

Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #89 II OKTOBER 2025

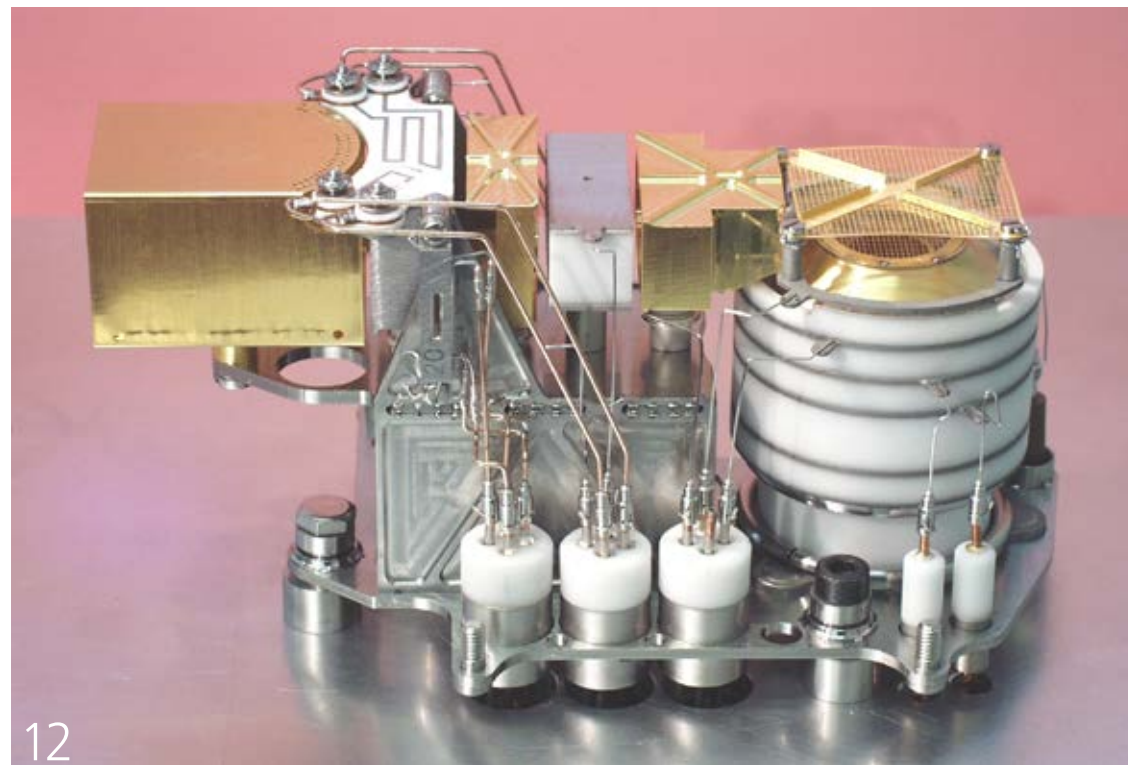
FOKUS: WELTRAUMFORSCHUNG

UNENDLICHE MÖGLICHKEITEN

MATERIALIEN VON DER ISS
EMISSIONSMESSUNGEN IM ORBIT
KOMPONENTEN FÜR RAUMSONDEN

[INHALT]

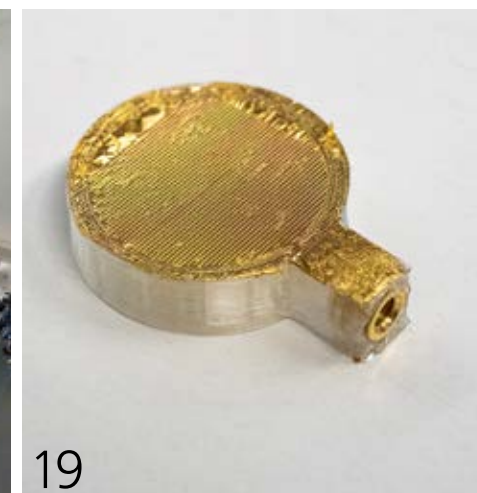
[FOKUS: WELTRAUMFORSCHUNG]



12



26



19



22



16

Fotos: Empa, NASA

[FOKUS]

10 INTERVIEW
«Wir brauchen eine gewisse kritische Masse»

12 FÜGE-
TECHNOLOGIEN
Von Dübendorf ad astra

16 METALLISCHE
GLÄSER
Materialien aus dem All

19 SPIN-OFF
Alleskönner mit Hertz

22 «EURECA»
Der durchleuchtete Satellit

24 EMISSIONS-
MESSUNGEN
Wer hat denn da den Dreck gemacht?

26 DÜNNSCHICHT-
TECHNOLOGIE
Ganz schön dünn aufgetragen

[THEMEN]

08 «MOVE-MEGA»
Treibstoff statt Treibhaus

28 ZUKUNFTSFONDS
Aufs Auge gedruckt

30 GRÜNE
ELEKTRONIK
Die hölzerne Maus

32 ELEKTRO-
MOBILITÄT
Günstig oder grün? So geht beides!

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

34 UNTERWEGS

[TITELBILD]



Nur die wenigsten Satelliten schaffen es unversehrt zurück auf die Erde. Der europäische Forschungssatellit «EURECA» ist einer davon – hier fotografiert bei seiner Rückholung durch die Raumfähre «Endeavour». Empa-Forschende haben die Struktur von «EURECA» mittels fortschrittlicher Röntgenmethoden untersucht (S. 22).

Foto: NASA

[IMPRESSUM]

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

REDAKTION Empa Kommunikation

ART DIREKTION PAUL AND CAT.

www.paul-and-cat.com

KONTAKT Tel. +41 58 765 47 33

redaktion@empa.ch

www.empaquarterly.ch

VERÖFFENTLICHUNG

Erscheint viermal jährlich

PRODUKTION

anna.ettlin@empa.ch

myclimate
Wirkt. Nachhaltig.
Drucksache
myclimate.org/01-25-691553



ISSN 2297-7406

Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

VÖLLIG LOSGELÖST,
ABER ALLES ANDERE
ALS ABGEHOBEN

Liebe Leserin,
lieber Leser



Die Empa erobert das All. Naja, zumindest unsere Forschung. So sind etwa verschiedene Raumsonden der «European Space Agency» (ESA) mit Empa-Technologie an Bord derzeit auf dem Weg zu ihren extraterrestrischen Zielen (S. 12). Und auf der internationalen Raumstation ISS nutzen Astronauten die Schwerelosigkeit, um für die Empa neuartige Materialien zu entwickeln (S. 16). Andere Satelliten setzen Empa-Forschende direkt ein, um dank präziser Spurengasanalytik im Orbit der Erde die Quellregionen diverser Schadstoffe, etwa Treibhausgase, ausfindig zu machen – und so internationale Umweltvereinbarungen zu überwachen (S. 24).

Um die Forschungsaktivitäten im Bereich «Space Technologies» zu bündeln, hat die Empa ihr Partnernetzwerk jüngst ausgebaut. Nebst bewährten Kooperationen, etwa mit der ESA und der Universität Bern, hat die Empa als Mitglied des «Center for Space and Aviation Switzerland and Liechtenstein» (CSA) neue Partnerschaften etabliert, etwa mit «Space Florida», mit der das CSA einen gemeinsamen «Space Hub» am Innovationspark in Dübendorf aufbauen will (S. 10).

Dass Materialforschung für Weltraumanwendungen auch «hier unten» Vorteile bringt, zeigen die komplexen Mehrschicht-Materialien, die Empa-Forschende derzeit optimieren (S. 26). Damit lässt sich das empfindliche «Innenleben» von Satelliten vor extremen Temperaturschwankungen abschirmen, andererseits eignen sich die Materialien auch zur Herstellung flexibler Elektronik für faltbare Elektro-Geräte, smarte Textilien und medizinische Sensoren.

Viel Vergnügen beim Lesen!
Ihr MICHAEL HAGMANN

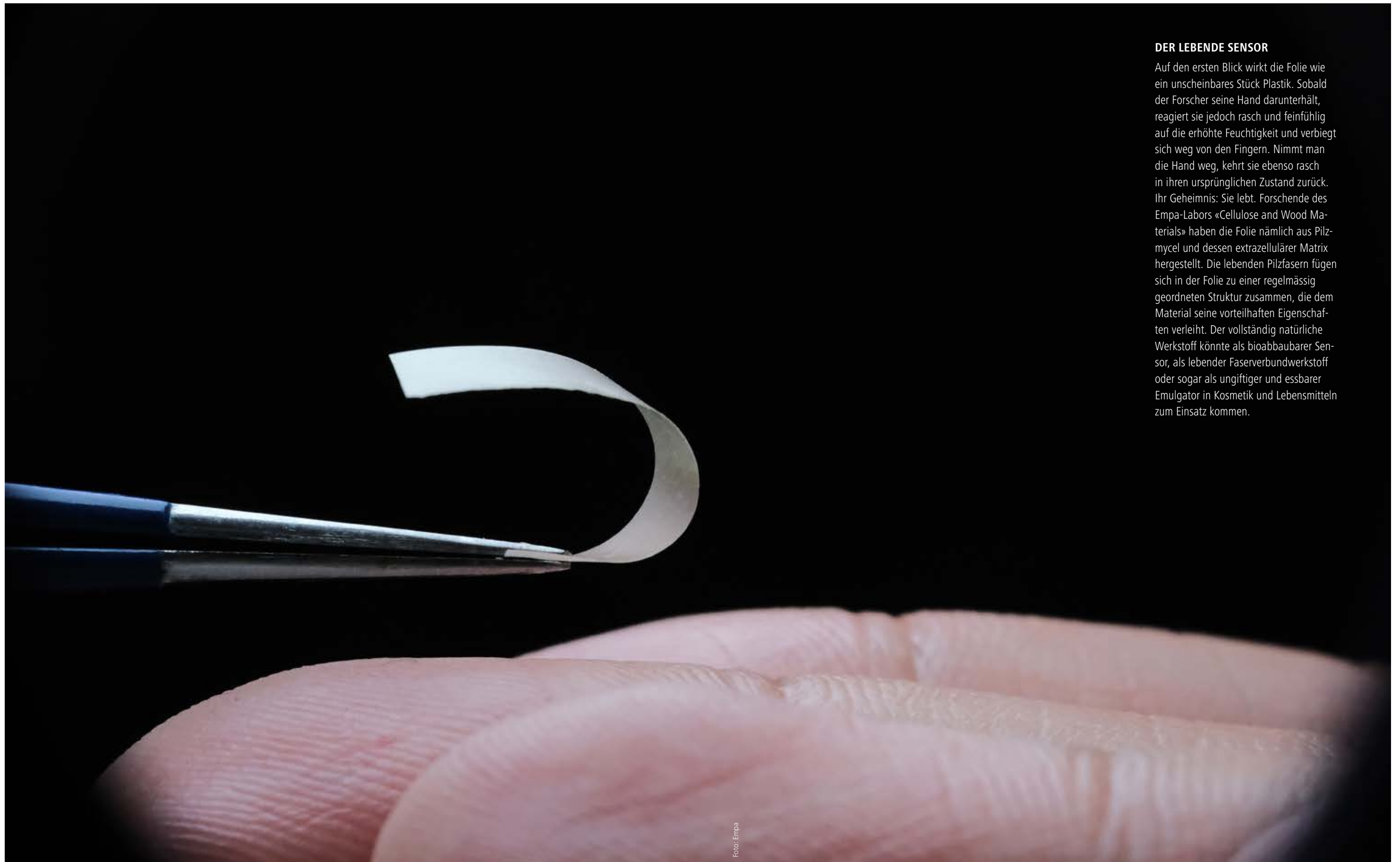


Foto: Empa

DER LEBENDE SENSOR

Auf den ersten Blick wirkt die Folie wie ein unscheinbares Stück Plastik. Sobald der Forscher seine Hand darunterhält, reagiert sie jedoch rasch und feinfühlig auf die erhöhte Feuchtigkeit und verbiegt sich weg von den Fingern. Nimmt man die Hand weg, kehrt sie ebenso rasch in ihren ursprünglichen Zustand zurück. Ihr Geheimnis: Sie lebt. Forschende des Empa-Labors «Cellulose and Wood Materials» haben die Folie nämlich aus Pilzmycel und dessen extrazellulärer Matrix hergestellt. Die lebenden Pilzfasern fügen sich in der Folie zu einer regelmässig geordneten Struktur zusammen, die dem Material seine vorteilhaften Eigenschaften verleiht. Der vollständig natürliche Werkstoff könnte als bioabbaubarer Sensor, als lebender Faserverbundwerkstoff oder sogar als ungiftiger und essbarer Emulgator in Kosmetik und Lebensmitteln zum Einsatz kommen.

UMFASSENDER «KATALOG» BEDENKLICHER CHEMIKALIEN IN KUNSTSTOFFEN



PLASTOSPHÄRE
Die Studie identifiziert 16'325 Chemikalien in Kunststoffen. Darunter sind mindestens 4'200 bedenklich für Gesundheit und Umwelt.



Alle Kunststoffe, von Lebensmittelverpackungen bis hin zu Autoreifen, enthalten Hunderte von Chemikalien, die in Lebensmittel, Wohnräume und die Umwelt gelangen können. Eine Studie im Wissenschaftsmagazin «Nature» mit Beteiligung der Empa und der Eawag bietet einen ersten umfassenden und systematischen Überblick über sämtliche Chemikalien, die in Kunststoffen enthalten sein können, ihre Eigenschaften, Verwendungszwecke und Gefahren. Ausserdem liefert die Studie einen wissenschaftlichen Ansatz zur Identifizierung bedenklicher Chemikalien. Dies ermöglicht es Wissenschaftlern und Herstellern, sicherere Kunststoffe zu entwickeln, und politischen Entscheidungsträgern, eine ungiftige Kreislaufwirtschaft zu fördern.

