher Energie-Marktplatz künftig nicht nur einzelne Quartiere, sondern Städte, Regionen oder gar das ganze Land umfassen. //



Video
COMMELEC – das Energienetz als
Handelsplatz. Konzept der EPFL.
(englisch)

<https://youtu.be/Kw2kwdFAU2M>

...schwarz wie Ebenholz

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa, iStockfoto.com

Der junge Geiger landet in Berlin am Flughafen, sein teures Meister-Instrument im Gepäck und voller Vorfreude auf seinen Auftritt am nächsten Abend. Am Zoll wird er angehalten. Eine Stunde später verlässt er den Flughafen – ohne seine Geige. Sie wurde beschlagnahmt.

Wie bei vielen Geigen bestehen nämlich auch beim Instrument des jungen Künstlers Saitenhalter und Griffbrett aus Ebenholz, ein Tropenholz, das auf der CITES-Liste («Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora») der geschützten Hölzer steht. Somit darf Ebenholz nur eingeführt werden, wenn die legale Herkunft des Materials am Zoll nachgewiesen werden kann. Einige der 183 CITES-Länder wenden diese Bestimmung nicht nur auf das Rohmaterial an, sondern auch auf damit gefertigte Produkte wie Musikinstrumente. Dies hat zur Folge, dass zahlreiche Musikerinnen und Musiker nicht mehr mit ihren Instrumenten auf Reisen gehen wollen, weil jeder Grenzübertritt zum Risiko wird. Zahlreiche Instrumente wurden so bereits beschlagnahmt.

Doch nicht nur das Reisen ist schwierig. Auch wer mit entsprechenden Instrumenten handelt, kann sich strafbar machen, wenn er die legale Herkunft des Materials nicht nachweisen kann. Bereits das Anbieten entsprechender Produkte auf einer Internetplattform kann eine Anzeige zur Folge haben.

Alternative zu Tropenhölzern

Zurück zu unserem jungen Geiger: Er möchte weiterhin mit dem Meister-Instrument auf Tournee. Und natürlich möchte er keine Probleme am Zoll. Ausserdem will er sicher sein, dass er seine wertvolle Geige bei Bedarf legal verkaufen kann. Ein Zertifikat über die Herkunft des Holzes seiner Geige hat er jedoch nicht. Sein Geigenbauer erklärt ihm ausserdem, dass er nicht auf Ebenholz verzichten kann: Das Tropenholz ist aufgrund seiner Härte, der guten Bearbeitbarkeit und hervorragender Klangeigenschaften geradezu optimal für den Geigenbau. Zudem ist seine edle dunkle Farbe ein Hingucker. Das Holz einer Buche oder eines Schweizer Bergahorns kann das nicht mithalten.

Bis jetzt. Forschende der Empa und der ETH Zürich haben gemeinsam das Start-up «Swiss Wood Solutions» gegründet und einen

Weg gefunden, Schweizer Hölzer so zu modifizieren, dass sie die Eigenschaften bedrohter Tropenhölzer wie Ebenholz oder Grenadill aufweisen. Letzteres wird vor allem für den Bau von Klarinetten und Oboen verwendet. Dabei wird Schweizer Bergahorn aus nachhaltiger Waldwirtschaft zugeschnitten und in einer wässrigen Lösung eingelegt. Danach wird das Holz getrocknet und mittels dem

Heisspressverfahren komprimiert. Dies ergibt Eigenschaften, die für Instrumentenbauer besonders wichtig sind, gezielt benötigt man rinettenbau eine etwas geringere Griffbretter für Violinen. Auch und Schalleitungsgeschwindigkeit, wie Oliver Kläusler, CEO von «Swiss Wood Solutions» erklärt: «Mit unserem Parameter selber bestimmen. Das ermöglicht beispielsweise dem Geigenbauer eine Feinabstimmung des Instruments.»

