

[FOKUS: VERKEHR]

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #70 II JANUAR 2021



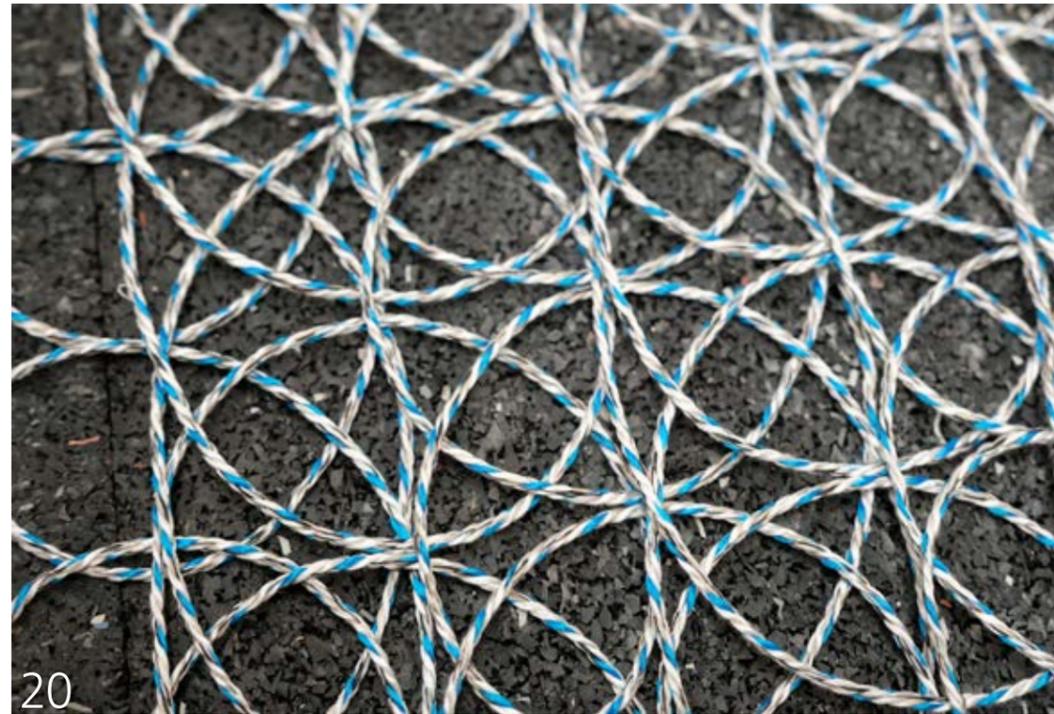
FOKUS

SAUBERE NEUE AUTOWELT

AUTOS LERNEN SEHEN
HÄUSER HAMSTERN STROM
ROBOTER STRICKEN STRASSEN

[INHALT]

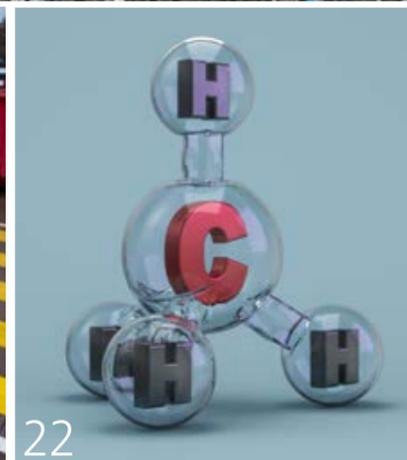
[FOKUS: SAUBERE NEUE AUTOWELT]



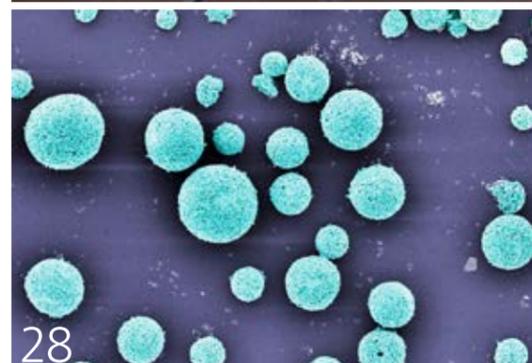
20



17



22



28



30

Fotos: iStockphoto, Empa

[FOKUS]

17 AUTONOMES FAHREN
Sehtest für Roboterautos

20 TIEFBAU
Strassenbelag aus Schotter und Bindfäden

22 TREIBSTOFF
Synthetisches Methan aus Sonnenenergie

24 ELEKTROANTRIEB
Häuser hamstern Solarstrom fürs Auto

[THEMEN]

08 BIOTECHNOLOGIE
Melanin: Wundermittel für Holzschutz und mehr

12 NACHHALTIGKEIT
Erneuerbare Energie – Spiel ohne Grenzen?

15 MATERIAL-FORSCHUNG
Modifiziertes Holz kann Strom erzeugen

28 HYGIENE
Wasserfilter gegen Krankheitskeime

30 DRITTE WELT
Stromnetze nach Mass für Dörfer in Kenia

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

34 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Wie gut können selbst fahrende Autos sehen? Das Testfahrzeug der Empa hat einen Laserscanner an Bord, der solche hochauflösenden Standbilder produziert. Zusätzlich braucht es Kameras und Radarscanner. Die Empa will herausfinden, wie exakt die Sensoren die Welt erkennen. Seite 17.
Bild: Velodyne Lidar

[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
empaquarterly@empa.ch

www.empaquarterly.ch

VERÖFFENTLICHUNG

Erscheint viermal jährlich

PRODUKTION

rainer.klose@empa.ch



Empa Social Media



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

VOM WERT DES WIDERSPRUCHS

Liebe Leserin, lieber Leser



Wohin man auch blickt, drängt sich eine Vermutung auf: Wir haben verlernt, mit Widerspruch umzugehen.

Statt uns mit Gegenargumenten sachlich auseinanderzusetzen, spielen wir in kontroversen Diskussionen schnell auf den Mann. Das kommt selten gut, wie uns etwa ein schäumender Wikinger-Schamane im US-Capitol zeigt...

Ein Blick auf die Wissenschaft könnte hier hilfreich sein. Wissenschaft lebt vom Widerspruch. Der Philosoph Karl Popper hat in ihm gar den Königsweg zum Erkenntnisgewinn gesehen. Alles kann gedacht, gesagt und behauptet werden. Doch jede Idee muss sich, sobald sie in die Welt gesetzt wurde, einer kritischen Prüfung stellen. Lässt sie sich widerlegen, wird sie über Bord geworfen und eine neue These entwickelt.

Daher überrascht es kaum, wenn in einem frühen Stadium – bei noch unsicherem Kenntnisstand – verschiedene WissenschaftlerInnen unterschiedliche Ideen favorisieren. In der Öffentlichkeit wird das oft als «Kakophonie» und Uneinigkeit innerhalb der Forschergemeinschaft wahrgenommen. Dabei schauen wir den Fachleuten lediglich bei der Arbeit zu und beobachten, wie sie eigene und fremde Ideen auf Unstimmigkeiten abklopfen.

Daran könnten wir uns in der gesellschaftlichen Auseinandersetzung ein Beispiel nehmen. Das setzt indes voraus, dass wir bereit sind, auch unsere eigenen Überzeugungen zu hinterfragen, nicht nur die des Gegenübers.

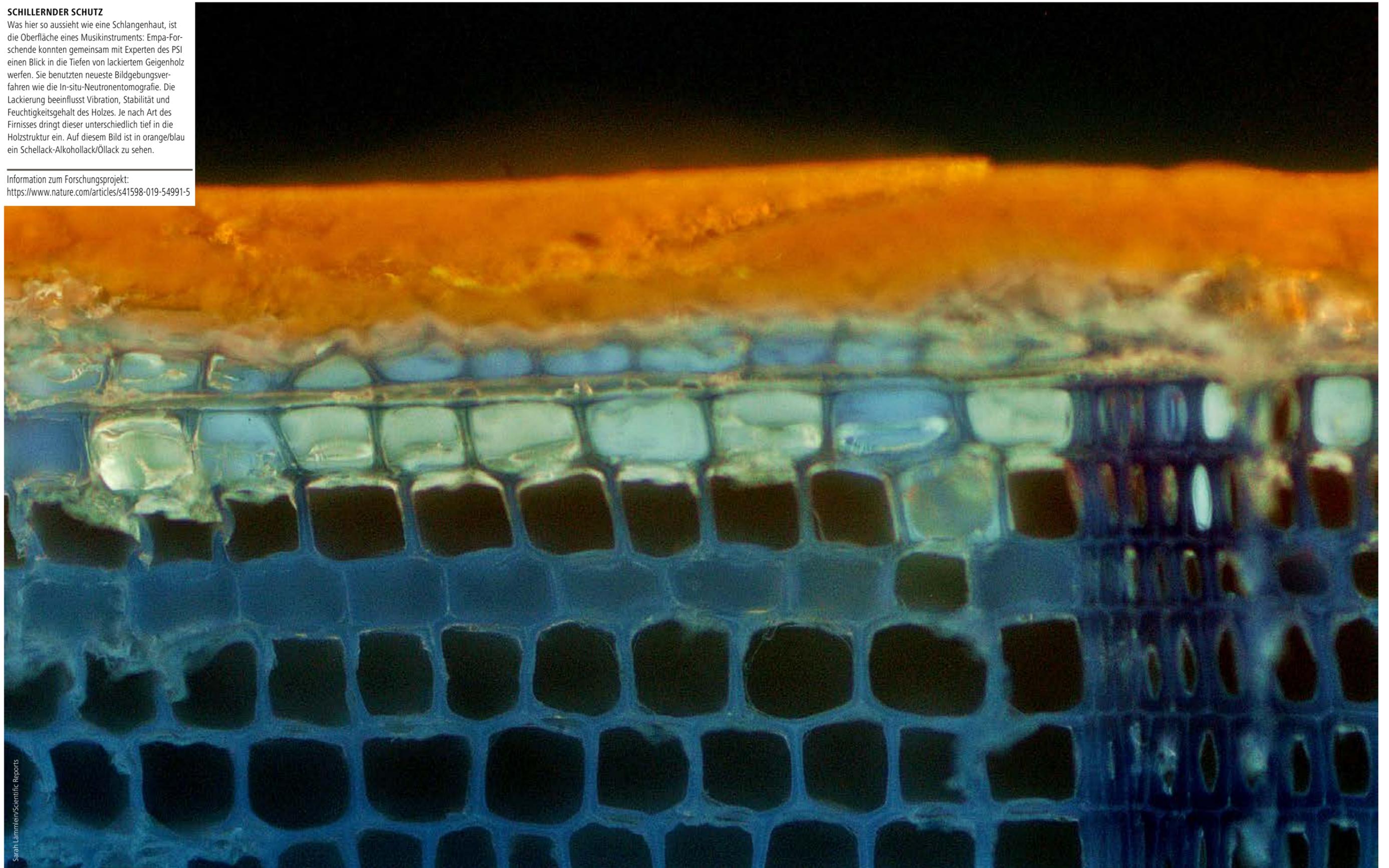
Viel Vergnügen beim Lesen!

Ihr MICHAEL HAGMANN

SCHILLERNDER SCHUTZ

Was hier so aussieht wie eine Schlangenhaut, ist die Oberfläche eines Musikinstruments: Empa-Forschende konnten gemeinsam mit Experten des PSI einen Blick in die Tiefen von lackiertem Geigenholz werfen. Sie benutzten neueste Bildgebungsverfahren wie die In-situ-Neutronentomografie. Die Lackierung beeinflusst Vibration, Stabilität und Feuchtigkeitsgehalt des Holzes. Je nach Art des Firnisses dringt dieser unterschiedlich tief in die Holzstruktur ein. Auf diesem Bild ist in orange/blau ein Schellack-Alkohollack/Öllack zu sehen.

Information zum Forschungsprojekt:
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-54991-5>



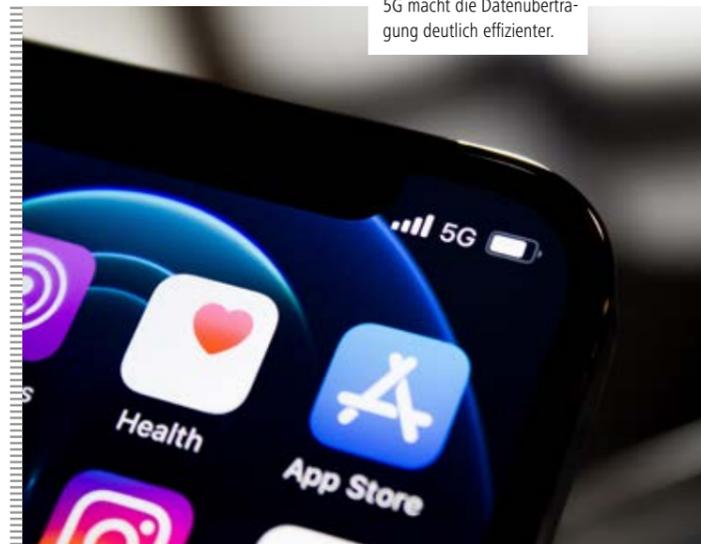
STEP2 – NEUE NEST-UNIT



INNOVATIV
Die zweistöckige STEP2-Unit wird auf der obersten Plattform des NEST-Gebäudes gebaut.

