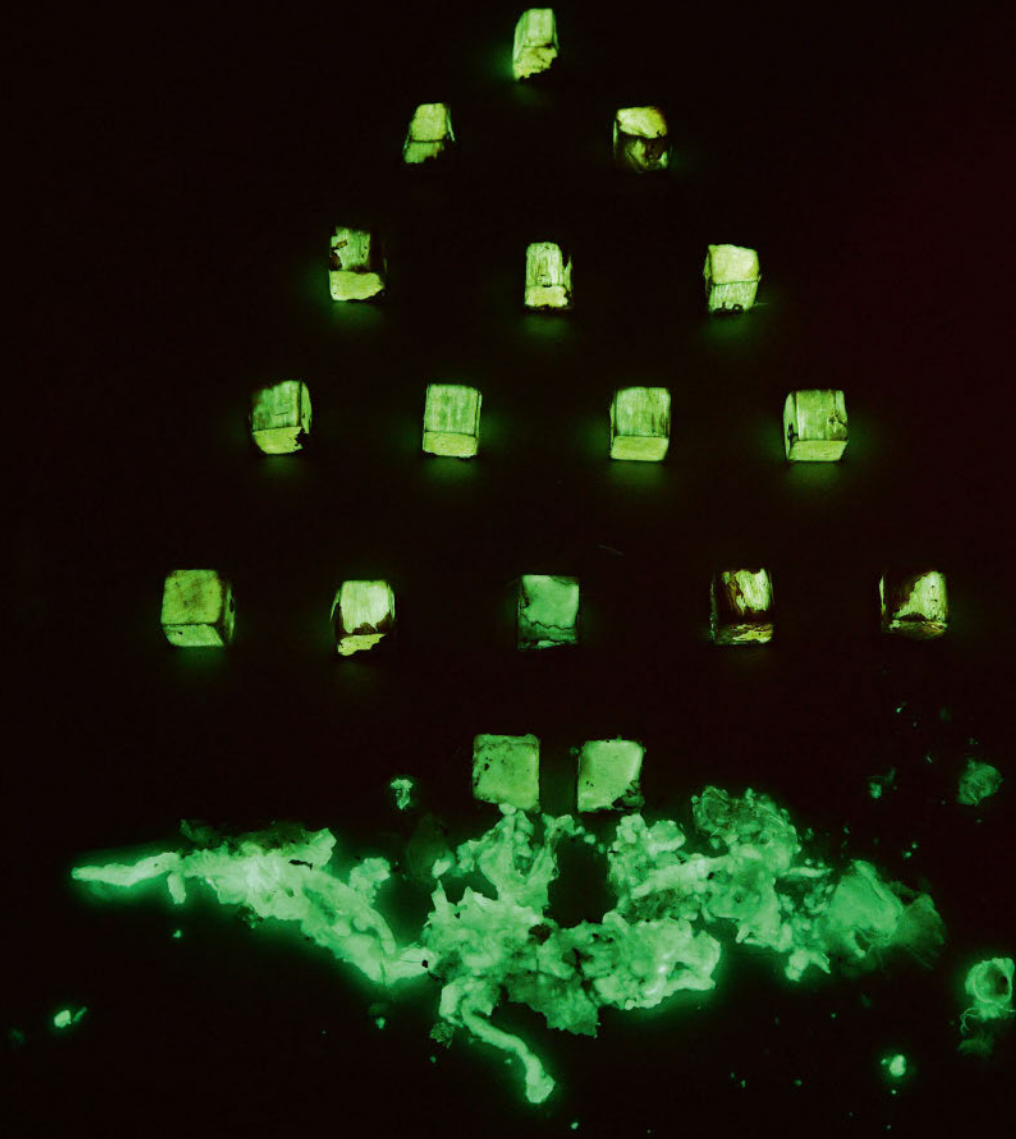


Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #86 II DEZEMBER 2024

FOKUS: GRÜNE BIOTECHNOLOGIE

HIGH-TECH AUS DEM WALD



LEUCHTENDES HOLZ
LEBENDE BATTERIEN
SMARTE WERKSTOFFE

[INHALT]

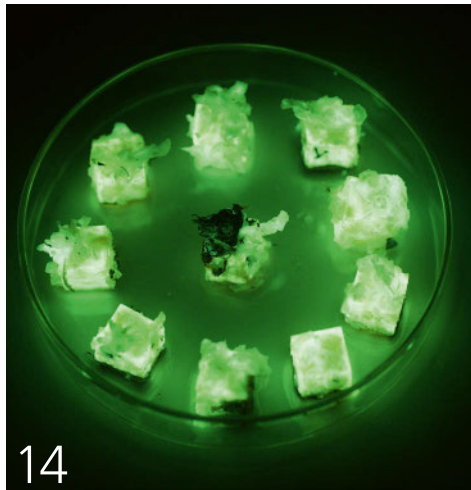
[FOKUS: GRÜNE BIOTECHNOLOGIE]



24



20



14



32



26

[FOKUS]

11 PILZBATTERIE
Akku «ai funghi»

14 LEUCHTHOLZ
Es werde Licht!

18 MATERIALFLÜSSE
Bitte nicht gleich
verheizen

20 HOLZWERKSTOFF
Alpines Handwerk
inspiriert neue Werkstoffe

22 GRÜNE
ELEKTRONIK
Fieberthermometer für
empfindliche Güter

[THEMEN]

08 QUANTEN-
TECHNOLOGIE
Quanten-Lego aus
Kohlenstoff

24 LÄRMBELASTUNG
Grün gegen Stress

28 BATTERIE-
FORSCHUNG
Schneller, dichter, weiter

32 MEDIZIN-
TECHNOLOGIE
Präzisere Krebsdiagnose
in 3D

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

26 ZUKUNFTSFONDS
Nanotherapie fürs Auge

28 NACHRUF
Abschied von einem
Freund der Empa

34 UNTERWEGS



[TITELBILD]



Entstanden ist dieses
grüne Glühen in einem
Labor der Empa. Trotzdem
ist es ein natürliches
Phänomen, das bereits
der griechische Philosoph
Aristoteles kannte. Von
Pilzfäden durchzogenes
Holz kann unter den
richtigen Bedingungen
nämlich leuchten. Es
könnte beispielsweise
als energieeffiziente,
hitze- und biologisch
abbaubare Lichtquelle
dienen. Foto: Empa

[IMPRESSUM]

HERAUSGEBERIN Empa
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Schweiz
www.empa.ch

REDAKTION Empa Kommunikation

ART DIREKTION 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



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

1 + 1 = 3

Liebe Leserin,
lieber Leser,



Die Schweiz ist mit Rohstoffen nicht gerade gesegnet. Eine natürliche Ressource, die es hier indes reichlich gibt, ist Holz. Rund ein Drittel der Schweizer Landesfläche ist bewaldet, Tendenz sogar leicht steigend. Das Geniale daran: Der Rohstoff wächst nach und bindet dabei auch gleich CO₂. Und er ist viel vielseitiger, als man denkt. Es gibt fast nichts, was man mit Holz und den daraus gewonnenen Materialien nicht machen kann. Wussten Sie etwa, dass Holz leuchten kann? Oder dass man aus Cellulose-Fasern «grüne Elektronik» herstellen kann, zum Beispiel Sensoren, die Umweltveränderungen anzeigen? Das alles und noch viel mehr gelingt, wenn man Rohstoff 1 (Holz) mit Rohstoff 2 (hellen Köpfen) zusammenbringt, wie dieses Quartely eindrücklich zeigt. Letztere haben übrigens auch untersucht, wie man Schweizer Holz nutzen sollte, um einerseits eine hohe Wertschöpfung zu generieren, andererseits das enthaltene CO₂ möglichst lange zu binden. Die energetische Nutzung sollte demnach erst nach einem möglichst langen «Leben» in unterschiedlichsten Inkarnationen – als Baumaterial, Werkstoff oder Möbel – erfolgen. Man spricht von Kaskadennutzung.

Unser Wald bietet nebst Holz aber auch eine andere Quelle für neuartige Materialien – Pilze. Die sind es nämlich, die das eingangs erwähnte Holz zum Leuchten bringen. Aus ihnen kann man aber auch Mini-Batterien herstellen, um etwa Sensoren in der Landwirtschaft oder in der Umweltforschung damit zu betreiben. Nach getaner Arbeit verfallen sie dann einfach zu Staub.

Eine spannende Lektüre – und die besten Wünsche fürs neue Jahr!
Ihr MICHAEL HAGMANN



LUFTIGE CELLULOSE AUS DEM 3D-DRUCKER

Ultraleicht, wärmeisolierend, biologisch abbaubar: Aerogel aus Cellulose ist enorm vielseitig. Empa-Forschenden aus dem Labor «Building Energy Materials and Components» ist es in einem SNF-Projekt gelungen, das Naturmaterial mittels 3D-Druck in komplexe Formen zu bringen. Obwohl es ursprünglich um Wärmeisolation ging – etwa zur Präzisionsisolation in der Mikroelektronik –, sehen die Forschenden auch grosses Potenzial in der Medizin. Da das druckbare Aerogel aus reiner Cellulose besteht, ist es biokompatibel und dank poröser Struktur in der Lage, Medikamente über längere Zeit im Körper freizusetzen. Und der 3D-Druck bietet die Möglichkeit, diverse Formen herzustellen, etwa als Gerüst für Zellwachstum oder für personalisierte Implantate.



Foto: Empa

BLICK HINTER DIE KULISSEN: WERDEN SIE EIN «FRIEND OF EMPA»



COMMUNITY

«Friends of Empa» ist eine Plattform für alle, die an der Forschung der Empa und den Menschen dahinter interessiert sind.

Die Empa will den Dialog mit der interessierten Öffentlichkeit weiter ausbauen. Dazu hat sie eine neue Initiative namens «Friends of Empa» lanciert. Mit der Initiative soll eine Community von Menschen entstehen, die Interesse an der Empa und ihrer Forschung haben. «Friends of Empa» haben Zugang zu exklusiven Anlässen, Vorträgen und Laborführungen. So erfahren die «Freunde» von den Forscherinnen und Forschern aus erster Hand, woran diese gerade arbeiten, und erhalten einen Blick hinter die Kulissen, der normalerweise kaum möglich ist. Das Netzwerk steht jeder und jedem offen. Die Empa freut sich darauf, in den nächsten Jahren viele «Friends» an ihren Standorten zu begrüßen. Sie wären auch gerne ein «Friend of Empa»? Dann melden Sie sich hier an:



INNOVATION GEGEN OP-KOMPLIKATIONEN AUSGEZEICHNET

Der «Empa Innovation Award» würdigt herausragende Projekte, die die Brücke zwischen Labor und Wirtschaft schlagen. Dieses Jahr wurde ein Team der Empa und der ETH Zürich um Alexander Jessernig, Alexandre Anthis und Inge Herrmann für ihre «SensAL»-Technologie ausgezeichnet. «SensAL» warnt schnell und präzise vor lebensgefährlichen Komplikationen nach Operationen im Bauchraum. Das Prinzip ist dabei kostengünstig, überzeugend einfach und gut in den Klinikalltag integrierbar, was auch die Jury überzeugte. Kurz nach der Preisvergabe wurde «SensAL» auch bei der Wissenschaftsveranstaltung «Falling Walls Switzerland» ausgezeichnet.

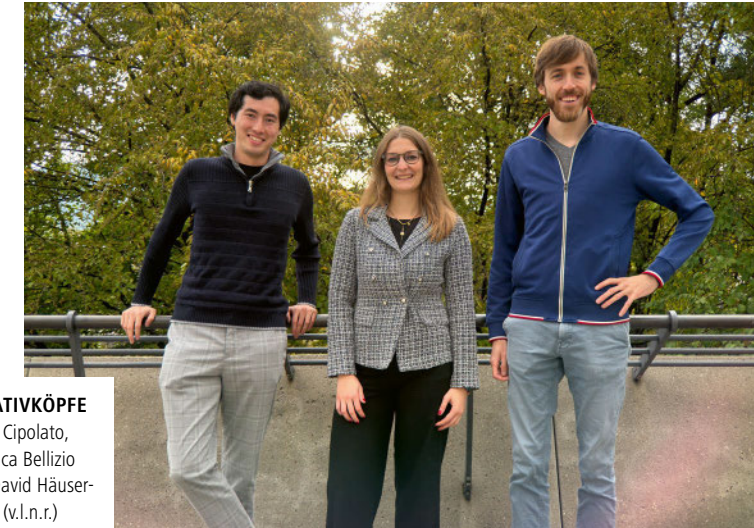


PREISTRÄGER

Alexander Jessernig mit der «SensAL»-Technologie.

Fotos: Empa; ETH Zürich

«EMPA ENTREPRENEUR FELLOWSHIP» FÜR DIE START-UPS VON MORGEN



KREATIVKÖPFE

Oscar Cipolato, Federica Bellizio und David Häusermann (v.l.n.r.) erhalten je ein «Empa Entrepreneur Fellowship».