Ebenholz zählt wie viele Tropenhölzer zu den bedrohten Arten, deren Nutzung, etwa im Instrumentenbau, problematisch ist. Trotz strenger Handelsvorschriften nehmen die Ebenholz-Bestände rapid ab. Ein Ersatz muss also her. Und den liefert das Empa Spin-off «Swiss Wood Solutions». Ihr Produkt, «Swiss Ebony», besteht aus modifiziertem Schweizer Bergahorn, das die Eigenschaften von Ebenholz bietet – nachhaltig und vollkommen legal.

Besser als das Original

Das Spin-off ist nicht das erste Unternehmen, das sich auf Alternativen zu Tropenhölzern spezialisiert. Es gibt bereits entsprechende Materialien, zum Beispiel Holz-Kunststoff-Komposite oder Carbon-Materialien. Deshalb hat Kläusler im Frühling 2017 Hörtests mit professionellen Musikern und Musikstudierenden durchgeführt, um diese Materialien direkt miteinander zu vergleichen. Erfreuliches Ergebnis: «Swiss Ebony» belegte zusammen mit echtem Ebenholz Platz 1.

Der Geigenbauer Boris Haug aus Suhr hat daraus Saitenhalter für Profiinstrumente hergestellt, die anschliessend über Wochen bespielt wurden. «Eine Musikerin wollte unseren Cello-Prototyp gar nicht mehr herausrücken und bot uns an, uns stattdessen ihren hochwertigen Ebenholz-Saitenhalter zu überlassen», so Kläusler. Ihre Begründung: Ihr Cello klinge mit Swiss Ebony «sexier» als zuvor. Auch preislich kann die Ebenholz-Alternative mit ihrem natürlichen Vorbild bereits mithalten. Trotzdem wollen Kläusler und sein Team den Preis weiter senken und legen zudem grossen Wert darauf, den gesamten Produktionsprozess umweltfreundlich und nachhaltig zu gestalten.

Momentan ist «Swiss Wood Solutions» auf der Suche nach Investoren, um das Produkt auf den Markt zu bringen. Die bisherigen Entwicklungsarbeiten wurden durch zwei Grants der Gebert-Rüf-Stiftung finanziert. Zudem erhält das Spin-off Coaching-Unterstützung von verschiedener Seite, etwa von Experten der Kommission für Technologie und Innovation (KTI), des Empa-Inkubators «glaTec» und von «Venture Kick».

Da ist mehr als Musik drin

Künftig könnte das Schweizer Ebenholz für Lifestyle-Produkte wie Uhrenbauteile, Billard-Queues und Messergriffe Verwendung finden. Wie Gespräche mit potenziellen Kunden ergaben, entstehen in diesen Märkten zurzeit sehr ähnliche Herausforderungen wie auf dem Markt für Musikinstrumente. Zudem arbeitet das Spin-off momentan an einer neuen Methode zum Färben seiner Holzprodukte. Auch dies soll weitere Einsatzmöglichkeiten für das Material erschliessen. «Aber das ist Zukunftsmusik», so Kläusler. «Der kurzfristige Fokus liegt darauf, Musiker mit Instrumenten auszustatten, die höchsten musikalischen Ansprüchen genügen. Nachhaltig und ökologisch.» Und: Orchester könnten wieder bedenkenlos mit ihren eigenen Meister-Instrumenten auf Welt-Tournee gehen. Ohne schlechtes Gewissen. //

oben
Eine Geige mit einem Griffbrett aus «Swiss Ebony».
Foto: Wilhelm Geigenbau AG, Suhr

mitte
Das neue Material: ein «Swiss Ebony» Kantholz aus modifiziertem Schweizer Bergahorn.

unten
Ein «Swiss Ebony» Cello-Saitenhalter – noch ohne Einfärbung, aber bereits mit den physikalischen Eigenschaften von Ebenholz.
Foto: Wilhelm Geigenbau, Suhr