Eine Wendeltreppe in Form einer Wirbelsäule aus dem 3D-Druck, eine Rippen-Filigrandecke, die rund ein Drittel weniger Material benötigt und eine energieeffiziente Gebäudehülle, die für den optimalen Komfort sorgt: Im NEST wird eine neue Unit geplant. STEP2 – so ihr Name – vereint Innovationen in den Bereichen Kreislaufwirtschaft, industrielle und digitale Fabrikation sowie Gebäudehülle und Energiesysteme. Die zweistöckige Unit wird auf der obersten NEST-Plattform gebaut und soll im Sommer 2022 fertig sein.

www.empa.ch/web/nest/step2



DATENSTROM
Der neue Mobilfunkstandard 5G macht die Datenübertragung deutlich effizienter.

WIE WIRKT SICH 5G AUF'S KLIMA AUS?

Forschende der Empa und der Universität Zürich haben im Auftrag des Wirtschaftsverbands swisscleantech und der Swisscom untersucht, welche Auswirkungen der 5G-Mobilfunkstandard auf Treibhausgasemissionen haben wird. Die Studie zeigt, dass der Ausbau des 5G-Netzes Umweltbelastungen deutlich reduzieren kann. Ein Grund dafür ist die grössere Energieeffizienz. Hinzu kommen Einsparungen aufgrund intelligenter Stromnetze oder gezielterer Nutzung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft.

www.empa.ch/web/s604/5g-netz

Fotos: James Yarema für Unsplash, ROK Architekten

Fotos: Empa, Anavo

PREISGEKRÖNTER KLEBER FÜR WUNDEN

Der erste Preis des «Empa Innovation Award» 2020 ging an eine neuartige Gewebekleber-Technologie, die eine schnellere und sicherere Wundheilung verspricht. Entwickelt wurde sie von Forschenden des «Particles-Biology Interactions» Labors der Empa zusammen mit dem Nanoparticle Systems Engineering Lab der ETH Zürich. Anders als bisherige Wundkleber, die hauptsächlich aus dem körpereigenen Protein Fibrin bestehen, basiert die Technologie auf einer Kombination aus anorganischen Nanopartikeln. Die adhäsiven Partikel binden sich besonders gut an Knochen oder Weichgewebe. Die beschleunigte Blutgerinnung verbessert die Behandlung von äusseren und inneren Wunden.

www.empa.ch/web/s604/empa-innovation-award-2020



START-UP
Sebastian Loy und Tino Matter (rechts) entwickelten den neuen Gewebekleber und gründeten die Start-up-Firma Anavo.



HALTBAR
Der mit einer Stahl-lamelle verstärkte Betonträger trägt seit 1970 eine Last von etwas mehr als sechs Tonnen.

AUF BIEGEN UND BRECHEN

Bereits seit 1970 läuft an der Empa ein weltweit einzigartiger Versuch, bei dem das Langzeitverhalten von verklebten Stahlbewehrungen an einem Betonträger untersucht wird. Untersuchungen wie diese haben dazu beigetragen, dass die Klebebewehrung als Verstärkungsmethode heute Stand der Technik ist und die Ingenieure Vertrauen in diese Bauweise haben.

www.empa.ch/web/s604/biegekruechversuch

DAS SCHWARZE GOLD DER PILZE

Empa-Forschenden ist es gelungen, das Pigment Melanin in grossen Mengen aus Pilzen zu gewinnen. Ein gigantischer Hallimasch-Pilz im Dienste der Wissenschaft gehört zu den grössten Lebewesen der Welt. Die Anwendungsmöglichkeiten des «schwarzen Goldes» reichen von Holzschutzmitteln bis zum Bau von Musikinstrumenten und Wasserfiltern.

Text: Andrea Six



ZERSTÖRERISCH
Schwammartig wächst der wässrige Porling auf Holzoberflächen und greift deren Struktur auch in der Tiefe an.



Foto: Empa

Seine Eigenschaften sind verblüffend und seine Anwendungen entsprechend vielfältig: Das Pigment Melanin, das beispielsweise die menschliche Haut vor schädigenden UV-Strahlen schützt (und uns eine sommerliche Bräune beschert), ist eine wahre Fundgrube für neue Materialien und Technologien. Zwar kommt der Wunderstoff in der Natur vor, im industriellen Massstab konnte das komplexe Biopolymer jedoch bis jetzt nur in teuren und aufwändigen Prozessen, bei denen nicht alle Eigenschaften reproduzierbar sind, künstlich

hergestellt werden. Auch Prozesse, natürliches Melanin aus Mikroorganismen zu gewinnen, zeigten bisher eine geringe Ausbeute. Nicht verwunderlich also, dass die Substanz um ein Vielfaches teurer ist als Gold. Forschende der Empa haben nun Pilze dazu gebracht, das «schwarze

Gold» in einem einfachen und hochskalierbaren Verfahren herzustellen. «Melanin verhält sich äusserst stabil gegenüber Umwelteinflüssen und ist nicht nur als Pigment, sondern auch weit darüber hinaus für die Entwicklung innovativer Komposit-Materialien interessant», sagt Empa-Forscher Francis Schwarze von der Abteilung «Cellulose & Wood Materials».

Auf der Suche nach einfacheren, günstigeren Verfahren zur Herstellung von natürlichem Melanin in grossen Mengen stiessen Schwarze und sein Team auf einen Pilz, der eigentlich als Pflanzenschädling im Wald zu finden ist: *Armillaria cepistipes*, der zwiebfüssige Hallimasch. Sein erstaunlicher Stoff-

wechsel bindet Schwermetalle, lässt Holz im Dunkeln leuchten – und produziert Melanin. Und zwar massenhaft. «Wir haben eine vielversprechende Linie des Hallimasch-Pilzes selektiert, die mit unserer Technologie nun rund 1000-mal so viel Melanin produziert wie andere Mikroorganismen, mit denen die Pigmentherstellung bereits versucht wurde», so Schwarze. Der Trick: Der ausgewählte Pilzstamm lebt in einer Nährflüssigkeit und gibt das Melanin in die Umgebung ab. «Dieses System ermöglicht nun eine nachhaltige Produktion, die keine aufwändigen Extraktionsschritte mehr benötigt wie bisherige mikrobiologische Prozeduren», erklärt Empa-Forscher Javier Ribera, der massgeblich an dem Verfahren beteiligt ist. Nach drei Monaten habe ein Liter Hallimasch-Kultur bereits rund 20 Gramm Melanin erzeugt.

Die erleichterte und nachhaltige Produktion von Melanin ermöglicht es den

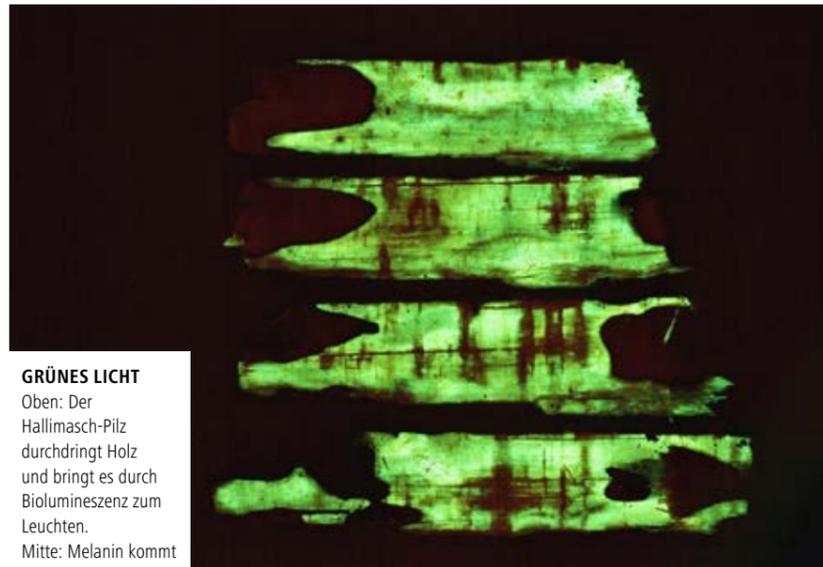
PIGMENT GEGEN UMWELTSTRESS

«Melanin» ist ein Oberbegriff für eine grosse Gruppe von farbgebenden Substanzen. Das Pigment Melanin verleiht unseren Haaren, unseren Augen und der Haut ihre Farbe. Es kommt in Vogelfedern, Schafwolle und in der Tinte von Tintenfischen vor. Zudem verfügen Pflanzen, Pilze und selbst Bakterien über den Wunderstoff. Seine Aufgabe: den Organismus vor Stress aus der Umwelt schützen. Das Nachdunkeln der Haut bei Sonneneinstrahlung ist ein Beispiel dafür. Pilzen wiederum verleiht Melanin eine noch erstaunlichere Fähigkeit: Sie können dank Melanin sogar Radioaktivität zur Energieerzeugung im eigenen Stoffwechsel nutzen.

Empa-Forschenden nun, Projekte zur Entwicklung innovativer Materialien voranzutreiben. Darunter ist beispielsweise ein System zur Wasserreinigung: Da Melanin in der Lage ist, Schwermetalle zu binden, kann es für die Entwicklung neuartiger Wasserfilter genutzt werden. «Wir haben das organische Melanin in künstliche Polymere wie Polyurethan integriert», erklärt die Empa-Forscherin Anh Tran-Ly. Mittels Elektrosponnen wurde das Polymergemisch in feinsten Fasern zu Membranen versponnen. Bis zu 94 Prozent Blei lassen sich mittels der Melanin-basierten Komposit-Membranen aus verschmutztem Wasser entfernen, fand das Empa-Team heraus.

SCHWARZ WIE EBENHOLZ

In der Natur setzen Pilze die Melanin-pigmentierung unter anderem dazu ein, sich vor konkurrierenden Organismen zu schützen, die aus der Umgebung eindringen. Mit einer neuen Technologie lässt sich der färbende Stoff nun auch verwenden, um viel grössere Lebensgemeinschaften vor menschlichem Einfluss zu schützen: Mit Melanin lassen sich tropische Wälder schonen, in denen das wertvolle Ebenholz wächst. ▶



GRÜNES LICHT

Oben: Der Hallimasch-Pilz durchdringt Holz und bringt es durch Biolumineszenz zum Leuchten.
Mitte: Melanin kommt auch in der Tinte von Tintenfischen vor.
Unten: Ein Hallimasch-Pilzgeflecht wird durch Melanin geschützt und kann mehrere Quadratmeter gross sein.



Tropisches Ebenholz gilt auch wegen seiner einmaligen dunklen Farbe als besonders kostbar. Ein nachhaltiger Prozess, der gewöhnliches einheimisches Fichtenholz zu einem optisch ebenso attraktiven Produkt aufwertet, lässt vulnerable Tropenwälder aufatmen. «Wenn Fichtenholz in eine Melanin-Suspension eingelegt wird, lässt sich ein tiefdunkles Holz erzeugen, dass farblich mit Ebenholz vergleichbar ist», sagt Empa-Forscher Tine Kalac.

Damit die schwarze Einfärbung das Holz besser durchdringen kann, griffen die Forschenden zu einem weiteren Trick aus ihrer Pilzkiste: Der wässrige Porling, *Physisporinus vitreus*, ist als Erreger der Weissfäule ebenfalls ein Holzschädling. Schwammartig wächst er auf Bäumen und zersetzt das stützende Lignin im Holz. Mit einem eigens an der Empa entwickelten Verfahren wird das Holz nun gerade so lange mit dem Weissfäule-Pilz behandelt, dass die Melaninsuspension tief in die Holzstrukturen eindringen kann, das Holz aber noch stabil bleibt.

SERPENTINO – DIE SCHLANGE

Da der Hallimasch-Pilz Melanin als Waffe gegen Artgenossen einsetzt, liegt es nahe, diesen Schachzug auch einzusetzen, um Holz vor Schadpilzen zu schützen. Um einen Melanin-basierten Holzschutz zu entwickeln, sind die Empa-Forschenden an einem kürzlich gestarteten, interdisziplinären Forschungsprojekt beteiligt, das von Innosuisse, der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung, unterstützt wird. Sie wollen ein historisches Blasinstrument, den Serpentino (auf deutsch: kleine Schlange), nachbauen.

Partner des Projekts ist neben der Fachhochschule Nordwestschweiz und dem Historischen Museum Basel das Unternehmen S Berger Serpents in Le Bois (JU), das für die praktische

Umsetzung des Forschungsvorhabens zuständig ist. Firmengründer Stephan Berger ist begeistert von der Wiedergeburt des seltenen Instruments: «Der Serpentino wurde vor über 400 Jahren verwendet und stand Pate für moderne Instrumente wie das Saxophon und die Tuba», erklärt er. Es sei zwar eine spielerische Herausforderung für die Musizierenden, das Instrument zu meistern, der Klang sei dafür aber unvergleichlich, schwärmt Berger. «Der Serpentino erzeugt Klänge, die reich an Obertönen und sehr berührend sind.» Ursprünglich sei das Blasinstrument in Kirchen zur Unterstützung des Gesangs eingesetzt worden, da es die Register der menschlichen Stimme abdecke und so einen Chor «stützen» könne, erzählt der passionierte Instrumentenbauer.

Obwohl heute ein Trend zur historisch informierten Aufführungspraxis dazu führt, dass der Serpentino begehrt ist, kann Berger seine Kunden nicht mit Instrumenten beliefern: Die eigentümlich geschwungenen Originalinstrumente sind rar geworden. Denn im Inneren der Nussbaumholz-Schlange entsteht nicht nur ein unvergleichlicher Klang

– es tobt auch ein Krieg: Das Kondenswasser aus der Atemluft der Musiker schafft ein feuchtes Mikroklima, das hervorragende Bedingungen für das Wachstum von allerlei Schädlingen liefert. Und so zersetzen Mikroben und Pilze die jahrhundertealten Instrumente und zerstören die letzten Original Exemplare nach und nach.

Vor diesen Schäden sollen die originalgetreuen Serpentino-Nachbauten des Forschungsprojekts nachhaltig geschützt werden. Hier kommt das Melanin der Empa-Forschenden ins Spiel: «Wenn wir eine Melanin-basierten Holzschutz-impregnierung einsetzen können, lassen sich nicht nur die neugebauten Serpentinis vor dem Verfall retten», sagt Berger. Auch andere Holzblasinstrumente, die heute mit einheimischen, weniger resistenten Hölzern gebaut werden, könnten von einer derartigen Schutzschicht profitieren. Daher sei die Zusammenarbeit mit dem Empa-Team für den Instrumentenbau in doppelter Hinsicht spannend. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s302

GIGANTISCHER HALLIMASCH

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

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

und Nahrungsquellen. Diese sogenannten Rhizomorphen können zudem als Parasiten in Baumwurzeln eindringen, im Stamm aufsteigen und ihren Wirt von innen zersetzen. Mit einer Grösse von mehreren Quadratkilometern dehnt sich das grösste Lebewesen der Welt, ein rund 2400-jähriges Hallimasch-Netz, im US-Bundesstaat Oregon aus. In der Schweiz ist wiederum der grösste Pilz Europas am Ofenpass zu finden. Dieser Hallimasch bedeckt immerhin ein Gebiet von der Grösse von 50 Fussballfeldern. Sein Alter von rund 1000 Jahren verdankt er auch dem Pigment Melanin, das die schwarzen Pilzfäden vor Umweltschäden schützt.



SCHWARZ WIE EBENHOLZ

Empa-Forscher Tine Kalac wertet gewöhnliches Fichtenholz mit Melanin auf.



STEPHAN BERGER

Der Serpentino: eigentümliche Gestalt mit berührendem Klang

Fotos: Empa, unsprash

Fotos: Empa, Xavier Voirrol

ÖKO-ENERGIE OHNE GRENZEN?

Auch eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft läuft nicht ohne Energie. Solaranlagen und Windfarmen, Gezeiten- und Erdwärmekraftwerke: Sie alle zweigen Energie aus Energieströmen ab, die zuvor seit Urzeiten unangetastet geblieben waren. Die Frage lautet daher: Welchen Anteil dieser Energieströme darf die Menschheit für ihre Zwecke nutzen, ohne dass das Energiesystem der Erde dabei Schaden nimmt? Empa-Forscher haben eine Methode entwickelt, um dies abschätzen zu können.

Text: Harald Desing

Die Erde hat ihre Belastungsgrenzen, das wird uns angesichts der Klimakrise, des zunehmenden Artensterbens und der Vermüllung der Ozeane (und sogar des Weltraums) als Konsequenz menschlicher Aktivität zunehmend bewusst. Als mögliche Antwort darauf propagieren Regierungen und Institutionen weltweit das Konzept der Kreislaufwirtschaft. So sollen durch Schliessen der Materialkreisläufe die mit der Rohstoffgewinnung einhergehenden Umweltauswirkungen vermieden und das Müllproblem gelöst werden. Im Hinblick auf eine nachhaltige Gesellschaft genügt dieser Ansatz für sich allein jedoch nicht, lässt er doch die Frage offen, wie viel und wie schnell Materialien im Kreis geführt werden und mit welcher Energie diese Kreisläufe betrieben werden. Denn in einer wirklich nachhaltigen Gesellschaft müssen nicht nur die Materialflüsse, sondern auch sowohl die Energieströme innerhalb der Grenzen bleiben, die unser Heimatplanet uns setzt.

ENERGIE FÜR DEN «BETRIEB» DER ERDE

Eine zentrale Frage lautet demzufolge: Steht global genügend erneuerbare Energie für die nachhaltige Gestaltung der Materialflüsse in unserer Gesellschaft zur Verfügung, ohne die planetaren Grenzen zu «sprengen»? Dieser Frage geht ein Empa-Team rund um Harald Desing aus der Abteilung «Technologie und Gesellschaft» nach. Betrachten wir den Planet Erde als System, tauscht dieser mit seiner Umgebung lediglich Energie aus. Der weitaus grösste Teil der ins System eingebrachten Energie ist Sonnenstrahlung, ergänzt durch geringfügige Anteile an planetarer Bewegungsenergie und Erdwärme. Diese Energieströme wurden schon immer restlos von der Erde selbst genutzt. Ihre vielen Teilsysteme wie die Ozeane, die Atmosphäre und Wälder, aber auch reflektierende Eisflächen wurden damit gewissermassen «in Betrieb gehalten».

Die meisten dieser Teilsysteme wandeln die eintretende Energie in weitere erneuerbare Energieströme um, zum Beispiel Wind- und Wasserströmungen oder Biomasseproduktion. Dabei wird den eintretenden Energieströmen freie Energie, die sogenannte Exergie, entzogen. Unabhängig von der Nutzung, ob im natürlichen Erdsystem oder der von Menschen erschaffenen Technosphäre, wird die gesamte Energie letztlich wieder ins All abgestrahlt.



Foto: NASA

ES WIRD HEISS

Die NASA illustriert mit diesem Bild die weltweiten Methan-Emissionen. Methan ist das zweitwichtigste Treibhausgas nach CO₂.

AUCH SOLARPARKS VERÄNDERN DAS KLIMA – WENN ES ZU VIELE WERDEN

Wenn die Menschheit zunehmend Anteile der erneuerbaren Energieströme für ihre Aktivitäten abzweigt, reduzieren sich die dem Erdsystem zur Verfügung stehenden Anteile. Solche Störungen kann das Erdsystem bis zu einem gewissen Grad ausgleichen. Sind sie jedoch zu gross, steigt das Risiko, dass sogenannte «Kippunkte» überschritten werden. Schnelle und irreversible Veränderungen im Erdsystem wären die Folge: etwa das Abschmelzen der Polkappen, welches wiederum den Klimawandel beschleunigt. Um diese Kippunkte nicht zu überschreiten, darf die Grösse der genutzten Landfläche nicht über der planetaren Belastungsgrenze liegen. Es ist aber auch entscheidend, auf welche Weise die Fläche genutzt wird: Solaranlagen anstelle von Wäldern etwa stören die Biodiversität, die Verdunstung und damit den Wasserkreislauf, die Rückstrahlung von Wärme ins All und vieles mehr.

Die gleichen Obergrenzen wie für die solare Nutzung gelten auch für die Ernte der sogenannten chemischen Energie – also für die Land- und Forstwirtschaft, die Nahrungs- und Futtermittel, Heizmaterial, Treibstoffe sowie Baumaterialien produziert. Die Erzeugung technischer Energie steht auf vielen Flächen in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung.

ELEKTRISCHE ENERGIE ALS «UNIVERSALWÄHRUNG»

Um die verschiedenen Potenziale an erneuerbarer Energie vergleichen bzw. summieren zu können, haben sie die Empa-Forscher in elektrische Energieäquivalente umgerechnet. Dazu werden in den Berechnungen die Wirkungsgrade heute verfügbarer Kraftwerkstechnik verwendet. Es macht einen Unterschied, ob Elektrizität aus Solarenergie, aus Holz oder aus Wasserkraft erzeugt wird. Diese Umwandlungsverluste schmälern die mögliche Ernte einiger Potenziale nochmals erheblich.

Das Ergebnis der Studie überrascht: 99.96% der aus dem All auf die Erde eintreffende Energie werden für den Antrieb des Erdsystems und der Nahrungsmittelproduktion benötigt, daher können bloss 0.04% technisch genutzt werden. Dennoch liegt dieses Potenzial immer noch etwa um das zehnfache über dem heutigen globalen Energiebedarf.

«Auch Windkraft, Wasserkraft und Biomasseproduktion werden von der Sonne angetrieben – doch dabei entstehen Verluste. Besser ist es, Energie direkt zu ernten: mit Photovoltaik.»

Das Ergebnis aus der Betrachtung der Umwandlungsverluste ist wenig überraschend: Wir sollten die verfügbare Energie bevorzugt mittels Solarzellen ernten und nutzen. Denn fast alle erneuerbaren Energiressourcen – auch Wind- und Wasserkraft und die Biomasseproduktion – werden letztlich von der Sonne angetrieben. Eine direkte Nutzung der Sonnenenergie bedeutet weniger Umwandschritte und dadurch weniger Verluste.

ALLE VERSIEGELTEN FLÄCHEN NUTZEN

Ein Grossteil der Sonnenenergie liesse sich auf einem kleinen Teil der Wüstenflächen der Erde ernten, was jedoch technisch und logistisch aufwändig ist. Das Forschungsteam der Abteilung «Technologie und Gesellschaft» betrachtet daher auf Wüstenflächen geerntete Sonnenenergie als eine globale Energiereserve für den Fall, dass alle anderen Erntemöglichkeiten ausgeschöpft sind.

Als Konsequenz daraus sollten wir weltweit damit beginnen, alle be-

reits versiegelten Oberflächen, z.B. Gebäudedächer und Fassaden, aber auch Strassen, Schienenwege und Parkplätze zu nutzen. Diese Fläche würde ausreichen, um eine globale 2000-Watt-Gesellschaft zu versorgen.

WÜSTENREGIONEN ALS RESERVE

Möchte man jedoch den weltweiten Energiebedarf auf das Niveau des heutigen Schweizer Pro-Kopf-Bedarfs anheben, so müssten auch Wüstenflächen mitgenutzt werden. Alle weiteren Energiepotentiale (z.B. aus Wind oder Biomasse) sind um Grössenordnungen kleiner als die direkte Nutzung der Sonnenenergie – und sie sind zum Teil bereits übernutzt. Trotzdem können sie lokal eine bedeutende Rolle spielen, insbesondere auch, weil sie den Bedarf an Speicherkapazitäten verringern können – eine Problematik, die in dieser Studie nicht mit berücksichtigt worden ist.

Also einfach massenweise Solaranlagen bauen, und das Energieproblem ist gelöst? Ganz so einfach ist das natürlich

nicht. In ihrer Studie hat das Empa-Team nur den ersten Schritt betrachtet – die Berechnung des verfügbaren Energiepotentials. Die tatsächliche verfügbare Menge an Energie wird kleiner sein: Limitierende Faktoren sind etwa die Verfügbarkeit von Rohstoffen, aber auch Finanzkapital und Arbeitskraft, Umweltauswirkungen bei der Rohstoffgewinnung oder Produktion, Betrieb und Entsorgung der Anlagen sowie der Bedarf an zusätzlicher Infrastruktur für die Energieverteilung und -speicherung.

Aktuell geht das Forschungsteam der Frage nach, wie ein solcher Weg von der fossilen hin zur solaren Gesellschaft aussehen könnte. Denn das solare Energiesystem muss nicht nur gross genug sein, um den globalen Bedarf decken zu können, sondern auch rasch genug das fossile System ersetzen können, um die Klimakatastrophe noch rechtzeitig abzuwenden. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/s506

DIE EMPA MACHTS VOR

Solarenergie auf allen Dächern und an allen Fassaden ernten – das geht. Die NEST-Unit Solace besitzt keine Dachfläche. Sie erntet Strom und Wärme lediglich durch ihre türkise Fassade.



STROM AUS DEM PARKETT

Forscher der Empa und der ETH Zürich haben Holz biegsam gemacht und in einen Mikrogenerator verwandelt. Wenn es belastet wird, entsteht elektrische Spannung. So kann das Holz als Biosensor dienen – oder nutzbare Energie erzeugen.

Text: Stefanie Zeller



VOLLER ENERGIE
Modifiziertes Holz kann durch Verformung Strom erzeugen. Reicht ein Tango schon für schummrige Licht?

Das Holz nicht nur als Baumaterial genutzt werden kann, hat die Forschungsgruppe um Ingo Burgert schon öfter bewiesen. In seinen Forschungsarbeiten geht es in der Regel darum, die vorhandenen Eigenschaften von Holz so zu erweitern, dass es sich für völlig neue Anwendungsbereiche eignet. So entstand beispielsweise bereits hochfestes, wasserabweisendes und magnetisierbares Holz. In einer kürzlich veröffentlichten Forschungsarbeit zeigt sein Team in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe um Francis Schwarze nun, wie mittels eines

einfachen Verfahrens Strom aus einer Art Holzschwamm gewonnen werden kann. Hier kommt der sogenannte piezoelektrische Effekt ins Spiel.

SPANNUNG DURCH VERFORMUNG

Piezoelektrizität bedeutet, dass durch die elastische Verformung von Festkörpern eine elektrische Spannung entsteht. Dieses Phänomen macht sich vor allem die Messtechnik zunutze, indem sie Sensoren verwendet, die beispielsweise bei mechanischer Belastung ein Ladungssignal erzeugen. Für derartige Sensoren werden allerdings oft Stoffe verwendet, die für den Gebrauch im

biomedizinischen Bereich ungeeignet sind, etwa Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), das aufgrund des Blei-Anteils für den Einsatz auf der Haut nicht in Frage kommt. Den natürlichen piezoelektrischen Effekt von Holz nutzen zu können, bietet daher bestimmte Vorteile. Weitergedacht könnte der Effekt auch zur nachhaltigen Energiegewinnung dienen. Doch zunächst muss Holz einmal die entsprechenden Eigenschaften erhalten. Denn Holz ist ohne spezielle Behandlung zu wenig flexibel; bei einer mechanischen Beanspruchung entsteht daher nur eine sehr geringe elektrische Spannung im Verformungsprozess. ▶

VOM KLOTZ ZUM SCHWAMM

Jianguo Sun, Doktorand im Team von Ingo Burgert, wendete ein Verfahren an, das die Grundlage für diverse Weiterentwicklungen von Holz bildet: die Delignifizierung. Holz Zellwände bestehen aus drei Grundstoffen: Lignin, Hemizellulosen und Zellulose. «Das Lignin benötigt ein Baum in erster Linie, um weit in die Höhe wachsen zu können. Ohne Lignin als stabilisierenden Stoff, der die Zellen verbindet und das Ausknicken der zugsteifen Zellulosefibrillen verhindert, wäre das nicht möglich», erklärt Burgert. Um Holz nun in ein leicht verformbares Material umzuwandeln, muss das Lignin zumindest teilweise «herausgelöst» werden. Dies gelingt, indem man das Holz in eine Mischung aus Wasserstoffperoxid und Essigsäure einlegt. Im Säurebad wird das Lignin herausgelöst, übrig bleibt ein Gerüst aus Zelluloseschichten. Bei diesem Verfahren ging es Burgerts Team darum, mit relativ einfachen und umweltschonenden Prozessen zu arbei-

ten: «Wir machen uns die hierarchische Struktur des Holzes zunutze, ohne sie, wie etwa bei der Papierherstellung, zuerst aufzulösen und die Fasern anschließend wieder verbinden zu müssen.» Der daraus entstandene weisse Holzschwamm besteht aus übereinanderliegenden, dünnen Zelluloseschichten, die sich einfach zusammenpressen lassen und sich dann wieder in ihre ursprüngliche Form ausdehnen – das Holz ist quasi elastisch verformbar geworden.

STROM AUS DEM HOLZBODEN

Die Forschungsgruppe unterzog den Testwürfel mit einer Seitenlänge von etwa 1.5cm rund 600 Belastungszyklen. Das Material zeigte dabei eine erstaunliche Stabilität. Bei jeder Belastung massen die Forscher eine Spannung von rund 0.63 V – eine Spannung, die für eine Anwendung als Sensor brauchbar wäre. In weiteren Experimenten versuchte das Team, die mögliche Skalierbarkeit dieses Nanogenerators

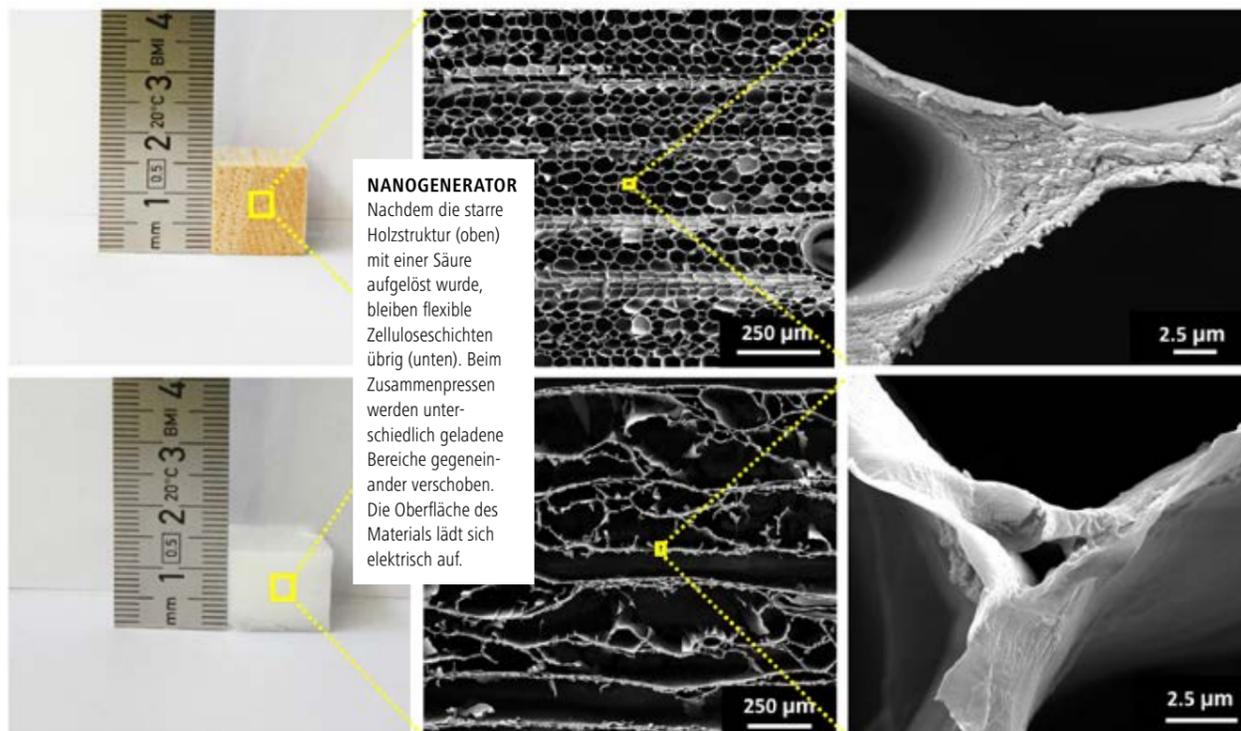
auszuloten. So konnten sie etwa zeigen, dass 30 solcher Holzklötze, wenn diese parallel mit dem Körpergewicht eines Erwachsenen belastet werden, bereits ein einfaches LCD-Display zum Leuchten bringen. Denkbar wäre also ein Parkettboden, der die Trittenenergie in Strom umwandelt. Die Tauglichkeit als drucksensitiver Sensor auf der menschlichen Haut testeten die Forscher und bewiesen damit, dass auch eine Anwendung im medizinischen Bereich möglich wäre.

Bis zur Nutzung des «Piezo»-Holzes als Sensor oder gar als stromerzeugender Parkettboden ist es allerdings noch ein weiter Weg. Doch die Vorteile eines so simplen und gleichzeitig nachwachsenden und biologisch abbaubaren piezoelektrischen Systems liegen auf der Hand – und werden nun von Burgert und seinen Kollegen in weiteren Forschungsprojekten untersucht. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s302



TESTFAHRT
Der radar- und laserbestückte Lexus dreht seine Runden auf dem Empa-Campus. Dejan Milojevic (links) und Miriam Elser konzipieren die Fahrversuche.



SEHTEST FÜR AUTONOME AUTOS

Autos, die autonom von A nach B navigieren, sollen in einigen Jahren Alltag sein. Doch der Weg zu einer Strassenzulassung ist noch weit. Ein wichtiger Aspekt: Wie lässt sich erkennen, ob ein selbstfahrendes Auto mit zunehmendem Alter «blind» geworden ist, die Sensoren also ausgetauscht werden müssen? Eine Empa-Forscherin sucht mit ihrem Team nach einer Lösung.

Text: Rainer Klose

Foto: Empa

Foto: Empa

Der fünf Meter lange Lexus RX-450h führt an der Empa ein eher beschauliches Leben. Grosse Reisen sind ihm nicht vergönnt. Stattdessen dreht das SUV brav seine Runden auf einem nur 180 Meter langen Spezialparcours in einem abgetrennten Hinterhof des Empa-Campus. Besonders spektakulär ist die Szenerie nicht: Die Mobileye-Kamera hinter der Frontscheibe sieht frisch aufgemalte Fahrbahnmarkierungen auf altersschwachem Beton; das Velodyne Lidar scannt bei jeder Runde die Fensterfront des immer gleichen Laborgebäudes, und das Delphi-Radar hinter dem Kühlergrill des Lexus misst routiniert den Abstand zu fünf blechernen Abfallmulden, die links und rechts des Parcours aufgestellt sind.

ZUR GLEICHEN ZEIT, IN KALIFORNIEN... Tausende Meilen weiter westlich, an der US-amerikanischen Pazifikküste, sieht alles etwas dramatischer aus. «Wow, ich hätte nicht gedacht, dass das Auto das kann», sagt Sam Altman. Er ist Chef der Firma OpenAI, die künstliche Intelligenz entwickelt und an der Elon Musk und Microsoft beteiligt sind. Altman sieht sich zusammen mit Kyle Vogt ein Video an. Vogt ist CTO und Mitgründer der Firma Cruise LLC, die heute zu General Motors gehört. Das Video ist auch auf Youtube zu sehen und zeigt, wie ein Versuchsfahrzeug von Cruise 75 Minuten lang durch San Francisco fährt und mit nur ganz wenigen Eingriffen von Programmierern alle innerstädtischen Fahrsituationen meistert. Es überholt stehende Müllwagen, auch wenn Gegenverkehr bereits in Sicht ist, und kann an kleinen Kreuzungen selbständig links abbiegen, selbst wenn Fussgänger zur gleichen Zeit die Fahrbahn queren wollen.

Auch die Tesla-Fangemeinde veröffentlicht Ende Oktober 2020 euphorische Videos. Einige Beta-Tester der Tesla-

Software haben eine Vorab-Version erhalten, mit der das Auto autonom durch Wohngebiete navigieren kann. Ein Youtuber namens TeslaRaj unterlegt sein schwärmerisches Video mit Violinenmusik und zeigt, wie sein Auto an roten Ampeln stoppt, Geschwindigkeitslimiten strikt einhält und geparkte Autos selbständig umkurvt.

VERTRAUEN IST GUT, KONTROLLE IST BESSER Wenn die Kalifornier schon so weit sind, welchen Sinn macht es dann in einem Hinterhof in Dübendorf herumzukurven? Miriam Elser kann das erläutern. Sie arbeitet im Empa-Labor für Fahrzeugantriebssysteme und leitet das Projekt mit dem Lexus. Damit betritt die Empa Neuland: Bisher hatte sie sich mit Antrieben, erneuerbaren Treibstoffen und Abgasreinigung, aber auch mit dem Betrieb von Fahrzeugen beschäftigt. Nun geht es erstmals um selbstfahrende Autos.

«Wir untersuchen, wie diese Sensoren bei Schnee und Regen arbeiten, welche Daten sie sammeln und welche Fehler sie machen.»

«Wir untersuchen, wie diese Sensoren bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen arbeiten, welche Daten sie sammeln und wann sie Fehler machen oder gar ausfallen», sagt die Forscherin. «Jeder menschliche Fahrer muss einen Sehtest bestehen, bevor er eine Fahrerlaubnis erhält. Berufsfahrer müssen diesen Test regelmässig wiederholen. Wir wollen einen Sehtest für autonome Fahrzeuge entwickeln, damit man ihnen auch dann noch trauen kann, wenn sie schon mehrere Jahre alt sind und tausende Kilometer auf dem Buckel haben.»

Das Thema ist bislang recht stiefmütterlich behandelt worden: Unter mehr als 1'000 öffentlichen Forschungsarbeiten zum Thema autonomes Fahren, die in den vergangenen fünf Jahren erschienen sind, beschäftigen sich nur rund 20 mit der Qualität der Sensordaten. Die Verarbeitung der Daten geschieht buchstäblich in einer «Black Box». Das Knowhow ist viel Geld wert und wird sorgfältig gehütet von Google, Apple, Tesla, Cruise LLC und den anderen grossen Herstellern, die an autonomen Fahrzeugen forschen. Sie lassen sich nicht in die Karten schauen.

DIE NADEL IM DATEN-HEUHAUFEN Die Sensorqualität spielt für eine spätere Zulassung autonom fahrender Autos im öffentlichen Verkehr eine wichtige Rolle. Die Betriebssicherheit solcher Autos fällt in den Zuständigkeitsbereich des Bundesamts für Strassen (ASTRA), das die Forschungsarbeit finanziell unterstützt. Das ASTRA will die Funktionsfähigkeit der autonomen Systeme in regelmässigen Abständen beurteilen können – und zwar unabhängig von den Herstellern. Die Experten der Behörde möchten zudem auch eine Art «Zeugenbefragung» möglich machen, wenn ein autonom fahrendes Auto in einen Unfall verwickelt war. Das Problem dabei: Die Sensoren sammeln enorme Datenmengen pro Sekunde. Diese Flut an Rohdaten zu analysieren wäre unzumutbar für Unfallermittlungsbehörden. Irgendwann in Zukunft muss also per Gesetz festgelegt werden, welche Daten im Auto gespeichert und für Ermittlungen zugänglich gemacht werden müssen.

Dazu kommt: Das ASTRA bereitet sich auf die Genehmigung von Feldversuchen mit selbstfahrenden Fahrzeugen auf öffentlichen Strassen vor. Doch wie lässt sich beurteilen, ab wann es gefährlich wird? Wo versagen Sensoren, und wo machen sie solch gravierende Fehler,

dass der Versuch abgebrochen oder modifiziert werden müsste? Bereits fürs Monitoring solcher Feldversuche ist es nötig, die «Sehkraft und Urteilsfähigkeit» autonom fahrender Autos rasch und genau einschätzen zu können.

Das Projekt ist Teil einer Digitalisierungsinitiative des Schweizerischen Kompetenzzentrums für Energieforschung im Bereich Mobilität (SCCER Mobility), mitfinanziert von der Innosuisse, vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und von Wirtschaftspartnern. Während die Empa handelsübliche Sensoren im praktischen Einsatz untersucht, analysiert das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) die gleichen Sensoren in einer Laborumgebung. Die kommende Generation von Fahrzeugsensoren ist ebenfalls bereits Gegenstand der Forschung. Diesen Projektteil übernimmt das Institut für dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETH Zürich.

UNFÄLLE VERMEIDEN Für die Entwicklung von Grundlagen für Bewertungsmethoden autonom fahrender Autos bleibt nicht mehr viel Zeit. Der Wettbewerb rund um selbstfahrende Autos ist enorm, und die Automobilindustrie könnte ihre Fahrzeuge bereits bald dafür ausrüsten.

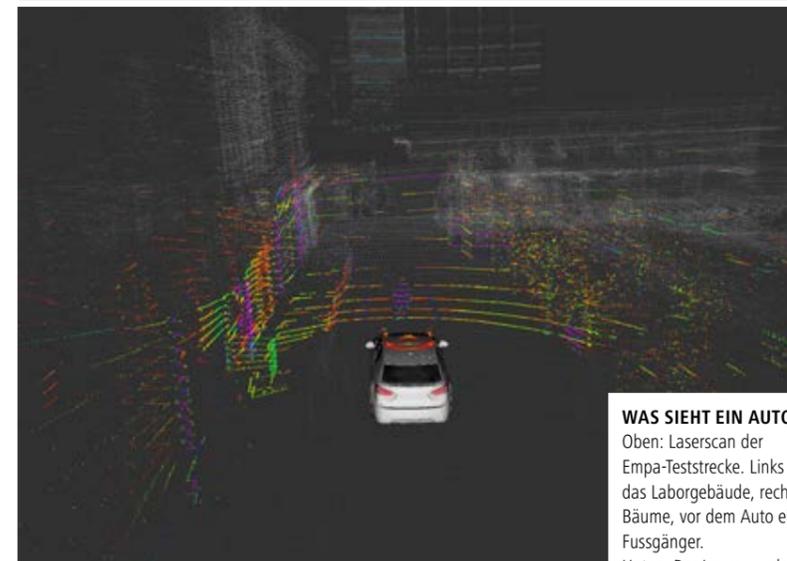
Ob selbstfahrende Autos Unfälle und Verkehr vermeiden können, ist Gegenstand vieler Untersuchungen. Entscheidend sind gute gesetzlichen Rahmenbedingungen. Der Trend, dass die Fahrzeugsoftware das Fahren zunehmend unterstützt, ist aber unaufhaltsam. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s504

Youtube-Video: <https://youtu.be/8DCWzhl304Q>

TECHNISCHER STECKBRIEF VERSUCHSFAHRZEUG LEXUS RX-450H

- Hybridantrieb
- 3,5-Liter-V6-Benzinmotor 183 kW/249 PS
- Zwei Elektromotoren mit 123 kW und 50 kW
- Beschleunigung (0–100 km/h): 7,8 s
- Höchstgeschwindigkeit: 200 km/h
- Umbausatz zum selbstfahrenden Fahrzeug von autonomoustuff.com
Gaspedal, Bremse, Steuerung, Getriebe, Hupe, Blinker und Fahrlicht ferngesteuert schaltbar
- Selbstfahr-Starter-Kit von autonomoustuff.com
- Fahrcomputer «AStuff Nebula», Velodyne Lidar, Mobileye-Kamera, Delphi-Aptiv-ESR-Radar und Robot Operating System (ROS)



WAS SIEHT EIN AUTO?
Oben: Laserscan der Empa-Teststrecke. Links das Laborgebäude, rechts Bäume, vor dem Auto ein Fussgänger.
Unten: Der Lexus wurde von einer Spezialfirma umgebaut und lässt sich auch vom Rücksitz aus mit einem Gamecontroller steuern. Bildschirme zeigen die Fahrzeugsicht.



Fotos: Empa

NEUE MASCHEN IM STRASSENBAU

Empa-Wissenschaftler untersuchen, wie mit einfachen Mitteln Strassenbelag verstärkt und nach Gebrauch auf einfache Art recycelt werden könnte. Ihre Hilfsmittel sind dabei ein Roboter und einige Laufmeter Bindfaden.

Text: Stefanie Zeller



VERBUNDEN

Der sogenannte «Rock Print Pavillon» in Winterthur zeigte, wie eine stabile Konstruktion aus losen Steinen und Bindfaden entstehen kann. Ein Roboter hatte die Skulptur errichtet.

Ein Roboterarm legt einen Bindfaden in einem Mandala-ähnlichen Muster auf ein Schotterbett. Was wie eine zeitgenössische Kunstperformance wirkt, ist Grundlagenforschung, die neue Wege für den Strassenbau erkundet. Einerseits werden roboterunterstützte Bautechniken für den Strassenbau erprobt, die bisher so nur im Hochbau angewendet wurden. Andererseits soll eine neue Art von mechanischer Verstärkung den typischen Aufbau des Strassenbelags verändern und so helfen, künftig wertvolle Ressourcen zu sparen oder Strassenbeläge gar vollständig zu recyceln.

FORSCHUNGSDIEE AUS DEM HOCHBAU

Die Idee stammt aus einem Projekt des Gramazio Kohler Research Labs der ETH Zürich. Hier wurde das Projekt tatsächlich als Kunst- und Forschungsprojekt aufgezogen. Rein aus Bindfaden und Schotter aufgetürmte Stelen bewiesen damals, wie enorme Stabilität nur durch die Verzahnung und Verspannung des Schotters mit einem eingewobenen Faden erreicht werden kann – ganz ohne Zement! Der Test im Labor zeigte, dass Schotterstehlen mit einer Höhe von 80 cm und einem Durchmesser von 33 cm einem Druck von 200 kN standhalten, was einer Belastung mit 20 Tonnen entspricht.

Auch Asphalt besteht aus Gestein verschiedener Grösse und dem Bindemittel Bitumen. Und so übertrugen die beiden Empa-Forscher Martin Arraigada und Saeed Abbasian aus der Abteilung «Concrete & Asphalt» dieses Konzept auf den Strassenbau: «Wir wollen herausfinden, wie man einen recyclingfähigen Belag in Zukunft herstellen könnte. Dabei setzen wir auch erstmalig digitalisierte Bauweisen im Strassenbau ein», erklärt Arraigada.

Ein schnurverstärkter Strassenbelag, der ohne Bitumen auskommt, verspricht eini-

ge Vorteile. Denn Bitumen wird aus Erdöl gewonnen, wobei bei der Herstellung und auch später beim Gebrauch Luftschadstoffe freigesetzt werden. Ausserdem macht es Asphalt anfällig für Risse und Verformungen und noch dazu undurchlässig für Regenwasser – auch das könnte so überwunden werden. Denkbar wäre für die Forscher auch, dass Gesteine zum Einsatz kommen, die sonst für den Strassenbau nicht geeignet, dafür aber weniger rar sind. Nicht zuletzt macht das Verfahren einen ausrollbaren und recyclingfähigen Belag denkbar.

EIN BINDFADEN UND LOSER SCHOTTER

Lösungen für die genannten Aspekte überprüfen die beiden Empa-Forscher anhand verschiedener Tests. Der Roboterarm spielt eine entscheidende Rolle. Er legt den Bindfaden in einem bestimmten einprogrammierten Muster auf die übereinander geschichteten Schotterlagen. Für die mechanischen Tests werden fünf dieser Schichten aus Schotter und Fadengewebe in einer Versuchsbox übereinandergelegt, wobei der Boden der Box mit einer Gummimatte ausgelegt ist, die das ganze Paket auf dem Untergrund fixiert. Sie simuliert das verformbare Bett, auf das der Strassenbelag aufgebracht wird. Dass es sich bei dem Bindfaden um genau denjenigen handelt, den jeder Schweizer und jede Schweizerin fürs Papierbündeln verwendet, zeigt, dass die Empa-Forscher hier völlig neue (und kostengünstige) Wege beschreiten.

MECHANISCHE TESTS UND MODELLIERUNG

Das Schotter-Bindfaden-Paket wird dann mit einer rotierenden Platte und mit Druck belastet. Dieser Belastungstest zeigt: Durch die Verstrickung der einzelnen Steine mit dem Faden hält das Paket einem Druck von 5 kN stand – also eine halbe Tonne –, ohne dass sich die Steine stark verschieben. Normalerweise übernimmt der Bitumen diese Aufgabe im Asphalt.

Parallel zu ihren Laborversuchen modellieren die Forscher alles im Computer in 3D mittels «Discrete Element Method» (DEM). Hier soll sich die Verschiebung der einzelnen Steine zeigen und welche Zugkräfte auf den Faden einwirken – etwas, das im Labor nicht untersucht werden kann. Daneben werden auch verschiedene Muster und Maschenweiten sowie deren Auswirkungen auf die Stabilität des Belags näher untersucht.

Ein anwendungsreifes Produkt, das im Strassenbau eingesetzt werden könnte, gibt es zwar noch nicht. Doch die Grundlagenarbeit liefert viel Innovationspotential, um mit einfachen Mitteln einem rezyklier- und vielleicht ausrollbaren Strassenbelag näher zu kommen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s308



OPTIMIERT

Der Roboterarm legt das «Strickmuster» aus. In mehreren Testreihen untersuchen die Empa-Forscher diverse Muster.



MIT SOLARTREIBSTOFF ZUM KLIMAZIEL

Nachhaltig produziert, tragen synthetische Treibstoffe dazu bei, die Mobilität auf erneuerbare Energie umzustellen und die Klimaziele im Strassenverkehr zu erreichen. Im Mobilitätsdemonstrator «move» untersuchen Empa-Forschende die Herstellung von synthetischem Methan aus energetischer, technischer und wirtschaftlicher Perspektive – ein Projekt mit globalem Potenzial.

Text: Stephan Kälin

ÖKOTRANSPORT

Bis 2030 wird der Detailhändler Lidl Schweiz für den Betrieb seiner Lastwagen von fossilem Erdgas auf verflüssigtes erneuerbares Gas umsteigen.



Mobilitätsanalysen zeigen: Nur ein kleiner Anteil aller Fahrzeuge ist für den Grossteil der gefahrenen Kilometer verantwortlich. Die Rede ist vor allem vom Schwerverkehr, von Viel- und Langstreckenfahrern, die ihre Güter quer durch ganz Europa transportieren. Werden diese vielen Kilometer weiterhin mit fossiler Energie zurückgelegt, wird

es kaum möglich sein, die CO₂-Emissionen im Strassenverkehr genügend zu senken. Synthetische Treibstoffe aus überschüssiger erneuerbarer Elektrizität leisten für solche Vielfahrer-Anwendungen einen ganz wesentlichen Beitrag.

Mit der Elektromobilität, der Wasserstoffmobilität und synthetischen Treibstoffen werden im Mobilitätsdemonstrator «move» der Empa drei technologische

Pfade zur CO₂-Reduktion im Strassenverkehr untersucht. «Alle diese Konzepte haben energetische, betriebliche und wirtschaftliche Vor- und Nachteile», sagt Christian Bach, Leiter der Empa-Abteilung Fahrzeugantriebssysteme. «Gemeinsam mit den «move»-Partnern erarbeiten wir dazu umsetzbares Wissen.»

Das neueste Projekt dreht sich um die Herstellung von synthetischem Me-

than aus Wasserstoff und CO₂ – die sogenannte Methanisierung. Solche mit erneuerbarer Energie künstlich produzierten Treibstoffe – Synfuel oder Syngas genannt – können über die herkömmlichen Wege transportiert und durch die vorhandene Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden.

METHANISIERUNG – MADE BY EMPA

Der grundlegende chemische Prozess der Methanisierung ist seit über 100 Jahren als Sabatier-Reaktion bekannt. Im «move» soll ein an der Empa weiterentwickeltes Verfahren zum Einsatz kommen: die sogenannte sorptionsverstärkte Methanisierung. Von diesem neuartigen verfahrenstechnischen Konzept versprechen sich die Empa-Forschenden eine einfachere Prozessführung, einen höheren Wirkungsgrad und eine bessere Eignung für den dynamischen Betrieb.

Die Methanisierung funktioniert folgendermassen: Aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) wird mittels katalytischer Umwandlung Methan (CH₄) und Wasser (H₂O) erzeugt. Und hier liegt gewöhnlich das Problem: Um das Wasser abzuscheiden, braucht es typischerweise mehrere Methanisierungsstufen hintereinander – mit Kondensationsbereichen dazwischen. Trotzdem wird ein Teil des entstandenen Wassers durch die Wassergas-Shift-Reaktion wieder in Wasserstoff zurückgewandelt. Das Endprodukt enthält deshalb einige Prozent Wasserstoff, was eine direkte Einspeisung ins Gasnetz verhindert – der Wasserstoff muss zuerst aufwändig entfernt werden.

Die sorptionsverstärkte Methanisierung im «move» verläuft dagegen einstufig und kommt ohne Wasserstoffabtrennung aus. Die Idee dahinter: Das Reaktionswasser wird während des Methanisierungsprozesses durch einen porösen Katalysator «aufgesaugt» und entfernt. Dieser kontinuierliche Wasser-

entzug erhöht zugleich die Ausbeute an Methan. «Das Produkt kann also ohne zusätzliche Reinigung direkt ins Gasnetz eingespeist werden», erklärt Bach.

CO₂ AUS DER UMGEBUNGSLUFT

Das CO₂ für die Methanisierung wird mit einem CO₂-Kollektor des ETH-Spin-offs Climeworks direkt vor Ort der Atmosphäre entnommen. Die CO₂-Moleküle der Umgebungsluft bleiben dabei in einem Filter hängen und werden mittels Wärme wieder herausgelöst. Durch ein geschicktes Wärmemanagement soll dieser Wärmebedarf zu einem möglichst grossen Teil mit der Abwärme gedeckt werden, die bei der Wasserstoffherzeugung und der Methanisierung kontinuierlich anfällt.

Zusätzlich zum CO₂ entzieht die Climeworks-Anlage der Luft auch Wasser, das über eine Kondensatableitung für die Wasserstoffherstellung in der Elektrolyseanlage verwendet wird. Damit sind solche Anlagen auch in Regionen ohne Wasserversorgung denkbar (siehe Box).

SYNTHETISCHE TREIBSTOFFE AUS DER WÜSTE?

Bei der Umstellung unseres Energiesystems auf erneuerbare Energie gibt es eine grosse Herausforderung: Erneuerbare Quellen wie die Sonne oder der Wind stehen nicht immer und überall zur Verfügung. Im Winter haben wir zu wenig und im Sommer zu viel erneuerbaren Strom – auf der Nordhalbkugel – auf der Südhalbkugel ist es umgekehrt. Doch es gibt auch Gegenden mit nahezu durchgehendem Sonnenschein – den sogenannten Sonnengürtel, in dem sich die grossen Wüsten der Erde befinden. «Aus globaler Perspektive haben wir weltweit nicht zu wenig erneuerbare Energie, sondern «lediglich» ein Energietransportproblem», sagt Christian Bach. Synthetische Energieträger könnten dieses Problem lösen. Kleinere Anlagen in der Schweiz können einen wertvollen Beitrag für das nationale

Energiesystem leisten, indem sie überschüssigen Sommerstrom nutzbar machen und verschiedene Energiesektoren verbinden. Anlagen im Gigawatt-Massstab könnten ihr volles Potenzial aber vor allem im Sonnengürtel der Erde ausschöpfen. Ein Rechenbeispiel: Um den nicht von Wasserkraft gedeckten Energiebedarf der Schweiz im Winterhalbjahr zu decken sowie den gesamten inländischen Langstreckenverkehr zu versorgen, wäre eine Solaranlage mit einer Fläche von 700 Quadratkilometern nötig; das wäre eine Fläche von 27 x 27 Kilometern oder, anders ausgedrückt, 0,008% der Fläche der Sahara. Das für die Herstellung notwendige Wasser und das CO₂ könnten vor Ort aus der Atmosphäre gewonnen werden. Bereits vorhandene Erdgas-Pipelines könnten ebenfalls weiter verwendet werden.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s504

HAMSTERNDE HÄUSCHEN

Das Energiemanagement in einem Haus mit Solaranlage wird immer komplexer: Wann stelle ich die Heizung an, damit es abends angenehm warm ist? Wie viel Strom darf der Heisswasserspeicher aufnehmen? Reicht die Energie dann noch fürs Elektroauto? Künstliche Intelligenz kann da helfen: Forschende der Empa haben eine KI-Steuerung entwickelt, die all diese Aufgaben selbstständig erlernen kann – und dabei mehr als 25 Prozent Energie einspart.

Text: Rainer Klose

Wie waren die alten Zeiten einfach: Im Frühjahr, wenn die Heizölpreise sanken, hat man die Tanks im Keller einfach randvoll gefüllt. Dann war man bis zur nächsten Saison alle Sorgen los. Auch fürs Auto gab es Sprit an jeder Ecke. Rund um die Uhr. Volltanken, weiterfahren fertig.

Der Ausstieg aus der fossilen Wirtschaft macht es für Sparfüchse deutlich schwerer. Nun ändern sich die Energiepreise nicht mehr jährlich, sondern stündlich. Solarstrom gibt's zur Mittagszeit im Überfluss – am Abend liefert die tiefstehende Sonne kaum noch Energie, gleichzeitig lassen heimkehrende Arbeitspendler den Strombedarf in Stadt und Land rapide ansteigen. Der Effekt ist auf Verbrauchsgrafiken so deutlich zu sehen, dass Wissenschaftler ihm einen eigenen Namen gegeben haben: «Duck-Curve» (Entenkurve). Wenn die Ente ihr Haupt erhebt, wird es teuer für alle, die nun Strom beziehen müssen.

Beim Energie-beziehen auf die Uhr schauen wäre also wichtig für Elektroautofahrer und Hausbesitzer. Wer günstig und zugleich umweltschonend die verfügbare erneuerbare Energie nutzen will, kann sich in Zukunft nicht mehr auf fest installierte Thermostate und manuell betätigte Knöpfe verlassen.

EIN VIELSCHICHTIGES PROBLEM

Bratislav Svetozaevic, forscht im «Urban Energy Systems»-Labor an der Empa und hat das Problem erkannt. Gefragt ist eine automatische Steuerung, die Energie zu günstigen Tageszeiten hamstert und für teure Tageszeiten nutzbar macht. Als Speicher könnte zum Beispiel die Antriebsbatterie des eigenen Autos dienen, das in der Garage an der Ladestation hängt. Doch Svetozaevic hat mit einem vielschichtigen Problem zu tun: Jedes Haus ist anders, und seine Bewohner sind es auch. Je nach Wetter und Jahreszeit ändert sich zudem die Stromerzeugung der Solaranlagen, sowie der Bedarf an Heiz- oder Kühlleistung. Eine optimale Energiesteuerung muss also den



WAS GEHT VOR?
Ist die warme Wohnstube wichtiger oder das voll aufgeladene Elektroauto? Ein denkendes Haus schafft beides.

Tagesrhythmus eines Hauses und seiner Bewohner erlernen – und sollte auch während des Betriebs flexibel reagieren können, etwa wenn ein Wetterschwung alle Kalkulationen umwirft.

SCHRITT EINS: DIE THEORIE

Die Lösung für solche Probleme ist Künstliche Intelligenz. Der Empa-Forscher entwarf eine KI-Steuerung die auf dem Reinforcement Learning Prinzip basiert. Wenn das System «richtig» agiert, erhält es eine «Belohnung». Allmählich perfektioniert die Steuerung auf diese Weise ihr Verhalten.

Zunächst wurde die Steuerung nur am Computer simuliert. Die Vorgaben: Ein

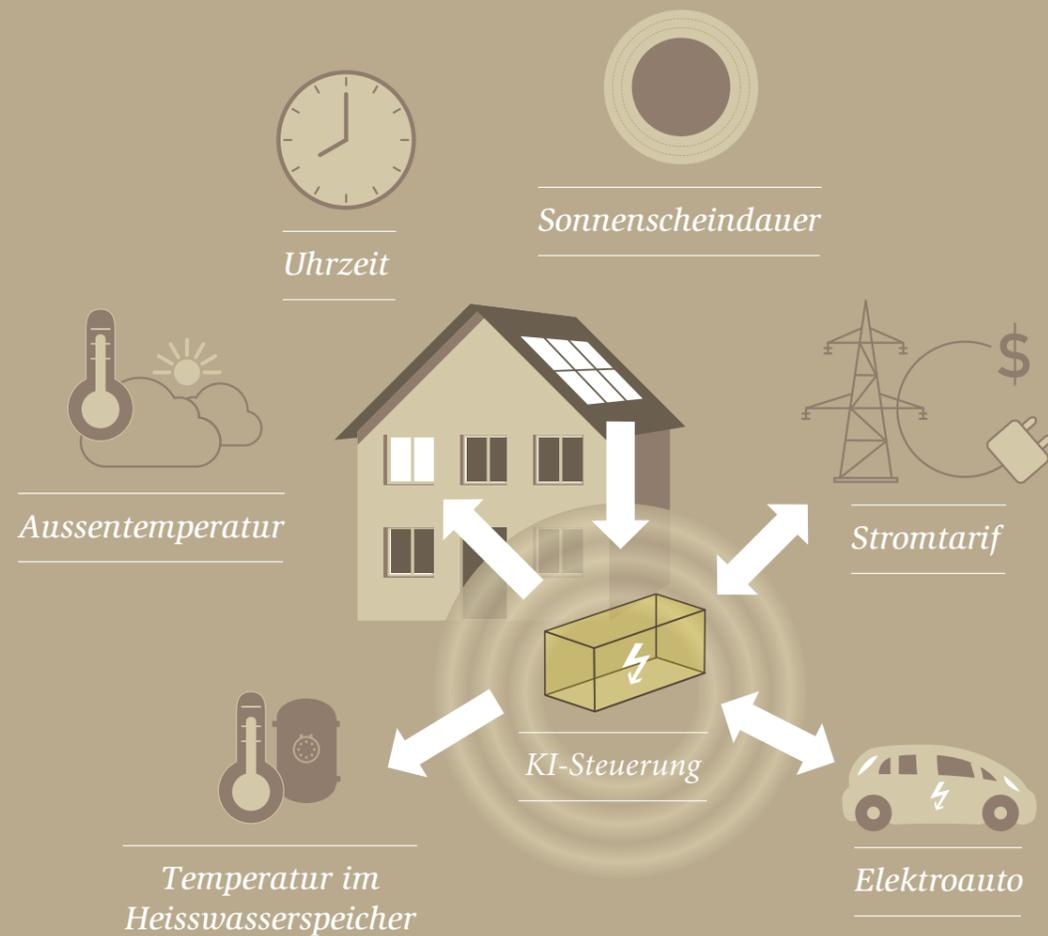
bestimmter Raum in einem Gebäude musste elektrisch auf die gewünschte Temperatur geheizt werden und diese halten. Zugleich musste das System ein Elektroauto mit Strom versorgen, das morgens um 7.00 Uhr zu mindestens 60 Prozent geladen sein sollte und auf die Reise geht. Abends um 17.00 Uhr kehrt das Elektroauto mit einer Restladung zur Ladestation zurück und kann während der Nachtstunden auch Strom ins Haus zurückliefern. Die Steuerung wurde mit Wetterdaten und Raumtemperaturen aus dem vergangenen Jahr gefüttert und musste mit zwei Stromtarifen zu Recht kommen: teurer Strom am Tag zwischen 8.00 Uhr und 20.00 Uhr, billiger Strom während der Nachtstunden.

Das Ergebnis war verblüffend: die selbstlernende Steuerung sparte gegenüber einer fest programmierten Lösung rund 16 Prozent Energie ein und hielt im Theorieversuch auch die gewünschte Raumtemperatur deutlich exakter ein.

SCHRITT ZWEI: TEST IM REALEN GEBÄUDE

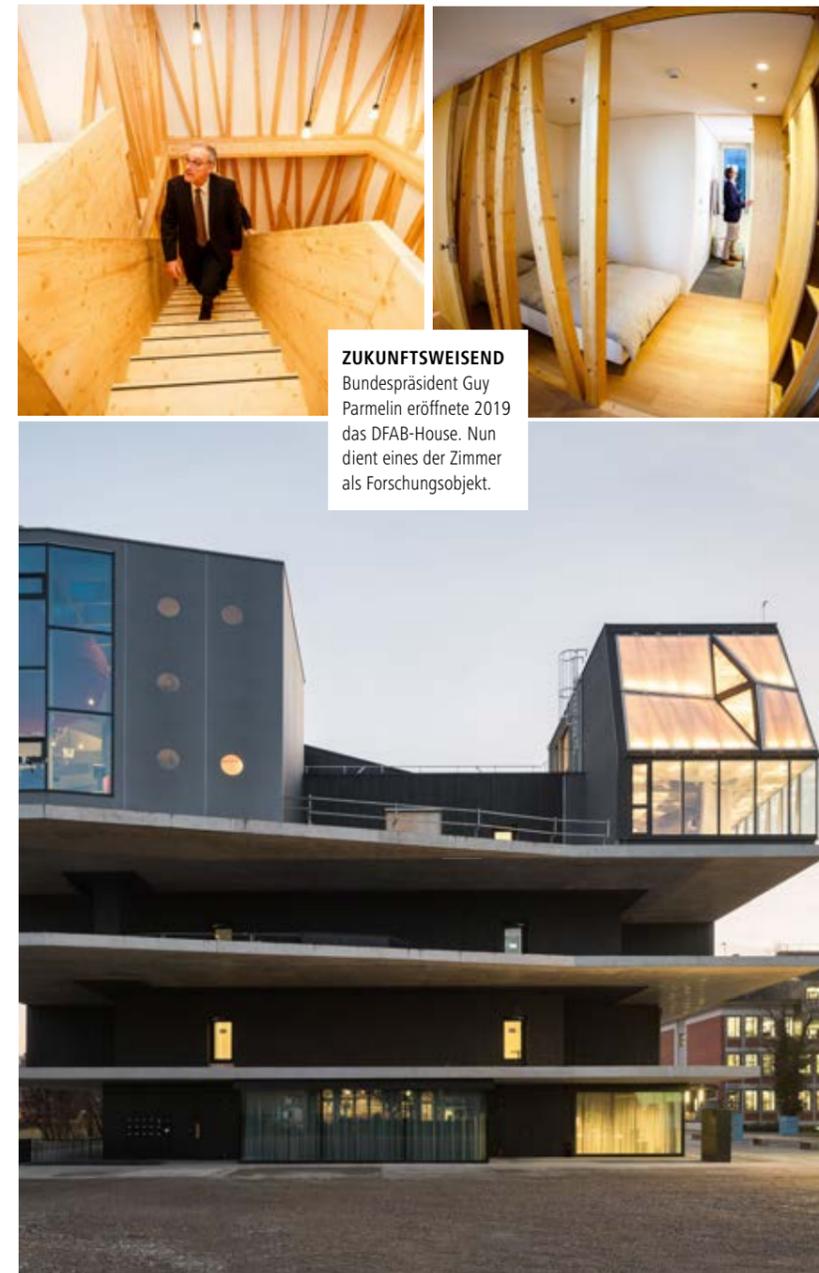
Nun musste die Steuerung den Test in der Wirklichkeit bestehen. Svetozaevic nutzte dazu das Forschungsgebäude NEST auf dem Empa-Campus. In der Unit DFAB-House steuerte der KI-Algorithmus eine Woche lang die Temperatur eines Studentenzimmers. Zugleich wurde die 100 kWh-grosse Speicherbatterie im NEST genutzt, um die Batterie des Elektroautos zu simulieren. Diesmal fiel das ▶

Strom verteilen mit Köpfchen



Die KI-Steuerung der Empa verteilt Strom aus Solarkollektoren auf optimale Weise. Sie braucht nicht programmiert zu werden, sondern «erlernt» mittels künstlicher Intelligenz die Bedürfnisse der Bewohner einzukalkulieren und passt sich an Tages- und Jahreszeiten an. Sie kann für Gebäude verschiedenster Art und Grösse eingesetzt werden.

