

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #73 II OKTOBER 2021

FOKUS

SMARTER BAUEN

EXPERIMENTELLE WÄRMESPEICHER
SCHONENDERE KREBSTHERAPIE
GIFTSPUREN IM NATIONALPARK

[INHALT]

[FOKUS: SMARTER BAUEN]



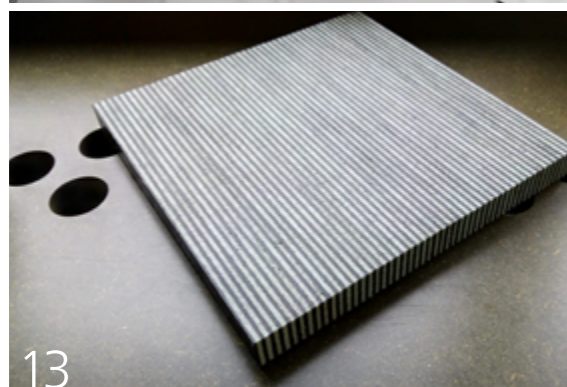
30



16



10



13



26

[FOKUS]

13 FENSTER
Energie sparen mit
Recycling-Dämmsteg

16 LEICHTBAU
Neue NEST-Unit HiLo

**19 MATERIAL-
KREISLAUF**
Ein «Sprint» zur
Kreislaufwirtschaft

**22 ENERGIE-
SPEICHER**
Experimenteller
Wärmespeicher in
der Tiefe

[THEMEN]

08 NANOMEDIZIN
Metalloxiid-Partikel für
sanftere Krebstherapie

**10 INFRAROT-
TECHNIK**
Infrarot-Bildschirm aus
Nano-Schichten

26 PORTRAIT
Mikroskopiker Rolf Erni
forscht und hilft

30 PCB-BELASTUNG
Giftquelle im Schweizer
Nationalpark

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

24 ZUKUNFTSFONDS

34 UNTERWEGS

«QUERDENKEN» –
ABER GANZ ANDERS

Liebe Leserin,
lieber Leser



Wer sein Material kennt,
kann daraus die erstaun-
lichsten Sachen machen:
aus Zellulose einen Kleb-
stoff, um alte Kunstwerke zu restaurieren,
aus Metalloxiden eine Krebsbehandlung mit
weniger Nebenwirkungen oder aus ultradünnen
Schichten eine günstige Wärmebildkamera.

Clevere Ideen, entstanden in einem der rund
30 Empa-Labors, die eines gemein haben:
Ihre ErfinderInnen haben über den Teller-
rand ihres Fachbereichs hinausgedacht, sich
mit KollegInnen aus anderen Disziplinen
quervernetzt. Kurzum: Sie haben «querge-
dacht» – im positivsten Sinne. Denn nur so
entsteht Neues, also das, was eine echte
Innovation im (Wort-)Kern ausmacht.

Auch wenn wir «nur» bauen, versuchen wir,
daraus Erkenntnisse für neuartige Lösungsan-
sätze zu gewinnen. So etwa durch ein experi-
mentelles Erdsondenfeld als nachhaltiger
Wärmespeicher für den Winter, das wir derzeit
unter unserem neuen Multifunktionsgebäude
in rund 100 Meter Tiefe anlegen (S. 22) oder
in der neuen NEST-Unit Sprint, die vollständig
aus gebrauchten Materialien entstand (S. 19).

So viel Kreativität braucht oft Zeit, sprich Geld.
Daher haben wir uns entschieden, vermehrt
auf private Geldgeber zuzugehen. Darüber,
wie wir die eingeworbenen Mittel einsetzen,
werden wir regelmässig berichten; den Anfang
macht ein Artikel über ein Verfahren, Beton
deutlich umweltschonender zu machen (S. 24).

Viel Vergnügen beim Lesen und
bis zur nächsten Ausgabe!

Ihr MICHAEL HAGMANN

[TITELBILD]



Alte Teppiche als akusti-
sches Isolationsmaterial
für Zwischenwände von
Büros? Das geht! Und
es sieht gut aus. Die
NEST-Unit Sprint setzt
neue Masstäbe für
kreislaufgerechtes
Bauen – und wurde in
nur zehn Monaten erstellt
(Seite 19).
Bild: Martin Zeller

[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



myclimate.org/01-21-387731



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)



VERKLEBTE KUNST

Historische Kulturgüter aus Holz für die Nachwelt zu erhalten, ist alles andere als trivial. Die Brandmalerei aus dem 19. Jahrhundert auf einer dünnen Lindenholztafel hier im Bild ist komplett auseinandergebrochen. Das Miniaturbild oben links zeigt denn auch lediglich eine Hälfte des Artefakts. Forschende der Empa und der Hochschule der Künste Bern haben nun einen Zellulose-Kleber entwickelt, der das Lindenholz stabil und gleichzeitig schonend zusammenfügt. Denn der Holz-basierte Kleber beschädigt das Kunstwerk nicht und trotzt dennoch den oft harschen Umgebungsbedingungen der Kulturgüter in alten Schlössern oder feuchten Kirchengewölben.

Mehr Information zum Thema finden Sie unter:
www.empa.ch/web/gei/wnb



HEIMKEHR DER BIOTECH-VIOLINE

KOSTPROBE

Irina Pak vom Tonhalle-Orchester Zürich spielte auf der Mycwood-Geige – mit sichtlicher Begeisterung.



Walter Fischli, Stiftungsratspräsident der gleichnamigen Stiftung in Allschwil (BL), überreichte der Empa kürzlich die Mycwood-Geige «Caspar Hauser II». Die Stiftung unterstützt ein langjähriges Forschungsprojekt an der Empa, bei dem Biotech-Geigen entwickelt werden: Mit Hilfe eines Weissfäule-Pilzes ist es dem Team um Pilzforscher Francis Schwarze gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, bei dem Pilze die Holzzellen gezielt abbauen – und dabei die akustischen Eigenschaften des Klangholzes verändern. Auf diese Weise wurde in den Empa-Labors das sogenannte Mycwood hergestellt, das der «Caspar Hauser II» ihren Körper gab. Das Instrument ist eine exakte Kopie einer Guarneri-Meistergeige aus dem Jahr 1724. Erste vergleichende akustische Analysen vom Original und

KOSTBARKEIT

Stiftungspräsident Walter Fischli (rechts) überreicht Empa-Forscher Francis Schwarze die Mycwood-Violine.

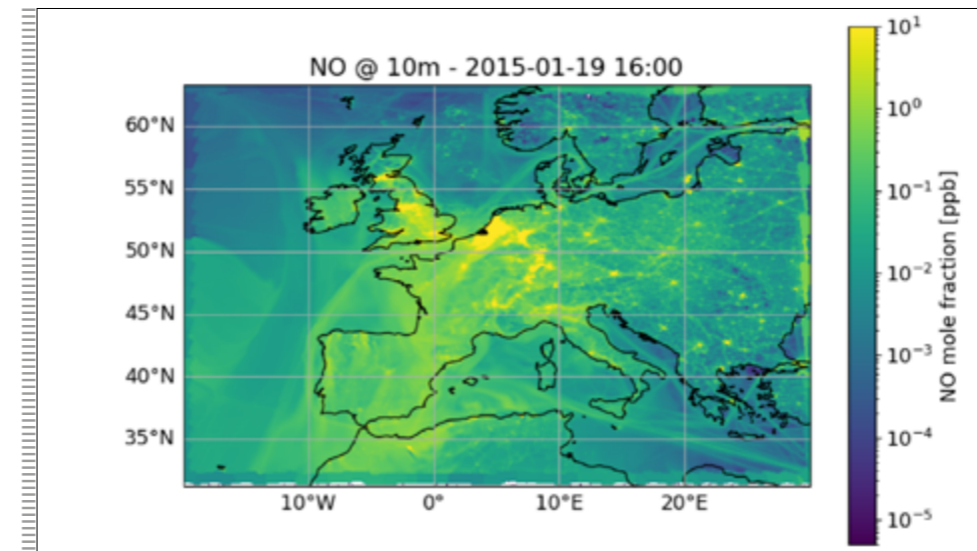


seiner Biotech-Kopie sind bereits erfolgversprechend verlaufen. Nun gelangte das Mycwood-Instrument wieder zurück an seinen «Geburtsort». Doch nur für kurze Zeit: Damit die «Caspar Hauser II» zu ihrem aussergewöhnlichen Körper auch eine einzigartige Seele entwickeln kann, soll das Instrument durch regelmässiges Spielen in den kommenden Jahren seinen Klang entfalten dürfen. Zur Feier der Übergabe spielte die virtuose Geigerin Irina Pak vom Tonhalle-Orchester Zürich auf der «Caspar Hauser II». Die Violinistin entlockte der neuen Geige dabei zeitgenössische Klänge sowie Barockmelodien aus der Bauzeit der Originalgeige.

www.empa.ch/web/s604/mycwood-violin

Fotos: Empa

BESSERE KLIMAMODELLE DANK SUPERCOMPUTER



BERECHNET MIT ICON-ART

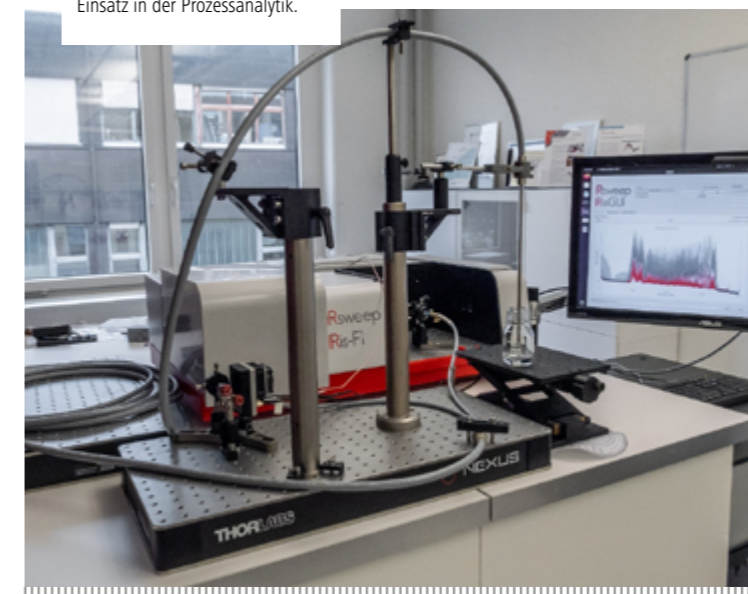
Die Karte zeigt die Verteilung von Stickstoffmonoxid (NO) am 19. Januar 2015 um 16 Uhr. Man erkennt Städte und Strassen als Quelle von Stickoxiden. Im Westen ist die Verteilung glatter als im Osten – wegen chemischer Prozesse und weil die Sonne im Osten bereits untergegangen ist.

Die Schweizer «Plattform for Advanced Scientific Computing» finanziert seit Juli ein dreijähriges Projekt unter Leitung von Empa-Forscher Dominik Brunner – zu einer grossen Herausforderung für Rechenmodelle, nämlich dem Klima. Atmosphärische Prozesse mit ihren Wechselwirkungen und Folgen für Erderwärmung oder Luftverschmutzung bringen herkömmliche Rechner längst an ihre Grenzen – und leistungsfähigere Architekturen ins Spiel. GPUs («Graphic Processing Units») mit vielen Prozessoren rechnen massiv parallel, doch sie erfordern eine andere Programmierung. Mit dem Projekt HAMAM will das Team zwei besonders rechenintensive Erweiterungen des Wetter- und Klimamodells ICON für GPUs fit machen: die Module ART für Simulationen von Luftqualität und HAM für die Wechselwirkungen zwischen Aerosolen und Klima. Diese Modelle werden auf dem Supercomputer «Piz Daint» am «Swiss National Supercomputing Center» in Lugano implementiert und getestet.

www.empa.ch/web/s503/team-modelling

DER CHEMIE AUF DER SPUR

Ein IRsweep-Spektrometer im Einsatz in der Prozessanalytik.



SPIN-OFF AUF ERFOLGSKURS

In wenigen Jahren auf gutem Kurs: IRsweep wurde 2014 gegründet – als Spin-off von Empa und ETH Zürich. Im Mai übernahm Sensirion, Hersteller von digitalen Mikrosensoren und -systemen, das junge Unternehmen mit seinen elf Mitarbeitenden. Seine Laborspektrometer mit Frequenzkamm-Technologie im mittleren Infrarotbereich dienen in Forschung und Entwicklung dazu, schnelle chemische Reaktionen in kürzester Zeit zu erfassen. IRsweep-Geräte sind bereits in Europa, Nordamerika und Asien im Einsatz. Auf lange Sicht sollen mit dieser Technologie kostengünstige Sensoren entstehen, die beispielsweise Spuren von Gasen in der Umwelt erfassen.

<https://irsweep.com/>

Fotos: Empa, IRsweep AG

SANFTERE TUMORBEHANDLUNG



FIRE AND ICE
Empa-Forscher Lukas Gerken stellt Nanopartikel für die Krebstherapie mittels Flammensynthese her. Um die winzigen Metallpartikel sichtbar zu machen, wird das Elektronenmikroskop mit Flüssigstickstoff auf eisige Temperaturen gekühlt.

Die Strahlentherapie ist einer der Eckpfeiler der Krebsbehandlung. Einige Tumorarten sprechen jedoch wenig bis kaum auf eine Bestrahlung an. Gelänge es, Tumorzellen empfindlicher zu machen, wäre die Behandlung wirksamer und sanfter. Empa-Forschenden ist es nun gelungen, Metalloxid-Nanopartikel als «Radiosensitizer» einzusetzen – und diese auch gleich im industriellen Massstab herzustellen.

Text: Andrea Six

Bei einer Krebserkrankung stehen heute verschiedene Behandlungsmethoden zur Verfügung, die sich ergänzen können. Häufig angewendet wird die Strahlentherapie, die etwa mit einer Operation und einer Chemotherapie kombiniert werden kann. Zwar wird die Behandlung mit ionisierenden Strahlen seit über 100 Jahren in der Medizin eingesetzt, doch auch die moderne Onkologie ist zuweilen nicht zufrieden mit ihrer Wirksamkeit. Der Grund: Die bösartigen Tumore reagieren nicht immer empfindlich genug auf die Strahlung. «Könnte die Empfindlichkeit der Tumorzellen gesteigert werden, liesse sich die Radiotherapie wirksamer und schonender ausführen», sagt Empa-Forscher Lukas Gerken.

Will heissen: Ein erwünschtes Behandlungsziel könnte mit einer niedrigeren Strahlendosis als derzeit üblich erreicht werden oder besonders strahlungsre-

sistente Tumore würden sogar endlich empfindlich für eine Bestrahlung. Das Team um Lukas Gerken und Inge Herrmann vom «Particles-Biology Interactions Laboratory» der Empa in St. Gallen und dem «Nanoparticle Systems Engineering Laboratory» der ETH Zürich sucht daher gemeinsam mit Onkologen am Kantonsspital St. Gallen nach Wegen, um Tumorzellen für die Bestrahlung zu sensibilisieren.

Die Forschenden haben Nanopartikel aus Metalloxiden ins Visier genommen, die als sogenannte Radiosensitizer wirken können. Dem Team ist es nun gelungen, diese Radiosensitizer in grossen Mengen herzustellen und ihre Wirkung genauer zu analysieren. Ihre Ergebnisse veröffentlichten die Forschenden unlängst im Fachmagazin «Chemistry of Materials».

IM FEUER GEREIFT

In der Krebsforschung laufen derzeit Studien mit verschiedenen Stoffklassen, um die Bestrahlung von Tumoren effizienter zu machen. Wie genau hierbei Nanopartikel aus Gold oder aus exotischeren Metalloxiden wie Hafniumdioxid wirken, ist noch nicht völlig geklärt. Bekannt ist, dass eine komplexe Reaktionskaskade oxidativen Stress in den Krebszellen ausübt. Auf diese Weise lassen sich möglicherweise die Reparaturmechanismen der bösartigen Zellen überwältigen.

Empa-Forscher Gerken ist es nun gelungen, Metalloxid-Radiosensitizer mit einer Methode herzustellen, die sich bestens für die industrielle Anwendung eignet: Er setzte auf die Flammensynthese, um Oxide aus Hafnium, Zirconium und Titan in höchster Qualität zu gewinnen. «Dank der Herstellungsart können – je nach Anlage – sogar mehrere Kilogramm am Tag synthetisiert werden», erklärt Gerken. Für die Laboranalysen an der Empa begnügte sich der Wissenschaftler allerdings mit einigen Gramm.

Foto: Empa

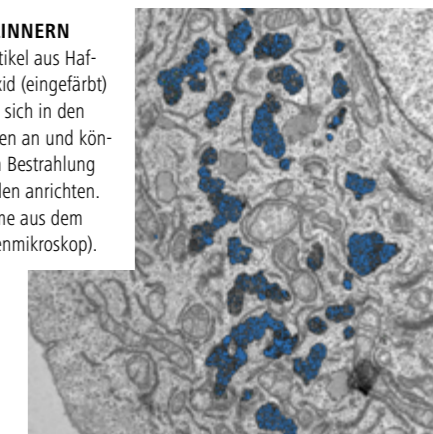
Foto: Empa

BESSER ALS GOLD

Nachdem die Nanopartikel in geeigneten Mengen vorlagen, konnte Lukas Gerken die «Kleindien» detailliert durchleuchten, etwa mittels Röntgenspektroskopie und Elektronenmikroskopie. Sein Urteil: «Wir können sterile, qualitativ hochwertige Metalloxid-Nanopartikel erzeugen, die für gesunde Körperzellen ungefährlich erscheinen», erklärt der Forscher. Bewiesen hat er dies mit Hilfe von Zellkulturen, die er mit unterschiedlichen Nanopartikel-Suspensionen im Labor behandelte. Die Metalloxide sammelten sich dabei in grossen Mengen innerhalb der Zellen an. Spitzenreiter war dabei Hafniumdioxid: Hier gelangten eine halbe Milliarde Nano-Partikel in jede einzelne Zelle, ohne dabei giftig zu sein. Im Vergleich zu den Metalloxiden machte Nanogold bei gleicher Partikelgrösse einen deutlich schlechteren Schnitt: Etwa 10 bis 30-mal weniger Goldteilchen schafften es ins Zellinnere.

So ungefährlich die Substanzen zunächst für die gesunden Zellen sind, so kraftvoll entfalten sie ihre Wirkung, wenn sie bei einer Bestrahlung eingesetzt werden. Dies konnte das Team anhand von Krebszelllinien demonstrieren. Wurden die Zellkulturen mit Metalloxiden behandelt und danach mit Röntgenstrahlen beschossen, verstärkte sich der abtötende Effekt deutlich. Hafniumdioxid entpuppte sich als das potenteste Hilfsmittel: Tumorzellen, die mit Hafnium-Partikeln behandelt wurden, konnten schon mit weniger als der halben Strahlendosis beseitigt werden. Diese erste Vergleichsstudie zeigte ausserdem, dass Hafniumdioxid sogar viermal besser als Nanogold und Titandioxid wirkt. Gesunde menschlichen Zellen (so genannte Fibroblasten) zeigten hingegen keine negativen Bestrahlungseffekte nach einer Nanopartikel-Behandlung.

IM ZELLINNERN
Nanopartikel aus Hafniumdioxid (eingefärbt) sammeln sich in den Krebszellen an und können nach Bestrahlung Zellschaden anrichten. (Aufnahme aus dem Elektronenmikroskop).



GLÄNZENDES HILFSMITTEL

Das chemische Element Hafnium ist nach seinem Entdeckungsort Kopenhagen (lat. Hafnia) benannt. Der Chemiker und Nobelpreisträger George de Hevesy und der Physiker Dirk Coster konnten das Element aus der Titan-Gruppe 1923 endlich mittels Röntgenspektroskopie nachweisen, nachdem diverse Wissenschaftler wie etwa der Nobelpreisträger Niels Bohr dessen Existenz zuvor lediglich vermutet hatten. Hafnium kommt normalerweise nicht im menschlichen Körper vor und ist ungiftig. In der Onkologie hofft man auf die unterstützende Wirkung von Hafnium bei der Krebsbehandlung. Erste klinische Studien wurden bereits erfolgreich abgeschlossen.

Die Ergebnisse machen Lukas Gerken zuversichtlich: «Wir werden diesen Weg weiterverfolgen, um den Wirkmechanismus der Nanopartikel zu erforschen und ihre Effizienz weiter zu optimieren.» Er hofft, dass seine Studien so die klinische Anwendung von Nanopartikeln bei der Bestrahlungstherapie voranbringen. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s403

DIE WELT MIT ANDEREN AUGEN SEHEN

Kurzweiliges Infrarotlicht (SWIR) ist für vieles nützlich: Es hilft, beschädigte Früchte auszusortieren, entdeckt Fehler in Siliziumchips und ermöglicht Nachtsichtgeräte mit scharfen Bildern. Doch SWIR-Kameras basieren bislang auf teurer Elektronik. Forscher der Empa, der EPFL, der ETH Zürich und der Universität Siena haben nun einen preisgünstigen SWIR-Bildschirm entwickelt, der aus nur acht Schichten auf einer Glasoberfläche besteht.

Text: Rainer Klose



FALSCHFARBEN
In Infrarot sieht die Welt anders aus: Landschaftsaufnahmen mit einer SWIR-Kamera.

Infrarotlicht (IR) ist für Menschen unsichtbar. Manche Tiere, etwa Klapperschlangen oder blutsaugende Fledermäuse, können IR-Strahlung jedoch wahrnehmen und zur Nahrungssuche nutzen. Doch auch für Menschen wäre eine Sehfähigkeit im kurzweiligen IR-Bereich («short wave infrared», SWIR) bisweilen nützlich. Allein mit Hilfe von Sternenlicht könnte man dann auch in der Nacht recht scharf sehen. Für Mechaniker wäre die Hitze einer Lötspitze auf den ersten Blick erkennbar. Und Obsthändler könnten beschädigte Ware erkennen, noch bevor der Fäulnisprozess beginnt.

Doch IR-Licht hat ein «Problem»: Es ist schwächer als sichtbares Licht und als UV-Licht auf der anderen Seite des Lichtspektrums. Während also UV-Licht in einer Diskothek weisse Hemden und Zähne der Tänzer blau leuchten lässt – dazu braucht es nur einen fluoreszierenden Farbstoff im Waschmittel –, ist IR-Licht fürs menschliche Auge nur schwer sichtbar zu machen. Denn Farbstoffe können zwar energiereiches Licht direkt in energieärmeres umwandeln, nicht aber energiearmes in energiereiches.

EINE GANZE IR-KAMERA AUF EINEM CHIP
IR-Kameras brauchen also Elektronik, um IR-Licht einzufangen, einen elektronischen Verstärker und schliesslich einen Bildschirm, der das künstlich erzeugte Bild anzeigt. Das kostet Geld. Heute übliche SWIR-Kameras für den Industrieinsatz kosten um die 7000 Franken.

Den Empa-Forschern Roland Hany, Karen Strassel, Wei-Hsu und Michael Bauer ist es nun gelungen, SWIR-Licht mit einem einzigen Bauteil einzufangen und sichtbar zu machen. Der an der Empa entwickelte Baustein ist im Grunde ein OLED-Display mit drei weiteren Zusatzschichten (siehe Grafik). Das SWIR-Licht fällt durch eine elektrisch leitfähige

Glasscheibe auf eine Farbstoffschicht in einem Photodetektor. Dort beginnen Elektronen zu wandern – diese Wanderungsbewegung wird durch eine elektrische Spannung verstärkt. Die elektrischen Ladungen wandern dann in die OLED-Schicht und erzeugen dort einen grünen Lichtpunkt. Eine elektronische Signalverarbeitung durch einen Rechner ist nicht nötig: Das einfallende (unsichtbare) SWIR-Licht wird gewissermassen «analog» verstärkt und direkt auf dem Bildschirm angezeigt. Die Farbe des emittierten sichtbaren Lichts – blau, grün, gelb oder rot – lässt sich durch die Wahl des Farbstoffs in der OLED einstellen.

NÜTZLICH FÜR ANWENDUNGEN

SWIR-Licht ist für viele Anwendungen in der Lebensmittelindustrie, der Logistik oder im Handwerk nützlich. So kann man etwa die Temperatur von Lötspitzen sichtbar machen oder die Abkühlung von neu hergestellten Gläsern und Flaschen überwachen. SWIR-Licht lässt feuchte Gegenstände dunkler erscheinen, was nützlich ist zum Sortieren von Kaffeebohnen oder schwarzen Oliven: Steine und Metallgegenstände als Verunreinigungen leuchten auf dem Förderband hell zwischen all den dunklen (feuchten) Früchten.

Der Schlüssel zum Erfolg für Roland Hany's SWIR-Bildschirm sind spezielle Farbstoffe, die er und seine Kolleginnen und Kollegen schon lange erforschen. Es sind sogenannte Squaraine – der Name stammt von der Grundstruktur des chemischen Moleküls, der Quadratsäure. Diese Farbstoffklasse wurde erstmals in den 1960er-Jahren entdeckt und zeichnet sich durch tiefe Farbe und gute Temperaturbeständigkeit aus. Die Forscher veränderten die Quadratsäure chemisch so, dass sie im Bereich des SWIR-Lichts absorbiert. «Im Moment arbeiten wir mit Farbstoffen, die bei knapp 1000 Nanometer absorbieren», sagt Hany. «Aber

wir sind bereits dran, die Absorption zu grösseren Wellenlängen, also weiter hinein in den IR-Bereich zu verschieben. Wenn uns dies gelingt, kann unser Sensor Wasser und Feuchtigkeit noch deutlich besser erkennen als jetzt.»

SUCHE NACH EINEM INDUSTRIEPARTNER

Hany nennt das von seiner Gruppe entdeckte Modul am liebsten OUC: «organic upconversion device». Denn es verwandelt schwaches IR-Licht in stärkeres, sichtbares Licht («upconversion») und funktioniert mit Hilfe dünner Farbstoffschichten aus kohlenstoffbasierter Chemie («organic»). Ein Problem ist, dass das Knowhow zur industriellen Herstellung organischer, optoelektronischer Bauteile vor allem in Asien angesiedelt ist. Hany ist jedoch zuversichtlich, dass seine Entdeckung bald zum Zuge kommt: «Im Moment arbeiten wir daran, die Empfindlichkeit des Moduls zu erhöhen, und verbessern die Langzeitstabilität.» ▶

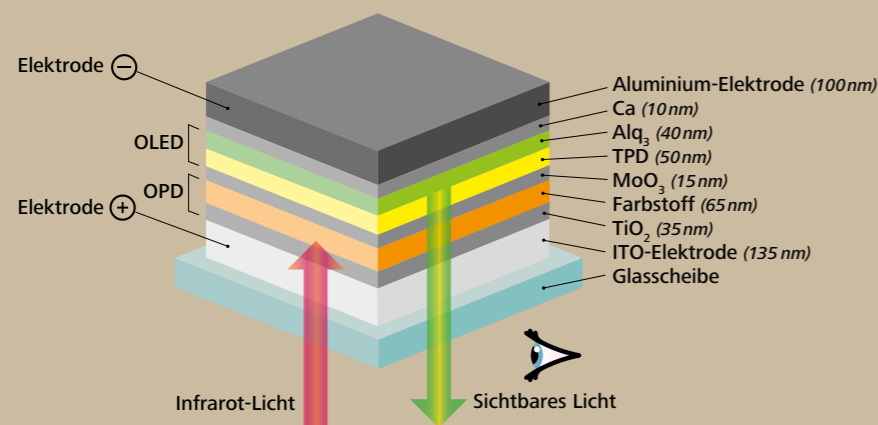
Foto: iStockfoto

Was kann man mit solchen SWIR-Sichtgeräten anfangen? Ein Werbefilm des Kamerherstellers Sony zeigt es.

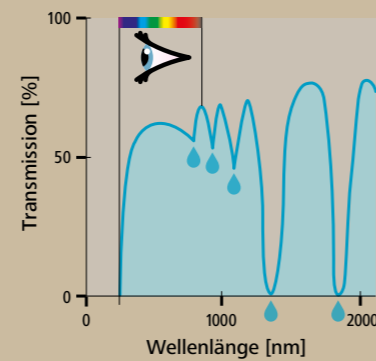
<https://youtu.be/ms4EBbALAFM>



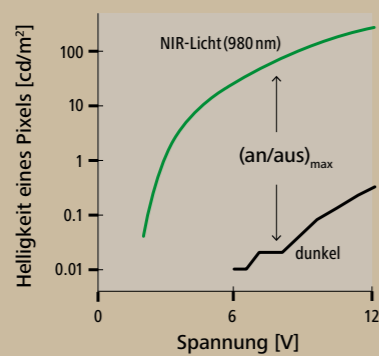
Aufbau des Photodetektors



Absorption von Wasser



Lichtstärke des Photodetektors



AUFBAU DES PHOTODETEKTORS

Der IR-Photodetektor gleicht einem Sandwich aus mehreren Schichten. Infrarot-Licht (IR) wird im organischen Photodetektor (OPD) absorbiert, dabei entstehen elektrische Ladungen: Elektronen und Löcher. Die Elektronen wandern zur positiven (und transparenten) Elektrode (Titandioxid, TiO_2 /Indium-Zinn-Oxid, ITO), die Löcher wandern in die organische Leuchtdiode (OLED). Dort vereinigen sie sich mit Elektronen, die über die negative Elektrode (Aluminium, Al/Kalzium, Ca) eingespeist werden. Dabei emittieren sie sichtbares Licht. Abkürzungen: TBD = N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidin; Alq3 = Tris(8-hydroxyquinolin)aluminium

LICHTSTÄRKE DES PHOTODETEKTORS

Zwischen den beiden Elektroden wird eine variable Spannung angelegt. Je höher die Spannung ist, desto leichter wandern die vom IR-Licht generierten Ladungen in die OLED und rekombinieren dort unter Emission von sichtbarem Licht. Die Intensität des sichtbaren Lichts wird in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) angegeben. Bei hohen Spannungen – zwischen sechs und zwölf Volt – fließt auch in Abwesenheit von IR-Licht («dunkel») schon ein kleiner Leckstrom, der den Pixel schwach leuchten lässt. Um einen möglichst hohen Bildkontrast zu erhalten, sollte der Helligkeitsunterschied des leuchtenden Pixels mit und ohne IR-Strahlen möglichst gross sein.

ABSORPTION VON WASSER

Wasser absorbiert im sichtbaren Bereich kein Licht, ist also «farblos». Es besitzt allerdings einige prominente Absorptionsbanden zwischen 760 nm und 2000 nm. Wird etwa ein Apfel mit IR-Licht bei 1450 nm bestrahlt, dann absorbiert das Wasser im Apfel diese Strahlen, während die nicht-wasserhaltigen Bestandteile des Apfels das IR-Licht reflektieren. Dadurch werden beispielsweise innere Quetschungen von Äpfeln als dunkle Flecken sofort sichtbar. So lassen sich beschädigte Äpfel leicht aussortieren, um sie direkt zu Apfelsaft weiterzuverarbeiten.

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s209

Grafik: Empa

Foto: Shutterstock

FLASCHE LEER – FENSTER DICHT

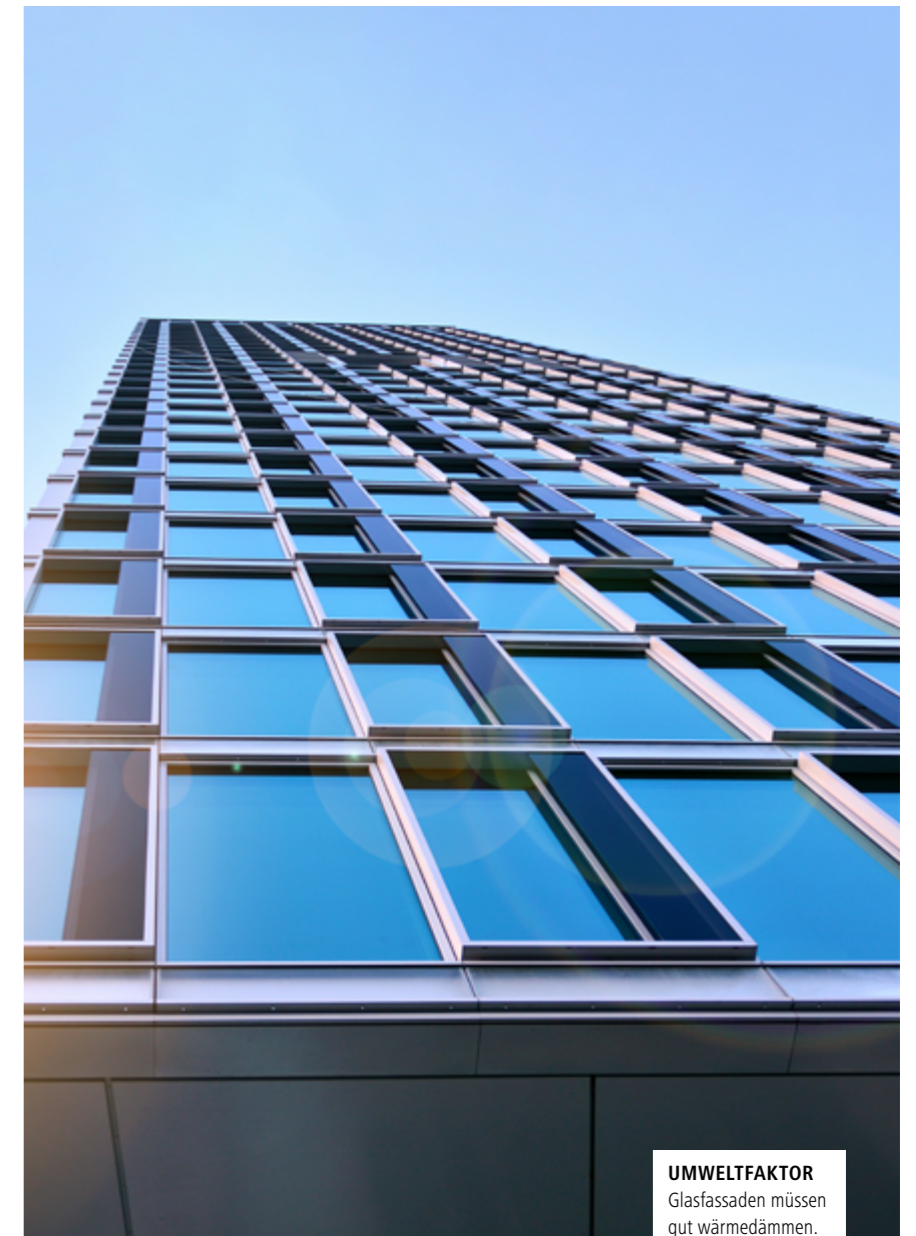
Dämmstege sind in Alu-Fensterprofilen und Fassaden für eine gute Wärmedämmung unerlässlich. Empa-Forscher und ihre Partner arbeiten seit längerem an einem neuartigen «Sandwich»-Produkt mit einer umweltfreundlichen Füllung: Recyclingmaterial aus PET-Flaschen. Nun steht die Markteinführung an – mit guter Aussicht auf Erfolg.

Text: Norbert Raabe

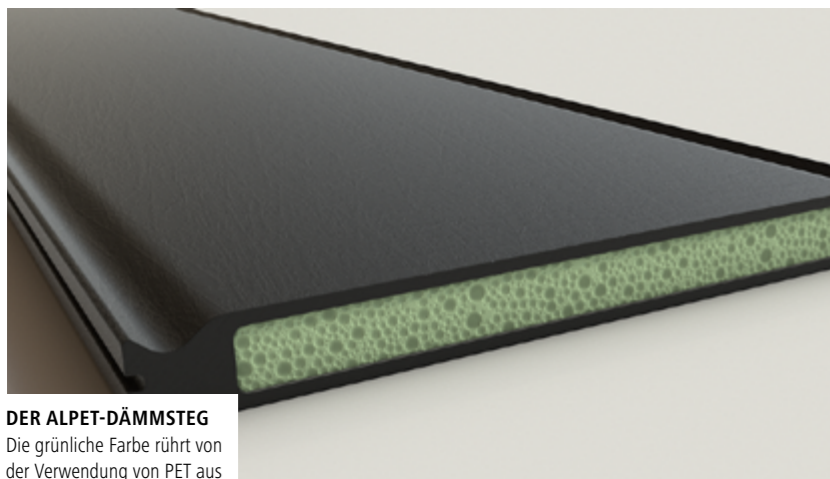
Sie sind noch besser versteckt als Schrauben, von denen man immerhin noch die Köpfe sieht, doch genauso allgegenwärtig: Dämmstege stecken im Inneren von Aluminium- und Metallprofilen für Fenster und Fassadenverglasungen – als thermische Trenner zwischen der Aussen- und Innenseite, weil Kälte oder Wärme sonst ungebremst durch das Metall strömen würde. Ein unscheinbares Bauteil also, das mit der Erderwärmung und der Notwendigkeit, CO_2 -Emissionen zu mindern, noch wichtiger wird.

Doch obwohl seit über vier Jahrzehnten etabliert, hat der Dämmsteg Verbesserungspotenzial. Ein Empa-Team um Michel Barbezat und Giovanni Terrasi von der Abteilung «Mechanical Systems Engineering» arbeitet an einem neuartigen Produkt – zusammen mit Experten des Metallbauunternehmens Hochuli in Wigoltingen, das dazu eigens die Schwesterfirma «hochuli advanced» gegründet hat.

Der Clou des «Alpet»-Dämmstegs: Im Inneren des glasfaser-verstärkten Kunststoffes steckt ein Schaumstreifen aus Polyethylenterephthalat – PET also, aus recycelten Flaschen. Die vielen Luftporen in dieser Schicht däm-

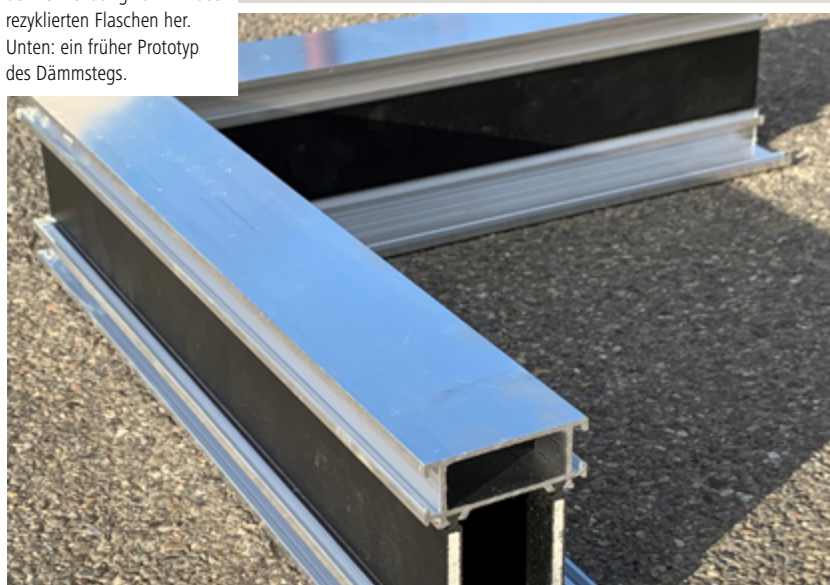


UMWELTFAKTOR
Glasfassaden müssen gut wärmedämmen.



DER ALPET-DÄMMSTEG

Die grünliche Farbe rührt von der Verwendung von PET aus rezyklierten Flaschen her. Unten: ein früher Prototyp des Dämmstegs.



«STEPPE ISOSTRESS»-METHODE

Wie verformt sich ein Kunststoffbauteil über einen Zeitraum von 30 oder mehr Jahren – unter Dauerlast und grossen Temperaturdifferenzen? Gängige «Kriechversuche» im Labor über 1000 Stunden unter kombinierten thermisch-mechanischen Belastungen erlauben dazu keine seriöse Aussage. Um dennoch langfristige Prognosen treffen zu können, wurden in den vergangenen Jahren neue Methoden entwickelt und verfeinert, darunter die «Stepped-Isostress-Method» (SSM), die Empa-Fachleute beim neuen Dämmsteg anwendeten. Vereinfacht gesagt, addiert man dabei die Verformungen aus zahlreichen Einzelversuchen mit steigenden Lasten zu einer «Masterkurve» auf, die Aufschluss über grössere Zeiträume gibt. Dieses Verfahren lässt sich auch mit einem einzigen Messgang mit schrittweise steigenden Belastungen durchführen – und erleichtert es, zugleich kritische Temperaturbereiche zu untersuchen.

übersteht; inklusive der Nachbehandlung des fertigen Gesamtprofils, etwa das Pulverlackieren oder Eloxieren.

Aus zahlreichen Mustern destillierten die Entwickler sieben Varianten für Tests heraus – insgesamt rund 1000 Laufmeter Dämmsteg – und daraus schliesslich den endgültigen Prototyp als Grundlage für fertige Produkte. Auf diesem Weg gelang auch ein wichtiger Schritt im Produktionsverfahren: Der Steg verschweisst sich durch die Hitze quasi von selbst – ohne, dass noch eine «Naht» verklebt werden muss. «Das ist schon ein grosser Vorteil», sagt Metallbauingenieur Frank Hochuli vom Industriepartner. «Es gibt keine lokalen Schwachstellen, an denen sich Material ablösen könnte. Und je weniger Arbeitsschritte, umso günstiger das Produkt.»

Ein langwieriger Prozess, der sich am Ende gelohnt hat, wie auch Empa-For-

scher Barbezat findet. «Technisch gesehen haben wir sicher sehr gute Chancen», sagt er. Die Messwerte und das Produkt, das sich trotz zweier Materialien einfach recyceln liesse, seien schon überzeugend. Und auch bei der nötigen Langzeit-Stabilität über viele Jahre, die sein Team mit Experimenten und der innovativen «Stepped Isostress Methode» (siehe Infobox) abzuschätzen versuchte, sind die Fachleute zuversichtlich.

UNABHÄNGIGE PRÜFUNGEN

Eine Herausforderung sieht Barbezat freilich darin, ein grosses Systemhaus, das Profile für Fensterbauer herstellt und vertreibt, von einer Kooperation zu überzeugen. «Verglichen mit grossen Unternehmen sind wir schliesslich «Nobodys», sagt er. Um Kunden zu gewinnen, braucht es also auch einen unabhängigen Segen von oben – und so schickten die Partner ihren «Alpet»-Dämmsteg an das Prüfinstitut ift im bayerischen Rosenheim, das in der Branche seit Jahrzehnten als Referenz gilt. Die Fachleute dort wiederholten nicht nur Schweizer Versuche, sondern setzten die Prototypen auch Brandversuchen, Bruchtests und anderen Belastungen aus – zum Beispiel auf nicht sichtbare Mikrorisse nach 1000-stündiger Lagerung in Öl oder leichter Säure oder auch auf starken Zug in Querrichtung. Mittlerweile liegen laut Frank Hochuli offizielle Zertifizierungen zum Brandverhalten, zur statischen Belastbarkeit und zur Wärmedämmung vor.

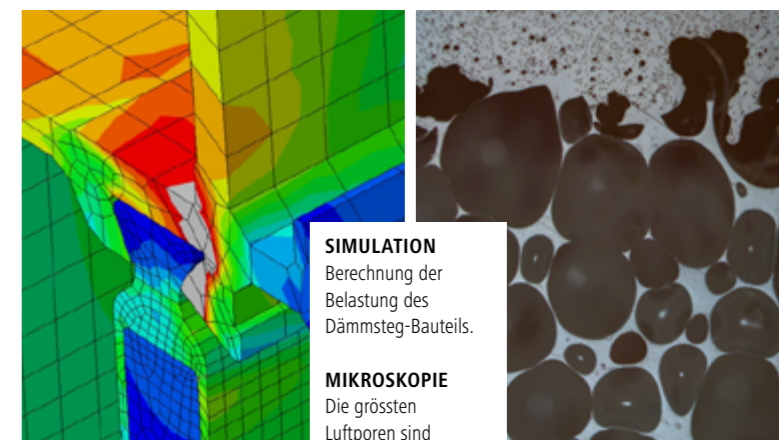
GROSSES POTENZIAL

Wie würde sich der neue Dämmsteg im Gesamtsystem «Fenster» mitsamt Glasscheiben, Aluprofilen, Dichtungen und allen anderen Details auswirken? Verglichen mit heutigen High-End-Ausführungen liesse sich die Wärmedämmung, etwa in einem neuen Bürogebäude, durchaus um bis zu einem Fünftel verbessern, schätzt Hochuli. Und weil der

Steg mit seinem «Schwalbenschwanz» als Montage-Anschluss mit allen gängigen Systemen kompatibel ist, könne man bestehende Lösungen damit relativ einfach upgraden – zum Beispiel für hohe Anforderung nach Passivhaus-Standards. «Das schafft man mit Aluminiumprofilen heutzutage ja nur mit grösster Mühe», sagt er, «unser System würde das sicher erleichtern.» Detaillierte Tests übernehmen die Fabrikanten dann auch selbst, in ihren eigenen Labors mit den eigenen Profilsystemen. Gespräche dazu haben

stattgefunden; die ersten Kunden starten bereits Versuche. «Ich bin auf jeden Fall optimistisch!», sagt Hochuli. «Sonst hätte ich ja kaum eine Firma gegründet, um unsere Idee auf den Markt zu bringen.» Ein Alleingang wird der weitere Weg dennoch nicht: Die Empa-Fachleute werden den Dämmsteg nach der jahrelangen Betreuung auch weiterhin mit ihrem Knowhow begleiten. ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: <https://www.empa.ch/web/s304>



SIMULATION
Berechnung der Belastung des Dämmsteg-Bauteils.

MIKROSKOPIE
Die grössten Luftporen sind 0,5 Millimeter gross.



VERSUCH
Der Dämmsteg, eingebaut in einem pulverbeschichteten Aluminiumprofil, wird auf Stabilität getestet.

men effizient: Die Wärmeleitfähigkeit der Prototypen liegt im Durchschnitt, je nach Stegbreite, bei etwa 0,1 W/mK – weit weniger als bei einem Standard-Dämmsteg aus dem Kunststoff Polyamid (etwa 0,25 W/mK) und auch deutlich tiefer als bei High-End-Produkten, die heute erhältlich sind.

FEINABSTIMMUNG VON VIELEN DETAILS

Ein simpler Ansatz, wie es auf den ersten Blick erscheint – doch um die Idee in ein Produkt zu verwandeln, war im Rahmen eines Innosuisse-Projektes viel Konzeptarbeit nötig. Beispiel Produktionsmethode: Nach Tests mit unterschiedlichen Verfahren entschieden sich die Fachleute für die so genannte Extrusion, bei der erhitzter, geschmolzener Kunststoff als

weicher Teig durch einen Schlitz gepresst und so geformt wird – um den Streifen aus PET herum. Doch das warf wiederum Fragen auf, zum Beispiel nach dem Anteil der Luftporen in dieser «Füllung».

«So viele wie möglich» lautet die Antwort, um eine hohe Dämmwirkung zu erreichen. Nur: «Zu viele» hätte die Stabilität des vorbereiteten PET-Stranges gefährdet, weil seine Ummantelung mit dem schwarzen Kunststoff bei Temperaturen bis 300 Grad und hohem Druck geschieht. Auch die Dicke dieser «Hülle» passten die Forscher den Notwendigkeiten an: möglichst schmal für eine gute Dämmwirkung – doch dick genug, damit der Steg später auch die mechanischen Belastungen gut

Fotos: Hochuli advanced

Fotos: Hochuli advanced, Empa

DIE LEICHTIGKEIT DES BAUENS



OBENAUF
Die Unit HiLo thront auf der südwestlichen Ecke des Forschungsgebäudes NEST.

Foto: Roman Keller

Anfang Oktober wurde im Forschungs- und Innovationsgebäude NEST die neueste Unit eröffnet – HiLo. HiLo verbindet attraktive Architektur mit emissions- und ressourcenschonendem Bau und Betrieb. Neuartige Planungs- und Konstruktionsmethoden verbinden effiziente Betonstrukturen und eine integrierte und adaptive Gebäudetechnik. Realisiert wurde das zweistöckige Modul von zwei Forschungsgruppen der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit zahlreichen Industriepartnern.

Text: Stephan Kälin

In der neuesten NEST-Unit HiLo treffen Bauprinzipien aus dem Mittelalter auf Baumethoden der Zukunft: Geplant und gebaut wurde das zweistöckige Gebäudemodul mit dem markanten doppelt-gekrümmten Betondach mit modernsten Design- und Fabrikationsmethoden. Inspiriert wurden die Forschenden der ETH Zürich allerdings nicht zuletzt von den alten Kathedralenbauern, die es verstanden, Strukturen zu schaffen, die sich selber tragen.

HiLo ist eine Büroumgebung, die in Kürze bezogen wird. Ihr Name steht für «High Performance – Low Emissions»: Mit der Unit wird erprobt, wie das Bauen und der Betrieb von Gebäuden möglichst energie- und ressourcenschonend gestaltet werden können – und dabei gleichzeitig eine attraktive Architektur und einen hohen Komfort für die Benutzerinnen und Benutzer der Gebäude gewährleistet werden kann.

FORSCHUNGSKONZEPTE WERDEN REAL

Für die Realisierung von HiLo – das mittlerweile achte Modul im NEST – haben sich die beiden ETH-Forschungsgruppen rund um Philippe Block, Professor für

Fotos: Roman Keller



WEGWEISEND
Die speziellen Betondecken des HiLo sparen rund 70 Prozent an Material. Oben: Ein Fenster mit adaptiven Solarpanels reguliert den Wärmeeintrag von aussen.



Architektur und Tragwerk, und Arno Schlüter, Professor für Architektur und Gebäudesysteme, zusammengetan.

In mehrjähriger Forschungsarbeit entwickelten sie wegweisende neue Konzepte und Technologien, bauten in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern Prototypen und entwickelten ihre Ideen weiter, bevor diese gesammelten Innovationen schliesslich zum ersten Mal in einem realen Bauprojekt – eben in HiLo – umgesetzt wurden.

MEHRSCHTIGER BETON-LEICHTBAU

Besonders auffällig ist das doppelt gewölbte Dach, das seine Stabilität primär aus der Geometrie gewinnt. Es besteht aus zwei Betonschichten, die durch ein Netz aus Betonrippen und Stahlanker verbunden sind. Gebaut wurde es mit Hilfe einer flexiblen Schalung aus einem gespannten Kabelnetz und einer Membran, auf die der Beton gespritzt wurde. Mit dieser Bauweise können grosse Mengen Beton und Schalungsmaterial eingespart werden.

Auch für die Zwischenböden der zweistöckigen Unit setzten sich die Forschenden das Ziel, mit möglichst wenig Material auszukommen. Die Leichtbau-Bodenkonstruktion von HiLo spart im Vergleich zu herkömmlichen Betonböden mehr als 70% an Material ein. Erreicht wird diese Einsparung durch die dünne, gewölbte Rippenstruktur des Bodens. Die eingesetzten digitalen Fertigungsmethoden ermöglichen es, Lüftung, Kühlung und Niedertemperaturheizung in die Rippenstruktur zu integrieren und damit weiteres Material und Volumen einzusparen.

SELBSTLERNENDE GEBÄUDETECHNIK

Im Hinblick auf das Integrieren von Gebäudetechnik kommt auch der Fassade eine immer stärkere Bedeutung zu. In der HiLo-Unit ist eine von der Gruppe um Arno Schlüter entwickelte adaptive Solarfassade im Einsatz. Diese besteht aus 30 Photovoltaik-Modulen, die sich nach der Sonne ausrichten können. Die flexiblen Module lassen sich zudem dafür nutzen, den Sonneneinfall in den Raum zu steuern, um passiv zu heizen, oder – im Gegenteil – den Kühlungsbedarf zu senken.

Die adaptive Solarfassade ist Teil einer Reihe innovativer Komponenten der Gebäudetechnik für die effiziente Regulierung des Raumklimas. Während des Betriebs wird das Zusammenspiel der einzelnen Technologien unter Einbezug der Benutzerinnen und Benutzer von den Forschenden nun mittels «Machine Learning» ständig optimiert, um zu untersuchen, wie komfortable Innenraumbedingungen mit möglichst wenig Energie und Emissionen erzielt werden können. ■

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



LUFTIG UND LEICHT
Das selbsttragende, gewölbte Dach entstand durch Aufsprühen von Beton auf eine vorgespannte Textil-Membran.

ABBRUCH, AUFBRUCH, DURCHBRUCH

Die neue NEST-Unit Sprint setzt Massstäbe für kreislaufgerechtes Bauen: In nur zehn Monaten wurden flexible, COVID-19-konforme Büroräume aus grösstenteils wiederverwendeten Materialien und Komponenten fertiggestellt. Sprint zeigt: Der «Vorrat» an wiederverwendbaren Materialien sowie das Re-Use-Potential in der Industrie sind enorm – man muss es nur nutzen.

Text: Annina Schneider



RE-USE
Für die Fassade der Sprint-Unit wurden die Holzlatten des NEST «Backbone», welche beim Einfügen der neuen Unit abmontiert wurden, wiederverwendet.

Mit Sprint wurde vor kurzem im NEST eine neue Büroeinheit aus grösstenteils wiederverwendeten Materialien und Bauteilen in Betrieb genommen. Flexibel rückbaubare Trennwände aus Re-Use-Materialien teilen die Büroeinheit in zwölf COVID-19-konforme Einzelbüros

auf und verleihen der Unit einen einzigartigen Charakter. Die gesamte Unit folgt dem «Design for Disassembly»-Ansatz (siehe Box Seite 20), so dass bei Bedarf etwa die flexiblen Trennwände rückgebaut werden und so die Einzelbüros zu Mehrpersonen-Büros umgewandelt werden können.

Sprint demonstriert, was in der Bauwirtschaft heute noch immer auf Skepsis stösst: Das Bauen mit wiederverwendeten Materialien und Bauteilen ist eine echte Alternative zum Bauen mit Neumaterial und wird den Marktanforderungen an flexibles und schnelles Bauen gerecht. «In einer Welt, in der die Ressourcen stetig knapper werden, ▶

Foto: Roman Keller

Foto: Martin Zeller

«DESIGN FOR DISASSEMBLY»

Unter dem Ansatz «Design for Disassembly» versteht man ein Design, das bereits den Rückbau mitberücksichtigt, und eine Bauweise, die zukünftige Änderungen und Demontagen zur Rückgewinnung von Systemen, Komponenten und Materialien erleichtert. So kann sichergestellt werden, dass Gebäude und deren Bestandteile am Ende ihrer Lebensdauer so effizient wie möglich in einen weiteren Zyklus überführt werden können.

ist kreislaufgerechtes Bauen dringlicher denn je und bildet die Grundlage zur Erreichung unserer CO₂-Ziele», betont Enrico Marchesi, Innovation Manager und Projektverantwortlicher seitens NEST. «Mit der Sprint-Unit haben wir uns deshalb zum Ziel gesetzt, möglichst allgemeingültige Lösungen zu finden und damit die Wiederverwendung von Baumaterialien zu vereinfachen.»

UMDENKEN NOTWENDIG

Das Bauen mit wiederverwendeten Materialien ist ein iterativer Prozess, bei dem sich die Frage nach den verfügbaren Materialien durch den ganzen Bauprozess hindurchzieht. Damit ein solches Projekt in kürzester Zeit umgesetzt werden kann, benötigt es unter anderem ein Umdenken in der Planung und Ausführung sowie einen flexiblen Zeitplan. «Der Faktor Zeit ist beim Re-Use eine grosse Herausforderung, da das wiederverwendete Material gefunden werden und auch zur Verfügung stehen muss. Entgegen unseren anfänglichen Bedenken gegenüber dem knappen Zeitplan, konnten wir die Re-Use-Materialien dann aber sogar schneller als neue Materialien finden. Das hängt vor allem mit der aktuellen Ressourcenknappheit zusammen – zeigt aber auch, dass Re-Use keine Auswirkungen auf die Bauzeit hat», erklärt Kerstin Müller, Architektin und Mitglied

der Geschäftsleitung beim baubüro in situ, das die Sprint-Unit geplant hat.

Auch beim Verständnis von Wirtschaftlichkeit erfordert das Bauen mit wiederverwendeten Materialien ein Umdenken. Der Mehrwert beim Re-Use liegt klar darin, dass dem Material den nötigen Respekt gezollt wird. Hans Emmenegger, Spartenleiter Zimmerei bei HUSNER Holzbau, sieht darin grosse Chancen: «Ich bin der Meinung, dass zum Beispiel Holz ein sehr dankbarer Rohstoff ist. Man kann es gut bearbeiten, was es wiederum gut wiederverwendbar macht. Wenn Holz gesund, also trocken, eingebaut wird, verliert es nicht an Wert. Im Gegenteil, es gewinnt durch die charakteristische Ästhetik sogar an Wert.»

BOOSTER FÜR INNOVATIONEN

Das Bauen mit wiederverwendeten Materialien erfordert neben einer flexiblen Planung und Ausführung auch mehr Flexibilität in der Gestaltung. So müssen sich Planer bewusst sein, dass das gefundene Material zum Teil auch das finale Design bestimmt. «Sprint zeigt eindrücklich, dass wiederverwendetes Material keineswegs eine Hürde für die Gestaltung darstellt, sondern dass man mit Kreativität gestalterische Elemente erreicht, auf die man ursprünglich gar nicht gekommen wäre. Ein schönes Beispiel hierfür sind die unterschiedlichen Trennwände: Einige haben wir aus Ausschuss-Ziegeln, andere aus alten Büchern und wieder andere aus altem Teppich gebaut», so Oliver Seidel, Architekt und Mitglied der Geschäftsleitung beim baubüro in situ.

Die Teppichtrennwand etwa hat Jonas Schafer, Bauteiljäger beim baubüro in situ, für Sprint entwickelt. Sie kann nach ihrer Verwendung vollständig zurückgebaut werden. Forschende der Empa haben die Wand im Akustiklabor auf Luftschalldämmung

geprüft. Die Teppichtrennwand hat sich hinsichtlich ihrer bauakustischen Eigenschaften bewährt und tritt nun in Sprint den Praxistest an (siehe Box).

CHANCEN NUTZEN, GRENZEN ERKENNEN

Sprint zeigt aber auch, dass Wiederverwendung in der heutigen Marktlage nicht per se billiger ist. Oliver Seidel ist jedoch überzeugt: «Sobald sich ein wettbewerbsfähiger Markt mit wiederverwendeten Materialien und Bauteilen etabliert hat, werden auch beim Re-Use Kostenvorteile anfallen. Ausserdem bin ich der Meinung, dass es etwa eine CO₂-Besteuerung braucht, die kostenmässig neue Materialien be- und gebrauchte Materialien entlastet, um so den ökologischen Mehrwert beziffern zu können.»

BESTE SCHALLDÄMMUNG AUS ALTEN TEPPICHEN

Forschende der Empa haben die eigens für Sprint konzipierte Teppichtrennwand im Akustiklabor auf Luftschalldämmung geprüft. Dafür wurde die Trennwand in einem Adapter zwischen zwei Testräumen aufgebaut und der Luftschalldurchgang gemessen. Aus den frequenzabhängigen Messdaten wurde das «bewertete Schalldämm-Mass» (Rw) berechnet.

Mit mehreren Messungen haben die Forschenden untersucht, wie die Teppichfliesen für eine optimale Schalldämmung gefaltet sein müssen. Im besten Fall erreichten die Forschenden eine Schalldämmung von 26dB. Das bedeutet: Die Teppichwand als Raumtrenner erreicht eine wesentlich bessere akustische Dämmung als beispielsweise mobile Stellwände in Gruppenbüros.

Diese innovative und kreislaufgerechte Trennwand hat also überall dort Potential, wo Gebäude flexibel oder gar nur auf Zeit gestaltet werden, etwa bei Zwischennutzungen.

Fotos: Martin Zeller

«Es braucht eine CO₂-Besteuerung, die neue Materialien verteuert und gebrauchte Materialien entlastet.»

Re-Use bietet zudem neue Möglichkeiten. So werden gewisse wiederverwendete Materialien wie Naturstein oder automatisch schliessende Brandschutztüren auf einmal erschwinglich, im Gegensatz zu denselben Bauteilen als Neumaterial.

Zudem kann das Material hinsichtlich der CO₂-Einsparung bewertet werden.

Bei technischen Komponenten wie Pumpen oder Ventilen stellt sich hinsichtlich der Garantie und Lebensdauer allerdings die Frage, ob sich das Wiederverwenden lohnt. Es ist gut möglich, dass es sinnvoller ist, diese Komponente neu zu beschaffen. Die Überprüfung der Lebensdauer solcher technischen Komponenten ist zwar machbar, aber zeitintensiv und aufwendig. «Die Herausforderung beim

Bauen mit wiederverwendeten Materialien ist es, eine Balance zwischen dem technisch Machbaren und dem technisch Sinnvollen zu finden», so Maïke Stroetmann, Abteilungsleiterin BIM CAD bei Bouygues Energies & Services. ■

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



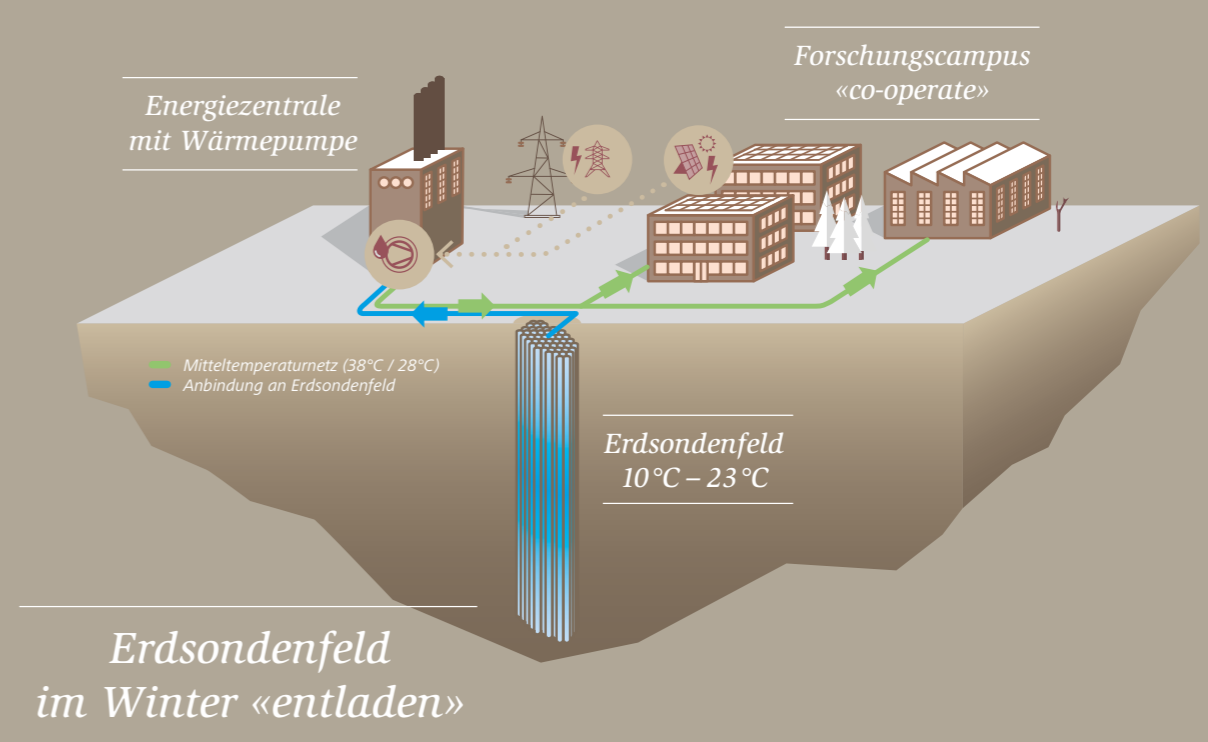
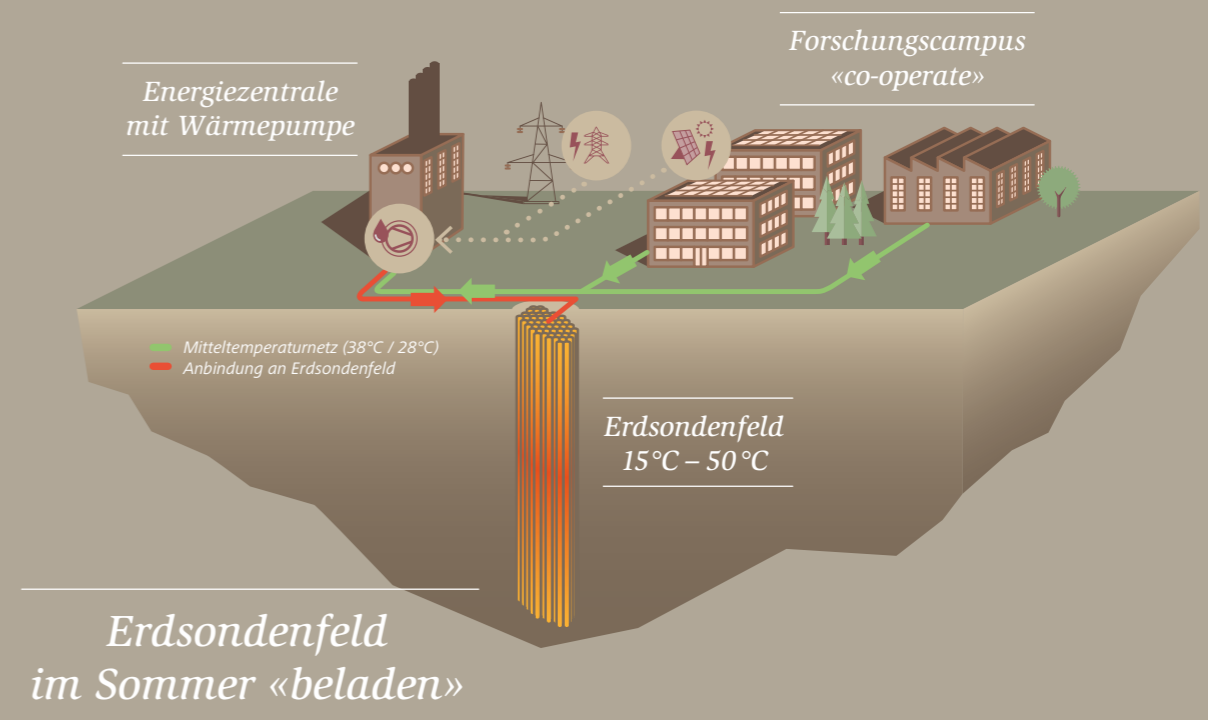
WÄRMEDEPOT IM ERDREICH

An der Empa in Dübendorf entsteht der zukunftsorientierte Forschungscampus «co-operate» – ein Gebäudekomplex, in dem wegweisende Forschung betrieben wird und der zugleich selber Objekt der Forschung ist. Denn unter dem Areal entsteht ein experimenteller, saisonaler Energiespeicher, der nicht nur die neuen Gebäude, sondern das gesamte Empa-Areal mit Energie beliefert wird. Im Sommer wird etwa die Abwärme von Lüftungen und Laborgeräten gespeichert – um diese dann im Winter zum Heizen oder für die Produktion von Brauchwarmwasser nutzen zu können.

Angestrebt wird, rund 90% der generierten Abwärme entweder direkt zu nutzen oder im Erdspeicher «zwischenzulagern». Dadurch will die Empa den CO₂-Ausstoss ihrer Gebäude auf ein Minimum senken und so einen wichtigen Meilenstein für eine nachhaltige Energiezukunft legen.

Für zehn Jahre kann die Empa den Wärmespeicher in erster Linie zu Forschungszwecken nutzen. Der Wärmespeicher – ein Erdsondenfeld mit einem Temperaturgradienten – umfasst 144 Erdsonden, die bis zu 100 Meter tief in den Boden reichen. In dieser Tiefe arbeitet der Speicher besonders effektiv und verliert dabei nur einen geringen Anteil der gespeicherten Wärme an die Umgebung. Im Zentrum des Erdsondenfelds können die Maximaltemperaturen bis zu 50°C betragen und am Rand liegen die Werte bei ungefähr 10°C. Über ein Röhrensystem ist es möglich, jede Röhre der Erdsonde einzeln oder auch definierte Bereiche anzusteuern und so den optimalen Mix zwischen Temperatur, Wirkungsgrad und Energiespeicher zu erreichen.

Ein solcher Erdspeicher ist zwar sehr effektiv, wegen seiner grossen Masse aber auch träge. Die Empa-Forschenden gehen davon aus, dass sich die endgültige Betriebstemperatur nach circa drei bis vier Jahren eingestellt haben wird.



Graphik: Empa

KLIMASCHUTZ DURCH INTELLIGENTE BAUSTOFFE



HOFFNUNGSTRÄGER

Moslem Shahverdi mit Drahtstücken, die Beton umweltfreundlicher machen könnten.



Wissenschaftler sind Visionäre. Bisweilen reichen ihre Ideen weiter, als ein Industriepartner zu gehen bereit ist. Durch den Empa Zukunftsfonds sollen gerade solch visionäre Projekte gefördert werden, bei denen trotz hohem Risiko – oder gerade deswegen – durchschlagende Erfolge zu erwarten sind. Neustes Beispiel ist ein Forschungsprojekt zu vorgespanntem Hochleistungsbeton, das durch Förderung der Ernst Göhner-Stiftung nun umgesetzt werden kann.

Text: Rainer Klose

Die Herstellung von Beton trägt rund neun Prozent zum weltweiten CO₂-Ausstoss bei. Wenn wir den Klimawandel bekämpfen wollen, brauchen wir also neue Betonsorten, die länger halten, weniger Treibhausgase erzeugen und vielleicht sogar so stabil sind, dass man schlankere – sprich: materialsparende – Strukturen bauen kann. Empa-Forscher haben dazu eine Idee: Könnte ein sich selbst vorspannender Beton die Lösung sein?

Schon jetzt experimentieren die Forscher mit Stahlbeton-Elementen, die nicht hydraulisch, sondern mittels Wärme gespannt werden. Moslem Shahverdi aus der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» möchte noch einen Schritt weitergehen: Kleine, zwei bis drei Zentimeter lange Drahtstücke werden im Beton verteilt. Erhitzt man diese Drähte, die aus einer speziellen Legierung bestehen – so genannte Formgedächtnislegierungen («shape memory alloys», SMA) –, dann ziehen sie sich zusammen. So könnte Beton entstehen, der

sich «auf Knopfdruck» in allen Raumrichtungen von selbst vorspannt. Und sehr viel stärker und dauerhafter wäre als herkömmlicher Stahlbeton, wie wir ihn seit 140 Jahren nutzen.

Forschende aus zwei weiteren Empa-Abteilungen unterstützen Shahverdi: Experten der Abteilung «Beton und Asphalt» entwickeln Betonmischungen mit einem geringeren CO₂-Fussabdruck. Und KollegInnen der Abteilung «Mechanical Systems Engineering», die auf die Berechnung der Festigkeit kleiner und grosser Bauteile spezialisiert sind, können Shahverdi mit Hilfe sogenannter Finite-Elemente-Simulationen besonders vielversprechende Versuchsanordnungen vorschlagen. Dadurch lässt sich die Anzahl der tatsächlichen Experimente deutlich senken, die Forscher kommen schneller ans Ziel.

MUT ZUM RISIKO

«Es ist ein klassisches «High-Risk-High-Gain»-Projekt», so Masoud Motavalli, der die Forschungsabteilung «Ingenieur-Strukturen» leitet. «Das

Risiko eines Fehlschlags ist hoch, aber es gibt auch sehr viel zu gewinnen.» Immer wieder ist Motavalli seit 2008 mit dieser Idee an Förderagenturen und Industrieunternehmen herangetreten, lange ohne Erfolg. Nun gelang es dem Empa Zukunftsfonds, die Ernst Göhner-Stiftung für eine Finanzierung zu gewinnen. Damit kann das ehrgeizige Projekt nun endlich starten. «Wir sind sehr glücklich und dankbar darüber, dass wir mit dieser grosszügigen und mutigen Anschubfinanzierung durch die Ernst Göhner-Stiftung ein grosses Ziel ins Visier nehmen können: Klimaschutz mit Hilfe intelligenter Baustoffe der Zukunft», sagt Gabriele Dobenecker vom Fundraising-Team der Empa. Unterstützung seitens Stiftungen, aber auch private Spenden an den Empa Zukunftsfonds würden solche visionären Projekte überhaupt erst ermöglichen und seien daher für die Empa von grosser Bedeutung. ■

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



Fotos: Empa



Das Empa-Buch.
Forschung in Zeiten des Wandels.
Für die Schweiz.
Seit 140 Jahren.

VIEL MEHR ALS MATERIALIEN




Eine kurze Geschichte der Empa: Wo liegen eigentlich die Wurzeln der Empa? Wie wurde aus der altherwürdigen Materialprüfanstalt ein modernes Forschungsinstitut mit internationalem Renommee? Woran forscht die Empa heute? Welche Innovationen stammen aus der «Empa-Küche»? Wie hilft die Empa der Schweizer Industrie in einem immer kompetitiveren Umfeld? Und was sind die Herausforderungen der Zukunft? Neugierig?

«VIEL MEHR ALS MATERIALIEN» gibt Antworten – ein unterhaltsamer Streifzug durch ein Stück Schweizer Geschichte, grosszügig bebildert mit mehr als 120 Fotos, Abbildungen und Grossgrafiken.

CHF 36.– zzgl. Versand, 216 Seiten, 125 Forschungsbilder, 4 ausklappbare Infografiken, ISBN: 978-3-905594-68-3

Jetzt bestellen: www.empa.ch/web/s604/beyond-materials



MIT BLICK FÜRS KLEINSTE

Als Leiter des Zentrums für Elektronenmikroskopie bringt Rolf Erni viele Aufgaben unter einen Hut: Industrieaufträge, Nachwuchsförderung, Lehre und Unterstützung für viele Wissenschaftsprojekte der Empa. Seine faszinierende Grundlagenforschung, hat ihm nun den Titel als «Distinguished Senior Researcher» der Empa eingebracht.

Text: Norbert Raabe

Wer googelt, was Rolf Erni eigentlich so macht, muss sich auf vielsilbige Wörter gefasst machen. «Wir verwenden atomar aufgelöste Bildgebung, meist im STEM-Modus, kombiniert mit lokaler Elektronen-Energieverlustspektroskopie (EELS), energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) sowie Off-Axis-Elektronenholographie» – Gedankenfutter aus der englischsprachigen Webseite des Zentrums für Elektronenmikroskopie, bei dem auch geschulte Forscher die Stirn in Falten legen dürften.

«Das ist keine «Rocket Science»», sagt Rolf Erni dann gern, wie kürzlich bei einem Vortrag über seine Arbeit – beruhigendes Understatement, das wohl aus seiner Forscherzeit in den USA stammt. Will sagen: keine Superforschung für eine Handvoll Auserwählter, kein Ding der Unmöglichkeit für Normalbegabte. Sondern letztlich alltägliche Arbeit von «Mikroskopikern», wie Erni die Zunft nennt, der er seit rund 20 Jahren

angehört – mit Neugierde, Fleiss, viel beachteten Publikationen in Fachzeitschriften und Buchform. Kurz: mit Erfolg. Geplant, nein, war diese Laufbahn nicht. Nach einer Dissertation in Materialwissenschaften an der ETH Zürich wollte Erni ursprünglich gleich in die Industrie – und «driftete dann ab», wie er sagt. Zunächst ein Postdoc-Jahr am «National Center for Electron Microscopy» in Kalifornien; ab 2004 dann Mitarbeit bei FEI, einem führenden Hersteller von Elektronenmikroskopen. Sein Job: Geburtshelfer bei einem neuartigen Gerät, mitsamt Einführung auf dem Markt.

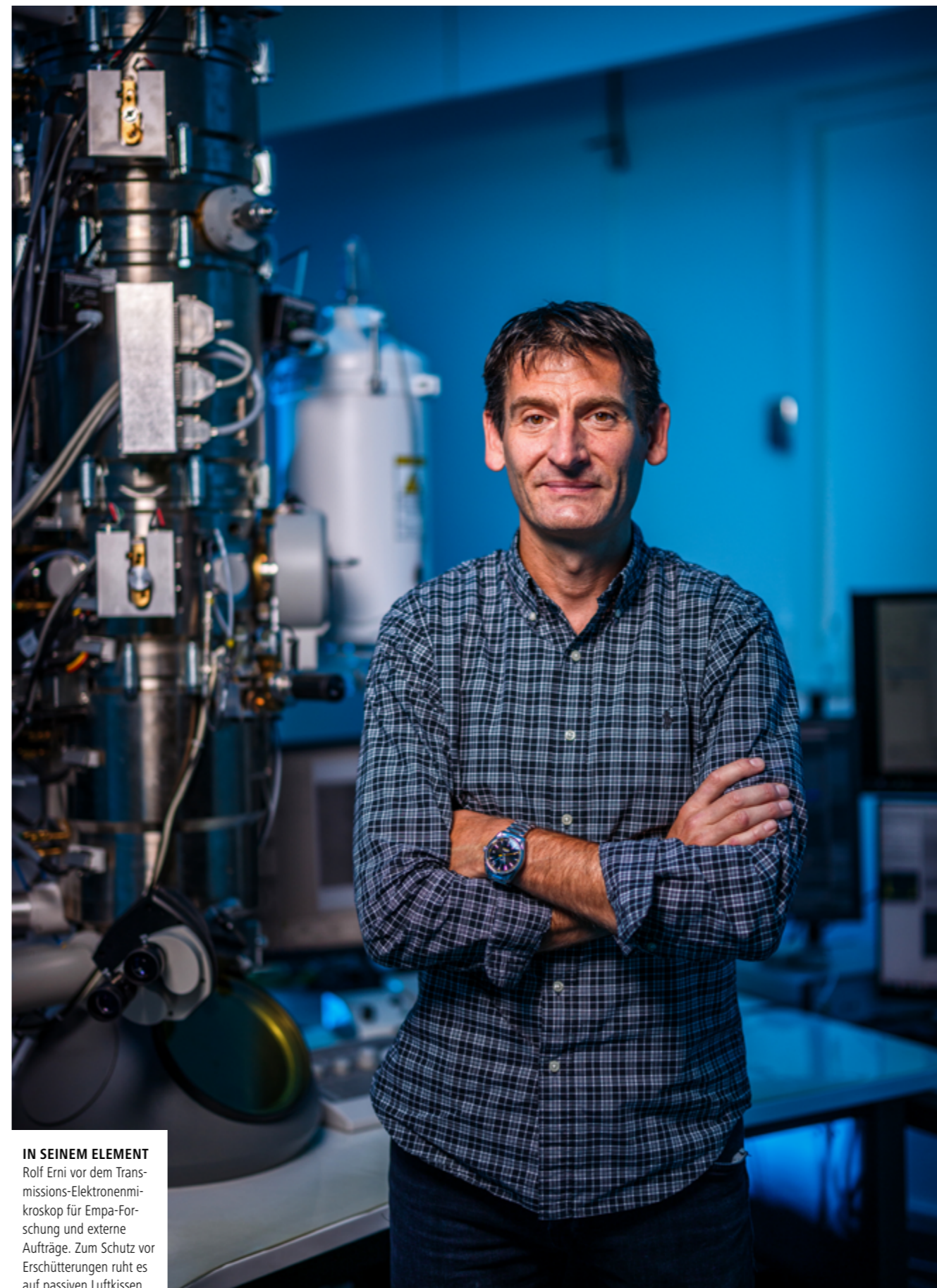
«Superstabil» sollte dieses Mikroskop werden und – analog zu optischen Geräten – selbst minimale «Verwackler» verringern, um höhere Auflösungen zu ermöglichen. Das erforderte auch Lösungen für unscheinbare Details. In den ringförmigen elektromagnetischen Linsen zum Beispiel, die den Elektronenstrahl – analog dem Lichtstrahl eines optischen Mikroskops – fokussieren,

steckt ein Kupferdraht, der sich unter Dauerstrom aufheizt. «Der muss mit Wasser gekühlt werden», erklärt Erni, «und nur schon die Vibrationen, wenn es dort hindurchläuft, hätten für die Stabilität kritisch werden können.»

ERFOLG? AM BALL BLEIBEN

So lernte er sein Werkzeug über die Jahre kennen – in- und auswendig – und erlebte die rasante Entwicklung in zwei Dekaden als Akteur mit: von Aberrationskorrekturen, die «Unschärfen» durch zu stark abgelenkte Elektronen beseitigten, bis zu den ersten CCD-Kameras in den 1990er-Jahren. Sie lösten, wie in der Fotografie, Filme ab, die Elektronen aufgezeichnet hatten, nachdem sie die hauchdünne Probe durchdrungen hatten. Und vom Vordringen in die atomare Auflösung von weniger als einem Zehntel Nanometer bis zu neuen Detektoren, die einzelne Elektronen direkt erfassen.

«Es gibt ständig etwas Neues!», sagt Rolf Erni, «da stimmt es wirklich: Wer nicht mitmacht, der rostet.» Und diese ▶

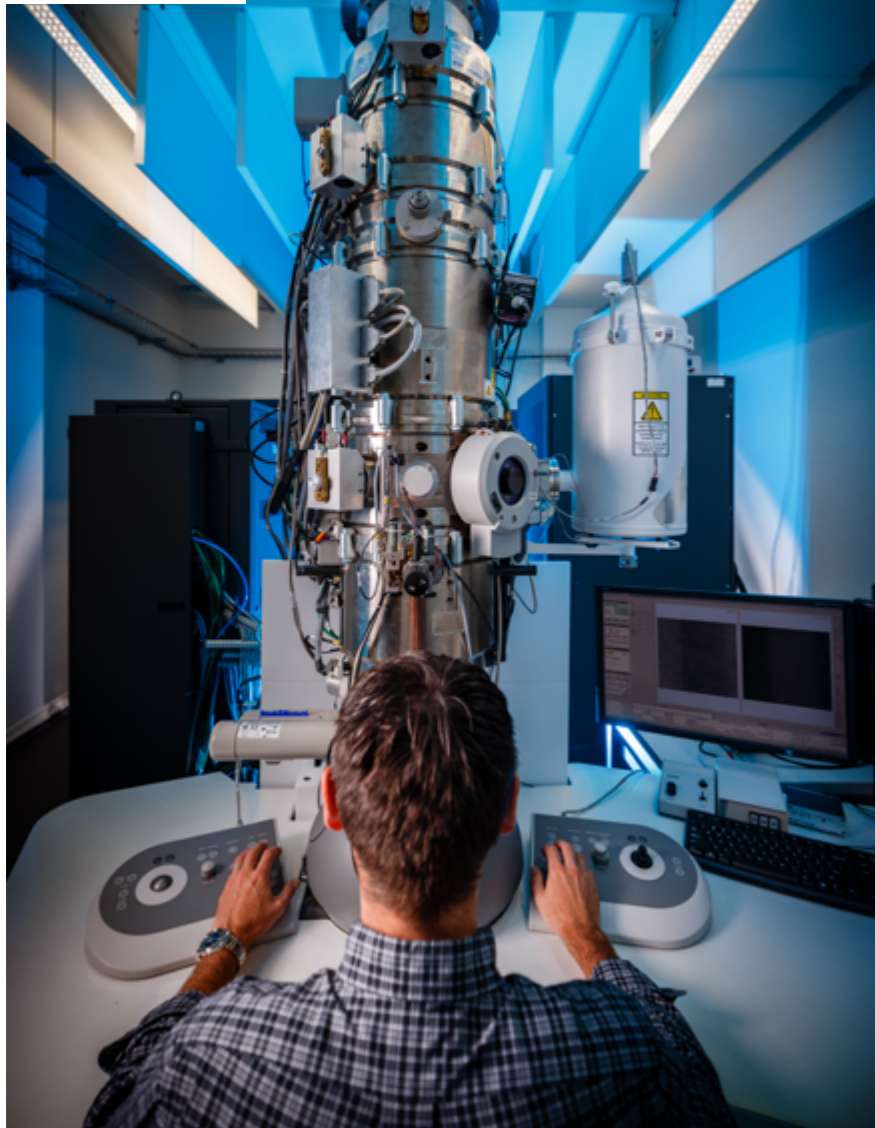


IN SEINEM ELEMENT
Rolf Erni vor dem Transmissions-Elektronenmikroskop für Empa-Forschung und externe Aufträge. Zum Schutz vor Erschütterungen ruht es auf passiven Luftkissen.

Foto: Nicolas Zorivi

EINBLICK

Im Arbeitsraum ist das Transmissions-Elektronenmikroskop vor elektromagnetischen Störfeldern geschützt, damit Messresultate nicht verfälscht werden.



ROLF ERNI

WERDEGANG: Nach dem Studium Postdoc am National Center for Electron Microscopy, Kalifornien, dann als Experte beim Hersteller FEI in Eindhoven. Als Forscher an der Universität Antwerpen und wieder in Kalifornien. Seit 2009 Leiter des Zentrums für Elektronenmikroskopie der Empa.

WISSENSCHAFT: Ausbildung in Materialwissenschaften an der ETH Zürich, vielfältige Forschung im Bereich Elektronenmikroskopie, Publikation von Fachaufsätzen und Büchern, Lehraufträge an der ETH Zürich, Mitglied in Fachgremien.

schwere Edelmetalle im Elektronenmikroskop kontrastreicher erscheinen, also gut zu «sehen» sind. Wie würde Erni das seinem achtjährigen Sohn erklären, der schon mit seiner Schulklasse zu Besuch im Labor war? «Wir legen Platin-Atömchen auf ein Bett aus Kohlenstoff, und dann schauen wir: Was passiert mit denen, wenn man sie aufheizt oder mit Elektronen bestrahlt?»

Das Ganze mittels STEM-Verfahren («Scanning Transmission Electron Microscopy»), indem man mit dem Strahl über die Proben «rastert» – noch dazu mit bis zu 150 Bildern pro Sekunde, damit jede molekulare Regung erfasst und keine Phase übersehen wird. «Das ist eigentlich nicht kompliziert; es hat nur vorher noch niemand gemacht», sagt der Laborchef. «Und niemand hat dieses «Superfast Scanning» gewagt.»

Die Aufnahmen hat das Team zu kurzen Videos zusammengeschnitten. Sie zeigen, wie sich unterschiedliche Platinstrukturen bilden: geordnete Cluster mit 6 bis 25 Atomen – darunter oft mit einer dicht gepackten Struktur, die Platin auch im massiven Zustand hat. Im nächsten Schritt versuchten es die Fachleute

in der komplexeren Umgebung einer Flüssigkeit, wo sich ähnliche Phänomene zeigten: Atome formierten sich in einem «quasi-geschmolzenen, kristallinen Zustand», wie die Fachleute das nennen.

Wie würde Rolf Erni das seinem Sohn erklären? Dass die Materie in diesem Zustand in unterschiedlichen Formen «wobbert»? «Ja, genau», nickt er – und findet rasch ein präziseres Bild. «Oder so, als würde man einen Haufen magnetischer Kügelchen in der Hand verformen. Und dabei entstehen dann ab und zu geordnete Gebilde.»

VIelfALT ALS FORSCHERTUGEND

Über solchen Grundlagen grübeln, Industrieaufträge, Dutzende Empa-Forschende aus anderen Abteilungen schulen, damit sie die Elektronenmikroskope für ihre Arbeit nutzen können: Forscher und zugleich Helfer sein – ist das des Guten

«Als würde man einen Haufen magnetischer Kügelchen in der Hand verformen.»

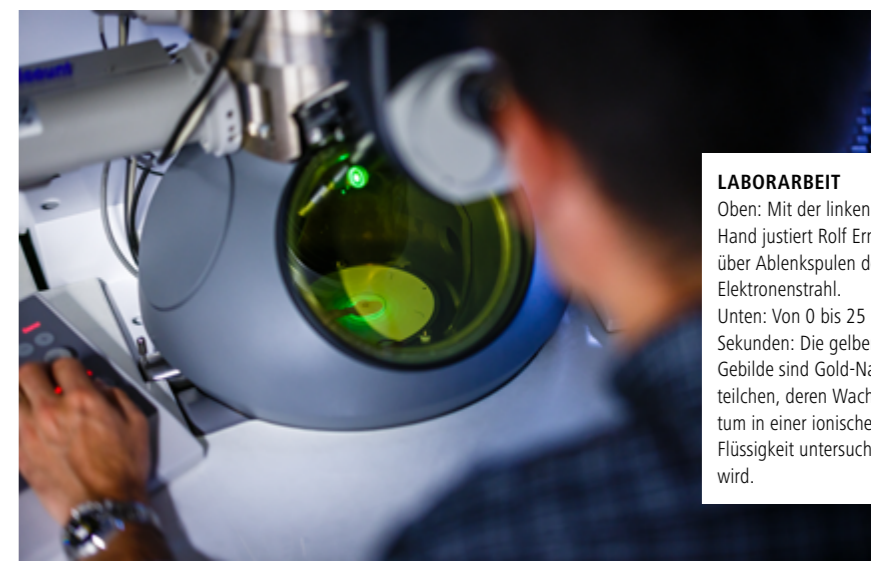
nicht zu viel? Nein, meint der Laborleiter; im Gegenteil: Vielfältige Einblicke findet er interessant für sein Team, das er ab 2009 aufgebaut hat – damals ein Schlüsselreiz dafür, bei der Empa anzufangen.

Gestartet ist das Labor mit 2,5 Vollzeitstellen, heute sind es rund zehn. Ob für Hochleistungsbatterien, neuartige Legierungen oder CO2-neutrale Zemente der Zukunft: Der Bedarf für die Expertise von Mikroskopikern wird weiter steigen – und bei Diskussionen in der Fachwelt über künftige «Service Center» setzt sich Rolf Erni auch für unabhängige Forschung ein. Natürlich: Es ist wichtig, Zentren zu haben, damit

ELEKTRONENMIKROSKOPIE AN DER EMPA

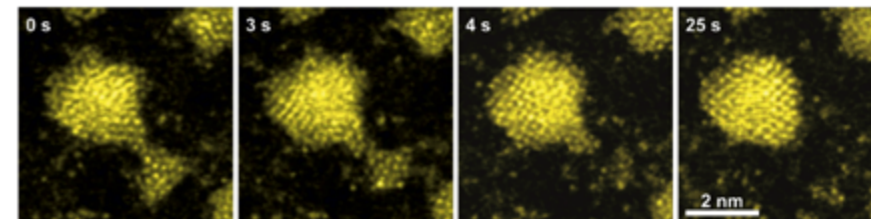
An der Empa stehen aktuell vier Geräte im Einsatz. Da sind zum einen zwei Rasterelektronen-Mikroskope, die den Strahl gezielt über das Untersuchungsobjekt bewegen; die Wechselwirkung der Elektronen mit der Probe wird zu einem Bild verrechnet. Diese Geräte dienen vorrangig zu Analysen von Materialien. Die zwei Transmissionselektronen-Mikroskope arbeiten nach einem anderen Grundprinzip: Die Elektronen durchdringen den hauchdünn

präparierten Teil der Probe, als würde man eine Folie durchleuchten, und erzeugen das Bild darunter – je nach Verfahren bis zu atomarer Auflösung. Diese Geräte werden vor allem in der Forschung eingesetzt. Neben dem «Cluster»-Projekt zu Entstehung und Wachstum von Kristallen, das etwa für Katalysatoren bedeutsam ist, befasst sich das Empa-Team mit komplexen Oxiden, die bei Technologien wie neuartigen elektronischen Bauteilen und Speichermedien eine wichtige Rolle spielen.



LABORARBEIT

Oben: Mit der linken Hand justiert Rolf Erni über Ablenkspulen den Elektronenstrahl. Unten: Von 0 bis 25 Sekunden: Die gelben Gebilde sind Gold-Nanoteilchen, deren Wachstum in einer ionischen Flüssigkeit untersucht wird.



kleinen und grossen Schritte bahnen den Weg für heutige Projekte wie «Cluster» des Horizon2020-Forschungsprogramms der EU – mit einer faszinierenden Frage: Wie entsteht Materie? Oder präziser: Wie bilden sich die ersten «Keime» von Festkörpern wie Kristallen?

Ein blinder Fleck in der Forschung – und eine Chance für das Empa-Team. «Wenn man solche Prozesse verstehen würde, könnte man sie vielleicht kontrollieren»,

sagt der Forscher mit hörbarer Begeisterung. «Und dann wäre es vielleicht auch möglich, Materialien mit günstigen Eigenschaften gezielt wachsen zu lassen. Oder sogar solche, die in der Natur gar nicht vorkommen.» Der Weg dahin ist natürlich noch weit, setzt er hinzu. Wenn es einen gibt ... – Grundlagenforschung.

EIN GUTER ERKLÄRER

Die ersten Schritte hat das Team im Labor mit Platin-Atomen gemacht, weil

Foto: Nicolas Zonvi

Fotos: Empa, Nicolas Zonvi

die Leute Messungen machen lassen können, findet er – aber eben auch, etwas Neues auszuprobieren zu können, sagt er, «und dafür auch die Freiheit zu haben, nicht jede Mikroskop-Stunde in Rechnung stellen zu müssen».

In der Elektronenmikroskopie ist das Werkzeug mit seinen Chancen und Tücken schliesslich zugleich Forschungsobjekt. Tüfteln an neuen Verfahren

gehört untrennbar dazu – und talentierter Nachwuchs mit Kreativität und dem nötigen Perfektionismus ist so wertvoll wie in jeder anderen Disziplin. «Da hast du dann super ausgebildete Leute in deinem Team und die machen nur noch Service?», sagt Rolf Erni. «Das kann es ja nicht sein.» ■

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s299

GIFTQUELLE IM IDYLL

Im Flüsschen Spöl, ganz im Süden von Graubünden, liegen Sedimente, die mit PCB belastet sind. Die Chemikalie stammt aus dem 50 Jahre alten Korrosionsschutzanstrich eines Wasserkraftwerks; sie fließt mit dem Wasser des Spöl bergab – bis ins Schwarze Meer. Nun muss das Flüsschen saniert werden. Umstritten ist, wie weit dies geschehen muss und wer dafür zahlt. Analysen der Empa spielen dabei eine zentrale Rolle: Sie zeigen, wieviel PCB an welchen Stellen des Spöl verborgen ist.

Text: Rainer Klose

Glück und Unglück liegen in der Wildnis eines Nationalparks oft eng beieinander. Am 20. September 2020 fand ein Parkwächter im Schweizer Nationalpark einen toten Uhu am Rand eines Wanderwegs neben dem Flüsschen Spöl. Der Vogel hatte mit Sicherheit ein unglückliches Ende: Ein Flügel war gebrochen, und der Uhu war auf 1,3 Kilogramm abgemagert, weniger als die Hälfte des Normalgewichts, wie sich bei der späteren Untersuchung zeigte. Dass der Vogel überhaupt gefunden wurde, war dagegen Glück. Normalerweise werden tote Tiere in der Wildnis innerhalb von Stunden von Füchsen oder Raubvögeln abtransportiert und verspeist.

Nun kam die Sache ins Rollen. Der Kadaver wurde am Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin der Universität Bern untersucht. Um allfällige Giftrückstände im Körper des Vogels zu erkennen, sandten die Spezialisten die Eingeweide des Uhus an die Empa. «Das Probematerial war schon nicht mehr ganz so frisch»,

erinnert sich Markus Zennegg, Chemiker in der Abteilung «Advanced Analytical Technologies». Doch als er die ersten Proben im Massenspektrometer untersuchte, wunderte er sich. «Das Gerät zeigte Konzentrationen, die ich nicht für möglich gehalten hätte. Die Belastung an besonders toxischen polychlorierten Biphenylen (PCB) in diesem Vogel lag bei 20 Mikrogramm pro Kilogramm Fett – das ist tausendfach über den normalen Werten für Wildtiere.» Zennegg musste die Proben nochmals verdünnen und ein weiteres Mal durch seine Maschine schicken, um die Konzentration überhaupt korrekt bestimmen zu können.



SCHADSTOFFE AUS WASSERKRAFTWERK
Das PCB im Uhu aus dem Nationalpark kam indes nicht ganz unerwartet. Das Flüsschen Spöl, an dem der Vogel gefunden wurde, bezieht sein Wasser aus dem Lago di Livigno. Der See wird durch die Staumauer Punt da Gall aufgestaut, die der Engadiner Kraftwerke AG (EKW) gehört. Und genau da liegt das Problem: Beim Bau der Staumauer in den späten

1960er-Jahren wurde PCB-haltige Korrosionsschutzfarbe eingesetzt, die seitdem langsam abgetragen wird und das Wasser am Spöl verunreinigt. Auch hier liegen Glück und Unglück wieder nah beieinander: 1970 wurde die Staumauer samt Kraftwerk in Betrieb genommen. Nur zwei Jahre später, 1972, wurden in der Schweiz PCB-haltige Stoffe «in offenen Systemen» verboten. Doch da war

die Staumauer bereits fertig – und gewissermassen nagelneu. 50 Jahre lang trug das Stauwasser den Schadstoff ganz langsam flussabwärts und lagerte ihn in Sandbänken und Überflutungsflächen ab. Teilweise reicht die Belastung bis zu einem halben Meter tief ins Sediment.

Möglicherweise wurde bereits 2013 bei einer Schlammflut im Spöl eine erste, grössere Welle PCB in den Sedimenten verteilt. Ein zweiter Vorfall ereignete sich 2016: Eine Sanierungsfirma lagerte die Abfälle von Sandstrahl-Arbeiten in der Staumauer, die wurden durch einen Sturm weggeblasen und in den Spöl getragen. Die Kraftwerksgesellschaft meldete diesen Unfall der Umweltbehörde. Seither begleitet die Empa den Fall. Markus Zennegg analysiert Fische und hat spezielle, hochempfindliche Passivsammler entwickelt, die den PCB-Gehalt im Wasser des Stausees messen können. Seit 2017 ist der Verzehr von Fischen aus dem

STAUMAUER PUNT DA GALL

Die Staumauer Punt da Gall am Lago di Livigno wurde 1970 fertiggestellt. Einige der wasserführenden Rohre sind mit PCB-haltiger Rostschutzfarbe geschützt, was damals noch zulässig war.

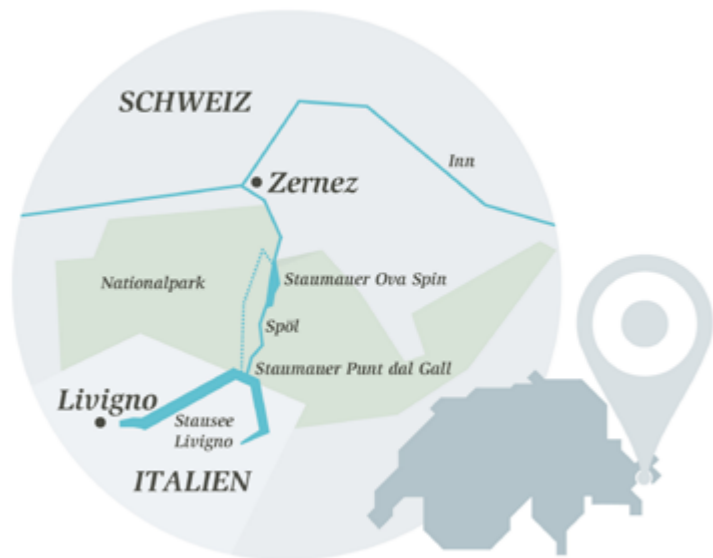
Spöl verboten: Die Fische im Nationalpark Schweiz überschreiten den für Lebensmittel zulässigen PCB-Wert um das Vierfache.

AN DER SPITZE DER NAHRUNGSKETTE
Das konnte der Uhu natürlich nicht ahnen. Ähnlich wie andere Raubtiere, etwa Fischotter, Füchse und Bären, steht er am oberen Ende der Nahrungskette. PCB sind fettlösliche Schadstoffe, die sich im Fettgewebe von Fischen anreichern. Ernährt sich der Uhu hauptsächlich von Fisch aus dem Spöl, dann wird er zum Kandidaten für eine chronische Vergiftung. Es gibt in der Gruppe der PCB verschiedene Substanzen. Die Empa wies in dem toten Uhu aus dem Spöltal vor allem PCB 126 nach, einen Stoff, der nur rund zehnfach weniger giftig ist als berüchtigte Seveso-Dioxin TCDD. Der Stoff schwächt das Immunsystem und den Hormonstoffwechsel, schädigt Fortpflanzungsorgane und kann Krebs verursachen.

Auch der Mensch ist von der PCB-Belastung betroffen. Die Chemikalie wird in der Umwelt praktisch nicht abgebaut und ist jahrhundertlang unterwegs. Die «European Food Safety Agency» (EFSA) ist der Auffassung, dass ein Mensch pro Woche maximal zwei Picogramm solcher dioxin-ähnlichen PCB pro Kilogramm Körpergewicht aufnehmen sollte. Der Wert berechnet sich aus der Spermienqualität. Schweizer Bürger nehmen bereits heute 14 Picogramm PCB pro Woche auf – also siebenmal mehr als die EFSA-Empfehlung.

SANIERUNG ERFOLGREICH GEPROBT

Was also ist zu tun? Darüber scheiden sich die Geister. Alle Beteiligten – die Kraftwerksgesellschaft EKW, das Umweltamt des Kantons Graubünden und die Verwaltung des Schweizerischen Nationalparks – sind sich einig, dass die Zeitbombe PCB am Oberlauf



TOSBECKEN
Das Tosbecken hinter der Staumauer wurde 2017 probeweise saniert: Feine Sandkörner wurden herausgefiltert, in einem Kieswerk ausgebrannt und wieder eingebaut.

des Flüsschens Spöl baldmöglichst entschärft werden sollte. Immerhin läuft das Wasser von dort in den Inn, dann vorbei an Innsbruck, Kufstein, Rosenheim und Passau in die Donau – und von dort ins Schwarze Meer.

Die ersten 60 Meter hinter der Staumauer, das sogenannte Tosbecken, sind bereits 2016 probeweise saniert worden. «Man hat den feinen Sand mit Korngrößen unter 3 Millimeter herausgefiltert, in einem Kieswerk ausgebrannt und dann wieder ins Becken eingebaut», erläutert Ruedi Haller, Direktor des Schweizerischen Nationalparks. «Mit dieser Methode lässt sich rund 90 Prozent der PCB-Belastung erfolgreich entfernen.»

Die Frage bleibt, wie viele Kilometer des Flüsschens Spöl auf diese Weise saniert werden müssen. Die Umweltbehörde des Kantons Graubünden verfügte im Februar 2021 eine Sanierung des Oberlaufs des Spöl auf einer Länge von 2,9 Kilometern. Die Nationalparkverwaltung verlangt dagegen eine Sanierung des ganzen Flusslaufs auf 5,8 Kilometern.

WER BEZAHLT WOFÜR?

Es kommt zum Rechtsstreit zwischen der Kraftwerksgesellschaft EKW, dem Schweizerischen Nationalpark und dem Umweltamt des Kantons Graubünden. Die EKW hatte bereits angeboten, die vom Kanton angeordnete Sanierung vorab zu finanzieren und den Streit um die Kosten später zu klären. Unklar ist vieles: Muss die Sanierungsfirma für den Unfall von 2016 aufkommen? Wird der Fall als industrielle Altlast behandelt oder nach den Gesetzen des Gewässerschutzes? Michael Roth, der Direktor der EKW, sieht es so: «Der Fall Spöl ist mit anderen bekannten Umweltbelastungen kaum vergleichbar. Entsprechend können die Behörden nicht auf andere vergleichbare Fälle zurückgreifen, was sich negativ auf die Rechtssicherheit auswirkt. Es wird unumgänglich sein, dass die eine oder andere Frage durch Gerichte geklärt werden.»

Weiter flussabwärts sei die PCB-Belastung zwar nicht mehr so gravierend wie am Oberlauf, aber trotzdem noch deutlich zu hoch für einen Nationalpark. Nationalparkdirektor Haller denkt bei seiner

Forderung nach Totalsanierung nicht nur an das Wasser in den Flüssen, sondern gerade an Wildtiere, die das Gift in ihren Körpern sammeln. «Sterben Tiere, werden ihre Reviere aus anderen Gegenden besetzt, dort verdünnt sich die Population, und das Spöltal wirkt wie eine Populationssenke. Der vergiftete Spöl kann damit weitreichende Auswirkungen haben, wenn wandernde Tiere das PCB über weite Gebiete verschleppen.» Das aber sei genau das Gegenteil von dem, was ein Nationalpark laut Gesetz sein sollte: Ein Ort, an dem seltene Tierarten einen intakten Lebensraum vorfinden und andere Populationen ausserhalb des Nationalparks positiv beeinflussen.

BESUCH LOHNT – MÖGLICHST BALD

Die Empa wird die Belastung der Fische und Wildtiere im Nationalpark weiter mit chemischen Analysen begleiten. Ein Besuch am Flusslauf lohnt sich eher früher als später: Sobald die Sanierung beginnt, werde sich der Spöl für zwei bis drei Jahre in eine Baustelle verwandeln, sagt Nationalparkdirektor Haller. «Wir werden mit Baggern und Dumpern

möglichst im Flussbett selbst bleiben, um möglichst wenig der Umgebung zu zerstören. Ein mobiles Kieswerk wird mit der Baustelle wandern, den Feinsand aus den belasteten Sedimenten herausfiltern und vor Ort ausbrennen, damit wir ihn direkt wieder einbauen können.»

Am Ende soll das Flussbett gezielt mehrfach mit Wasser aus dem Stausee überflutet werden, um den sauberen Sand neu zu verteilen und die Spuren der Bauarbeiten zu tilgen. «Einige Jahre später wird die Natur sich die Landschaft zurückerobert haben. Dann aber ohne PCB-Belastung», sagt Ruedi Haller. «Dann können wir den Nationalpark guten Gewissens an die nächsten Generationen weiterreichen.» ■



WARNSIGNAL
An einem Wanderweg nahe des Flüsschens Spöl fand ein Parkwächter diesen Toten Uhu.



SANIERUNG
Nach Ende der Bauarbeiten darf die Natur das Flussbett zurückerobern. Das Bild stammt aus der Probesanierung 2017.

Grafik: Empa

Fotos: Schweizerischer Nationalpark

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter: www.empa.ch/web/s502

WASSERSTOFF TANKEN – AN DER OLMA

Wie sieht die Tankstelle der Zukunft aus? Mit steigendem Ausbau der Photovoltaik-Anlagen wird in Sommern ein Überschuss an erneuerbarer Energie entstehen, die sich in Wasserstoff umwandeln lässt – ein Treibstoff, der insbesondere für schwere Fahrzeuge wie Lastwagen geeignet ist. Wie sich Wasserstoff gewinnen und tanken lässt, zeigt die Empa mit Partnern an einem Stand an der OLMA in St. Gallen vom 7. bis 17. Oktober. Neben wissenswerten Informationen zu nachhaltigen Treibstoffen und Antworten auf Fragen bekommen die Besucherinnen und Besucher auch Gelegenheit, selbst Hand anlegen – mit einem Tanksimulator und dem «Wasserstoff-Auto» Hyundai NEXO Fuel Cell. Zudem wird ein E-Bike der Firma Linde ausgestellt, das mit H2 betrieben wird.



www.empa.ch/web/move

HOFFUNGSTRÄGER

Wasserstoff ist heute noch selten im Einsatz, doch in Zukunft könnte er viel zu einer nachhaltigen Mobilität beitragen.

«SWISS GREEN ECONOMY SYMPOSIUM» MIT EMPA-EXPERTISE

GUT BESUCHT
Gian-Luca Bona gibt als «Change-maker» Impulse für eine nachhaltige Energieversorgung.



«Nachhaltigkeit braucht geniale Köpfe»: Unter diesem Motto fand vom 1. bis 3. September in Winterthur das «Swiss Green Economy Symposium» statt – mit Fachleuten aus Wirtschaft, Forschung und Politik. Die Perspektive der Empa brachte Direktor Gian-Luca Bona bei einer Veranstaltung zur nachhaltigen Energieerzeugung und Beschaffung von mineralischen Ressourcen ein. In seinem «Changemaker Impulse»-Referat skizzierte er den Bedarf an mehr und anderen Materialien für die Produktion erneuerbarer Energie – mitsamt der Notwendigkeit, Energie umweltfreundlich zu ernten, zu speichern und für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft zu nutzen. Was Empa-Forschende dazu beitragen, erfuhr das Publikum anhand konkreter Beispiele wie gedruckter, biologisch-abbaubarer Batterien. An der anschließenden Diskussion beteiligten sich Anna Krutikov, Nachhaltigkeitsverantwortliche von Glencore, Christoph Wiedmer, Co-Geschäftsleiter der Gesellschaft für bedrohte Völker Schweiz, und Monica Rubiolo, Leiterin Handelsförderung beim Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO).

<https://sges.ch/>

Fotos: Quade & Zuffli AG / LifeFair, Swiss Green Economy Symposium

Foto: Empa

WINZIGER ERDBALL AUS KERAMIK



AUSGEZEICHNET

Das Globus-Bild, das Empa-Forscherin Evgeniia Gilshtein gestaltet hat.

An der «Swiss NanoConvention» im Juni wurden nicht nur Poster und ein Start-up-Unternehmen ausgezeichnet, sondern auch Bilder: eine Hommage an gelungene Präsentationen über Nanoforschung. Den zweiten Platz vergab die Jury an Empa-Forscherin Evgeniia Gilshtein – für eine farbige Kugel mit einem Durchmesser von nur einem Zehntelmillimeter. Die unregelmässige Kornstruktur entstand durch ein Glühverfahren mit Blitzlampen, das nur etwa zwei Millisekunden dauert. Ursprünglich bestand die Kugel aus mikrometergrossen Aluminiumoxid-Teilchen und nanometergrossen Eisenoxidteilchen, vermischt in Wasser. Das Ergebnis inspirierte Gilshtein dazu, sie mit Bildbearbeitung in unseren Planeten zu verwandeln – passend zum Jahr 2021, das die UN zum «Internationalen Jahr des Friedens und des Vertrauens» erklärt hat. Der erste Platz ging an Nadine Leisgang von der Universität Basel; den dritten Rang belegte Filippos Kapsalidis von der ETH Zürich.

www.empa.ch/web/s207

VERANSTALTUNGEN

27. OKTOBER 2021

Forum: Future of Industries 2021

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.fuw-forum.ch/future-of-industries-2021

Gottlieb Duttweiler Institut

5. NOVEMBER 2021

Kurs: Tribologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/tribologie

Empa, Dübendorf

17. NOVEMBER 2021

Kurs: Neue Trends in der Füge-technologie

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/fuegetech

Empa, Dübendorf

25. NOVEMBER 2021

Technology Briefing: Advanced Manufacturing

Zielpublikum: Forschung und Industrie

www.empa.ch/web/tb/am

Paul Scherrer Institut, Villigen

25. NOVEMBER 2021

Seminar: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe im Bauwesen

Zielpublikum: Baufachleute, ArchitektInnen

www.empa-akademie.ch/rfa

Empa, Dübendorf

30. NOVEMBER 2021

Workshop: Analytik als Antwort auf material-spezifische Fragen

Zielpublikum: Industrie und Forschung

www.empa-akademie.ch/solserv

Empa, St. Gallen

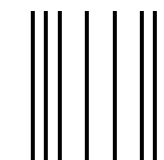
Die komplette Liste der Veranstaltungen finden Sie unter: www.empa-akademie.ch.

KOSTENLOSES ABO

Lesen Sie Empa Quarterly

Einfach Postkarte ausfüllen – und schon liegt unser Forschungsmagazin viermal jährlich in deutsch, englisch oder französisch bei Ihnen im Briefkasten. Völlig kostenlos.

Oder online unter www.empaquarterly.ch



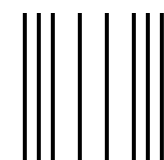
A

Nicht frankieren
Ne pas affranchir
Non affrancare

Geschäftsantwortsendung Invio commerciale-risposta
Envoi commercial-réponse



Empa
Redaktion Empa Quarterly
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Switzerland



A

Nicht frankieren
Ne pas affranchir
Non affrancare

Geschäftsantwortsendung Invio commerciale-risposta
Envoi commercial-réponse



Empa
Redaktion Empa Quarterly
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Switzerland

JETZT KOSTENLOS ABONNIEREN

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION



www.empa.ch/web/s604/subscribenews

GESCHENKABO FÜR:

Englisch

Deutsch

Französisch

Anrede Frau Herr

Vorname, Name _____

Firma _____

Strasse _____

PLZ, Ort _____

Land _____

E-Mail _____

Empfehlung durch _____

Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Ja, ich möchte Empa Quarterly kostenlos abonnieren.

Englisch

Deutsch

Französisch

Ich habe eine neue Adresse: Abonnennten-Nr. _____

Anrede Frau Herr

Vorname, Name _____

Firma _____

Strasse _____

Postfach _____

PLZ, Ort _____

Land _____

E-Mail _____

Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.