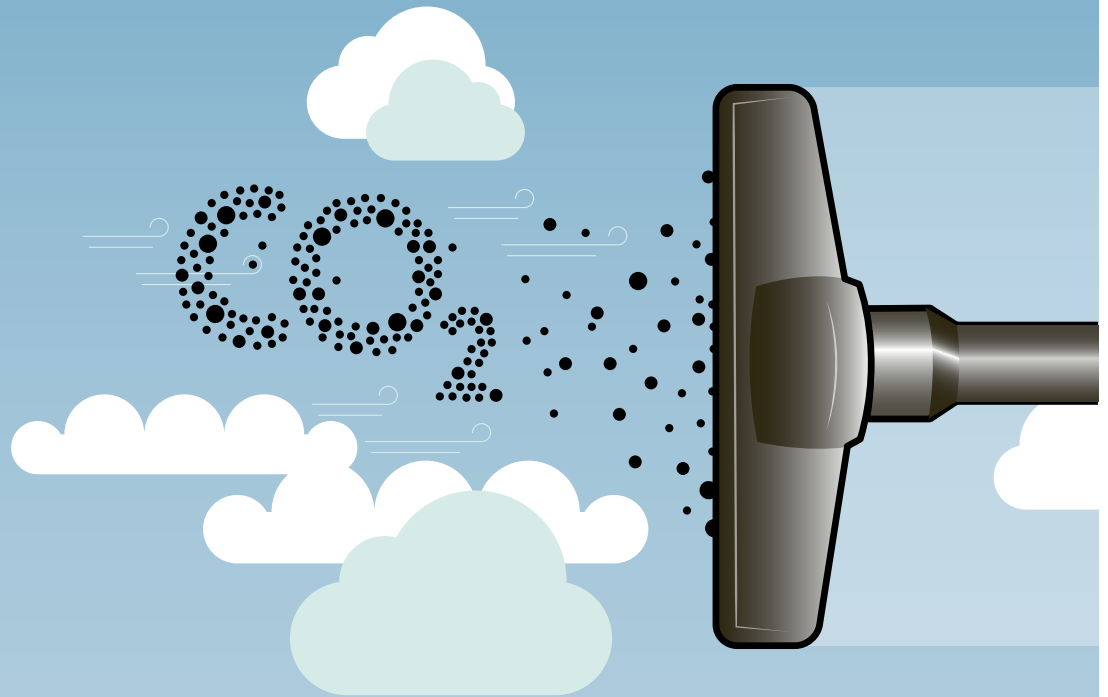


# Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #82 II DEZEMBER 2023

FOKUS

## MINING THE ATMOSPHERE



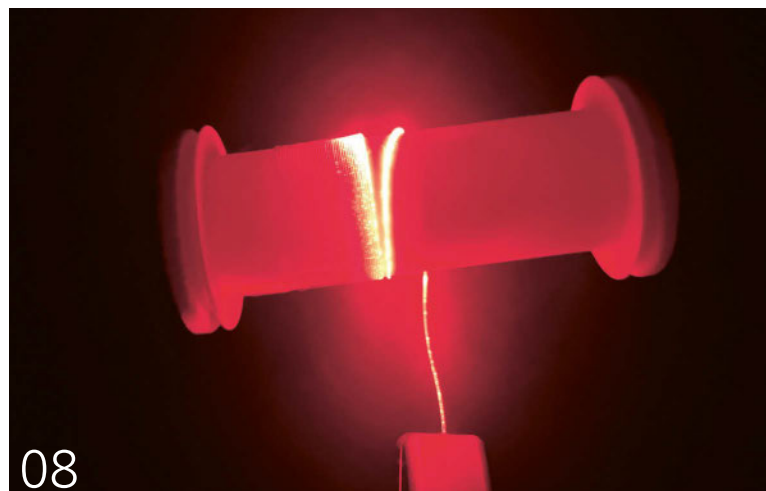
AEROGEL AUS ABFALL  
ARMIERUNG MIT POTENZIAL  
SCHUTZ FÜR EMPFINDLICHE HAUT

## [ INHALT ]

[ FOKUS: «MINING THE ATMOSPHERE» ]



15



08



22



28



26

## [ FOKUS ]

## 12 FORSCHUNGSMONITORING

Das grosse Reinemachen

## 15 INTERVIEW

Die CO<sub>2</sub>-bindende Gesellschaft als Ziel

## 18 BAUSTOFFE

Auf CO<sub>2</sub> bauen

## 22 PORTRAIT

Konsequent furchtlos

## 25 «BEYOND ZERO»

CO<sub>2</sub>-Fänger im NEST

## 26 ÖKOBILANZ

Effizienz ist Nebensache

## 28 WERTSCHÖPFUNG

Defekte erwünscht

## [ THEMEN ]

## 08 MEDIZINTECHNOLOGIE

Smarter Schutz für zarte Haut

## 32 BIOABBAUBARE MATERIALIEN

In Bier verpackt

## [ RUBRIKEN ]

## 04 WISSEN IM BILD

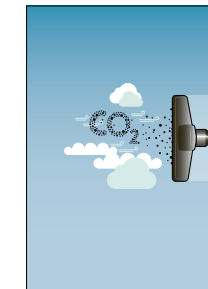
## 06 IN KÜRZE

## 30 ZUKUNFTSFONDS

Langlebige Lamellen

## 34 UNTERWEGS

## [ TITELBILD ]



Um den Klimawandel zu begrenzen, müssen wir nicht nur künftige, sondern auch historische Emissionen kompensieren. Die Idee vom «atmosphärischen Staubsauger» ist einfach, die Umsetzung aber alles andere als das. Die Empa forscht an konkreten Lösungen, wie man das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre weiterverarbeiten kann. Bild: Empa

## [ IMPRESSUM ]

**HERAUSGEBERIN** Empa

Überlandstrasse 129

8600 Dübendorf, Schweiz

www.empa.ch

**REDAKTION** Empa Kommunikation**ART DIRECTION** PAUL AND CAT.

www.paul-and-cat.com

**KONTAKT** Tel. +41 58 765 47 33

redaktion@empa.ch

www.empaquarterly.ch

**VERÖFFENTLICHUNG**

Erscheint viermal jährlich

**PRODUKTION**

anna.ettlin@empa.ch

myclimate  
neutral  
Drucksache  
myclimate.org/01-23-896145



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

## GROSS DENKEN

Liebe Leserin,  
lieber Leser

Ja, denn es ist auch eine enorme Aufgabe, die vor uns liegt: Über rund 200 Jahre haben wir die Atmosphäre mit CO<sub>2</sub> zugemüllt. Nun heisst es aufräumen. Das ist bei einem so verdünnten Spurengas wie Kohlendioxid alles andere als trivial; die derzeitige (rekordhohe) Konzentration ist gerade einmal 420 ppm, etwas mehr als ein Teilchen CO<sub>2</sub> auf 2'500 «Luftmoleküle». Da muss unser CO<sub>2</sub>-Staubsauger ganz schön viel Luft «filtern», um die rund 1'500 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> zu gewinnen, die wir der Atmosphäre insgesamt entziehen müssen. Und dann? Was tun mit dem CO<sub>2</sub>-Müll? Einfach in eine Art unterirdische Deponie? Dafür ist der «Rohstoff» eigentlich zu schade. Besser ist, den darin enthaltenen Kohlenstoff zu nutzen, um daraus wertschöpfende Produkte herzustellen. Denn irgendwie muss das Ganze ja finanziert werden. Das ist die Idee der neuen Empa-Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere». Die simple, technisch indes enorm anspruchsvolle Idee dahinter: Anstatt den Kohlenstoff für Polymere, Arzneimittel, Fasern, Treibstoffe und Co. aus Erdöl zu gewinnen, nutzen wir atmosphärisches CO<sub>2</sub> – und wirken so erst noch einer weiteren Klimaerwärmung entgegen. Neudeutsch «win-win». Bis wir die Korken knallen lassen können, ist allerdings noch einiges an Arbeit nötig. Der aktuelle Fokus gibt einen ersten Einblick in die zahlreichen Ansätze, die wir künftig umsetzen wollen. Denn nur wenn aus innovativen Ideen auch tatsächlich praxistaugliche Lösungen werden, können wir diese gigantische Herausforderung meistern. Daran arbeiten wir tagtäglich mit unseren Partnern aus Forschung und Industrie.

Eine anregende Lektüre!  
Ihr MICHAEL HAGMANN



«DU GRÜNST NICHT NUR ZUR SOMMERZEIT»

Der Weihnachtsbaum auf diesem Bild benötigt keine Kerzen. Er leuchtet ganz von selbst grün – dank Biolumineszenz. Empa-Forscher Francis Schwarze hat ein Verfahren für lumineszierendes Holz entwickelt, indem er Holzwürfel mit Pilzen behandelt. Die Pilzfäden eines Weissfäule-Erregers durchdringen das Holz und ernähren sich von Holzbestandteilen, wobei sie den lichterzeugenden Naturstoff Luciferin produzieren. Ähnlich wie bei Glühwürmchen sendet das funktionalisierte Holz so dank der lebenden Pilzfäden ein grünes Licht aus. Am Fuss des Baums türmt sich zudem leuchtender «Schnee». Hier wachsen die Pilze auf Zellulose-Fibrillen aus Holzresten. Wenn also im Pilzlabor abends das Licht ausgeht, erstrahlt der weihnachtliche Biolumineszenz-Tannenbaum in seiner ganzen Pracht.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:  
[www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)

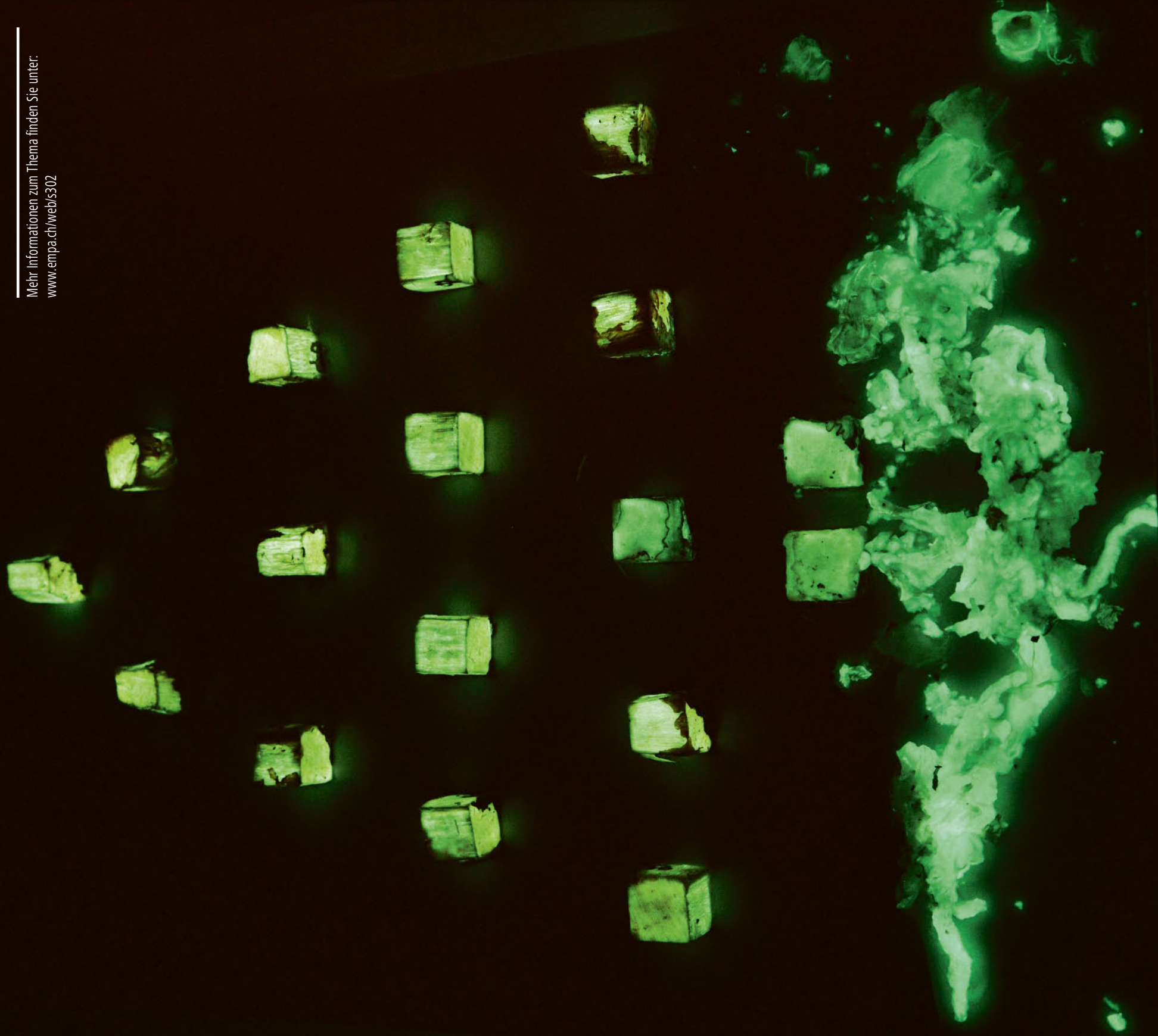


Foto: Empa



## TREIBHAUSGASE WELTWEIT ÜBERWACHEN

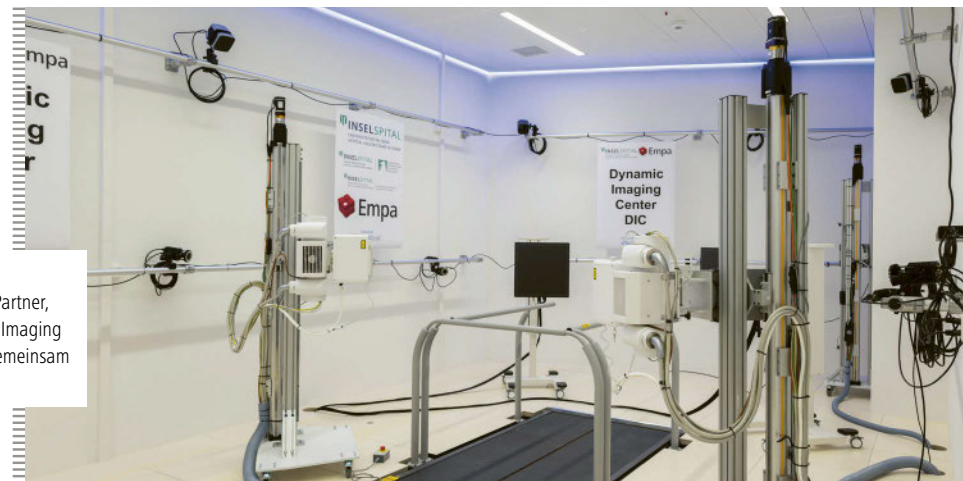


**MESSBAR**  
Ein globaler Datensatz zur Verteilung von Treibhausgasen in der Atmosphäre hilft Forschenden, den Klimawandel besser zu verstehen.