Bei der Verteilung der Energie hat der Wärmekomfort der Bewohner oberste Priorität. Die Batterie des Elektroautos wird als Zwischenspeicher genutzt und muss am Morgen genügend Reichweite für die erste Fahrtstrecke des Tages bieten. Netzstrom wird dann eingekauft, wenn er besonders preisgünstig ist.



ZUKUNFTSWEISEND
Bundespräsident Guy Parmelin eröffnete 2019 das DFAB-House. Nun dient eines der Zimmer als Forschungsobjekt.

System von einem Raum auf grössere Gebäude erweitern lässt. «Wir haben in unserem ersten Experiment einen typischen Haushalt der Zukunft abbilden wollen», sagt der Empa-Forscher. Der Einfachheit halber hat sich das Team aufs Heizen und Fahrzeugladen beschränkt. Die Arbeit legt jedoch die Basis für deutlich mehr. Svetozarevic ist sich sicher: «Unsere KI-Steuerung kommt auch dann noch zurecht, wenn eine Photovoltaik-Anlage Strom liefert, eine Wärmepumpe und ein lokaler Heisswasserspeicher bedient werden muss – und sich die Komfortansprüche der Bewohner immer wieder ändern.»

Um das KI-System in Zukunft für eine optimale Energieversorgung nutzen zu können, ist allerdings eine neue Generation Elektroautos nötig. Die heute üblichen, europäischen und US-Modelle mit dem CCS-Schnellladeanschluss können nur Strom tanken, jedoch keinen liefern. Japanische Autos mit Chademo-Stecker sind dagegen fürs sogenannte bidirektionale Laden ausgelegt. Der Koreanische Konzern Hyundai kündigte im Dezember an, seine neue Elektroauto-Plattform E-GMP ebenfalls für bidirektionales Laden auszurüsten. Damit könnten Elektroautos langfristig beim Energiesparen helfen und zugleich das Elektrizitätsnetz stabilisieren. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/energy-hub

Ergebnis noch deutlicher aus: In einer kühlen Woche im Februar 2020 sparte die KI-Steuerung 27 Prozent Heizenergie ein, im Vergleich zum benachbarten Studentenzimmer, dessen Heizung mit einer fest programmierten (regelbasierten) Steuerung betrieben wurde.

«Das Schöne an unserer selbstlernenden KI-Steuerung ist, dass man sie nicht nur im NEST, sondern auch jedem

anderen Gebäude einsetzen kann», sagt Bratislav Svetozarevic. «Es braucht keinen Ingenieur, der die Steuerung programmiert, und niemanden, der das Haus zuvor analysiert und eine massgeschneiderte Lösung errechnet.»

WOHLIGE WÄRME AUF SPARSAME ART

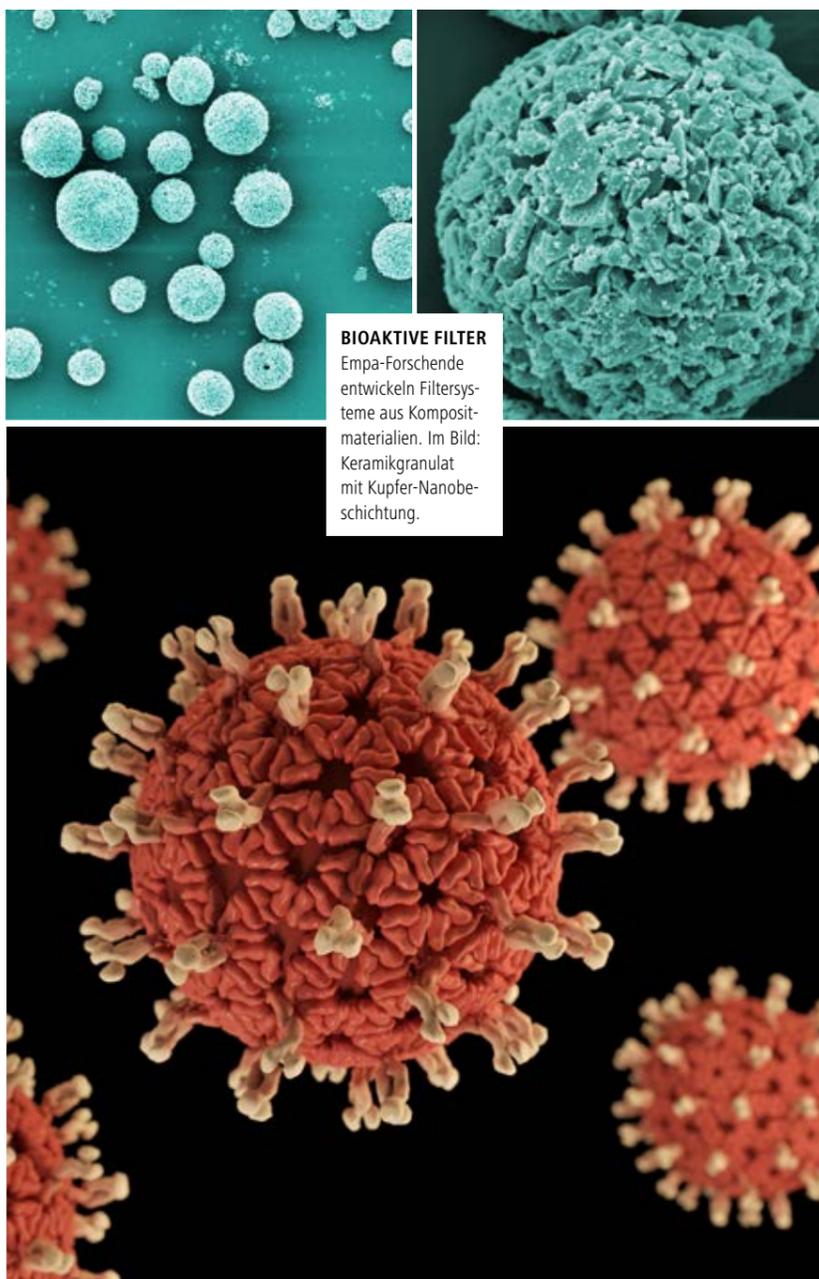
In einem nächsten Schritt wollen Svetozarevic und seine Kolleginnen und Kollegen nun ermitteln, wie sich das

GEBALLTE LADUNG GEGEN WASSERKEIME

Krankheitserreger aus dem Trinkwasser zu entfernen, ist dann besonders schwierig, wenn die Keime zu winzig sind, um von herkömmlichen Filtern abgefangen zu werden. Forscherteams der Empa und der Eawag entwickeln neue Materialien und Prozesse, mit denen sich Wasser von hartnäckigen Kleinst-erregern wie Viren befreien lässt.

Text: Andrea Six

Wasser ist Leben, lehrt uns die Biologie. Etwas Anderes lehrt die Realität: Mit Krankheitserregern verunreinigtes Wasser bringt jährlich Hunderttausenden den Tod an Orten, wo die Wasseraufbereitung fehlt oder nur mangelhaft funktioniert. Um dem ein Ende zu setzen, gehört die Verfügbarkeit von sauberem Wasser für alle Menschen seit 2015 zur Globalen Nachhaltigkeitsagenda der Vereinten Nationen (UN). Entsprechend dieser Zielvorgabe entwickeln Forscherteams der Empa gemeinsam mit dem Wasserforschungsinstitut Eawag neue Materialien und Technologien, um Trinkwasser von Krankheitserregern zu befreien, die sich mit herkömmlichen Massnahmen bisher kaum oder aber nur mit teuren und aufwändigen Verfahren eliminieren liessen.



BIOAKTIVE FILTER
Empa-Forschende entwickeln Filtersysteme aus Kompositmaterialien. Im Bild: Keramikgranulat mit Kupfer-Nanobeschichtung.

WINZIGE KRANKHEITSERREGER

Dabei haben es die Forschenden auf die Kleinsten unter den Keimen abgesehen: Winzige Erreger, die sich – anders als das Coronavirus Sars-Cov-2 – mit dem Trinkwasser verbreiten und verschiedene Krankheiten auslösen, etwa Kinderlähmung, Durchfall und Hepatitis. Zu diesen Erregern gehört auch das nur knapp 70 Nanometer grosse Rotavirus.

«Gegen Rotaviren sind herkömmliche Wasserfilter wirkungslos», erklärt Empa-Forscher Thomas Graule vom «High Performance Ceramics»-Labor in Dübendorf. Gerade diese winzigen Keime gehören aber zu den häufigsten Erregern von Magen-Darminfekten. Laut Weltgesundheitsorganisation WHO starben im Jahr 2016 weltweit rund 130'000 Kinder an einer Rotavirus-Infektion. Nun haben die Forschenden Strategien für Filtrationstechnologien entwickelt, die

«Wir konnten zeigen, wie sich Viruspartikel an positiv geladenen Oberflächen festsetzen.»

Denn bisher war es schwierig, leicht regenerierbare positiv geladene Oberflächen mit hoher Adsorptionskapazität zu erzeugen, und systematische experimentelle Studien waren Mangelware. Die Forschenden nahmen sich für ihre Untersuchungen daher ein Modellvirus vor, das sogar noch kleiner als das Rotavirus ist: den lediglich 27 Nanometer kleinen Bakteriophagen MS2, ein Virus, das Bakterien befällt, für Menschen aber harmlos ist. Anhand dieses Modellvirus konnten die Wissenschaftler zeigen, dass Viren im Wasser je nach pH-Wert unterschiedlich stark

Wasser ist die Oberfläche der Viruspartikel negativ geladen. Wir konnten zeigen, wie sich die Viruspartikel an positiv geladenen Oberflächen festsetzen», erklärt er. So arbeitet der Forscher in einem internationalen Team etwa an Keramikgranulat aus Aluminiumoxid, dessen feine Körnchen mit Nanometerdünnen Schichten von Kupferoxid überzogen werden. «Die stark poröse Kupferschicht bildet mit der Keramik einen Verbundwerkstoff mit einer positiv geladenen und immens grossen spezifischen Oberfläche», so Graule. Auch winzige mehrlagige Kohlenstoffnanoröhrchen konnten die Forschenden mit Kupferoxid beschichten und so eine Viruselimination ermöglichen.

Um eine kostengünstige und nachhaltige Filtertechnologie zu entwickeln, setzt der Forscher gezielt Materialien ein, die sich im Sinne eines geschlossenen Materialkreislaufts nach ihrem Gebrauch zurückgewinnen lassen. Wichtig ist zudem, dass keine Filterbestandteile ins gereinigte Wasser ausgeschwemmt werden. Hierzu müssen noch Analyseverfahren zur Nanosicherheit entwickelt werden, damit der optimale Verbundwerkstoff ermittelt werden kann. Am Ende soll eine Filtertechnologie vorliegen, die sich auch für die Wasseraufbereitung in Entwicklungsländern mit ihren besonders hohen Fallzahlen an Rotavirus-Erkrankungen und anderen im Wasser übertragbaren Krankheiten eignet. ■

KRANKHEITSERREGER IM TRINKWASSER

Weltweit sterben jedes Jahr rund 3,4 Millionen Menschen, meist Kinder in strukturschwachen Ländern, an Krankheiten, die durch Wasser übertragen werden. Unter den Erregern finden sich einzellige Parasiten wie Amöben und Lamblien mit einer Grösse von bis zu 40 Mikrometern. Bakterien wie Salmonellen, die Typhus verursachen, E.coli-Keime

und Cholera-Erreger sind deutlich kleinere (0,5 bis 6 Mikrometer), aber ebenso potente Krankheitskeime. Mit einer Grösse von 25 bis 80 Nanometern – also rund 100- bis 1000-mal kleiner – stellen Viren die am schwierigsten aus dem Wasser zu filtrierenden Pathogene dar. Besonders schwerwiegend ist die Belastung von Trinkwasser etwa in Entwicklungsländern mit Rotaviren, gefolgt von anderen Viren, wie den Erregern von Hepatitis und Kinderlähmung.

auf neuen Materialien basieren und das Problem der Winzigkeit trickreich umgehen. Denn eine Eigenschaft der Viruspartikel lässt sich für eine neue Art von Filtern nutzen: die in vielen Fällen negative elektrische Ladung der Viruspartikel. Basierend auf dieser Idee, begannen die Forschenden geeignete Materialien zu entwickeln, die eine Adsorption der negativ geladenen Virusoberflächen erlaubt.

an die Filteroberfläche adsorbieren. «Das muss bei der Entwicklung neuer Wasseraufbereitungs- und Filtertechnologien bedacht werden», so Graule.

PORÖSE NANOBESCHICHTUNG

Um Filtertechnologien zu entwickeln, die Viren im Nanometerbereich einfangen können, setzt Graule auf Kompositwerkstoffe, die so funktionalisiert sind, dass sie Viren gezielt binden. «Im

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s201.

Fotos: CDC / Unsplash, Empa

LOKALE STROMNETZE NACH MASS

Die Empa-Forscherin Cristina Dominguez entwickelt in ihrer Doktorarbeit ein Computermodell, mit dem sich Stromnetze in Entwicklungsländern planen lassen. Für die Datenerhebung reiste sie nach Kenia, um sich ein Bild davon zu machen, wie Menschen ohne Stromanschluss leben und welche Entwicklungen der Zugang zu elektrischer Energie anstossen kann.

Text: Stefanie Zeller

Dass Strom nicht nur für die leuchtenden Displays unserer zahlreichen Gadgets sorgt, sondern in weiten Teilen der Welt überhaupt erst gesunde, saubere Wohnräume oder gar den Zugang zu Bildung ermöglicht, geht in unserer hochdigitalisierten Welt schnell vergessen. Viele Entwicklungsländer stecken mit ihrer tiefen Elektrifizierungsrate im Teufelskreis der Armut fest. Ohne Beleuchtung im Haus fehlen Möglichkeiten für wertschöpfende Arbeit abseits der Landwirtschaft. Kinder können abends die Hausaufgaben nicht mehr erledigen oder lesen lernen. Hinzu kommen Gesundheitsprobleme, die oft durch rauchende Feuerstellen im Haus oder russende Kerosinlampen verursacht werden.

ENERGIE HILFT GEGEN ARMUT

Der Zugang zu sauberer Energie gilt generell als Sprungbrett, um ein höheres Einkommen zu generieren und damit der Armut zu entkommen. Daher wurde

dies auch als eines der 17 UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung festgelegt.

Anknüpfend an dieses Ziel, entwickelt Cristina Dominguez, Doktorandin am Institut für Bauphysik der ETH Zürich und im Urban Energy Systems Lab der Empa ein Computermodell, das Projektentwicklern in ländlichen Gegenden Abschätzungen über den Strombedarf von Haushalten liefert. Das soll eine genaue und damit nachhaltige Planung des Stromnetzes ermöglichen.

KEINE BEVÖLKERUNGSDATEN

Denn Elektrifizierungsprojekte scheitern in Entwicklungsländern oft daran, dass kaum verlässliche Daten für die Bedarfsermittlung der oft weit verstreuten Haushalte verfügbar sind. Gerade die Datenerhebung ist ein grosser Kostenpunkt, der Projektentwickler zögern lässt, dort zu investieren. Wird ein Stromnetz dann etwa zu gross geplant, wird das auf die Strompreise umgewälzt, was den Strom für die arme Bevölkerung



Foto: Empa

SAUBERES LICHT
LED-Lampen ersetzen in Afrika offene Feuer und Petroleumlampen.



LEBENSQUALITÄT

Ohne Beleuchtung sind die dunklen Wohnräume wie hier im Dorf Got Osimbo im Westen Kenias kaum benutzbar. Kerosinlampen erzeugen giftigen Russ und gefährden die Gesundheit. Zudem ist Kerosin teuer. Einige Haushalte nutzen bereits kleine Solarleuchten, um diese Probleme zu lösen.



unerschwinglich macht. Letztendlich müssen Stromnetze massgeschneidert werden, um einerseits den Menschen langfristig zu nützen und andererseits Entwicklern eine attraktive und realistische Investitionsmöglichkeit zu bieten.

Für die Datenerhebung wählte Dominguez eine Gegend im subsaharischen Afrika, weltweit die Gegend mit der niedrigsten Elektrifizierungsrate: «Neben den politischen Problemen kommt hinzu, dass die Gegenden hier extrem dünn

besiedelt sind und die kleinen Siedlungen sehr weit verstreut. Das macht eine Elektrifizierung deutlich schwieriger – und natürlich auch teurer», so Dominguez. Im Rahmen ihrer Doktorarbeit ermittelte sie im Osten Kenias Energienutzung und -bedarf von rund 250 Haushalten. Um ihr Modell am Ende weltweit anwendbar zu machen, unterstützen sie Forschungsinstitute in Guatemala und Pakistan, um ihr äquivalente Datensätze aus diesen Ländern zu liefern.

ENTWICKLUNGSSCHUB MITDENKEN

Dominguez erfasste bei ihrer Feldarbeit in Kenia Daten von Haushalten ohne Stromzugang und von solchen, die innerhalb der letzten sechs Jahre an ein Stromnetz angeschlossen worden waren. Ihr ging es nicht nur darum, vorhandene Energiequellen und deren Bedarf zu erfassen, sondern auch den Nutzungswandel nach der vollzogenen Elektrifizierung. Zudem nutzte die Empa-Forscherin Tagebücher, in denen die Bewohner ihre Tätigkeiten festhielten, denen sie über den Tag nachgegangen waren, um den Alltag und die Bedürfnisse der Menschen besser kennenzulernen und Veränderungen zu antizipieren, die nach der Elektrifizierung einsetzen und sich dann in der Stromnachfrage niederschlagen. In Kenia ist beispielsweise Kerosin eine wichtige Energiequelle, um die dunklen Lehmhütten zu beleuchten. Um an das Kerosin zu kommen, müssen oft längere Fussmärsche zum Händler zurückgelegt werden. Zeit, die zukünftig vielleicht in wertschöpfende Arbeit zu Hause investiert werden könnte – wenn denn eine Stromquelle vorhanden wäre.

ENERGIE LÄSST TRÄUME WAHR WERDEN

Und ist die Stromversorgung erst einmal vorhanden, fangen die Menschen an, ihr Verhalten danach auszurichten; sie schaffen sich elektrische Geräte wie Fernseher an, der Stromverbrauch steigt dementsprechend. Doch wie lange kann das Stromnetz dann noch funktionieren, wenn die Nachfrage immer weiter ansteigt? Genau diese Dynamiken will Dominguez in ihr Modell einbringen: «Bei unseren Erhebungen vor Ort befragten wir die Leute, welche Geräte sie nach dem ersten Jahr bzw. zweiten Jahr mit Stromanschluss kaufen würden. Dies glichen wir dann mit Haushalten ab, die diesen Prozess bereits hinter sich hatten.» Dadurch wollte Dominguez herausfinden, wie die Menschen mit Energie umgehen würden, wenn sie ihnen zur



AUS ERSTER HAND
Bei der Datenerhebung in Kenia bekam Cristina Dominguez (rechts) Unterstützung von Helfern vor Ort.

Verfügung steht. Ingenieure könnten dies oft nicht richtig einschätzen, weiss Dominguez aus ihren Recherchen: «Hier existieren grosse Vorurteile, die oft darin münden, dass Stromversorgungssysteme zu gross angelegt werden.»

MASSGESCHNEIDERTE STROMNETZE

Um passgenaue Vorhersagen machen und Verbrauchsdynamiken erkennen zu können, wendet Dominguez «Machine Learning»-Algorithmen und «Data Mining»-Techniken an. Um die Modelle zu erstellen, kombiniert die Forscherin globale Datensätze von Organisationen wie der Weltbank mit Daten von Projektentwicklungsfirmen, so dass sie zusätzliche Verbrauchsmuster wie saisonale Schwankungen miteinbeziehen kann. Diese werden dann für die drei

Schwerpunktregionen anhand von Felddaten aus Kenia, Pakistan und Guatemala validiert. Auch Mini-Grid-Unternehmen haben ihr Daten zum Stromverbrauch zur Verfügung gestellt, um im Gegenzug ihr Modell anhand der lokalen Gegebenheiten testen zu dürfen. Cristina Dominguez' Ansatz zeigt die Probleme auf, vor denen Entwicklungsländer mit kaum vorhandener Infrastruktur stehen: Obwohl technische Möglichkeiten für eine Elektrifizierung vorhanden sind und mit der Solartechnik auch günstiger geworden sind, müssen Investitionen in einem schwachen wirtschaftlichen Umfeld wohlüberlegt erfolgen. Sonst drohen Überschuldung seitens der Stromnutzer und schlimmstenfalls auch seitens der Betreiberfirmen – insgesamt ein Risiko, die Armut zu

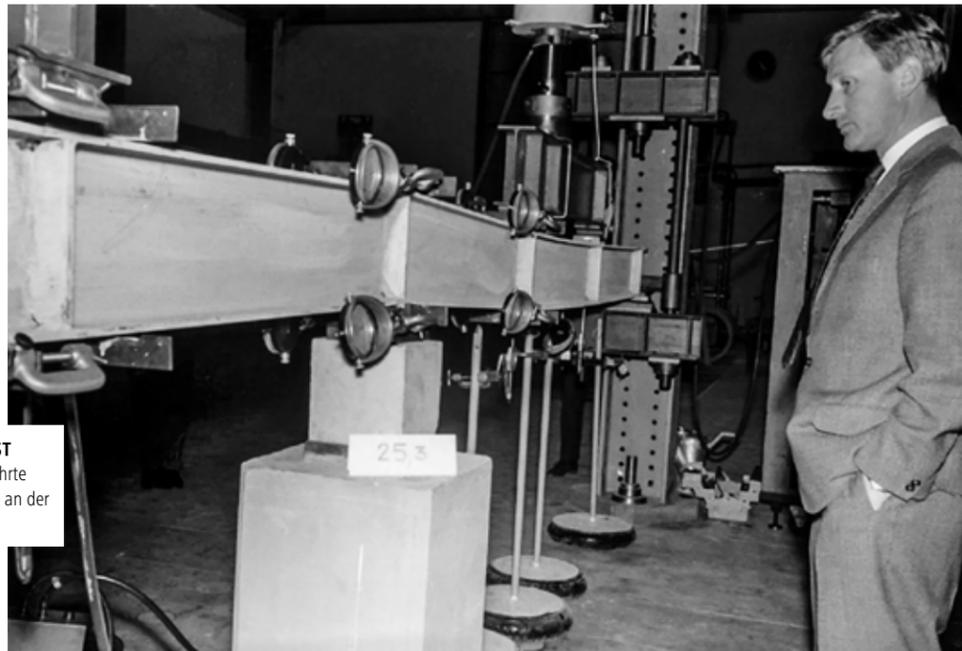
«Welche Geräte kaufen die Leute zuerst, wenn ein Stromanschluss ins Haus kommt?»

verschlimmern und Abschreckung für andere, in diese Gegenden zu investieren. Im Computermodell von Dominguez liegt das Potential zumindest eine Hürde für die Elektrifizierung zu überwinden und damit den Anstoss für einen Weg aus der Armut zu liefern. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s313

Fotos: Empa, ETH

GLÜCKWUNSCH! EMPA-PIONIER WIRD 100



SCHWERLAST
Alfred Rösli führte Grossversuche an der Empa ein.

Alfred Rösli feierte am 7. Dezember seinen 100. Geburtstag. Der Bauingenieur kam gleich nach seinem ETH-Studium an die Empa und blieb, abgesehen von einem Forschungsaufenthalt in den USA, bis zum Ende seiner Karriere am Forschungsinstitut. Hier setzte er seine innovativen Ideen im Bereich der Bauwerksdynamik um, für die er weltweit Anerkennung erhielt. Die Grossversuche für komplexe Bauwerke, die bis heute immer wieder an der Empa stattfinden, sind Rösli's Erbe.

www.empa.ch/web/s604/avenir

FERNGESTEUERT

Empa-Forscher beraten den Airbus-Techniker via Livestream, während er die DIMES-Sensoren am Cockpit eines Jets installiert.



SENSOREN FÜR DIE FLUGZEUGHÜLLE

Im Clean Sky 2 Forschungsprojekt DIMES entwickelt die Empa gemeinsam mit Airbus, der University of Liverpool, Dantec Dynamics GmbH und Strain Solutions Ltd Sensoren zur Überwachung von Flugzeugstrukturen. Zunächst werden die Sensoren bei Belastungstests am Boden eingesetzt. Später sollen sie mitfliegen und in Echtzeit Daten liefern, um Risse am Jet entdecken zu können. Mit dieser Technik könnten Flugzeuge künftig leichter werden und so Treibstoff sparen.

www.integratedtesting.org

Fotos: Empa

Foto: BM PHOTOS on behalf of the SNF

BEGEHRTER PREIS FÜR FORSCHERIN

AUSGEZEICHNET
Dorina Opris forscht an neuartigen Polymeren.



Der Europäische Forschungsrat (ERC) hat einen der begehrten «ERC Consolidator Grants» an die Empa-Forscherin Dorina Opris vergeben. Dank dem mit rund 2 Millionen Euro dotierten Preis kann die Forscherin über die nächsten fünf Jahre ihre Forschungsgruppe im Bereich neuartiger Polymere zur Energieumwandlung weiter ausbauen. Diese innovativen Polymermaterialien können beispielsweise als Reaktion auf ein elektrisches Feld ihre Form verändern – und dadurch als «künstliche Muskeln» fungieren, sie könnten Strom erzeugen, wenn man sie dehnt, kühlen, wofür sie nur äusserst wenig Energie benötigen oder Wärme direkt in Elektrizität umwandeln.

<https://www.empa.ch/web/s604/erc-grant-opris>

VERANSTALTUNGEN DER EMPA-AKADEMIE

05. MÄRZ 2021

Kurs: Tribologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/tribologie

Empa, Dübendorf

26. MÄRZ 2021

Kurs: Klebtechnik für Praktiker

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/klebtechnik

Empa, Dübendorf

28. MÄRZ 2021

Kurs: Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/korrosion

Empa, Dübendorf

15. SEPTEMBER 2021

Kurs: Additive Fertigung von Metallen

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/addfert

Empa, Dübendorf

08. OKTOBER 2021

Kurs: Energy Harvesting

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/harvesting

Empa, Dübendorf

Die komplette Liste der Veranstaltungen finden Sie unter:
www.empa-akademie.ch

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology