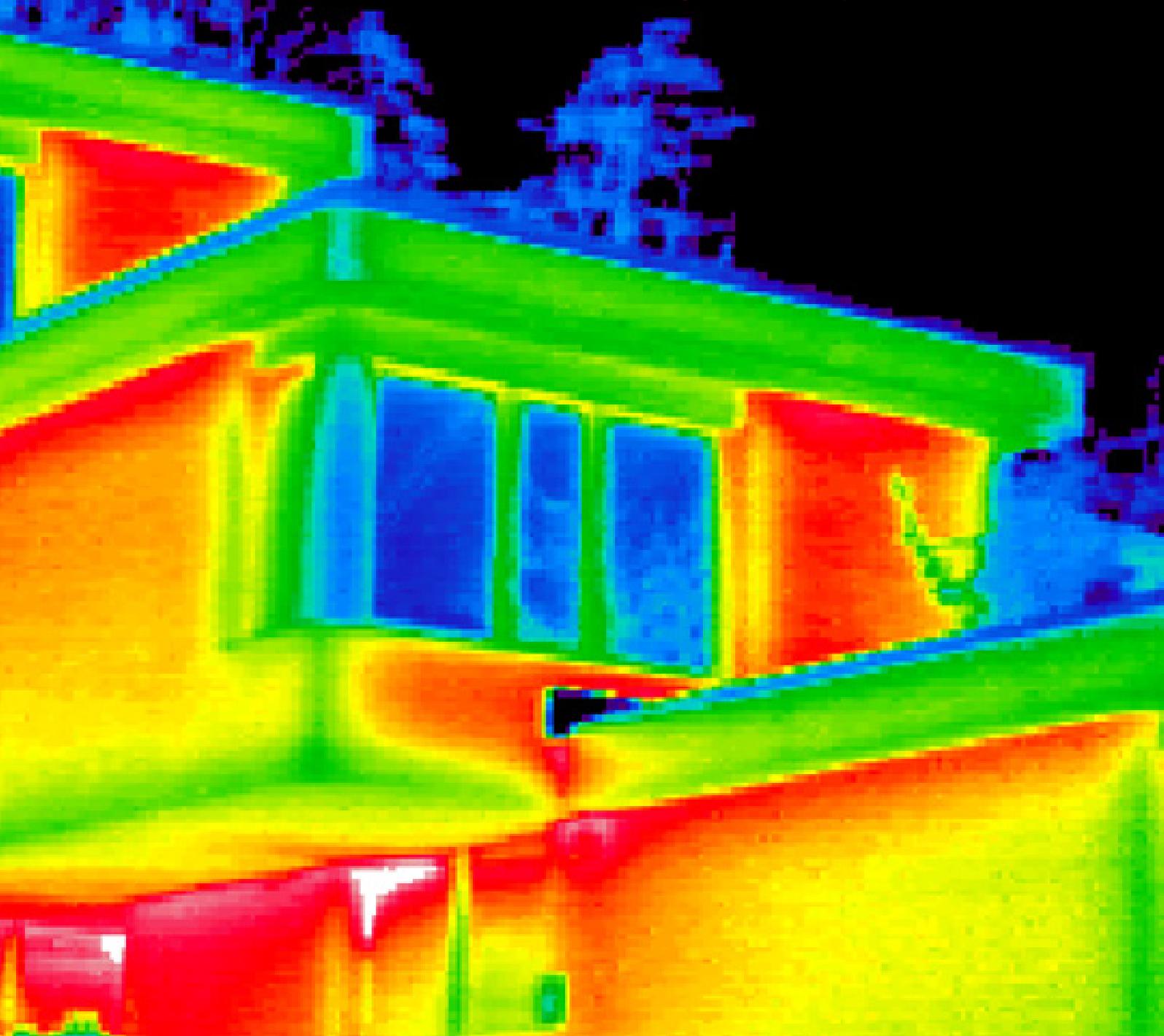


Empa Quarterly

Forschung & Innovation #55 | Januar 17



Wärme im Winter

Energiemanagement
im Wohnquartier

Natronlauge als
Wärmespeicher

Gesundheitsdiagnose für
Hochspannungsleitungen



Empa

Materials Science and Technology



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

πάντα ῥεῖ

Liebe Leserin, lieber Leser

«Panta rhei» – alles fliesst. Das wusste schon Heraklit um rund 500 v. Chr. Seine Einsicht trifft auf vieles zu, vor allem auf die Energie. Denn nach dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik kann sie weder (neu) erschaffen noch vernichtet, sondern lediglich von einer Form – etwa elektrische, chemische oder Bewegungsenergie – in eine andere umgewandelt werden.

Und wenn etwas beständig fliesst und unablässig seine Form wandelt, dann ist es auch schwer einzufangen und zu speichern. So können wir zwar aus Sonnenlicht dank fotovoltaischer Zellen elektrischen Strom produzieren – besser gesagt: die Energie in die andere Form umwandeln. Doch lässt sich Strom – die Bewegung (der Ladungsträger) steckt bereits im Namen – nur mit relativ hohem Aufwand speichern. Und auch das nicht beliebig lange; wie wir aus eigener Erfahrung wissen, entlädt sich jeder noch so gute Akku mit der Zeit von selbst. Wollen wir also künftig einen immer grösseren Teil unseres Energiebedarfs durch (zeitlich stark fluktuierende) natürliche Energiequellen wie Sonne und Wind decken, dann sind effiziente Langzeitspeicher dringend nötig.

Im Gebäudelabor NEST auf dem Empa-Campus in Dübendorf sind sage und schreibe 13 verschiedene Energiespeicher und -wandler im Einsatz (Seite 8). Weitere sind derzeit in der Entwicklung, zum Beispiel ein saisonaler «Wärmetank», der überschüssige Wärme aus Sommertagen fürs Heizen in der kalten Jahreszeit aufnehmen und bei Bedarf wieder abgeben kann (Seite 12).

Überhaupt wächst und gedeiht NEST prächtig; so sind fürs kommende Jahr gleich mehrere neue Units geplant, etwa rund ums Thema Digitale Fabrikation, Materialrecycling und Ultraleichtbau (Seite 4). Um mit einem der Jahreszeit angemessenen Zitat aus der Heiligen Schrift zu schliessen: Auf dass das Haus voll werde!

Viel Vergnügen beim Lesen – und alles Gute fürs neue Jahr!



Fokus:

Sommerhitze für kalte Tage

- 08** Revolution im Untergrund
Energiemanagementforschung im ehub
- 12** Sommerwärme für die Wintersaison
Natriumhydroxid als preisgünstiger Solarspeicher
- 14** Kampf gegen kriechende Kabel
Altersbestimmung am Schweizer Hochspannungs-Stromnetz



- 04** Nachwuchs im NEST
Vier neue Forschungseinheiten starten 2017
- 16** Der Pilz, dein Freund und Helfer
Wie Telefonmasten länger leben
- 18** Neue Waffe gegen Superkeime
Alternative zu Antibiotika
- 20** Auf der Spur der Zementformel
Empa-Expertin Barbara Lothenbach im Portrait
- 23** Kurzmeldungen
Ringe, die sich selber bilden. Ausgezeichneter Flammschutz

Titelbild: Thermografische Aufnahme
Mit einer Infrarot-Kamera wird die Wärmeabstrahlung gemessen. Die Oberflächentemperaturen werden in Falschfarben dargestellt. Für die energetische Interpretation von Wärmebildern braucht es Fachwissen. Zudem sollten die meteorologischen Randbedingungen der Aufnahme bekannt sein. In diesem Fall sind die Aussenwände der Häuser durch Sonneneinstrahlung am Vortag erwärmt worden, was das Ergebnis verfälscht.
Bild: QC-Expert AG / Christoph Tanner <http://qc-expert.ch>.

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.)



Vier neue Units werden das Forschungsgebäude NEST bis Ende 2017 erweitern:
Energieeffiziente Wellness, Digitale Fabrikation, Materialrecycling und Energiegewinnung aus
Fassaden. Der Prototyp des Leichtbaudachs einer fünften Unit entsteht an der ETH Zürich.

Nachwuchs im NEST

TEXT: Stephan Kälin / BILDER: ETH Zürich,
Werner Sobek Design

Das modulare Forschungs- und Innovationsgebäude NEST von Empa und Eawag füllt sich mit Leben. Seit der Eröffnung im Mai 2016 haben mehr als 5000 Interessierte NEST besucht. Die ersten Nutzer haben ihre Büros bezogen; Anfang 2017 werden die ersten Bewohner einziehen. Und die nächsten geplanten Units nehmen inhaltlich konkrete Formen an.

Die Unit «Solare Fitness & Wellness» befindet sich kurz vor Baustart. Anfang 2017 beginnt die Vorfabrikation der Anlage, die das Ziel verfolgt, den Wellness-Betrieb komplett mit erneuerbarer Energie zu betreiben. Die offizielle Eröffnung der Unit ist für Mai 2017 geplant.

Roboter auf der Baustelle

Der Baustart für die Unit «Digitale Fabrikation», die auf der obersten Plattform des NEST entstehen wird, ist ebenfalls für Frühling 2017 geplant, die Fertigstellung im Jahr 2018. NEST dient dabei als reale Testumgebung für neue Technologien der digitalen Vor-Ort-Fabrikation sowie der massgeschneiderten digitalen Vorfabrikation. Ein Roboter wird direkt auf der Baustelle ein Stahldrahtgitter bauen, welches gleichzeitig als Schalung und Bewehrung für eine tragende Betonwand im ersten Geschoss der Unit dienen wird.

Das digital generierte Modell eines Stahldrahtgitters wird vom Roboter in hoher Präzision gefertigt und danach mit Beton gefüllt. Dank der engen Maschen des Gitters und der spezifischen Betonmischung fließt der flüssige Beton nicht heraus. Die Methode spart Abfall, braucht weniger Material und Energie und soll daher deutlich kostengünstiger sein als herkömmlicher Betonbau.

Die Holzbau-Elemente für das zweite Stockwerk der Unit werden ebenfalls digital

Silhouette der geplanten Unit
«Digitale Fabrikation».
Baubeginn 2017.



1
Selbsttragender Betonboden aus einem 3-D-Drucker. Diese Fertigungstechnik wird 2017 im NEST erprobt.



2
Beim Aufbau der Unit «Digital Fabrication» kommt ein Roboter zum Einsatz, der eine tragende Betonwand errichtet.

gefertigt. Sie entstehen im grössten Architektur-Robotiklabor der Welt, an der ETH Zürich.

Im zweiten Quartal 2017 ist der Baustart für die Unit «Urban Mining und Recycling» vorgesehen: eine Wohnumgebung für zwei Personen im zweiten Obergeschoss mit Blick Richtung Osten. Das bewohnte Forschungsprojekt zum Thema Recycling wird gemeinsam betreut von Dirk E. Hebel und seiner Arbeitsgruppe an der ETH, dem Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart und der Werner Sobek Group. Neben einer Tragkonstruktion, deren Einzelteile beim Rückbau ohne Abwertung wiederverwertet werden können, nutzt die Unit Abfall als Materialressource.

Pilze als Baumaterial

Die «kultivierten Baumaterialien», die in einer zweiten Phase in die Unit integriert werden, werden aus organischen Abfällen und Pilzen erzeugt und können in frei wählbare Formen wachsen. Die ganze Unit wird so konstruiert, dass sie nach dem Rückbau zu 100% als Materiallager weitergenutzt werden kann. Die Unit «Urban Mining und Recycling» soll damit die Grundlage zur Erstellung eines neuartigen, «vierdimensionalen» Katasterplans legen. Dort sind nicht nur Standorte und Geschossflächen von Häusern einer Stadt verzeichnet, sondern auch die Baumaterialien, die man beim Rückbau der Gebäude «ernten» kann.

Fassade als Energielieferant

An der EPF Lausanne schreitet die Planung der Unit «SolAce» voran. Die Unit wird Wohn- und Arbeitsräume für zwei Personen beinhalten und auf der Südseite von NEST im zweiten Obergeschoss eingebaut. Der Baustart ist im zweiten Quartal 2017 vorgesehen. Die Forscherinnen und Forscher legen in «SolAce» den Schwerpunkt auf die Fassade und die Integration von Fotovoltaik und Fotothermik. Allerdings steht nicht nur die Energiegewinnung im Zentrum, sondern auch eine Komfortsteigerung im Innern der Unit – erreicht durch eine optimale Tageslichtsteuerung und weitere aktive Fassadenelemente.

Fassade und Raumteiler der Unit «Urban Mining und Recycling» bestehen aus recycelbaren Materialien, die nach ihrer Nutzung sauber getrennt werden können.

1-zu-1-Prototyp des HiLo-Dachs

Die Unit für Forschung und Innovation «HiLo», deren Baustart voraussichtlich 2018 erfolgt, soll die Möglichkeiten im Beton-Leichtbau demonstrieren. Für das zweigeschossige Penthouse, das Gästen als Wohn- und Arbeitsraum dienen wird, kombinieren die Forscher und Architekten der ETH Zürich Ultra-Leichtbau im Bereich der Böden und des Dachs und adaptive Gebäudetechnik am Beispiel einer Solar-Fassade. Momentan konzentrieren sich die Arbeiten auf die Erstellung eines Prototyps der Dachkonstruktion in Originalgrösse und der adaptiven Solarfassade. Die neuartige, mehrschichtige Schalenkonstruktion des Dachs stellt grosse Anforderungen an die Fertigung. Die Erfahrungen und die Testergebnisse aus dem Prototypenbau fliessen in die Realisierung der Unit «HiLo».

ehub mit eigener Forschungsgruppe

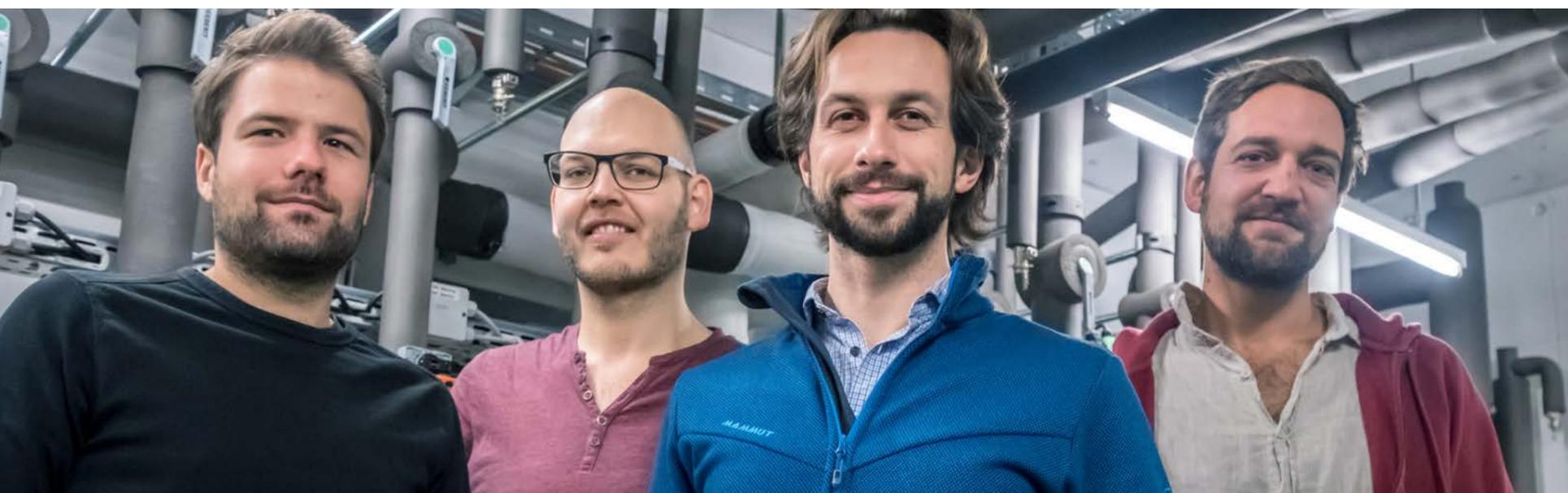
Für den Betrieb des Energy Hub (ehub) hat sich mittlerweile eine eigene Forschungsgruppe an der Empa gebildet, die nun mit den ersten Forschungsprojekten beginnt (siehe Seite 8). Auch der Water Hub ist mittlerweile zum grossen Teil fertig installiert: Der gesamte im NEST anfallende Urin wird durch die Trenntoiletten separiert und durch die Eawag bereits in Flüssigdünger umgewandelt. Ein Teil des Grauwassers wird durch Membranen gefiltert, und seit Dezember 2016 werden auch die Fäkalien in einer Presse zu Pellets weiterverarbeitet. //

3 Grundriss der Unit «Urban Mining und Recycling».



Revolution im Untergrund

Wie organisieren wir die Energieversorgung im postfossilen Zeitalter? Wie lässt sich Energie effizient speichern? Und wie organisieren wir die Verteilung so ökonomisch und komfortabel wie möglich? Die Empa-Forschungsplattform ehub sucht Antworten.



Diese Männer verteilen Energie: Reto Fricker, Ralf Knechtle, Philipp Heer und Sascha Stoller forschen im ehub und regeln die Anlage.



Video
«ehub – der Energy Hub
Demonstrator»

<https://youtu.be/VmdMevJPZc>

TEXT: Rainer Klose / FOTOS: Empa

Stolz zeigt das Forschungsgebäude NEST auf dem Empa-Campus in Dübendorf seine auf offenen Plattformen montierten Forschungsprojekte: Die Holzfassade der Unit «Vision Wood», die auskragenden Besprechungsräume des Büroversuchs «meet2create» und bald auch die zweistöckige Glasfassade der Unit «Solare Fitness & Wellness». Doch ein entscheidender Teil der Forschungsarbeit – vielleicht sogar der visionärste – steckt im Verborgenen. Über ein neuartiges, besonders flexibles Energienetz sind die Forschungsmodule des NEST mit dem Mobilitätsdemonstrator «move» verbunden. Sie bilden gewissermaßen ein Stadtquartier der Zukunft. Hier könnte sich herausstellen, wie wir die Energieversorgung unserer Städte in den nächsten Dekaden entwerfen und betreiben müssen.

Staatstragend oder autonom?

Häuser und Quartiere der Zukunft könnten sich über längere Zeit selbst mit Energie versorgen. Obwohl technisch möglich, sind sie sinnvollerweise nicht vollkommen autark. Immer wieder verbinden sie sich mit dem öffentlichen Stromnetz, speisen Strom aus Solaranlagen ein oder beziehen zu Spitzenlastzeiten oder über längere Perioden, wie im Winter, zusätzliche Energie. Dies ist bei weitem nicht nur Strom, sondern auch Wärme und, für die Mobilität, auch Wasserstoff oder erneuerbares, synthetisches Erdgas.

Nur: Wie soll das optimal geregelt werden? Und wessen Interessen sind letztlich bestimmend? Sind es die Energieversorger, die – verständlicherweise – ein möglichst stabiles Stromnetz mit voraussagbaren Lasten möchten und bei Spitzen Zugriff auf Notreserven wünschen? Dürfen Sie in dem Fall auch Geräte in Privathaushalten an- und abschalten, um das Netz stabil zu halten, dem Gemeinwohl zu dienen (und dabei ihre Gewinne zu maximieren)? Sollen Energieversorger neue Technologien bei Bewohnern installieren und betreiben, oder sind es die Privathaushalte, die möglichst optimal wirtschaften möchten? Möchten die Bewohner ökologisch wirtschaften und ihren CO₂-Ausstoss reduzieren – oder lieber Energie der jeweils preisgünstigsten Quelle nutzen?

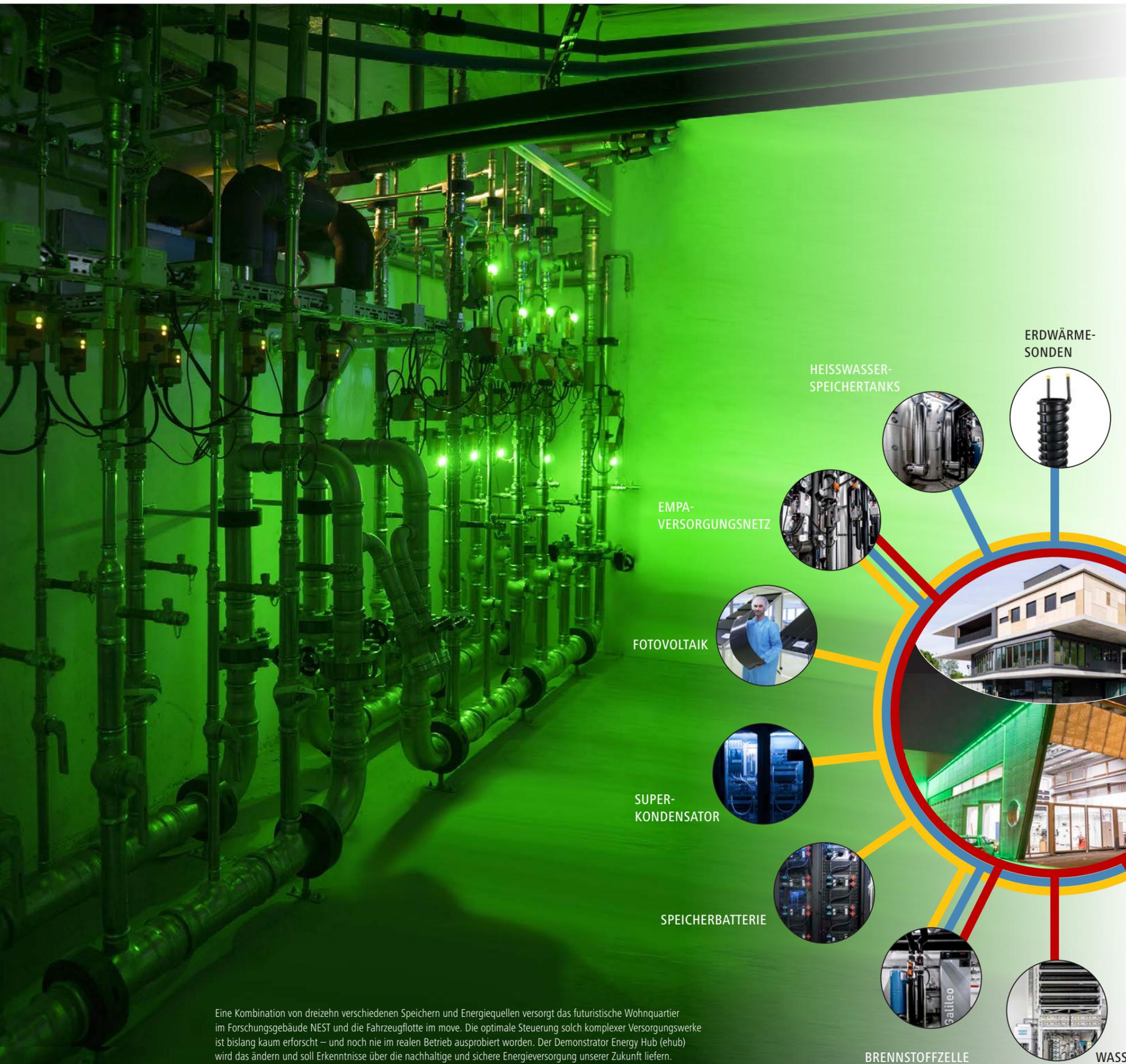
Was ist mit neuen Anbietern, die mit viel zusammengetragenem Wissen aus dem Internet neue, personenbezogene Dienste etablieren wollen und damit das Netz für den Netzbetreiber kaum vorhersehbar belasten? Was ist, wenn die Speicherbatterie im Haus nicht nur für die optimale Nutzung des Eigenverbrauchs, sondern auch für gezielte Umgehung von Tarifen und allfälligen Nutzungseinschränkungen des Betreibers eingesetzt werden?

Diese Fragen sind nicht nur gesellschaftlich und wirtschaftspolitisch relevant; auch die technische Lösung künftiger Einspeise- und Bezugsregelungen ist bislang nur unzureichend erforscht. Der Energieforschungsdemonstrator der Empa, der «Energy Hub» (ehub) soll Antworten liefern und Möglichkeiten aufzeigen. Wenn NEST einst voll belegt sein wird, werden bis zu 15 Forschungseinheiten mit Wohnungen, Büros und Freizeitanlagen vom ehub versorgt – das bedeutet den Energieverbrauch von 40 Bewohnerinnen und Bewohnern und 40 tagsüber im Gebäude arbeitenden Menschen. Der Energieverbrauch der einzelnen Units wird sich mehrfach am Tag ändern und damit auch die Fliessrichtung der Energie. So wird beispielsweise die Mittagssonne auf die Solardächer der Wohnmodule strahlen, in denen dann aber niemand Energie bezieht, während zur gleichen Zeit Energie im Bürotrakt benötigt werden wird. Am Abend kann die überschüssige Wärme aus den Modulen mit Südwestfassade abgeleitet werden und die Sauna im Fitness-und-Wellness-Bereich aufheizen.

Saisonale Energiespeicher

Zusammen mit dem Energiemanagement innerhalb eines Tagesverlaufs werden auch Speichermedien erprobt, die Energie tageweise, wochenweise oder gar saisonal speichern können. Das Zusammenspiel all dieser Komponenten soll dann Möglichkeiten aufzeigen, wie sich Energie in einem erneuerbaren Zeitalter optimal verteilen und nutzen lässt. Der ehub verfügt über einen 65 Kubikmeter grossen Eisspeicher, zwei Erdsonden mit 260 Meter Bohrtiefe und eine gewendelte Erdsonde, die in 12 Meter Tiefe reicht. Im Sommer wird mit Solarwärme Eis abgetaut, im Winter kühlt eine Wärmepumpe das Wasser soweit ab, bis es gefriert. Die Kristallisationswärme, die beim Gefrieren frei wird, kann so ebenfalls genutzt werden.

Die drei Erdsonden werden im Sommer mit bis zu 80 Grad warmem Wasser durchspült; die gespeicherte Wärme im Boden kann dann im Winterhalbjahr ins Haus zurückgeholt



werden. Zudem verfügt das NEST über Superkondensatoren zur raschen Stromspeicherung und ein Batteriepaket mit einer Kapazität von 96 kWh (Kilowattstunden) – das entspricht der Kapazität von fünf BMW i3 oder einem Tesla Model S. Die Batterien sollen laut Planung etwa den Tagesbedarf eines voll besetzten NEST speichern können.

Sind die Batterien voll, kann überschüssiger Strom ins move geleitet und dort in einer Elektrolyseanlage zur Wasserstoffherzeugung genutzt werden. Wasserstoff lässt sich in Druckgasflaschen über mehrere Wochen lagern oder direkt in Brennstoffzellenautos nutzen. Auch NEST selbst kann Wasserstoff wiederverwerten: Im Keller steht eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle, die normalerweise Erdgas in Strom und Wärme verwandelt. An ihr soll untersucht werden, wie viel selbst erzeugter Wasserstoff dem Erdgas zugemischt werden kann.

Flexibilität als Forschungsgegenstand

Die in NEST eingebauten Haustechnikkomponenten sind dabei keine Prototypen, sondern zumeist kommerziell erhältliche Geräte auf dem aktuellen Stand der Technik. Der Clou liegt in der neuartigen Vernetzung der Komponenten, mit der die Forscher neue Szenarien der Energiebewirtschaftung flexibel evaluieren und deren Wirksamkeit analysieren wollen. Nicht nur können Forscher und Industriepartner dort neue Steuerungsmodule oder Prototypen einbauen und validieren, auch die Regelung selbst ist höchst flexibel: Alle im Normalbetrieb automatisiert laufenden Anlagen können von internen und externen Forschern übersteuert, mit neuen Algorithmen versehen und zu neuen Verbrauchergruppen zusammengefasst werden.

Die Forschungsarbeit im ehub begann im November dieses Jahres. Als erstes Projekt wollen die ehub-Forscher die Auswirkungen von Stromleistungstarifen auf das Verteilnetz theoretisch vorausberechnen. Die so gewonnenen Hypothesen werden dann im ehub in die Realität umgesetzt und in Zusammenarbeit mit den Bewohnern praktisch erprobt. Auch die Auswirkungen von Geräten und Nutzern, die die Netzstabilität positiv, aber auch negativ beeinflussen, können im NEST durchgespielt werden – im Extremfall bis zum Blackout oder einem Ausfall der Heizungs- und Kühlanlage. Die Forschungsplattform erlaubt solche Übungen ohne Risiko, denn sie verfügt über eine Rückfallebene, die den Normalbetrieb rasch wieder herstellen kann.

Die Forschungsprojekte im ehub werden Erkenntnisse darüber bringen, wie viel Energie mit welchen Leistungsspitzen in Wohnquartieren benötigt wird und wie sich die benötigte Energiemenge mit vernünftigem Aufwand minimieren lässt. Es wird unter anderem Hinweise darauf geben, wie autonom Wohn- und Arbeitsquartiere ihre Energieversorgung bewirtschaften dürfen – und inwieweit netzdienliches Verhalten künftig mit Gesetzen und Verordnungen erreicht werden soll. Der ehub ist damit nicht nur ein technisches und ökologisches Forschungsprojekt, sondern auch ein politisches. //

Die dreizehn Energiequellen und Speichermedien des Energy Hub hängen an drei verschiedenen Energienetzen, die untereinander verbunden sind: roter Ring: Gas-/Wasserstoff-Netz, blauer Ring: thermisches Netz (Heizwasser, Kühlwasser) gelber Ring: elektrisches Netz. Lesebeispiel: Die Brennstoffzelle kann Wasserstoff in Elektrizität und Wärme umwandeln. Die Wärmepumpe braucht Elektrizität und erzeugt heisses Wasser.



Eine Kombination von dreizehn verschiedenen Speichern und Energiequellen versorgt das futuristische Wohnquartier im Forschungsgebäude NEST und die Fahrzeugflotte im move. Die optimale Steuerung solch komplexer Versorgungswerke ist bislang kaum erforscht – und noch nie im realen Betrieb ausprobiert worden. Der Demonstrator Energy Hub (ehub) wird das ändern und soll Erkenntnisse über die nachhaltige und sichere Energieversorgung unserer Zukunft liefern.

Sommerwärme für die Wintersaison

Lässt sich thermische Solarenergie bis in den Winter speichern? Ein europäisches Forschungsprojekt mit Beteiligung der Empa hat diese Frage vier Jahre lang untersucht. Dabei traten drei unterschiedliche Techniken gegeneinander an.

TEXT: Rainer Klose / FOTOS: Empa

Von einer nachhaltigen Energieversorgung sind wir noch meilenweit entfernt: Im Jahr 2014 wurden 71 Prozent aller Schweizer Privatwohnungen mit fossilen Brennstoffen beheizt, auch 60 Prozent des privat verbrauchten Warmwassers wird auf diese Weise erzeugt. Eine beträchtliche Menge fossiler Energie liesse sich also einsparen, wenn wir Wärme aus sonnigen Sommertagen bis ins Winterhalbjahr speichern und dann wieder abrufen könnten. Kann so etwas gelingen? Es sieht ganz danach aus. Nach mehreren Jahren Forschung gibt es seit Herbst 2016 an der Empa eine Anlage im Labormassstab, die zuverlässig funktioniert und Wärme langfristig speichern kann. Doch der Weg dahin war lang.

Die Theorie hinter dieser Art Wärmespeicher ist recht einfach: Giesst man in ein Becherglas mit festem Natriumhydroxid (NaOH) Wasser, dann wird die Mischung heiss. Die Verdünnungsreaktion ist also exotherm: Chemische Energie wird in Form von Wärme frei. Natronlauge ist ausserdem stark hygroskopisch und kann Wasserdampf einfangen. Die so gewonnene Kondensationsenergie heizt die Natronlauge weiter auf.

Sommerwärme im Speichertank

Auch der umgekehrte Weg ist möglich: Führt man verdünnter Natronlauge Energie in Form von Wärme zu, dann verdampft das Wasser, die Natronlauge wird konzentriert und speichert auf diese Weise die ihr zugeführte Energie. Konzentrierte Natronlauge lässt sich über Monate, gar Jahre aufbewahren oder in Tanks zu einem gewünschten Ort transportieren. Bringt man sie mit Wasser (-dampf) in Kontakt, wird die gespeicherte Wärme wieder frei.

So weit die Theorie. Aber lässt sich das Becherglas-Experiment in einer Grössenordnung wiederholen, die genügend Energie für ein Einfamilienhaus speichern kann? Die Empa-Forscher Robert Weber und Benjamin

Fumey gingen an die Arbeit. Als Versuchslabor diente ein isolierter Seefrachtcontainer auf dem Empa-Areal in Dübendorf – eine Sicherheitsmassnahme, denn konzentrierte Natronlauge ist stark ätzend. Würde die Anlage undicht, dann sollte die aggressive Flüssigkeit lieber durch einen Container schwappen, anstatt durchs Empa-Laborgebäude.

Leider funktionierte der sogenannte COMTES-Prototyp (siehe Infobox rechts) noch nicht wie erwartet. Die Forscher hatten



Wärmetauscher aus Durchlauferhitzern brachten die Lösung: die Natronlauge läuft spiralförmig am Rohr entlang, nimmt Wasserdampf auf und gibt Wärme ab.

auf einen so genannten Fallfilmverdampfer gesetzt – eine Anlage, wie sie etwa in der Lebensmittelindustrie verwendet wird, um Orangensaft zu Konzentrat einzudicken. Doch die zähflüssige Natronlauge umfloss den Wärmetauscher nicht richtig, sondern bildete dicke Tropfen. Die Natronlauge nahm zu wenig Wasserdampf auf, und die übertragene Wärmemenge blieb zu gering.

Fumey hatte dann die rettende Idee: Das zähflüssige Speichermedium müsste langsam und spiralförmig entlang eines Rohrs hinabfliessen, auf dem Weg Wasserdampf aufnehmen und die entstehende Hitze an das Rohr abgeben. Der umgekehrte Weg – das Aufladen des Mediums – sollte mit der gleichen Technik, nur andersherum funktionieren. Es klappte. Das Beste daran: Die spiralförmigen Wärmetauscher gibt es

bereits ab Lager; es sind Wärmetauscher aus handelsüblichen Durchlauferhitzern.

An der Laboranlage optimierte Fumey dann die Einsatzgrenzen: Welche Konzentrationsschwankungen sind für den Wirkungsgrad optimal? Welche Temperaturen soll das zu- und das ablaufende Wasser haben? Fürs Entladen des Speichers ist Wasserdampf mit einer Temperatur von 5 bis 10 Grad nötig. Solcher Dampf liesse sich etwa mit Wärme aus einer Erdsonde erzeugen. Dabei läuft 50-prozentige Natronlauge aussen über das Wärmetauscher-Spiralrohr nach unten und wird in der Wasserdampf-atmosphäre auf 30 Prozent verdünnt. Dabei erhitzt sich das Heizungswasser im Inneren des Rohrs auf rund 50 Grad Celsius – es wäre also für eine Fussbodenheizung gut nutzbar.

«Aufgeladene» Natronlauge

Beim Wiederaufladen des Speichers sickert die 30-prozentige, «entladene» Natronlauge um das Spiralrohr herum nach unten. Im Inneren des Rohrs strömt 60 Grad heisses Wasser, welches zum Beispiel aus einem Solarkollektor stammen kann. Das Wasser aus der Natronlauge verdunstet; der Wasserdampf wird abgezogen und kondensiert. Die Natronlauge, die den Wärmetauscher nach dem Aufladen verlässt, ist wieder auf 50 Prozent aufkonzentriert, also mit Wärmeenergie «geladen».

«Auf diese Weise lässt sich Solarenergie in Form von chemischer Energie vom Sommer bis in den Winter speichern», sagt Empa-Forscher Fumey. «Und nicht nur das: die gespeicherte Wärme kann in Form konzentrierter Natronlauge auch an einen anderen Ort verfrachtet werden und ist dadurch flexibel einsetzbar.» Nun hat die Suche nach Industriepartnern begonnen, die aus dem Labormodell eine kompakte Hausanlage bauen helfen. Der nächste Prototyp des Natronlauge-Speichers könnte dann beispielsweise im NEST eingesetzt werden. //

Benjamin Fumey an seiner Versuchsanlage im Empa-Labor. Seit Herbst 2016 funktioniert der Wärmezyklus zuverlässig.



Projekt COMTES: Wärmespeichertechnik im internationalen Vergleich

Im Europäischen Forschungsprojekt COMTES traten von 2012 bis zum Frühjahr 2016 drei Demonstratoren von Wärmespeichern gegeneinander an:

Projektgruppe A (Österreich, Deutschland) untersuchte die Speicherung von Wasser in Zeolithen. Diese mikroporösen Silikatminerale kommen zum Beispiel in Waschmitteln oder in selbstkühlenden Bierfässern vor. Sie sind hygroskopisch und geben Wärme ab, wenn sie feucht werden.

Projektgruppe B (Schweiz, Nordirland) untersuchte die Speicherung von Wärme in einer Versuchsanlage voll konzentrierter Natronlauge (siehe Artikel links). Überblick über Schweizer Wärmeforschungsprojekte: <http://www.sccer-hae.ch/>

Projektgruppe C (Dänemark, Österreich) untersuchte die Speicherung von Wärme in Materialien, die schmelzen und erstarren («phase change materials»). Für die Versuche nutzten sie Natriumacetat, eine Substanz, die auch in den bei Jägern und Outdooraktivisten beliebten aufladbaren Wärmekissen vorkommt.

Alle Projekte auf einen Blick: <http://comtes-storage.eu/>

Kampf gegen kriechende Kabel

Schweizer Überlandleitungen leiden unter Alterserscheinungen und können durch Strom-Überlast beschädigt werden. Wie lange halten sie noch? Empa-Forscher haben ein Tool entwickelt, mit dem sich der Alterungsprozess überwachen lässt.



Stuart Holdsworth bereitet einen Leitungstest in seiner Versuchsanlage vor.

TEXT: Thomas Gschwind / FOTOS: Empa, Swissgrid

Das Schweizer Stromnetz besteht aus mehr als 250 000 Kilometer Leitungen. Zusammengesetzt aus Übertragungs- und Verteilnetz wird die Spannung auf dem Weg zum Konsumenten darin stufenweise von 380 000 auf 230 Volt reduziert. 6700 Kilometer misst das überirdische, teilweise mehr als 40 Jahre alte Übertragungsnetz. Es genügt den heutigen Anforderungen nur noch teilweise, da es für deutlich kleinere Strommengen aus mehrheitlich zentralen Kraftwerken ausgelegt ist. Heute werden deutlich grössere Mengen Strom transportiert, und immer mehr dezentrale (Klein-)Kraftwerke speisen Strom aus erneuerbaren Energien ins Netz. Die Leitungen werden also immer stärker belastet und dadurch immer heisser. Da die Schweizer Hochspannungsleitungen fast ausschliesslich aus einer Aluminiumlegierung bestehen, jene aus unseren Nachbarländern aber meist als Verbundleiter aus reinem Aluminium und Stahlkern zusammengesetzt sind, lassen sich internationale Forschungsergebnisse nur bedingt auf hiesige Verhältnisse übertragen. Es braucht also nationale Forschung.

Seit 2012 befasst sich eine Forschergruppe an der Empa unter der Leitung von Edoardo Mazza und Stuart Holdsworth mit den Freileitungskabeln der Schweiz. Dafür haben sie eigens eine sieben Meter lange Testanlage gebaut, die es erlaubt, die Eigenschaften der kompletten Leiterkabel, aber auch der einzelnen Leiterdrähte zu untersuchen. Die in den Stromleitungen verwendete Speziallegierung namens Aldrey besteht zu 99 Prozent aus Aluminium, zu 0,5 Prozent aus Magnesium und zu 0,5 Prozent aus Silizium. Der Vorteil dieser Leiter: Sie sind sehr leitfähig, dabei korrosionsresistenter und zugfester als reines Aluminium, sie sind bei gleicher Zugfestigkeit aber auch leichter als die stahlverstärkten Leitungen der Nachbarländer.

Die Kapazität des heutigen Stromnetzes wird durch mehrere Faktoren begrenzt. Zunächst einmal weiss man nicht, wo die wirkliche Belastungsgrenze der Leitungen ist, sie wird lediglich geschätzt. Konkrete Zahlen und Analysen gab es bislang nicht. Mit der Empa-Anlage konnten die Aldrey-Drähte nun erstmals über 20 000 Stunden lang bei Temperaturen zwischen 0 und 150 Grad untersucht werden. Bei Temperaturen unter 100 Grad stellten Holdsworth und sein Team keine beschleunigten Alterungsprozesse und keinen erhöhten elektrischen Widerstand fest. Steigt die Temperatur auf über 100 Grad, nimmt der elektrische Widerstand und mit ihm der Leitungsverlust zu, solange die Kabel heiss sind. Zugleich altern die Kabel schneller, die Festigkeit der Aldrey-Legierung lässt dauerhaft nach.

Ein wichtiges Problem im Schweizer Stromnetz ist das allmähliche Durchhängen der Hochspannungskabel. Diese Art der Verformung ist nicht reversibel, was bedeutet, wenn sie einmal durchhängen, müssen sie durch einen Reparaturtrupp nachgespannt werden. Auch das Durchhängen hat mit der thermischen Vergangenheit der Leitungen zu tun: Wie lange hängt die Leitung schon am Mast – und wie heiss ist sie über welchen Zeitraum geworden? Im Empa-Labor haben die Forschenden weit verbreitete Leiter mit einem Durchmesser von drei Zentimeter, bestehend aus 61 einzelnen Drähten, untersucht, um die vorausberechneten Werte über das Durchhängen zu verifizieren. Dabei wurde das Durchhäng-Verhalten während 2000 Stunden und bei Temperaturen bis zu 80 Grad analysiert. Aluminium – also auch die Aldrey-Legierung – neigt im Vergleich zu anderen Metallen schon bei tiefen Temperaturen zum «Kriechen». Die Drähte verlängern sich im Lauf der Zeit, sodass sich der Durchhang der Leitung vergrössert und der Abstand vom Boden abnimmt.

Zwei verschiedene, an der Empa entwickelte Messmethoden könnten künftig Hinweise liefern, wann eine Leitung ihre Altersgrenze erreicht hat. Bei der «Offline-Messung» wird ein Stück der Leitung herausgeschnitten und auf ihre mechanische Härte geprüft. Anhand eines Vergleichs mit einem Referenzstück kann so der Zustand, also auch die Alterung, exakt bestimmt werden.

Die «Online-Messung» kann den Alterungsprozess sogar aus Widerstandsmessungen der Leitung im Betrieb ermitteln. Dadurch wird eine Fernüberwachung alternder Leitungen möglich. Die Resultate der Messungen können helfen, das bestehende Schweizer Stromnetz besser zu nutzen und zugleich instand zu halten. Nun hat die Suche nach einem Industriepartner begonnen, mit dem das Konzept zur Zustandsüberwachung von Hochspannungsleitungen zur Marktreife entwickelt werden kann. //

Der Pilz, dein Freund und Helfer

Jeder Schädling hat einen natürlichen Gegenspieler. Gegenseitig halten sie sich in Schach. Davon liess sich Empa-Forscher Francis Schwarze inspirieren: Mit dem geeigneten Nützlich können Bäume, aber auch verarbeitetes Holz vor Pilzschädlingen geschützt werden.

TEXT: Martina Peter / FOTOS: Empa

Eine halbe Million Telefonmasten aus Holz stehen in der Schweiz. Sie sind einfach zu errichten und halten ohne grossen Unterhalt bis zu 35 Jahre. Allerdings muss das Schweizer Telekomunternehmen Swisscom jedes Jahr bis zu 5000 Masten ihrer Festnetzinfrastruktur ersetzen; etliche davon wurden durch Pilzbefall marod. Die Masten sind zwar mit Bioziden wie Kupfer imprägniert, doch das ist wirkungslos, wenn kupferresistente Pilze das Kupfer mittels Oxalsäure umwandeln und das Holz zerstören – die Masten müssen dann wesentlich früher als geplant ersetzt werden.

Holz-, Baum- und Pilzforscher Francis Schwarze von der Empa hat nun ein Mittel gefunden, um die Holzmasten auch vor kupferresistenten Pilzen zu schützen: Ein anderer Pilz, ein natürlicher Gegenspieler der Holz zersetzenden Pilze, kann – wenn frühzeitig eingesetzt – die Oxalsäurebildung hemmen und dem Mast-Zermürber den Garaus machen. «Pilze in der Natur halten sich gegenseitig im Zaum», erklärt Schwarze. In einem Wald funktioniere das von allein: «Für einen Pilz, der Holz zerstört, gibt es einen Gegenspieler, der ihm Einhalt gebietet. So erhält sich das Gleichgewicht in der Natur», erklärt Schwarze. Bei Bäumen und Holzkonstruktionen, die ausserhalb ihres natürlichen Habitats gepflanzt oder aufgebaut werden, gerät dieses Gleichgewicht ausser Kontrolle – der Schädling kann sich ungehindert ausbreiten.

Vor allem in der Stadt und in Parks gepflanzte Bäume, in deren Böden wenig mikrobielle Vielfalt vorherrscht, werden an den Wurzeln von Pilzen wie etwa dem Wulstigen Lackporling oder dem Hallimasch befallen. Dadurch können sie ihren sicheren Stand verlieren und brüchig werden. Nicht wenige sterben durch derartige Infektionen gar komplett ab. Mit den oft sehr alten, lokal

Pilzforscher Francis Schwarze mit dem Granulat, das rund um befallene Bäume gestreut werden kann. Im Granulat steckt der Gegenspieler des Schadpilzes.



bedeutsamen Bäumen und den sie befallenden Pilzen hat Schwarze eine Marktnische entdeckt, mit der er sich in den letzten Jahren intensiv auseinandersetzte. In seiner Freizeit beriet er Grünflächenämter in Europa, Australien oder Asien, wie sie Bäume, die von Pilzen befallen sind, mit massgeschneiderten Pflanzenstärkungsmitteln wieder fit machen können.

Zuerst hiess es für Schwarze, den Schadenerreger am Baum zu isolieren und zu identifizieren. Danach musste er «nur noch» einen natürlichen Gegenspieler finden und aus ihm ein Produkt – ein Granulat – entwickeln, das die Baumpfleger im Erdreich rund um die befallenen Wurzeln der Bäume austreuen konnten. Schwarze erzählt, dass es dabei zuweilen sehr emotional zu- und hergehe: «Ich habe erlebt, dass gestandene Baumpfleger geweint haben, wenn behandelte Bäume plötzlich wieder neue Wurzeln ausgeschlagen haben.»

Einen natürlichen Gegenspieler finden

Im Vordergrund stand für Schwarze immer das Wissen über die Pilze, das er fortwährend in seine Forschungsarbeit an der Empa einfließen lässt. Mit der Zeit reifte bei ihm jedoch der Entschluss, das Know-how auch zu vermarkten. Nicht nur der Zustand von Bäumen liess sich bei Pilzbefall verbessern. Er stellte fest, dass auch verbautes Holz vorbeugend geschützt werden konnte, so lange es noch nicht in seiner Struktur zerstört ist. Schwarze gründete deshalb in St. Gallen mit Unterstützung von Startfeld, dem Innovationsnetzwerk der Region St. Gallen-Bodensee, ein Spin-off. Das Jungunternehmen MycoSolutions will weitere Produkte aus Nützlingen entwickeln, die als Pflanzungsstärkungsmittel, Düngemittel im Biolandbau oder zur biologischen Kontrolle von Holz zerstörenden Pilzen eingesetzt werden können. Erste Erfolge verzeichnete das Spin-off mit massgeschneiderten Produkten für wertvolle exotische Bäume in norditalienischen Parks und Gärten, die von Holz zerstörenden Pilzen befallen waren. MycoSolutions



Ein hölzerner Telefonmast, von Pilzen gefällt. Mit geeigneten, ungiftigen Gegenmitteln lässt sich die Lebensdauer deutlich verlängern.

analysiert die von den Baumpflägern zugestellten Proben von der Schadstelle eines Baums, isoliert den Erreger und wertet ihn aus, um dann den passenden Antagonisten gewissermassen masszuschneiden.

Längeres Leben für Telefonmasten

Mit dem Vorschlag, Telefonmasten mit Pilzen gegen Pilzbefall zu behandeln, wurde Schwarze schliesslich bei der Swisscom vorgestellt. Deren Interesse an umweltfreundlichen Behandlungen war gross. Das Telekomunternehmen war bereit, zusammen mit der Empa und MycoSolutions ein Projekt bei der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) einzureichen, um herauszufinden, ob und wie sich die Lebensdauer von Holzmasten dank biologischer Kontrolle nicht nur halten, sondern sogar verlängern lässt.

Nachdem das KTI-Projekt erfolgreich abgeschlossen war, hat sich die Swisscom nun an einem erweiterten Feldversuch beteiligt. Sie plant, das Mittel bei Anzeichen auf Pilzbefall proaktiv im Erdreich rund um die betroffenen Telefonmasten einzusetzen. 2400 Beutel davon sind bei MycoSolutions bestellt und sollen im Sommer 2017 zum Einsatz kommen. //

Hölzerne Telefonmasten sind in ländlichen Gegenden noch immer weit verbreitet, wie hier in der Nähe von Stein am Rhein.

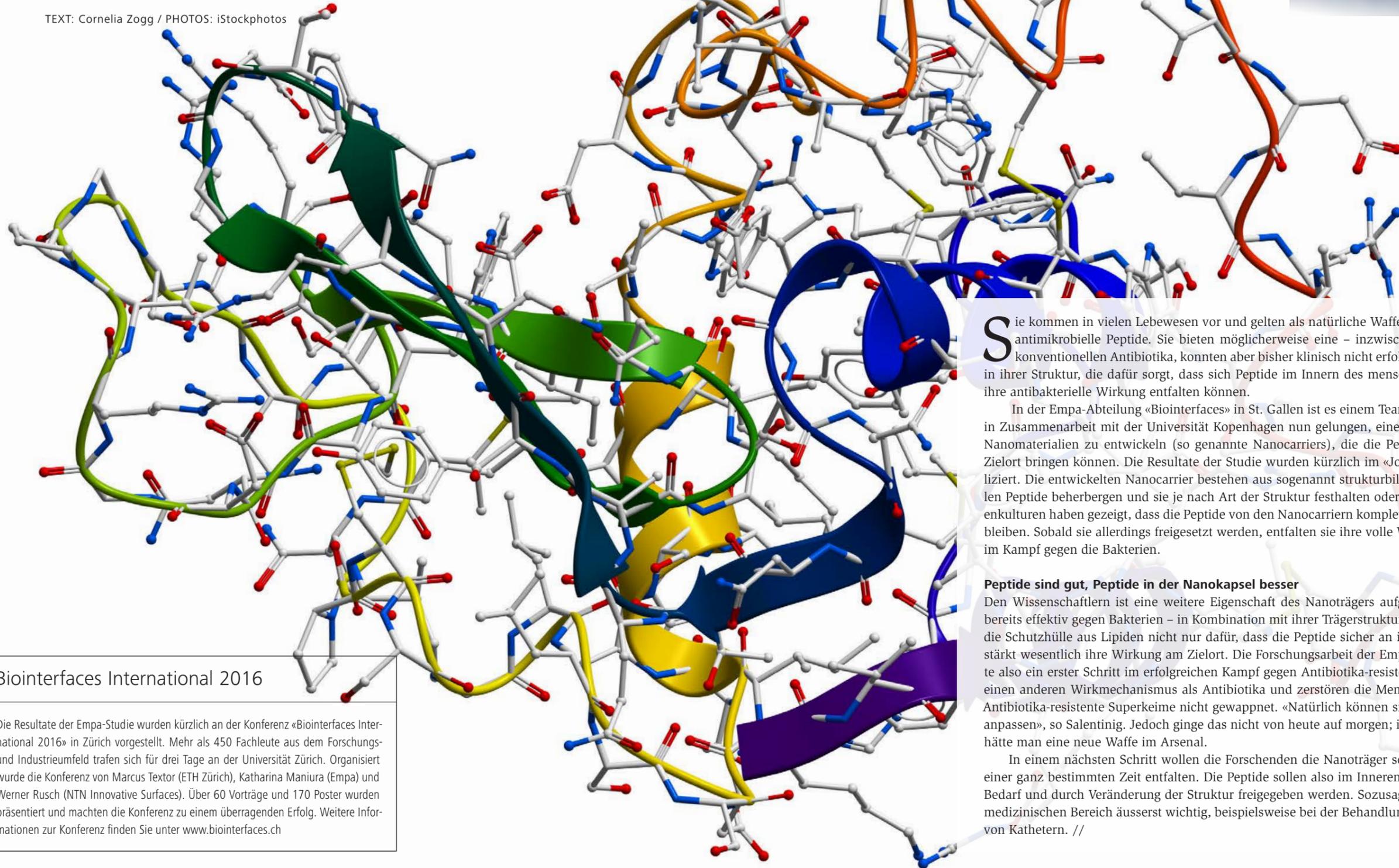
Markteintritt und Aufbau der Produktion

Im Frühjahr 2016 stiess Reto Vincenz, Betriebsökonom mit langjähriger Erfahrung in Industrieunternehmen und einem eigenen Start-up, als CEO zu MycoSolutions und übernahm die operative Führung des Jungunternehmens. Mit einer Anschubfinanzierung, an der sich Vincenz und Swisscom Ventures (die Risikokapitalpartie der Swisscom-Gruppe) beteiligten, wird der Firma MycoSolutions nun der internationale Markteintritt und das Hochfahren der Produktion ermöglicht.

Neue Waffe gegen Superkeime

Verschiedene Peptide wirken antibakteriell – nur werden sie im menschlichen Körper viel zu schnell zersetzt. Empa-Forschernden ist es gelungen, Peptide in eine Art Schutzmantel zu hüllen, der ihre Lebensdauer im menschlichen Körper verlängern könnte. Ein wichtiger Schritt, denn Peptide könnten die Lösung sein im Kampf gegen Antibiotika-resistente Bakterien.

TEXT: Cornelia Zogg / PHOTOS: iStockphotos



Biointerfaces International 2016

Die Resultate der Empa-Studie wurden kürzlich an der Konferenz «Biointerfaces International 2016» in Zürich vorgestellt. Mehr als 450 Fachleute aus dem Forschungs- und Industrieumfeld trafen sich für drei Tage an der Universität Zürich. Organisiert wurde die Konferenz von Marcus Textor (ETH Zürich), Katharina Maniura (Empa) und Werner Rusch (NTN Innovative Surfaces). Über 60 Vorträge und 170 Poster wurden präsentiert und machten die Konferenz zu einem überragenden Erfolg. Weitere Informationen zur Konferenz finden Sie unter www.biointerfaces.ch



Peptide können Bakterien töten und dadurch Antibiotika ersetzen. Ein Wachstumsversuch in einer Petrischale liefert Hinweise.

Sie kommen in vielen Lebewesen vor und gelten als natürliche Waffe gegen Bakterien im Körper: so genannte antimikrobielle Peptide. Sie bieten möglicherweise eine – inzwischen dringend benötigte – Alternative zu konventionellen Antibiotika, konnten aber bisher klinisch nicht erfolgreich eingesetzt werden. Der Grund liegt in ihrer Struktur, die dafür sorgt, dass sich Peptide im Innern des menschlichen Körpers zersetzen, noch ehe sie ihre antibakterielle Wirkung entfalten können.

In der Empa-Abteilung «Biointerfaces» in St. Gallen ist es einem Team unter der Leitung von Stefan Salentinig in Zusammenarbeit mit der Universität Kopenhagen nun gelungen, eine Art Shuttlesystem aus flüssigkristallinen Nanomaterialien zu entwickeln (so genannte Nanocarriers), die die Peptide schützen und somit sicher an den Zielort bringen können. Die Resultate der Studie wurden kürzlich im «Journal of Physical Chemistry Letters» publiziert. Die entwickelten Nanocarrier bestehen aus sogenannt strukturbildenden Lipiden, welche die antibakteriellen Peptide beherbergen und sie je nach Art der Struktur festhalten oder abgeben können. Erste Tests mit Bakterienkulturen haben gezeigt, dass die Peptide von den Nanocarriern komplett eingeschlossen werden und somit stabil bleiben. Sobald sie allerdings freigesetzt werden, entfalten sie ihre volle Wirkung und zeigen sich äusserst effektiv im Kampf gegen die Bakterien.

Peptide sind gut, Peptide in der Nanokapsel besser

Den Wissenschaftlern ist eine weitere Eigenschaft des Nanoträgers aufgefallen. Peptide wirken im «Alleingang» bereits effektiv gegen Bakterien – in Kombination mit ihrer Trägerstruktur allerdings wesentlich effektiver. So sorgt die Schutzhülle aus Lipiden nicht nur dafür, dass die Peptide sicher an ihren Wirkort gelangen, sondern verstärkt wesentlich ihre Wirkung am Zielort. Die Forschungsarbeit der Empa und der Universität Kopenhagen könnte also ein erster Schritt im erfolgreichen Kampf gegen Antibiotika-resistente Bakterien sein, denn Peptide nutzen einen anderen Wirkmechanismus als Antibiotika und zerstören die Membran der Bakterien. Dagegen sind selbst Antibiotika-resistente Superkeime nicht gewappnet. «Natürlich können sich die Bakterien irgendwann auch daran anpassen», so Salentinig. Jedoch ginge das nicht von heute auf morgen; im Kampf gegen multiresistente Bakterien hätte man eine neue Waffe im Arsenal.

In einem nächsten Schritt wollen die Forschenden die Nanoträger so strukturieren, dass sie ihre Wirkung zu einer ganz bestimmten Zeit entfalten. Die Peptide sollen also im Inneren der Nanostruktur geschützt und erst bei Bedarf und durch Veränderung der Struktur freigegeben werden. Sozusagen auf Knopfdruck. Das ist vor allem im medizinischen Bereich äusserst wichtig, beispielsweise bei der Behandlung von offenen Wunden oder dem Einsatz von Kathetern. //

Auf der Spur der Zementformel

Empa-Betonspezialistin Barbara Lothenbach.



TEXT: Cornelia Zogg / FOTOS: Empa, privat

Spricht man von Zement, dann meist über seine Masse und Stabilität und seine zahlreichen Einsatzmöglichkeiten. Den Begriff Umwelt assoziieren die Wenigsten mit dem grauen Baustoff. Ganz anders Barbara Lothenbach, Forscherin an der Abteilung «Beton und Bauchemie» der Empa. Für sie ist Zement mehr als nur ein gewöhnliches Baumaterial und vor allem: Er lässt sich optimieren – sowohl materialtechnisch als auch ökologisch. Denn: Zwischen fünf und acht Prozent des weltweiten CO₂-Ausstosses sind auf die Zementproduktion zurückzuführen. «Der am häufigsten verwendete Zement, der Portlandzement, wird aus Kalkmergel, einem Gemisch von Kalk und Lehm, in einem Brennprozess bei ca. 1450 °C hergestellt. Das ergibt Zementklinker, der dann gemahlen und mit Gips vermischt wird», erklärt Lothenbach. Und Kalkstein enthält grosse Mengen an gebundenem CO₂, das beim Brennen in die Atmosphäre entweicht. Es ist aber just das im Kalkstein enthaltene Kalziumoxid, das dem Portlandzement viele seiner hervorragenden Eigenschaften verleiht.

Als ausgebildete Umweltchemikerin interessiert Lothenbach daher vor allem, wie Emissionen verringert werden können, unter anderem, indem man Zementklinker durch alternative Materialien wie Flugasche aus der Kohleverbrennung oder Schlacke aus den Eisenhochöfen ersetzt. Flugasche und Schlacke enthalten jedoch weitaus mehr Aluminium als Portlandzement, und dieses verringert wiederum die Festigkeit und Dau-

erhaftigkeit des Zements. Zudem reagieren verschiedene Zementarten ganz unterschiedlich auf Umwelteinflüsse wie Wasser, Wind, Temperatur oder – beispielsweise im Tunnelbau – die Zusammensetzung des Grundwassers. Lothenbach: «Je besser wir diese Zusammenhänge auf chemischer Ebene verstehen, umso effizienter und vor allem umweltschonender können wir Zement herstellen und in der Praxis einsetzen, etwa Zement mit einem höheren Anteil an Flugasche, Schlacke oder anderen viel versprechenden Materialien wie calcinierten Tonen oder sogar ungebranntem Kalkstein.»

Doch selbst wenn neue Zementarten eine gute Festigkeit und Dauerhaftigkeit zeigen, ist der Weg in die Praxis lang und benötigt den Nachweis, dass diese Zemente auch allen Einflüssen standhalten können. Welcher Ingenieur will schon seine Brücke mit Materialien bauen, über die noch keine Erfahrungswerte vorliegen? Während die Industrie beim Portlandzement auf eine mehr als hundertjährige Erfahrung zurückblicken kann, muss das Wissen über derartige neue Materialien noch erweitert werden, vor allem was das Langzeitverhalten betrifft.

Betonmischung am Computer

Die Chemie und vor allem die Modellierung chemischer Reaktionen am Computer können dabei helfen, gewisse Zusammensetzungen mit ungeeigneten Eigenschaften bereits von vornerein auszuschliessen und Vorhersagen zu treffen, wie sich der Zement in unterschiedlichen Situationen und über



Idylle mit Know-how: die gelernte Umweltchemikerin bewirtschaftet ihren Garten mit geplanten Fruchtfolgen.

die Dauer von mehreren Jahren verhalten wird. Dazu nutzt Lothenbach eine riesige Datenbank, die das Verhalten und die wechselseitigen Interaktionen unzähliger chemischer Bestandteile enthält. Sie variiert die Mischung am Computer und kann dann via Simulation berechnen, wie sich unterschiedliche Mischungen unter realen Umständen verhalten. Dafür ist es unerlässlich, die Eigenschaften sämtlicher Zementbestandteile im Detail zu kennen und zu wissen, wie sie miteinander interagieren. Ein Wissen, das sich Lothenbach in langjähriger Forschungsarbeit an der Empa erarbeitet hat und sie zu einer der weltweit führenden Forscherinnen im Bereich Zementchemie macht.

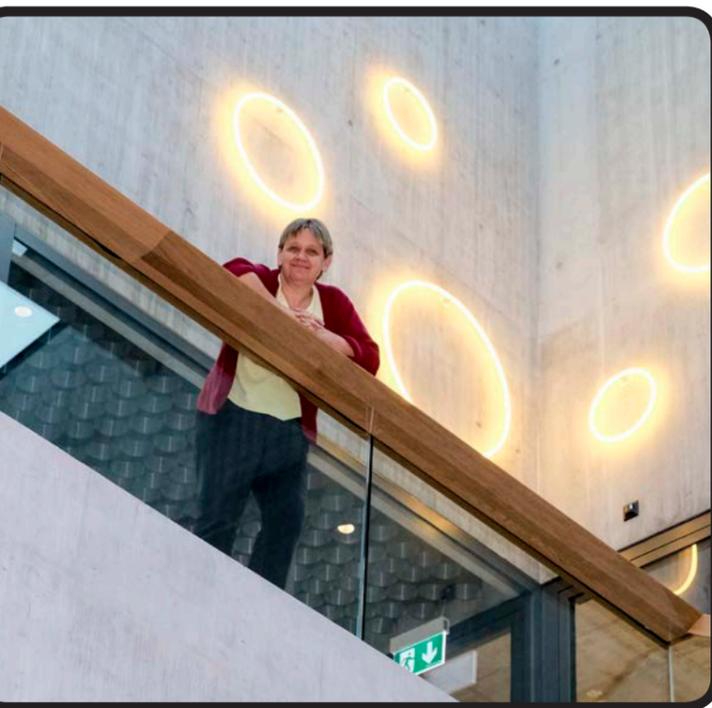
Auch die Industrie ist aktiv daran, weitere Ersatzmaterialien nebst Flugasche und Schlacke zu finden. Vor allem Zemente auf Basis von Kalziumsulfaluminaten sind in Entwicklung. Der daraus entstehende Zement hat durchaus Vorteile: Er benötigt im Vergleich zum Portlandzement weniger Kalkstein in der Herstellung und wird bei ca. 200 °C tieferen Temperaturen gebrannt. Dadurch sinken die CO₂-Emissionen; allerdings kann der Zement bei falscher Zusammensetzung eine Volumenausdehnung zeigen, was in einem Bauwerk eine Rissbildung zur Folge hätte, wie Lothenbach erklärt. Sie betreibt mit ihrem Team nämlich nicht nur Grundlagenforschung, sie arbeitet gemeinsam mit ihren Kollegen auch regelmässig mit Industriepartnern zusammen, die ihr Produkt optimieren oder gegen bestimmte Probleme wappnen möchten. Eines dieser Industrie-

projekte befasst sich mit Magnesiumphosphat-Zement, der einerseits als Reparaturmörtel eingesetzt werden kann und andererseits als Lebensmittelzusatzstoff, in der Zahnmedizin sowie als Knochenersatz.

Feinarbeit für grosse Bauten

Zement ist also nicht einfach nur Zement. Aber ob er nun in Brücken, Häusern, Staudämmen, unterirdischen Abwasserkanälen oder zur Stabilisierung in Atommülldeponien genutzt wird – schliesslich und endlich ist alles reine Chemie. Nur denkt man beim Anblick einer massiven Autobahnbrücke nicht als erstes an die kleinsten Teile im Beton, die für dessen Standhaftigkeit verantwortlich sind. «Wir haben natürlich auch Betonmischer hier in unserer Forschungsabteilung», erklärt Barbara Lothenbach. «Aber damit haben wir in meinem Team nicht direkt zu tun.» Ihre Arbeit geschieht im Labor – in kleinen Reagenzgläsern und mit Proben im Gramm-Massstab – und am Computer, wo sie mit Hilfe von Simulationsprogrammen Voraussagen trifft, die sie dann in Labortests überprüft.

Dieses Wechselspiel zwischen Laborforschung und Computersimulation birgt zahlreiche Vorteile. Indem Lothenbach die Ergebnisse der Simulationen mit Labortests vergleicht, kann sie Verlässlichkeit und Aussagekraft der Datenbank stetig weiter verbessern. Die Labortests wiederum eröffnen Lothenbach weiteren Spielraum, etwa wenn es darum geht, für die Industrie die Funktionsfähigkeit neuer Mischungen zu unter-



suchen oder neue Kombinationen zu evaluieren. «Die Computersimulation profitiert von unserer Laborerfahrung und umgekehrt», so Lothenbach.

Neben der Mischung aus empirischer (Labor-)Forschung und virtueller Simulation ist es der Wechsel zwischen Industrieprojekten und Grundlagenforschung, den Lothenbach an ihrer Arbeit besonders schätzt. «Die Arbeit an der Empa ist dadurch wahnsinnig abwechslungsreich.»

Ganz im Gegensatz zu ihrem ersten Eindruck, den sie als

Studienanfängerin von ihrem Biologie-Studium in Zürich bekam. Sie musste unter anderem lernen, wie man Insekten auf Nadeln spiest, um sie zu katalogisieren. «Dabei stellte ich fest, dass sich das Biologie-Studium – zumindest damals – zu sehr auf die Systematik der belebten Natur beschränkte, anstatt auch Themen wie Ökologie und Umweltschutz zu behandeln.» Sie wollte den Dingen auf den Grund gehen, sie verstehen und dann so verändern, dass sie der Umwelt von Nutzen sind. Und so hat sie ein Jahr später auf Umweltchemie umgesattelt, eine Entscheidung, die sie nie bereut hat.

Ein Garten voller Wissen

Obwohl ihre berufliche Leidenschaft nun dem Zement gilt, pflegt sie auch ihre Liebe zum Boden, den Pflanzen und anderen Lebewesen weiter. Ihr grösstes Hobby ist ihr Garten, bei dem dann doch auch ab und an die Wissenschaftlerin in ihr durchbricht. So erstellt sie etwa regelmässig Pläne, welche Pflanzen sie in welchem Jahr wo angebaut hat, um eine gute Fruchtfolge zu gewährleisten – ganz wie unsere Vorfahren, die die Ernte immer abwechselnd auf unterschiedlichen Feldern einbrachten. Ähnlich wie neuartige Bestandteile des Zements sind auch Pflanzen nicht immer glücklich miteinander. «Manche Pflanzen sind gute Nachbarn, andere müssen weit voneinander entfernt gepflanzt werden. Die eine mag trockenen Boden, die andere hat es gern schattig und feucht», sagt Lothenbach.

Und was Schnecken für Gartenpflanzen, sind die äusseren Einflüsse für den Zement. Etwa Sulfat im San-Bernardino-Tunnel oder im Grundwasser, das die Zementrohre zersetzt. «In meinem Garten muss ich wissen, wo die Schnecken sind, und dort robuste Pflanzen einsetzen.» Ebenso muss der Zement den Anforderungen seiner jeweiligen Umgebung gewachsen sein, sprich: Das Grundrezept der Zementmischung muss den äusseren Einflüssen angepasst werden.

Ganz weg von der Biologie kam die nun ausgezeichnete Forscherin – übrigens nur eine von drei «Distinguished Senior Researchers» an der Empa – dann also doch nicht. Mit dem Unterschied, dass sie die einzelnen chemischen Bestandteile «ihres» Zements nicht nur systematisch in- und auswendig kennt, sondern sie auch entsprechend einsetzen kann, um gewisse Prozesse und Eigenschaften zum Positiven zu verändern. Während sie zum Beispiel die Farbe ihrer Kartoffeln nicht beliebig beeinflussen kann, kann sie doch zumindest deren Umgebung so optimal wie möglich gestalten. Beim Zement ist es hingegen gerade umgekehrt: Sie kann die Zementmischung so verändern, dass er sich perfekt an eine bestimmte Umgebung anpasst.

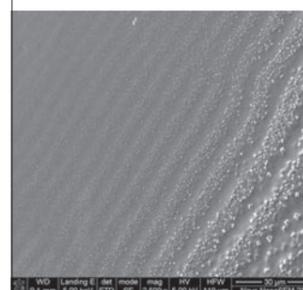
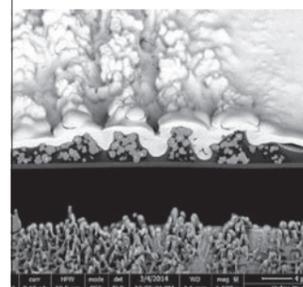
Mit ihrem breiten Wissensspektrum in diesem Fachgebiet ist sie für Experten aus Industrie und Forschung seit Jahren eine wichtige Ansprechpartnerin. Dafür ist die gute Zusammenarbeit mit weiteren Experten in der Abteilung sowie die hervorragende Forschungsinfrastruktur an der Empa und in der Schweiz mitverantwortlich. Der technische Fortschritt ermöglicht es Lothenbach, ihr Wissen immer weiter auszubauen und Grundlagen für weitere zukünftige und womöglich effizientere und ökologischere Methoden zu schaffen, Zement nicht nur herzustellen, sondern auch zu verarbeiten. Denn letzten Endes gilt beim Zement wie bei ihren Gartenpflanzen: Die Chemie muss stimmen. //



Video
«Introduction to
cement chemistry»

<https://www.youtube.com/watch?v=L4OLBNXMDHk>

Ringstrukturen, die sich von selber bilden



Konzentrische Liesegang-Ringe, wie sie an der Empa hergestellt wurden.

DOI:10.1039/C6SM01564F

«Wir produzieren schöne, regelmässige Mikromuster – ohne Stift, Pinsel oder Drucker», sagt Empa-Wissenschaftlerin Rita Toth. Gemeinsam mit Kollegen der Universität Basel und der «University of Technology and Economics» in Budapest hat sie chemische Vorgänge untersucht, die ganz von allein mikroskopisch kleine konzentrische Ringstrukturen ausbilden. Damit liessen sich zum Beispiel Fresnel-Linsen herstellen, die früher in Leuchttürmen das Licht bündelten und heute – als Mikro-Bauteil – in der Glasfaser-Datenübertragung sehr nützlich sind. Die selbstentstehenden Mikroringe könnte man auch nutzen, um Katalysatoroberflächen gleichmässiger und wirkungsvoller zu beschichten.

Die chemische Basis für die selbstbildenden Ringstrukturen sind die sogenannten Liesegang-Ringe, benannt nach dem deutschen Chemiker und Fotopapierfabrikanten Raphael Liesegang, der sie 1896 erstmals beschrieb. Mit modernsten Analysemethoden hat nun die Empa-Forschungsgruppe in ihren Labors und am Synchrotron-Beschleuniger des Paul-Scherrer-Instituts den bislang noch immer nicht gänzlich verstandenen Entstehungsprozess der Liesegang-Ringe im Detail untersucht und dabei Unerwartetes entdeckt: Toth und ihre Kollegen beobachteten, dass sich die Grösse der Ringe durch eine Veränderung der Chemie nahezu beliebig einstellen lässt. Abstände zwischen den Ringen von einem Tausendstel- bis zu einem Hundertstelmillimeter sind möglich. Bemerkenswert ist dabei, dass sich die Ringe voneinander unabhängig formieren. Die Wissenschaftler konnten erstmals erklären, nach welchen Prinzipien sich Liesegang-Ringe bilden. Die Bildung geschieht nach der sogenannten Cahn-Hilliard-Dynamik, die eine voranschreitende Front einer chemischen Reaktion beschreibt. Hinter der Front entsteht dann ein homogener Niederschlag, der sich periodisch anordnet – die sichtbaren Ringe. Damit könnte das Phänomen nun erstmals in Reichweite einer kommerziellen Nutzung für preiswerte optische Strukturen und Beschichtungen kommen.



Fresnel-Linse des ehemaligen Leuchtturms Point Arena, Mendocino County, Kalifornien. Foto: Frank Schulenburg / Wikimedia.

Empa-Know-how im «Magic Tent»

Seit Dezember 2016 ist das vom Start-up Polarmond entwickelte All-In-One-Schlafsystem lieferbar. Im Magic Tent herrscht, dank eines speziellen Entfeuchtungsmanagements und raffinierter Temperaturregulierung, stets ein angenehmes Klima. Abenteuer und Naturbegeisterte bekommen darin, bei bis zu minus 30 Grad, Schlafkomfort wie zuhause. Das patentierte Schlafsystem vereint die herkömmlichen Funktionen von Schlafsack, Vapour Barrier Liner (Dampfsperre), Isomatte und Zelt in einem Produkt. Der geräumige Schlafraum heizt sich lediglich durch die eigene Körperwärme auf. Das gelingt mit einer von der Empa und Polarmond gemeinsam entwickelten Hightech-Isolationsschicht, die aus einer bauschfähigen Synthetik-Füllung mit reflektierenden Schichten besteht. Weitere Problemstellungen waren, den Feuchtigkeitstransport nach aussen zu gewährleisten und die Isolationsschicht gleichzeitig trocken zu halten. Dies gelingt dank dem Schlaf-Raumkonzept, welches vollumfänglich mit einer Dampfsperre ausgelegt ist.

Unter www.polarmond.ch können die Produkte direkt bestellt werden.



Ausgezeichnete Flammschutzmittel

Der «Empa Innovation Award 2016» geht an den Chemiker Sabyasachi Gaan und sein Team.

Prämiert werden die Forscherinnen und Forscher für die Entwicklung eines ungiftigen und umweltfreundlichen Flammschutzmittels, das für die Produktion flammfester Polyurethan-Schäume eingesetzt werden kann. Diese stecken u.a. in Matratzen, Sitzpolstern und Isolationen für Hausfassaden. Der Preis wurde am «Empa Technology and Innovation Forum» verliehen.



Veranstaltungen

12. Januar 2017

Klebetchnik für PraktikerInnen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/klebettechnik

Empa, Dübendorf

18. Januar 2017

Additive Manufacturing – quo vadis?

Industry and Science

www.empa-akademie.ch/tbaddmanu

Empa, Dübendorf

5.–11. März 2017

30th Symposium on Surface Science 2017

Industry and Science

<http://3s17.empa.ch/>

Hotel Laudinella, St. Moritz, Switzerland

15. März 2017

8th VERT Forum

Industry and Government

www.empa-akademie.ch/vert

Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter

www.empa-akademie.ch

3. FACHKONGRESS

Energie + Bauen



Olma Messen, St. Gallen

Freitag, 12. Mai 2017, 9–18 Uhr

Online-Anmeldung unter

www.empa-akademie.ch/eub