Um den Klimawandel besser zu verstehen, müssen wir die Konzentration und die Verteilung von Treibhausgasen in der Atmosphäre so genau wie möglich kennen. «Global Greenhouse Gas Watch» (GGGW) ist eine Initiative der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) für den Aufbau einer weltweiten Infrastruktur zur Messung und Überwachung von Treibhausgasen. Empa-Forschende aus dem Labor «Luftfremdstoffe / Umwelttechnik» sind daran massgeblich beteiligt. Zentral ist dabei das «Global Atmosphere Watch»-Programm der WMO. In diesem betreibt die Empa ein Weltkalibrationszentrum für die gasförmigen Komponenten. Die Empa führt unter anderem Audits durch und bietet Ausbildung und Unterstützung für Messstationen auf der ganzen Welt. Sie stellt damit sicher, dass alle Partner verlässliche und vergleichbare Daten liefern, und sie fördert den internationalen Wissensaustausch im Bereich der Atmosphärenforschung.

[www.empa.ch/web/s503](http://www.empa.ch/web/s503)

## BEWEGTE RÖNTGENBILDER: «DYNAMIC IMAGING CENTER» IN BERN ERÖFFNET



**EXPERTISE**  
Die Empa ist einer der Partner, die das neue «Dynamic Imaging Center» (DIC) in Bern gemeinsam aufgebaut haben.

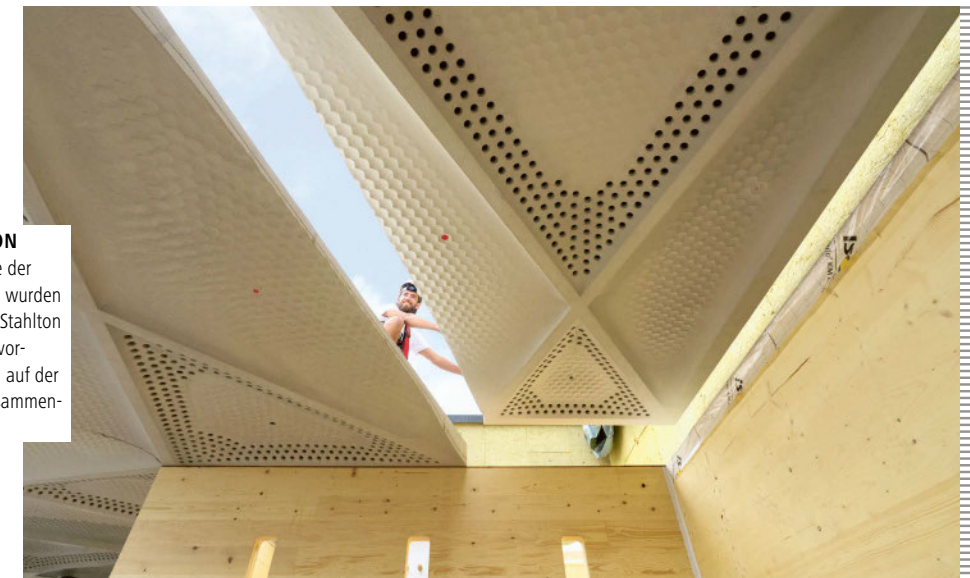
Anfang November wurde am sitem-insel, dem Schweizerischen Institut für Translationale Medizin und Unternehmertum, das «Dynamic Imaging Center» (DIC) eröffnet. Es wird als erstes massgeschneidertes Labor seiner Art in Europa in klinischer Umgebung betrieben. Hier können Röntgenaufnahmen von einem sich bewegenden Menschen gleichzeitig aus zwei verschiedenen Richtungen erstellt werden. Das ist europaweit einzigartig und ein Meilenstein in der Untersuchung von Erkrankungen des Bewegungsapparates. Das Zentrum ist eine Zusammenarbeit von sitem-insel, dem Inselspital, dem Universitätsspital Bern und der Empa.

[sitem-insel.ch](http://sitem-insel.ch)

Fotos: Adobe Stock, sitem

Fotos: ROK, Empa, Marion Nilsch

## STEP2: BAUSTART FÜR NEUE NEST-UNIT



**INNOVATION**  
Die Elemente der STEP2-Decke wurden im Werk der Stahlton Bauteile AG vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengesetzt.

Am Forschungs- und Innovationsgebäude NEST wird wieder gebaut. Die neue Unit nennt sich STEP2. Dafür haben Partner aus verschiedenen Disziplinen über drei Jahre Innovationen mit hohem Marktpotenzial entwickelt, die nun erstmals in einem realen Bauprojekt zur Anwendung kommen, etwa eine neuartige Rippen-Filigrandecke, eine digital gefertigte Betontreppe oder ein innovatives Fassadensystem. Fertiggestellt wird STEP2 voraussichtlich im Frühjahr 2024.

[www.empa.ch/web/s604/step2-baustart](http://www.empa.ch/web/s604/step2-baustart)

## «BRIGHT MINDS»: VON EMISSIONEN ZU INNOVATIONEN

Zukünftig soll überschüssiges, vom Menschen verursachtes CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre eingefangen und in wertbringende Werkstoffe wie Baumaterialien oder Polymere umgewandelt werden. Das ist das Ziel der neuen Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere» der Empa. Eine Spezialausgabe von «Bright Minds: Starke Ideen. Smarte Materialien.» widmet sich dieser ambitionierten Vision – vom CO<sub>2</sub>-Einfangen bis hin zur Umwandlung von Kohlenstoff in innovative Materialien. Den Auftakt macht Nathalie Casas, Leiterin des Departements «Energie, Mobilität und Umwelt», gemeinsam mit Peter Richner, Leiter des Departements «Ingenieurwissenschaften». In der ersten Folge beleuchten die beiden das Potential dieser vielversprechenden Vision, aber auch die Hürden und Knackpunkte.

[www.empa.ch/bright-minds](http://www.empa.ch/bright-minds)



**SPEZIALAUSGABE**  
«Mining the Atmosphere»





**SCHUTZBEDÜRFTIG**  
Babys, die zu früh auf die Welt kommen und ihre ersten Lebenstage auf der Intensivstation verbringen, haben empfindliche Haut. Empa-Forschende haben daher eine Matratze entwickelt, die Hautschäden verhindert.

# SMARTER SCHUTZ FÜR ZARTE HAUT

Foto: Universitäts-Kinderspital Zürich

Hautverletzungen durch anhaltenden Druck entstehen häufig bei Menschen, die ihre Position nicht selbstständig verändern können – etwa erkrankte Neugeborene im Spital oder ältere Menschen. Empa-Forschende bringen jetzt dank erfolgreicher Partnerschaften mit Industrie und Forschung zwei smarte Lösungen für das Wundliegen auf den Weg.

Text: [Andrea Six](#)

Längere Zeit zu viel Druck auf unserer Haut, nimmt sie Schaden. Zu den Bevölkerungsgruppen, die einem hohen Risiko für derartige Druckverletzungen ausgesetzt sind, gehören beispielsweise Menschen im Rollstuhl, Neugeborene auf der Intensivstation oder Betagte. Die Folgen sind Wunden, Infektionen und Schmerzen.

Die Behandlung ist aufwändig und teuer: Jährlich entstehen Gesundheitskosten

von rund 300 Millionen Schweizer Franken. «Darüber hinaus können bestehende Erkrankungen durch derartige Druckverletzungen verschlimmert werden», sagt Empa-Forscher Simon Annaheim vom «Biomimetic Membranes and Textiles»-Labor in St. Gallen. Nachhaltiger wäre es, so Annaheim, den Gewebeschäden vorzubeugen, um sie gar nicht erst entstehen zu lassen. Zwei aktuelle Forschungsprojekte unter Beteiligung der Empa bringen nun entsprechende Lösungen voran: Entwickelt wird hierbei eine druckausgleichende Matratze für Neugeborene auf der Intensivstation und ein textiles Sensorsystem für querschnittsgelähmte Personen und bettlägerige Menschen.

## OPTIMAL GEBETTET AM START DES LEBENS

Dabei sind die Ansprüche der Haut je nach Alter völlig unterschiedlich: Bei Erwachsenen stehen die Reibung der Haut auf der Liegefläche, physikalische Scherkräfte im Gewebe und eine fehlende Atmungsaktivität von Textilien als Risikofaktoren im Vordergrund. Die Haut von Neugeborenen, die intensivmedizinisch behandelt werden, ist dagegen per se äusserst empfindlich, jeder Flüssigkeits- und Wärmeverlust über die Haut kann zum Problem werden. «Während diese besonders verletzlichen Babys gesund gepflegt werden, sollte die Liegesituation keine zusätzlichen Komplikationen hervorrufen», so Empa-Forscher Annaheim. Dass herkömmliche Matratzen die Lösung für Neugeborene mit ganz unterschiedlichem Gewicht und verschiedenen Erkrankungen sein können, glaubt er nicht. Das Team um Annaheim sucht daher mit Forschenden der ETH Zürich, der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und dem Universitäts-Kinderspital Zürich nach einer optimalen Liegefläche für die zarte Kinderhaut. Diese Matratze müsste sich individuell an den Körper anpassen können, ▶



um Kindern bei einem schwierigen Start ins Leben helfen zu können.

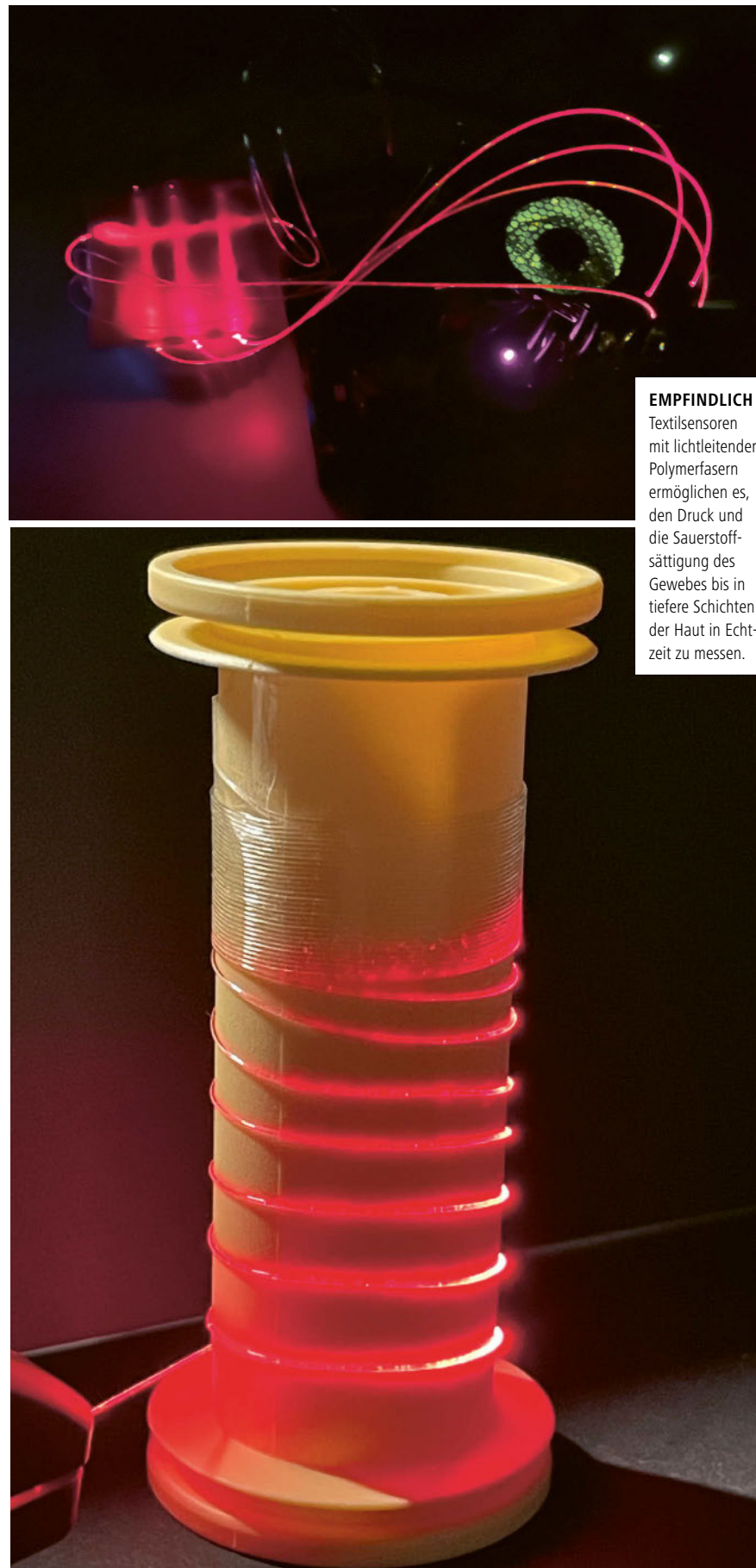
Hierzu ermittelten die Forschenden zunächst die Druckverhältnisse an den verschiedenen Körperregionen von Neugeborenen. «Unsere Drucksensoren haben gezeigt, dass Kopf, Schultern und untere Wirbelsäule die Zonen mit dem grössten Risiko für Druckstellen sind», sagt Annaheim. Diese Ergebnisse flossen in die Entwicklung einer luftgefüllten Matratze der besonderen Art ein: Ihre drei Kammern können mit Hilfe von Drucksensoren und einem Mikroprozessor über eine elektronische Pumpe präzise so befüllt werden, dass der Druck an den jeweiligen Stellen minimiert wird. Ein an der Empa entwickeltes Infrarot-Laser-Verfahren erlaubte es dabei, die Matratze aus einer flexiblen, mehrschichtigen und hautschonenden Polymermembran ohne störende Kanten zu erzeugen.