Die Start-up-Förderung der Empa hat durch das «Empa Entrepreneur Fellowship» zusätzlichen Auftrieb erhalten. Dieses Stipendium wurde bereits zum dritten Mal an junge Forschende vergeben, die anwendungsorientierte Ergebnisse in innovative Produkte oder Services umsetzen wollen. Dieses Jahr gibt es gleich drei Gewinner: Oscar Cipolato treibt das Gewebelöten mittels Laser voran, Federica Bellizio entwickelt eine Plattform für Energieversorger, und David Häusermann forscht an Drohnen für Feuerwehreute und Industriinspektoren.



«SCIENCE BREAKTHROUGH OF THE YEAR» AN INGE HERRMANN

Die Empa-Forscherin Inge Herrmann wurde von der «Falling Walls Foundation» mit dem «Global Women's Impact Award» und dem Titel «Science Breakthrough of the Year 2024» in der Kategorie «Women's Impact» ausgezeichnet. Herrmann präsentierte ihre Forschung im November auf der Falling Walls Main Stage sowie im Rahmen des Kavli Dialog. Zusätzlich stellte Alexander Jessernig, Doktorand in Herrmanns Team und Gewinner des Falling Walls Lab Switzerland, seinen Sensor zur Früherkennung postoperativer Darmlecks vor. Inge Herrmann leitet eine Forschungsgruppe im Empa-Labor «Particles-Biology Interactions» sowie das «Ingenuity Lab» an der Universität Zürich und der Universitätsklinik Balgrist und ist zudem akkreditierte Professorin am Departement Maschinenbau der ETH Zürich. In einem ihrer Forschungsprojekte hat ihr Team unter anderem ein reversibles Implantat aus Hydrogel entwickelt, das zur Prävention der weitverbreiteten Frauenkrankheit Endometriose und gleichzeitig als Verhütungsmittel eingesetzt werden könnte.



HERAUSRAGEND

Inge Herrmann wurde für ihre Arbeiten zu Women's Health ausgezeichnet.



Fotos: Empa

QUANTEN-LEGO AUS KOHLENSTOFF

Quantentechnologien versprechen Durchbrüche in der Kommunikation, der Rechenleistung, der Messtechnik und vieles mehr. Doch sind Quantenzustände fragil und deren Effekte schwer zu fassen. Entsprechend herausfordernd gestaltet sich die Forschung an realen Anwendungen. Empa-Forschenden und ihren Partnern ist nun ein Durchbruch gelungen: Sie konnten mit einer Art «Quanten-Lego» ein lange bekanntes theoretisches quantenphysikalisches Modell in einem synthetischen Material exakt nachbauen.

Text: Anna Ettlin



PRÄZISIONSARBEIT
Mit besonderen Nanographen-Molekülen konnten die Forschenden ein theoretisches Modell aus der Quantenphysik exakt nachbauen.

Grafik: Empa

Foto: Empa

Die kleinste Informationseinheit in einem Computer ist das Bit: ein oder aus, 1 oder 0. Aus der Verknüpfung und Verschaltung unzähliger Einsen und Nullen setzt sich heute die gesamte Rechenleistung der Menschheit zusammen. Quantencomputer haben ebenfalls eine solche Einheit, das Qubit. Auch dieses hat grundsätzlich zwei mögliche Zustände. Der wesentliche Unterschied: Quanteneffekte erlauben eine Überlagerung (engl. «Superposition») der beiden Zustände, sodass das Qubit nicht entweder 1 oder 0 ist, sondern sowohl als auch. Mit verschiedenen Mischungen von 0 und 1 kann das Qubit theoretisch unendlich viele Zustände annehmen.

Diese Vieldeutigkeit sollte Quantencomputern wahre «Zauberkräfte» verleihen. Zumindest in der Theorie können quantenbasierte Rechner so in Sekundenbruchteilen Berechnungen vornehmen, an denen heutige Supercomputer scheitern. Noch ist das Quantenrechnen aber nicht ausgewachsen. Eine der grossen Herausforderungen ist das Verknüpfen der Qubits miteinander – denn ein (Qu) Bit allein macht noch keinen Computer.

Eine Möglichkeit, die 0 und die 1 des Qubits zu realisieren, ist über die Ausrichtung des sogenannten Elektronenspins. Der Spin ist eine grundlegende quantenmechanische Eigenschaft von Elektronen und anderen Teilchen, eine Art Drehmoment, das, vereinfacht gesagt nach

«oben» oder nach «unten» also «up» (1) oder «down» (0) zeigen kann. Sind zwei oder mehr Spins quantenmechanisch verknüpft, beeinflussen sie ihre Zustände gegenseitig: Ändert sich die Ausrichtung des einen, ändern diese sich auch für alle anderen. Eine gute Möglichkeit also, um Qubits miteinander «sprechen» zu lassen. Nur: Wie so vieles in der Quantenphysik, ist diese Sprache, also die Interaktion der Spins untereinander, enorm komplex. Obwohl man sie mathematisch beschreiben kann, lassen sich die einschlägigen Gleichungen selbst für relativ simple Verkettungen weniger Spins kaum noch exakt lösen. Nicht gerade die besten Voraussetzungen dafür, die Theorie in die Praxis zu übertragen ...

EIN MODELL WIRD REELL

Empa-Forschenden aus dem «nanotech@surfaces Laboratory» haben nun eine Methode entwickelt, wie man viele Spins kontrolliert miteinander «sprechen» lassen kann – und ihnen dabei auch noch «zuhören», also ihre Wechselwirkungen nachvollziehen kann. Gemeinsam mit Forschenden der «International Iberian Nanotechnology Laboratory» und der Technischen Universität Dresden konnten sie eine archetypische Verkettung von Elektronenspins exakt nachbauen und deren Eigenschaften detailliert vermessen. Ihre Ergebnisse wurden nun in der renommierten Fachzeitschrift «Nature Nanotechnology» veröffentlicht.

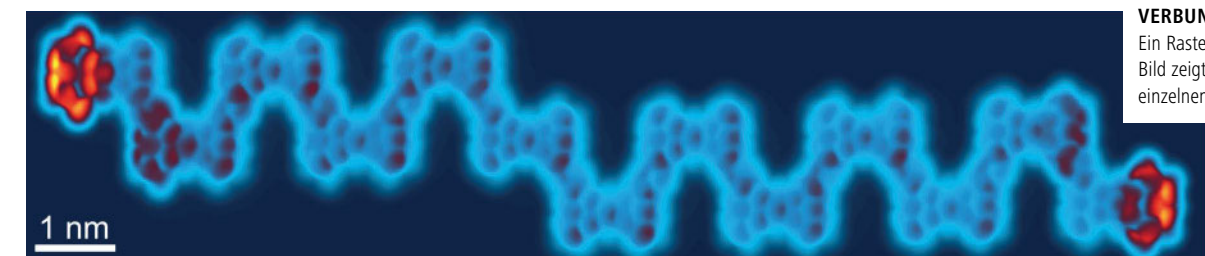
Die Theorie hinter der Verkettung ist allen Physikstudierenden geläufig:

Man nehme eine lineare Kette aus Spins, in der jeder Spin mit einem seiner Nachbarn stark wechselwirkt und mit dem anderen schwach. Dieses sogenannte eindimensionale alternierende Heisenberg-Modell wurde vor fast 100 Jahren vom Physiker und späteren Nobelpreisträger Werner Heisenberg, einem der Begründer der Quantenmechanik, beschrieben. Obwohl es Materialien in der Natur gibt, die solche Spinketten enthalten, ist es bisher nicht gelungen, die Ketten gezielt in ein Material einzubauen. «Reelle Materialien sind immer komplexer als ein theoretisches Modell», erklärt Roman Fasel, Leiter des «nanotech@surfaces Laboratory» und Co-Autor der Studie.

EIN «KELCH» AUS KOHLENSTOFF

Um ein solches künstliches Quantenmaterial oder «artificial quantum matter» herzustellen, griffen die Empa Forschenden deshalb auf winzige Stückchen des zweidimensionalen Kohlenstoff-Materials Graphen zurück. Die Form dieser Nanographen-Moleküle beeinflusst ihre physikalischen Eigenschaften, insbesondere auch ihren Spin – eine Art Nano-Quanten-Legostein, aus denen die Wissenschaftler längere Ketten «zusammenstecken» können.

Für ihr Heisenberg-Modell nutzten die Forschenden das sogenannte Clar's Goblet. Dieses besondere Nanographen-Molekül besteht aus elf Kohlenstoffringen, die in einer Sanduhr-ähnlichen Form angeordnet sind. Aufgrund dieser besonderen Form befindet sich



VERBUNDEN
Ein Rastertunnelmikroskopie-Bild zeigt die Spin-Kette aus einzelnen Clar's Goblets.

an beiden Enden je ein ungepaartes Elektron – jedes mit einem dazugehörigen Spin. Obwohl schon 1972 vom Chemiker Erich Clar vorhergesagt, konnte das Clar's Goblet erst 2019 durch die Empa-Forschenden des «nanotech @surfaces»-Labors hergestellt werden.

Nun haben die Forschenden die Goblets auf einer Goldoberfläche zu Ketten verknüpft. Die zwei Spins innerhalb eines Moleküls sind dabei schwach miteinander verknüpft, die Spins von Molekül zu Molekül stark – eine perfekte Realisierung der alternierenden Heisenberg-Kette. Die Forschenden konnten die Länge der Ketten präzise manipulieren, einzelne Spins gezielt ein- und ausschalten sowie von einem Zustand in den anderen «drehen» und die komplexe Physik dieses neuartigen Quantenmaterials genauer untersuchen.

AUS DER THEORIE IN DIE PRAXIS

So wie die Synthese von Clar's Goblet die Herstellung von Heisenberg-Ketten ermöglicht hat, wird auch diese Studie

ihrerseits neue Tore in der Quantenforschung öffnen, ist Fasel überzeugt. «Wir haben gezeigt, dass sich theoretische Modelle der Quantenphysik mit Nanographenen realisieren lassen und ihre Vorhersagen somit experimentell überprüfbar sind», sagt der Forscher. «Nanographene mit anderen Spin-Konfigurationen lassen sich zu anderen Arten von Ketten oder zu komplexeren Systemen verknüpfen.» Die Empa-Forschenden gehen gleich mit gutem Beispiel voran: In einer zweiten Studie, die kurz vor der Veröffentlichung steht, konnten sie eine andere Art der Heisenberg-Kette nachbauen, bei der alle Spins gleich stark miteinander verknüpft sind.

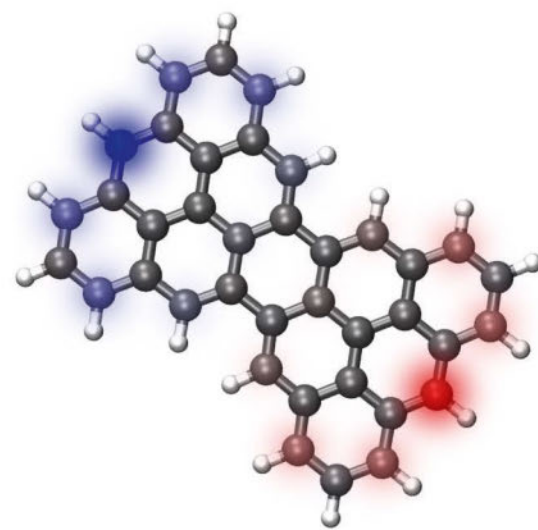
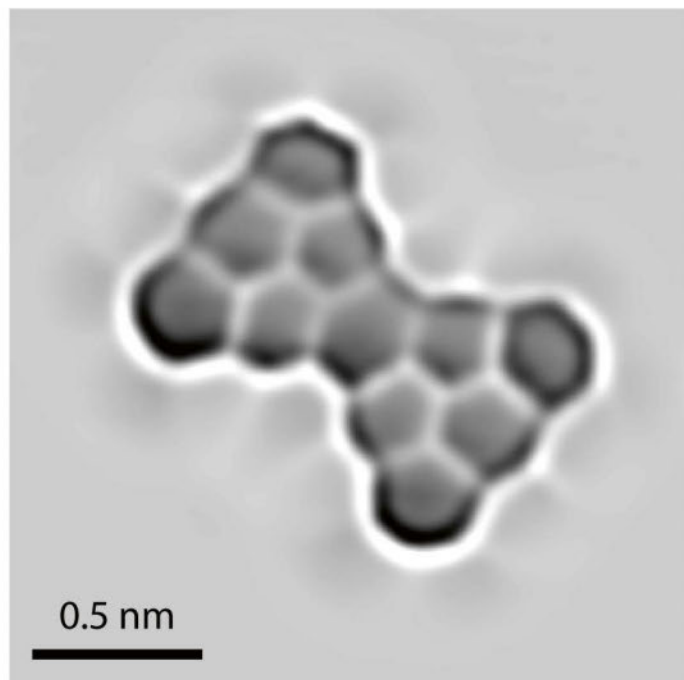
Um an der vordersten Front der angewandten Quantenphysik mitzuwirken, müssen Theoretiker und Praktiker aus verschiedenen Disziplinen zusammenspannen. Chemiker der Technischen Universität Dresden haben den Empa-Forschenden die Ausgangsmoleküle für ihre Synthese von Clar's Goblets zur Verfügung gestellt. Und Forschende

der «International Iberian Nanotechnology Laboratory» in Portugal brachten ihre Expertise in der Theorie ins Projekt ein. Die Theorie, die es für solche Durchbrüche braucht, ist nicht (nur) diejenige, die man in Physikbüchern findet, betont Fasel, sondern eine anspruchsvolle Transferleistung zwischen dem quantenphysikalischen Modell und den experimentellen Messungen. ■



KLUGER KELCH

Links: Hochauflösende Rastertunnelmikroskopie-Aufnahme von Clar's Goblet.
Rechts: Strukturmodell von Clar's Goblet (blau: Spin aufwärts, rot: Spin abwärts).