Klare Vorstellungen

Seit September verstärkt Tanja Zimmermann das Direktions-Team der Empa; sie leitet das neue Departement «Functional Materials». Ein weiterer Schritt in einer erfolgreichen Karriere, die in der Holzabteilung der Empa ihren Anfang nahm. Zimmermann schaffte es mit Neugier, Kreativität und einem Blick für das Unmögliche, einem früher wenig beachteten Forschungsfeld internationales Renommee zu verschaffen.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Empa

Kreativität ist in der Forschung eine Grundvoraussetzung. Tanja Zimmermann spricht aus Erfahrung. Mit kreativen Ideen hat es die gebürtige Hamburgerin geschafft, einen Forschungsbereich der Empa quasi zu rehabilitieren. Denn noch bis vor wenigen Jahren war Holz als Forschungsgebiet – nicht nur an der Empa – nicht gerade «en vogue». Laut gängiger Meinung war bereits alles erforscht, was es zum Thema Holz zu erforschen gab, so Zimmermann. Als neu ernannte Leiterin des entsprechenden Forschungslabors war daher 2011 eine ihrer ersten Aufgaben, die Empa-Direktion vom Gegenteil zu überzeugen – was ihr bestens gelang, wie ein Blick in die Publikationsliste ihres Teams belegt. «Früher gab es ganze drei oder vier wissenschaftliche Journale, in denen Holzforscher und -forscherinnen ihre Ergebnisse veröffentlichen konnten. Heute publizieren wir in erstklassigen materialwissenschaftlichen Magazinen, und das sehe ich als grossen Erfolg», so Zimmermann.

Ihre Faszination für Holz und dessen mannigfaltige Möglichkeiten begann allerdings viel früher. Zimmermann blickt auf eine lange, «geradlinige» Karriere an der Empa zurück, die mit einem dreimonatigen Praktikum während ihres Studiums der Holzwissenschaften an der Universität Hamburg 1992 ihren Anfang nahm – und mit der vor kurzem erfolgten Ernennung zur Departementsleiterin ihren (vorläufigen) Höhepunkt fand. In all den Jahren – 2001 übernahm sie die Leitung einer Forschungsgruppe, seit 2011 leitet Zimmermann die Abteilung «Angewandte Holzforschung» – kam ihr nie der Gedanke zu wechseln. Aus einem einfachen Grund: «Die Empa hat mir immer alle Möglichkeiten geboten, mich weiterzuentwickeln», so Zimmermann.

Holz bietet unzählige Möglichkeiten

Motiviert haben sie dabei die unzähligen Möglichkeiten, aus Holz und seinen Bestandteilen neue Materialien zu entwickeln. Erst kürzlich gelang es ihrem Team, eine 3-D-Tinte aus Nanozellulose herzustellen. Dadurch lassen sich Mikrostrukturen mit herausragenden mechanischen Eigenschaften herstellen, die für Implantate und andere biomedizinische Anwendungen äusserst vielversprechend sind. Zudem ist Holz als nachwachsender Rohstoff ökologischer und nachhaltiger als die herkömmliche 3-D-Druckertinte.

Futuristisch anmutende Projekte rund um Holz sind bei Tanja Zimmermann an der Tagesordnung. So hat sie etwa, zusammen mit dem Empa-Forscher (und ETH-Professor für «Wood Materials Science») Ingo Burgert und ihrem Team, die NEST-Unit «Vision Wood» ins Leben gerufen, eine Wohneinheit für Studenten an der Empa, in der zurzeit die verschiedensten Holzanwendungen im realen, alltäglichen Leben getestet werden. Holz zeigt dabei etliche, teils unerwartete Eigenschaften; so befindet sich in der Studi-WG unter anderem antimikrobielles, magnetisches und feuerfestes Holz, aber auch Holz, das komplett wasserabweisend ist – und daher in Form eines Waschbeckens seinen Dienst verrichtet.

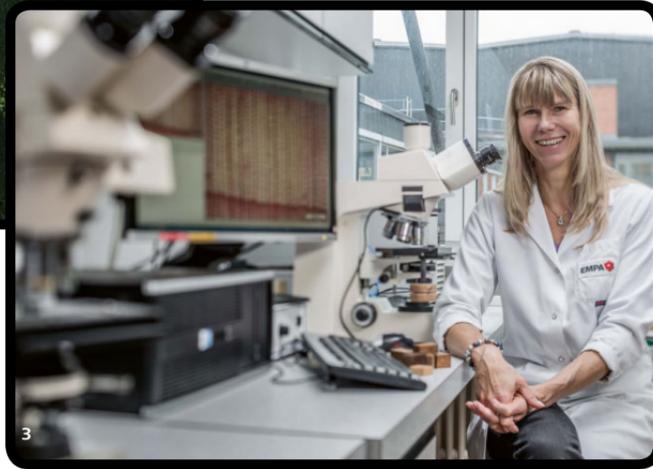
Ebenfalls aus Zimmermanns Team stammt der Nanozellulose-Schwamm, der chemisch so modifiziert wurde, dass er (entgegen seiner «Natur») kein Wasser, sondern nur (grosse Mengen an) Öl aufsaugt – eine durchaus interessante «Fähigkeit», wenn man an einen Einsatz im Umweltbereich denkt, etwa nach Ölkatastrophen. Und während für viele Holz ein altertümliches Baumaterial ist, entdeckt die Empa-Forscherin immer wieder neue Anwendungsmöglichkeiten. Selbst die Zukunft besteht für sie längst nicht nur aus Kunststoffen und Metal-

Tanja Zimmermann auf dem Balkon der NEST-Unit «Vision Wood», die unter ihrer Leitung konzipiert wurde. Die Balkonmöbel bestehen aus einem neuartigen Bambusfasern-Kunstharz-Material.





Holz als natürlicher, nachwachsender und (wichtig:) in der Schweiz in grossen Mengen verfügbarer Rohstoff für die Entwicklung neuer Materialien steht in der Forschungsarbeit ihres Teams im Vordergrund. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor hierfür ist, dass die Chemie zwischen den Mitarbeitenden stimmt. Ein guter Team-Spirit ist für Zimmermann das A und O einer erfolg-



len, auch da soll (und kann) das natürliche und ökologische Material Holz seinen Beitrag leisten, wie Zimmermann erklärt. «Vielleicht haben wir demnächst elektrisch leitfähiges Holz», sagt sie mit Blick auf noch unerforschte Möglichkeiten.

Die Chemie muss stimmen

Auch privat sieht sich Zimmermann mit Herausforderungen aus Holz konfrontiert. So ist sie vor zehn Jahren mit ihrer Familie in ein über 200 Jahre altes Bauernhaus gezogen – die Tragkonstruktion in Fachwerkbauweise ist komplett aus Holz. Vor dem Einzug waren dann auch etliche Renovierungen nötig. Und wer glaubt, Holz sei nur für Grundlagenforschung im Labor spannend, der irrt; der Dachstock des Fachwerkhäuses war – wie für derart alte Gebäude durchaus üblich – von Insekten befallen. «Wir haben den Dachstock sandgestrahlt, da sah man plötzlich die ganzen Frasslöcher. Die Firma wollte mir für teures Geld eine Imprägnierung mit Holzschutzmitteln einreden, aber das ist völliger Blödsinn», erklärt sie fachmännisch. Mit der richtigen Isolierung, also sobald Temperatur- und Holzfeuchtebedingungen für die holzerstörenden Insekten nicht mehr stimmen, seien Holzschutzmittel nämlich überflüssig.

reichen Forschungsabteilung. «Ich nehme lieber zehn gute Forscher, die gut in mein Team passen, als zwei «Hot Shots», die dafür aber sozial inkompetent sind», sagt sie.

Dieses Credo will sie auch in ihrem neuen Job hochhalten. Ein Team funktioniert, wenn alle an einem Strang ziehen und sich gegenseitig unterstützen – nur so sei Spitzenforschung möglich. Zusammenarbeit ist für Tanja Zimmermann aber nicht nur innerhalb eines Teams essenziell, sondern auf sämtlichen Ebenen. «Es ist mir wichtig, dass die verschiedenen Forschungsabteilungen offen miteinander kommunizieren und Ideen untereinander austauschen. Dadurch entstehen Synergien und neue, spannende Ideen, die für innovative Projekte notwendig sind», erklärt sie. Innerhalb des neuen Departements «Functional Materials» finden sich denn auch Forschungsabteilungen aus den unterschiedlichsten Bereichen, wie Bautechnologie, Hochleistungskeramik, Fasertechnologie, Beton oder Bauchemie.

Alle im Boot

Punkto Ideen für neue Forschungsprojekte gibt es bei ihr dann auch keine Grenzen – solange ein Nutzen ersichtlich ist. «Ich würde nie ein Projekt aus blosser wissenschaftlicher Spielerei starten; es sollte immer eine Idee im Zentrum stehen, die einen echten gesellschaftlichen Nutzen nach sich zieht», so Zimmermann. Denn schliesslich sei die Empa als Forschungsinstitution eine Art Brücke zwischen Forschung und Industrie. Dabei lobt sie die vielfältigen Möglichkeiten an der Empa. «Wir haben hier von der Grundlagenforschung über Industriekooperationen bis hin zu Services und Beratung die ganze Palette», sagt sie. Als Departementsleiterin ist es ihr ein Anliegen, diese unterschiedlichen Facetten beizubehalten, auch wenn sie keine Zeit mehr haben wird, selbst in den Empa-Labors zu stehen.

Ausgleich zu ihren beruflichen Herausforderungen findet sie in ihrer Freizeit genug – sie ist immer auf Achse und kann nur schwer stillsitzen. Sie betätigt sich sportlich und ist oft auf ihrem Pferd unterwegs. Vor kurzem hat sie ausserdem mit dem Gitarrenspiel angefangen. Fehlende Motivation scheint bei ihr kein Problem zu sein – im Gegenteil: Sie schafft

es mit ihrer begeisternden Art immer wieder, andere zu motivieren. Was vor allem beim Fördern und Fordern von Nachwuchstalenten zum Tragen kommt. «Ich habe unglaublich gern mit Menschen zu tun», gesteht Zimmermann. Es gäbe nichts Schöneres, als einen Doktoranden zu betreuen und zu sehen, wie der Nachwuchsforscher über die Jahre wächst, persönlich und fachlich.

Dieser direkte Kontakt werde ihr in Zukunft sicher fehlen, doch das «People Management» wird ihr erhalten bleiben. Vor allem ist es ihr ein Anliegen, die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Forschungsabteilungen weiter zu fördern und die richtigen Leute für die jeweils anstehenden Fragen zusammenzubringen. Zimmermann: «Interessant wird es sein, die verschiedenen Materialien der Forschungsabteilungen in meinem Departement miteinander zu kombinieren und mit ungewöhnlichen Funktionen zu versehen.» //



«Olympia-Gold» für Jungforscher

Was als zweiwöchiges Praktikum an der Empa begann, endete für Luca Schaufelberger an der «GENIUS Olympiad» in den USA: Als Gewinner des nationalen Wettbewerbs von «Schweizer Jugend forscht» vertrat er sein Land an den Olympischen Spielen für helle Köpfe – und gewann auch dort! Seine wiederverwendbaren Wasserfilter aus Nanocellulose haben Jury-Gremien von hier bis über den Atlantik begeistert.

TEXT: Cornelia Zogg / BILDER: Michael Riechsteiner (Schweizer Jugend forscht)

Filter aus chemisch modifizierten Cellulose-Nanofibrillen eignen sich optimal zur Entfernung von Huminsäuren aus verschmutztem Wasser – so viel hatten Forschende an der Empa um Houssine Sehaqui und Tanja Zimmermann bereits demonstriert. Der Maturand Luca Schaufelberger von der Kantonsschule Zofingen hat daraufhin Anfang 2017 im Rahmen seiner Maturaarbeit während eines Praktikums an der Empa ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die in den Filtern gebundene Huminsäure praktisch restlos entfernen lässt; dadurch können die Filter mehrmals verwendet werden, ein entscheidender Vorteil, da weitaus ökologischer als Einwegnutzung. Dazu nutzte er eine basische Kochsalzlösung, die sich als so effektiv erwies, dass der Filter damit mehrmals gereinigt und mit nur leicht sinkender Effizienz wiederverwendet werden konnte.



Bundesrätin Doris Leuthard besucht den Stand von Luca Schaufelberger beim «Schweizer Jugend forscht»-Wettbewerb und lässt sich die Funktionsweise der Nanocellulose-Filter erklären.

Mit 19 Jahren Co-Autor von zwei Publikationen

Das Praktikumsprojekt des 19-Jährigen war dabei so richtungsweisend, dass seine Arbeit in Kombination mit der Forschung an der Empa zu zwei wissenschaftlichen Publikationen führte. Damit nicht genug: Seine Maturaarbeit gewann ausserdem das Prädikat hervorragend von «Schweizer Jugend forscht» – und einen Zusatzpreis, der ihn – als einzigen Vertreter der Schweiz – dazu berechtigte, automatisch an der «GENIUS Olympiad» an der State University of New York (SUNY) in Oswego direkt am Ontariosee teilzunehmen. Bei diesem alljährlich stattfindenden Wettbewerb treten Schüler und Schülerinnen aus aller Welt mit Projekten im Umweltbereich in fünf Kategorien gegeneinander an. Auch da stiess sein wiederverwertbarer Nanocellulose-Filter auf Riesen-Interesse. Und gewann Gold in der Kategorie «Wissenschaft».

In fünf Wochen zum Erfolg

Keine schlechte Ausbeute für fünf Wochen Praktikum, oder? Lucas erstes Praktikum dauerte zwei Wochen und gab ihm die Möglichkeit, die Grundlagen der Filterherstellung unter Anleitung von Empa-Forscher Houssine Sehaqui zu erarbeiten. Im Rahmen seiner Matura-Arbeit kehrte er an die Empa zurück und machte den Nanocellulose-Filter wiederverwendbar.

Die Arbeit im Labor und die Reisen und Präsentationen in der Schweiz und den USA haben Luca Schaufelberger erste Einblicke in das Leben eines Forschers gegeben, und er möchte diesen Weg in Zukunft weiter gehen. «Nach meinem Militärdienst möchte ich an der ETH Zürich Interdisziplinäre Naturwissenschaften studieren», bestätigt er. Das Thema Nachhaltigkeit liegt ihm enorm am Herzen, was ihn dazu gebracht hat, sich dem Thema Wasser und vor allem dem Thema Wasserverschmutzung und -wiederaufbereitung zu widmen. Wenn man sich vorstellt, was der Nachwuchs-Forscher in fünf Wochen Praktikum so alles erreicht hat, dann lässt sich nur erahnen, was er erst nach seinem Studium bewirken könnte. //

Sicher durch die Wipfel wandeln

Ein Waldspaziergang erlaubt nur einen eingeschränkten Einblick in den vielfältigen Lebensraum. Was in den luftigen Höhen der Baumwipfel passiert, bleibt dem Spaziergänger verborgen. Ab Mai 2018 soll der Baumwipfelpfad Neckertal im Toggenburg seinen Besuchern ermöglichen, auf filigranen Holzkonstruktionen zwischen den Baumkronen zu wandeln. Damit die acht bis zwölf Meter langen Holzmasten, die den Spazierweg im Blätterdach stützen, Sicherheit garantieren, muss das Holz vor Schädlingen geschützt sein. Eingesetzt wurde die biologische Holzbehandlung des Empa-Spin-offs Mycosolutions AG in St.Gallen, auch weil die Betreiber-Genossenschaft grossen Wert auf eine ökologische Lösung legte. Für die Ausgründung der Empa-Abteilung für Angewandte Holzforschung ist der Baumwipfelpfad ein spannendes Pilotprojekt.

Die 200 Masten aus heimischem Fichtenholz genossen deshalb eine Behandlung mit einem Nützling, der Schädlinge vom Holz fernhält. Vor der Montage besprühte man die Stützen mit einer Suspension aus Pilzsporen der Gattung *Trichoderma harzianum* und Nährstoffen, die den jungen Sporen beim Wachsen helfen. Denn mit Zucker und Harnstoff im Gepäck starten die Nützlinge sofort damit, ihr feines Geflecht in die Stämme eindringen zu lassen. Künftig ernähren sich die schützenden Organismen allerdings von schädlichen Vertretern aus dem Reich der Pilze. Den Pilzjägern von Mycosolutions ist klar, dass der Werkstoff Holz sich durch natürliche Prozesse über die Zeit verändert. «Es werden Risse in den Stämmen auftauchen, weil das Holz austrocknet», sagt Reto Vincenz, CEO des Empa-Spin-offs. «Das Fichtenholz erhält deshalb regelmässige Wellness-Kuren mit den schützenden Sporen.»

Erhofft man sich eine Lebensdauer der Stützen von 30 bis 50 Jahren, dann überdauern unbehandelte Fichten-Masten diese Zeit nicht. Und wer die falsche Holzbehandlung einsetzt, riskiert, dass die Konstruktion unerwartet in sich zusammenbricht – so geschehen bei einem vergleichbaren Park in Spanien, dessen Masten innert acht Jahren von Pilzen zerfressen wurden und einstürzten.

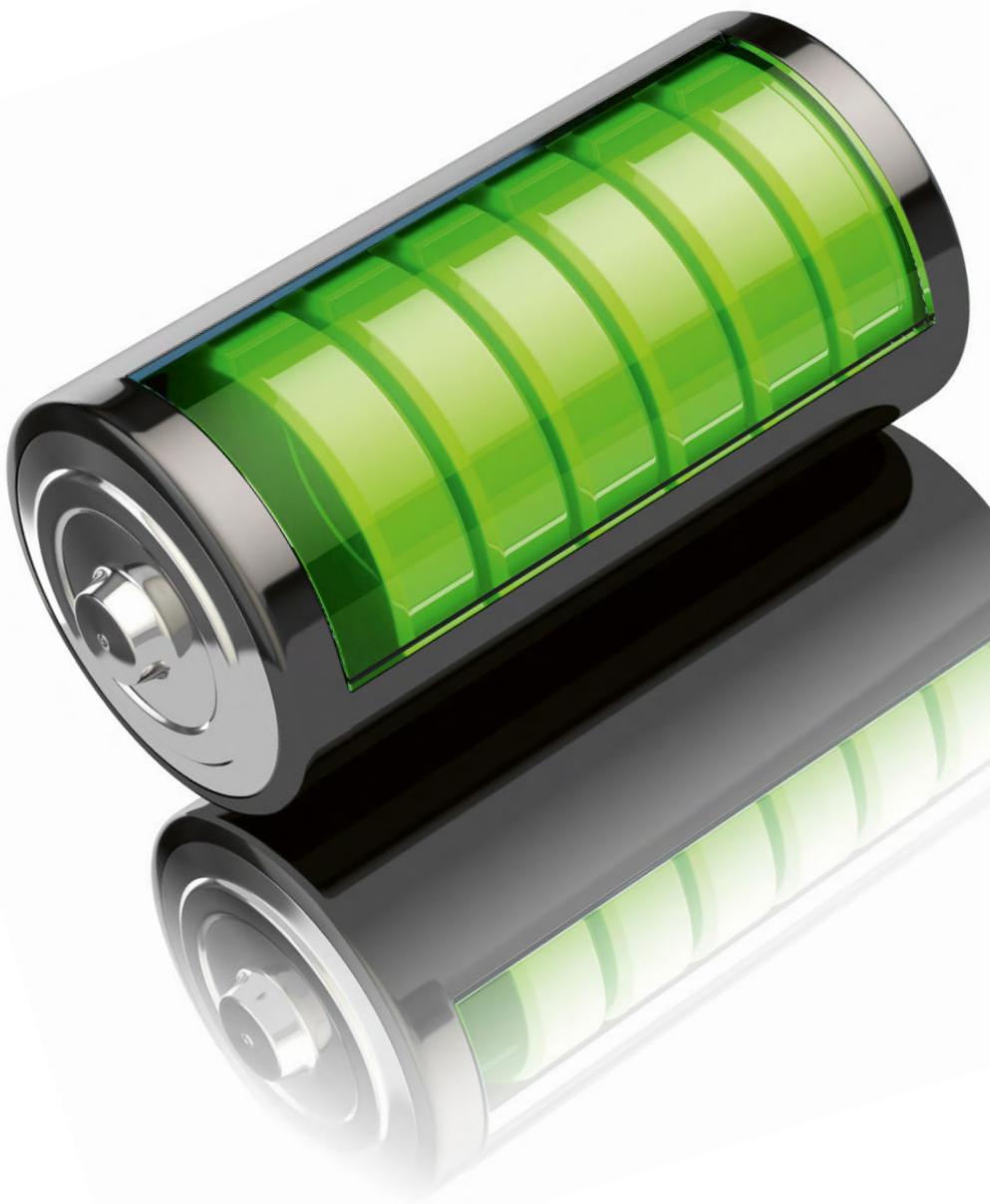
www.mycosolutions.swiss



Empa-Design: Ganz schön leise

Ob nervtötendes Scheppern oder wummernde Baumaschinen – es gibt unzählige Schallschwingungen, auf die man gern verzichtet. Ein dämpfendes Material, das leicht und stabil zugleich wäre, könnte so manchem das Leben erleichtern. Forschern der Empa ist es gelungen, ebensolche Kristalle herzustellen, die unangenehme Geräusche und Vibrationen tilgen können. Die fononischen Kristalle werden mit 3-D-Druckverfahren produziert und sollen nun für die Anwendung massgeschneidert werden.

Der aktuelle «Designer in Residence» der Empa, Christian Lauchenauer, klopft jetzt gemeinsam mit Materialforschern und Akustik-Experten die ersten industriellen Anwendungsmöglichkeiten ab. An der Zürcher Design-Biennale im September präsentierte Lauchenauer kristalline Bauteile für ein Mikroskop, dessen Füsse vibrationsfrei stehen müssen. Zudem entwickelte er Raumteiler für Büros, in denen die Kristalle verbaut sind. Hier zeigt sich ein Vorteil der fononischen Kristalle gegenüber herkömmlichen schallschluckenden Stoffen: Da das neue Material ohne weiche Dämmschichten auskommt, kann es auch als tragende Substanz eingesetzt werden.



Veranstaltungen

9. November 2017

Polymerwerkstoffe für technische Anwendungen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

events.empa.ch

Empa, Dübendorf

24. Oktober 2017

Graphen und Kohlenstoff-Nanoröhrchen:

Grundlagen und Anwendungen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

events.empa.ch

Empa, Dübendorf

22. November 2017

Additive Fertigung von Metallen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

events.empa.ch

Empa, Dübendorf

24. November 2017

Metallische Gläser

– Eigenschaften, Technologien, Anwendungen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

events.empa.ch

Empa, Dübendorf

9. Januar 2018

Klebertechnik für PraktikerInnen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

events.empa.ch

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