EIN KINDERBUCH MIT IDEEN FÜR EINE PLANETENVERTRÄGLICHE ZUKUNFT

Wie könnte ein nachhaltiges Leben für alle aussehen? Gemeinsam mit Schulkindern und der Pädagogischen Hochschule St. Gallen (PHSG) haben Empa-Forschende ein illustriertes Kinderbuch zur Kreislaufwirtschaft namens «Zukunfts(K)reise» herausgebracht, das zum Nachdenken anregen möchte. Es richtet sich an Kinder der 3. bis 6. Primarschulklasse. Für die Nutzung an Schulen haben die Forschenden der PHSG umfassendes Begleitmaterial entwickelt. Das Buch steht als kostenloses E-Book zur Verfügung und kann als hochwertig gedruckte Ausgabe bei der Empa und der PHSG bezogen werden.



ZUKUNFTS(K)REISE
Das Kinderbuch wurde von Kindern und Forschenden gemeinsam erarbeitet.



Fotos: Adobe Stock, Empa

Fotos: Empa

«OSCAR» DER SCHWEIZER INGENIEURLEISTUNGEN FÜR KLIMAFREUNDLICHEN BETON

KLIMAFREUNDE
Mateusz Wyrzykowski (links) und Nikolajs Toropovs mit ihrem CO₂-speichernden Beton.



Der «Building Award» würdigt herausragende Ingenieurleistungen im schweizerischen Bauwesen – in Anlehnung an den Oscar der Filmwelt in mehreren Kategorien. In der Kategorie «Forschung, Entwicklung, Start-ups» wurde dieses Jahr die Empa für ihren CO₂-speichernden Beton ausgezeichnet, dem Kohlenstoff-Pellets beigemischt sind. Die Empa-Forschenden Pietro Lura, Mateusz Wyrzykowski, Nikolajs Toropovs, Daniel Grossegger und Frank Winnefeld aus der Abteilung «Beton und Asphalt» haben den innovativen Beton als Kohlenstoffsénke entwickelt – ein vielversprechender Ansatz, um die Emissionen im Bauwesen deutlich zu senken.



«YOUNG 3R INVESTIGATOR AWARD» FÜR EMPA-FORSCHERIN

Das Schweizer 3R-Kompetenzzentrum (3RCC) hat Manon Murdeu, Doktorandin am «Particles-Biology Interactions Lab» der Empa, mit dem «3R Young Investigator Award» ausgezeichnet. Die Jungforscherin hat einen Plazenta-Embryo-Chip entwickelt, mit dem sich toxische Auswirkungen von Chemikalien, Medikamenten und Nanopartikeln während der Schwangerschaft ohne Tierversuche beurteilen lassen. Ihre Arbeit schliesst eine grosse Lücke in der Gesundheitsforschung: den Mangel an Sicherheitsdaten darüber, wie Substanzen auf schwangere Frauen und sich entwickelnde Embryonen wirken.

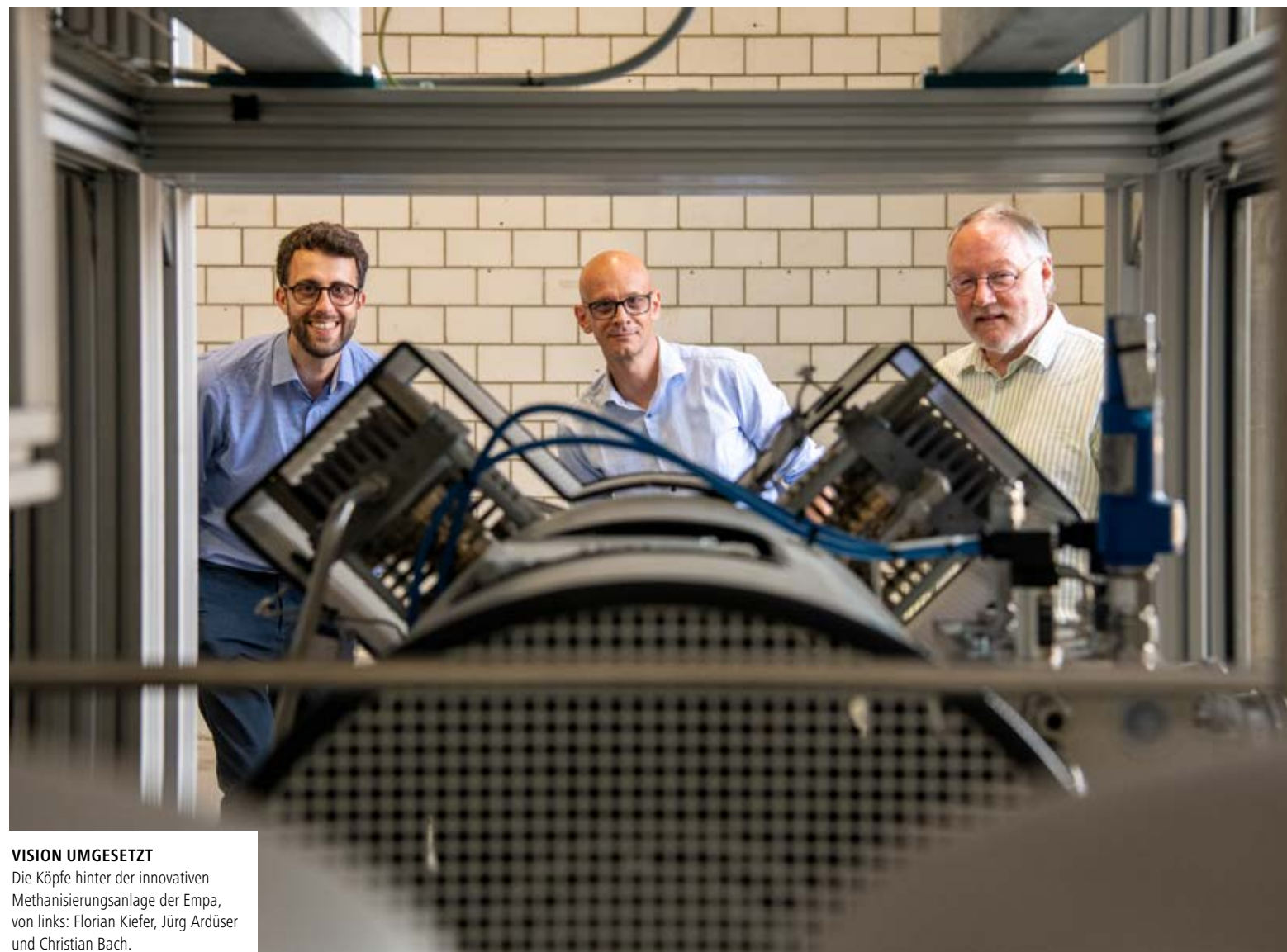


WENIGER TIERVERSUCHE
Empa-Forscherin Manon Murdeu hat einen Plazenta-Embryo-Chip entwickelt.

TREIBSTOFF STATT TREIBHAUS

Die Empa hat eine neuartige Methanisierungsanlage in Betrieb genommen. Das Forschungsprojekt «move-MEGA» demonstriert erstmals im Pilotmassstab die sorptionsverstärkte Methanisierung, eine an der Empa entwickelte Technologie, die den «Power-to-Gas»-Prozess flexibler und robuster macht. Das erzeugte synthetische Methan kann als erneuerbarer Energieträger fossiles Erdgas ersetzen. Zusammen mit der Methan-Pyrolyse lässt sich daraus zudem klimafreundlicher Wasserstoff herstellen.

Text: Annina Schneider



VISION UMGESETZT

Die Köpfe hinter der innovativen Methanisierungsanlage der Empa, von links: Florian Kiefer, Jürg Ardüser und Christian Bach.

Die neue Methanisierungsanlage «move-MEGA» der Empa vereint zentrale Bausteine der Energiewende: Sie produziert Methan aus erneuerbarem Wasserstoff und CO₂ und steigert dabei gezielt die Lastflexibilität des Verfahrens – ein entscheidender Vorteil für die Nutzung schwankender erneuerbarer Stromquellen. Die innovative Demonstrationsanlage zeigt, wie erneuerbarer Solarstrom in direkter Kopplung mit der Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und anschliessend mit CO₂ aus der Umgebungsluft zu synthetischem Methan verarbeitet werden kann – bereit für

die Einspeisung ins Gasnetz. Die direkte Kopplung dieser Prozesse an einem Standort ist in dieser Form einzigartig.

NEUER ANSATZ MIT FOKUS AUF LASTFLEXIBILITÄT UND EFFIZIENZ

Das Herzstück der neuen Anlage bildet die sorptionsverstärkte Methanisierung, bei der Zeolith-Pellets mit definierter Porengrösse als Katalysatorträger fungieren. Diese adsorbieren das bei der Methanisierungsreaktion als Nebenprodukt entstehende Wasser, wodurch das chemische Gleichgewicht zugunsten der Methanentstehung verschoben wird. Dadurch kann der Prozess bei niedrigeren Drücken und

Temperaturen betrieben werden und das gebildete Methan kann ohne aufwendige Nachreinigung direkt genutzt oder ins Gasnetz eingespeist werden.

Zentral bei der Entwicklung des neuen Verfahrens war das Wärmemanagement: Um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten, sind mindestens zwei Reaktoren erforderlich, die abwechselnd Methan erzeugen und regeneriert beziehungsweise getrocknet werden. Für diese Trocknung ist ein ausgefeiltes Wärmemanagement entscheidend, bei dem Abwärme aus der Methanisierung entweder gezielt aus dem Reaktor abgeführt oder im Katalysatorbett

gespeichert werden kann. Das Empa-Team um Florian Kiefer und Andreas Borgschulte hat über fünf Jahre daran gearbeitet, diese Technologie aus der Grundlagenforschung über den Labormassstab bis zu einem funktionsfähigen Demonstrator zu entwickeln.

«Dank der sorptionsverstärkten Methanisierung und dem Wärmemanagement erreichen wir hohe Umsätze und eine deutlich höhere Lastflexibilität als mit konventionellen Verfahren. Das macht die Technologie besonders attraktiv für die direkte Kopplung mit Photovoltaik- oder Windkraftanlagen», erläutert move-MEGA-Projektleiter Florian Kiefer.

Foto: Marion Nitsch

VOM SYNTHETISCHEN METHAN ZUR CO₂-SENKE – NEUE WEGE IM KLIMASCHUTZ

Die in den «Power-to-Gas»-Demonstrator integrierte «Direct-Air-Capture»-Anlage macht es zudem möglich, das für die Methanisierungsreaktion erforderliche CO₂ direkt der Umgebungsluft zu entnehmen. Dadurch schafft der «Power-to-Gas»-Prozess die Voraussetzung für negative CO₂-Emissionen: Das erzeugte Methan kann in einem nachgelagerten Schritt mittels Methan-Pyrolyse in festen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgespalten werden, wie aktuelle Forschungsprojekte an der Empa zeigen. Der feste Kohlenstoff dient als langfristige CO₂-Senke und kann in Baustoffen wie Beton

ÜBER «MOVE-MEGA»

Das Projekt «move-MEGA», das sich der Herstellung von synthetischem Methan aus nachhaltigem Wasserstoff und CO₂ aus der Umgebungsluft widmete, wurde mit der Einweihung der Demonstrationsanlage erfolgreich abgeschlossen. Im Zentrum steht eine von der Empa entwickelte sorptionsverstärkte Methanisierungstechnologie, die erstmals in einer Demonstrationsanlage im Mobilitätsdemonstrator «move» der Empa zum Einsatz kommt. Neben der sorptionsverstärkten Methanisierung liegt ein besonderer Fokus auf der effizienten Nutzung der im Prozess anfallenden Abwärme, die in bestehende Systemkomponenten integriert wird. Das Projekt wurde massgeblich vom ETH-Rat, vom Kanton Zürich, von Glattwerk, Avenegy Suisse, Migros, Lidl Schweiz, Armasuisse und Swisspower unterstützt.

oder Asphalt zum Einsatz kommen. Der gewonnene Wasserstoff eignet sich als Energieträger etwa für industrielle Hochtemperaturanwendungen, die bislang auf fossile Energieträger angewiesen waren und sich nur schwer elektrifizieren lassen. Ein entsprechendes Demonstratorprojekt läuft zurzeit in Zusammenarbeit mit dem Verein zur Dekarbonisierung der Industrie (VzDI) in Zug.

«Die Methanisierung in Verbindung mit der Methan-Pyrolyse eröffnet einen Weg, mit dem die Versorgung mit erneuerbarer Energie und die dauerhafte Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre kombiniert werden können. Das ermöglicht negative CO₂-Emissionen», so Christian Bach, Initiant des move-MEGA-Projekts und Leiter der Empa-Abteilung Chemische Energieträger. Also just der Grundgedanke hinter der Empa-Initiative «Mining the Atmosphere» (S. 35). ■



«WIR BRAUCHEN EINE GEWISSE KRITISCHE MASSE»

Von der Umweltbeobachtung bis hin zur künftigen Mondbasis: Innovative Materialien, Prozesse und Modelle sind unabdingbar für die Raumfahrt. Lorenz Herrmann, Direktionsmitglied der Empa und Leiter des Departements «Moderne Materialien und Oberflächen», erklärt im Interview, wie die Stärken der Empa die Schweizer Raumfahrtindustrie fördern können und warum Zusammenarbeit zentral bleibt.

Interview: Michael Hagmann

Was hat die Empa als Materialforschungsinstitut im All verloren?

Zum einen sind wir bereits seit längerem führend in der Umweltmodellierung und -analytik. Sprich: Wir verknüpfen Beobachtung und Messung von gewissen Gasen aus dem All, etwa Treibhausgase oder Luftschadstoffe, mit hochsensitiver Umweltanalytik und atmosphärischer Modellierung (S. 24).

Und zum anderen steht die Empa natürlich für neuartige Materialien und innovative Produktionstechnologien – in diesem Zusammenhang eben für das Anwendungsfeld «Space Equipment», etwa Satelliten, Komponenten für Weltraumstationen und Forschungsgeräte für wissenschaftliche Missionen. Und all das muss natürlich über Jahre hinweg unter extremen Bedingungen wartungsfrei funktionieren. Das wäre ohne ein enormes materialwissenschaftliches Knowhow schlicht undenkbar.

Damit verknüpft, aber gewissermaßen einen Schritt weiter, ist Materialforschung und -entwicklung in der Schwerelosigkeit, also auf der Internationalen Raumstation ISS oder im Rahmen von Parabelflügen (S. 16). Das

ist sehr grundlagennah, aber natürlich seit je ein Kerngebiet der Empa.

Und zu guter Letzt ein Blick in die Zukunft: das so genannte «in-space manufacturing», also die Idee, Produktionskapazitäten im Weltraum zur Verfügung zu stellen mit der Hoffnung, unter diesen sehr speziellen Bedingungen im All völlig

«Die Empa ist gut darin, wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Anwendungen zu «übersetzen».

andere Materialien mit ganz bestimmten Strukturen und speziellen Eigenschaften herstellen zu können, etwa für Quantencomputer oder zur Chipherstellung.

Und vielleicht noch einen Schritt weiter: Weltraumagenturen haben wieder verstärkt die Vision, eine Station auf dem Mond zu bauen. Dazu muss man das nehmen, was dort eben verfügbar ist. Und dabei ist natürlich ein extrem zirkulärer Ansatz gefragt – genau ein Forschungsgebiet, das die Empa derzeit etwa in unserem Gebäudelabor NEST vorantreibt. Das wäre dann

«Circular Construction» auf einem ganz anderen Niveau. Man sieht, da gibt es etliche Berührungspunkte...

«Space Technologies» ist ein weites Feld. Wo konkret kann die Empa-Forschung einen Beitrag leisten?

Natürlich in erster Linie, wie bereits erwähnt, durch unsere enorme Materialkompetenz, aber auch dadurch, dass wir als Empa Translation sehr gut verstehen, also wie man neuste wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Anwendungen «übersetzen» kann. Nehmen wir zum Beispiel «in-space manufacturing»: Sobald erste Ideen für konkrete Anwendungen vorliegen, könnten wir entsprechende Materialien und Produktionsprozesse entwickeln, die unter diesen ganz speziellen Bedingungen funktionieren.

Die Empa ist seit Juni Mitglied im «Center for Space and Aviation Switzerland and Liechtenstein» (CSA). Was versprichst du dir von dieser Partnerschaft?

Unser primäres Ziel ist der Zugang zu diesem neuen Markt, den Weltraumtechnologien und -anwendungen. In diesem Bereich werden in Zukunft auch Schweizer Firmen zahlreiche neue



Foto: Marion Nitsch

Produkte und Anwendungen entwickeln, und da möchten wir als Empa über diese Allianz natürlich mit dabei sein. Und dann geht es auch um die Sichtbarkeit gegenüber den «Big Playern» in dem Bereich, der ESA und der NASA. Dafür ist eine gewisse kritische Masse unabdingbar, die wir uns durch diese Partnerschaft erhoffen. Was für uns zudem sehr vorteilhaft ist, ist die räumliche Nähe zum Innovationspark gleich um die Ecke hier in Dübendorf.

Gutes Stichwort: Ende Juli haben das CSA, «Switzerland Innovation» und

«Space Florida» vereinbart, am Innovationspark einen gemeinsamen Hub für Forschung und Innovation im Bereich Raumfahrttechnologie aufzubauen. Da herrscht offenbar derzeit eine Art Goldgräberstimmung, wenn es um den Weltraum geht ...

Die gibt es durchaus, etwa ganz konkret im Bereich Satelliten-gestützter Kommunikationstechnologien. Dieser Bereich wird künftig global noch wichtiger werden, als er es ohnehin schon ist, zumal er auch von geostrategischer Bedeutung ist. Da werden wir in Zukunft ziemlich sicher ein Wachstum und

LORENZ HERRMANN

WERDEGANG: Lorenz Herrmann studierte und promovierte in Physik an der Universität Regensburg und der Ecole Normale Supérieure in Paris. 2010 ging er ans ABB-Forschungszentrum in Dättwil, wo er zuletzt das Departement «Energy Technologies» leitete. Seit August 2022 leitet er das Empa-Departement «Moderne Materialien und Oberflächen», seit Januar 2023 auch den Forschungsschwerpunkt «Nanoskalige Materialien und Technologien».

einen entsprechenden Aufschwung sehen. Was sicher auch weitergehen wird – vermutlich im gleichen Rahmen wie bisher –, sind die wissenschaftlichen Weltraummissionen zur Erd- und Weltraumbeobachtung. Denn die sind enorm wichtig, um etwa Klimaphänomene besser zu verstehen. Bei den eher visionären Feldern sind wir derzeit noch auf der Suche nach einer echten «Killer-Anwendung». Wir werden das auf jeden Fall weiter aufmerksam verfolgen.

Wie ist die Zusammenarbeit mit den «Big Players», also etwa mit der ESA?

Wir sind über unsere langjährige Partnerschaft mit der Universität Bern in zahlreichen ESA-Projekten involviert, und das läuft auch sehr gut (S. 12). Seit Mai gibt es eine weitere Verbindung über das neue «European Space Deep-Tech Innovation Centre Switzerland» (ESDI), das von der ESA in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) am Park Innovaare eröffnet wurde und in dessen «Advisory Board» ich bin. Ziel ist es, die Forschungszusammenarbeit mit der ESA zu stärken. ■



VON DÜBENDORF AD ASTRA

Empa-Ingenieure aus der Forschungsabteilung Fügetechnologie und Korrosion pflegen seit über 20 Jahren eine Partnerschaft mit der Universität Bern, bei der sie Komponenten für Messinstrumente für unterschiedliche Raummissionen der Europäischen Weltraumorganisation ESA herstellen. Eine Mission mit Komponenten aus Dübendorf ist bereits erfolgreich abgeschlossen, drei sind derzeit im All unterwegs und zwei weitere befinden sich in Vorbereitung.

Text: Anna Ettlin

1 BEPICOLOMBO

Raumsonde

Start: 2018
Ziel: Umlaufbahn des Planeten Merkur



2

PLATO

Weltraumteleskop

Geplanter Start: 2026
Ziel: Erforschung von erdähnlichen Exoplaneten aus der Erdumlaufbahn



3

CHEOPS

Weltraumteleskop

Start: 2019
Ziel: Erforschung von Exoplaneten aus der Erdumlaufbahn



4

COMET INTERCEPTOR

Raumsonde

Geplanter Start: 2029
Ziel: neu entdeckter Komet oder interstellares Objekt



6

JUICE

Raumsonde

Start: 2023
Ziel: Jupiter und seine Eismonde Ganymed, Kallisto und Europa



5

ROSETTA

Raumsonde

Start: 2004
Ziel: Begleitung von und Landung auf dem Kometen «67P/Churyumov-Gerasimenko»



Sonne

Mars

Jupiter

Erde

Venus

Merkur

Grafik: Empa, ESA

Raumsonden stehen an der Spitze der Ingenieurskunst. Sie müssen leicht und kompakt sein, den Vibrationen beim Raketenstart standhalten, und danach jahrelang ohne jegliche Wartung funktionieren – unter extremen Bedingungen, etwa Vakuum, starke Strahlung und grosse Temperaturschwankungen. Jedes Bauteil der hochkomplexen Sonden hat höchste Anforderungen zu erfüllen.

Hans Rudolf Elsener aus dem Empa-Labor für Fügetechnologie und Korrosion ist sich dieser Verantwortung bewusst. Seit rund 25 Jahren liefert er mit seinen Mitarbeitenden unterschiedliche Komponenten für Messinstrumente für Raumsonden in Zusammenarbeit mit der Universität Bern. Dabei geht es oft um das hochpräzise Verlöten von Metall und Keramik im Hochvakuum. Einige Missionen der Europäischen Weltraumorganisation ESA hatten bereits seine Komponenten an Bord, weitere sind in Vorbereitung. ■

2 PLATO: FERNE ERDEN

«Plato» wird mit seinen 26 Kameras Ausschau nach erdähnlichen Exoplaneten – Planeten in anderen Sonnensystemen – halten, die um besonders helle Sterne kreisen. Die Empa führte Wärmebehandlungen von Komponenten der optischen Einheit des Teleskops durch, die als Träger für Kameralinsen dienen. Die Wärmebehandlung schützt die Bauteile vor Schäden durch Temperaturschwankungen aufgrund von Sonneneinstrahlung. «Plato» startet Ende 2026.



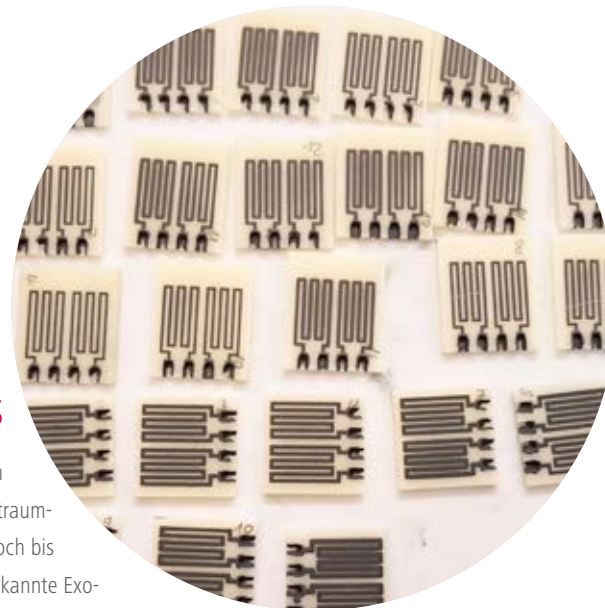
1 BEPICOLOMBO: DER SONNE SO NAH

«BepiColombo», eine gemeinsame Mission der ESA und der japanische Raumfahrtbehörde JAXA, ist erst die dritte Sonde, die Merkur anfliegt. Die Empa stellte Ionenoptik und Heizstrukturen für Instrumente her, die die Partikel in der dünnen Exosphäre des sonnennahen Planeten untersuchen. «BepiColombo» wird die Umlaufbahn von Merkur im November 2026 erreichen.



3 CHEOPS: EXOPLANETEN IM FOKUS

«Cheops» ist ein kompaktes Weltraumteleskop, das noch bis 2026 bereits bekannte Exoplaneten genauer vermessen soll, um mehr über ihre Grösse und mögliche Zusammensetzung zu erfahren. Empa-Ingenieure statteten das leistungsstarke Photometer des Teleskops mit unterschiedlichen Heizkörpern aus, damit das Instrument auch in der Kälte des Weltalls zuverlässig funktioniert.



Fotos: Empa

4 COMET INTERCEPTOR: RENDEZ-VOUS MIT EINEM UNBEKANNTEN

Die Mission «Comet Interceptor», erneut in Zusammenarbeit mit JAXA, soll einen noch unbekannten Kometen oder ein interstellares Objekt anfliegen, verfolgen und untersuchen. Die Empa lieferte für die im Bau befindliche Sonde ein feines Schutzgitter für den Druck- und Umgebungssensor zwecks Untersuchung der Koma – der diffusen Wolke aus Staub und Gas, die den Kern des Kometen umgibt.



5 ROSETTA: IM BANN DES KOMETEN

Die «Rosetta»-Mission war die erste, die einen Kometen anflieg und eine Landesonde – ein kompaktes Instrumentenpaket namens «Philae» – auf dessen Oberfläche absetzte. Die Empa lieferte Ionen Spiegel, Ionenquellen und Zoom-Optik für die beiden Massenspektrometer der Instrumentengruppe «ROSINA» an Bord der «Rosetta», die die Koma des Kometen untersuchten.



6 JUICE: LEBENSSPUREN UNTER DEM EIS

«Juice», kurz für «Jupiter Icy Moons Explorer», will die Eismonde Jupiters genauer unter die Lupe nehmen, um zu prüfen, ob sie Leben beherbergen könnten. Die Empa lieferte Komponenten für das ionenoptische System des Massenspektrometers «NIM», das die äusserste Schicht der Atmosphäre von Jupiter und seinen Monden untersuchen soll. «Juice» wird Jupiter im Sommer 2031 erreichen.



MATERIALIEN AUS DEM ALL

Metallische Gläser sind neuartige Materialien für Anwendungen im Weltraum, aber auch in der Medizin und in der Uhrenindustrie. Um ihre Eigenschaften besser zu verstehen und ihre Herstellung zu erleichtern, führen Empa-Forschende in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA mehrere Versuche an Bord der Internationalen Raumstation ISS durch.

Text: Anna Ettlin

Metalle sind vielseitige Werkstoffe und begleiten uns durch den Alltag, sei es als grosse Bauelemente oder winzige Komponenten in unseren elektronischen Geräten, als robuste Werkzeuge oder als eleganter Schmuck. Bei den meisten Anwendungen liegen Metalle in einer geordneten kristallinen Struktur vor, die sie beim Erstarren aus der Schmelze fast immer annehmen. Doch was passiert, wenn sich Metallatome einmal nicht in klaren Mustern anordnen? Kühlt man bestimmte Legierungen sehr schnell aus der Schmelze ab, erstarren sie in einer «ungeordneten» – amorphen – Struktur, die derjenigen von Glas ähnelt. Deshalb werden solche amorphen Metalle auch als «metallische Gläser» bezeichnet.

Metallische Gläser sind so etwas wie der heilige Gral der Metallurgie. Sie sind hart wie Quarzglas, und ihre glatte Oberfläche ist besonders widerstands-

fähig gegen Kratzer und Korrosion. Ganz anders als Glas sind metallische Gläser aber elastisch und kehren nach Verformungen eher in ihre Ursprungsform zurück als gewöhnliche Metalle. Das macht sie zu einem begehrten Material für Anwendungen in der Medizin und in der Weltraumtechnologie.

Die Knacknuss am Ganzen ist indes die Herstellung der metallischen Gläser, denn die meisten Metalle «wollen» am liebsten ihre natürliche kristalline Form annehmen. «Vor allem bei der Herstellung von grösseren Komponenten ist es schwierig, die amorphe Struktur zu behalten», sagt Empa-Forscher Damien Terebenec, der am Empa-Zentrum für Röntgenanalytik an metallischen Gläsern forscht.

DIE SCHWERKRAFT AUSSCHALTEN

Materialforschende wie Terebenec arbeiten mit komplexen Legierungen und präzise gesteuerten Prozessen, um amorphe Metalle herzustellen. Dafür ist ein genaues Verständnis der physikalischen



IM ORBIT

NASA-Astronautin Suni Williams bereitet Materialproben für die Installation an der Aussenseite des «Columbus»-Moduls der ISS vor.



AUF DER ERDE

Empa-Forscher Damien Terebenec analysiert die Struktur metallischer Gläser in einem Röntgendiffraktometer.

Fotos: NASA, Empa

Eigenschaften des Materials notwendig, insbesondere in dessen flüssigen Form, in der Schmelze. Und auch das ist nicht einfach: «Man muss flüssige Metalltröpfchen in der Schwebe untersuchen, da der Kontakt mit einem Schmelztiegel eine Kristallisation des Metalls auslösen und so das gesamte Experiment gefährden kann», erklärt Terebenec. Dies kann man etwa mittels starker elektromagnetischer Felder erreichen – aber die Schwerkraft der Erde verformt die runden Tröpfchen und verfälscht die Messungen.

Aus diesem Grund greifen Terebenec und andere Forschende des Zentrums für Röntgenanalytik unter der Leitung von Antonia Neels auf eine ganz besondere Forschungsplattform zurück: die Internationale Raumstation ISS. Im Rahmen des Forschungsprojekts «THERMOPROP» der Europäischen Weltraumorganisation ESA, das von Neels geleitet wird, untersuchen die Forschenden die physikalischen Eigenschaften von metallischen Gläsern in der Mikrogravitation – der Beinahe-Schwerelosigkeit in der erdnahen Umlaufbahn. Zugleich laufen auch Versuche an der Empa in Dübendorf, wo Neels, Terebenec und ihre Kolleginnen und Kollegen die Struktur der metallischen Gläser mit unterschiedlichen Röntgentechniken untersuchen.

«Die Daten aus den Versuchen auf der ISS fliessen in Computersimulationen ein, mit denen sich wiederum industrielle Prozesse entwickeln und optimieren lassen», so Antonia Neels. Trotz der luftigen – oder vielmehr Luft-losen – Höhen, in denen ein Teil der Versuche stattfindet, ist das Projekt nämlich alles andere als «abgehoben»: Von Beginn an ist nebst den Forschenden der Empa und der EPFL auch ein Industriepartner mit dabei. Das Schweizer Unternehmen PX Group aus La Chaux-de-Fonds stellt metallische Gläser für die Uhrenindustrie her, wo die harten, biegsamen



AMOPHES METALL

Der Zwilling dieser Probe befindet sich auf der Aussenseite der ISS als Teil des «SESAME»-Experiments.

Materialien für präzise Mechanismen und robuste Gehäuse verwendet werden. «Unser Partner konnte unsere Erkenntnisse aus dem Projekt bereits in verbesserte Herstellungsprozesse einfließen lassen», sagt Neels.

ZUVERLÄSSIGE MECHANISMEN FÜR SATELLITEN

Das an Bord der ISS und an der Empa gewonnene Wissen fliesst aber auch zurück in den Weltraum. Nebst ihren irdischen Einsatzgebieten eignen sich metallische Gläser auch für Anwendungen an Bord von Raumschiffen und Satelliten. Ihre Elastizität und Widerstandsfähigkeit ermöglichten etwa die Konstruktion von zuverlässigen Mechanismen, die über lange Zeit wartungsfrei funktionieren. In einem zweiten Projekt mit der ESA setzen die Empa-Forschenden Materialproben den rauen Bedingungen im Weltall aus.

Der entsprechende Versuch namens «SESAME» flog im November 2024 zur ISS und wurde im Dezember an der Aussenseite des europäischen Labormoduls «Columbus» installiert. Er umfasst

zahlreiche Materialproben von 15 europäischen Forschungsinstitutionen. Nach rund einem Jahr im Weltall sollen die Proben wieder zur Erde zurückkehren und analysiert werden – darunter auch das metallische Glas des Empa-Teams. «Wir können einzelne Bedingungen aus dem Weltall auf der Erde simulieren, etwa Temperaturschwankungen, Vakuum oder Strahlung – aber nicht alles miteinander», erklärt Neels. «Wir wollen wissen, ob ein längerer Aufenthalt unter Weltraumbedingungen die Struktur des Materials verändert. Denn die Struktur definiert die Materialeigenschaften», ergänzt Terebenec.

Die Versuche auf der ISS laufen in verschiedenen Phasen ab. So sind weitere Experimente mit flüssigen metallischen Gläsern der Empa an Bord der ISS für nächstes Jahr geplant. «Beide Projekte werden wohl bis zum Ende der ISS im Jahr 2030 laufen», so Neels. Im – und für das – Weltall gibt es nämlich noch viel zu lernen. ■



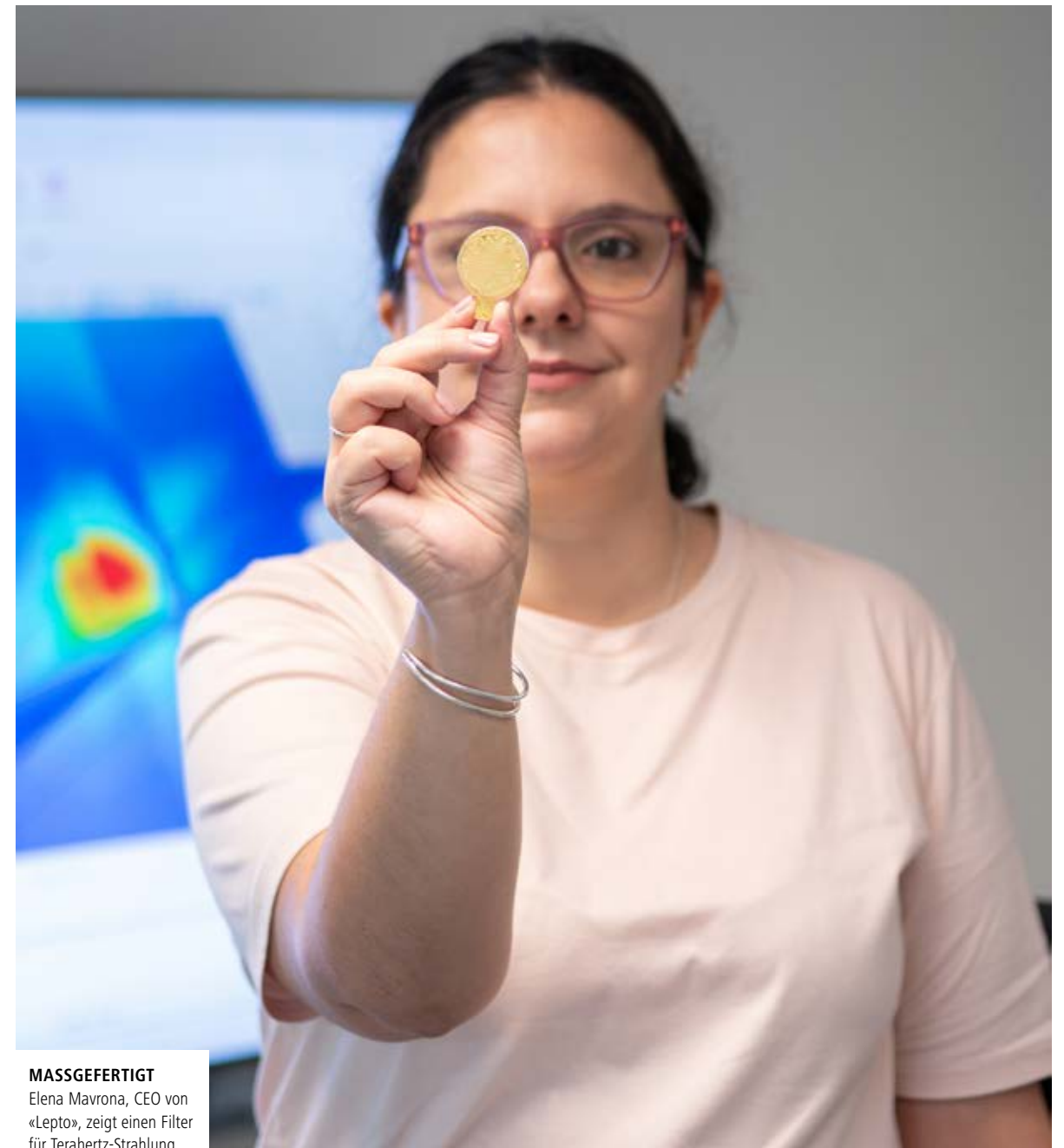
Foto: Empa

Foto: Empa

ALLESKÖNNER MIT HERTZ

Terahertz-Strahlung ist ein bisher kaum genutzter, aber vielversprechender Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die Empa-Forschenden Elena Mavrona und Erwin Hack wollen zur Schliessung dieser «Terahertz-Lücke» beitragen. Mit ihrem Spin-off «Lepto» stellen sie Filter und andere Geräte für Terahertz-Strahlung her und ermöglichen so eine Vielzahl von Anwendungen, sowohl im Weltraum als auch auf der Erde.

Text: Anna Ettlin



MASSGEFERTIGT

Elena Mavrona, CEO von «Lepto», zeigt einen Filter für Terahertz-Strahlung.

Die hauchdünne Folie spannt sich über ein ringförmiges Kunststoffgerüst. Je nach Blickwinkel erscheint sie mal beinahe transparent, mal schimmert sie in Gold, Rot, Grün. Verantwortlich für dieses Farbenspiel ist die metallische Mikrostruktur der Oberfläche der Folie: hochpräzise mikroskopische Muster aus reinem Gold. So schön sie auch anmutet, ist die Folie nicht etwa ein Deko-Objekt, sondern ein High-Tech-Filter für Terahertz-Strahlung, und das erste Produkt des Empa-Spin-offs Lepto GmbH.

Lepto, griechisch für «dünn», ist ein passender Name, denn der Filter ist gerade einmal ein Mikrometer – einen Tausendstel eines Millimeters – dick. Gegründet wurde die junge Firma im April 2025 in Dübendorf von den Empa-Forschenden Elena Mavrona und Erwin Hack. Sie befassten sich bereits in den sechs Jahren zuvor am Empa-Labor «Transport at Nanoscale Interfaces» mit Terahertz-Strahlung.

«Mit Wellenlängen zwischen 0,3 und 3 Millimeter befindet sich die Terahertz-Strahlung an der Grenze zwischen Optik und Elektronik», erklärt Elena Mavrona, heute CEO von Lepto. Im elektromagnetischen Spektrum liegt der Terahertz-Bereich zwischen den kurzwelligen Licht- und Infrarotwellen und den längeren Mikro- oder Gigahertz-Wellen, die wir für den Grossteil unserer drahtlosen Kommunikationstechnologien verwenden, von Bluetooth bis WLAN.

DIE LÜCKE SCHLIESSEN

Verglichen mit seinen spektralen «Nachbarn» war der Terahertz-Bereich lange kaum erforscht; die Technologien, um Terahertz-Strahlung zu erzeugen und zu messen, waren dünn gesät. Erst in den letzten rund 30 Jahren hat diese sogenannte Terahertz-Lücke begonnen,

sich zu schliessen. Denn Terahertz-Strahlung verspricht vielseitige Anwendungen in der Medizin, Kommunikation und Materialforschung. Genau solche Anwendungen will Lepto mit seinen Produkten ermöglichen: Komponenten, die das Ausstrahlen und Detektieren von Terahertz-Strahlen ermöglichen.

Entstanden ist das Spin-off aus einem Forschungsprojekt, in dem es Hack, Mavrona und ihren Mitarbeitenden gelang, eine besonders dünne Struktur für hochwirksame Terahertz-Filter zu entwickeln. Sie meldeten die Technologie zum Patent an. «Eigentlich hatten wir nie vor, eine Firma zu gründen», schmunzelt Erwin Hack, CTO von Lepto. «Aber wir hatten viele Anfragen aus anderen Forschungsinstitutionen, und sie waren mit der Leistung unserer Filter sehr zufrieden. Da wurde uns klar, dass es einen Markt gibt.»

«Terahertz-Strahlung eignet sich hervorragend für die Kommunikation zwischen Satelliten.»

Die Filter sind indes nur der Anfang. «Wir arbeiten auch an weiteren Komponenten für Terahertz-Strahlung, etwa Polarisatoren», sagt Mavrona. Was die Lepto-Produkte von der Konkurrenz absetzt, ist ihre geringe Dicke. Die Polymerfolie, die als Substrat für die Gold-Mikrostruktur des eigentlichen Filters dient, ist äusserst dünn und für alle Bereiche des elektromagnetischen Spektrums hochtransparent. Das macht die resultierenden Filter besonders effektiv – aber auch sehr leicht und platzsparend.

VON SATELLITEN ZU SPITÄLERN

Aus diesem Grund sehen die Spin-off-Gründer einen wichtigen Markt für ihre Produkte im Bereich der Raumfahrt, wo

ÜBER DIE «LEPTO GMBH»

Die Lepto GmbH ist ein Spin-off der Empa und wird von glatec, dem Business-Inkubator der Empa, unterstützt. Die Gründer erhalten Coaching durch glatec sowie «Initial Coaching» mit Unterstützung von Innosuisse. Lepto wird von weiteren Mitgliedern des Labors «Transport at Nanoscale Interfaces» begleitet, darunter Miterfinder Ivan Shorubalko und die Berater Rolf Brönnimann, Tero Kulmala und Jonas Gartmann. Das Spin-off ist derzeit auf der Suche nach Pre-Seed-Finanzierung. Elena Mavrona hat für das Spin-off das «Empa Entrepreneur Fellowship» erhalten.

das Gewicht der Komponenten eine Schlüsselrolle spielt – und Terahertz-Strahlen gleich mehrere Anwendungsbereiche finden. «Einerseits ist Terahertz-Spektroskopie eine ausgezeichnete Methode, um viele Phänomene in der Astro- und Geophysik zu erforschen», führt Mavrona aus. «Andererseits eignet sich Terahertz aber auch hervorragend für die Kommunikation zwischen Satelliten, sowie zwischen einem Satelliten und der Erde.» Die höhere Frequenz der Terahertz-Strahlung im Vergleich zu den konventionellen Kommunikationstechnologien ermöglicht gemäss Hack eine schnellere Datenübertragung. Dadurch, dass die Strahlung kürzere Wellenlängen hat als ihr «grosser Bruder» Gigahertz, reicht sie nicht ganz so weit – ein Vorteil, der Terahertz-basierte Kommunikationstechnologien sicherer macht.

Der Weltraum ist allerdings lange nicht der einzige Anwendungsbereich für Terahertz-Strahlung und für die Komponenten von Lepto. In der Atmosphäre wird die Strahlung zwar relativ schnell gestreut und reicht nur über kurze Distanzen. Dennoch gilt sie als eine der Schlüsseltechnologien für 6G, den nächsten Standard für Mobilfunk, der noch

schneller und energieeffizienter werden soll als der heute gängige 5G-Standard.

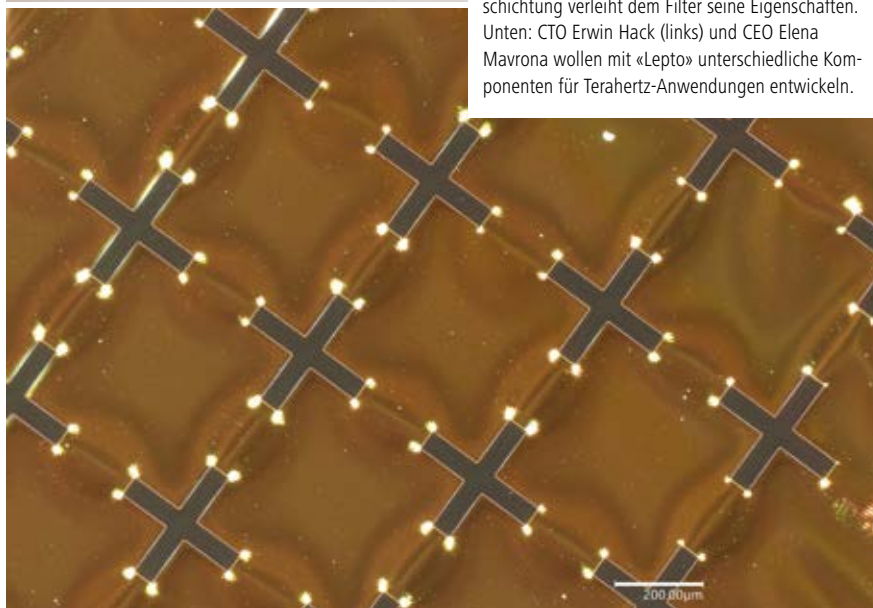
Auch in der Medizin besteht viel Potenzial für Terahertz-Wellen, die oberflächliche Gewebeschichten durchdringen können. Ähnlich wie seine Nachbarn im elektromagnetischen Spektrum ist Terahertz nicht-ionisierend und somit weniger schädlich als Röntgenstrahlung. Es wird vor allem für Anwendungen auf der Haut entwickelt, etwa zur Krebsdiagnose oder zur Untersuchung von oberflächlichen Blutgefässen oder Wunden. Weitere Anwendungen gibt es im Bereich der Sicherheit, etwa bei den Bodyscans am Flughafen.

Zurzeit kommt die Nachfrage nach den Terahertz-Filtern und -Polarisatoren von Lepto hauptsächlich aus der Forschung. Nebst den Anwendungen in der Spektroskopie zur Untersuchung von Materialien wird auch an Terahertz-basierten Quantencomputern geforscht. «Unsere Filter sind sehr dünn, und die Rahmen dafür fertigen wir nach Mass mittels 3D-Druck», erklärt Mavrona. Das erlaubt dem jungen Unternehmen, komplexe aber zugleich kompakte Filtersysteme genau nach Kundenwunsch anzufertigen. «Wir freuen uns, unsere Produkte bald auf den Markt bringen zu können», so die beiden Gründer. ■

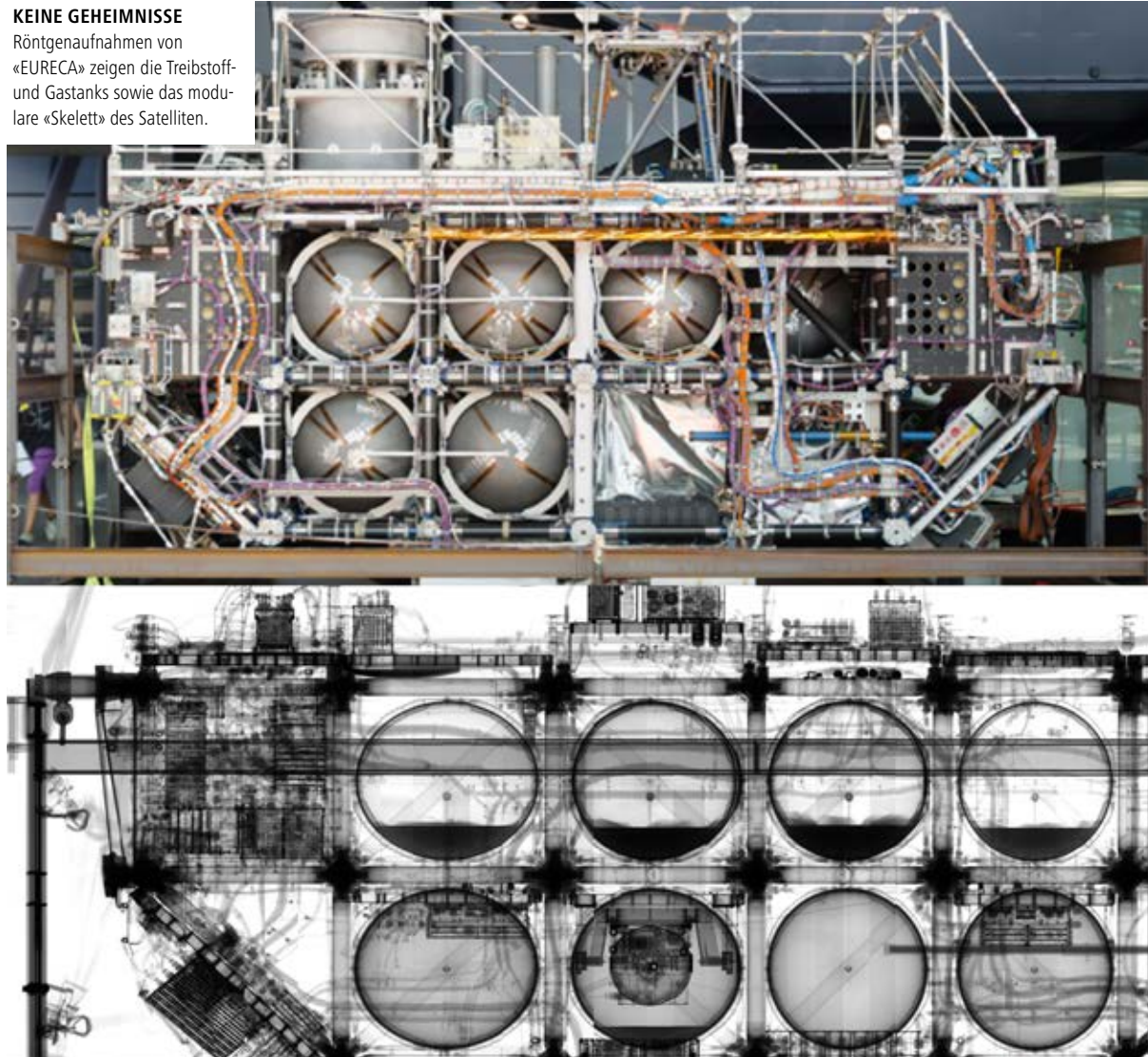


GOLDENE GITTER

Oben: Ein Terahertz-Filter von Lepto. Mitte: Die mikroskopische Struktur der Goldbeschichtung verleiht dem Filter seine Eigenschaften. Unten: CTO Erwin Hack (links) und CEO Elena Mavrona wollen mit «Lepto» unterschiedliche Komponenten für Terahertz-Anwendungen entwickeln.



KEINE GEHEIMNISSE
Röntgenaufnahmen von «EURECA» zeigen die Treibstoff- und Gastanks sowie das modulare «Skelett» des Satelliten.



DER DURCHLEUCHTETE SATELLIT

Es kommt selten vor, dass Satelliten nach ihrer Mission im Weltraum unversehrt auf die Erde zurückkehren – wie zum Beispiel der europäische Satellit «EURECA». Empa-Forschende haben den Satelliten mit unterschiedlichen Röntgenmethoden zerstörungsfrei untersucht. Diese könnten künftig bei der Entwicklung von wiederverwendbaren Raumfahrttechnologien sowie in der Aviatik und der Autoindustrie zum Einsatz kommen.

Text: Anna Ettlin

Foto: Empa

Foto: NASA

Ob ein verstauchtes Fussgelenk oder der Rucksack am Flughafen: Röntgenbilder gehören heute in vielen Bereichen zum Alltag. Weit aus weniger alltägliche Aufnahmen sind Empa-Forschenden am «Center for X-Ray Analytics» gelungen: In Zusammenarbeit mit dem «Swiss Space Center» (heute «Space Innovation» der EPFL) und dem Verkehrshaus der Schweiz haben sie einen ganzen Satelliten geröntgt. Der durchleuchtete Satellit trägt den Namen «EURECA» – kurz für «EUropean REtrievable CArrier» – und ist ein Unikat. In den Weltraum startete er 1992 an Bord der Raumfähre «Atlantis». Der Schweizer Astronaut Claude Nicollier setzte «EURECA» in der Erdumlaufbahn aus. Dort verblieb der 4,5 Tonnen schwere Satellit die nächsten elf Monate – bis er am 1. Juli 1993 von der Crew der Raumfähre «Endeavour» eingefangen und zurück zur Erde gebracht wurde. Somit ist «EURECA» einer der wenigen Satelliten, die von ihrem Einsatz im Weltall intakt zurückgekehrt sind.

Ursprünglich plante die Europäische Weltraumorganisation ESA mehrere Missionen für den wiederverwendbaren Satelliten. «EURECA» trug 15 austauschbare Vorrichtungen für wissenschaftliche Experimente, von Biologie bis Astrophysik. Aus Budgetgründen wurde das Programm jedoch gekürzt – und der erste Flug blieb zugleich der letzte. Ende 2000 wurde der Satellit im Verkehrshaus der Schweiz in Luzern ausgestellt. Von hier war der Weg nach Dübendorf an die Empa nicht mehr weit. Einen geflogenen Satelliten auf Herz und Nieren zu untersuchen – diese Möglichkeit wollten sich die Empa-Forschenden nicht entgehen lassen.



STARTKLAR
Astronaut Claude Nicollier mit der startbereiten «EURECA» an Bord der Raumfähre «Atlantis».

EIN BLICK INS INNERSTE

Erstmals geröntgt wurde «EURECA» bereits 2016. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchung wurden 2025 in der Fachpublikation «Acta Astronautica» veröffentlicht. Mit der Hochenergie-Röntgenanlage gelang es den Forschenden, den fünf Meter langen, drei Meter hohen und zweieinhalb Meter breiten Satelliten in einem Stück zu röntgen. Ausserdem zogen sie für Teile des Satelliten sowie für die zwei noch erhaltenen wissenschaftlichen Instrumente weitere Röntgentechniken hinzu.

Der grosse Vorteil der Röntgen-Bildgebung ist beim Satelliten gleich wie beim Fussgelenk in der Klinik und dem Handgepäck am Flughafen: Sie erlaubt einen zerstörungsfreien Blick ins Innere. «Unsere Analyse erstreckt sich über mehrere Grössenordnungen, von der gesamten Trägerstruktur des Satelliten bis hin zu Materialuntersuchungen auf der Nanometer-Skala», sagt Empa-Forscher Robert Zboray, Erstautor der Publikation. Dabei

fanden die Forschenden mehrere Defekte, etwa Risse in den Kunststoff-Verstrebungen von «EURECA» sowie Brüche und Verformungen in den untersuchten wissenschaftlichen Instrumenten. «Satelliten sind im Weltall starker Strahlung, grossen Temperaturschwankungen und Kollisionen mit Partikeln von Meteoriten und Weltraumschrott ausgesetzt», so Zboray. «Gerade bei wiederverwendbaren Satelliten können wir mit unseren Methoden Schwachstellen identifizieren.» Auch bei Start und Landung können Schäden entstehen. Um sie genau zuzuordnen, wären laut Zboray weitere Experimente notwendig. «Ideal wäre es, solche Satelliten sowohl vor dem Start als auch nach der Landung zu röntgen», sagt der Wissenschaftler.

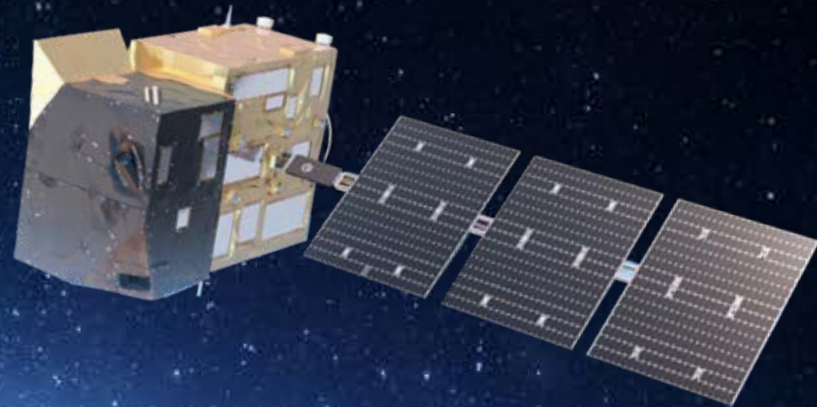
Obwohl «EURECA» ihre Solarpanels nur noch im Verkehrshaus entfaltet, ist das Thema der wiederverwendbaren Raumtechnologien heute so aktuell wie noch nie. Im Jahr 2025 befinden sich bereits über 10'000 Satelliten in der Umlaufbahn der Erde – und es werden jedes Jahr mehr. Dazu kommen unzählige Raketenstufen, Bruchteile von alten Satelliten und weiterer Weltraumschrott, die eine Gefahr für aktive Satelliten sowie für die bemannte Raumfahrt darstellen. Wiederverwendbare Satelliten könnten helfen, diese Müllflut zu reduzieren – und mit Röntgenverfahren liesse sich ihr Design optimieren, ist Zboray überzeugt. Hochenergie-Röntgenverfahren finden aber auch irdische Verwendung, etwa zur Untersuchung von Komponenten für die Aviatik und die Autoindustrie, oder sogar in der Forensik. ■



WER HAT DENN DA DEN DRECK GEMACHT?

Aus dem All eröffnet sich eine neue Sicht auf Treibhausgase und Luftschadstoffe: Künftig liefern europäische Satelliten erstmals detaillierte Emissionskarten, die bis auf die Beiträge einzelner Kraftwerke und Industrieanlagen reichen. Entwickelt wurden die dafür nötigen Methoden und Technologien von Forschenden der Empa im Rahmen internationaler Forschungsprojekte.

Text: Manuel Martin



BEOBACHTER IM ORBIT

Mit den neuen CO₂M-Satelliten erhält die EU eine unabhängige Datengrundlage, um Klimapolitik zu überprüfen und Fortschritte bei der Dekarbonisierung Europas aufzuzeigen.

Foto: ESA, Adobe Stock

Ab 2027 starten die neuen Satelliten zur CO₂-Messung (CO₂M) in den Orbit. Ursprünglich waren nur zwei Exemplare geplant – doch Simulationen der Empa überzeugten die Europäische Kommission, einen dritten Satelliten bauen zu lassen. Damit verbessert sich die Messabdeckung deutlich: Statt alle fünf Tage können die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) rund um den Globus nun alle 3,5 Tage erfasst werden. Die neuen Instrumente werden flächendeckende Treibhausgasbilder mit einer Auflösung von zwei Kilometern liefern, die ganze Regionen erfassen und nicht nur schmale Messstreifen wie bisherige Satelliten. So lassen sich die Emissionen von einzelnen Ländern, Städten oder gar von einzelnen Kraftwerken räumlich detailliert bestimmen. Die CO₂M-Mission ist Teil des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus der Europäischen Union. Sie wird von der Europäischen Weltraumorganisation ESA entwickelt und anschliessend für den Betrieb an die Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT) übergeben. Ihr Ziel ist die weltweite Überwachung der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen.

STICKSTOFFDIOXID-MESSUNGEN MACHEN DEN UNTERSCHIED

«Satelliten messen die Konzentrationen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen in der Atmosphäre – doch erst mithilfe aufwendiger Ausbreitungssimulationen lässt sich daraus ableiten, wie viele Emissionen ein Kraftwerk, eine Stadt oder gar ein ganzes Land wirklich ausstösst», erklärt Gerrit Kuhlmann von der Empa-Abteilung «Luftfremdstoffe / Umwelttechnik». Um herauszufinden, welche Technologien sich für solche Analysen eignen, simulierten die Empa-Forschenden bereits vor eini-

gen Jahren die CO₂-Messdaten eines künftigen Satelliten. Diese Computersimulationen im Auftrag der ESA waren entscheidend dafür, dass die CO₂M-Satelliten nicht nur CO₂, sondern auch Stickstoffdioxid (NO₂) messen werden. Diese Kombination ist wichtig, weil sich damit menschengemachte Emissionen von natürlichen Quellen unterscheiden lassen: Bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas entsteht neben CO₂ stets auch NO₂ – im Gegensatz zu den natürlichen CO₂-Emissionen der Biosphäre.

Heute wenden die Empa-Forschenden ihre Modelle auf reale Satellitendaten an. Wie zuverlässig die Methode ist, zeigen Messungen des europäischen Copernicus-Satelliten Sentinel-5P. Sein TROPOMI-Instrument erkennt beispielsweise die Stickoxidemissionen grosser Kraftwerke in den USA. «Wir konnten die Abgasfahnen mehrerer Kraftwerke deutlich identifizieren und ihre Stickoxidemissionen bestimmen», so Kuhlmann. «Kraftwerke in den USA müssen ihre Emissionen täglich rapportieren – und unsere Berechnungen stimmen sehr gut mit diesen Meldungen überein.» Damit ist klar: Satelliten sind ein verlässliches Werkzeug, um Emissionen nicht nur zu beobachten, sondern auch mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Quadratkilometern zu quantifizieren.

GROSSE EMITTENTEN AUFSPÜREN

Nicht nur Regionen mit guter Datengrundlage wie Europa und Nordamerika sind im Fokus der Empa-Forschenden. Im Rahmen des europäischen CORSO-Projekts entsteht derzeit ein globaler Datensatz zu grossen Emittenten wie Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken, Zementwerken sowie Eisen- und Stahlfabriken. Der Abgleich von Emissionsabschätzungen für Stickoxide basierend auf öffentlichen und kommerziellen Datenbanken mit den tatsächlichen

TROPOMI-Messungen brachte dabei bereits einige Überraschungen: Manche der aufgeführten Anlagen existieren gar nicht, andere fehlten in den Emissionsdatenbanken. In vielen Ländern lagen auch die Annahmen über die eingesetzten Brennstoffe daneben – etwa bei sogenannten Dual-Fuel-Kraftwerken, die sowohl mit Öl als auch mit Gas betrieben werden können. «Wir konnten zeigen, dass vielerorts hauptsächlich Gas genutzt wird, was zu deutlich geringeren Stickoxidemissionen führt als angenommen», erläutert Kuhlmann.

Die entwickelten Methoden und Technologien sollen künftig auch auf Treibhausgase wie CO₂ übertragen werden. «Heute können wir mit Satellitendaten bereits zuverlässig Luftschadstoffe wie Stickoxide quantifizieren. In wenigen Jahren werden wir mit den CO₂M-Satelliten auch die grossen Treibhausgasquellen weltweit präzise und kontinuierlich erfassen können», sagt Kuhlmann. Damit eröffnet sich aus dem All eine neue Perspektive, die detailliert zeigt, ob die Welt beim Klimaschutz wirklich vorankommt. ■



GANZ SCHÖN DÜNN AUFGETRAGEN

IM VAKUUM

Johanna Byloff
bereitet die Proben
an der Beschich-
tungsmaschine des
Empa-Spin-offs
Swiss Cluster vor.



Ultraleicht, superflexibel, hochisolierend:

Um Satelliten vor Temperaturextremen zu schützen, kommt eine mit Aluminium beschichtete Polymerfolie zum Einsatz. Forschenden der Empa gelang es, das Material durch den Einsatz einer hauchdünnen Zwischenschicht noch widerstandsfähiger zu machen. Auch flexible Elektronik und medizinische Sensoren könnten so verbessert werden.

Text: Anna Ettlin

Wer kennt es nicht, das archetypische Bild eines Satelliten: Zwei ausgestreckte Solar-«Flügel» und ein kompakter Körper, eingepackt in goldig oder silbrig schimmernde Folie. Genau mit dieser Folie beschäftigen sich Forschende aus dem Empa-Labor «Mechanics of Materials and Nanostructures» in Thun. Ihre weite Verbreitung verrät es bereits: Die Folie ist für Satelliten und Raumsonden enorm wichtig. Es handelt sich dabei um eine sogenannte «Multi-layer Insulation», auf Deutsch Superisolation. Sie besteht aus mehreren Lagen eines robusten Polymers, das mit einer dünnen Metallbeschichtung – meist Aluminium – versehen wird. Auf der Erde begegnet man der beschichteten Folie etwa in Form von Rettungsdecken.

Foto: Roland Richter, Empa

An Bord der Raumfahrzeuge schützt die Superisolation die Elektronik vor Temperaturschwankungen. «Für Satelliten in der erdnahen Umlaufbahn beträgt der Temperaturunterschied zwischen der sonnenab- und der sonnenzugewandten Seite rund 200 Grad. Ein ähnlicher Temperaturunterschied entsteht auch, wenn ein Satellit in den Schatten der Erde oder aus dem Schatten wieder an die sonnenbestrahlte Seite des Planeten fliegt – und das passiert 16 Mal pro Tag», sagt die Empa-Forscherin Barbara Putz. «Elektronik funktioniert aber am besten bei Raumtemperatur.» Und da sie den Weltraumbedingungen unmittelbar ausgesetzt ist, muss die Superisolation selbst Einiges aushalten können.

Als Polymerbasis wird für die Dünnschichtstruktur meist das äusserst widerstandsfähige Polyimid verwendet. Nebst seiner Temperatur- und Vakuumbeständigkeit zeichnet sich dieser Kunststoff auch dadurch aus, dass die Aluminiumschicht darauf besonders gut haftet. «Der Grund dafür ist eine wenige Nanometer dünne Zwischenschicht, die sich während des Beschichtungsvorgangs an der Grenzfläche zwischen dem Polymer und dem Aluminium bildet», erklärt Putz. Diese Grenzfläche will die Forscherin nun genauer untersuchen – und die Zwischenschicht gezielt einsetzen. Sie soll nicht nur bessere Superisolation für künftige Satelliten ermöglichen, sondern auch die Entwicklung von flexibler Elektronik auf der Erde beschleunigen. Für dieses Forschungsvorhaben hat sie einen «Ambizione Grant» des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) erhalten.

FÜNF NANOMETER ENTSCHEIDEN

Um die Zwischenschicht und ihre Auswirkungen auf die Materialeigenschaften besser zu verstehen, haben sich Putz und ihre Doktorandin Johanna Byloff für ein einfaches Modellsystem entschieden: eine 50 Mikrometer dicke

Polyimid-Folie, beschichtet mit 150 Nanometer Aluminium. Zwischen dem Metall und dem Kunststoff bringen die Forscherinnen eine nur fünf Nanometer messende Beschichtung aus Aluminiumoxid an. Die Arbeit mit einer so dünnen Zwischenschicht ist herausfordernd. Um eine saubere Verarbeitung zu gewährleisten, nutzen die Forscherinnen eine Beschichtungsmaschine des Empa-Spin-offs «Swiss Cluster AG», das 2020 von Forschenden des Labors «Mechanics of Materials and Nanostructures» gegründet wurde. Das Gerät macht es möglich, verschiedene Beschichtungsverfahren hintereinander auf dasselbe Werkstück anzuwenden, ohne es aus der Vakuumkammer zu nehmen.

«Unsere Materialkombination entspricht derjenigen, die für Weltraumanwendungen eingesetzt wird, etwa bei der europäischen Merkur-Sonde «BepiColombo» oder beim Sonnenschild des James-Webb-Weltraumteleskops der NASA», so Byloff. «Nur bildet sich die dünne Zwischenschicht dort auf natürliche Weise, während wir sie gezielt herstellen, wodurch sich die Eigenschaften einstellen lassen.» Das 21 auf 14 Meter messende Sonnenschild des Weltraumteleskops verdeutlicht die Ansprüche, die an das Material im Weltraum gestellt werden. Neben den grossen Temperaturunterschieden sind die isolierenden Schichten auch mechanischen Belastungen ausgesetzt. «Zum einen war das Sonnenschild beim Transport des Teleskops verstaut und musste sich am Einsatzort entfalten, ohne dass die Schichten reissen oder sich voneinander ablösen», erläutert Byloff. «Zum anderen können Partikel und Weltraummüll die Folie beschädigen. Dabei ist es wichtig, dass die Beschädigungen lokal bleiben, und sich nicht als lange Risse über die ganze Oberfläche ausbreiten.»

VON SATELLITEN ZU SENSOREN

Ihre Modell-Folie haben die Forscherinnen auf Herz und Nieren untersucht, Dehnungsversuchen und Temperaturschocks unterzogen und chemisch und physikalisch charakterisiert. Das Ergebnis: Die neue Zwischenschicht macht das Material dehnbarer und deutlich resistenter gegen Risse und Abblätterung. Als nächstes wollen die Forscherinnen die Dicke der Schicht variieren und sie auf anderen Polymersubstraten anwenden. «Die natürliche Zwischenschicht kann sich nur auf einigen wenigen Polymeren bilden und nur in einer Dicke von rund fünf Nanometern, was ihre Nützlichkeit einschränkt», sagt Barbara Putz. «Wir erwarten, dass unsere künstliche Zwischenschicht Mehrlagensysteme auf anderen Polymeren ermöglicht, die bisher wegen schlechter Anhaftung der Beschichtung gar nicht in Frage kamen.»

Satellitenisolation ist dabei nicht der einzige Bereich, in dem flexible Mehrschicht-Systeme gefragt sind. Ein grosses Anwendungsgebiet für ihre Forschung sehen Putz und Byloff auch im Bereich der flexiblen Elektronik, die ebenfalls auf metallbeschichteten Polymersubstraten basiert. Dünnschicht-Komponenten für elektronische Geräte weisen in der Regel mehrere Schichten aus verschiedenen Materialien auf. Aber auch dort liessen sich die mechanischen Eigenschaften durch den gezielten Einsatz von dünnen Zwischenschichten verbessern. Das könnte etwa die Herstellung von falt- oder rollbaren Geräten sowie von smarten Textilien und anschiessenden medizinischen Sensoren voranbringen. ■



AUFS AUGEN GEDRUCKT

Schäden an der Hornhaut des Auges beeinträchtigen weltweit Millionen von Menschen. Empa-Forschende arbeiten an einem transparenten, bioverträglichen Implantat aus dem 3D-Drucker. Damit können Defekte nahtlos und dauerhaft behoben werden. Ermöglicht wird das Projekt dank der grosszügigen Zuwendung einer Stiftung.

Text: Andrea Six



KLARER SEHEN
Empa-Forscherin Hien Le arbeitet an einer künstlichen Hornhaut aus Hydrogel für Menschen mit Sehbeeinträchtigung.

Die künstliche Hornhaut soll zudem mittels 3D-Druck hergestellt werden. «Das 3D-Extrusions-Bioprinting erlaubt es, das Implantat massgeschneidert auf die individuelle Hornhautwölbung der Patientinnen und Patienten zu fertigen», so Rottmar.

In einem späteren Schritt werden die Forschenden das Hydrogel mit menschlichen Stammzellen aus dem Auge beladen, damit die künstliche Hornhaut die Geweberegeneration unterstützen kann. Und da das selbstklebende Transplantat ohne chirurgische Nähte auskommt, lassen sich auch längere Operationszeiten und postoperative Komplikationen wie Infektion, Narbenbildung oder Entzündungen vermeiden.



ZUKUNFTSFONDS

Dank der grosszügigen Zuwendung einer Stiftung konnte das Projekt vollständig finanziert werden. Der Zukunftsfonds der Empa wirbt für solche zukunftsweisen Forschungsprojekte, die anderweitig noch nicht unterstützt werden, private Drittmittel ein. Möchten auch Sie unserer Forschung zusätzlichen Schub geben?

Weitere Informationen einschliesslich eines Links zu unserem Spendenformular finden Sie unter:



Foto: Empa

Die Medizin von morgen möglich machen.



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

 **Empa**
Zukunftsfonds

DIE HÖLZERNE MAUS

Heutige Leiterplatten bestehen aus fossilen Rohstoffen und lassen sich kaum recyceln. Empa-Forschende haben eine biologisch abbaubare Variante entwickelt – ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltige Elektronik. Ihr Biomaterial basiert vollständig auf Holz und lässt sich zu funktionierenden Platinen für elektronische Geräte verarbeiten.

Text: Anna Ettlin

Sie sind das «Herz» eines jeden elektronischen Geräts, vom Laptop bis hin zur elektrischen Zahnbürste: Leiterplatten, auch Platinen oder PCBs genannt, aus dem Englischen «printed circuit boards». Die steifen Platten sind mit Kupferbahnen und verlöteten Elektronikkomponenten übersät und meist in einem charakteristischen Grün lackiert. Nur besonders umweltfreundlich sind sie nicht.

Als Trägermaterial für die Kupferbahnen und elektronischen Komponenten kommt in der Regel ein Laminat aus glasfaserverstärktem Epoxidharz zum Einsatz. Dieser Verbundwerkstoff wird aus Erdöl hergestellt und lässt sich nicht recyceln. Die fachgerechte Entsorgung ist aufwendig, zum Beispiel in einem speziellen Pyrolyseofen mit Abluftreinigung – ein Problem angesichts der grossen Mengen an ausgedienten Platinen, die jedes Jahr zur Entsorgung anfallen.

Forschende um Thomas Geiger aus dem «Cellulose and Wood Materials»-Labor der Empa arbeiten an einer «grünen», sprich nachhaltigen, Alternative – die in Wahrheit braun ist. Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts «HyPELignum» (siehe Box) haben sie ein Trägermaterial für die Leiterplatten auf der Basis von Holz entwickelt, der mit dem konventionellen Epoxidharz mithalten kann – und zugleich vollständig biologisch abbaubar

ist. Die daraus hergestellten Platinen haben die Forschenden in funktionierende Computermäuse eingebaut.

«DREAM TEAM» AUS FIBRILLEN UND LIGNIN

Der Ausgangsstoff für das Trägermaterial ist eine natürliche Mischung aus Cellulose mit etwas Lignin. Streng genommen handelt es sich dabei um ein Abfallprodukt. «Unsere Partner am Forschungsinstitut TNO in den Niederlanden haben ein Verfahren entwickelt, um die Rohstoffe Lignin und Hemicellulose aus dem Holz zu extrahieren», erklärt Geiger. «Was bleibt, ist die bräunliche

«HYPELIGNUM»

Das EU-Forschungsprojekt «HyPELignum» hat zum Ziel, einen ganzheitlichen Ansatz für eine funktionale, CO₂-neutrale Elektronik zu entwickeln. Dafür kombinieren die internationalen Projektpartner aus Forschung und Industrie holzbasierte Ausgangsstoffe und möglichst unkritische Übergangsmetalle mit additiver Fertigung und fortschrittlichen Nachhaltigkeitsanalysen. Das Projekt wurde im Rahmen des «Horizon Europe»-Programms und vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) finanziert und läuft von Oktober 2022 bis September 2026. Forschende der Empa beteiligen sich an der Entwicklung nachhaltiger Leiterplatten sowie an der Lebenszyklusanalyse. www.hypelignum.eu

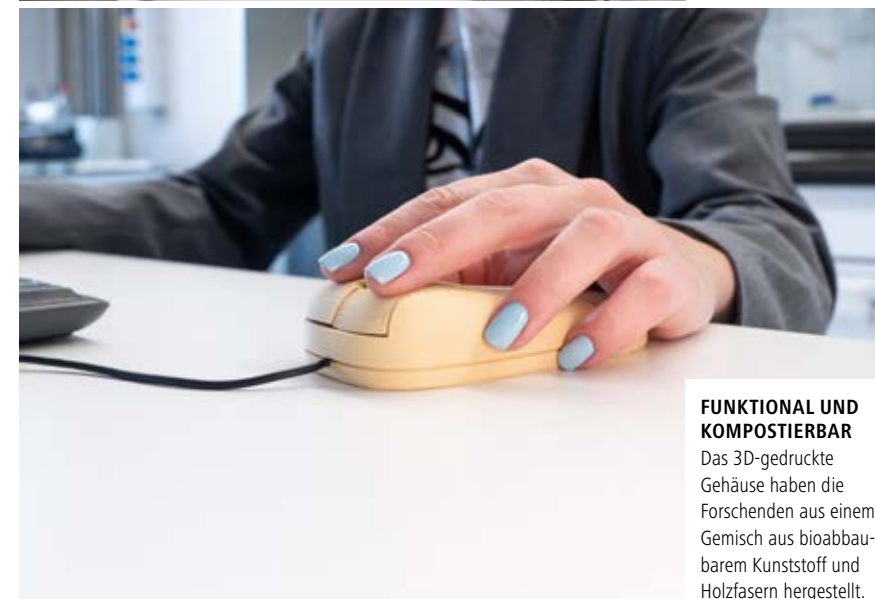
Lignocellulose, für die es bisher keine Verwendung gab.» Geiger, der bereits seit langem an Elektronik aus Cellulose forscht, sah das Potenzial des Rohstoffs.

Damit aus der flockigen Lignocellulose ein High-Tech-Produkt wie eine Leiterplatte werden kann, muss sie zunächst mit Wasserzugabe gemahlen werden, um die relativ dicken Cellulosefasern zu feinen Cellulose-Fibrillen aufzuschliessen. Dabei entsteht ein feines Netz aus hauchdünnen Fibrillen, die untereinander verknüpft sind. In einem nächsten Schritt wird das Wasser aus der Masse mit hohem Druck herausgepresst. Die Fibrillen rücken näher zusammen und trocknen zu einer festen Masse. Diesen Prozess nennen die Forschenden «Hornifizierung». «Das enthaltene Lignin dient als ein zusätzliches Bindemittel in der Masse», so der Forscher.

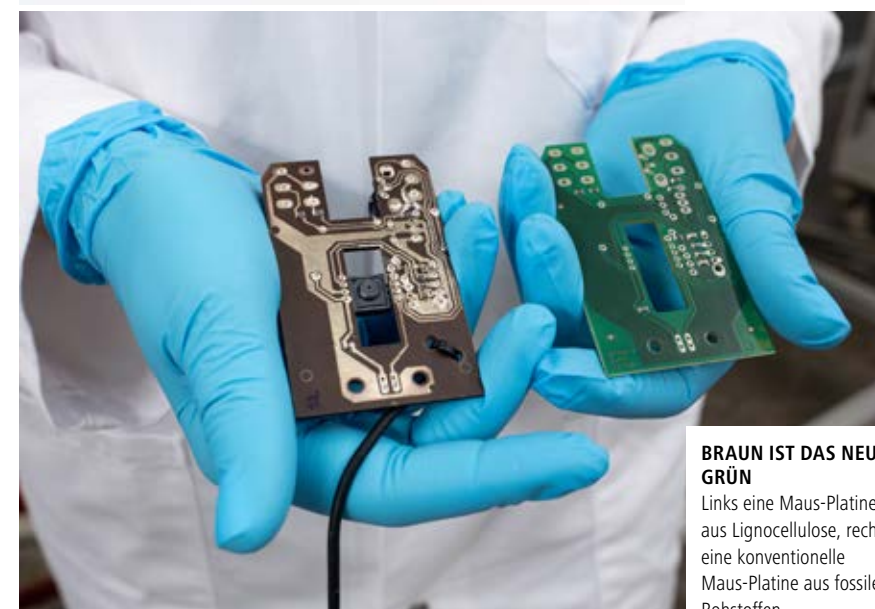
Die so entstandene hornifizierte Platte ist nahezu so widerstandsfähig wie eine konventionelle Leiterplatte aus Glasfasern und Epoxid – nahezu. Denn diese kompostierbare Platte reagiert noch immer empfindlich gegenüber Wasser und hoher Luftfeuchtigkeit. Aber Wasser wird benötigt, denn, «wenn gar kein Wasser mehr in das Trägermaterial eindringen kann, können auch keine Mikroorganismen, wie Pilze, mehr darin wachsen – und damit wäre die Bioabbaubarkeit nicht mehr gegeben», erklärt Geiger.



ROHSTOFF AUS HOLZ
Empa-Forscherin Yuliia Dudnyk mit der flockigen Lignocellulose, dem Ausgangsstoff für die Leiterplatten.



FUNKTIONAL UND KOMPOSTIERBAR
Das 3D-gedruckte Gehäuse haben die Forschenden aus einem Gemisch aus bioabbaubarem Kunststoff und Holzfasern hergestellt.



BRAUN IST DAS NEUE GRÜN
Links eine Maus-Platine aus Lignocellulose, rechts eine konventionelle Maus-Platine aus fossilen Rohstoffen.

KOMPOSTIERBARE COMPUTERMAUS

Dennoch sind die Forschenden zuversichtlich, dass sich die Resistenz des Biowerkstoffs aus Lignocellulose mit der richtigen Verarbeitung weiter verbessern lässt. «Bei gewissen Anwendungen müssen wir aber auch unser Verhältnis zur Elektronik überdenken», sagt Thomas Geiger. «Viele elektronische Geräte sind nur wenige Jahre in Gebrauch, bevor sie veralten – es ist daher nicht unbedingt sinnvoll, sie aus Materialien herzustellen, die Hunderte von Jahren überdauern können.»

Ihre nachhaltigen Leiterplatten haben die Forschenden in Zusammenarbeit mit ihrem Industriepartner PROFACTOR GmbH in Österreich mit Leiterbahnen bedruckt und mit Komponenten bestückt, um funktionierende elektronische Geräte herzustellen, etwa eine Computermouse oder eine RFID-Karte. Am Ende seiner Lebensdauer könnte ein solches Gerät unter den richtigen Bedingungen kompostiert werden. Ist das Trägermaterial erst mal zersetzt, lassen sich die metallischen und elektronischen Komponenten aus dem Kompost entnehmen und recyceln.

Als nächstes wollen die Forschenden ihren Biowerkstoff für Leiterplatten widerstandsfähiger machen, ohne seine Bioabbaubarkeit zu beeinträchtigen. Auch planen die Projektpartner, weitere Demonstrationsgeräte mit Platten aus Lignocellulose zum Abschluss des «HyPELignum»-Projekts 2026 anzufertigen. Nicht fehlen darf auch der Transfer in die Industrie: «Gemeinsam mit Schweizer und europäischen Unternehmen wollen wir weitere Verwendungsmöglichkeiten für den Lignocellulose-Werkstoff entwickeln», sagt Geiger. ■



GÜNSTIG ODER GRÜN? SO GEHT BEIDES!

Für eine klimafreundlichere Mobilität sind Elektroautos unverzichtbar. Am wirkungsvollsten werden sie, wenn Fahrzeuge geteilt und intelligent geladen werden. Entscheidend dafür sind Echtzeit-Informationen zu Strompreisen und CO₂-Emissionen. Dies zeigt eine auf umfangreichen Carsharing-Nutzungsdaten basierende Studie von Forschenden der Empa und der Universität Genf.

Text: Manuel Martin



CARSHARING
Empa-Forschende analysierten das emissionsabhängige Laden von geteilten Elektroautos.

Mehr Elektroantriebe und weniger Autos – so lassen sich die Emissionen im Verkehr deutlich senken. Ein besonders grosses Potenzial bieten Elektrofahrzeuge im Carsharing. Allerdings ist Strom nicht gleich Strom: Je nach Tageszeit variiert sowohl der Energiemix (und damit der daraus resultierende CO₂-Ausstoss) als auch der Strompreis. Mithilfe der Daten von rund 1,5 Millionen Nutzern des Carsharing-Anbieters Mobility haben Empa-Forschende das emissionsabhängige Laden von Elektro-

autos analysiert. Das Ergebnis: Niedrige Strompreise und tiefe Emissionen lassen sich beim Laden nur selten gleichzeitig erreichen. Wer über das Jahr betrachtet auf den günstigsten Tarif achtet, spart im Schnitt 21 Prozent der Kosten. Wer hingegen möglichst klimafreundlich lädt, kann die Emissionen um bis zu 82 Prozent senken. «Eine zentrale Herausforderung ist, Kosten- und Emissionsziele zu vereinen», so Studienautor Sven Eggimann. «Idealerweise zahlt es sich auch finanziell aus, wenn Elektrofahrzeuge klimafreundlich geladen werden.»

Foto: Mobility Genossenschaft

ECHTZEIT-TARIFMODELLE SIND GEFRAGT
Die Berechnungen der Studie basieren auf stündlich wechselnden Strompreisen. Wenn aber nur grobe Tarifmodelle mit Tag-Nacht-Unterschieden angeboten werden, wird intelligentes Laden erschwert. «Die meisten Menschen in der Schweiz wissen nicht, wie hoch der Strompreis oder die CO₂-Emissionen im

Moment des Ladens tatsächlich sind», sagt der Empa-Forscher Elliot Romano. Um Ladestrategien zu ermöglichen, die die Umwelt schonen oder die Kosten senken, benötigen die Nutzer Echtzeitinformationen – am besten via intelligente Stromzähler. «In Ländern wie Dänemark sehen Nutzerinnen und Nutzer den aktuellen Strompreis per App und können bewusst ihre Ladezeiten wählen», ergänzt Eggimann. «Das funktioniert – aber dauerhaft möchte das niemand manuell machen.» Gefragt seien deshalb automatisierte Systeme, die sich auf individuelle Präferenzen einstellen lassen.

Damit sich das Laden zu emissionsarmen Zeiten lohnt, sind zudem passende Anreizsysteme nötig – etwa ein CO₂-Preis oder entsprechende Stromtarife. Simulationen der Empa-Forschenden zeigen: Bei einem CO₂-Preis von rund 30 Cent pro Kilogramm CO₂-Äquivalent lassen sich klimaschonendes und preisoptimiertes Laden tatsächlich miteinander verbinden – allerdings nur mit dynamischen Tarifen, die die realen Emissionen des Stromverbrauchs abbilden. «Das Laden sollte idealerweise auf freiwilligen Massnahmen basieren, die durch Anreize unterstützt werden», sagt Romano. «Dazu zählen etwa günstigere Stromtarife oder reservierte Parkplätze zu emissionsarmen Zeiten.» Andernfalls könnte der Ladezugang eingeschränkt oder unflexibles Ladeverhalten mit zusätzlichen Gebühren belegt werden.

TAGSÜBER HÄUFIGER GEFAHREN, TROTZDEM UMWELTFREUNDLICH
Geteilte Fahrzeuge sind häufiger und oft tagsüber unterwegs – und müssen deshalb vermehrt über Nacht geladen werden, wenn der Strommix tendenziell weniger klimafreundlich ist. Dennoch unterscheiden sich laut Sven Eggimann die Gesamtemissionen und -kosten im Vergleich zu Privatfahrzeugen nur geringfügig. «Geteilte Autos werden intensiver genutzt, aber durch kurze Ladepausen und zunehmend verfügbare Schnellladeinfrastruktur bleibt genügend Spielraum für ein emissionsarmes Laden.»

Carsharing verspricht, den Fahrzeugbestand deutlich zu senken. Mit 25 Prozent weniger Autos in Schweizer Städten liesse sich die Stromversorgung im Winter spürbar entlasten. «Carsharing benötigt insgesamt weniger Energie, weil weniger Fahrzeuge im Umlauf sind», erklärt Romano. «Auch wenn die jährlich gefahrenen Kilometer ähnlich bleiben wie bei privat genutzten Autos, werden neben dem geteilten Fahrzeug vermehrt

auch andere Verkehrsmittel genutzt. Das entlastet das System insgesamt.»

WINTERMONATE ALS STRUKTURELLER KNACKPUNKT

Für eine nachhaltige Verkehrswende sollten Elektrofahrzeuge deshalb nicht isoliert vom optimierten elektrischen Laden betrachtet werden. «Dafür sind Weiterentwicklungen auf regulatorischer und technischer Ebene nötig», sagt Eggimann. «Langfristig ist das Ziel aber klar: eine Ladeinfrastruktur, die ihre Nutzerinnen und Nutzer automatisch zu emissionsarmen und kostengünstigen Ladezeiten führt – ohne dass sie ständig selbst entscheiden müssen.»

Wenn die Schweiz künftig verstärkt auf Elektroautos setzt, muss das Energiesystem entsprechend angepasst werden. Selbst bei optimierten Ladezeiten und reduziertem Fahrzeugbestand durch Carsharing bleibt der zusätzliche Strombedarf durch die Elektrifizierung der privaten Mobilität beträchtlich – mit einem simulierten Winter-Defizit von rund einer Terawattstunde pro Monat im Jahr 2050. «Dieses saisonale Versorgungsdefizit lässt sich nicht einfach mit zusätzlichen Batterien oder Tagesverschiebungen beim Laden beheben», erklärt Romano. «Elektrifizierung ist daher nur ein Teil der Lösung. Wer wirklich etwas fürs Klima tun will, setzt auf Carsharing, den öffentlichen Verkehr – und fährt insgesamt weniger.» ■



ENERGIEZUKUNFT SPIELERISCH ENTDECKEN



SPIELERISCH LERNEN
Im Simulationsspiel «Klima Challenge» gestalten Schülerinnen und Schüler die Energiezukunft der Schweiz.

Entscheidungen treffen und die Zukunft verändern: Das können Schülerinnen und Schüler seit August 2025 im Verkehrshaus der Schweiz tun. In Zusammenarbeit mit der Empa und der Ulrich Creative Simulations GmbH hat das Verkehrshaus ein interaktives Simulationsspiel namens «Klima Challenge» entwickelt. In einem zweistündigen Workshop für Schulklassen übernehmen Jugendliche ab der 8. Klasse die Rolle von Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern und gestalten die Schweiz klimaneutral. Das Spiel entstand im Rahmen der gemeinsamen Initiative «Energy Science for Tomorrow» (ES4T) des ETH-Bereichs.



«WISSEN2GO»: PFAS, DIE EWIGKEITSCHEMIKALIEN

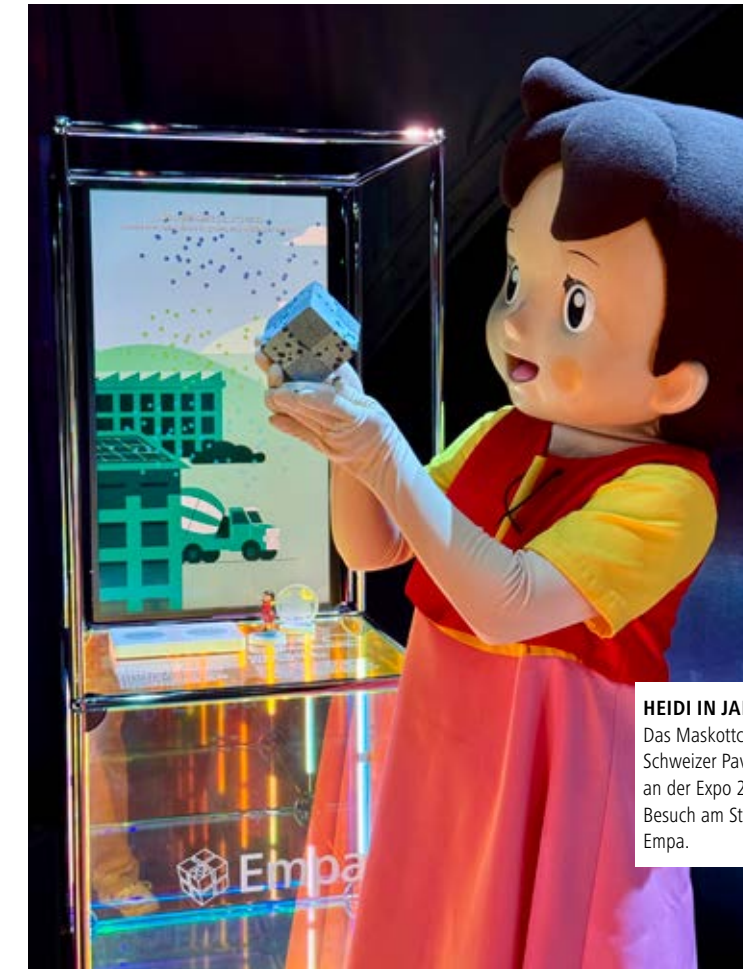
PFAS-Chemikalien sind in aller Munde – die Substanzen dieser riesigen Stoffklasse landen in der Umwelt, manche sogar im menschlichen Körper, und belasten diese für Generationen. An der Empa, der Eawag und am Ökotoxzentrum arbeiten Forschende an einer Vielzahl von Ansätzen, um sowohl die Umwelt und Ressourcen wie das Trinkwasser zu schützen als auch die Industrie nachhaltig transformieren zu können. In der kommenden Ausgabe von «wissen2go» geben Fachspezialisten Antworten auf die wichtigsten Fragen wie: Was genau sind PFAS? Warum sind PFAS ein Problem? Was können wir dagegen tun? Und wo und wie lange wird uns dieses Problem beschäftigen? Melden Sie sich heute noch für die Online-Veranstaltung am 25. November 2025 an unter:



(UN-)HEIMLICHE ALLESKÖNNER
PFAS-Chemikalien belasten die Umwelt für Generationen. «wissen2go» gibt Antworten auf die wichtigsten Fragen rund um die Ewigkeitschemikalien.

Fotos: Empa

«MINING THE ATMOSPHERE» AN DER WELTAUSSTELLUNG IN OSAKA



HEIDI IN JAPAN
Das Maskottchen des Schweizer Pavillons an der Expo 2025 zu Besuch am Stand der Empa.

Vom 13. August bis 13. Oktober war die Empa im Schweizer Pavillon an der Expo 2025 in Osaka vertreten. Als Teil der Swissnex-Ausstellung «Anticipation» präsentierte die Empa ihre interdisziplinäre Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere». Besucherinnen und Besucher konnten durch Interaktion mit verschiedenen Objekten – einem Aerogel-Muster, einem Würfel aus CO₂-negativem Beton und einer Kunststofffigur von Heidi – in die «atmosphärische Mine» eintauchen und lernen, wie CO₂-abscheidende Materialien funktionieren, wie Gebäude zu Kohlenstoffsinken werden und wie Industrieprozesse in Zukunft ohne fossile Rohstoffe auskommen.



Foto: FDFA, Presence Switzerland

VERANSTALTUNGEN

28. OKTOBER 2025

Course: Laser Micromachining

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/laser

Empa, Dübendorf

10. – 12. NOVEMBER 2025

SSbD25 – Safe and Sustainable by Design

Chemicals and Materials

Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie

www.empa-akademie.ch/ssbd25

Empa, Dübendorf

17. NOVEMBER 2025

Course: Energy-autonomous embedded systems and the Internet-of-Things

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/energy

Empa, Dübendorf

14. JANUAR 2026

Klebebewehrungen für die Verstärkung bestehender Tragwerke

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft

www.empa-akademie.ch/sia166

Empa, Dübendorf

10. – 12. FEBRUAR 2026

1st International Conference on

Mg-based cements

Zielpublikum: Wissenschaft

www.empa.ch/web/MgO2026

Centre Loewenberg, Murten

Die aktuellen Veranstaltungen finden Sie hier:



THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Empa

Materials Science and Technology