Grafik: Empa

Foto: Empa

AKKU «AI FUNGHI»

Eine Batterie, die man nicht aufladen muss, sondern ... füttern?
Genau das ist Empa-Forschenden mit ihrer 3D-gedruckten, biologisch abbaubaren Pilzbatterie gelungen. Die lebende Zelle könnte Sensoren für die Landwirtschaft oder die Forschung in abgelegenen Regionen mit Strom versorgen. Ist ihre Arbeit getan, löst sie sich selbst von innen auf.

Text: Anna Ettlin

BIOTECHNOLOGIN

Empa-Forscherin Carolina Reyes mit einer der Pilzkulturen, die für die Batterie zum Einsatz kam.



Pilze faszinieren. Dieses Reich der Lebewesen – näher mit Tieren als mit Pflanzen verwandt – umfasst eine enorme Vielfalt. Hier findet man alles: vom Speisepilz bis zum Schimmel, vom Einzeller bis zum grössten Organismus der Erde, vom krank machenden Schädling bis zum Superhelden, der Medikamente herstellt. Nun haben Empa-Forschende den Pilzen eine weitere Fähigkeit entlockt: Strom generieren.

Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojekts, das von der Gebert RUF Stiftung im Rahmen des Förderprogramms «Microbials» unterstützt wurde, haben Forschende des Empa-Labors «Cellulose and Wood Materials» nämlich eine funktionierende Pilzbatterie entwickelt. Viel Strom produzieren die lebenden Zellen nicht – aber genug, um damit beispielsweise einen Temperatursensor über einige Tage zu betreiben. Solche Sensoren kommen in der Landwirtschaft oder in der Umweltforschung zum Einsatz. Der grösste Vorteil der Pilzbatterie: Sie ist nicht nur komplett ungiftig, anders als herkömmliche Batterien, sondern auch noch biologisch abbaubar.

PILZE AUS DEM 3D-DRUCKER

Korrekterweise handelt es sich bei der Zelle nicht um eine Batterie, sondern um eine sogenannte mikrobielle Brennstoffzelle. Wie alle Lebewesen wandeln Mikroorganismen Nährstoffe in Energie um. Mikrobielle Brennstoffzellen machen sich diesen Stoffwechsel zunutze und greifen einen Teil der Energie als Strom ab. Bisher wurden sie meist mit Bakterien betrieben. «Wir haben erstmals zwei Pilzarten zu einer funktionierenden Brennstoffzelle kombiniert», sagt Empa-Forscherin Carolina Reyes. Die Stoffwechsel der beiden Pilze ergänzen sich: Auf der Anodenseite befindet sich ein Hefepilz, dessen Metabolismus Elektronen freisetzt. Die Kathode ist

von einem Weissfäulepilz, der Samtigen Tramete, besiedelt. Die Tramete produziert ein besonderes Enzym, dank dem die Elektronen eingefangen und aus der Zelle geleitet werden können.

Dabei werden die Pilze nicht etwa in die Batterie «gepflanzt», sondern sind von Anfang an ein integraler Bestandteil der Zelle. Die Komponenten der Pilzbatterie werden nämlich mittels 3D-Druck

«Gerade im Bereich der Materialwissenschaft sind Pilze zu wenig erforscht.»

hergestellt. Das erlaubt den Forschenden, die Elektroden so zu strukturieren, dass die Mikroorganismen möglichst einfach an die Nährstoffe kommen. Dafür werden die Pilzzellen unter die Drucktinte gemischt. Einfacher gesagt als getan: «Es ist anspruchsvoll genug, ein Material zu finden, in dem die Pilze gut wachsen», sagt Gustav Nyström, Leiter des «Cellulose and Wood Materials»-Labors. «Die Tinte muss sich dann aber auch gut extrudieren lassen, ohne dass die Pilzzellen dabei sterben – und natürlich sollte sie noch elektrisch leitfähig und biologisch abbaubar sein.»

MIKROBIOLOGIE TRIFFT ELEKTROTECHNIK

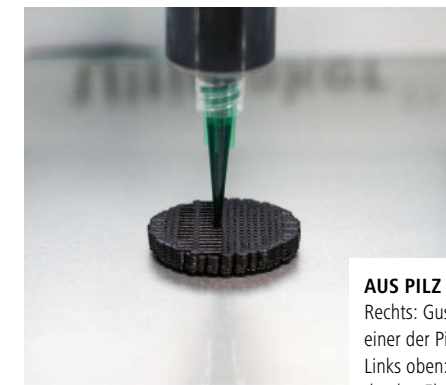
Dank der grossen Erfahrung ihres Labors im 3D-Druck von weichen, biobasierten Materialien gelang es den Forschenden, eine passende Tinte auf der Basis von Cellulose herzustellen. Die Pilzzellen können die Cellulose sogar als Nährstoffquelle nutzen und helfen so, die Zelle nach ihrem Einsatz abzubauen. Ihre bevorzugte «Nahrung» besteht allerdings aus einfachen Zuckermolekülen, die den Zellen zugesetzt werden. «Man kann die Pilzbatterien in einem getrockneten Zustand aufbewahren und am Einsatzort einfach durch die Zugabe von Wasser und Nährstoffen aktivieren», sagt Reyes.

Obwohl die robusten Pilze solche Trockenphasen überleben, barg die Arbeit mit den lebenden Materialien einige Herausforderungen für die Forschenden. Das interdisziplinäre Projekt vereint Mikrobiologie, Materialwissenschaft und Elektrotechnik. Um die Pilzbatterien zu charakterisieren, musste sich gelernte

Mikrobiologin Reyes nicht nur Techniken aus der Elektrochemie aneignen, sondern sie auch für die 3D-Drucktinte anpassen.

Nun wollen die Forschenden die Pilzbatterie leistungsfähiger und langlebiger machen – und weitere Pilzarten suchen, die sich als Stromlieferanten

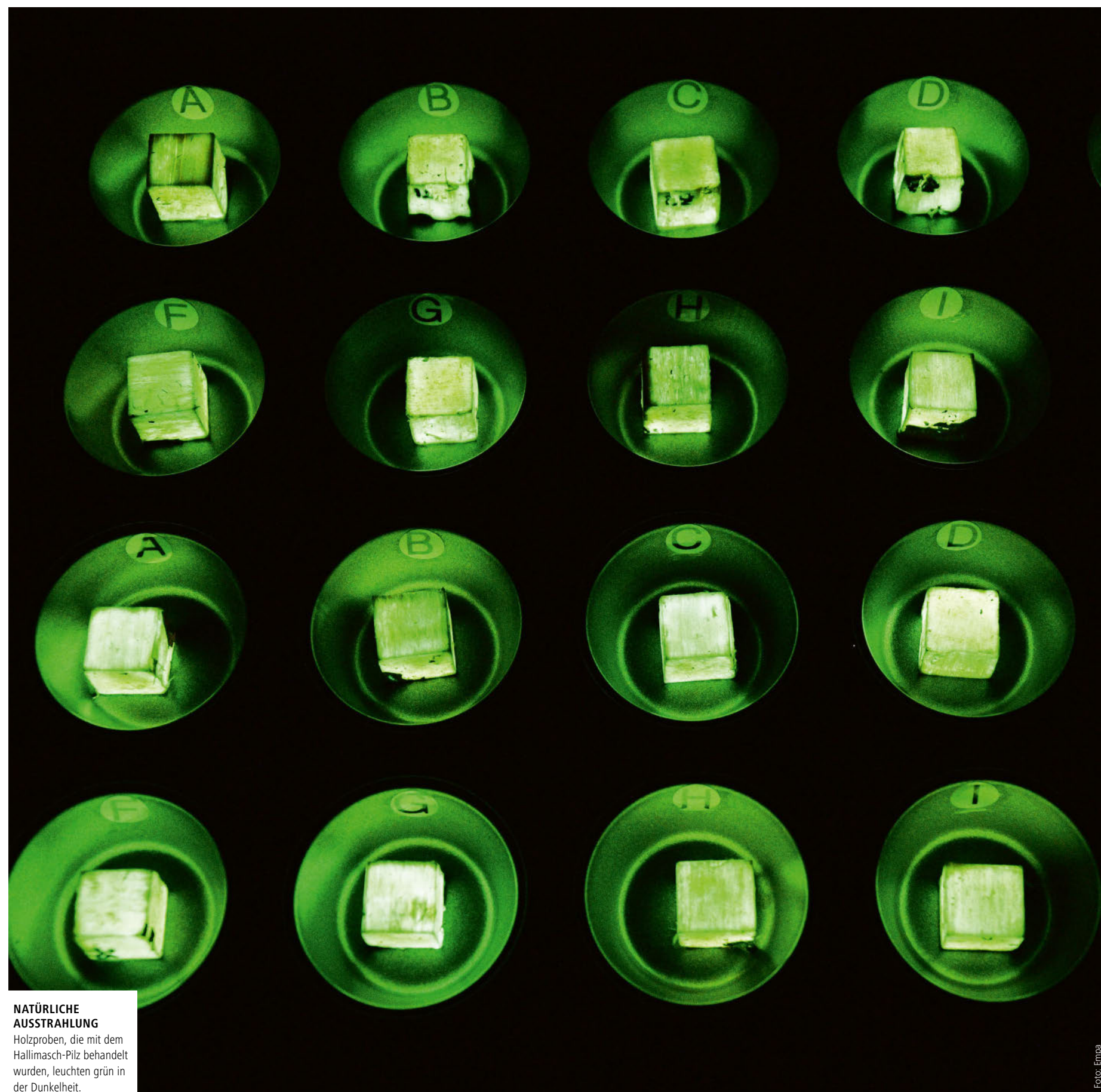
eignen. «Gerade im Bereich der Materialwissenschaft sind Pilze noch zu wenig erforscht und genutzt», sind sich Reyes und Nyström einig. ■



AUS PILZ MACH STROM
Rechts: Gustav Nyström mit einer der Pilzkulturen.
Links oben: Die 3D-gedruckte Elektrode.
Links Mitte: Das Wachsgelgehäuse der Pilzbatterie.
Links unten: Carolina Reyes und Gustav Nyström.



Fotos: Empa



NATÜRLICHE AUSSTRAHLUNG

Holzproben, die mit dem Hallimasch-Pilz behandelt wurden, leuchten grün in der Dunkelheit.

Foto: Empa

ES WERDE LICHT!

Seit immer mehr Laubbäume in Schweizer Wäldern angepflanzt werden, deren Holz bisher häufig direkt verheizt wird, sind innovative Ideen für eine alternative Nutzung gefragt: um die Ressource Laubholz nachhaltig zu verwerten. Empa-Forschende statten Holz daher mit neuen Funktionalitäten aus. Ihr neuester Coup: Holz, das leuchten kann.

Text: Andrea Six

U m Klimawandel und Borkenkäfer zu trotzen, werden in Schweizer Wäldern vermehrt Laubbäume gepflanzt. Deren Holz sollte möglichst mehrfach (und lange) verwendet werden, bevor es als Brennholz endet und das gespeicherte CO₂ wieder in die Atmosphäre freisetzt. Derzeit wird das anfallende Laubholz allerdings noch zu häufig direkt energetisch genutzt. Innovative Ideen für eine nachhaltigere Nutzung sind also gefragt. Eine Möglichkeit ist, das Naturmaterial mit neuen Eigenschaften – technisch ausgedrückt: Funktionalitäten – auszustatten und es etwa in magnetisches, wasserdichtes oder stromerzeugendes Holz zu verwandeln.

Derzeit verfolgt das Team um Pilzforscher Francis Schwarze vom «Cellulose & Wood Materials»-Labor der Empa

in St. Gallen eine weitere Idee für ein neuartiges Kompositmaterial auf Basis von Laubholz: leuchtendes Holz. Neben Anwendungen im technischen Bereich könnte das Leuchtholz zu Designmöbeln oder Schmuck verarbeitet werden.

VERWOBENE LEBENDE MATERIALIEN

Gelungen ist dies dank eines Schmarotzers: Der Hallimasch-Pilz ist ein Erreger der Weissfäule bei Bäumen und damit eigentlich ein Holzschädling. Manche Arten produzieren den Naturstoff Luciferin, der in einem zweistufigen enzymatischen Prozess zum Leuchten angeregt wird. Von Pilzfäden durchzogenes Holz strahlt daher ein grünes Licht aus.

«Natürlich leuchtendes Holz wurde das erste Mal vor rund 2400 Jahren durch den griechischen Philosophen Aristoteles beschrieben», sagt Francis Schwarze. Genau genommen lässt sich ►

das verwobene Gebilde aus Pilz und Holz als natürliches Biohybrid bezeichnen, eine Kombination von lebenden Materialien. «Künstlich erzeugt wären derartige Kompositmaterialien für viele Anwendungsarten interessant», sagt der Empa-Forscher. Doch was der Natur scheinbar mühelos gelingt, war für die Biotechnologie bisher eine (zu) grosse Herausforderung. Nun ist es dem Empa-Team erstmals gelungen, den Prozess unter kontrollierten Bedingungen im Labor zu induzieren und zu steuern.

VON DER NATUR INS LABOR

Die Leuchtpilze hat Biotechnologe Francis Schwarze in der Natur aufgespürt, im Labor analysiert und dabei ihren genetischen Code entziffert. Als besonders leistungstark entpuppte

sich der Ringlose Hallimasch (*Desarmillaria tabescens*). Nach Vorversuchen mit verschiedenen Holzarten startete Schwarze mit Balsaholz (*Ochroma pyramidale*), einem Holz mit besonders geringer Dichte. Mittels Spektroskopie beobachteten die Forschenden, wie der Pilz in den Balsaholz-Proben Lignin abbaut, das für Steifigkeit und Druckfestigkeit verantwortlich ist. Dass damit die Stabilität des Holzes jedoch nicht verschwindet, zeigten Röntgen-Diffraktionsanalysen: Die Cellulose, die im Holz für Zugfestigkeit sorgt, blieb intakt.

FEUCHTES MILIEU BEVORZUGT

Maximale Leuchtkraft erreicht das Biohybrid aus Pilz und Holz, wenn es drei Monate im Brutschrank inkubiert wurde. Dabei liebt es *Desarmillaria* besonders

feucht: Die Balsaholz-Proben nahmen in dieser Zeit das Achtfache ihres Gewichts an Feuchtigkeit auf. Beim Kontakt mit Luft beginnt schliesslich die Enzymreaktion im Holz. Das Leuchten entfaltet seine ganze Pracht nach zehn Stunden, wobei grünes Licht mit einer Wellenlänge von 560 Nanometern abgestrahlt wird, wie Empa-Forscherin Giorgia Giovannini vom «Biomimetic Membranes and Textiles»-Labor bei Fluoreszenzspektroskopie-Analysen ermittelte. Derzeit hält der faszinierende Prozess rund 10 Tage an. «Jetzt optimieren wir die Labor-Parameter, um die Leuchtkraft künftig weiter zu steigern», so Empa-Forscher Schwarze.



PILZJÄGER
Francis Schwarze in seiner Schatzkammer der Pilzkulturen.



Foto: Empa

NATÜRLICHE BIOLUMINESZENZ

In der Natur kommt Biolumineszenz bei verschiedensten Organismen vor. Das Licht entsteht dank chemischer Prozesse, die Energie als Licht und Wärme abgeben. Vergleicht man die leuchtzeugende Reaktion in der Natur anhand ihrer sogenannten Quantenausbeute, siegt das Glühwürmchen mit einem Wert von 40%, Leuchtqualen bringen es auf 17%, und Leuchtpilze erreichen 2%.

LEUCHTPILZE



Über 70 Pilzarten zeigen Biolumineszenz. Sie erzeugen in verfaulendem Holz ein als «Foxfire» bezeichnetes Leuchten. Hinter dem Begriff verbirgt sich ein französisch-englisches Mischwort aus «faux» und «fire» für «falsches Feuer». Der Zweck der Biolumineszenz bei Pilzen ist nicht gänzlich klar. Möglicherweise soll sie Insekten anlocken, um Pilzsporen zu verbreiten.

Es ist schwierig, leuchtendes Holz in der Natur zu finden, weil allgegenwärtige künstliche Lichtquellen in der Nacht das Auffinden erschweren. Empa-Forscher Francis Schwarze rät, in einer mondlosen Herbstnacht in einem Buchen-Mischwald nach Totholz unter nassem Herbstlaub Ausschau zu halten. Mit etwas Glück lassen sich hier der Pilz und seine leuchtende Holzmahlzeit entdecken.

Fotos: Empa; Adobe Stock; Benjamin Derge

LEUCHTKALMAR



Der kleine Tintenfisch *Watasenia scintillans* misst gerade einmal acht Zentimeter, dafür ist er in puncto Tarnung ganz gross: An seiner Unterseite sind Licht aussendende Zellen verstreut. Diese Photophoren verwirren Raubfische, die am Meeresgrund leben. Beim Blick nach oben Richtung Wasseroberfläche ist der Leuchtkalmar für die Jäger so nicht auszumachen.

GLÜHWÜRMCHEN

Die bis zu zwei Zentimeter kleinen Insekten finden sich dank ihres Lichts zur Paarung. Leuchtkäfer haben nicht nur einen lichtdurchlässigen Hinterleib, sie tragen im Inneren auch eine reflektierende Schicht. Dieser «eingebaute Spiegel» wirft die Biolumineszenz zusätzlich nach aussen. Damit ist *Lampyrus noctiluca* die grosse «Leuchte» unter den Biolumineszenz-Lebewesen.



GIGANTISCHER HALLIMASCH

Man nennt ihn den Honigpilz oder Hallimasch, und er gehört zu den erstaunlichsten Lebewesen der Erde. Unscheinbar mag er in klassischer Pilzgestalt auf dem Waldboden spriesen, lediglich mit einer schmückenden Leiste um den Stiel verziert, einem Armband gleich, was ihm die lateinische Bezeichnung *Armillaria* verleiht.

Viel eindrücklicher ist hingegen sein Netz aus schwarzen Strängen, die er über Holz und Boden zieht. Zu meterlangen dicken Bündeln schliessen sich die Pilzfäden zusammen, umgeben von einer schwarzen Melanin-haltigen Schutzschicht. Diese sogenannten Rhizomorphen suchen nach neuen Lebensräumen und Nahrungsquellen.



Auf einer Grösse von mehreren Quadratkilometern dehnt sich das grösste Lebewesen der Welt, ein rund 2400-jähriges Hallimasch-Netz, im US-Bundesstaat Oregon aus. Der grösste Pilz Europas befindet sich in der Schweiz am Ofenpass. Dieser immerhin 1000-jährige Hallimasch bedeckt ein Gebiet von 50 Fussballfeldern. ■

BITTE NICHT GLEICH VERHEIZEN

Nachhaltig, nachwachsend und gut fürs Klima: Holz ist das Material der Zukunft. Aber wie viel steht uns zur Verfügung, und wie nutzen wir es am besten? Empa- und WSL-Forschende haben nun die Materialflüsse von Holz in der Schweiz genau analysiert – und ungenutzte Möglichkeiten entdeckt.

Text: Anna Ettlin

Die Schweiz hat sich ein so ambitioniertes wie notwendiges Ziel bis 2050 gesetzt: Netto Null. Einer der wichtigsten Rohstoffe auf dem Weg in eine klimaneutrale Zukunft ist Holz. Das erneuerbare Naturmaterial bindet beim Wachstum CO₂ aus der Atmosphäre. Sowohl als Material als auch als Energieträger bieten Holz und seine zahlreichen Komponenten Alternativen zu fossilen Rohstoffen. Da verwundert es kaum, dass viele Industriezweige in Zukunft vermehrt auf Holz setzen wollen, sei es im Bau, bei der Produktion von Textilien und sogar in Sektoren wie Elektronik oder Pharma und Chemie.

Doch darüber, wie viel Holz uns für derartige Anwendungen zur Verfügung steht und in welcher Form, ist noch wenig bekannt. Um Klarheit zu schaffen, haben Forschende der Empa und der WSL nun sämtliche dokumentierte Materialflüsse von Holz in der Schweiz umfassend analysiert. Ihre Studie, die kürzlich in der Zeitschrift «Industrial Ecology» veröffentlicht wurde, entstand im Rahmen von «SCENE», einer gemeinsamen Initiative des ETH-Bereichs (siehe Box).

GENAUES BILD DANK GUTER DATENLAGE

Für ihre Analyse nutzen die Forschenden Daten für das Jahr 2020 aus 21 verschiedenen Quellen – eine methodische Herausforderung, denn die Angaben in den unterschiedlichen Quellen stimmen nicht immer überein. Holz ist ein vielfältiger Rohstoff, der auf dem Weg von der Ernte zur Anwendung zahlreiche Formen annehmen kann, die sich oft im Volumen und im Feuchtigkeitsgehalt unterscheiden: Rohholz, Schnittholz, Holzspäne, Holzfasern für die Papier-

SCENE – EINE «JOINT INITIATIVE» DES ETH-BEREICHS

Das «Swiss Center of Excellence on Net-Zero Emissions» (SCENE) ist eine gemeinsame Initiative aller sechs Institutionen des ETH-Bereichs, die teilweise vom ETH-Rat finanziert wird. Gemeinsam betreiben die Partner interdisziplinäre Forschung, um die Schweiz bei der Erreichung des Netto-Null-Ziels bis ins Jahr 2050 zu unterstützen. Die beiden Empa-Labore «Technologie und Gesellschaft» und «Cellulose and Wood Materials» arbeiten gemeinsam mit dem PSI und der WSL am Arbeitspaket «Biomasse-Kohlenstoffkreislauf».

industrie und vieles mehr. Die Harmonisierung der unterschiedlichen Holzflüsse war daher eine Mammutaufgabe.

Doch der Aufwand hat sich gelohnt. «Vergleichbare Studien aus dem Ausland setzen stark auf Modellierung. Sie haben Daten dazu, wie viel Holz im Wald geerntet wird, und berechnen daraus die weiteren Materialflüsse», erklärt die Erstautorin der Studie, Nadia Malinverno aus dem Empa-Labor «Technologie und Gesellschaft». Das Empa-Team verwendete dagegen fast durchgehend «echte» Daten – von der Holzernte und dem Import/Export über die Verarbeitung bis hin zu Recycling und Entsorgung. Dadurch ergibt sich ein deutlich genaueres Bild – wenn auch kein perfektes, betont Malinverno. «Die gute Datenlage in der Schweiz haben wir vor allem unseren Kolleginnen und Kollegen von der WSL und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) zu verdanken», ergänzt Co-Autorin und Empa-Forscherin Claudia Som.

HOLZ SOLL MÖGLICHST LANGE HOLZ BLEIBEN

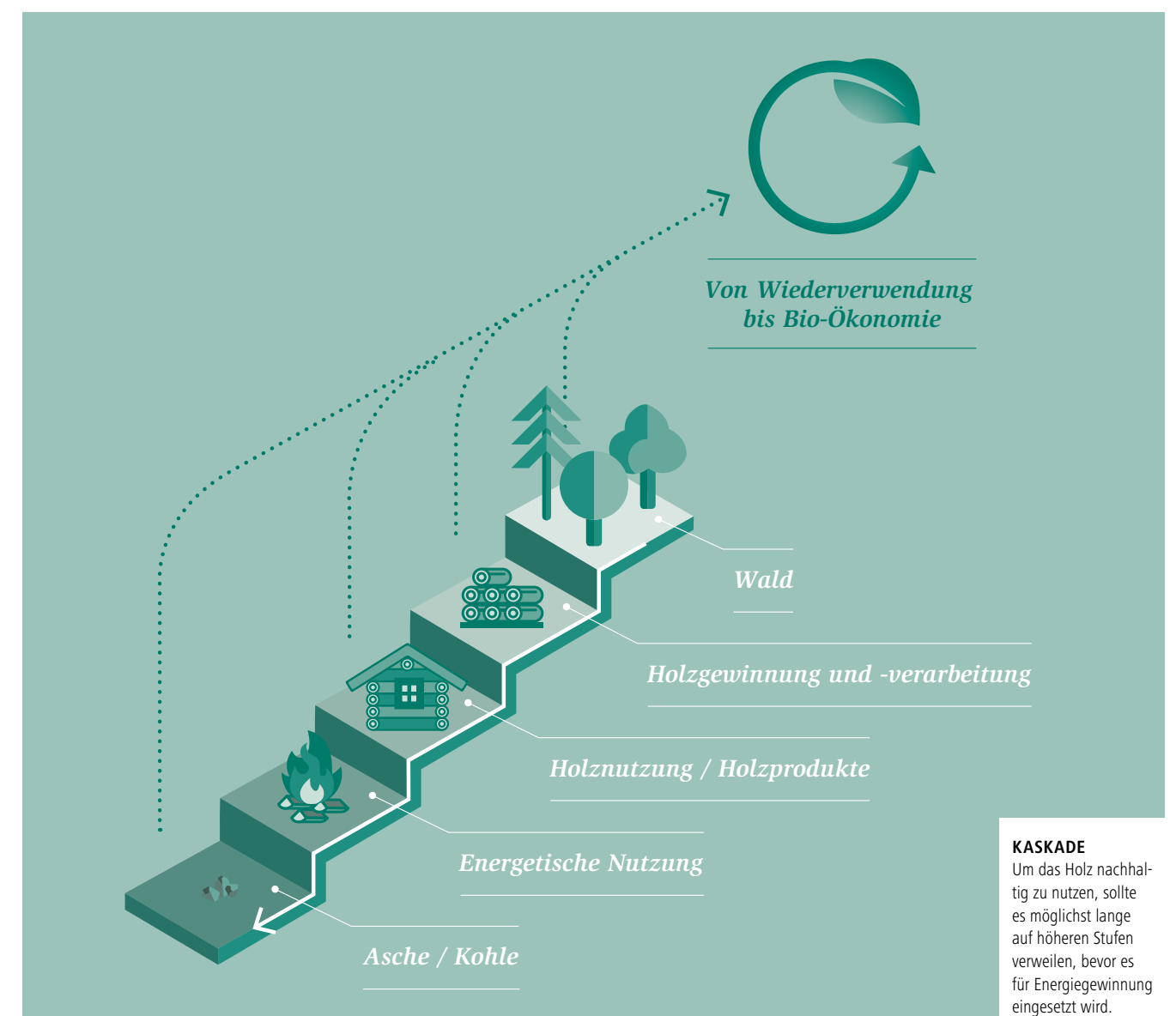
Das Fazit: In der Schweiz besteht noch erhebliches Potenzial, was die nachhaltige Holznutzung betrifft. So beträgt die Recycling-Rate beim Holz gerade