Nach einem mehrstufigen Entwicklungsprozess im Labor durften erste kleine Patientinnen und Patienten auf dem Prototyp der Matratze liegen. Der Effekt machte sich sofort bemerkbar, als die Forschenden die Matratze je nach den individuellen Bedürfnissen der Babys unterschiedlich stark mit Luft füllten: Gegenüber einer herkömmlichen Schaumstoffmatratze reduzierte der Prototyp den Druck auf die gefährdeten Körperstellen um bis zu 40 Prozent.

Nach dieser erfolgreichen Pilotstudie wird der Prototyp in den Empa-Labors nun weiter optimiert. Demnächst starten Simon Annaheim und Doktorand Tino Jucker eine grösser angelegte Studie mit der neuen Matratze mit der Abteilung für Intensivmedizin & Neonatologie am Kinderspital Zürich.

#### INTELLIGENTE SENSOREN BEUGEN VOR

In einem weiteren Projekt arbeiten Empa-Forschende daran, den



**EMPFINDLICH**  
Textilsensoren mit lichtleitenden Polymerfasern ermöglichen es, den Druck und die Sauerstoffsättigung des Gewebes bis in tiefere Schichten der Haut in Echtzeit zu messen.

Fotos: Empa

#### «PROTEX»: EIN ERFOLGREICHES INTERINSTITUTIONELLES TEAM

Mit dem BRIDGE-Förderungsangebot unterstützen der Schweizerische Nationalfonds (SNF) und die Schweizerische Agentur für Innovationsförderung Innosuisse Projekte, die durch wissenschaftliche Exzellenz, eine klare Umsetzungsstrategie sowie wirtschaftliches und gesellschaftliches Potenzial überzeugen. Das Team um Luciano Boesel (Empa), Guido Piai (OST) und Ursula Wolf (Universität Bern) konnte überzeugen, «ProTex» wurde im Rahmen von «BRIDGE Discovery» gefördert. «Zusammen haben wir die nötige Expertise in den Bereichen Materialien, Optik, Elektronik, Medizin und Technik», beschreibt Empa-Forscher Luciano Boesel die erfolgreiche Zusammenarbeit im interdisziplinären Team.

sogenannten Dekubitus-Gewebeschäden bei Erwachsenen vorzubeugen. Hierbei werden die Risikofaktoren Druckbelastung und Durchblutungsstörung in hilfreiche Warnsignale umgewandelt.

Liegt man längere Zeit in der gleichen Position, führen Druck und Durchblutungsstörungen zu einer Unterversorgung des Gewebes mit Sauerstoff. Während der Sauerstoffmangel bei gesunden Menschen einen Reflex auslöst, sich zu bewegen, kann dieser neurologische Feedback-Loop etwa bei Menschen mit Querschnittslähmung oder bei Koma-Patienten gestört sein. Hier können smarte Sensoren helfen, frühzeitig vor dem Risiko eines Gewebeschadens zu warnen.

Im Projekt «ProTex» hat ein Team aus Forschenden der Empa, der Universität Bern, der Fachhochschule OST und der Bischoff Textil AG in St. Gallen ein Sensorsystem aus smarten Textilien mit zugehöriger Datenanalyse in Echtzeit entwickelt. «Die hautverträglichen textilen Sensoren enthalten zwei ver-

Foto: Empa



**ENTWICKLUNG IM LABOR**  
Empa-Forscher Simon Annaheim arbeitet an einer Matratze für Neugeborene.

schiedene funktionelle Polymerfasern», sagt Empa-Forscher Luciano Boesel vom «Biomimetic Membranes and Textiles»-Labor in St. Gallen. Neben drucksensitiven Fasern integrierten die Forschenden lichtleitende Polymerfasern (POFs), die der Sauerstoffmessung dienen. «Sobald der Sauerstoffgehalt in der Haut abfällt, signalisiert das hochempfindliche Sensorsystem ein steigendes Risiko für Gewebeschäden», erklärt Boesel. Die Daten werden dann direkt an den Patienten oder das Pflegepersonal übermittelt. So könne etwa eine liegende Person rechtzeitig umgelagert werden, bevor das Gewebe Schaden nimmt.

#### PATENTIERTE TECHNOLOGIE

Die Technologie dahinter beinhaltet auch ein an der Empa entwickeltes neuartiges Mikrofluidik-Nassspinnverfahren für die Herstellung von POFs. Es erlaubt eine präzise Steuerung der Polymerkomponenten im Mikrometerbereich und eine sanftere, umweltfreundlichere Verarbeitung der Fasern. Das Mikrofluidik-Verfahren ist eines von drei Patenten, die bisher aus dem «ProTex»-Projekt hervorgegangen sind.

Ein weiteres Produkt ist ein atmungsaktiver Textilsensor, der direkt auf der Haut getragen wird. Das 2023 aus dem Projekt entstandene Spin-off «Sensawear» in Bern treibt derzeit die Markteinführung voran. Darüber hinaus ist Empa-Forscher Boesel überzeugt: «Die Erkenntnisse und Technologien aus «ProTex» werden künftig weitere Anwendungen im Bereich der tragbaren Sensorik und der smarten Kleidung ermöglichen.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s401](http://www.empa.ch/web/s401)





**AUFRÄUMEN**  
Bei «Mining the Atmosphere» geht es darum, überschüssiges CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen.

# DAS GROSSE REINEMACHEN

Wollen wir unsere Klimaziele erreichen, so müssen wir nicht nur die Treibhausgasemissionen eindämmen, sondern auch das bereits ausgestossene CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernen. Wie man dabei erst noch ein komplett neues Wirtschaftssystem erzeugt, erklärt der stellvertretende Empa-Direktor Peter Richner.

Text: Peter Richner

Foto: Empa

unseres Planeten. Die Folgen sind die schwindende Biodiversität und die Klimaerwärmung, beides stellt unsere heutige Lebensgrundlage langfristig in Frage.

Die Klimaerwärmung – und damit auch ein Teil der abnehmenden Biodiversität – ist auf die durch den Menschen verursachten Treibhausgasemissionen zurückzuführen, vor allem in Form von CO<sub>2</sub> und Methan. Mit dem Paris-Abkommen aus dem Jahr 2015, das die Klimaerwärmung begrenzen soll, haben sich zahlreiche Staaten inklusive der Schweiz das Ziel gesetzt, ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu senken. Um dies zu erreichen, müssen wir sowohl die Energieeffizienz zahlreicher Prozesse unseres gesamten Lebens deutlich steigern als auch fossile Energieträger durch erneuerbare Energien ersetzen. Einige Emissionen werden indes kaum zu verhindern sein, etwa in der Landwirtschaft und anderen Bereichen; um diese zu kompensieren – und unterm Strich tatsächlich bei Netto-Null zu landen –, sind «Negativemissionstechnologien» unabdingbar, mit denen sich die Menge an Treibhausgasen in der Atmosphäre aktiv reduzieren lässt.

Klar ist: Netto-Null bis 2050 benötigt gewaltige Anstrengungen, die weit über das hinausgehen, was die Schweiz oder auch andere Länder bis heute beschlossen und umgesetzt haben. Kommt dazu, dass Netto-Null lediglich ein erster Schritt ist; in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts müssen wir weltweit eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz im Umfang von etwa 10–20 Milliarden Tonnen erzielen – pro Jahr! Der Grund dafür ist die Langlebigkeit von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Während das viel potentere Treibhausgas Methan innert weniger Jahrzehnte vollständig abgebaut ist, wird einmal emittiertes CO<sub>2</sub> auf natürlichem Weg erst im Verlauf von vielen Jahrhunderten wieder aus der Atmosphäre eliminiert. Folglich wird die Kli-

maerwärmung auch bei Netto-Null nicht «über Nacht» haltmachen oder gar zurückgehen. Lassen wir die Temperaturen allerdings weiterhin auf einem deutlich erhöhten Niveau, dürfte es zu irreversiblen Veränderungen im Klimasystem der Erde mit kaum abschätzbaren Konsequenzen kommen, etwa das Abschmelzen des Eisschildes von Grönland, was alleine einen Anstieg des Meeresspiegels um knapp sieben Meter zur Folge hätte.

Doch selbst, wenn es unserem Energiesektor gelingt, sich von Kohle, Öl und Gas zu lösen, ist eine weitere Herausforderung zu meistern: Erdöl und Co. dienen als Ausgangsmaterialien für die unterschiedlichsten kohlenstoffhaltigen Materialien, angefangen bei Kerosin über Polymere und Medikamente bis hin zu Bitumen für die Asphaltierung unserer Strassen. All diese Materialien aus Biomasse herzustellen, ist rein technisch kaum möglich und würde wohl auch das nachhaltig zur Verfügung stehende Angebot an Biomasse weit übersteigen. Will heissen: Wir benötigen eine neue Kohlenstoffquelle.

Die Antwort auf diese zweifache Herausforderung lautet «Mining the Atmosphere». Die Idee: Das vom Menschen verursachte überschüssige CO<sub>2</sub> wird der Atmosphäre wieder entzogen und als Ausgangsmaterial für kohlenstoffhaltige Materialien verwendet. Diese verwenden wir dann möglichst lange in geschlossenen Kreisläufen, bevor sie in finalen Senken landen. So stellen wir eine Fixierung des Kohlenstoffs für mehr als 1000 Jahren sicher. Die dazu notwendige Entwicklung von Materialien und Prozessen fördert so letztlich den Übergang von einer CO<sub>2</sub>-emittierenden zu einer CO<sub>2</sub>-bindenden Gesellschaft.

Die Empa-Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere» ist – dem Forschungsthema entsprechend –



langfristig ausgelegt und umfasst verschiedene «Pfeiler»: CO<sub>2</sub>-Gewinnung, dessen Umwandlung, Anwendungen der neuartigen Materialien in verschiedensten Bereichen und systemische Betrachtungen wie Lebenszyklusanalysen. Egal, welche Lösungswege wir künftig auch entwickeln, eines dürfen wir dabei nie aus den Augen verlieren – die Einhaltung der planetaren Grenzen.

Ein Schlüsselement ist die ausschliessliche Verwendung erneuerbarer Energie in allen Bereichen bzw. die Frage, ob diese in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Unsere Überlegungen gehen davon aus, dass dies in einigen Jahrzehnten der Fall sein wird. Das Potential

und aus den Ozeanen kann dann direkt in geeignete geologische Formationen eingelagert werden («Carbon Capture and Storage», CCS). Mit «Mining the Atmosphere» verfolgen wir allerdings einen alternativen Weg, bei dem CO<sub>2</sub> mittels Wasserstoff in kurz- oder längerfristige Kohlenwasserstoffe umgewandelt wird und damit die bisherigen fossilen Rohstoffe ersetzen kann. Gleichzeitig können bestehende Logistikketten weiterverwendet werden, es sind ja chemisch gesehen die gleichen Verbindungen. Schlüsselemente für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Idee sind katalytische Prozesse für die diversen chemischen Umwandlungsreaktionen und vor allem das Energiemanagement.

Baumaterialien haben den mit Abstand grössten Anteil an den globalen Materialflüssen. Kohlenstoff-basierte Zuschlagstoffe für Beton und Asphalt sowie thermische Isolationsmaterialien stehen daher derzeit im Zentrum unserer Forschung. Die Kohle kann entweder über die Pyrolyse von Biomasse oder von synthetischem Methan gewonnen werden, was zudem Wasserstoff für energetische Anwendungen liefert.

Mit «Mining the Atmosphere» wollen wir einen gangbaren Weg aufzeigen, wie sich Klimaveränderungen mit unkalkulierbaren Risiken vermeiden lassen. Damit wir auf diesem Weg aber auch unser Ziel erreichen, müssen wir zunächst einmal unsere Treibhausgasemissionen schnell und massiv senken und den Ausbau erneuerbarer Energien deutlich beschleunigen. Mit «Mining the Atmosphere» bereiten wir bereits den nächsten Schritt vor – das grosse Saubermachen unserer CO<sub>2</sub>-verschmutzten Atmosphäre. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



**GROSSE ZIELE**  
Peter Richner ist stellvertretender Direktor der Empa und Leiter des Departements «Ingenieurwissenschaften».

ist zweifellos vorhanden: Die Sonne schickt rund 10'000-mal mehr Energie zur Erde, als wir heute brauchen. Dazu kommt, dass rund 99% unseres Planeten heisser sind als 1'000 Grad – um nur die zwei der wichtigsten nachhaltigen Energiequellen zu nennen.

Den «atmosphärischen Rohstoff» CO<sub>2</sub> kann man aus drei Quellen gewinnen: direkt aus der Luft mittels «Direct Air Capture» (DAC), durch elektrolytische Verfahren aus den Ozeanen, die rund ein Drittel des anthropogenen CO<sub>2</sub> absorbieren, und aus Biomasse. CO<sub>2</sub> aus der Luft

Denn das «Gesamtpaket» benötigt jede Menge Energie. Viele dieser Prozesse werden daher kaum in der Schweiz ablaufen, sondern eher dort, wo erneuerbare Energie im Übermass vorhanden ist, etwa im Sonnengürtel der Erde.

In einer ersten Phase fokussieren wir auf zwei «Use cases» für die Anwendung CO<sub>2</sub>-basierter Materialien: Massenprodukte mit dem Potential, Milliarden Tonnen Kohlenstoff zu binden, und Produkte mit einer hohen Wertschöpfung, die dadurch einen massgeblichen Beitrag zu Finanzierung des Vorhabens beisteuern.

Foto: Empa

Foto: Mairon Nitsch

# DIE CO<sub>2</sub>-BINDENDE GESELLSCHAFT ALS ZIEL



**ZUSAMMENARBEIT**  
Empa-Direktorin Tanja Zimmermann und Eawag-Direktor Martin Ackermann.



Mit neuen Initiativen und durchaus grossen Zielen wollen Tanja Zimmermann und Martin Ackermann Antworten auf den Klimawandel liefern. Warum dieser in erster Linie eine Wasserkrise ist, was zu dessen Bewältigung alles nötig ist und was man aus CO<sub>2</sub> alles herstellen kann, erklären der Eawag-Direktor und die Empa-Direktorin im Interview.

Interview: Michael Hagmann

**Lösungen für die Klimakrise und die Nutzung der Atmosphäre als Rohstoffquelle, um CO<sub>2</sub> rauszuholen und daraus wertvolle Materialien herzustellen – das sind ehrgeizige Ziele. Keine Angst, die Erwartungen nicht zu erfüllen?**

Martin Ackermann: Zunächst einmal eine persönliche Einschätzung: Wir sind nicht auf Kurs. Die Ziele für einen effizienten Klimaschutz, etwa Netto-Null bis 2050, sind im Moment in weiter Ferne, und es gibt grossen Nachholbedarf bei der Klimaanpassung, unsere Fähigkeiten, auf ein verändertes Klima entsprechend zu reagieren. Es gibt also noch sehr viel zu tun. Und damit fangen wir besser früher als später an.

Tanja Zimmermann: In der Tat, die Probleme sind drängend. Selbst, wenn wir Netto-Null erreichen und die Energiewende bewerkstelligen, ist immer noch zu viel CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre – mit den entsprechenden Folgen wie schmelzende Gletscher und zunehmende Extremwittersituationen. Es ist daher enorm wichtig, jetzt zu handeln und unseren Beitrag zu leisten. Und gerade bei unseren jungen Forschenden spüre ich eine grosse Motivation, an diesen sinnstiftenden Themen zu arbeiten. Also Respekt vor der Aufgabe – ja; Angst, keine Lösungen anbieten zu können – nein.

**Was kann die Forschung konkret beitragen, um Antworten auf die Klimakrise zu finden?**

MA: Wenn von Klimaforschung die Rede ist, denkt man meist an Messungen und Modellie-

rungen, also die Beschreibung des Problems. Das ist zwar absolut essentiell, wir brauchen aber mehr, nämlich Lösungen. Dabei kann man grob zwei Arten von Reaktion auf die Klimakrise unterscheiden: Zum einen Klimaschutz oder Mitigation, also Technologien und politische Strategien, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren und um CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre wieder zu entfernen – wie eben «Mining the Atmosphere» das vorsieht. Zum anderen Klimaanpassung oder Adaptation, um schädliche Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche und menschliche Systeme zu mildern, etwa Schutz vor Extremwetterereignissen. Wenn man es pointiert ausdrücken möchte: Mit Klimadaptation schützt man sich selber, schaut also auf das eigene Wohl. Klimaschutz ist altruistisch, das hat eine globale Wirkung. Wir brauchen beides, kein Entweder-oder.

**Und welche Rolle spielt die Eawag da als Wasserforschungsinstitut?**

MA: Gemäss der UN ist der Klimawandel in erster Linie eine Wasserkrise. Es wird wärmer, ja, aber damit ändern sich vor allem auch Wasserverfügbarkeit und Niederschlagsmuster. Die Winter werden nasser, die Sommer heisser und trockener. Und damit haben wir gleich zwei Probleme auf einmal: Im Winter kann extrem viel Wasser als Starkregen kommen und grosse Schäden anrichten, im Sommer haben wir an manchen Orten zu wenig Wasser. Wir müssen also die Schäden durch Extremniederschläge begrenzen – und gleichzeitig einen Teil dieses Wassers in den Sommer «retten». Daher haben wir das Thema Klima als eines unserer Schwerpunktthemen an der Eawag definiert – was es früher weniger explizit war.

TZ: Das ist übrigens bei nachhaltiger Energie gerade umgekehrt – wir werden in Zukunft mit dem Zubau von Photovoltaik Überschussenergie im Sommer, im Winter dagegen zu wenig Energie haben. Um dies auszugleichen, versuchen wir, Energie zu «materialisieren», also in speicherbare chemische Energieträger umzuwandeln, etwa Wasserstoff oder Methan mit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre.

**«Alle Sektoren werden sich durch den Klimawandel ändern – die Landwirtschaft, die Berge, die Siedlungen.»**

**Womit wir bei «Mining the Atmosphere» wären ...**

TZ: Genau. Unsere Vision ist, uns durch die Entwicklung entsprechender Materialien und Technologien von einer CO<sub>2</sub>-emittierenden zu einer CO<sub>2</sub>-bindenden Gesellschaft zu wandeln. Und das ist eine Notwendigkeit, das möchte ich nochmals betonen, denn selbst nach der Energiewende müssen wir die Atmosphäre so oder so von der CO<sub>2</sub>-Verschmutzung, die wir in den letzten 200 Jahren verursacht haben, «reinigen», um einen weiteren Temperaturanstieg zu verhindern.

**Auf welche konkreten Fragen wollt Ihr Antworten liefern?**

MA: Nur ein Beispiel: Wir bauen ein «Real-labor» in Bern auf, wo wir mit Behörden, AnwohnerInnen und Forschungspartnern zusammenarbeiten. Ziel ist, das Quartier so anzupassen, dass das Leben auch in 15 Jahren noch angenehm und sicher ist – dank «blaugrüner Infrastruktur», die Einbindung von Wasser und Vegetation in Quartieren: dass man also gegen Extremwetterereignisse gewappnet ist und gleichzeitig im Sommer genügend Wasser und Kühlung zur Verfügung hat.

TZ: An der Empa stehen die Entwicklung neuer, eben Kohlenstoff-basierter Materialien und entsprechender Technologien sowie systemische Ansätze im Zentrum. Um von hinten anzufangen, etwa neue Baumaterialien mit negativem CO<sub>2</sub>-Fussabdruck, neue Fertigungstechnologien, um diese – aber auch andere Rohstoffe, etwa für die chemische Industrie – im Grossmassstab herzustellen, effiziente Methanisierungsreaktoren und Katalysatoren für die Umwandlung von CO<sub>2</sub> und Wasserstoff in Methan sowie neue Konzepte, um CO<sub>2</sub>

möglichst energieeffizient aus der Atmosphäre zu «saugen». Dabei betrachten wir sämtliche Materialien und Prozesse über deren gesamten Lebenszyklus – der wenn immer möglich in Kreisläufen verläuft, nicht mehr linear.

**Warum ist es wichtig für die Schweiz, hier eine Vorreiterrolle zu spielen?**

MA: Beim Klimaschutz gibt es zwei Aspekte: Der erste ist Verantwortung. Die Schweiz als innovationsstarkes, reiches Land mit entsprechend hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen hat eine grössere Verantwortung, die sie auch wahrnehmen sollte. Der zweite ist ökonomisch: Innovationen im Bereich Klimaschutz und -adaptation haben ein enormes Potenzial, das kann ein Riesensmarkt für die Schweizer Industrie werden. Im Bereich Klimaadaptation kommt dazu: Alle Sektoren werden sich durch den Klimawandel ändern – die Landwirtschaft, die Berge, die Siedlungen. Sich vorzubereiten und vor den negativen Auswirkungen des Klimawandels zu schützen, ist also im direkten Interesse der Schweiz.

TZ: Die Schweiz ist als Innovationsland international nach wie vor führend, vor allem aufgrund der guten Rahmenbedingungen hier zu Lande. Wir sind also bestens positioniert, um in den anlaufenden Initiativen Technologien und Konzepte zu entwickeln und diese dann auch international anzuwenden und zu vermarkten. Das steigert die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



**IM GESPRÄCH**  
Mit der gemeinsamen Initiative wollen Tanja Zimmermann und Martin Ackermann Antworten auf den Klimawandel liefern.



Fotos: Marion Nitsch



# AUF CO<sub>2</sub> BAUEN

Ausgeklügelte chemische Verfahren können klimawirksames Kohlendioxid in verschiedenen Formen binden – auf lange Sicht in beträchtlichen Mengen. Um sie zu nutzen, ist der Bausektor mit seinem grossen Massenumsatz bestens geeignet. Empa-Forschende arbeiten an verschiedenen Verfahren, die Hoffnungen wecken.

Text: Redaktion

Um CO<sub>2</sub> zu binden und damit den Bausektor klimafreundlicher zu machen, arbeiten Fachleute in aller Welt an neuen Verfahren – zum Beispiel für Abgasschlote von Fabriken der Zementindustrie, die grosse Mengen des Klimagases emittiert. Doch was tun mit diesem CO<sub>2</sub>? Ein Hoffnungsträger ist die unterirdische Lagerung in grossem Stil in Reservoirs aus porösen Gesteinen, die das Gas über lange Zeiträume speichern können – in verflüssigter Form.

Andere Möglichkeiten bietet die Kreislaufwirtschaft, vor allem im Bausektor mit seinen grossen Massenumsätzen. CO<sub>2</sub> lässt sich beispielsweise mit Hilfe der so genannten Karbonatisierung an Betonrecycling-Material binden, um daraus neue Betone herzustellen. Bei anderen chemischen Verfahren wie der Pyrolyse, einer Erhitzung unter weitgehendem Ausschluss von Sauerstoff, von Methan zu Wasserstoff – etwa für Hochtemperatur-Industrieprozesse – wird schlussendlich fester Kohlenstoff abgeschieden, der dann als CO<sub>2</sub>-negatives Material im Bausektor verwendet werden kann.

**BETON ALS CO<sub>2</sub>-FÄNGER – SCHON IM WERK**  
Beton ist in der Lage, das Klimagas, das bei der Zementproduktion ausgestossen wurde, wieder zu binden, zumindest teilweise. «Karbonatisierung» nennt sich dieser Prozess – eine gemächliche Reaktion, die Jahre dauert und deren Tempo von vielen Faktoren abhängt. Im Projekt «DemoUpCARMA» unter Federführung der ETH Zürich wurde untersucht, wie sich dieser Prozess in einem Betonwerk nutzen und vor allem beschleunigen lässt – in einer Anlage der Firma Kästli Bau AG in Rubigen (BE) und mit Recyclingmaterial aus Betonkonstruktionen. Das Kohlendioxid aus einer Kläranlage wurde verflüssigt angeliefert und im Werk wieder zu Gas umgewandelt, um das Recycling-Granulat mit einem Verfahren der Berner Firma neustark AG kontinuierlich zu «fluten».

Wie effizient das Granulat CO<sub>2</sub> aufnimmt, haben Andreas Leemann und Frank Winnefeld von der Empa-Forschungsabteilung «Concrete & Asphalt» erkundet. Proben zeigten unter dem Mikroskop deutliche Veränderungen: Kleinere Partikel hatten an der Ober-

fläche Flecken aus dunklen und hellen Anteilen, an denen sich der ursprüngliche Zementstein verändert hatte. Analysen zeigten, dass die hellen Anteile Calciumcarbonat sind, während die dunklen Phasen hauptsächlich aus Calcium-Silicat-Hydrat – kurz: C-S-H – bestehen, dem Hauptprodukt der Zementhydratation, das Beton seine Festigkeit verleiht. Diesem C-S-H wurde durch die Karbonatisierung ein Teil des Calciums entzogen: Es wurde damit kalkärmer und konnte wiederum mit neu gebildeten Zementphasen im Recyclingbeton reagieren – mit der Folge, dass seine Druckfestigkeit stieg.

Versuche mit in der Schweiz häufig verbauten Betontypen bestätigten diese Einsichten. Sie zeigen, dass das Verfahren Betone auf zweifache Weise klimafreundlicher machen kann. Zum einen durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub>, um die Atmosphäre zu «entlasten»: Sie erreicht bei den neuartigen Baustoffen bis zu 10 Prozent der Emissionen, die bei der Herstellung des Zements für den ursprünglichen Beton in die Atmosphäre gelangten. Zum Zweiten mit der

Chance, dank der höheren Festigkeit den Zementgehalt in Recyclingbetonen zu mindern – um 5 bis 7 Prozent. Unter dem Strich liegt das Potenzial der CO<sub>2</sub>-Einsparung laut den Empa-Experten damit bei gut 15 Prozent.

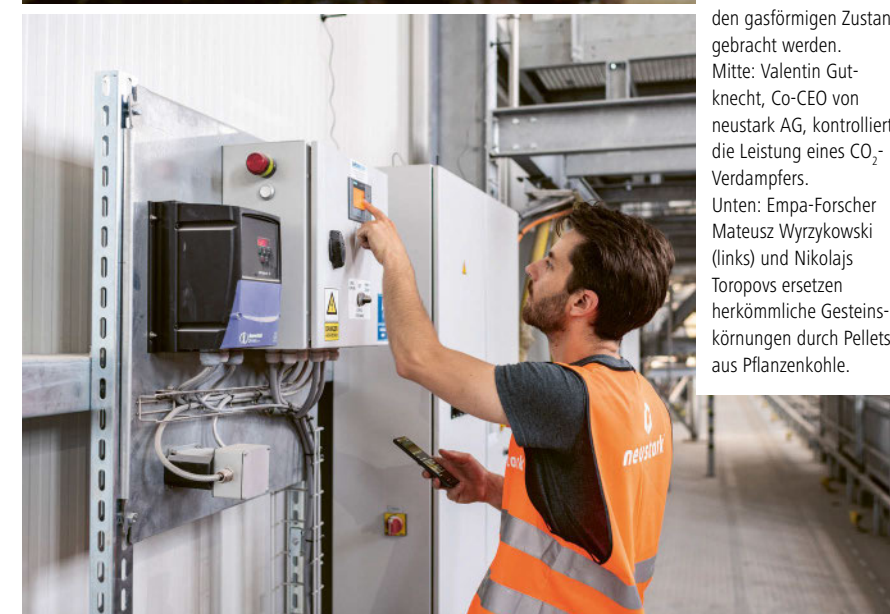
Wie weit sich diese Resultate in der Praxis umsetzen lassen, ist freilich noch offen – unter anderem wegen der Frage, wie gut und mit welchem technischen sowie finanziellen Aufwand sich das Verfahren in Betonwerken implementieren lässt.

## PFLANZENKOHLE FÜR BETON

Ein Team der Empa-Abteilung «Concrete & Asphalt» entwickelt ein Verfahren, wie Pflanzkohle praxistauglich in Beton integriert werden kann. Dieses Material entsteht durch einen Verkohlungsprozess von biologischem Material unter Luftabschluss und besteht zu einem sehr grossen Teil aus reinem Kohlenstoff, den die Pflanzen beim Wachsen in Form von CO<sub>2</sub> der Atmosphäre «entnommen» hatten.

Zwar gibt es bereits Betonprodukte mit Pflanzkohle auf dem Markt – doch die Kohle wird oft unbehandelt in den Beton eingebracht, was zu Problemen führen kann. «Die Pflanzkohle ist sehr porös und absorbiert deshalb nicht nur viel Wasser, sondern auch teure Zusatzmittel, die bei der Betonherstellung verwendet werden», so Empa-Forscher Mateusz Wyrzykowski.

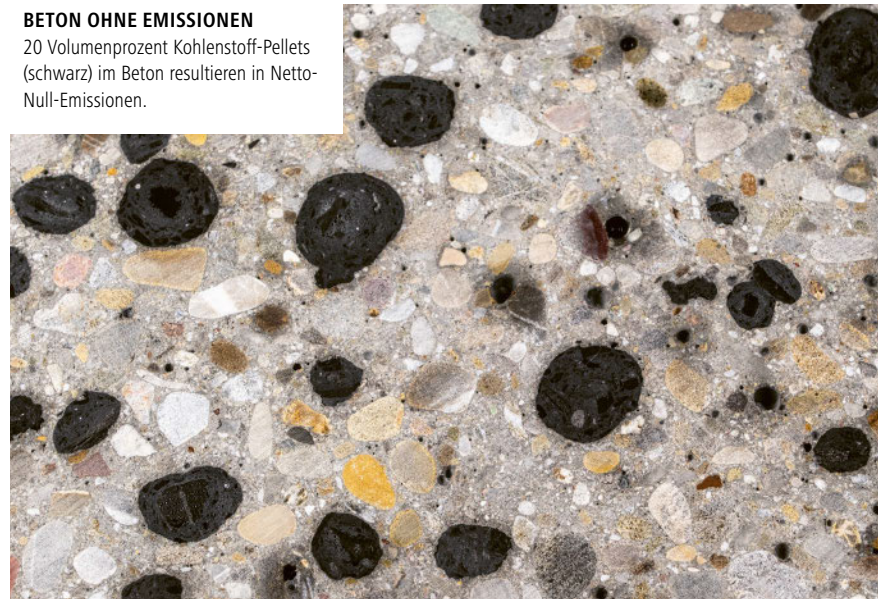
Daher schlagen die Fachleute die Verarbeitung in Pellets vor. Um sie zu fertigen, nutzten sie einen Rotationsmischer, vermengten darin die Pflanzkohle mit Wasser und Bindemittel und erhielten so Kügelchen mit Durchmessern zwischen 4 und 32 Millimetern. Diese Pellets nutzten sie zur Herstellung von Normalbeton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C30/37, die heute die grösste Verbreitung im Hoch- und Tiefbau haben.



**BAUEN MIT CO<sub>2</sub>**  
Oben: Nach der Anlieferung im Betonwerk muss das Kohlendioxid in den gasförmigen Zustand gebracht werden.  
Mitte: Valentin Gutknecht, Co-CEO von neustark AG, kontrolliert die Leistung eines CO<sub>2</sub>-Verdampfers.  
Unten: Empa-Forscher Mateusz Wyrzykowski (links) und Nikolajs Toropovs ersetzen herkömmliche Gesteinskörnungen durch Pellets aus Pflanzkohle.



**BETON OHNE EMISSIONEN**  
20 Volumenprozent Kohlenstoff-Pellets (schwarz) im Beton resultieren in Netto-Null-Emissionen.



Bis zur Einsatzreife sind freilich noch Details zu klären. Zum Beispiel gilt es sicherzustellen, dass wirklich alle Inhaltsstoffe der Dämmmaterialien für eine spätere Verwendung als «Dünger» geeignet sind. Zudem müsste ein marktfähiges Produkt bei der thermischen Isolation konkurrenzfähig sein und einen ausreichenden Brandschutz gewährleisten. Vorstudien zeigten laut Empa-Forscher Wernery aber, dass diese Ziele erreichbar sind.

Auf lange Sicht könnte Pflanzenkohle-dämmung die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Schweiz spürbar verbessern. Laut Modellrechnungen der Fachleute liesse sich durch einen realistischen Teilersatz konventioneller Dämmstoffe durch Pflanzenkohle rund eine halbe Million Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente jährlich einsparen – einerseits durch verringerte Emissionen bei der Produktion, andererseits durch die Langzeitspeicherung des CO<sub>2</sub>. Das entspräche immerhin einem Prozent der gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen. Ein Projekt mit Potenzial also, das auch finanzielle Förderinstitutionen überzeugte: Die Minerva-Stiftung, der ETH-Rat und das Bundesamt für Energie (BFE) fördern das Vorhaben ebenso wie der Klimafonds Stadtwerk Winterthur. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:  
[www.empa.ch/web/s308](http://www.empa.ch/web/s308) / [www.empa.ch/web/s312](http://www.empa.ch/web/s312)

Die Klimabilanz: Bei einem Anteil von 20 Volumenprozent Kohlenstoffpellets im Beton wurden Netto-Null-Emissionen erreicht, so Wyrzykowski – die gespeicherte Kohlenstoffmenge kompensiert also sämtliche Emissionen, die bei der Produktion der Pellets sowie des Betons anfallen. Bei einem Leichtbeton mit einer Dichte von ca. 1800 kg/m<sup>3</sup> wird das Potenzial noch deutlicher: Ein Anteil von 45 Volumenprozent Pellets führt sogar zu negativen Emissionen von minus 29 CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

**DÄMMSTOFFE MIT PFLANZENKOHLE**  
Pflanzenkohle ist auch im «Building Energy Materials and Components Lab» der Empa ein Thema. Ein Team um Jannis Wernery entwickelt ein neuartiges Dämmmaterial aus pflanzlichen Rohstoffen oder Abfällen, das darin enthaltenes CO<sub>2</sub> dauerhaft bindet und so als Senke fungiert. Eine aussichtsreiche Idee, gerade mit Blick auf die grosse Bedeutung von Dämmstoffen bei der Aufgabe, viele Gebäude künftig energieeffizienter und damit klimafreundlicher zu machen.

Auf lange Sicht sieht Empa-Abteilungsleiter Pietro Lura als Kohlenstoffquelle nicht nur Pflanzenkohle, sondern lenkt den Blick auf ein Konzept, das mehrere Abteilungen der Empa verfolgen: die Produktion von synthetischem Methangas mit Hilfe von Sonnenenergie, Wasser und atmosphärischem CO<sub>2</sub> in sonnenreichen Regionen der Erde und die anschliessende Pyrolyse des Gases (siehe Infografik auf Seite 21). «Dadurch erhält man Wasserstoff, den man in der Industrie oder in der Mobilität nutzen kann, und zusätzlich festen Kohlenstoff, den wir – wie die Pflanzenkohle – in den Beton einbringen können», so Lura.

Der grösste Teil des Kohlenstoffs, den die Pflanzen während ihres Wachstums in Form von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden hatten, kann durch eine Pyrolyse dauerhaft fixiert werden. Die so entstehende «Pflanzenkohle» wäre dann während der gesamten Lebensdauer des Gebäudes in der Dämmung gebunden. Vor allem aber könnte sie nach dem Abriss in Äcker eingebracht werden, wo sie den Boden fruchtbarer macht, aber über Jahrhunderte stabil bleibt – anders als andere pflanzliche Baustoffe wie etwa Zellulosedämmung, die bei der Verrottung gespeichertes Kohlendioxid wieder freisetzen.

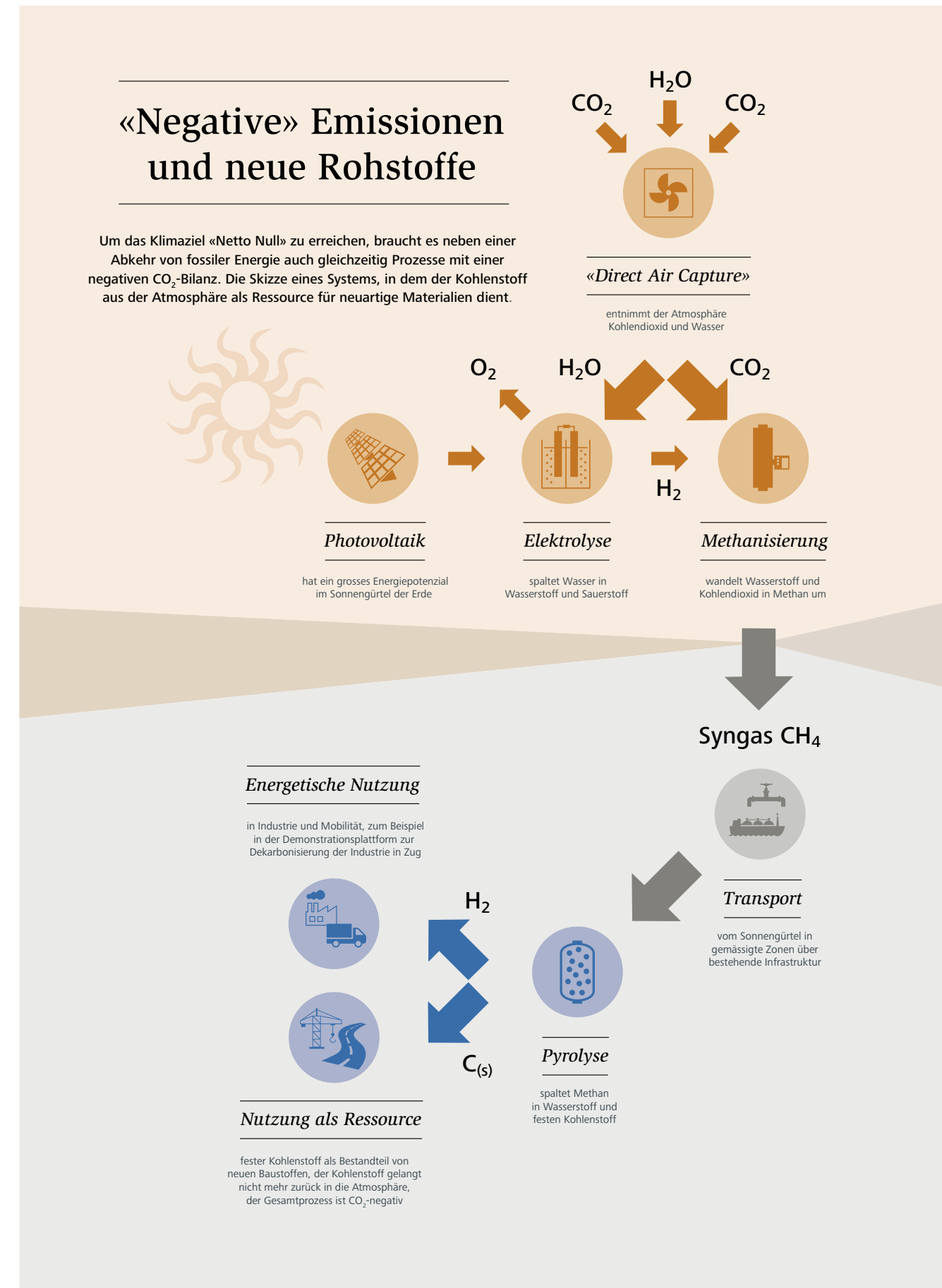


Foto: Empa

Grafik: Empa



# KONSEQUENT FURCHTLOS

Nathalie Casas leitet seit Oktober 2023 das Empa-Forschungsdepartement «Energie, Mobilität und Umwelt». Seit Kindheit mit Naturwissenschaften und Technik vertraut, glaubt sie daran, dass die Menschheit das Klima vor dem Kollaps bewahren kann – dass es dafür aber mehr braucht als «nur» Technologie.

Text: Anna Ettlin

Eigentlich hatte Nathalie Casas gar nicht vor, zu promovieren. Doch als sie 2008 ihren Master in Chemieingenieurwissenschaften an der ETH Zürich abschloss, bot ihr damaliger Betreuer ihr eine Doktoratstelle an, die sie kurzerhand annahm. «Es war gerade so spannend», erinnert sie sich. Diese Neugier und der Mut, Pläne auch mal über den Haufen zu werfen, würden ihre Karriere prägen. «Ich hatte nie eine fixe Vorstellung davon, wie mein Weg aussehen sollte. Ich habe einfach immer das gemacht, was sich richtig anfühlte.»

Richtig angefühlt hat sich auch ihr letzter Wechsel: Seit Oktober 2023 leitet die Vierzigjährige das Empa-Departement «Energie, Mobilität und Umwelt». Das Thema ihrer Doktorarbeit, CO<sub>2</sub>-Abscheidung, zieht sich wie ein roter Faden durch ihre Karriere, zuerst bei Sulzer Chemtech, später beim Schweizer Start-up Climeworks.

Nun kommen neue Fäden hinzu, was Casas besonders freut. «Wir haben ein sehr breites Spektrum an Forschung im Departement, von der Mobilität über Analytik und Umweltbilanzen bis hin zu Batterien», sagt sie. CO<sub>2</sub>-Abscheidung gehört – natürlich – ebenfalls dazu, aber damit hört es nicht auf: Empa-Forscher\*innen untersuchen auch, wie man das eingefangene CO<sub>2</sub> weiterverarbeiten kann, um daraus wertvolle Werkstoffe und

Materialien herzustellen. Casas: «Es ist unglaublich, was die Empa alles macht. Ich lerne jeden Tag etwas Neues.»

## VON ZIELEN UND ZUFÄLLEN

Die Liebe zu den Naturwissenschaften wurde Casas sozusagen in die Wiege gelegt. Ihre Mutter ist Mikrobiologin, ihr Vater Maschinenbauer. Während der Vater auf Geschäftsreisen war, nahm die Mutter das Mädchen an den Wochenenden mit ins Labor. «Ich durfte unter dem Mikroskop Bakterien zählen und kam mir dabei furchtbar wichtig vor», lacht Casas. «Mittlerweile vermute ich aber, dass meine Mutter diese Aufgabe nur erfunden hat, um mich zu beschäftigen.»

Als sie das Gymnasium abschloss, war Casas klar: Sie würde an der ETH Zürich studieren, entweder Chemie oder Materialwissenschaften. Es fiel ihr schwer, sich auf eine Studienrichtung festzulegen, also liess sie den Zufall entscheiden. «Für Materialwissenschaften hätte ich zuerst ein Praktikum machen müssen», erinnert sie sich. «Ich setzte mir einen Stichtag und sagte: Wenn ich bis dann eine Praktikumsstelle habe, studiere ich Materialwissenschaften.»

Die Zusage fürs Praktikum kam drei Tage zu spät: Casas studierte folglich Chemie und Chemieingenieurwissenschaften.

Dass der Zufall so entschieden hat, bereut Casas nicht – schliesslich hat er sie nun doch wieder zu den Materialwissen-

## NATHALIE CASAS

**WERDEGANG:** Nathalie Casas studierte Chemieingenieurwissenschaften an der ETH Zürich, wo sie 2008 ihren Masterabschluss erlangte und anschliessend auch doktorierte. Danach trat sie eine Stelle als «Application Manager» bei Sulzer Chemtech an, wo sie einen grossen Teil der Projekte zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung betreute. 2017 wechselte Casas zu Climeworks, ein Spin-off der ETH Zürich, wo sie zunächst als «Head Development & Engineering» und später als «Head of Technology» arbeitete, bevor sie im Oktober 2023 zur Empa kam.

schaften geführt, nun einfach als Managerin anstatt als Forscherin. So gerne sie auch während ihres Doktors im Labor gearbeitet hat, die Arbeit mit Menschen liegt der neuen Departementsleiterin noch mehr. Sie sind es auch, die sie an der Empa besonders schätzt. «Die Leute hier sind sehr stark intrinsisch motiviert», sagt sie. «Sie sind begeistert von ihren Themen und von der Wissenschaft, und sie wollen damit etwas bewegen.»

## ZUSAMMEN ERREICHT MAN MEHR

Etwas bewegen können die Forschenden in Casas' Departement durchaus. Schliesslich sind Energie, Mobilität und Umwelt brennende Themen, die nicht nur die Empa und die Schweiz, sondern die ganze Welt beschäftigen. Denn



Foto: Maïron Nitsch

### KURZ-ENTSCHLOSSEN

Nathalie Casas machte in ihrer Karriere stets das, was sich richtig angefühlt hat.



die Klimaziele sind nur mit grossen gesellschaftlichen Veränderungen zu erreichen – und Veränderungen sind manchmal schmerzhaft, weiss Casas. «Viele klimaneutrale Lösungen sind gar nicht schlechter als die Technologien und Gewohnheiten, die wir heute haben. Es ist der Wandel selbst, der uns herausfordert», sagt sie.

Dieser Herausforderung ist die Empa gewachsen, glaubt die Departementsleiterin. «Wir haben sehr viel Knowhow, mit dem wir die Gesellschaft und die Industrie bei diesem Wandel unterstützen können», erklärt Casas. Als Beispiel nennt sie die Initiative «Mining the Atmosphere», die unterschiedlichste Forschungsgruppen und -ansätze vernetzt und so die Empa-Kräfte für den grösst-

möglichen Impact bündelt. «Unser Vorteil an der Empa ist, dass wir auch einen ersten Schritt aus dem Labor rausgehen können. Mit unseren Demonstrationsplattformen move, ehub und NEST können wir der Gesellschaft und der Politik zeigen: Die Technologie ist da – und sie funktioniert in der Praxis», weiss Casas.

Werden Technologien wie CO<sub>2</sub>-Abscheidung also alles richten? Casas verneint entschieden. «Aufräumen ist immer teurer, als Emissionen erst gar nicht zu verursachen», erklärt sie. Die Technologie sei zwar zentral, um unvermeidbare Restemissionen zu kompensieren; zur gross angelegten Beseitigung von Autoabgasen und Co. sei das aufwändige Verfahren aber keine Lösung.

Seit sich Casas 2008 im Rahmen ihrer Doktorarbeit erstmals damit befasst hat, hat sich das Gebiet stark weiterentwickelt. Gleichzeitig nahm auch die Dringlichkeit zu. Trotzdem bleibt sie optimistisch. «Meine Generation ist die erste, die die Auswirkungen des Klimawandels spürt – aber auch noch etwas dagegen tun kann», sagt Casas. «Die Generation unserer Eltern war sich des Schadens noch kaum bewusst. Und unsere Kinder werden viel mehr mit den Folgen zu kämpfen haben. Wir spüren die Folgen, aber wir können noch einen grossen Teil davon verhindern – auch wenn es nicht einfach wird.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment](http://www.empa.ch/web/empa/mobility-energy-environment)



**MEHR ALS TECHNOLOGIE**

Casas glaubt, dass wir unsere Probleme lösen können, aber nicht nur mit Technologie allein.

Foto: Marion Nitsch

# CO<sub>2</sub>-FÄNGER IM NEST

Sind Gebäude, die einen positiven Effekt auf das Klima haben, bald Realität? Um das ambitionierte Netto-Null-Ziel bis 2050 zu erreichen, ist in vielen Bereichen ein Umdenken nötig – speziell im Bausektor. Denn Gebäude könnten schon bald als Kohlenstoffsinken dienen und so dazu beitragen, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre nicht länger ansteigt, ja bestenfalls sogar abnimmt. Im NEST, dem Innovationsgebäude der Empa und der Eawag, sollen daher in einer neuen Unit stark CO<sub>2</sub>-reduzierte und gar CO<sub>2</sub>-negative Innovationen aus den Empa-Laboren in einer realen Umgebung verbaut werden.

Text: Annina Schneider

In der Schweiz verursacht der Bausektor rund 28% der CO<sub>2</sub>-Emissionen, was ihm eine Schlüsselrolle beim ehrgeizigen Ziel, bis 2050 keine Triebhausgase mehr in die Atmosphäre auszustossen, zukommen lässt. Neben einem emissionsarmen Bau und Betrieb von Gebäuden existiert ein weiterer, vielversprechender Lösungsansatz: CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre soll zukünftig in Baustoffen gebunden und somit in Gebäuden langfristig gespeichert werden. Das ist das Ziel der gross angelegten Empa-Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere». Mit einer neuen Unit namens «Beyond Zero» soll im NEST nun bis 2026 aufgezeigt werden, wie ein Gebäude, das als Langzeitspeicher für CO<sub>2</sub> dient, gebaut und betrieben werden kann.

**NETTO-NULL NUR EIN ZWISCHENSTOPP**

Mit emissionsarmen Betonkonstruktionen oder Kohlenstoff-negativen Isolationsmaterialien existieren bereits vielversprechende Technologien auf dem Markt. «Im NEST wollen wir nun einen Schritt weitergehen und Netto-Null nur als Zwischenziel betrachten. Unsere Vision ist es, Gebäude in Zukunft als CO<sub>2</sub>-Senken zu nutzen – sie sollen also unter dem Strich eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz aufweisen», erklärt Reto Largo, Geschäftsführer NEST. «Dabei sehen wir gerade bei neuen Technologien für

Foto: Empa



**VISIONEN UMSETZEN**  
Das Planungsteam vor dem künftigen Standort der neuen Unit.

mineralische Baustoffe wie Beton ein riesiges Potential, da diese zu den meistverbaute Baustoffen gehören.»

**TECHNOLOGIEN VORANTREIBEN UND VERBAUEN**

Um neue CO<sub>2</sub>-negative Baustoffe zu entwickeln, diese zu verbauen und hinsichtlich der Emissionen zu beurteilen, müssen unterschiedliche Kompetenzen gebündelt werden. Neben der Unterstützung aus diversen Empa-Laboren unter der Leitung von Mateusz Wyrzykowski, Gruppenleiter Betontechnologie, wird das NEST-Team bei diesem Bauvorhaben auch vom Architekturbüro OOS

unterstützt. Andreas Derrer, Gründungspartner von OOS, ist sich sicher: «Um dieses neue Zeitalter der Bauindustrie einläuten zu können, braucht es neben den neuen mineralischen Baumaterialien vor allem reale Beispiele, die eine ganzheitliche CO<sub>2</sub>-Bilanzierung zulassen wie auch eine reale Potentialanalyse ermöglichen. Mit der neuen Unit wollen wir Antworten auf die drängende Frage geben, ob und wie Gebäude in Zukunft dazu beitragen können, den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre zu senken.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/nest/beyondzero](http://www.empa.ch/web/nest/beyondzero)



# EFFIZIENZ IST NEBENSACHE

Aus der Wüste in die Schweizer Industriehalle: Gemäss der Idee, die der neuen Initiative «Mining the Atmosphere» zugrunde liegt, wird Energie im «Sonnengürtel» der Erde geerntet, einige Male umgewandelt und über weite Strecken dorthin transportiert, wo sie benötigt wird. Dadurch sinkt zwar der Gesamtwirkungsgrad des Prozesses; ein Blick auf die Energie- und Treibhausgasbilanzen bei der Pyrolyse von synthetischem Methan zeigt indes, dass dies unproblematisch ist.

Text: Stephan Kälin

Die Industrie ist neben dem Gebäudepark und der Mobilität der drittgrösste Energieverbraucher der Schweiz. Insbesondere Hochtemperatur-Prozesse in der Metallverarbeitung und der chemischen Industrie, die oft mit Erdgas betrieben werden, führen zu einem Endenergieverbrauch dieses Sektors von jährlich rund 22 Terawattstunden. Gemeinsam mit dem Tech Cluster Zug, dem Kanton Zug und über einem Dutzend weiteren Partnern hat sich die Empa 2022 zum «Verein zur Dekarbonisierung der Industrie» (VzDI) zusammengeschlossen. In diesem Rahmen wollen die Empa-Forschenden dazu beitragen, Hochtemperatur-Prozesswärme zu dekarbonisieren. «Die Dekarbonisierung nehmen wir



**KOHLENSTOFF AUS METHAN**  
Das Pyrolyseverfahren aus dem Empa-Labor soll in einer Demonstrationsanlage im Tech Cluster Zug zum Einsatz kommen.

Foto: Nicolas Zorivi

dabei wörtlich», sagt Christian Bach, Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme der Empa. «Wir trennen durch ein Pyrolyseverfahren den Kohlenstoff im Erdgas vor der Verbrennung ab.» Was bleibt, ist Wasserstoff, mit dem die industriellen Hochtemperaturprozesse betrieben werden können, und der abgetrennte Kohlenstoff in Pulverform, der für Anwendungen in der Bau- und Landwirtschaft weiterentwickelt werden soll (siehe Seite 18). Eine entsprechende Demonstrationsanlage befindet sich in der Auslegungsphase und wird in den nächsten zwei Jahren in Zug aufgebaut. Der Wasserstoff wird dort dann im Emailierofen der V-Zug AG genutzt.

## DOPPELTE SONNENEINSTRALUNG

Verwendet man anstelle von Erdgas synthetisches Methan, dann lassen sich über den ganzen Prozess sogar negative Treibhausgasemissionen realisieren. Und zwar deshalb, weil für die Herstellung von synthetischem Methan  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre entnommen wird, das nicht mehr emittiert, sondern in Form von festem Kohlenstoff zur Verfügung steht. «Dass wir den gewaltigen Energiebedarf unserer Industrie durch eine inländische Produktion von erneuerbarem Wasserstoff oder synthetischem Methan decken können, ist allerdings nicht realistisch», sagt Bach. Der Blick richtet sich deshalb in die Wüstenregionen der Erde – dorthin also, wo im Vergleich zur Schweiz eine doppelt so hohe Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter erfolgt.

## ZIEL: HOCHTEMPERATURWÄRME MIT NEGATIVEN EMISSIONEN

Die Herstellung von synthetischem Methan in der Wüste, der Transport nach Europa und die anschliessende Pyrolyse sind jedoch verlustbehaftete Prozesse. Entsprechend müssen die Energie- und Treibhausgasbilanzen des Gesamtprozesses genau unter die Lupe genommen werden. Christian Bach und sein Team

haben mit Vertretern des VzDI die ganze Versorgungskette analysiert und mit anderen Verfahren verglichen. Als Vergleichswert dient eine Megawattstunde (MWh) Hochtemperaturwärme für die Industrie. Nutzt man zu deren Bereitstellung – wie bis anhin – Erdgas, sind dazu 1,2 MWh Primärenergie nötig, und es wird 288 kg  $\text{CO}_2$  (bzw.  $\text{CO}_2$ -Äquivalente) ausgestossen. Die Primärenergie beinhaltet auch die Energie, die für die Förderung des Gases – zum Beispiel im Nahen Osten – und den Transport aufgewendet wird und berücksichtigt zudem die Verluste durch Methanschlupf. Etwa ein Fünftel der Emissionen entstehen bei der Bereitstellung des Erdgases, der Rest bei dessen Nutzung.

Wenn nun das Erdgas vor der energetischen Nutzung durch Pyrolyse dekarbonisiert und nur der dabei entstandene Wasserstoff für die Erzeugung der Hochtemperaturwärme genutzt wird, können die  $\text{CO}_2$ -Emissionen insgesamt um 40% auf 178 kg gesenkt werden. Gleichzeitig steigt aber der Primärenergiebedarf an, weil mehr Erdgas erforderlich wird und weil zusätzlich Strom für die Pyrolyse nötig ist. 1 MWh Hochtemperaturwärme benötigt in diesem Szenario 2,6 MWh Primärenergie.

## MEHR ENERGIE, WENIGER EMISSIONEN

Wird nun anstelle von fossilem Erdgas erneuerbares synthetisches Methan verwendet, sinken die  $\text{CO}_2$ -Emissionen tatsächlich in den negativen Bereich, allerdings steigt der Primärenergiebedarf weiter an. Die Bilanzierung beruht auf der Annahme, dass das  $\text{CO}_2$ , das für die Herstellung des synthetischen Methans notwendig ist, mittels einer «Direct-Air-Capturing»-Anlage direkt aus der Atmosphäre gewonnen wird. «Dazu ist ein hoher Energieaufwand nötig», erklärt Christian Bach und nennt damit auch gleich den Grund, weshalb er sich solche Anlagen vor allem in Wüstenregionen

vorstellen kann. Kommt dazu, dass auch die Herstellung von Solar- und Windkraftanlagen mit Emissionen verbunden ist. Berücksichtigt man all diese Faktoren, resultiert bei einer direkten Nutzung von synthetischem Methan für die Erzeugung von 1 MWh Hochtemperaturwärme ein Primärenergiebedarf von 3,5 MWh und Treibhausgasemissionen von 126 kg  $\text{CO}_2$ . Trennt man nun allerdings mittels Pyrolyse den Kohlenstoff vom Wasserstoff ab und nutzt nur diesen Teil energetisch, wechselt die Emissionsbilanz ins Negative: Der gesamte Prozess führt zu negativen Emissionen von  $-77$  kg  $\text{CO}_2$  – allerdings bei einem nochmals höheren Primärenergieaufwand von 6,2 MWh.

«Klar, der Primärenergieaufwand dieses Konzepts ist hoch – rund zweieinhalb bis drei Mal höher als bei der effizientesten Wasserstoffherzeugung in der Schweiz», räumt Bach ein. «Da aber pro Quadratmeter Photovoltaik in Wüstenregionen zwei bis zweieinhalb Mal mehr Strom erzeugt werden kann als bei uns, braucht dieser Ansatz kaum mehr Photovoltaik-Fläche.» Eine Herausforderung seien die Kosten. Gelänge es jedoch, den Kohlenstoff als Rohstoff für nichtenergetische Anwendungen zu vermarkten, dann könnte der gesamte Prozess durchaus wirtschaftlich sein, ist Bach überzeugt. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/de/web/s504](http://www.empa.ch/de/web/s504)



# DEFEKTE ERWÜNSCHT

Ist es möglich, CO<sub>2</sub> wieder in Treibstoffe oder andere nützliche Chemikalien umzuwandeln? Durchaus, aber wir können noch nicht genau kontrollieren, welche Chemikalien dabei entstehen. Empa-Forscher Alessandro Senocrate sucht nach Materialdefekten, die uns dabei helfen könnten.

Text: Anna Ettlín



## EXPERIMENTELL

In diesem System testen Forschende unterschiedliche Katalysatoren und Elektroden.

**K**önnen wir die Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle einfach rückgängig machen? Mit einer erneuerbaren Energiequelle, etwas Wasser und einem geeigneten Katalysator könnte das überschüssige CO<sub>2</sub> aus der Erdatmosphäre zu einer wertvollen Ressource werden, etwa für die Herstellung synthetischer Treibstoffe oder «Synfuels».

An dieser vielversprechenden Idee wird weltweit geforscht, auch an der Empa, denn die Umsetzung gestaltet sich nicht einfach. Nimmt man beispielsweise einen Kupferkatalysator – die am besten erforschte Art von Katalysator für die Konversion von Kohlendioxid – erhält man bis zu 20 unterschiedliche Moleküle, von Kohlenmonoxid und Methan bis hin zu Propanol und Essigsäure. «Manche dieser Verbindungen sind bei Raumtemperatur flüssig, andere gasförmig», sagt Empa-Forscher Alessandro Senocrate. «Es ist extrem aufwendig, all diese Produkte voneinander zu trennen.»

An der Lösung dieses Problems will Senocrate, der im Labor «Materials for Energy Conversion» unter der Leitung von Corsin Battaglia arbeitet, in den nächsten vier Jahren forschen. Das Projekt ist durch einen «Ambizione Grant» des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanziert und ist in den Nationalen Forschungsschwerpunkt «NCCR Catalysis»

eingebettet. Ziel des Projekts ist, neuartige Katalysatoren für die CO<sub>2</sub>-Umwandlung zu entwickeln. Dabei setzt Senocrate nicht beim Material selbst an, sondern bei sogenannten Defekten. Ein Defekt bildet sich in einem kristallinen Material zum Beispiel dann, wenn in dessen Kristallgitter ein Atom fehlt oder durch ein Fremdatom ersetzt wird. Diese Stellen verleihen dem ursprünglichen Material andere Eigenschaften und können somit als aktive Zentren fungieren, an denen die chemische Katalyse stattfindet.

## WO BATTERIEN NICHT AUSREICHEN

Als erstes will der Forscher untersuchen, welche Defekte zu welchen Reaktionsprodukten führen. «Im Idealfall können wir mit diesen Erkenntnissen Katalysatoren designen, die bei der Konversion von CO<sub>2</sub> spezifische Moleküle liefern anstatt ein Gemisch», erklärt er. Einige mögliche Zielmoleküle sind für die Industrie von besonderem Interesse. Dazu gehören etwa Kohlenmonoxid und Ethylen. Diese Moleküle sind sogenannte Plattformchemikalien: Sie sind die Ausgangsstoffe für zahlreiche chemische Prozesse, unter anderem bei der Herstellung der meisten Kunststoffe. «Für solche Plattformchemikalien haben wir bereits eine komplette Wertschöpfungskette», so Senocrate. «Allerdings werden sie heute fast ausschliesslich aus Erdöl hergestellt.» Alternative, umweltfreundlichere Quellen für kohlenstoffbasierte Chemikalien – sei es aus der CO<sub>2</sub>-Konversion oder aus Biomasse – sind also gefragt.

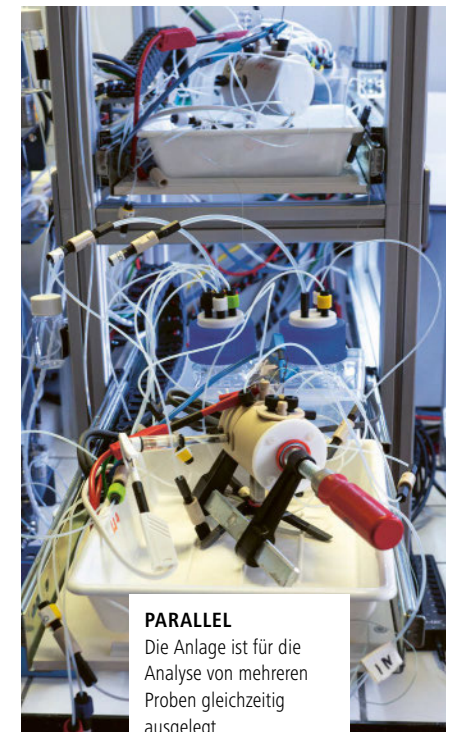
Nebst Kunststoffen können auch Treibstoffe aus diesen Plattformchemikalien hergestellt werden. Weitere Empa-Forschungsprojekte fokussieren sich auf die Herstellung von Synfuels (vgl. Artikel auf S. 26). «Autos lassen sich sehr gut elektrifizieren», sagt Alessandro Senocrate. «Bei Flugzeugen und bei vielen energieintensiven industriellen Prozessen sieht das anders aus.» Hier seien Synfuels

sehr sinnvoll. Der Vorteil von flüssigen Treibstoffen wie Kerosin ist ihre enorm hohe Energiedichte, die diejenige von Batterien um einen Faktor von beinahe 100 übersteigen kann. Mit erneuerbarer Energie produzierte Treibstoffe sind also auch eine besonders attraktive Möglichkeit für die saisonale Energiespeicherung. Die Infrastruktur für den Transport und die Aufbewahrung von Synfuels ist bereits vorhanden, denn sie unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung kaum von fossilen Treibstoffen. Das Einzige, was noch fehlt, ist die Fähigkeit, sie im grossen Stil herzustellen. Senocrate ist indes optimistisch: «Ich forsche erst seit wenigen Jahren auf diesem Gebiet, und trotzdem habe ich schon massive Fortschritte erlebt», sagt der Wissenschaftler. «Natürlich wird es auch einen grossen politischen und gesellschaftlichen Wandel brauchen. Aber aus der Sicht der Materialwissenschaft ist der Fortschritt rasant.»

## DIE TECHNOLOGIE PERFEKTIONIEREN

Bevor Senocrate mit seinem «Ambizione»-Projekt zu diesem Fortschritt beitragen kann, muss er noch einige Herausforderungen überwinden. Eine der grössten: Genug Defekte ins Zielmaterial einbringen, um eine messbare katalytische Wirkung zu erzielen. Denn der Forscher verwendet mit Absicht ein inertes Ausgangsmaterial, das ohne die Defekte keinerlei Einfluss auf die elektrochemische Reaktion hat. «Dadurch kann ich sehr genau bestimmen, welche Wirkung die jeweiligen Defekte haben», erklärt er.

Sind die Defekte erst einmal charakterisiert, können sie auch in bestehende katalytische Materialien eingebracht werden. «Im Idealfall können wir am Ende des Projekts ein bestehendes System für die CO<sub>2</sub>-Konversion gezielt verbessern», sagt Senocrate. Solche Systeme sind im «Materials for Energy Conversion»-Labor bereits im Einsatz: Darin testen die For-



## PARALLEL

Die Anlage ist für die Analyse von mehreren Proben gleichzeitig ausgelegt.

schenden schon heute unterschiedliche Katalysatoren und Elektrodenmaterialien.

Die Ansprüche an diese Materialien sind hoch: «Für einen industriellen Einsatz muss der Katalysator selektiv, aktiv und stabil sein», erklärt Senocrate. Selektivität heisst, dass er nur ein chemisches Reaktionsprodukt liefert – oder zumindest einige wenige, die sich leicht trennen lassen. Eine hohe Aktivität ist notwendig, um mit möglichst wenig Energie eine möglichst grosse Menge an Treibstoffen oder Chemikalien herzustellen. Und natürlich sollte ein marktreifer Katalysator seine Funktionalität über Tausende von Betriebsstunden aufrechterhalten, also stabil sein. «Bei allen drei Eigenschaften müssen wir noch viel besser werden», sagt der Forscher. «Aber wir sind auf dem richtigen Weg.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s501](http://www.empa.ch/web/s501)



# LANGLEBIGE LAMELLEN

Carbonfaserverstärkte Kunststofflamellen stellen eine innovative Methode zur Verstärkung von Bauwerken dar. Bei ihrer Wiederverwertung gibt es aber noch viele offene Fragen. Ein Forschungsprojekt des Empa-Labors «Mechanical Systems Engineering» soll nun Antworten liefern. Dank grosszügiger Unterstützung einer Stiftung konnte das Projekt nun starten.

Text: Loris Pandiani

**D**er Baubereich ist für rund 60 Prozent des jährlichen Abfallaufkommens in der Schweiz verantwortlich. Die Bemühungen der Bauindustrie, die Abbruchmaterialien im Kreislauf zu führen, nehmen zwar stetig zu. Dennoch gibt es nach wie vor ausgedientes Material, das nicht weiterverwendet werden kann, da ein Recycling zu aufwändig und teuer wäre. Eines davon: carbonfaserverstärkte Kunststofflamellen, sogenannte CFK-Lamellen.

## DAMIT GEBÄUDE LÄNGER «LEBEN»

Die vom ehemaligen Dübendorfer Empa-Direktor Urs Meier entwickelte Methode wird bereits seit 30 Jahren im Infrastrukturbau eingesetzt. Die CFK-Lamellen werden mittels Epoxy-Klebstoff an Brücken, Parkgaragen, Gebäudewänden und Decken aus Beton oder Mauerwerk angebracht. Dadurch können die Bauten 20 bis 30 Jahre länger genutzt werden. Die Methode wird weltweit immer häufiger eingesetzt, vor allem auch, weil damit die Erdbebensicherheit von Mauerwerksbauten massiv erhöht werden kann.

«Indem sie die Lebensdauer von Gebäuden und Infrastrukturbauten erheblich verlängern, leisten CFK-Lamellen einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Nachhaltigkeit im Bausektor. Es gilt nun allerdings auch, einen Weg zu finden, wie wir die CFK-Lamellen über die Lebensdauer dieser Bauten hinaus weiter-



**WERTVOLL**  
Beim Rückbau von Infrastrukturbauten fallen carbonfaserverstärkte Kunststofflamellen an, die weiter genutzt werden könnten.

verwenden können», erklärt Giovanni Terrasi, Leiter der Forschungsabteilung «Mechanical Systems Engineering» an der Empa. Aus diesem Grund möchte er eine Methode zur Wiederverwertung der CFK-Lamellen entwickeln. Eine Stiftung fand dieses Vorhaben überzeugend und hat deshalb einen grosszügigen Betrag für das Projekt gesprochen, das damit im Oktober starten konnte.

## SANFTE TRENNUNG

Der erste Schritt wird sein, ein mechanisches Verfahren zu entwickeln, mit dem die aufgeklebten CFK-Bänder vom Beton gelöst werden können – und zwar so, dass sie nicht beschädigt werden. Erste Versuche an der Empa stimmen zuversichtlich: Nach der Trennung der Lamellen vom Beton hatten diese immer noch eine Festigkeit von 95 Prozent – selbst wenn diese bereits an die 30 Jahre im Einsatz waren.

Danach soll aus dem Abbruch-CFK eine Armierung für vorgefertigte Bauteile hergestellt werden. Giovanni Terrasi

Ziel: Tausende von Tonnen CFK, die in den nächsten zehn Jahren nach dem Abbruch alter Betonstrukturen auf dem Sondermüll landen würden, in CO<sub>2</sub>-armen Betonelementen wiederverwenden. Als erstes Demonstrationsobjekt wollen die Forscher um Giovanni Terrasi – Zafeirios Triantafyllidis, Valentin Ott, Mateusz Wyrzykowski und Daniel Völki – am Ende des Projekts Bahnschwellen aus Recyclingbeton herstellen und mit Abbruch-CFK armieren und vorspannen; so würde das vermeintlichen Abfallmaterial eine neue Rolle in der Schweizer Infrastruktur spielen können. ■

## PRIVATE UNTERSTÜTZUNG, DIE DEN UNTERSCHIED MACHT

Der Empa Zukunftsfonds sucht für solche zukunftsweisenden Forschungsprojekte, die anderweitig noch nicht unterstützt werden, private Drittmittel. Falls auch Sie unserer Forschung zusätzlichen Schub geben möchten, finden Sie hier weitere Informationen: [www.empa.ch/web/zukunftsfonds](http://www.empa.ch/web/zukunftsfonds)

Foto: Pixabay

# Den Alltag von morgen nachhaltiger machen.



Machen Sie den Unterschied!  
Unterstützen Sie den  
Empa Zukunftsfonds «Nachhaltigkeit».  
[empa.ch/zukunftsfonds](http://empa.ch/zukunftsfonds)

 **Empa**  
Zukunftsfonds



# IN BIER VERPACKT

Aus einem Abfallprodukt der Bierbrauerei haben Empa-Forschende Nanocellulose gewonnen und diese zu einem Aerogel verarbeitet: einem hochporösen Material, das ausgezeichnet isoliert. Der hochwertige Werkstoff könnte in Lebensmittelverpackungen zum Einsatz kommen.

Text: Anna Ettlin

**A**m Anfang war die Maische. Das Gemisch aus Malz und Wasser wird über mehrere Stunden gerührt und schonend erhitzt. Die Flüssigkeit, die dabei entsteht, heisst Würze und wird in weiteren Prozessschritten zu Bier. Das verbrauchte Malz – der sogenannte Biertreber – hat einen weitaus weniger rühmlichen Weg vor sich. Meistens endet er als Futtermittel oder auf dem Komposthaufen.

Da steckt mehr drin, finden Forschende aus dem Empa-Labor «Cellulose and Wood Materials» unter der Leitung von Gustav Nyström. Sie haben nun ein Verfahren entwickelt, um aus dem Brauereiabfall hochwertige Nanocellulose herzustellen – einen vielseitigen biologisch abbaubaren Rohstoff, der sich beispielsweise zu Verpackungen oder faserverstärkten Kunststoffen verarbeiten lässt. Ihre Ergebnisse veröffentlichten die Forschenden nun in der Zeitschrift «ACS Sustainable Chemistry & Engineering».

## GETREIDE STATT HOLZ

Die Erstautorin der Studie, Nadia Ahmadi Heidari, ist Doktorandin an der «Isfahan Technical University». Sie kam im Rahmen eines Bundes-Exzellenz-Stipendiums für ein Jahr an die Empa. Ihr besonderes Interesse galt der Herstellung von biologisch abbaubaren Verpackungsmaterialien aus Abfallprodukten – einer der Schwerpunkte des «Cellulose and Wood Materials»-Labors. «Wir sind sehr daran



**NEBENPRODUKT**  
Heute wird Biertreber als Tierfutter verwendet oder direkt kompostiert.

interessiert, neue Quellen für wertvolle Rohstoffe wie Cellulosefasern und Lignin zu erschliessen», sagt Gustav Nyström.

Zurzeit werden mikro- und nanofibrillierte Celluloseprodukte aus Holzstoff gewonnen. Holz lässt sich allerdings anderswo sinnvoller einsetzen. «Holz bindet CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre sehr

gut, wächst aber nur langsam», erklärt Nyström. «Daher eignet es sich viel besser für langlebige Anwendungen, etwa im Bau oder zur Herstellung von Möbeln.» Die viel schneller wachsenden einjährigen Pflanzen können Rohstoffe genauso gut liefern, werden aber bis heute kaum dafür genutzt. «Mit unserem Verfahren können wir aus einem

Foto: Adobe Stock

Fotos: Empa

sehr günstig und in grossen Mengen verfügbaren Abfallprodukt, das heute grösstenteils verschwendet wird, hochwertige Materialien gewinnen», ergänzt Empa-Forscher Gilberto Siqueira, Co-Autor des Papers. «Davon profitieren auch kleine Unternehmen, die so das Maximum aus den Rohstoffen herausholen können, die sie bereits verwenden.»

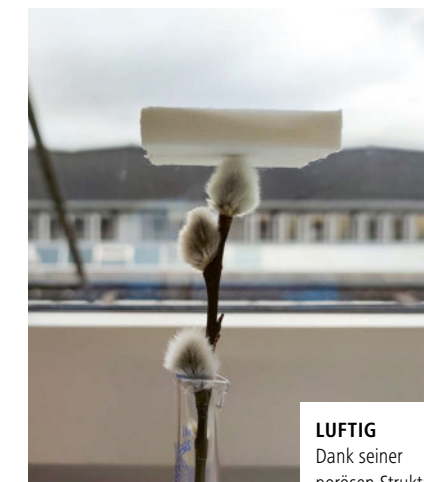
Von einem solchen kleinen Unternehmen, der Pentabier-Brauerei in Dübendorf, stammte auch der Treber, den die Forschenden für ihr Experiment verwendeten. Daraus lösten sie die Nanocellulose-Fasern heraus und verarbeiteten sie durch Gefriertrocknung zu einem Aerogel. Dieses «luftige» Material enthält sehr viele Poren, wodurch es ausgezeichnete

Wärmeisolationseigenschaften aufweist. Aerogele können aus unterschiedlichen Stoffen hergestellt werden – besonders bekannt sind Silicat-Aerogele, die im Bau zum Einsatz kommen. Auf Nanocellulose basierende Aerogele haben zusätzliche Vorteile: Sie stammen aus erneuerbaren Quellen und sind biologisch abbaubar. Das Ziel ist es, sie für Verpackungen einzusetzen, insbesondere von temperaturempfindlichen Lebensmitteln wie Fleisch.

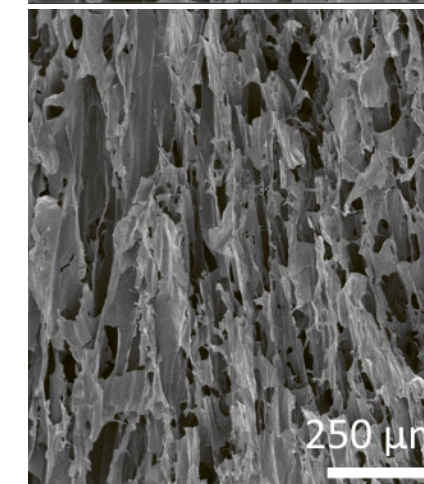
## EINFACHE HERSTELLUNG

Um das Potenzial der Nanocellulose aus Biertreber genauer auszuloten, variierten die Forschenden die einzelnen Vorbehandlungs- und Herstellungsschritte und testeten deren Auswirkungen auf das Endprodukt. So verbessert sich etwa die Qualität der gewonnenen Nanocellulose-Fasern durch Bleichen und Oxidation des Ausgangsmaterials. Mittels unterschiedlichen Gefrierverfahren lässt sich die Grösse und Ausrichtung der Poren im Aerogel steuern, was wiederum dessen isolierende und mechanische Eigenschaften beeinflusst.

«Dabei waren wir bestrebt, den ganzen Prozess möglichst einfach zu halten», so Siqueira. Denn um Anwendung in der realen Welt zu finden, muss nicht nur das Endprodukt überzeugen – es sollte auch noch möglichst einfach und günstig in der Herstellung sein. Auch deshalb interessieren sich die Forschenden für Rohstoffgewinnung aus Abfallprodukten. «Verglichen mit Rückständen aus der Agrarindustrie ist Holz eine kostspielige Quelle für Cellulose, und es hat bereits so viele andere Anwendungen», erklärt Siqueira. In weiteren Forschungsprojekten untersuchen die Wissenschaftler deshalb weitere Abfallprodukte aus der Lebensmittelindustrie und der Forstwirtschaft. Und obwohl Nadia Ahmadi Heidari bereits an die «Isfahan Technical University» zurückgekehrt ist, planen die Empa-Forscher eine weitere



**LUFTIG**  
Dank seiner porösen Struktur ist das entstandene Aerogel leicht und verfügt über hohe Wärmeisolation.



Publikation gemeinsam mit der Jungforscherin, in der sie die Aerogele aus Biertreber genauer beschreiben. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.empa.ch/web/s302](http://www.empa.ch/web/s302)



## BESUCH AUS DEM BUNDESHAUS



**CAMPUSFÜHRUNG**  
Bundesrat Guy Parmelin  
und Empa-Direktorin  
Tanja Zimmermann.

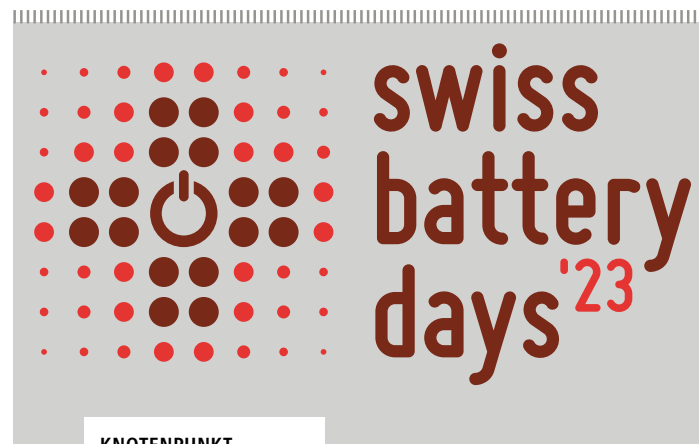
Bundesrat Guy Parmelin, Vorsteher des Eidgenössischen Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF), besuchte am 6. November die Forschungsinstitute Empa, Eawag und WSL. An der Empa informierte er sich über neuste Entwicklungen und Forschungsergebnisse in den Bereichen nachhaltige Mobilität, neuartige Materialien als CO<sub>2</sub>-Senken, Additive Fertigung (AM) und innovative Beschichtungstechnologien und tauschte sich mit der Empa-Direktorin Tanja Zimmermann, dem stellvertretenden Direktor Peter Richner und Direktionsmitglied Lorenz Herrmann, der das Departement Moderne Materialien und Oberflächen leitet, aus.

wbf.admin.ch

## INTERNATIONALE BATTERIEKONFERENZ

Die «Swiss Battery Days», die dieses Jahr vom PSI, von der Empa und dem Schweizerischen Batterie-Verband iBAT organisiert wurden, bringen Batterieforschende und Industriefachleute zusammen. Was vor fünf Jahren als kleine Veranstaltung anging, zog vom 18. bis 20. September 2023 rund 150 Teilnehmende aus ganz Europa an. Die ersten beiden Tage standen im Zeichen der Wissenschaft, wobei sowohl renommierte Forschende als auch junge Schweizer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Batterieforschung präsentierten. Der darauffolgende «Industry Day», der gemeinsam mit dem Schweizerischen Verband der Tech-Industrie Swissmem organisiert wurde, diente dazu, innovative Schweizer Firmen mit Batteriegrößen aus dem Ausland zu vernetzen, darunter LG, Freyer und Innolith. «Batterien gewinnen zunehmend an Bedeutung für die Schweizer Industrie. Schweizer Firmen beliefern Grosshersteller mit innovativen Technologien», sagt Corsin Battaglia, Leiter des Empa-Labors «Materials for Energy Conversion», Vize-Vorsitzender der Konferenz sowie Vizepräsident des Schweizerischen Batterie-Verbands iBAT. «An der Empa führen wir daher immer mehr gemeinsame Forschungsprojekte mit Firmen durch, um ihnen zu neuen Durchbrüchen in diesem Markt zu verhelfen.»

indico.psi.ch/event/14214



**KNOTENPUNKT**  
An den «Swiss Battery Days» vernetzen sich junge Forschende und innovative Unternehmen aus der Schweiz mit den Grössen der Batterieforschung und -entwicklung im Ausland.

Bilder: Empa

## EMPA TRIFFT JAPAN ...



**KOOPERATION**  
Empa-Direktorin  
Tanja Zimmermann  
an der Eröffnung des  
neuen Swisnex-  
Standorts in Osaka,  
Japan.

Empa-Direktorin Tanja Zimmermann reiste im Oktober nach Japan zur Eröffnung des neuen Swisnex-Standorts in Japan. Swisnex, eine Initiative des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Departement für auswärtige Angelegenheiten (EDA), verbindet die Schweiz mit Akteuren in Bildung, Forschung und Innovation auf der ganzen Welt. Ausserdem besuchte Tanja Zimmermann das «Science and Technology in Society» (STS) Forum sowie das «Schwesterinstitut» der Empa, das «National Institute for Materials Science» (NIMS) in Kyoto, mit dem die Empa eine enge Partnerschaft pflegt.

swisnex.org/japan

## ... UND POLEN



**GASTREDNER**  
Peter Richner sprach  
am Polnisch-Schweizerischen  
Innovations-  
tag über nachhaltige  
Bauen.

Am 4. Oktober fand in Warschau der 8. Polnisch-Schweizerische Innovationstag statt, dieses Jahr zum Thema nachhaltige Bauten. Peter Richner, stellvertretender Direktor der Empa, hielt im Rahmen der Konferenz eine Gastvorlesung an der Technischen Universität Warschau, in der er über die Dekarbonisierung von Gebäuden und die Notwendigkeit der Wiederverwendung von Baumaterialien sprach sowie das Forschungs- und Innovationsgebäude NEST vorstellte.

psid2023.pl

Fotos: Swisnex, Empa

## VERANSTALTUNGEN

16.–19. JANUAR 2024  
NEST IM SWISSBAU FOCUS  
Ort: Messe Basel

16. JANUAR 2024  
Keynote-Session: Mining the atmosphere:  
CO<sub>2</sub>-negative Baumaterialien

17. JANUAR 2024  
Praxistalk: Reisst die Mauern ein! Nur gemeinsam  
entsteht wahre Innovation

18. JANUAR 2024  
Praxistalk: Kreislauf im Bau: Heute bereits  
erfolgreich umsetzen

19. JANUAR 2024  
Praxistalk: Integrated Project Delivery – Modell der  
partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Bauwesen

Anmeldung: [nest.empa.ch/swissbau2024](http://nest.empa.ch/swissbau2024)

BESUCHEN SIE UNS AUCH AM INFOPOINT.  
HALLE 1.0, MESSE BASEL

19. MÄRZ 2024  
Kurs: Additive Fertigung von Metallen  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/metalle](http://www.empa-akademie.ch/metalle)  
Empa, Dübendorf

14. MAI 2024  
Kurs: Klebtechnik für Praktiker  
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
[www.empa-akademie.ch/klebtechnik](http://www.empa-akademie.ch/klebtechnik)  
Empa, Dübendorf

Die komplette Liste der Veranstaltungen finden Sie unter:  
[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch).



THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



**Empa**

Materials Science and Technology