einmal knapp acht Prozent – beim Papier sind es an die 70. Ausserdem: «Von den fünf bis sieben Millionen Kubikmetern Holz, die wir in der Schweiz jährlich ernten, werden rund 40 Prozent direkt energetisch genutzt – sprich verbrannt», so Malinverno. Das ist keineswegs ideal, sind sich die zwei Autorinnen einig. Denn: «Damit das Holz seine Funktion als CO₂-Speicher erfüllt, sollte es möglichst lange als Material in der Technosphäre verbleiben», erklärt Som.



Die Vision der Forscherinnen und der «SCENE»-Initiative ist die sogenannte Kaskadennutzung von Holz. Darin würde ein gefällter Baum zuerst zu möglichst grossen und hochwertigen Werkstücken verarbeitet werden – etwa zu Balken und Brettern für den Bau. In dieser Funktion sollten wir das Holz dann so lange wie möglich wiederverwenden. Erst wenn das nicht mehr geht, würde es zerkleinert und in die nächste Materialstufe überführt, beispielsweise als kleinere Bretter, Holzspäne oder Holzwerkstoffe. Und in den Ofen sollte das Holz erst dann kommen, wenn keine weitere Materialnutzung mehr möglich ist.

Diese Kaskade ist nur ein mögliches Beispiel. Welche Holznutzungen ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll sind, wollen die Forschenden im Rahmen von «SCENE» noch näher untersuchen. Eines der Ziele ist auch, ausgewählte Materialströme genauer unter die Lupe zu nehmen: In welcher Form liegt das Holz in einem bestimmten Fluss vor? Wo genau fällt es an? Wie ist es behandelt? Und wie könnte man es sonst noch verwenden? All diese Fragen beschäftigen Nadia Malinverno, Claudia Som und ihre Mitforschenden in den nächsten Jahren. ■



Grafik: Empa

ALPINES HANDWERK INSPIRIERT ZU NEUEN WERKSTOFFEN

Die traditionelle Schindelherstellung hat Forschende der Empa und ETH Zürich dazu inspiriert, neuartige Holzwerkstoffplatten aus gespaltenen Holzstäben zu entwickeln. Dank eines KI-optimierten Verfahrens sollen diese Platten künftig für tragende Bauteile infrage kommen – selbst wenn sie aus Holzarten und Baumstämmen geringerer Qualität bestehen.

Text: Manuel Martin



INSPIRATION
Traditionelle Holzschindeln dienen als Vorbild für neuartige Holzwerkstoffe.

Foto: Adobe Stock

Holzschindeln prägen das Bild von Dächern und Fassaden im Alpenraum – und werden seit Generationen von Hand gefertigt. Dieses jahrhundertealte Handwerk inspirierte Forschende der Empa und ETH Zürich, diese sehr effiziente Holztrennmethode zu nutzen, um neuartige Holzwerkstoffe herzustellen. «Angesichts der wachsenden Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Wälder und den Bausektor bietet sich die Herstellung von Platten aus gespaltenen Stäben an. Dadurch lassen sie sich auch aus unterschiedlich hochwertigem Holz sowie aus Laubholzarten herstellen, erzeugen weniger Materialverluste und sollen in ihrer Festigkeit an Massivholzprodukte herantreiben», sagt Ingo Burgert, Professor an der ETH Zürich und Forschungsgruppenleiter an der Empa. In Mitteleuropa kommt insbesondere die Fichte aufgrund längerer Trockenperioden zunehmend unter Druck. Trockenheitsresistentere Laubbaumarten werden daher in Zukunft eine wichtigere Rolle spielen. Gleichzeitig wird hierzulande zurzeit der überwiegende Teil des Laubholzes zur Energieerzeugung verbrannt – und das, obwohl immer mehr mit Holz gebaut wird, auch da es als nachwachsende Ressource CO₂ längerfristig im Baumaterial bindet.

SPALTEN FÜR MAXIMALE MATERIALAUSBEUTE

Traditionell werden Schindeln aus Holzstammsegmenten von Hand gespalten, industrielle Verfahren setzen auf pneumatische Spaltwerkzeuge. «Die Schindelherstellung zeigt uns, wie Holz energieeffizient und materialeffizient verarbeitet werden kann», erklärt Burgert. «Holz lässt sich parallel zur Faser mit minimalem Energieaufwand und praktisch ohne Verluste spalten.» Diese spanlose Holzverarbeitung erhöht die Schnittholz-Ausbeute erheblich, die in Schweizer Sägereien mit etwa 60% deutlich geringer ist.

In der klassischen Schindelproduktion wird allerdings meist nur ausgewähltes hochwertiges Nadelholz verwendet. Um das Verfahren für Laubholzarten geringerer Qualität anzupassen und längere Stäbe zu spalten, setzen die Forschenden auf einen zweistufigen Spaltprozess. Zunächst werden flächige Elemente getrennt, die anschliessend zu Holzstäben in der gewünschten Abmessung weiterbearbeitet werden. Im Labor massstab adaptierten die Forschenden dafür eine Apparatur zum Spalten von Feuerholz. Dank eines mehrschneidigen Spaltkopfes lassen sich so bei einem Spaltvorgang gleich mehrere Bretter oder Stäbe gleichzeitig herstellen.

SELEKTION DANK KÜNSTLICHER INTELLIGENZ

Der Spaltprozess produziert Holzstäbe in Faserrichtung, ohne dass die steifen und festen Fasern angeschnitten werden. Die unregelmässige Form der Stäbe stellt jedoch eine Herausforderung dar. Um diese zu bewältigen, setzt das Team um Ingo Burgert auf künstliche Intelligenz (KI). Ein automatisiertes Kamerasystem erfasst hochaufgelöste Bilder jedes Holzstabs, die in ein neuronales Netzwerk eingespeist werden. «Mit künstlicher Intelligenz können wir wichtige Holzeigenschaften wie Steifigkeit für jeden Stab bestimmen, unabhängig von Form, Grösse oder Holzart», erklärt Empa-Forscher Mark Schubert. «Wenn wir in Zukunft verschiedene Holzarten unterschiedlicher Qualitäten verwenden, kommt der Holzsortierung eine besondere Rolle zu. Mit unseren maschinellen Lernalgorithmen generieren wir deshalb möglichst viele Daten über jedes einzelne Stück Holz, um es optimal für Holzwerkstoffe mit definierten Eigenschaften einzusetzen.»

Die ersten Platten hat das Team gepresst, noch ohne die Holzstäbe vorab zu sortieren und gezielt anzuordnen. Und bereits da zeigt sich das Potenzial

ZENTRUM FÜR HOLZ-FORSCHUNG GEPLANT

Das Projekt «Gesplante Holzstäbe für neuartige Holzwerkstoffplatten im Bauwesen» ist Teil der Initiative «Mainstreaming Wood Construction» (MainWood). Diese vom ETH-Rat unterstützte Initiative fördert den verstärkten Einsatz von Holz im Bauwesen. Zudem ist ein «Center for Wood Materials and Structures» geplant, das die Holzforschung an der Empa und der ETH Zürich bündeln und deren Sichtbarkeit erhöhen soll. Als zentrale Anlaufstelle wird das Zentrum gemeinsam mit der Holzindustrie innovative Projekte initiieren, um Holz entlang der gesamten Wertschöpfungskette besser zu nutzen. Durch die Entwicklung neuartiger Holzwerkstoffe und Technologien sollen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der nachwachsenden und CO₂-speichernden Ressource Holz noch besser erschlossen werden.

der hergestellten Demonstratoren: Die Platten lassen sich höchst ressourceneffizient produzieren und besitzen mechanische Eigenschaften, die sie künftig für tragende Bauteile prädestinieren. Trotz bestehender Herausforderungen bezüglich der Produktionsprozesse, der Verklebung, Skalierbarkeit und der Vorhersagbarkeit der Materialeigenschaften ist Burgert optimistisch: «Unser Verfahren hat das Potenzial, eine nachhaltige Alternative für die Holznutzung in Zeiten des sich beschleunigenden Klimawandels zu bieten.» ■



FIEBERTHERMOMETER FÜR EMPFINDLICHE GÜTER

Forschende der Empa, der EPFL und des CSEM haben eine smarte und «grüne» Sensoretikette entwickelt, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Echtzeit misst – und auch erkennen kann, ob eine Temperaturschwelle überschritten wurde. Damit können in Zukunft empfindliche Lieferungen wie etwa Medikamente oder Lebensmittel überwacht werden. Die elektronische Etikette selbst ist dabei komplett biologisch abbaubar.

Text: Anna Ettlin

Grosse Ströme von Gütern umkreisen jeden Tag den Globus. Darunter finden sich auch besonders empfindliche Lieferungen, etwa gewisse Impfstoffe, Medikamente und Lebensmittel. Damit diese Produkte sicher am Zielort ankommen, müssen sie während ihrer gesamten Lieferkette in einem bestimmten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich bleiben. Aber wie stellen wir das sicher? Es ist kostspielig und nicht nachhaltig, jede einzelne Liefereinheit mit Silicium-basierten Sensoren und Chips auszustatten. Und Messungen an Knotenpunkten in der Lieferkette sagen nichts darüber aus, was der empfindlichen Sendung auf dem Weg dorthin bereits widerfahren ist.

Dieser Herausforderung haben sich Forschende der Empa, der EPFL und des CSEM in einem vierjährigen Projekt namens «Greenspack» gestellt. Gemeinsam haben sie eine smarte Etikette

entwickelt, die die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit misst, und sich daran «erinnern» kann, wenn eine bestimmte Temperaturschwelle überschritten wurde. Dabei ist der kleine Aufkleber nicht nur Silicium-frei, sondern auch vollständig biologisch abbaubar. Das Projekt wurde vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und der Innosuisse im Rahmen des «BRIDGE Discovery»-Programms gefördert.

LEITERBAHNEN MIT GEDÄCHTNIS

Um ihre Aufgabe zu erledigen, braucht die smarte Etikette weder eine Batterie noch einen Sender. Vielmehr funktioniert sie ähnlich wie ein RFID-Chip. Sie enthält gedruckte Bahnen aus leitenden Materialien, die Stromkreise mit ohmschen und kapazitiven Elementen bilden. Werden diese Stromkreise einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt, beispielsweise durch einen Etikettenleser, entsteht eine Resonanz, die vom Leser entziffert werden kann. Das Raffinierte daran: Je nach

Umgebungstemperatur oder Luftfeuchtigkeit verändern sich die Leitfähigkeit und die Kapazität der einzelnen Stromkreise und somit auch ihre Resonanz. Diese Änderung gibt Auskunft über die aktuelle Temperatur und Feuchtigkeit – ganz ohne komplizierte Messtechnik.

Doch damit nicht genug – die Forschenden wollten der Etikette auch eine Art «Gedächtnis» verleihen. Wird die Temperatur von 25° überschritten, schmilzt ein winziges Element in einer der Leiterbahnen, wodurch der Stromkreis irreparabel unterbrochen wird. Beim nächsten Ablesen zeigt die Etikette an: Diese Sendung war einmal zu warm. «Wenn wir beispielsweise von Impfungen sprechen, könnte dies heissen, dass die Lieferung nicht mehr verwendet werden darf, oder dass das Mindesthaltbarkeitsdatum ungültig ist», erklärt Gustav Nyström, Leiter des Empa-Labors «Cellulose and Wood Materials», der das Forschungsprojekt geleitet hat.

Diese Technologie entlastet die Lieferkette und reduziert ihren CO₂-Fussabdruck: Potenziell beschädigte Waren werden so früher erkannt und müssen nicht weitergeschickt werden. Ist die Lieferung durch die Temperatureinwirkung lediglich weniger lang haltbar geworden, so kann sie etwa an einen näheren Einsatzort umgeleitet werden. «Je nach den Materialien, die wir verwenden, können wir die Temperaturschwelle auch anders setzen», ergänzt Nyström. Denkbar wären zum Beispiel Etiketten für tiefgefrorene Güter.

BIOLOGISCH ABBAUBAR UND NACHHALTIG

Die Vision der Forschenden ist, die Etikette am Zielort zu kompostieren oder

dem Kartonrecycling zuzuführen, weil sie komplett biologisch abbaubar ist. Für das Substrat haben die Empa-Forschenden eigens ein Material entwickelt, das aus einem Biopolymer sowie aus Cellulose-Fasern besteht. Um die Leiterbahnen zu drucken, nutzten die Forschenden der Empa und der EPFL eine eigens entwickelte Tinte, die das biologisch resorbierbare Metall Zink enthält. Forschende des CSEM arbeiten unterdessen am Aufbau der Etikette sowie an der Auslesetechnologie.

Die Arbeit mit biologisch abbaubaren Materialien ist immer eine Herausforderung – denn sie sollen sich natürlich erst dann zersetzen, wenn ihre Arbeit

getan ist. Ausserdem mussten die einzelnen Komponenten der Etikette nur sehr selektiv auf die Umgebungsbedingungen reagieren: «Wir wollten nicht, dass der Temperatursensor auf Feuchtigkeit anspricht und umgekehrt», sagt Nyström. Gemeinsam gelang es den Projektpartnern, die Probleme zu lösen. Zwei EPFL-Forschende sind nun daran, die Erkenntnisse aus «Greenspack» mit einem Start-up namens «Circelec» zu kommerzialisieren. Die Empa-Forschenden rund um Gustav Nyström wollen künftig noch tiefer in das Gebiet der grünen Elektronik eintauchen und das Potenzial der smarten Etiketten als Sensoren in der Landwirtschaft und der Umweltbeobachtung erkunden. ■



Foto: Empa

GRÜN GEGEN STRESS

Dass Grünflächen in lärmbelasteten Städten den Menschen Erholung von Stress bieten, überrascht kaum. Eine umfassende Studie der Empa und der WSL zeigt jedoch erstmals für die Schweiz, wie stark sich diese Erholungsräume tatsächlich auf die körperliche und mentale Stressbewältigung auswirken.

Text: Manuel Martin



ERFASST

Der Irchelpark wurde für die Studie audiovisuell aufgenommen.

Immer mehr Menschen ziehen in Städte, was mehr Verkehr, dichteres Wohnen und weniger Platz für Parks oder andere Grünflächen mit sich bringt. Die urbane Bevölkerung ist dadurch immer mehr Lärm ausgesetzt und hat weniger Möglichkeiten, sich in natürlichen Umgebungen zu erholen. Eine vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) geförderte Studie der Empa und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zeigt nun, wie gross das Potenzial von urbanen Grünflächen für die Stressbewältigung tatsächlich ist. «Die lärmgeplagte Stadtbevölkerung kann sich deutlich besser erholen, wenn sie in der Nähe von Grünflächen oder in begrünten Umgebungen wohnt. Dieser Effekt zeigt sich sowohl auf der körperlichen als auch auf der mentalen Ebene – und ist sogar langfristig nachweisbar», fasst Empa-Forscher Beat Schäffer die Haupterkenntnisse zusammen. «Die negative Auswirkung von Lärm auf den Menschen lässt sich durch Grünflächen also bis zu einem gewissen Grad kompensieren.»

STRESSTEST IM LABOR

Bisher wurde viel über die negativen Auswirkungen von Lärm geforscht, jedoch kaum über den positiven Einfluss von Grünflächen. Um die kurzfristige Wirkung auf die Stressbewältigung zu untersuchen, nutzten die Forschenden die audiovisuelle Umgebung des Auralisierungslabors («AuraLab») der Empa. Die Probandinnen und Probanden wurden zunächst gestresst – im Labor mussten sie unter Zeitdruck Aufgaben lösen, während sie mit Verkehrslärm in drei unterschiedlichen Lautstärken (35 bis 75 dBA, vergleichbar mit der Geräuschkulisse eines Leserraums bis hin zu lautem Strassenverkehr) beschallt wurden.

Nach der Stressphase tauchten sie mit einer VR-Brille in eine virtuelle Welt ein: entweder in eine urbane Umgebung

mit leisen Stadtgeräuschen oder in eine Landschaft im Grünen mit einer natürlichen Geräuschkulisse (jeweils 44 dBA, ähnlich der Lautstärke in einem Wohnraum). Diese audiovisuellen Szenarien kreierten die Forschenden mithilfe einer 360-Grad-Kamera und einem sogenannten ambisonischen Mikrofon – an verschiedenen Orten in der Stadt Zürich mit unterschiedlich stark begrünter Umgebung und verschiedenen Hintergrundgeräuschen.

Nach dem Eintauchen in die virtuelle Grünfläche fühlten sich die Probanden ruhiger, entspannter und fokussierter als beim urbanen Vergleichsszenario. «Zu Beginn zeigte sich während beiden VR-Szenarien ein Erholungseffekt, aber letztlich nahm der körperliche Stress in der begrünten Umgebung deutlich stärker ab», erklärt Empa-Forscherin Claudia Kawai. Der physiologische Stresspegel wurde durch die Schweißproduktion an den Fingern und die Kortisolkonzentration im Speichel gemessen. Den negativen Effekt des Stresses auf den Körper konnten die Forschenden durch die erhöhte Hautleitfähigkeit aufgrund verstärkter Schweißabsonderung nachweisen. Diese körperlichen Stresssymptome traten jedoch nur auf, wenn die Testpersonen in der Stresssituation nicht nur Lärm ausgesetzt waren, sondern gleichzeitig auch Aufgaben lösen mussten. Der Verkehrslärm wurde hingegen stets als lästig empfunden, unabhängig von der zusätzlichen kognitiven Belastung.

BESUCH ZU HAUSE

Die Ergebnisse aus dem Labor bestätigten sich auch in einer Feldstudie. Forschende der Empa besuchten in der Stadt Zürich mehr als 230 Freiwillige, die in unterschiedlich stark von Lärm belasteten und begrünten Umgebungen leben. Sie dokumentierten die Umgebung der Teilnehmenden mit Fotos, entnahmen ihnen Haarproben zur Messung des

Stresshormons Kortisol und befragten sie zu ihrem Befinden. «Sowohl die Befragungen als auch die Laboranalysen der Haarproben zeigten, dass Grünflächen in der Nachbarschaft tatsächlich die Erholung fördern», sagt Beat Schäffer. Die erholsame Wirkung von Grünräumen ist also nicht nur kurzfristig, sondern mindert auch den Langzeitstress.

Ausserdem ermittelten Forschende der WSL mit einer repräsentativen Befragung, wie gut sich die Schweizer Bevölkerung in den Grünräumen ihrer Nachbarschaft erholen kann und welche Rolle die Lärmbelastung dabei spielt. Auf begleiteten Spaziergängen untersuchten sie zudem, welche audiovisuellen Merkmale die Erholung besonders fördern. Die Ergebnisse der vier Teilstudien werden nun zusammengeführt, um das Erholungspotenzial von Grünflächen zu eruieren. Dieses sogenannte RESTORE-Projekt («Restorative green spaces in noise-polluted areas») ist laut Empa-Forscher Schäffer einzigartig und behandelt ein relevantes Thema, das drei Viertel der urbanen Bevölkerung in Europa betrifft. «Es wird wichtige Informationen für Gesetzgeber und Raumplaner liefern und die schweizerische Lärmgesetzgebung und die Umsetzung des revidierten Raumplanungsgesetzes beeinflussen.» ■



NANOTHERAPIE FÜRS AUG

Nach einer Augenoperation können Bakterien gefährliche Infektionen verursachen. Besonders gefürchtet sind Antibiotika-resistente Keime, die kaum behandelbar sind und zum Verlust des Auges führen können. Im Projekt «Nanovision» entwickeln Forschende der Empa und des Kantonsspitals St. Gallen neuartige Nanokomplexe, die resistente Keime abtöten und gleichzeitig das Augengewebe schützen. Unterstützt wird das Projekt vom Heinz A. Oertli-Fonds.

Text: Andrea Six

Beim grauen Star führt eine Trübung der Augenlinse zum fortschreitenden Verlust der Sehschärfe. Rund 17 Millionen Betroffene sind weltweit aufgrund des Augenleidens erblindet. Abhilfe schafft eine Katarakt-Operation, einer der häufigsten chirurgischen Eingriffe am Auge. Zwar treten Komplikationen wie eine Infektion im Augeninneren selten auf. Da die Prozedur aber millionenfach durchgeführt wird, ist die Gruppe der Betroffenen gross. Besonders gefürchtet ist eine Infektion, wenn es sich dabei um Antibiotika-resistente Bakterien handelt und herkömmliche Medikamente nicht wirken. Forschende der Empa und des Kantonsspital St. Gallen entwickeln daher sogenannte Nanokomplexe, die resistente Keime abtöten und das Augengewebe schützen. Ermöglicht wurde das Projekt «Nanovision» dank Finanzierung durch den Heinz A. Oertli-Fonds.

Unbehandelt führt die Infektion im Augeninneren, die Endophthalmitis, zu starken Schmerzen bis hin zum Verlust des Auges. Schuld sind Bakterien-Toxine und gewebeschädigende Abwehrreaktionen des Körpers. Hochdosierte Antibiotika, die in den Augapfel gespritzt werden, können helfen – allerdings nur dann, wenn die verursachenden Keime nicht resistent gegen die Wirkstoffe sind. Und hier liegt das Problem: Bei den typischen

Endophthalmitis-Bakterien bleiben Antibiotika heute besonders häufig wirkungslos.

«Wir wollen dieses Problem mit Nanokomplexen bekämpfen», sagt Empa-Forscherin Mihyun Lee vom «Biointerfaces»-Labor in St. Gallen. Entwickelt werden die winzigen Molekülverbindungen auf der Basis von Tannin, einem pflanzlichen Gerbstoff mit antibakterieller und entzündungshemmender Wirkung. Zusätzlich werden die Nanokomplexe mit Toxinblockern und mit antimikrobiellen Eiweissbausteinen (AMP), die Bakterien abtöten, ausgestattet. Im Verbund ergibt sich ein multifunktionales Nanotherapeutikum, das das Augengewebe schützt, Bakteriengifte blockiert und Keime eliminiert. Wie effizient die Nanokomplexe arbeiten, wird das Team in einem Infektionsmodell aus Gewebekulturen von Patientinnen und Patienten analysieren. ■



NEUARTIG
Empa-Forscherin Mihyun Lee entwickelt antimikrobielle Nanotherapien.

HEINZ A. OERTLI-FONDS

Durch den Heinz A. Oertli-Fonds wurden bereits weitere Forschungsteams unterstützt. So entwickeln Empa-Forschende zur Therapie von grünem Star ein intelligentes Ventil, das den Augeninnendruck reguliert. Ein Team der Empa und der ETH Zürich arbeitet an einem Lötverfahren, das Wunden am Auge schonend abdichtet. Und in einem weiteren Projekt nutzen Jungforschende die Haftfähigkeit von Mee-resmuscheln für einen Gewebekleber, der Verletzungen der Hornhaut nahtlos verschliesst. Der Zukunftsfonds der Empa sucht für solche herausragenden Forschungsprojekte und Talente, die anderweitig (noch) nicht unterstützt werden, private Spenden. Falls auch Sie einen Beitrag leisten möchten, finden Sie hier unser Spendenformular.



Foto: Empa

Die Medizin von morgen möglich machen.



Machen Sie den Unterschied!
Unterstützen Sie den
Empa Zukunftsfonds «Medizin».
empa.ch/zukunftsfonds

 **Empa**
Zukunftsfonds

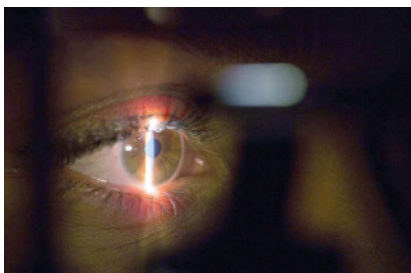
ABSCHIED VON EINEM FREUND DER EMPA

Mit Heinz A. Oertli ist ein Freund und Förderer der Empa und ihrer Forschenden verstorben. Durch seine Neugierde und seine tatkräftige finanzielle Unterstützung konnte die Empa zunächst den Kompetenzbereich Augenheilkunde aufbauen, und mit seinem grosszügigen Legat erhält dieser Forschungsbereich nun noch für viele Jahre eine solide Grundfinanzierung.

Text: Martin Gubser

Im November 2021 meldete sich beim Empa Zukunftsfonds ein gewisser Heinz A. Oertli. Er interessierte sich, so liess er das Fundraising-Team der Empa über seine Treuhänderin wissen, für die Forschung an der Empa im Bereich der Augenheilkunde. Wie sich bei einem darauffolgenden Besuch herausstellte, hatte der Gründer der Oertli Instrumente AG mit Sitz in Berneck fünf Jahre zuvor am Tag der offenen Tür die Empa in St. Gallen besucht – und seither aufmerksam die weiteren Forschungsaktivitäten der Empa mitverfolgt.

Bereits im Mai 2022, nur ein halbes Jahr nach der ersten Kontaktaufnahme, richtete Oertli, damals 92 Jahre alt und aufgrund einer Makula-Degeneration selbst fast erblindet, den Heinz A. Oertli-Fonds an der Empa ein. Mit dessen Mitteln konnte die Empa über die letzten drei Jahre innovative Forschungsprojekte durchführen und damit drei DoktorandInnen und einem PostDoc den Einstieg in ihre wissenschaftliche Karriere ermöglichen.



AUGEN HEILEN

Der Heinz A. Oertli-Fonds unterstützt ophthalmologische Forschung.



Heinz A. Oertli war inzwischen an seinem langjährigen Wohnort Teufen ins Altersheim gezogen und freute sich sehr über den regelmässigen Austausch mit der Empa. So erinnert sich etwa Empa-Direktorin Tanja Zimmermann: «Ich hatte im Januar 2023 das Vergnügen, Heinz A. Oertli bei einem gemeinsamen Mittagessen persönlich kennenzulernen. Herr Oertli erwies sich als ein überaus bescheidener, charmanter und äusserst interessierter Mensch, der eine tiefe Dankbarkeit dafür ausstrahlte, was er in seinem Leben erreichen durfte. Ich war tief von ihm beeindruckt.» Bei diesem und ähnlichen Besuchen liess sich Heinz A. Oertli auch immer über die von ihm unterstützten Projekte informieren, gerne auch von den Forschenden selbst. Aufgrund seiner Seheinschränkung hatte dies stets mündlich und gänzlich ohne Powerpoint-Präsentationen zu geschehen.

Am 18. Juni 2024 ist Heinz A. Oertli in seinem 95. Lebensjahr verstorben. Er hinterliess der Empa ein Legat, mit dem der «Heinz A. Oertli-Fonds für ophthalmologische Forschung» über mindestens zehn Jahre weiter geführt werden kann.

Fotos: Oertli Instruments; unsplash; Adobe Stock

Foto: SeNSE Consortium

SCHNELLER, DICHTER, WEITER

In einem vierjährigen EU-Projekt unter der Leitung der Empa gelang es elf Teams aus Forschung und Industrie, Batterien für Elektroautos massgeblich zu verbessern. Eines der Hauptziele des Projekts war die Skalierung der neuen Materialien und Technologien, sodass sie so schnell wie möglich auf den Markt gelangen können.

Text: Anna Ettlin



LEISTUNGSSTARK

Die neuen Batteriezellen haben eine höhere Energiedichte und sind sicherer als herkömmliche E-Auto-Batterien.

Nach 2035 sollen in Europa keine neuen Autos mit Verbrennungsmotoren mehr verkauft werden. Um dieses hochgesteckte Ziel zu erreichen, braucht es vor allem eins: bessere Akkus, damit Elektroautos schneller laden, längere Strecken fahren und einen kleineren ökologischen Fussabdruck haben. Eine Vielzahl an grossen Forschungsprojekten unterstützt die Batterie- und Autoindustrie bei der Entwicklung der Akkus der Zukunft. Eines davon, ein «Horizon 2020»-Projekt namens «SeNSE», ist Anfang 2024 zu einem erfolgreichen Abschluss gekommen.

Initiiert und geleitet wurde das vierjährige EU-Projekt von Forschenden des Empa-Labors «Materials for Energy Conversion». Zum Zeitpunkt der Ausschreibung war das relativ junge Labor noch kaum bekannt auf dem Gebiet der Batterieforschung. Laborleiter Corsin Battaglia wusste: Um Teil eines europäischen Batterieprojekts zu sein, müssten er und seine Forschenden selbst eins auf die Beine stellen. Das gelang: Battaglia und sein Mitarbeiter Ruben-Simon Kühnel konnten akademische Institutionen und Industriefirmen aus der ganzen Welt an Bord holen und gewannen die Ausschreibung.

TECHNOLOGIEN FÜR HEUTE

Das Ziel von «SeNSE» war pragmatisch und ambitioniert zugleich. Die elf Teams wollten Lösungen für Lithium-Ionen-Batterien der nächsten Generation entwickeln – der nächsten, betont Battaglia, und nicht etwa der übernächsten. Will heissen: Nach Abschluss des Projekts sollten die entwickelten Materialien und Technologien möglichst nahe an der Produktion im industriellen Massstab, und somit am Einsatz in Elektroautos stehen. «Wir forschen auch an Batterietechnologien, die potenziell um Welten besser sind als Lithium-Ionen-Akkus – nachhaltiger, sicherer, mit höherer Energiedichte»,

«SeNSE»

Das «Horizon 2020»-Projekt «SeNSE» hatte zum Ziel, die nächste Generation von Lithium-Ionen-Akkus zu entwickeln und die europäische Batterieindustrie zu stärken. Das vierjährige Projekt wurde von der EU mit 10 Millionen Euro unterstützt und von der Empa geleitet. Beteiligt waren die akademischen Institutionen Universität Münster, das Helmholtz-Institut Münster, die britische «Coventry University», das «AIT Austrian Institute of Technology» und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) sowie mehrere Industriepartner: der schwedische Batteriehersteller Northvolt, die Schweizer FPT Motorenforschung AG, die französischen Start-ups Solvionic und Enwires sowie der Chemiekonzern Huntsman mit Forschungsstandort in Basel.

sagt Battaglia. «Aber es dauert noch einige Jahre, bis sie industriell hergestellt werden können. In «SeNSE» wollten wir Technologien entwickeln, die innerhalb von wenigen Jahren in marktfertige Elektroautos verbaut werden können.»

Dafür durchliefen die Projektmitglieder in nur vier Jahren beinahe die gesamte Wertschöpfungskette der Batterieherstellung: von der Entwicklung neuer Materialien, über deren Skalierung bis hin zum Einbau in Batteriezellen. Die etwa Smartphone-grossen Zellen wurden vom Austrian Institute of Technology (AIT) hergestellt. Die FPT Motorenforschung AG, eine Tochter von Iveco, konnte sie daraufhin in ein fixfertiges Modul einbauen, wie es in einem elektrischen Fahrzeug verbaut wird – samt der dazugehörigen Elektronik und Software.

ALLE KOMPONENTEN WEITERENTWICKELT

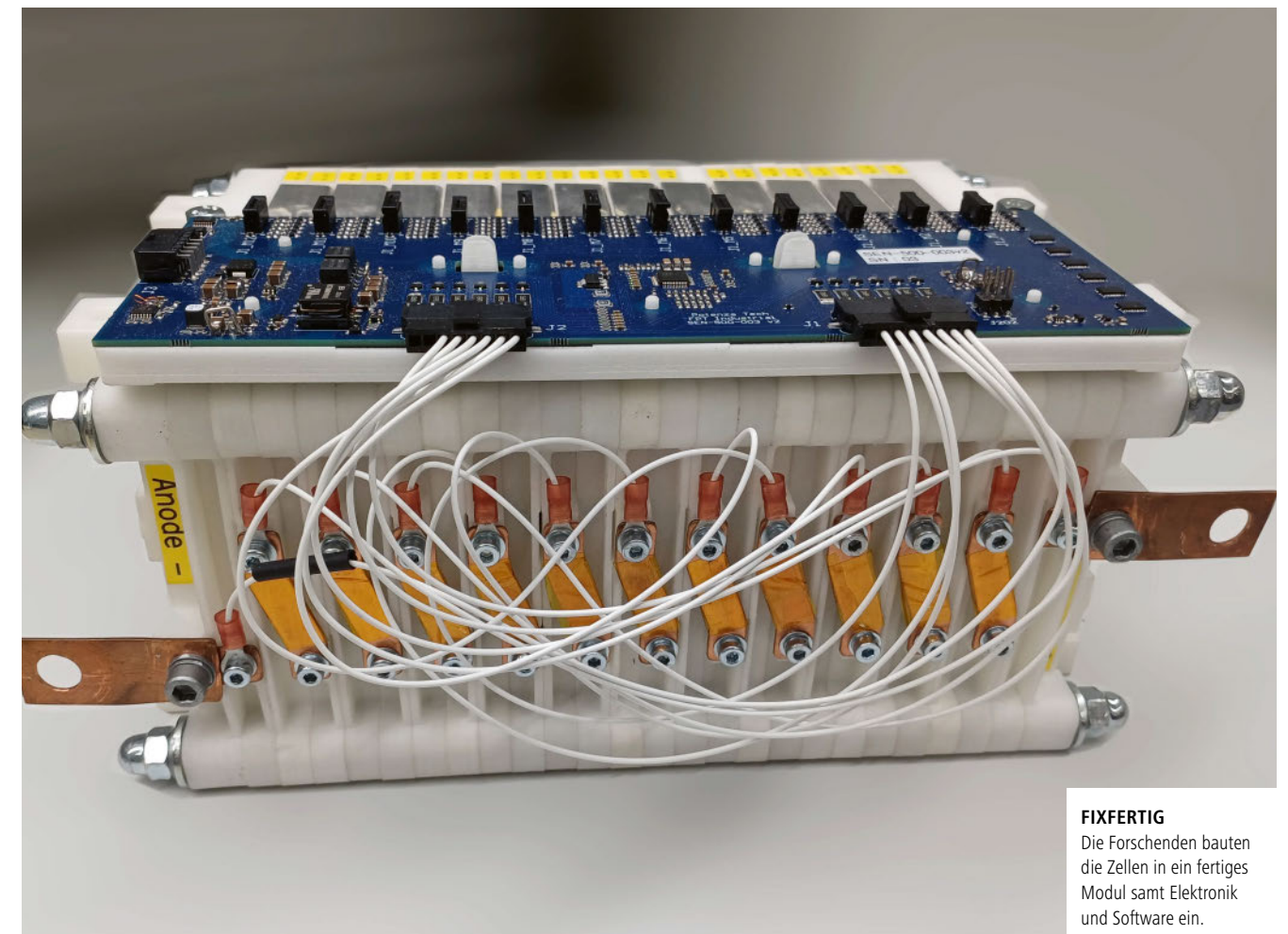
Das «SeNSE»-Modul weist einige Verbesserungen gegenüber heutigen Akkus auf: Eine höhere Energiedichte und eine günstigere Umweltbilanz, Schnellladefähigkeit und erhöhte Brandsicher-

heit – und natürlich Wirtschaftlichkeit. Alle Kernkomponenten der Batterie wurden im Projekt weiterentwickelt. Die Kathode enthält nur halb so viel des kritischen Rohstoffs Kobalt wie heutige Akkus. In der Anode konnten die Projektteams einen Teil des Graphits – gerade wegen der Batterieherstellung ebenfalls als kritisch eingestuft – durch Silizium ersetzen, eines der häufigsten Elemente in der Erdkruste.

Auch der Elektrolyt – die Flüssigkeit, die Ionen zwischen den Elektroden überträgt und so das Laden und Entladen der Batterie ermöglicht – wurde verbessert, und zwar in den Empa-Labors. «Herkömmliche Elektrolyten sind brennbar», erklärt Empa-Forscher Kühnel. «Wir konnten die Brennbarkeit durch bestimmte Zusätze stark reduzieren, ohne dabei die Leitfähigkeit zu beeinträchtigen, die für schnelles Laden und Entladen zentral ist.» Um die Schnellladefähigkeit weiter zu verbessern, entwickelte die britische «Coventry University» gemeinsam mit der FPT Motorenforschung AG ausserdem ein ausgeklügeltes Temperaturmanagementsystem für das Pilot-Modul. Sensoren, die direkt in den Zellen eingebettet sind, überwachen die Temperatur innerhalb der Batterie in Echtzeit. Ein eigens dafür entwickelter Algorithmus kann die Zelle dann immer genau so schnell laden, dass sie nicht durch Überhitzung beschädigt wird.

«Wir wollten Technologien entwickeln, die innerhalb von wenigen Jahren marktreif wären.»

Als grössten Erfolg des Projekts nennen Battaglia und Kühnel die Skalierbarkeit und den direkten Transfer in die Industrie. Die beteiligten Industriefirmen konnten für die Neuentwicklungen



FIXFERTIG

Die Forschenden bauten die Zellen in ein fertiges Modul samt Elektronik und Software ein.

aus «SeNSE» einige Patente anmelden, Pilotanlagen bauen und Finanzierungen sichern, sowie ihr erworbenes Wissen in weitere Batterietechnologien einfließen lassen. Die Chemiefirma Huntsman hat den Leitzusatz, der in den «SeNSE»-Elektroden zum Einsatz kam, sogar bereits auf den Markt gebracht, wo er nun Batterieherstellern zur Verfügung steht.

DER NÄCHSTE SCHRITT

Ganz ohne Hürden verlief dieser Weg zum Erfolg nicht. Neben den grossen organisatorischen Herausforderungen durch die Pandemie, die instabilen Lieferketten und die steigenden Rohstoff- und Energiepreise gab es auch technische Schwierigkeiten. So sind die Prototypzellen noch nicht so stabil, wie es das Pro-

jektteam gerne hätte. Auch die Skalierung, obschon erfolgreich, ist noch lange nicht abgeschlossen. «Wir haben alle Neuentwicklungen vom Labor- auf den Pilotmassstab skaliert», sagt Battaglia. «Für die Produktion in einer sogenannten Gigafactory, z.B. unseres Projektpartners Northvolt, mit einer jährlichen Produktionskapazität von mehreren Gigawattstunden an Batterien, müsste die ganze Materialherstellung noch einmal um den Faktor 1000 hochskaliert werden.» Dafür ist der Einsatz der Industrie gefragt.

Die Empa-Forschenden wenden sich unterdessen bereits dem nächsten europäischen Batterieprojekt zu. «SeNSE» hatte nämlich drei Schwesterprojekte, die in der gleichen Ausschreibung

finanziert wurden. «Wir haben einen gemeinsamen Cluster für Batterieforschung gegründet und tauschen uns regelmässig aus», so Kühnel. Die Koordinatoren der vier Projekte haben nun ein gemeinsames «Horizon Europe»-Forschungsprojekt namens «IntelLiGent» lanciert. Das Ziel: die Entwicklung von kobaltfreien Hochvoltzellen für Elektroautos. ■



PRÄZISERE KREBSDIAGNOSE IN 3D

Empa-Forschende haben eine neue 3D-Gewebeanalyse für Schilddrüsentumoren entwickelt. Diese spezielle Röntgentechnologie ermöglicht mithilfe künstlicher Intelligenz präzisere Diagnosen, und zwar schnell und zerstörungsfrei. Künftig könnte diese Untersuchungsmethode auch bei anderen Krebsarten eingesetzt werden und aufwendigere Verfahren durch einfachere bildgebende Methoden ersetzen.

Text: Manuel Martin

Für Pathologen ist die neue 3D-Gewebeanalyse von Schilddrüsentumoren noch ungewohnt. Anstatt das entnommene Gewebe wie bisher in dünne Scheiben zu schneiden und diese unter dem Mikroskop zweidimensional zu betrachten, können sie jetzt die gesamte Gewebeprobe virtuell am Bildschirm untersuchen und beliebig drehen, um krankhafte Veränderungen zu identifizieren. Möglich gemacht hat dies die sogenannte nicht-invasive histopathologische 3D-Bildgebung. «Das Besondere an dieser Methode ist, dass sie in kurzer Zeit komplette Biopsieblöcke eines Tumors dreidimensional analysieren kann, ohne das Gewebe zu verändern oder zu zerstören. Dadurch bleibt die Probe für weitere molekularbiologische Untersuchungen nutzbar», sagt Robert Zboray, Gruppenleiter am Zentrum für Röntgenanalytik der Empa, der diese Technologie entwickelt hat.

PERSONALISIERT BEHANDELN

Gemeinsam mit Pathologen der Universität Bern konnte Zboray nachweisen, dass seine neue Methode klinisch relevante Gewebemerkmale bei Schilddrüsentumoren erkennen kann. Die Röntgenphasenkontrast-Micro-Computertomographie (Micro-CT) macht selbst kleinste Unterschiede in weichen Geweben sichtbar. Diese dreidimensionalen Bilder von Gewebeproben werden anschliessend mithilfe von maschinellem Lernen analysiert. Der Empa-Forscher hofft, dass Pathologen dadurch präzisere Diagnosen und Prognose stellen können. Denn die grösste Herausforderung besteht darin, Patienten so individuell wie möglich zu behandeln – also Übertherapien bei risikoarmen Tumoren zu vermeiden und gleichzeitig Patienten mit höherem Risiko angemessen zu behandeln und zu überwachen.

ZUKUNFTSFONDS

Der Zukunftsfonds der Empa sucht für herausragenden Forschungsprojekte, wie zum Beispiel die erwähnte Retrospektivstudie, private Spenden. Falls auch Sie die Forschung der Empa unterstützen möchten, finden Sie hier weiterführende Informationen:



Weltweit sind etwa 300 Millionen Menschen von Schilddrüsenkrebs betroffen. Die Tumormerkmale unterscheiden sich jedoch häufig von Patient zu Patient. Diese messbaren biochemischen und molekularen Eigenschaften eines Tumors werden als Biomarker bezeichnet. Sie helfen, den Krebs frühzeitig zu erkennen oder weisen darauf hin, wie aggressiv ein Tumor wachsen kann und auf welche Therapie er möglicherweise ansprechen wird.

GEWEBE AUS DER VERGANGENHEIT UNTERSUCHEN

Ein grosser Vorteil der 3D-Analyse ist, dass sie auch Tumormerkmale in den tieferen Gewebeschichten erfasst, die bei herkömmlichen Methoden eventuell übersehen werden. «Wenn eingekapselte Schilddrüsentumoren aggressiv und schnell wachsen, brechen sie oft ins umliegende gesunde Gewebe ein und dringen sogar in Blutgefässe ein. Solche Gefässeinbrüche sind deshalb häufig ein Hinweis auf Bösartigkeit und Schweregrad des Tumors», erklärt Zboray. Eine frühzeitige und genauere Diagnose ermöglicht es Ärzten, schneller und gezielter zu handeln und so die Prognose der Patienten zu verbessern.

In Zusammenarbeit mit der Universität und dem Inselspital Bern hat Zboray und sein Team eine Schilddrüsentumorprobe eines kürzlich verstorbenen Patienten untersucht. Dieser Patient war 2011 wegen eines als gutartig eingestuften Tumors hospitalisiert worden, der später in bösartiger Form erneut auftrat. «Mit der klassischen Schnittanalyse wurden Kapseleinbrüche tief im Gewebe übersehen, die wir mit unserer Methode nachträglich identifizieren konnten», so Zboray. Diese Erkenntnis führte zu einer Retrospektivstudie solcher Rezidivfälle, bei der europaweit Proben von Patienten untersucht werden, die trotz anfänglich harmloser Befunde später schwerwiegende Tumoren entwickelten.

Unterstützt wird die Studie bisher von der Mirto Stiftung und der Spendengründung Bank Vontobel. Aktuell werden aber noch weitere Mittel gesucht.

EINE IDEALE ERGÄNZUNG

Die neue 3D-Gewebeanalyse lässt sich laut Robert Zboray nahtlos in den klinischen Arbeitsablauf integrieren und ergänzt die herkömmliche Schnittanalyse optimal. «Im medizinischen Alltag sind etablierte Verfahren fest verankert. Unsere Technologie soll diese Prozesse nicht stören, sondern einen zusätzlichen Nutzen bieten.» Die Entwicklung neuer Technologien für die personalisierte Medizin ist auch das Ziel von «Personalized Health and Related Technologies» (PHRT), einem strategischen Forschungsschwerpunkt der Institutionen des ETH-Bereichs, in den das Projekt eingebettet ist.

Die Technologie scheint auch für weitere Tumorarten wie Prostatakrebs oder Lungenkrebs vielversprechend zu sein. Dank Förderung durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) kann Zboray nun seine dreidimensionale Histologietechnik bei der Metastasenbildung von Darmkrebs testen. Zudem möchte er aufwendige molekulare Analysen durch einfachere bildgebende Verfahren ersetzen. «Wenn es uns gelingt, die molekularen «Fingerabdrücke» der krankhaft veränderten Zellfunktionen in den Tumorgeweben mit bildgebenden Texturmerkmalen im Mikrometerbereich zu korrelieren, könnten wir unsere Technologie in Zukunft direkt mit den zugrunde liegenden genetischen Veränderungen verknüpfen», formuliert Zboray seine Vision. ■



EINSICHTEN

Kiarash Tajbakhsh und Robert Zboray (r.) betrachten die Gewebeprobe.

Foto: Empa



TREIBHAUSGASMESSUNGEN: TRAINING IM ASIEN-PAZIFIK-RAUM



INTERNATIONAL
Expert/innen aus
14 Ländern nahmen
am Kurs teil.

Im Herbst 2024 führten Empa-Forschende aus dem Labor «Luftfremdstoffe / Umwelttechnik» ein Training für Verantwortliche von Treibhausgasmessungen im Asien-Pazifik-Raum durch. Der Kurs, der teilweise online und teilweise auf der indonesischen Insel Sumatra stattfand, wurde von Teilnehmenden aus 14 Ländern besucht. Organisiert wurde er von der Weltmeteorologieorganisation (WMO) und dem indonesischen Wetterdienst im Rahmen des «Global Atmosphere Watch»-Programms (GAW) der WMO. Das Programm dient unter anderem dem Betrieb einer weltweiten Infrastruktur zur Messung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre. Die Empa unterstützt das GAW-Programm durch Ausbildung und Qualitätskontrollen bereits seit 1996.



ELEKTROSCHROTT-RECYCLING IN SÜDAFRIKA

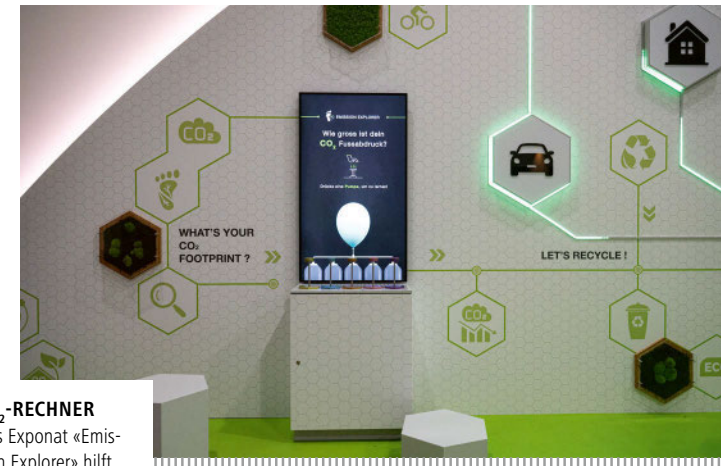
Die Regierung von Südafrika hat im Sommer 2024 ein Strategiepapier zum Management von Elektroschrott herausgegeben, das in Zusammenarbeit mit der Empa und dem «World Resources Forum» (WRF) erarbeitet wurde. Damit erlässt das Land erstmals einheitliche Richtlinien zur fachgerechten und sicheren Handhabung von Elektroabfällen. Eine wichtige Grundlage für diese Strategie lieferte das «Sustainable Recycling Industries»-Programm (SRI), finanziert vom Schweizer Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) und durchgeführt von der Empa und dem WRF, einer aus der Empa hervorgegangenen internationalen Non-Profit-Organisation.



GRÜNE STRATEGIE
Südafrika verbessert
das Elektroschrott-
Management mit
Unterstützung der
Empa.

Foto: BMKG; Empa

DIE EMPA IM VERKEHRSHAUS: ENERGIEWELTEN ERLEBEN



CO₂-RECHNER
Das Exponat «Emission Explorer» hilft den Besuchenden, ihren CO₂-Fussabdruck zu ermitteln.

Seit Ende Oktober ist im Verkehrshaus Luzern ein Exponat der Empa zu finden. Der «Emission Explorer» wurde im Rahmen der gemeinsamen Initiative des ETH-Bereichs «Energy Science for Tomorrow» (ES4T) entwickelt. Je nach ihren individuellen Lebensgewohnheiten in verschiedenen Bereichen wie Wohnen, Ernährung und Konsumverhalten können Besucherinnen und Besucher mithilfe des «Emission Explorer» ermitteln, wo sie im schweizweiten Vergleich stehen und was sie tun können, um allenfalls auf kleinerem Fusse zu leben. Das Exponat ist Teil der Ausstellung «Experience Energy!», die noch für drei Jahre im Verkehrshaus zu sehen ist.



Foto: Verkehrshaus

VERANSTALTUNGEN

19. MÄRZ 2025

Kurs: Additive Fertigung von Metallen

Zielpublikum: IngenieurInnen, TechnikerInnen,
KonstrukteurInnen

www.empa-akademie.ch/metallen

Empa, Dübendorf

28.–30. APRIL 2025

URBAN SOUND SYMPOSIUM

Zielpublikum: Wissenschaft und Fachleute

urban-sound-symposium.org

Empa, Dübendorf

22. MAI 2025

Kurs: High-Tech Keramik

Zielpublikum: IngenieurInnen, TechnikerInnen

www.empa-akademie.ch/keramik

Empa, Dübendorf



THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology