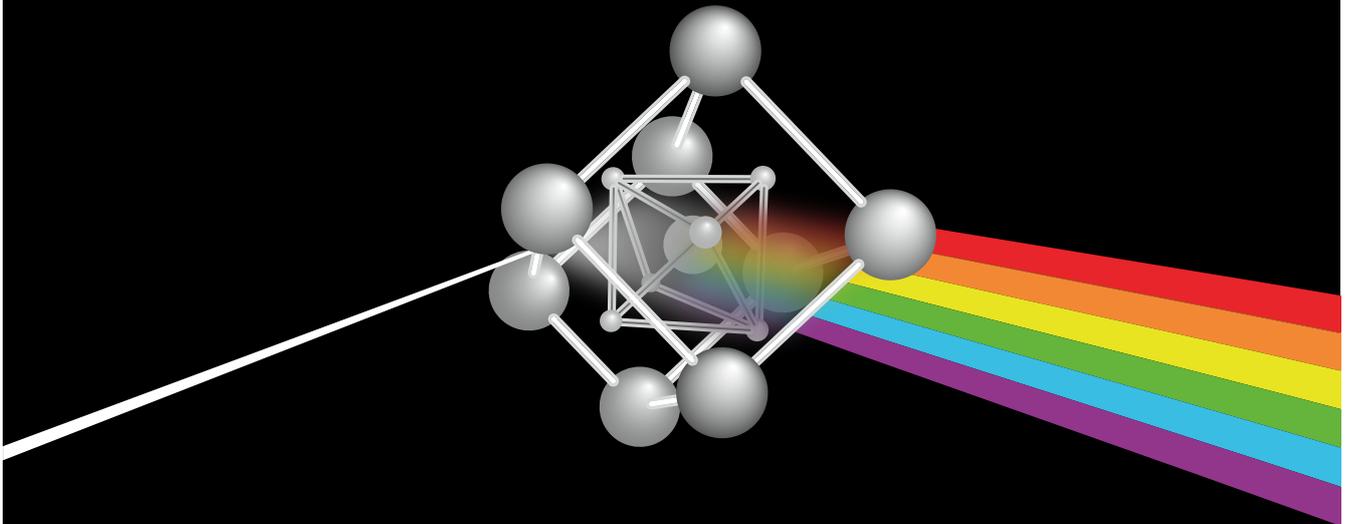


Empa Quarterly

FORSCHUNG & INNOVATION II #83 II APRIL 2024

FOKUS: PEROVSKITE

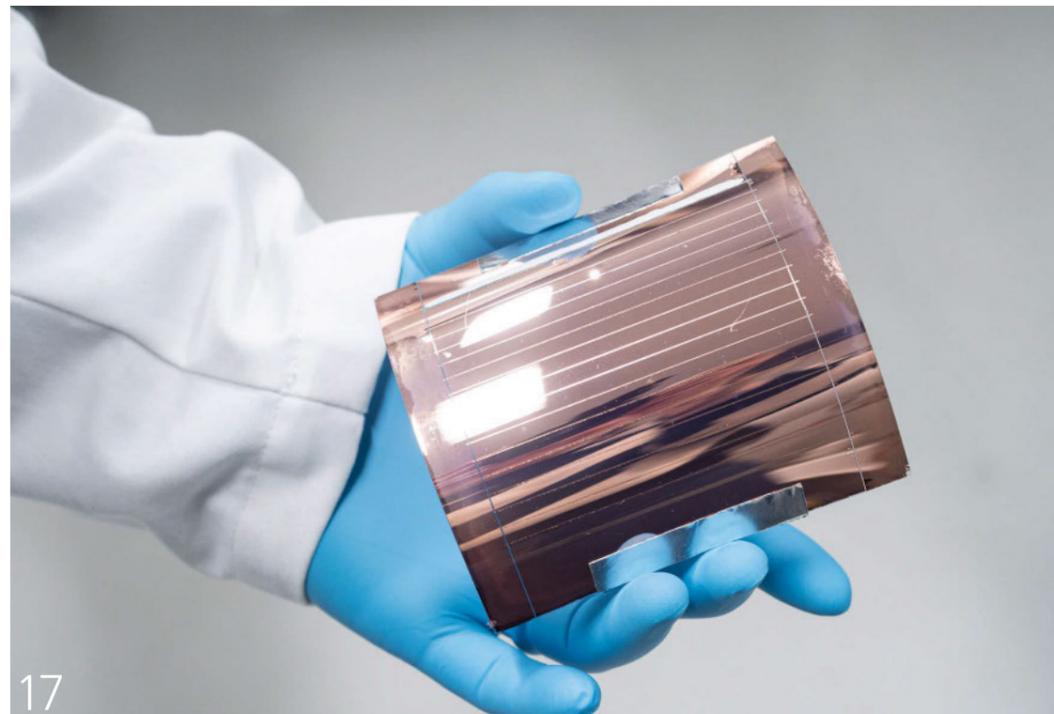
BLICK IN DEN KRISTALL



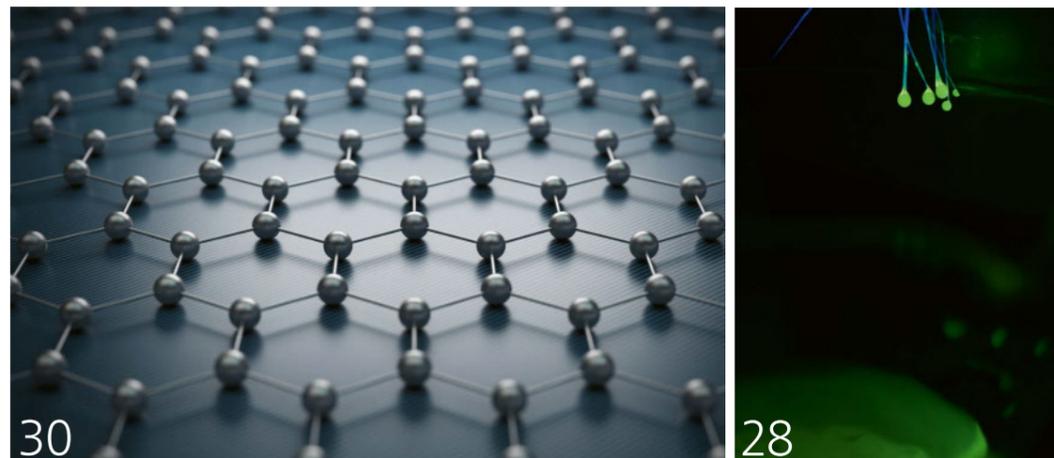
UMWELTFREUNDLICHE TEXTILIEN
LEUCHTENDE QUANTENPUNKTE
DOPPELTE SOLARZELLEN

[INHALT]

[FOKUS: PEROVSKITE]

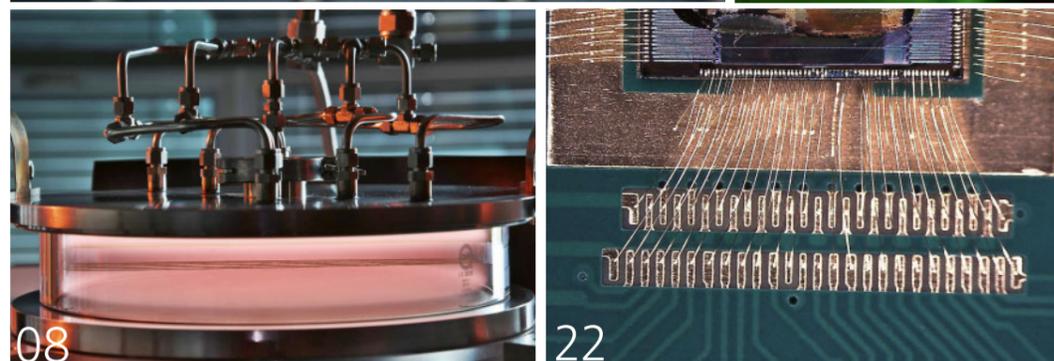


17



30

28



08

22

[FOKUS]

14 PEROVSKITE
Kristalline Alleskönner

16 GESCHICHTE
Vom Fund zur Erfindung

17 SOLARZELLEN
Darfs ein bisschen mehr sein?

20 QUANTEN-TECHNOLOGIE
Heller & schneller

22 BILDENSOR
Pixel hoch drei

[THEMEN]

08 ÖKOLOGISCHE TEXTILIEN
Endlich sauber

11 SPIN-OFF
Die Strommaschine

26 NANOPLASTIK
Wenn Nanoplastik keines ist ...

28 POLYMER-FORSCHUNG
Innere Werte

30 FORSCHUNG-INITIATIVE
Graphen grundsätzlich gefahrlos

33 ENERGIE
Wärme aus dem Rechner

[RUBRIKEN]

04 WISSEN IM BILD

06 IN KÜRZE

24 ZUKUNFTSFONDS
Im Dunkeln durchleuchtet

34 UNTERWEGS

DIE ENTSCHIEDENDE ZUTAT

Liebe Leserin, lieber Leser,



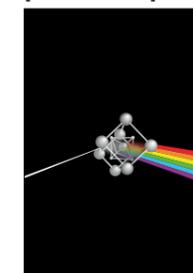
Rund zwei von drei technischen Innovationen beruhen auf neuartigen Materialien – etwa Silizium, ohne das die heutzutage allgegenwärtige Mikroelektronik undenkbar wäre, oder Lithiumionen-Batterien, die aktuell alles – vom Smartphone bis zum e-Auto – mit Strom versorgen. Oder aber – und damit wären wir bei der aktuellen Quarterly-Ausgabe – Perovskite. Pero-was? Diese äusserst vielfältige Substanzklasse zeichnet sich durch ihre besondere Kristallstruktur aus und lässt sich durch leichte Veränderung der chemischen «Rezeptur» praktisch beliebig erweitern. Ein chemischer Baukasten also ganz nach dem Gusto experimentierfreudiger Materialforscher.

So strahlen «Quantenpunkte» aus Perovskit-Nanokristallen nur Licht einer bestimmten Wellenlänge aus und eignen sich etwa für neuartige Bildschirme und Displays (S. 20); Perovskite eignen sich aber auch für Bildsensoren (S. 22) und ultraeffiziente Tandem-Solarzellen (S. 17). Ein anderes «Wundermaterial» ist Graphen, nur eine Atomlage dünne Schichten aus Kohlenstoff, das Empa-Forschende etwa für Anwendungen in der Quantentechnologie und Nanoelektronik erforschen. Doch bei neuen Materialien sollte man von Anfang an auch mögliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt untersuchen. Damit beschäftigten sich Empa-Forschende im Rahmen des vor kurzem zu Ende gegangenen «Graphene Flagship»-Projekts der EU (S. 30).

Wer die faszinierende Welt der Materialien live erleben möchte, ist herzlich eingeladen zum Tag der offenen Tür am 14. September auf unserem neuen Forschungscampus in Dübendorf – mehr dazu im nächsten Quarterly.

Viel Spass beim Lesen! Ihr MICHAEL HAGMANN

[TITELBILD]



Perovskite besitzen eine einzigartige kristalline Struktur, die ihnen interessante Eigenschaften verleiht, vor allem in Bezug auf ihre Interaktion mit Licht. Wie eine futuristische Version des Prismas auf dem Cover von Pink Floyds «The Dark Side of the Moon» könnten uns Perovskite eines Tages dabei helfen, Licht auszustrahlen, einzufangen und zu nutzen. Bild: Empa

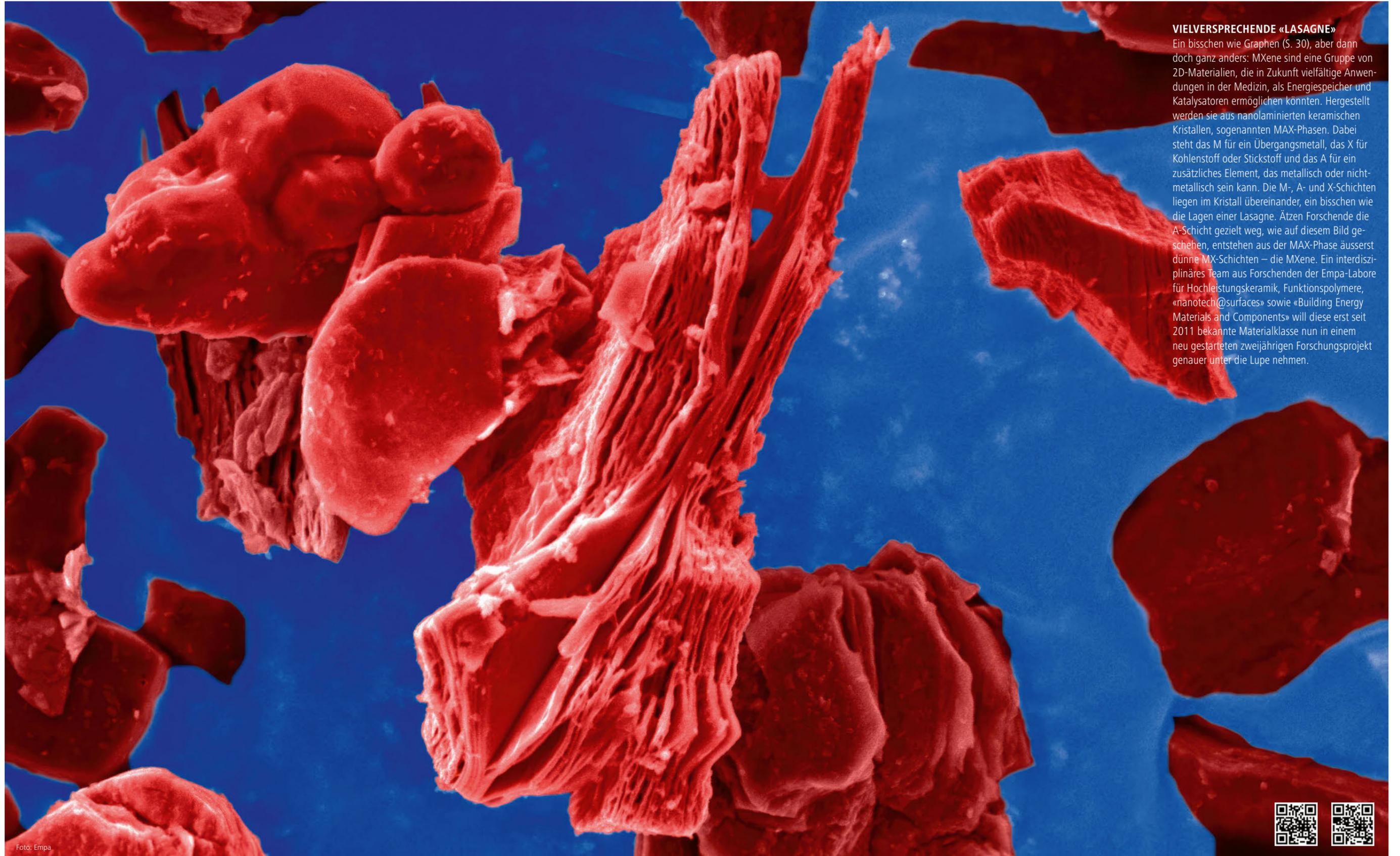
[IMPRESSUM]

HERAUSGEBERIN Empa
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf, Schweiz
www.empa.ch
REDAKTION Empa Kommunikation
ART DIREKTION PAUL AND CAT.
www.paul-and-cat.com
KONTAKT Tel. +41 58 765 47 33
redaktion@empa.ch
www.empaquarterly.ch
VERÖFFENTLICHUNG
Erscheint viermal jährlich
PRODUKTION
anna.ettlin@empa.ch



ISSN 2297-7406
Empa Quarterly (deutsche Ausg.)

Fotos: Empa; Grafik: Adobe Stock



VIELVERSPRECHENDE «LASAGNE»

Ein bisschen wie Graphen (S. 30), aber dann doch ganz anders: MXene sind eine Gruppe von 2D-Materialien, die in Zukunft vielfältige Anwendungen in der Medizin, als Energiespeicher und Katalysatoren ermöglichen könnten. Hergestellt werden sie aus nanolaminierten keramischen Kristallen, sogenannten MAX-Phasen. Dabei steht das M für ein Übergangsmetall, das X für Kohlenstoff oder Stickstoff und das A für ein zusätzliches Element, das metallisch oder nicht-metallisch sein kann. Die M-, A- und X-Schichten liegen im Kristall übereinander, ein bisschen wie die Lagen einer Lasagne. Ätzen Forschende die A-Schicht gezielt weg, wie auf diesem Bild geschehen, entstehen aus der MAX-Phase äusserst dünne MX-Schichten – die MXene. Ein interdisziplinäres Team aus Forschenden der Empa-Labore für Hochleistungskeramik, Funktionspolymere, «nanotech@surfaces» sowie «Building Energy Materials and Components» will diese erst seit 2011 bekannte Materialklasse nun in einem neu gestarteten zweijährigen Forschungsprojekt genauer unter die Lupe nehmen.

Foto: Empa



DAS BILDUNGLABOR WÄCHST



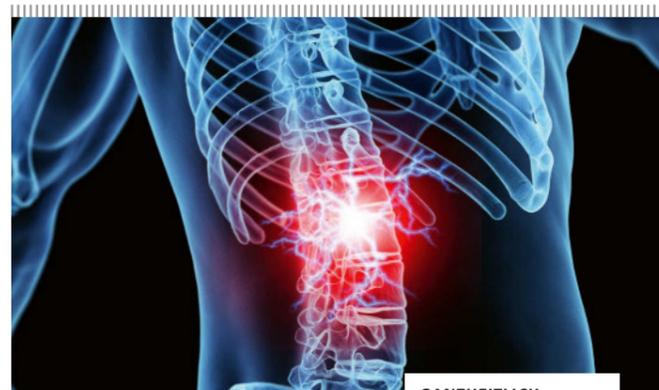
SONNE TANKEN
Mit solchen an der Empa gebauten Demonstratoren lernen Kinder im Smartfield Physik.

Mit Unterstützung der IT-Bildungsoffensive erweitert das Bildungslabor Smartfield sein Angebot. Neu können Schülerinnen und Schüler aus den Regionen Werdenberg-Sarganserland und Zürichsee-Linth MINT-Workshops vor Ort in Buchs und Rapperswil-Jona besuchen, zusätzlich zum Standort im Switzerland Innovation Park OST in St. Gallen. Die interdisziplinäre Bildungsinitiative wurde im Jahr 2018 unter anderem von der Empa mitinitiiert. Empa-Forschende entwickeln MINT-Demonstratoren für Smartfield, die anschliessend gemeinsam mit den Lernenden an der Empa hergestellt werden. 2023 zog Smartfield über 4000 Schülerinnen und Schüler sowie mehr als 300 Lehrpersonen für Workshops und Kurse an.



RÜCKENSCHMERZEN DYNAMISCH VERSTEHEN

Erkrankungen des Bewegungsapparates sind eine der häufigsten Ursachen für chronische Schmerzen und Bewegungseinschränkungen. Um sie rechtzeitig und effektiv zu behandeln, müssen wir das Zusammenspiel aus komplexen biochemischen Prozessen und der Biomechanik des Körpers besser verstehen. Denn die Schmerzen treten häufig erst auf, wenn Patientinnen und Patienten in Bewegung sind – und trotzdem geschieht die Diagnose überwiegend mittels statischer Bildaufnahmen. Ein Empa-Team will dies in einem neu gestarteten zweijährigen Projekt ändern. Beteiligt sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem «Mechanical Systems Engineering»-Labor, dem Zentrum für Röntgenanalytik und von der «Scientific IT» sowie klinische Partner am Inselspital Bern. Ziel ist es, die Diagnose einer schmerzhaften degenerativen Erkrankung der Wirbelsäule, der lumbalen spinalen Stenose, durch eine Kombination aus Biomarkern, bewegten Röntgenbildern sowie 3D-Bildgebung von Muskeln und Bändern zu verbessern. Ausserdem wollen die Forschenden eine sichere Plattform für das Management klinischer Daten entwickeln.



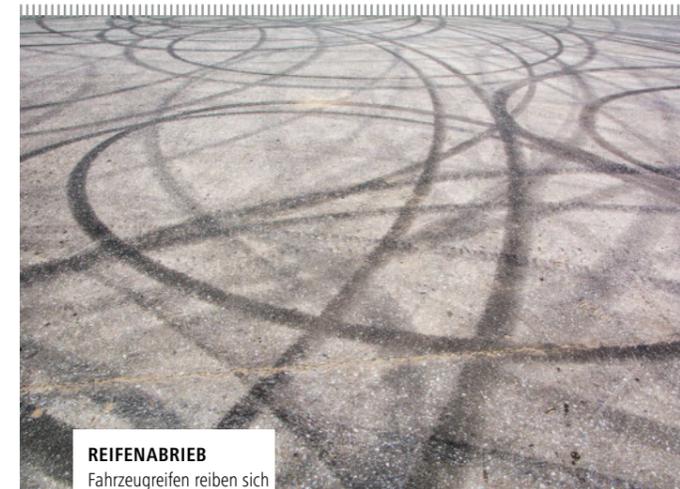
GANZHEITLICH
Empa-Forschende wollen die Diagnostik bei Wirbelkanalverengung verbessern.



Foto: Empa, Grafik: Adobe Stock

Foto: Adobe Stock, Grafik: Empa

FAHRZEUGREIFEN ALS QUELLE VON MIKROPLASTIK



REIFENABRIEB
Fahrzeugreifen reiben sich auch beim normalen Fahren an der Fahrbahn ab.

Wer im Auto eine Vollbremsung hinlegt, hinterlässt eine schwarze Spur auf der Fahrbahn. Dieser Reifenabrieb entsteht aber nicht nur bei extremen Manövern, sondern auch während jeder «normalen» Fahrt; selbst bei konstanter Geschwindigkeit reiben sich die Reifen an der Fahrbahn ab. Das Reifenmaterial, das dabei in die Umwelt gelangt, macht einen Grossteil des freigesetzten Mikroplastiks aus. Forschende der Empa und der Firma wst21 haben in einem vor Kurzem veröffentlichten Grundlagenbericht zur Beantwortung eines Postulats die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zusammengefasst und Ansätze vorgestellt, wie sich dieser Abrieb vermindern lässt.



«SAVE THE DATE»: TAG DER OFFENEN TÜR AN DER EMPA



«SAVE THE DATE»
Am 14. September 2024 öffnet die Empa Dübendorf ihre Türen.

Am Samstag, 14. September 2024, lädt die Empa in Dübendorf zum Tag der offenen Tür ein. Besucherinnen und Besucher können den neuen Campus der Empa und Eawag, «co-operate», kennenlernen und in die Forschungswelt der Empa eintauchen. Es gibt zahlreiche Posten, Demonstratoren und Vorträge für Gross und Klein zu den Themenschwerpunkten «Klimawandel», «Energiewende», «Schwindende Ressourcen», «Faszinierende Materialien» und «Gesundes Leben, gesunde Umwelt». Ausserdem erhalten die Besuchenden Einblick in die Demonstratoren «hub», «move», NEST, «WaterHub» sowie in die Lehrberufe der Empa. Interessiert? Mehr zur Veranstaltung erfahren Sie online sowie in der nächsten Ausgabe des Empa Quarterly.



ENDLICH SAUBER

Regenjacken, Badehosen oder Polsterstoffe: Textilien mit wasserabweisenden Eigenschaften benötigen eine chemische Imprägnierung. Fluor-haltige PFAS-Chemikalien sind zwar wirkungsvoll, schaden aber der Gesundheit und reichern sich in der Umwelt an. Empa-Forschende entwickeln nun ein Verfahren mit alternativen Substanzen, mit dem sich umweltfreundliche wasserabweisende Textilfasern erzeugen lassen. Erste Analysen zeigen: Die «guten» Fasern weisen Wasser stärker ab und trocknen schneller als die der herkömmlichen Produkte.

Text: Andrea Six

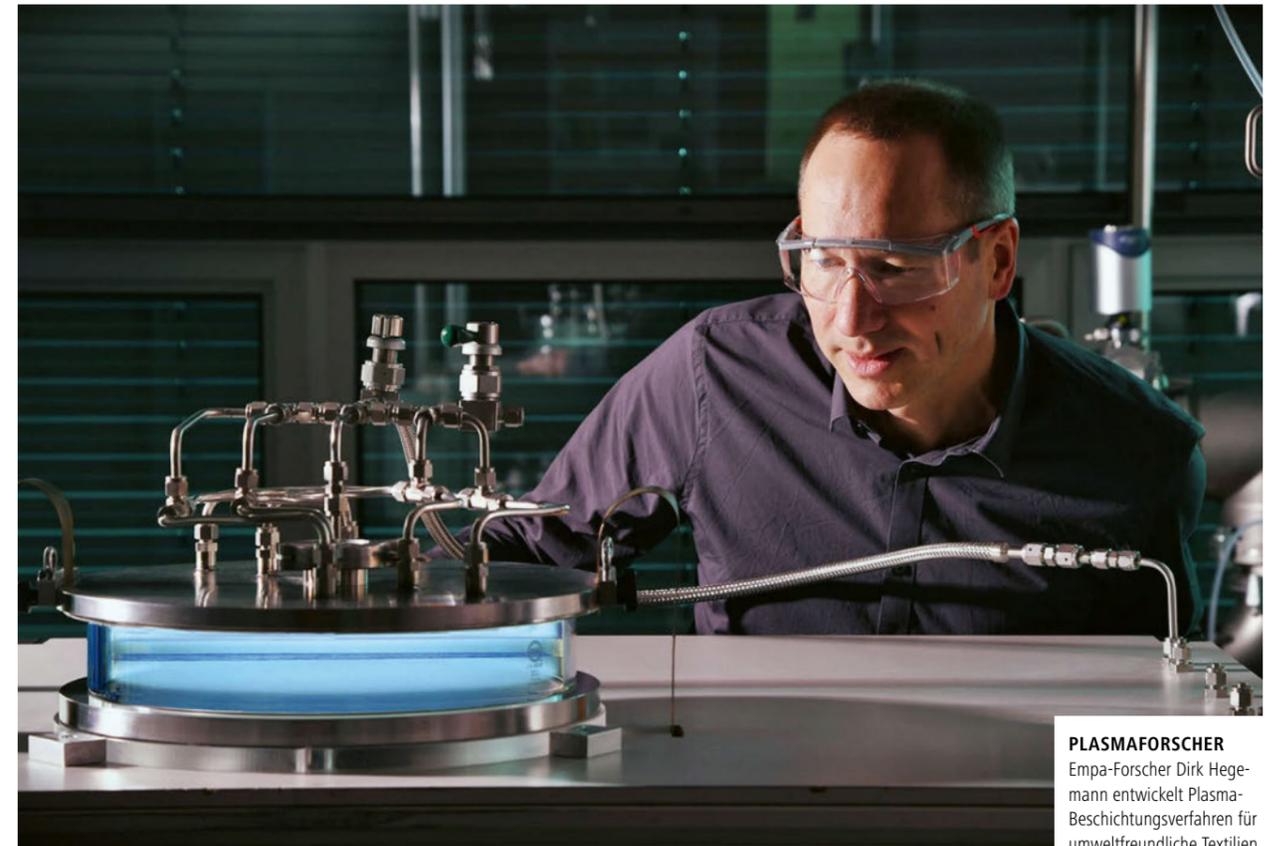
Soll eine Badehose nach dem Schwimmen ihre Form behalten und schnell trocknen, muss sie zwei Eigenschaften kombinieren: Sie muss elastisch sein und darf sich nicht mit Wasser vollsaugen. Eine derartige wasserabweisende Wirkung lässt sich in der Textilindustrie durch das Behandeln der Textilien mit Chemikalien erreichen, die das elastische Kleidungsstück mit sogenannten hydrophoben Eigenschaften ausstatten. In den 1970er-Jahren begann man, hierfür neuartige synthetische Fluorverbindungen zu verwenden – Verbindungen, die bedenkenlos unzählige Anwendungsmöglichkeiten zu bieten schienen, sich später aber als höchst problematisch herausstellten. Denn diese Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen, kurz PFAS, reichern sich in der Umwelt an und schaden der Gesundheit (siehe Box Seite 10). Empa-Forschende entwickeln daher gemeinsam mit Schweizer Textilunternehmen alternative umweltfreundliche Verfahren, mit denen sämtliche Fasern wasserabweisend ausgerüstet werden können. Dirk Hegemann vom «Advanced

Fibers»-Labor der Empa in St. Gallen erläutert das von der Innosuisse geförderte Projekt: «Wir setzen sogenannte hochvernetzte Siloxane ein, die Silikon-ähnliche Schichten erzeugen und – anders als Fluor-haltige PFAS – unbedenklich sind.»

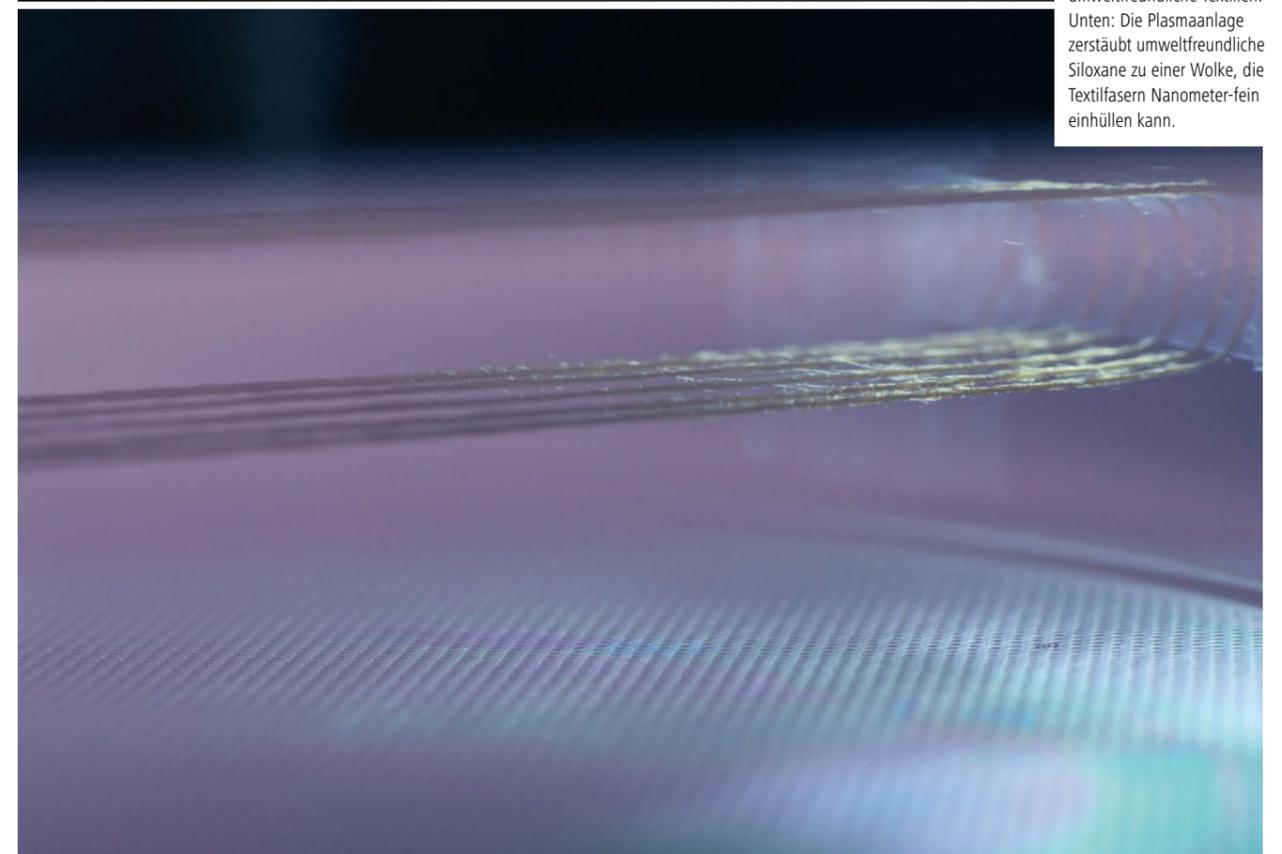
IN PLASMAWOLKEN GEHÜLLT

Plasma-Beschichtungsanlagen der Empa reichen von handlichen Tischmodellen bis hin zu raumfüllenden Geräten. Für die Faserbeschichtung werden die Siloxane in einem reaktiven Gas zerstäubt und aktiviert. Auf diese Weise behalten sie ihre funktionalen Eigenschaften und umschliessen die Textilfasern mit einer nur 30-Nanometer-feinen wasserabweisenden Hülle. Derart beschichtete Fäden lassen sich danach zu wasserabweisenden Textilien jeglicher Art verarbeiten, etwa zu Kleidungsstücken oder technischen Textilien wie Polsterstoffe.

Der Vorteil gegenüber herkömmlichen nasschemischen Verfahren: Selbst bei komplex strukturierten Textilien ist die lückenlose Verteilung der hydrophoben Substanzen bis in alle Windungen



PLASMAFORSCHER
Empa-Forscher Dirk Hegemann entwickelt Plasma-Beschichtungsverfahren für umweltfreundliche Textilien. Unten: Die Plasmaanlage zerstäubt umweltfreundliche Siloxane zu einer Wolke, die Textilfasern Nanometer-fein einhüllen kann.



Fotos: Empa

der verschlungenen Fasern gewährleistet. Dies ist zentral, denn schon eine winzige benetzbare Stelle würde genügen, damit Wasser in die Tiefe einer Badehose eindringt und so das schnelle Trocknen des Kleidungsstücks verhindert. «Es ist uns sogar gelungen, selbst anspruchsvollere, elastische Fasern mit dem neuen Verfahren dauerhaft zu imprägnieren, was bisher nicht möglich war», so Empa-Forscher Hegemann.

GROSSES INTERESSE SEITENS INDUSTRIE

In ersten Laboranalysen schneiden Textilien aus den neuen Fasern mit umweltfreundlicher Beschichtung bereits leicht besser ab als herkömmliche PFAS-beschichtete Stoffe: Sie saugen weniger Wasser auf und trocknen schneller. So richtig ins Gewicht fallen die wunderbaren Eigenschaften der Fluor-freien Beschichtung aber erst nach mehrmaligem Waschen der Textilien: Während die herkömmliche PFAS-Imprägnierung bei dehnbaren Textilien bereits deutlich leidet, bleibt die Fluor-freie Faser auf hohem Niveau. Damit ist sie trotz Beanspruchung doppelt so wasserabweisend und trocknet deutlich effizienter.

FLUOR-HALTIGE PFAS: DAS EWIGE GIFT

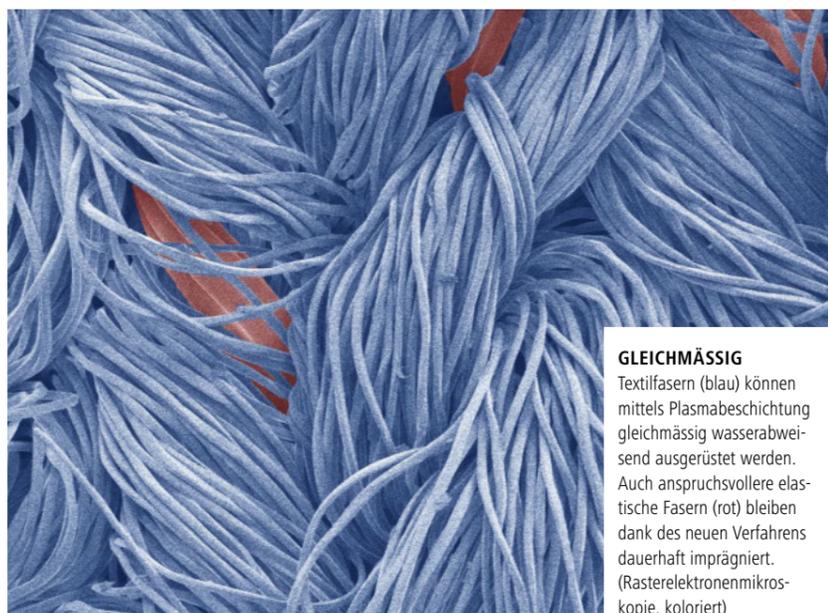
Bei PFAS, den per- und polyfluorierten Alkylverbindungen, handelt es sich um eine Gruppe von synthetischen Chemikalien, die durch ihre Fähigkeit, Wasser, Öl und Fett abzuweisen, vielfältige Anwendungsgebiete haben. Sie werden seit den 1970er-Jahren beispielsweise bei der Produktion von Funktionsbekleidung, Feuerlöschern und Bratpfannen verwendet. Da die Kohlenstoff-Fluor-Substanzen nicht abgebaut werden, sondern sich in der Umwelt und letztlich im menschlichen Körper anreichern, werden sie als «Ewigkeitschemikalien» bezeichnet. Bei Mensch und Tier stehen die Substanzen unter Verdacht, diverse gesundheitliche Schäden auszulösen, wie Krebs, Herz-Kreislauferkrankungen, Übergewicht oder Entwicklungsstörungen. Gewisse PFAS sind bereits verboten, weitere könnten folgen.

Hegemann und sein Team sind nun daran, das Fluor-freie Laborverfahren zu leistungsfähigen und wirtschaftlich tragfähigen industriellen Prozessen zu skalieren. «Die Industrie ist sehr interessiert, nachhaltige Alternativen zu PFAS zu finden», sagt Hegemann.

Die Schweizer Textilunternehmen Lothos KLG, beag Bäumlín & Ernst AG und AG Cilander sind daher bereits mit an Bord, wenn es darum geht, umweltfreundliche Fluor-freie Textilien zu entwickeln. «Eine gelungene Zusammenarbeit, die Materialien, Fasertechnologie und Plasmabeschichtung kombiniert und zu einer innovativen, nachhaltigen und effektiven Lösung führt», sagt etwa Dominik Pregger von Lothos. Bernd Schäfer, CEO von beag, fügt an: «Die Technologie ist umweltfreundlich und verfügt gleichzeitig über ein interessantes wirtschaftliches Potenzial.» ■



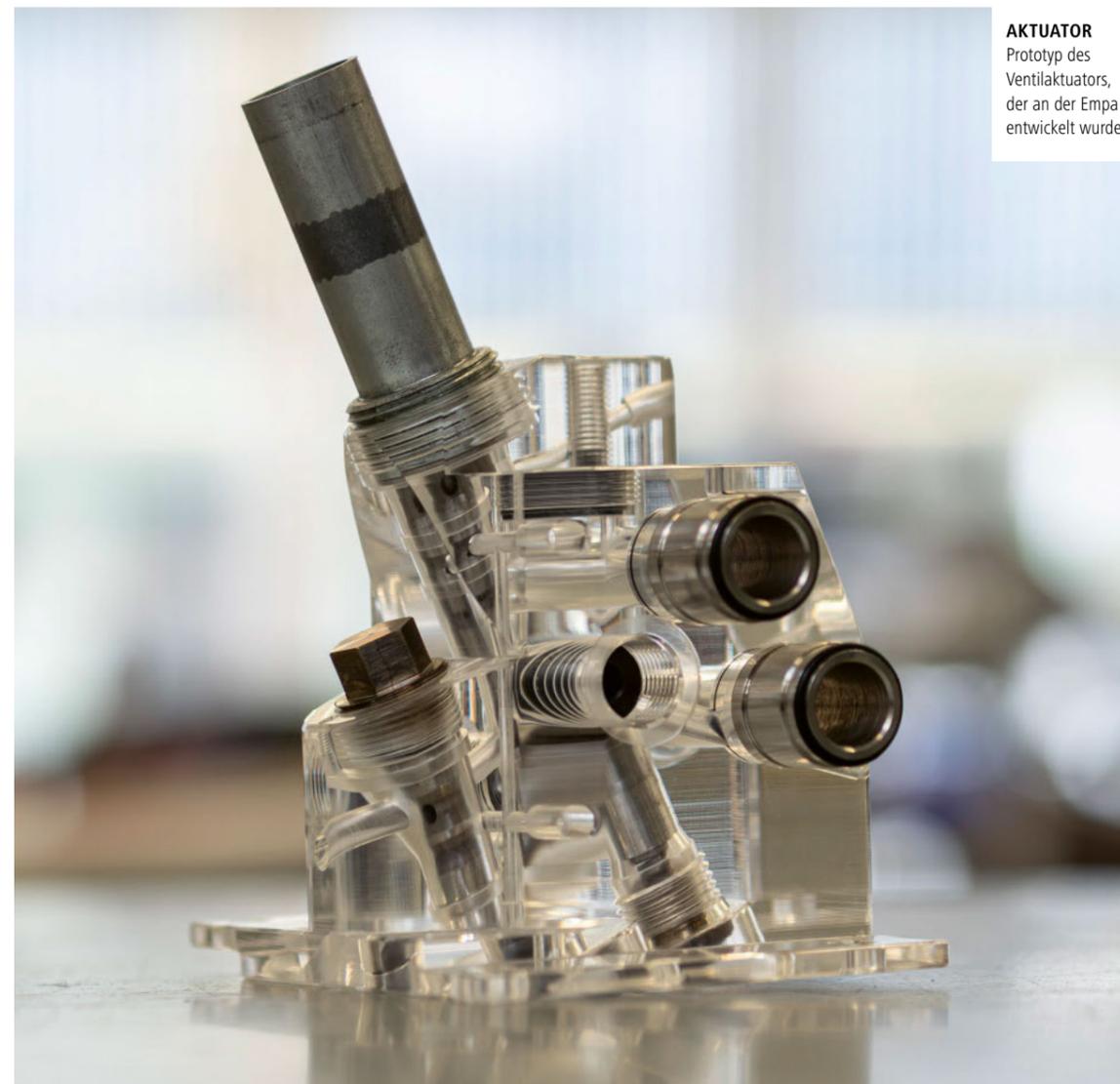
WASSERABWEISEND
Wo Wasser nicht benetzen kann: Selbst gedehnte Fasern lassen den Wassertropfen (blau) abperlen. (Mikroskopie, 20-fache Vergrößerung)



GLEICHMÄSSIG
Textilfasern (blau) können mittels Plasmabeschichtung gleichmässig wasserabweisend ausgerüstet werden. Auch anspruchsvollere elastische Fasern (rot) bleiben dank des neuen Verfahrens dauerhaft imprägniert. (Rasterelektronenmikroskopie, koloriert)

Fotos: AG Cilander / Empa

Foto: Empa



AKTUATOR
Prototyp des Ventilaktuators, der an der Empa entwickelt wurde.

DIE STROMMASCHINE

Industrielle Abwärme ist eine brachliegende Goldgrube: Sie fällt in grossen Mengen an, wird aber kaum effizient genutzt. Eine neuartige Maschine von Empa-Experten und ihren Partnern, die aus einer innovativen Motorentechnologie entstand, könnte das ändern – auch mit Hilfe eines «Empa Entrepreneur Fellowship», mit dem der Empa-Forscher und Jungunternehmer Andyn Omanovic kürzlich ausgezeichnet wurde.

Text: Norbert Raabe

Gute Ideen machen zuweilen überraschende Karrieren. Über Jahre hatten Fachleute der Empa an einer innovativen Ventilsteuerung für Verbrennungsmotoren gearbeitet – mit Hilfe von elektrohydraulisch betätigten Ventilen, die es ermöglichen, den Gaswechsel viel flexibler als bei herkömmlicher Nockenwellentechnologie zu gestalten. In einem Ottomotor liess sich der Treibstoffverbrauch so im typischen Normalbetrieb für Personenwagen um rund 20 Prozent senken. Mittlerweile wird dieser Ansatz für treibstoff-flexible Motoren von Nutzfahrzeugen zusammen mit einem LKW-Hersteller weiterentwickelt.

Doch nun könnte diese Technologie auch in einem anderen Bereich Fortschritte ermöglichen. Die Empa hat ihrem ehemaligen Doktoranden Andyn Omanovic ein «Entrepreneur

Fellowship» zugesprochen, um eine neuartige Kolbenmaschine mit dieser Steuerung auf den Markt zu bringen. Die Kommerzialisierung übernimmt die etavalve GmbH, ein Spin-off der Empa und der ETH Zürich, das vom Hydraulikexperten Wolfgang Schneider, der an der Entwicklung der Technologie mitbeteiligt war, mitgegründet wurde.

Die Idee: Abwärme aus Prozessen in der Metall- oder Zementindustrie und anderen Bereichen soll mit Hilfe der besagten Kolbenmaschine effizienter genutzt werden als mit heute gängigen Methoden, die mit Turbinen arbeiten. Da Zylinder und Kolben einen geschlossenen Raum bilden, erklärt Omanovic, erfolgen Kompression und Expansion des Prozesses in beinahe idealer Weise; das ermöglicht eine äusserst hohe Energieausbeute: Die Abwärme wird über die Kolben in mechanische Kraft umgewandelt, mit der schliesslich Strom

erzeugt wird. Aber erst durch die neuartige flexible Steuerung der Ventile wird dieser Prozess überhaupt umsetzbar.

EIN ENORMES POTENZIAL

«Turbinen sind vor allem für hohe Temperaturen und bei Leistungsanforderungen von mehreren hundert Megawatt effektiv», erklärt der Empa-Forscher, «aber für Temperaturbereiche von etwa 500 bis 900 Grad, bei denen die Abwärme unregelmässig anfällt, und bis zum Leistungsbereich von einigen Megawatt ist unsere Kolbenmaschine besser geeignet.» Das Potenzial ist hoch: Für Deutschland wurde 2016 die Menge der industriellen Abwärme über 300 Grad auf rund 10 Terrawattstunden pro Jahr beziffert. Zum Vergleich: In der Schweiz wurden im Jahr 2022 laut dem Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) insgesamt rund 57 Terawattstunden Strom verbraucht.

werden muss. «Das geschieht zuweilen oft mit einer Gasfackel ohne jegliche Verwertung der Energie», erklärt Omanovic, «wir nutzen die Hitze, die dabei entsteht, um mit unserer Kolbenmaschine Strom zu erzeugen.»

VOR DEM SCHRITT IN DIE PRAXIS

Bis Anfang 2025 soll für die Energieversorgerin IWB in Basel, die den Aufbau von Pflanzkohle-Anlagen in der Schweiz vorantreibt, eine Pilotmaschine entstehen – ausgelegt und realisiert eigens für die spezifischen Eigenschaften der Abwärme, die bei der Pyrolyse anfällt. Rund ein Jahr später, so die Entwickler von etavalve, soll bereits eine Kleinserie von Kolbenmaschinen an ein Unternehmen geliefert werden, das auf Anlagen für die Verbrennung von Schwachgasen aus Deponien oder der Biogasaufbereitung spezialisiert ist. Gespräche dazu sind bereits im Gange.

Die Experten von etavalve sind deshalb zuversichtlich, dass ihre Technologie in absehbarer Zeit auf den Markt kommen und dort bestehen könnte – trotz Herausforderungen in technischen Details wie temperaturbeständige Materialien für die Maschine und die Regelungsstrategie für den thermodynamischen Prozess, die noch zu meistern sind. Zumal auch die Kosten-Nutzen-Kalkulationen Hoffnungen wecken. «Unsere erste Pilotmaschine lässt sich schon fast kostendeckend herstellen und betreiben», sagt Omanovic, «das ist bei einer innovativen Technologie im aufwändigen Maschinenbau keineswegs selbstverständlich.» ■



EMPA-FÖRDERUNG FÜR UNTERNEHMENSGRÜNDUNGEN

Das «Empa Entrepreneur Fellowship» wird an Empa-Forscherinnen und -Forscher vergeben, die auf der Grundlage ihrer Forschung ein Start-up gründen wollen. Die Fellowships werden in einem Wettbewerb vergeben und beinhalten finanzielle Unterstützung für ein Jahr. Zusätzliche Förderung erhalten Empa-Spin-offs in beiden Business-Inkubatoren der Empa in Dübendorf und St. Gallen.

Aussichtsreich ist dabei auch die Nutzung von Abwärme aus Pyrolyseanlagen, die Biomasse in Pflanzkohle verwandeln, um Kohlenstoff dauerhaft zu binden – ein Verfahren, an dem auch Empa-Forschende arbeiten. Dabei fällt als Nebenprodukt so genanntes Schwachgas an, das Methan und gasförmige Schadstoffe enthält und, gesetzlich vorgeschrieben, verbrannt



ERFINDERGEIST IM TEAM
Von links: Patrik Soltic, Andyn Omanovic und Wolfgang Schneider, die Gründer von etavalve.



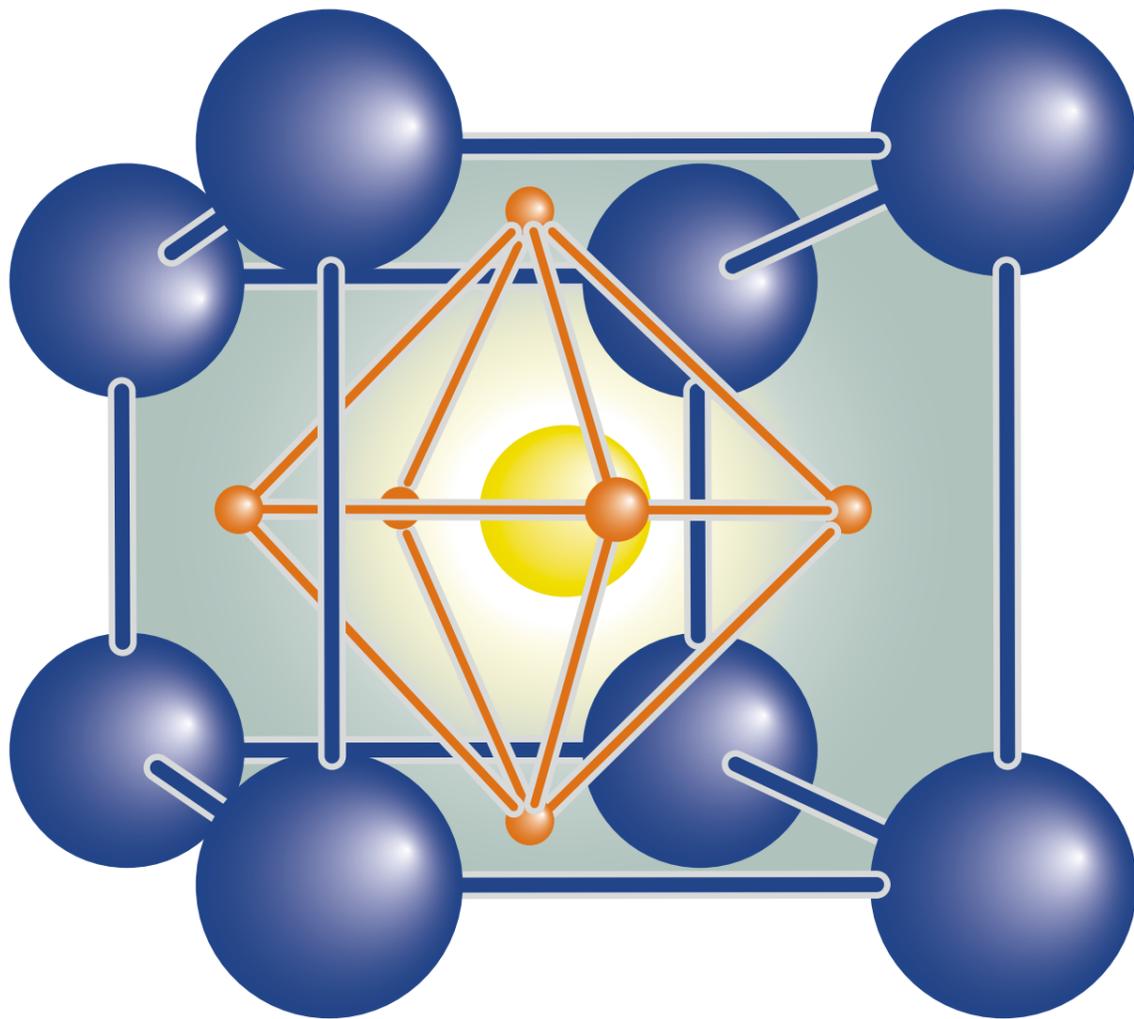
KERNSTÜCK
Kolben, wie sie auch im Verbrennungsmotor zum Einsatz kommen, sind das Kernstück der Kolbenmaschine.

Fotos: Empa

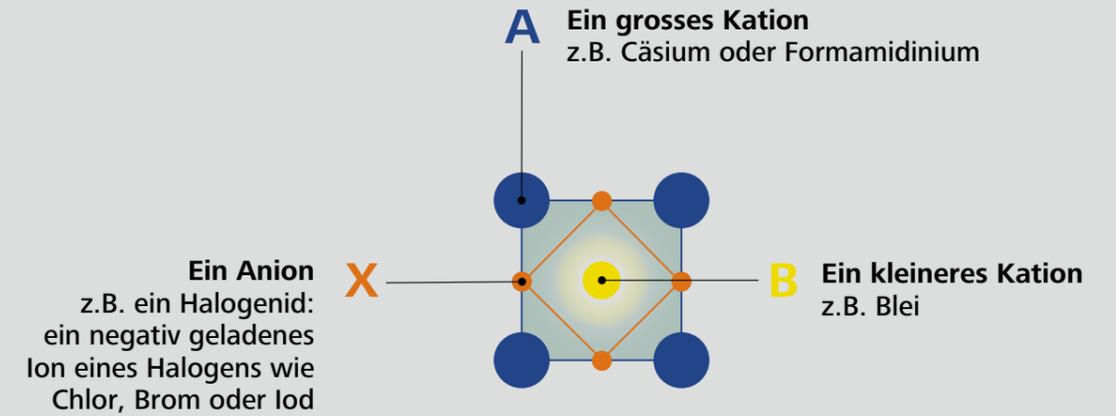
KRISTALLINE ALLESKÖNNER

Perovskite sind eine Gruppe von Materialien mit einer besonderen Kristallstruktur. Diese Struktur verleiht ihnen ungewöhnliche physikalische Eigenschaften, die sich zudem genau steuern lassen, indem man die genaue Zusammensetzung des Perovskits variiert. Kein Wunder also, dass Perovskite für zahlreiche Anwendungen, vor allem in der Optoelektronik, erforscht werden. Empa-Forschende entwickeln etwa Solarzellen, Bildsensoren und Komponenten für Quantencomputer auf Basis von Perovskiten.

Grafik: Empa



Kristallbaukasten



Anwendungen

<u>Nanokristalle</u>	<u>Monokristalle</u>	<u>Dünnschichten</u>
Perovskitkristalle im Nanometerbereich weisen Photolumineszenz und Quanteneffekte auf und könnten in neuartiger Elektronik eingesetzt werden.	Grosse Perovskit-Monokristalle (bis zu einem Zentimeter gross) können als Detektoren für Licht oder Röntgenstrahlung dienen.	Dünnschichten aus Perovskit haben vielversprechende Anwendungen in der Produktion von Solarzellen.

VOM FUND ZUR ERFINDUNG

Das Wort «Perovskit» beschreibt ein natürlich vorkommendes Mineral, aber auch eine ganze Reihe an hochspezialisierten synthetischen Verbindungen, die vielversprechende Anwendungen unter anderem in der Elektronik und der Photovoltaik haben. Aber was ist ihnen eigentlich gemeinsam, und wer hat sie ursprünglich entdeckt?

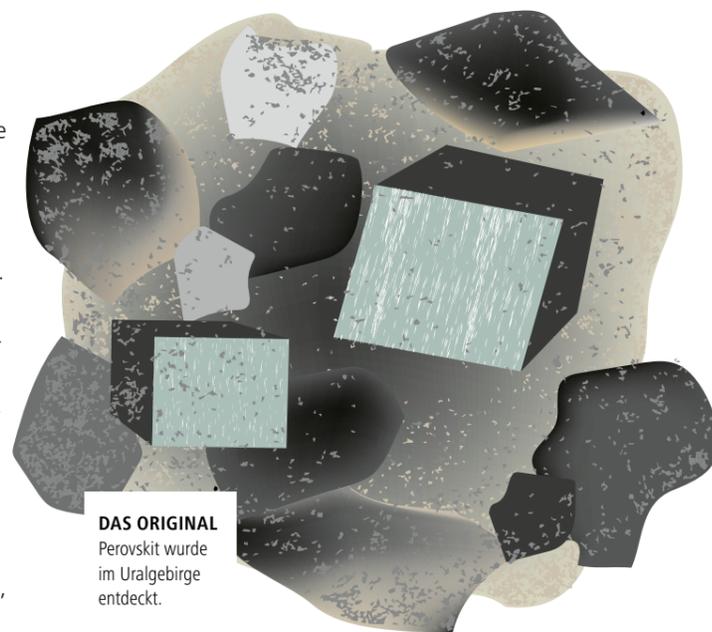
Text: Anna Ettlín

Im Jahr 1839 erhielt der deutsche Mineraloge Gustav Rose eine eigenartige Gesteinsprobe aus dem Uralgebirge. Eingebettet in den Stein war ein etwa sieben Millimeter grosser kubischer Kristall aus einem bis dato unbekanntem Mineral. Rose nannte das neu entdeckte Mineral Perovskit, nach seinem Sponsor, dem russischen Adligen und Mineralogen Lev Perovski.

Die bemerkenswerte Kristallstruktur des Perovskits wurde 1926 vom schweizerisch-norwegischen Wissenschaftler Victor Goldschmidt beschrieben. Sie basiert auf der chemischen Formel ABX_3 , wobei A und B positiv geladene Ionen – Kationen – sind. Bei X handelt es sich um ein negativ geladenes Anion. Beim ursprünglichen Perovskit, dem Calciumtitanoxid, sind A und B Calcium- beziehungsweise Titan-Kationen, X ein Sauerstoff-Anion.

Perovskite lassen sich aber auch aus anderen A-, B- und X-Komponenten herstellen. Besonders bekannt sind sogenannte Bleihalogenid-Perovskite. Sie enthalten an der B-Stelle Blei und X ist ein Halogen-Anion wie Chlorid, Bromid oder Iodid. An der A-Stelle ist ein

grosses Kation zu finden, meist entweder Cäsium oder ein organisches Kation wie Methylammonium oder Formamidinium. Bleihalogenid-Perovskite sind gute



DAS ORIGINAL
Perovskit wurde im Uralgebirge entdeckt.

Halbleiter, dessen Eigenschaften sich steuern lassen, indem man ihre genaue Zusammensetzung variiert. Sie lassen sich aus einfachen Chemikalien und Lösungsmitteln sowie aus Schmelzen herstellen, beispielsweise zu Dünnschichten oder grossen Monokristallen.

Empa-Forschende, die unterschiedliche Anwendungen für Bleihalogenid-Perovskite entwickeln, machen sich ihre einzigartigen Eigenschaften zunutze. 2014 haben Maksym Kovalenko und

sein Team an der ETH Zürich und an der Empa, darunter Maryna Bodnarchuk aus dem Empa-Labor für Dünnschichten und Photovoltaik, erstmals winzige monodisperse Perovskit-Nanokristalle synthetisiert, sogenannte Quantenpunkte. Sie arbeiten weiterhin intensiv an der Materialentwicklung in diesem Bereich (Seite 20). Zudem forscht Kovalenko Gruppe an Bildsensoren auf Basis von Dünnschicht-Perovskiten (Seite 22) sowie an Detektoren für Gamma- und Röntgenstrahlung, die aus Schichten von Perovskit-Monokristallen bestehen.

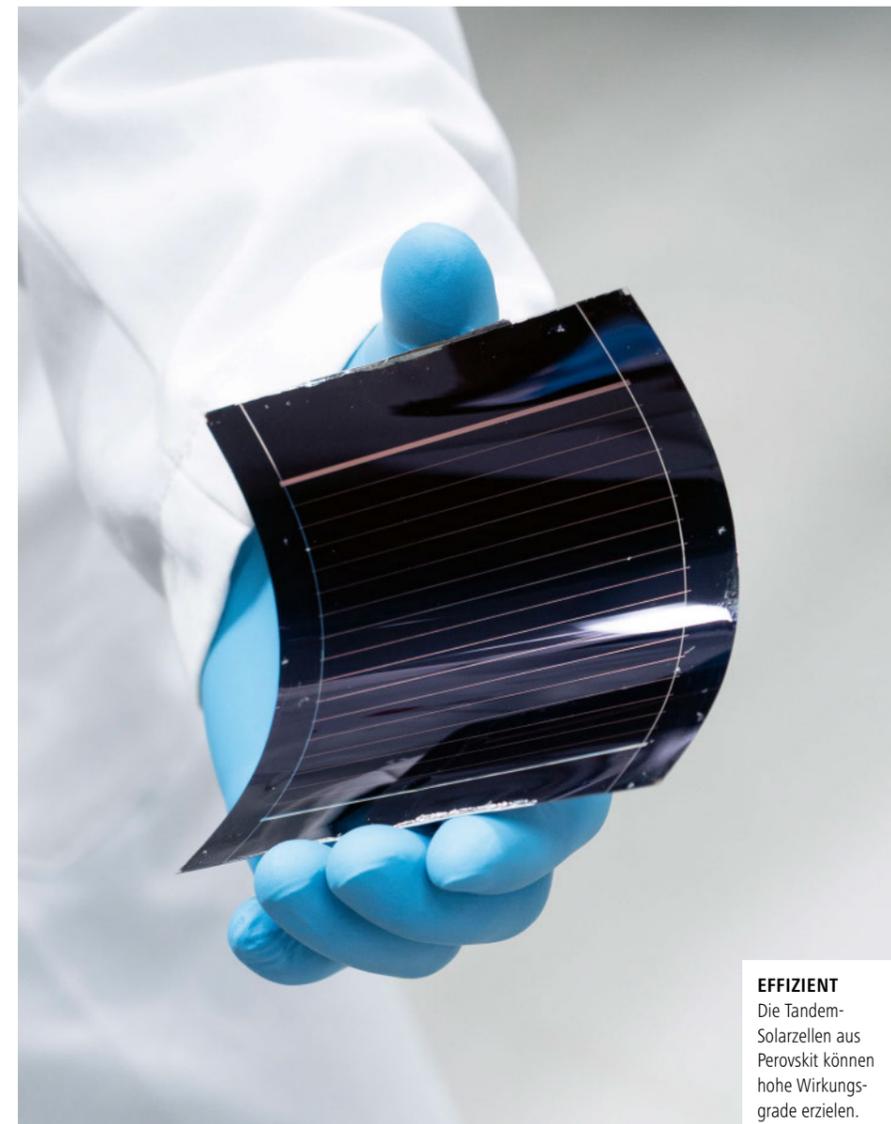
Das Team von Empa-Forscher Fan Fu widmet sich Solarzellen aus Perovskiten (Seite 17), die mit hoher Effizienz und Flexibilität

punkten. Auch das Labor für Funktionspolymere unter der Leitung von Frank Nüesch arbeitet an Perovskit-Solarzellen. 2020 ging aus dem Labor das Spin-off «Perovskia Solar» hervor, nur etwa 30 Jahre, nachdem Perovskit-Solarzellen erstmals beschrieben wurden – und 181 Jahre, nachdem Gustav Rose den kuriosen Kristall in Händen hielt. ■



Grafik: Empa

Foto: Empa



EFFIZIENT
Die Tandem-Solarzellen aus Perovskit können hohe Wirkungsgrade erzielen.

DARFS EIN BISSCHEN MEHR SEIN?

Zwei Schichten für mehr Effizienz: Tandem-Solarzellen auf Perovskitbasis können Sonnenlicht besser einfangen als herkömmliche Solarzellen aus Silicium. Im Labor konnten sich die leichten und flexiblen Zellen bereits beweisen – jetzt arbeiten Empa-Forschende daran, sie zu skalieren und alltagstauglich zu machen.

Text: Anna Ettlín

MIKROSKOPIE

Fan Fu, Severin Siegrist und Federico De Giorgi (von links) untersuchen die Solarzellen.



FLEXIBLE VIERECKE

Drei Prototypen von Dünnschicht-Solarzellen auf Perovskitbasis.



Dachziegel waren gestern: Heute sieht man auf immer mehr Schweizer Dächern grosse schwarzblaue Rechtecke, die Sonnenlicht in Strom umwandeln. Die schwarzblaue Farbe kommt von Silicium-Kristallen, denn auf diesem Halbleitermaterial basiert die Mehrheit der heute erhältlichen Solarzellen. Doch Silicium ist nicht die einzige Möglichkeit, Solarzellen herzustellen – und möglicherweise auch nicht die beste.

Photovoltaik-Zellen auf Siliciumbasis sind mittlerweile so weit entwickelt, dass sie an die Grenzen ihrer Effizienz stossen. Zwar liessen sich noch ein paar wenige Prozentpunkte mehr herausholen, aber die theoretische Obergrenze für den Wirkungsgrad einer Silicium-Einfachzelle liegt bei 33 Prozent. Praktisch ist sie etwas tiefer, da beim Bau und Betrieb der Zellen unweigerlich kleine Energieverluste anfallen. Der Grund für diese begrenzte Effizienz ist auf die Materialeigenschaften des Siliciums

zurückzuführen. Die sogenannte Bandlücke des Materials bewirkt, dass nur Photonen mit einer bestimmten Energie zu Strom umgewandelt werden können. Ist die Energie des Photons zu hoch, kann es von der Solarzelle nicht vollständig «verwertet» werden.

ZWEI SCHICHTEN SIND BESSER ALS EINE Solarzellen aus anderen Materialien bieten eine Möglichkeit, diese Einschränkung zu umgehen, weiss Empa-Forscher Fan Fu. Der Gruppenleiter im Labor für Dünnschichten und Photovoltaik forscht an hocheffizienten Solarzellen aus Perovskit. Eine Perovskit-Einfachzelle allein erreicht zwar noch keinen höheren Wirkungsgrad, denn auch Perovskit hat als Halbleiter eine begrenzte Bandlücke. Die wahre Stärke des innovativen Materials zeigt sich darin, dass sich diese Bandlücke – anders als bei Silicium – steuern lässt, indem man die Zusammensetzung des Perovskitmaterials variiert.

Verarbeitet man zwei Perovskite mit unterschiedlichen Bandlücken zu Dünnschicht-Solarzellen und «stapelt» sie

aufeinander, erhält man eine sogenannte Tandem-Solarzelle. Eine Perovskit-Schicht «fängt» die Photonen mit hoher Energie, die andere diejenigen mit niedriger Energie. Somit lassen sich theoretisch Wirkungsgrade von bis zu 45 Prozent erzielen – deutlich mehr als die 33 Prozent bei Einfachzellen. Alternativ lässt sich auch eine Perovskit- mit einer Siliciumschicht zu einer hocheffizienten Tandemzelle verarbeiten. Zurzeit forschen Fu und sein Team jedoch vor allem an reinen Perovskit-Tandemzellen, unter anderem im Rahmen des EU-Forschungsprojekts «SuPerTandem», an dem insgesamt 15 führende europäische Forschungsinstitutionen und Unternehmen beteiligt sind.

«Perovskit-Zellen haben einen niedrigeren CO₂-Fussabdruck als Silicium.»

zurzeit Tandemzelle verarbeiten. Zurzeit forschen Fu und sein Team jedoch vor allem an reinen Perovskit-Tandemzellen, unter anderem im Rahmen des EU-Forschungsprojekts «SuPerTandem», an dem insgesamt 15 führende europäische Forschungsinstitutionen und Unternehmen beteiligt sind.

Fotos: Empa

Ziel des Projekts: Flexible Perovskit-Tandem-Module mit einem Wirkungsgrad von über 30 Prozent zu entwickeln, die sich zudem mit skalierbaren und kostengünstigen Verfahren produzieren lassen. Denn das ist eine weitere Stärke der Perovskit-Solarzellen: «Für Silicium-Solarzellen braucht es in der Regel hochreine Silicium-Monokristalle, die bei hoher Temperatur hergestellt werden», erklärt Fu. «Perovskit-Dünnschichten können dagegen gedruckt, verdampft oder aus der Lösung abgeschieden werden, mit einem entsprechend niedrigen CO₂-Fussabdruck. Kleine Defekte, die dabei entstehen, beeinträchtigen ihre optoelektronischen Eigenschaften nur wenig.»

Der potenzielle Nutzen von Projekten wie «SuPerTandem» ist enorm, denn je höher der Wirkungsgrad, desto günstiger wird unter dem Strich die Solaranlage. «Die Zelle selbst macht weniger als 20 Prozent der Kosten für eine PV-Anlage aus», sagt Fu. «Die restlichen 80 Prozent entfallen auf die Verkabelung, die Wechselrichter, die Steuerung und

natürlich den Arbeitsaufwand für die Installation.» Steigert man die Effizienz der einzelnen Zellen, reicht für dieselbe Stromproduktion eine kleinere – und somit günstigere – PV-Anlage. Auch können Dünnschichtzellen aus Perovskit auf leichten flexiblen Folien hergestellt werden, anstatt auf schweren, starren Glasplatten wie Siliciumzellen. Dadurch lassen sie sich auch an mehr Orten einsetzen, etwa auf Autodächern oder auf Bauwerken mit geringer Tragkraft.

VOM LABOR AUF DAS DACH

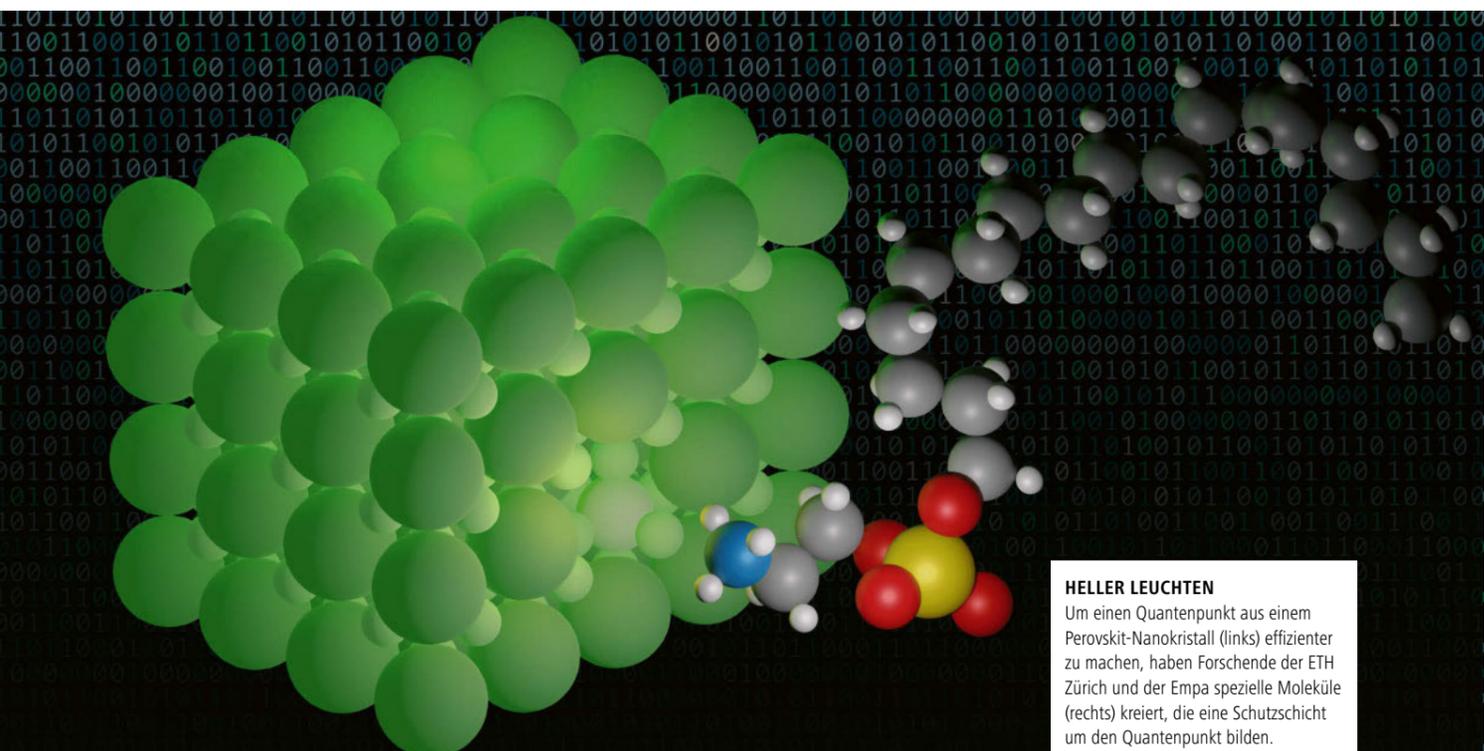
Dieses grosse Potenzial von Perovskit-Solarzellen gilt es nun auszuschöpfen. Neben «SuPerTandem» arbeitet Fan Fu Team auch in zwei Schweizer Projekten daran. In einem vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) geförderten Projekt arbeiten das Empa-Team daran, die grundlegenden Eigenschaften und Herausforderungen der Perovskit-Solarzellen besser zu verstehen, die zu ihrer Effizienz und Stabilität beitragen. Und in einem Projekt mit dem Bundesamt für Energie (BFE) setzen sie ihr bereits

vorhandenes Wissen gleich in die Praxis um, indem sie die an der Empa entwickelten Tandem-Zellen skalieren.

Was müssen wir noch tun, damit sich zu den schwarzblauen Vierecken auf dem Dach bald einmal Perovskit-Folien gesellen? «Zunächst müssen wir die Perovskit-Zellen von den heutigen Prototypen von wenigen Zentimetern Grösse auf Industriegrössen skalieren», sagt Fu. Auch gilt es, die noch etwas empfindlichen Zellen wirksam vor Witterungseinflüssen zu schützen. Der Empa-Forscher ist optimistisch, dass beides in den nächsten fünf bis zehn Jahren gelingen wird. «Wir machen gute Fortschritte, und es besteht ein grosses Interesse aus der Industrie», sagt der Wissenschaftler. «Die Forschung beschäftigt sich erst seit knapp 15 Jahren mit Perovskit-Solarzellen. An Siliciumzellen wird immerhin schon seit fast 70 Jahren geforscht.»



HELLER & SCHNELLER



HELLER LEUCHTEN

Um einen Quantenpunkt aus einem Perovskit-Nanokristall (links) effizienter zu machen, haben Forschende der ETH Zürich und der Empa spezielle Moleküle (rechts) kreiert, die eine Schutzschicht um den Quantenpunkt bilden.

Forschende der Empa und der ETH Zürich haben neue Verfahren entwickelt, mit denen sie aus Perovskit-Quantenpunkten schnellere und effizientere Strahler machen und so ihre Helligkeit deutlich verbessern können. Dies ist sowohl für Anwendungen in Bildschirmen als auch für Quantentechnologien relevant.

Text: Oliver Morsch / ETH Zürich



Quantenpunkte sind so etwas wie künstliche Atome: Nur wenige Nanometer gross und aus Halbleitermaterialien bestehend, können sie Licht einer ganz bestimmten Farbe aussenden, im Extremfall gar einzelne Photonen, was für Quantentechnologien wichtig ist. Die Entdecker und Wegbereiter der kommerziellen Herstellung von Quantenpunkten, Mounji G. Bawendi, Louis E. Brus und Aleksey Yekimov, wurden letztes Jahr mit dem Chemie-Nobelpreis geehrt.

In den letzten Jahren haben vor allem Quantenpunkte aus Perovskiten, einer Materialklasse mit einer ähnlichen Struktur wie das Mineral Perovskit (Calcium-

titanat), von sich reden gemacht. Hergestellt wurden solche Quantenpunkte erstmals 2014 von Forschenden um Maksym Kovalenko an der ETH Zürich und der Empa. Quantenpunkte aus Perovskit-Nanokristallen kann man in Flüssigkeiten zu einer Dispersion mischen, wodurch sie sich leicht weiterverarbeiten lassen. Zudem leuchten sie aufgrund ihrer besonderen optischen Eigenschaften heller als viele andere Quantenpunkte und sind günstiger herzustellen, was sie unter anderem für Anwendungen in Bildschirmen interessant macht.

Wie man diese ohnehin schon vielversprechenden Eigenschaften von Perovskit-Quantenpunkten nochmals deutlich verbessern kann, hat Kovalenkos Team

nun gemeinsam mit KollegInnen in der Ukraine und den USA gezeigt. Dabei kamen sowohl chemische Verfahren zur Oberflächenbehandlung als auch bislang in Perovskit-Quantenpunkten noch nie beobachtete quantenmechanische Effekte zum Einsatz. Ihre Ergebnisse haben die Forschenden kürzlich gleich in zwei Artikeln im renommierten Fachjournal «Nature» veröffentlicht.

«UNGLÜCKLICHE» ATOME REDUZIEREN HELLGKEIT

Die Helligkeit ist eine wichtige Masseneinheit für Quantenpunkte und hängt damit zusammen, wie viele Photonen der Quantenpunkt pro Sekunde aussendet. Quantenpunkte geben Photonen einer bestimmten Farbe (also Frequenz) ab, nachdem sie zuvor zum Beispiel durch UV-Licht höherer Frequenz angeregt wurden. Dabei bildet sich ein so genanntes Exziton aus einem Elektron, das sich nun freier bewegen kann, und einem Loch, also einem fehlenden Elektron in der energetischen Bandstruktur des Materials. Das angeregte Elektron kann danach wieder auf ein niedrigeres Energieniveau zurückfallen und sich so mit dem Loch rekombinieren. Wird die dabei freiwerdende Energie in ein Photon umgewandelt, so sendet der Quantenpunkt Licht aus.

Das funktioniert aber nicht immer. «An der Oberfläche der Perovskit-Nanokristalle befinden sich «unglückliche» Atome, denen ihr Nachbar im Kristallgitter fehlt», erklärt ETH-Forscher Gabriele Raino. Diese Randatome stören das Gleichgewicht der positiven und negativen Ladungsträger im Innern des Nanokristalls und können dazu führen, dass bei der Rekombination die Energie nicht als Licht abgegeben wird, sondern in Kristallschwingungen übergeht. Dadurch «blinkt» der Quantenpunkt, leuchtet also nicht durchgehend.

EIN SCHUTZMANTEL AUS PHOSPHOLIPIDEN

Um dies zu verhindern, haben Kovalenko und sein Team massgeschneiderte Moleküle entwickelt, so genannte Phospholipide. «Diese Phospholipide sind den Liposomen sehr ähnlich, mit denen zum Beispiel der mRNA-Impfstoff gegen das Coronavirus so eingebettet wird, dass er in der Blutbahn stabil bleibt und bis zu den Zellen gelangt», erklärt Kovalenko. Ein wichtiger Unterschied: Die Forschenden optimierten ihre Moleküle derart, dass der polare, also elektrisch empfindliche Teil des Moleküls an die Oberfläche der Perovskit-Quantenpunkte andockt und dort dafür sorgt, dass die «unglücklichen» Atome wieder einen (Ladungs-)Partner erhalten.

Der nach aussen abstehende, nichtpolare Teil des Phospholipids macht es zudem möglichst, mit Quantenpunkten eine Dispersion in nichtwässrigen Lösungen, etwa in organischen Lösungsmitteln, herzustellen. Auch für die strukturelle Stabilität der Quantenpunkte ist der Lipidmantel wichtig, wie Kovalenko betont: «Diese Oberflächenbehandlung ist essenziell für alles, was wir mit den Quantenpunkten machen wollen.» Bisher haben Kovalenko und Co. die Behandlung für Quantenpunkte aus Blei-Halogenid-Perovskiten demonstriert, sie lässt sich aber leicht an andere Metall-Halogenid-Quantenpunkte anpassen.

NOCH HELLER DANK SUPERRADIANZ

Durch die Lipid-Oberfläche konnte das Blinken der Quantenpunkte so weit reduziert werden, dass in 95 Prozent der Elektron-Loch-Rekombinationen ein Photon ausgesandt wird. Um den Quantenpunkt noch heller zu machen, mussten die Forschenden allerdings die Geschwindigkeit der Rekombination selbst erhöhen – und das geht nur mit Hilfe der Quantenmechanik. Ein angeregter Zustand, zum Beispiel ein Exziton, zerfällt dadurch, dass ein Dipol – also gegeneinander ver-

schobene positive und negative Ladungen – mit dem elektromagnetischen Feld des Vakuums in Wechselwirkung tritt. Je grösser dieser Dipol, desto schneller der Zerfall. Eine Möglichkeit, einen grösseren Dipol zu erzeugen, besteht darin, mehrere kleinere Dipole einheitlich aneinander zu koppeln. Das ist vergleichbar mit Pendeluhrn, die mechanisch miteinander verbunden sind und dadurch nach einer gewissen Zeit im Takt schlagen.

Die Forschenden konnten im Experiment zeigen, dass diese kohärente Kopplung auch in Perovskit-Quantenpunkten funktioniert – und zwar mit einem einzigen Exziton-Dipol, der sich durch quantenmechanische Effekte im gesamten Volumen des Quantenpunkts ausbreitet und so gleichsam mehrere Kopien seiner selbst erzeugt. Je grösser der Quantenpunkt, desto mehr Kopien können entstehen. Diese können dann einen als Superradianz bezeichneten Effekt hervorrufen, durch den das Exziton viel schneller rekombiniert. Der Quantenpunkt ist daher auch schneller wieder bereit, ein neues Exziton aufzunehmen und kann so mehr Photonen pro Sekunde abgeben, er strahlt also noch heller. Wichtig dabei: Der schnellere Quantenpunkt sendet weiterhin einzelne Photonen aus (nicht mehrere zugleich) – und eignet sich damit für Quantentechnologien.

Die optimierten Perovskit-Quantenpunkte sind laut Kovalenko nicht nur für die Lichterzeugung und Displays interessant, sondern auch in anderen, weniger offensichtlichen Gebieten. So könnten sie beispielsweise als lichtaktivierte Katalysatoren in der organischen Chemie zum Einsatz kommen. An solchen und anderen Anwendungen forscht Kovalenko unter anderem im Rahmen des nationalen Forschungsschwerpunkts «NCCR Catalysis».

PIXEL HOCH DREI

Dreimal so viel Licht einfangen: Empa- und ETH-Forschende entwickeln einen Bildsensor aus Perovskit, der auch bei schlechten Lichtverhältnissen farbgerechte Fotos liefern soll. Der Trick dabei: Wo die Pixel für Rot, Grün und Blau bei herkömmlichen Bildsensoren nebeneinanderliegen, lassen sich Perovskit-Pixel platzsparend stapeln – und verbessern so die Bildqualität.

Text: Anna Ettlin

Familie, Freunde, Ferien, Vierbeiner: Heute lichten wir alles ab, was uns vors Objektiv kommt. Digitale Fotografie, ob mit Handy oder Kamera, ist simpel und entsprechend weit verbreitet. Jedes Jahr versprechen die neuesten Geräte einen noch besseren Bildsensor mit noch mehr Megapixeln. Die gängigste Art von Sensor basiert dabei auf Silicium, das durch spezielle Filter in einzelne Pixel für rotes, grünes oder blaues (RGB-) Licht unterteilt wird. Dies ist allerdings nicht die einzige Möglichkeit, einen digitalen Bildsensor herzustellen – und möglicherweise auch nicht die beste.

Forschende der Empa und der ETH Zürich arbeiten an einer Alternative. Ein Konsortium, bestehend aus Maksym Kovalenko aus dem Empa-Labor «Thin Film and Photovoltaics», Ivan Shorubalko aus dem Empa-Labor «Transport at Nano-scale Interfaces» sowie den ETH-Forschenden Taekwang Jang und Sergii Yakunin, entwickelt einen Bildsensor aus Perovskit. Dieser ist in der Lage, wesentlich mehr Licht einzufangen als sein Gegenspieler aus Silicium. In einem Silicium-Bildsensor sind die RGB-Pixel gitterförmig

nebeneinander angeordnet. Dabei fängt jeder Pixel nur rund ein Drittel des einfallenden Lichts ein; die restlichen zwei Drittel werden vom Farbfilter blockiert.

Pixel aus Bleihalogenid-Perovskiten brauchen keinen Extra-Filter: Der Filter ist im Material sozusagen «eingebaut». Den Empa- und ETH-Forschenden ist es gelungen, Bleihalogenid-Perovskite so herzustellen, dass sie nur das Licht einer bestimmten Wellenlänge – und somit Farbe – absorbieren, für andere Wellenlängen hingegen transparent sind. Somit lassen sich die Pixel für Rot, Grün und Blau übereinanderschichten, anstatt sie nebeneinander anzuordnen. Der resultierende Pixel kann alle Wellenlängen des Lichts absorbieren. «Mit einem Perovskit-Sensor liesse sich also dreimal so viel Licht pro Fläche einfangen wie mit einem herkömmlichen Silicium-Sensor», erklärt Empa-Forscher Shorubalko. Ausserdem konvertiert Perovskit einen grösseren Anteil des absorbierten Lichts zu einem elektrischen Signal, was dem Bildsensor eine noch höhere Effizienz verleiht.

Die Herstellung von einzelnen funktionierenden dreifarbigigen Perovskit-Pixeln

konnte die Forschungsgruppe von Kovalenko an der Empa und der ETH Zürich bereits 2017 zeigen. Um den nächsten Schritt in Richtung echter Bildsensoren zu machen, hat sich das von Kovalenko geleitete ETH-Empa-Konsortium mit der Elektronikindustrie zusammengetan. «Zu den Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt, gehören die Suche nach neuen Verfahren zur Herstellung und Strukturierung von Materialien sowie das Design und die Implementierung von Perovskit-kompatiblen elektronischen Auslese-Architekturen», betont Kovalenko. Nun arbeiten die Forschenden daran, die ursprünglich bis zu fünf Millimeter grossen Pixel zu miniaturisieren und zu einem funktionierenden Bildsensor zusammenzufügen. «Im Labor stellen wir zwar nicht die grossen Sensoren mit mehreren Megapixeln her, wie sie in Kameras zum Einsatz kommen», erklärt Shorubalko, «aber bereits mit einer Grösse von rund 100'000 Pixeln können wir zeigen, dass die Technologie funktioniert.»

GUTE LEISTUNG GANZ OHNE SCHMELZE

Ein weiterer Vorteil von Perovskit-basierten Bildsensoren ist ihre Herstellung.

Im Gegensatz zu anderen Halbleitern sind Perovskite wenig empfindlich auf Materialdefekte und lassen sich dadurch verhältnismässig unkompliziert herstellen, etwa indem man sie aus einer Lösung auf das Trägermaterial ablagert. Konventionelle Bildsensoren brauchen hingegen hochreines monokristallines Silicium, das in einem langsamen Verfahren bei fast 1500 Grad Celsius hergestellt wird.

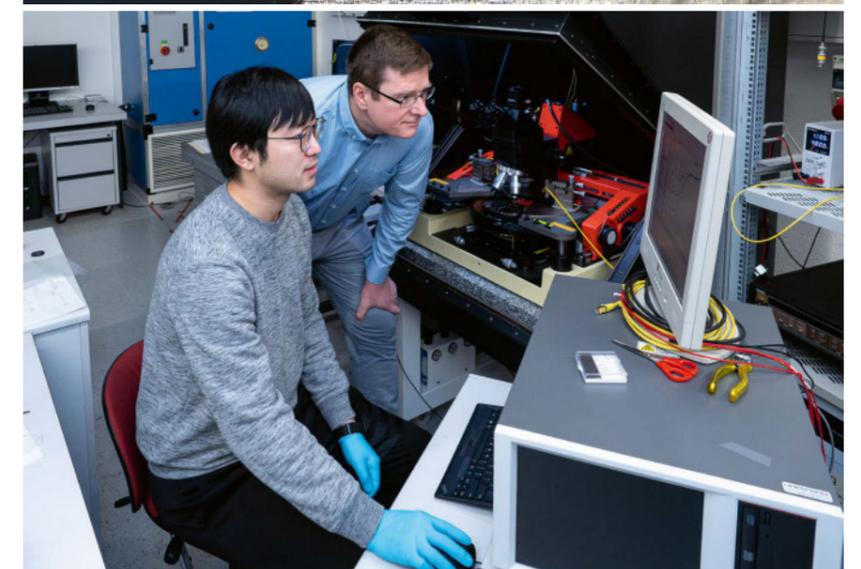
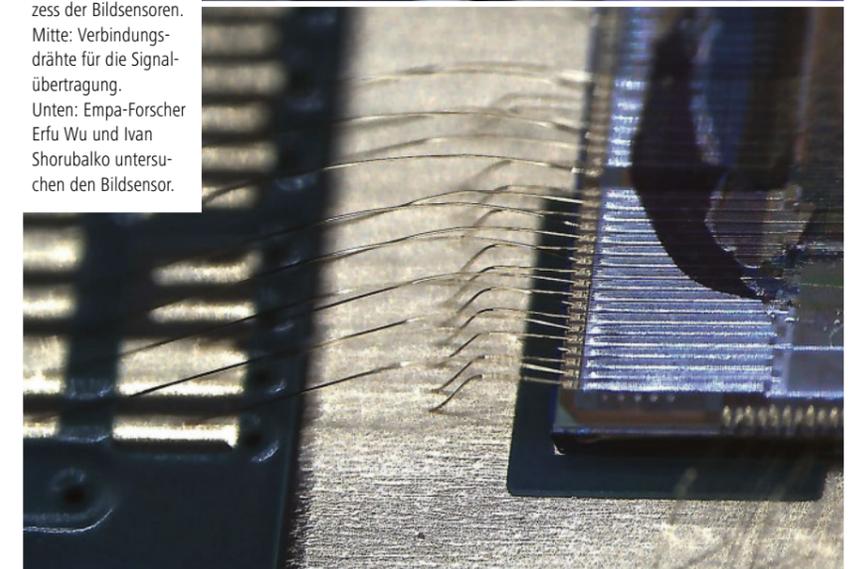
Die Vorteile von Perovskit-basierten Bildsensoren liegen auf der Hand. Nicht überraschend also, dass das Forschungsprojekt auch eine Industriepartnerschaft umfasst. Die Herausforderung liegt in der Stabilität des Perovskits, das empfindlicher auf Umwelteinflüsse reagiert als Silicium. «Mit Standardverfahren würde man das Material zerstören», sagt Shorubalko. «Also entwickeln wir neuartige Verfahren, bei denen das Perovskit stabil bleibt. Und unsere Partnergruppen an der ETH Zürich arbeiten daran, die Stabilität des Bildsensors im Betrieb zu gewährleisten.»

Sollte dies im Rahmen des noch bis Ende 2025 laufenden Projekts gelingen, ist die Technologie bereit für den Transfer in die Industrie. Shorubalko ist zuversichtlich, dass das Versprechen von einem besseren Bildsensor Handyhersteller anzieht. «Viele Menschen suchen sich heute ihr Smartphone anhand der Kameraqualität aus, weil sie dann keine separate Kamera mehr brauchen», sagt der Forscher. Da könnte ein Sensor, der bei viel weniger Licht erstklassige Bilder liefert, durchaus ein Pluspunkt sein. ■



FEINARBEIT

Oben: 3D-Druck ist ein möglicher Schritt im Herstellungsprozess der Bildsensoren. Mitte: Verbindungsdrähte für die Signalübertragung. Unten: Empa-Forscher Erfu Wu und Ivan Shorubalko untersuchen den Bildsensor.



Fotos: Empa



IM DUNKELN DURCHLEUCHTET

Wie man Nierensteine am besten behandelt, hängt davon ab, wie die Gebilde zusammengesetzt und geformt sind. Empa-Forschende arbeiten nun an einem schmerzlosen Diagnostik-Verfahren mittels Dunkelfeld-Röntgen. Die innovative Technologie erlaubt es, Struktur und Beschaffenheit der Steine für die Betroffenen individuell zu erfassen. Die Maiores-Stiftung und eine weitere Stiftung fördern das vor Kurzem gestartete Projekt.

Text: Andrea Six



PRIVATE UNTERSTÜTZUNG, DIE DEN UNTERSCHIED MACHT

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

können. Besonders geeignet ist hierbei das sogenannte Dunkelfeld-Röntgen. Die innovative, multi-modale Technologie nutzt einerseits die Streustrahlung, die bei der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung und Nierenstein entsteht, andererseits die direkte Durchstrahlung, die gleichzeitig ein konventionelles Röntgenbild ergibt. Die Kombination der beiden Bildarten ermöglicht eine besonders empfindliche Bestimmung der Zusammensetzung des Steins. Damit lassen sich sogar nahezu transparente Objekte sowie Feinheiten der Mikrostruktur abbilden. «Unser Ziel ist es, gängige Röntgengeräte in Arztpraxen und Spitälern möglichst kosteneffizient auf die neue Dunkelfeldtechnologie umrüsten zu können», so der Empa-Forscher. ■



Betroffene berichten von heftigen Schmerzen: Nierensteine können zwar lange Zeit unbemerkt bleiben, bei vielen Menschen verursachen sie jedoch irgendwann im Leben Beschwerden. Über fünf Prozent der Bevölkerung leiden an den vielgestaltigen Kristallen. Welche Therapie sich für die Volkskrankheit am besten eignet, hängt von der Form und chemischen Zusammensetzung der steinigen Gebilde ab. «Manchmal ist die Art der Steine aber erst dann erkennbar, wenn sie bereits durch eine Operation entfernt wurden», erklärt Robert Zboray vom «Center for X-ray Analytics» der Empa. Nicht immer ist ein solcher Eingriff im Spital indes überhaupt nötig. In manchen Fällen ist

eine – weitaus günstigere – Umstellung der Ess- und Trinkgewohnheiten genügend. Damit die richtige – sprich auf die einzelnen PatientInnen zugeschnittene – Behandlung zum Einsatz kommt, entwickeln Empa-Forschende ein neues Diagnoseverfahren auf der Basis fortgeschrittener Röntgentechnologien. Ermöglicht wird das kürzlich gestartete Projekt durch die Unterstützung der Maiores-Stiftung in Liechtenstein sowie einer weiteren Stiftung.

PRÄZISE UND EFFIZIENT

Zboray und sein Team suchen nach biomedizinischen Bildgebungsverfahren, mit denen Inhaltsstoffe, Gestalt und Lage der Nierensteine präzise, kostengünstig und schmerzlos bestimmt werden

Die Medizin von morgen möglich machen.



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

 **Empa**
Zukunftsfonds

ES GEHT IMMER KLEINER: WENN NANOPLASTIK KEINES IST ...

Textilien aus synthetischen Fasern geben beim Waschen Mikro- und Nanoplastik ab. Empa-Forschende konnten nun zeigen: Ein Teil des vermeintlichen Nanoplastiks besteht gar nicht aus Plastikpartikeln, sondern aus wasserunlöslichen Oligomeren. Welche Auswirkungen sie auf Mensch und Umwelt haben, ist noch kaum erforscht.

Text: Anna Ettlin

Gebrauchsgegenstände aus Kunststoff und Kleider aus Kunstfasern setzen Mikroplastik frei: Partikel unter fünf Millimeter Grösse, die unbemerkt in die Umwelt gelangen können. Ein kleiner Teil dieser Partikel befindet sich gar im Nanometerbereich. Solches Nanoplastik ist Gegenstand intensiver Forschung, denn aufgrund ihrer geringen Grösse können Nanoplastik-Teilchen in den menschlichen Körper aufgenommen werden – über ihre potenzielle Toxizität ist jedoch noch wenig bekannt.

Empa-Forschende aus der Gruppe von Bernd Nowack aus dem Labor «Technologie und Gesellschaft» haben nun gemeinsam mit Kollegen aus China Nanopartikel aus Textilien unter die Lupe genommen. Tong Yang, Erstautor der Studie, hat die Untersuchungen während seines Doktorats an der Empa durchge-

führt. Bereits in früheren Studien konnten die Empa-Forscher zeigen, dass beim Waschen von Polyester Mikro- und Nanoplastik freigesetzt wird. Eine genaue Untersuchung der freigesetzten Nanopartikel hat nun ergeben, dass nicht alles, was auf den ersten Blick nach Nanoplastik aussieht, auch tatsächlich Nanoplastik ist.

Zu einem beträchtlichen Teil handelte es sich tatsächlich nicht um Nanoplastik, sondern um Klumpen von sogenannten Oligomeren, also kleinen bis mittelgrossen Molekülen, die eine Zwischenstufe zwischen den langen verketteten Polymeren und ihren Einzelbausteinen, den Monomeren, darstellen. Diese Moleküle sind noch kleiner als Nanoplastik-Partikel. Auch über ihre Toxizität ist kaum etwas bekannt. Die Ergebnisse veröffentlichten die Forschenden in der Zeitschrift «Nature Water».

Für die Studie haben die Forschenden zwölf unterschiedliche Polyesterstoffe untersucht, darunter etwa Mikrofaser, Satin und Jersey. Die Stoffproben wurden bis zu vier Mal gewaschen und die dabei freigesetzten Nanopartikel analysiert und charakterisiert. Keine einfache Aufgabe, sagt Bernd Nowack.

«Plastik, vor allem Nanoplastik, ist überall, auch an unseren Geräten und Utensilien», so der Wissenschaftler. «Bei Nanoplastik-Messungen müssen wir dieses «Hintergrundrauschen» berücksichtigen.»

GROSSER ANTEIL LÖSLICHER PARTIKEL
Um Nanoplastik von Oligomerklumpen zu unterscheiden, nutzten die Forschenden ein Ethanolbad. Plastikstückchen, egal wie klein, lösen sich darin nicht auf, Ansammlungen von Oligomeren dagegen schon. Der Befund: Rund ein Drittel bis knapp 90 Prozent der beim Waschen freigesetzten Nanopartikel liessen sich in Ethanol auflösen. «Dadurch konnten wir zeigen, dass nicht alles, was im ersten Moment nach Nanoplastik aussieht, auch Nanoplastik ist», sagt Nowack.

Ob die Freisetzung von «nanopartikelären» Oligomeren beim Waschen von Textilien negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt hat, ist noch nicht klar. «Bei anderen Kunststoffen haben Studien bereits gezeigt, dass nanopartikeläre Oligomere toxischer sind als Nanoplastik», sagt Nowack.

«Das ist ein Hinweis, dass man das genauer untersuchen sollte.» Die Forschenden konnten jedoch feststellen, dass die Beschaffenheit des Textils sowie die Schnittmethode – Schere oder Laser – keinen grossen Einfluss auf die Menge der freigesetzten Partikel haben.

Auch der Mechanismus der Freisetzung ist noch nicht geklärt – weder für Nanoplastik noch für die Oligomerpartikel. Die erfreuliche Nachricht ist, dass die Menge der freigesetzten Partikel mit wiederholten Waschgängen



VORHER-NACHHER
Unter dem Rasterelektronenmikroskop sind die Nanopartikel an der Oberfläche der Fleece-Faser sichtbar (oben). Nach vier Wäschen sind kaum noch welche übrig (unten).

stark abnimmt. Denkbar wäre, dass die Oligomerpartikel bei der Herstellung des Textils entstehen oder sich durch chemische Prozesse bei der Lagerung von den Fasern abspalten. Auch hierzu sind weitere Studien notwendig.

Nowack und sein Team widmen sich jedoch vorerst wieder grösseren Partikeln: In einem nächsten Projekt wollen sie untersuchen, welche Fasern beim Waschen von Textilien aus nachwachsenden Rohstoffen freigesetzt werden und ob diese die Umwelt und die Gesundheit belasten könnten. «Halbsynthetische Textilien wie Viskose oder Lyocell werden als Ersatz für Polyester angepriesen», sagt Nowack. «Aber wir wissen noch gar nicht, ob sie wirklich besser sind, wenn es um die Freisetzung von Fasern geht.»



Fotos: Adobe Stock, Empa

FREISETZUNG
Textilien aus Kunstfasern geben beim Waschen Nanopartikel ab.

INNERE WERTE

Sollen Medikamente lokal – und vor allem über längere Zeit kontrolliert – abgegeben werden, stossen medizinische Produkte wie Salben oder Spritzen an ihre Grenzen. Empa-Forschende entwickeln daher Polymerfasern, die Wirkstoffe langfristig präzise abgeben können. Diese «Flüssigkernfasern» enthalten Medikamente in ihrem Inneren und lassen sich zu medizinischen Textilien verarbeiten.

Text: Andrea Six



PRÄZISION
Empa-Forscherin Edith Perret entwickelt spezielle Fasern, die Medikamente gezielt abgeben können.

Wird eine Wunde oder Entzündung direkt am Ort der Entstehung behandelt, hat dies klare Vorteile:

Der Wirkstoff ist sofort am Ziel, und negative Nebenwirkungen auf unbeteiligte Körperteile entfallen. Gängige lokale Verabreichungsmethoden kommen jedoch an ihre Grenzen, wenn es darum geht, Wirkstoffe über längere Zeit präzise zu dosieren. Sobald eine Salbe die Tube verlässt oder die Injektionsflüssigkeit aus der Spritze strömt, ist die Steuerung der Wirkstoffmenge kaum mehr möglich. Edith Perret aus dem Empa-Labor «Advanced Fibers» in St. Gallen entwickelt daher medizinische Fasern mit ganz besonderen «inneren Werten»: Die Polymerfasern umschliessen einen flüssigen Kern mit medizinischen Wirkstoffen. Das Ziel: medizinische Produkte mit besonderen Fähigkeiten, z.B. chirurgisches Nahtmaterial, Wundverbände und Textilimplantate, die Schmerzmittel, Antibiotika oder Insulin präzise über einen längeren Zeitraum verabreichen können. Angestrebt ist zudem eine individuelle Dosierbarkeit im Sinne einer personalisierten Medizin.

BIOVERTRÄGLICH UND MASSGESCHNEIDERT

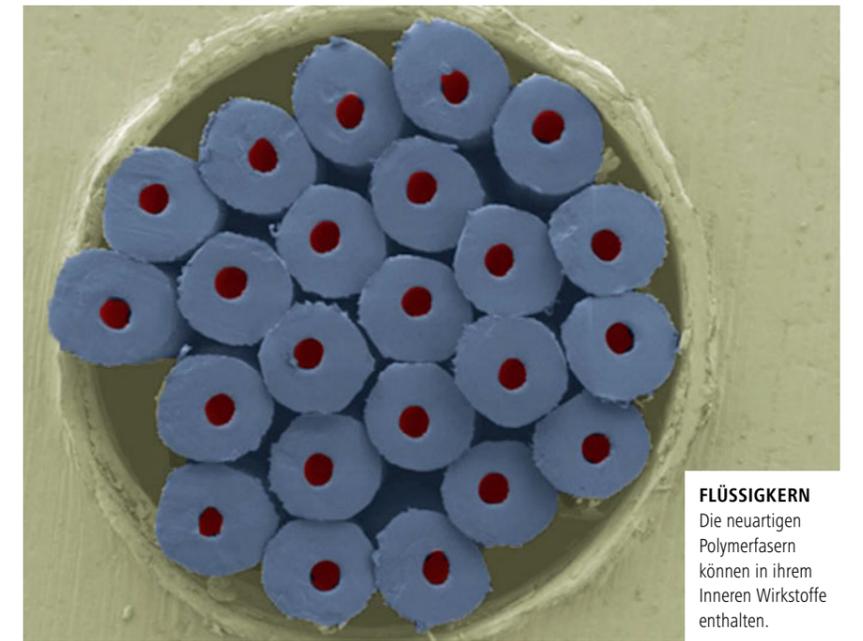
Ein entscheidender Faktor, der eine herkömmliche Textilfaser zu einem Medizinprodukt macht, ist das Material des Fasermantels. Das Team wählte hierfür Polycaprolacton (PCL), ein bioverträgliches und bioabbaubares Polymer, das bereits erfolgreich im medizinischen Bereich eingesetzt wird. Der Fasermantel umschliesst das kostbare Gut, etwa ein Schmerzmittel oder ein antibakteriell wirksames Medikament, und gibt es mit der Zeit an die Umgebung ab. Auf einer

eigens konstruierten Pilotanlage erzeugten die Forschenden mittels Schmelzspinnen PCL-Fasern mit einem durchgehenden Kern aus Flüssigkeit. In ersten Laborversuchen entstanden so stabile und gleichzeitig flexible Flüssigkernfasern. Dass dieses Verfahren aber nicht nur im Labor, sondern auch im industriellen Massstab funktioniert, hatte das Team für technische Fasern bereits zuvor gemeinsam mit einem Schweizer Industriepartner erfolgreich zeigen können.

Nach welchen Parametern die medizinischen Fasern ein eingeschlossenes Mittel freisetzen, wurde zunächst mit fluoreszierenden Modellsubstanzen und schliesslich mit verschiedenen Medikamenten untersucht. «Kleine Moleküle wie das Schmerzmittel Ibuprofen bewegen sich nach und nach durch die Struktur des Aussenmantels», so Edith Perret. Grössere Moleküle werden hingegen an den Enden der Fasern abgegeben.

PRÄZISE STEUERBAR

«Dank einer Vielzahl verschiedener Parameter lassen sich die Eigenschaften der medizinischen Fasern präzise steuern», erklärt die Empa-Forscherin. Nach umfassenden Analysen mittels Fluoreszenzspektroskopie, Röntgentechnologie und Elektronenmikroskopie konnten die Forschenden beispielsweise den Einfluss von Manteldicke oder Kristallstruktur des Mantelmaterials auf die Abgaberate von Medikamenten aus den Flüssigkernfasern nachweisen. Je nach Wirkstoff kann zudem das Herstellungsverfahren angepasst werden: Wirkstoffe, die unempfindlich gegenüber den hohen Temperaturen beim Schmelzspinnen sind, können direkt in einem kontinuierlichen Vorgang in den Kern der Fasern integriert werden. Für temperaturempfindliche Medikamente konnte das Team das Verfahren hingegen so optimieren, dass zunächst ein Platzhalter den Flüssigkern ausfüllt, der



FLÜSSIGKERN
Die neuartigen Polymerfasern können in ihrem Inneren Wirkstoffe enthalten.

KLINISCHE PARTNERSCHAFTEN ANGESTREBT

Eine neue Technologie vorantreiben? Innovative Anwendungsmöglichkeiten identifizieren? Empa-Forscherin Edith Perret (edith.perret@empa.ch) setzt auf interessierte Medizinerinnen und Mediziner aus der Klinik, die das Potenzial von «Drug Delivery» per Flüssigkernfaser erkennen und in diesem Bereich aktiv werden wollen.

nach dem Schmelzspinnen durch den sensitiven Wirkstoff ausgetauscht wird.

Zu den Vorteilen der Flüssigkernfasern gehört auch die Möglichkeit, den Wirkstoff aus einem Reservoir über einen längeren Zeitraum freizusetzen. Damit ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Mit Durchmessern von 50 bis 200 Mikrometern sind die Fasern beispielsweise gross genug, um sie zu robusten Textilien zu weben oder zu stricken. Die medizinischen Fasern könnten aber auch ins Körperinnere geführt werden und dort Hormone wie Insulin abgeben, so Perret. Ein weiterer

Vorteil: Fasern, die ihr Medikament freigesetzt haben, können erneut befüllt werden. Die Palette der Wirkstoffe, die mittels Flüssigkernfasern einfach, bequem und präzise verabreicht werden könnten, ist gross. Neben Schmerzmitteln sind entzündungshemmende Medikamente, Antibiotika oder sogar Lifestyle-Präparate denkbar.

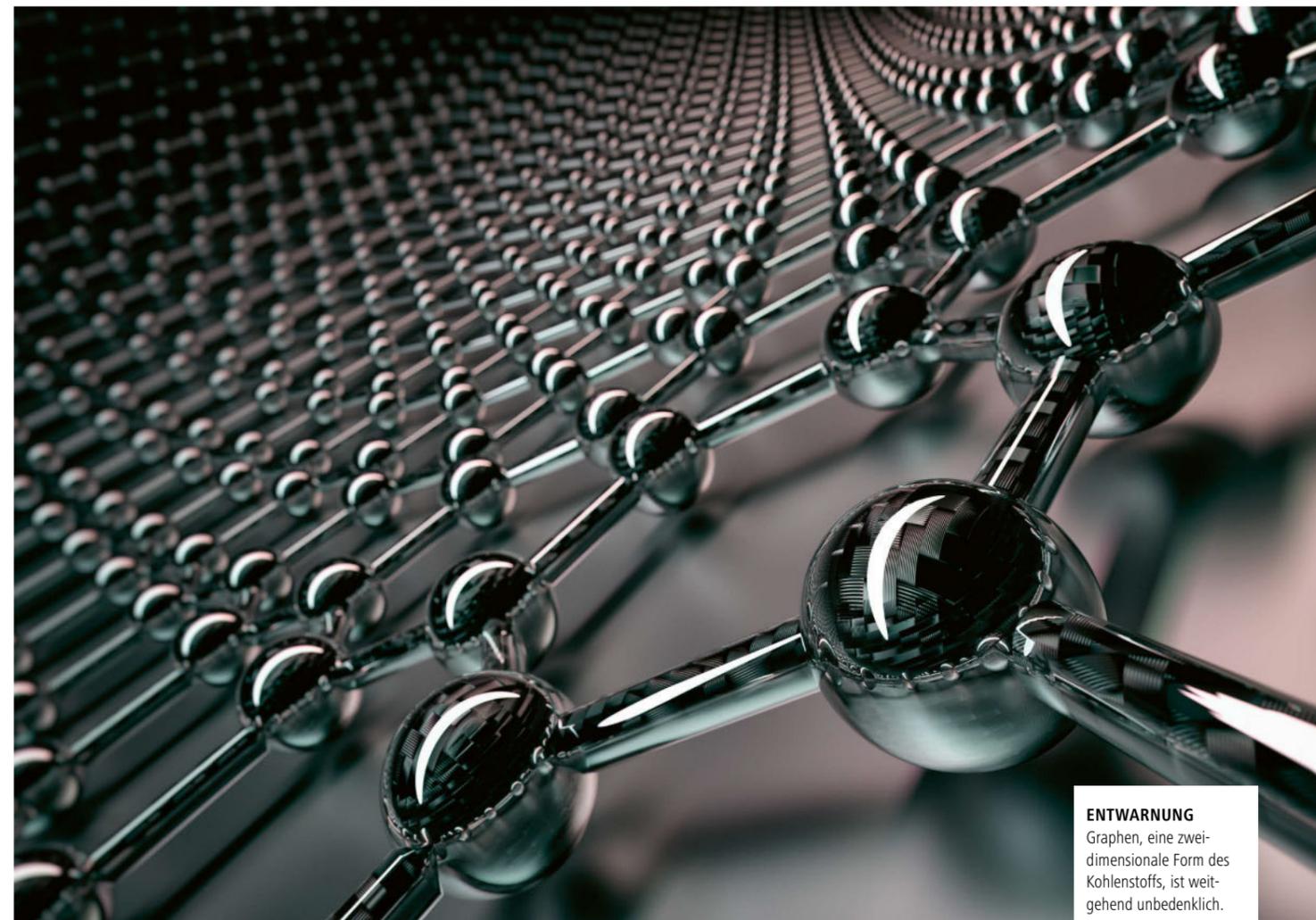
In einem nächsten Schritt wollen die Forschenden chirurgisches Nahtmaterial mit antimikrobiellen Eigenschaften ausstatten. Mit dem neuen Verfahren sollen verschiedene Flüssigkernmaterialien mit medizinischen Wirkstoffen befüllt werden, um Gewebe bei einer Operation so zu vernähen, dass Wundkeime keine Chance haben, eine Infektion auszulösen. Empa-Forscherin Perret ist darüber hinaus überzeugt, dass eine künftige Zusammenarbeit mit klinischen Partnern die Basis für weitere innovative klinische Anwendungen ist.



GRAPHEN GRUNDSÄTZLICH GEFAHRLOS

Die grösste je auf die Beine gestellte EU-Forschungsinitiative ist erfolgreich zu Ende gegangen: Ende letzten Jahres wurde das «Graphene Flagship» offiziell abgeschlossen. Daran beteiligt waren auch Empa-Forschende, etwa der Molekularbiologe Peter Wick, der im «Workpackage Health and Environment» von Anfang an dabei war – und die Erkenntnisse in diesem Bereich soeben mit internationalen Kollegen in einem umfassenden «Review»-Artikel im Fachjournal «ACS Nano» zusammengefasst hat.

Text: Michael Hagmann



ENTWARNUNG

Graphen, eine zweidimensionale Form des Kohlenstoffs, ist weitgehend unbedenklich.

Nicht kleckern, sondern klotzen. Das könnte man dem 2013 gestarteten «Graphene Flagship» durchaus als Motto voranstellen:

Mit einem Budget von insgesamt einer Milliarde Euro war es Europas bis dato grösste Forschungsinitiative, nebst dem zeitgleich gestarteten «Human Brain Flagship». Ähnliches gilt auch für den «Review»-Artikel zu den Auswirkungen von Graphen und verwandten Materialien auf Gesundheit und Umwelt, den die Empa-Forschenden Peter Wick und Tina Bürki zusammen mit 30 internationalen KollegInnen soeben im Fachjournal «ACS Nano» veröffentlicht haben; auf knapp 60 Seiten fassen sie

Grafik: Adobe Stock

darin die erarbeiteten Erkenntnisse zu den gesundheitlichen und ökologischen Risiken von Graphen-Materialien zusammen, die Referenzliste umfasst knapp 500 Originalveröffentlichungen.

Geballtes Wissen also – das gleichzeitig vorsichtig Entwarnung gibt. «Wir haben die möglichen akuten Wirkungen von verschiedenen Graphenen und Graphen-ähnlichen Materialien an Lunge, im Magen-Darm-Trakt und in der Plazenta untersucht – und in allen Studien keine schwerwiegenden akuten zellschädigenden Effekte beobachtet», fasst Wick die Ergebnisse zusammen. In Zellen der Lunge könnten zwar durchaus Stressreaktionen auftreten, aber

das Gewebe erhole sich relativ rasch wieder. Einige der neueren «2D-Materialien» wie Bornitride, Übergangsmetall-Dichalkogenide, Phosphorene und MXene (S. 4) seien allerdings noch wenig erforscht, schiebt Wick nach; hier seien weitere Untersuchungen nötig.

In ihren Analysen haben sich Wick und Co. nicht nur auf neu hergestellte Graphen-ähnliche Materialien beschränkt, sondern den gesamten Lebenszyklus verschiedener Anwendungen von Graphen-haltigen Materialien unter die Lupe genommen. Also Fragen untersucht wie: Was passiert beim Abrieb oder beim Verbrennen dieser Materialien? Werden dabei Graphen-Teilchen freigesetzt,

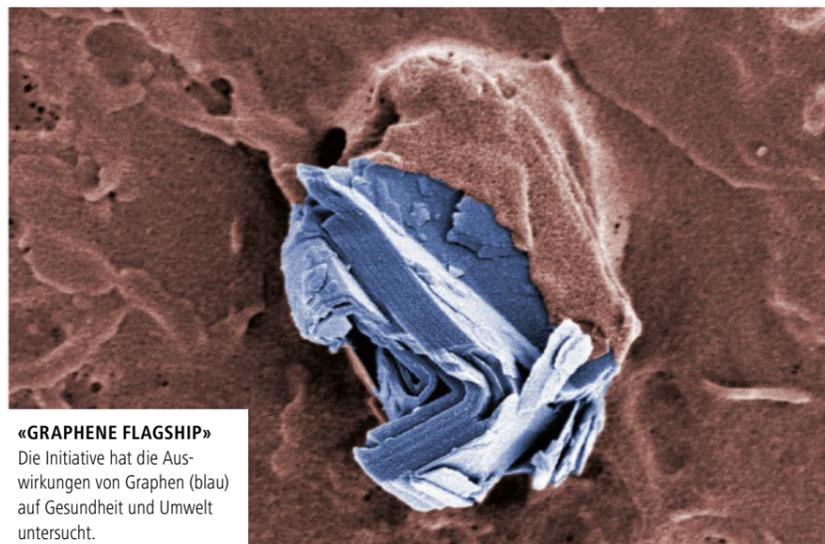
und kann dieser Feinstaub Zellen, Gewebe oder die Umwelt schädigen?

Ein Beispiel: Die Zugabe von einigen wenigen Prozent Graphen zu Polymeren, etwa Epoxidharze oder Polyamide, verbessert Materialeigenschaften wie mechanische Stabilität oder Leitfähigkeit deutlich, die Abriebpartikel verursachen aber keinen Graphen-spezifischen nanotoxischen Effekt auf die getesteten Zellen und Gewebe. Diese Forschung kann Wicks Team auch nach Abschluss des «Flagship»-Projekts weiterführen, weiterhin auch dank Förderung durch die EU im Rahmen so genannter «Spearhead»-Projekte, deren stellvertretender Leiter Wick ist.

Neben Wicks Team haben Empa-Forschende um Bernd Nowack im Rahmen des «Graphene Flagship» über Stoffflussanalysen auch die mögliche künftige Umweltbelastung mit Graphen-haltigen Materialien berechnet und modelliert, welche Ökosysteme wie stark belastet sein dürften. Das Team von Roland Hirsch, wie Nowack aus der Abteilung «Technologie und Gesellschaft», hat mit Hilfe der Ökobilanz-Methode die ökologische Nachhaltigkeit unterschiedlicher Produktionsmethoden und Anwendungsbeispiele für verschiedene Graphen-Materialien untersucht. Und das Team von Roman Fasel aus dem «nanotech@surfaces» Labor der Empa hat die Entwicklung elektronischer Bauelemente auf der Basis von schmalen Graphenstreifen vorangetrieben.

EINE EUROPÄISCHE ERFOLGSGESCHICHTE FÜR FORSCHUNG UND INNOVATION

Das 2013 gestartete «Graphene Flagship» stellte seinerzeit eine völlig neue Form der gemeinsamen, koordinierten Forschung in bisher nicht gekanntem Umfang dar. Das Grossprojekt hatte das Ziel, Forschende aus Forschungsinstitutionen und aus der Industrie



«GRAPHENE FLAGSHIP»
Die Initiative hat die Auswirkungen von Graphen (blau) auf Gesundheit und Umwelt untersucht.

zusammenzubringen, um innerhalb von zehn Jahren praktische Anwendungen mit Graphen aus den Labors zur Marktreife zu bringen und so Wirtschaftswachstum, neue Arbeitsplätze und neue Chancen in Schlüsseltechnologien für Europa zu schaffen. Das Konsortium bestand über seine gesamte Laufzeit aus mehr als 150 akademischen und industriellen Forschungsgruppen in 23 Ländern und hatte zahlreiche weitere assoziierte Mitglieder.

Letztes Jahr endete die zehnjährige Förderung mit der «Graphene Week» im September im schwedischen Göteborg. Der Abschlussbericht zeigt eindrücklich die Erfolge des ambitionierten Grossprojekts: Das «Flagship» hat knapp 5000 wissenschaftliche Publikationen und mehr als 80 Patente «produziert». Es entstanden 17 Spin-offs im Graphenbereich, die insgesamt mehr als 130 Millionen Euro an «Venture Capital» eingeworben haben. Gemäss einer Studie des deutschen Wirtschaftsforschungsinstituts «WifOR» hat das «Graphene Flagship» zu einer Wertschöpfung von insgesamt rund 5.9 Milliarden Euro in den beteiligten Ländern geführt und mehr als 80'000 neue Jobs in Europa geschaffen. Damit sei die Wirkung des «Graphene

Flagship» mehr als 10-mal grösser als kürzere EU-Projekte, so die Analyse.

An die Empa flossen im Verlauf des Projekts insgesamt rund drei Millionen Franken – die durchaus «katalytisch» wirkten, wie Peter Wick betont: «Diese Summe haben wir durch Folgeprojekte in der Grössenordnung von insgesamt rund 5.5 Millionen Franken rund verdreifacht, das waren weitere EU-Projekte, Projekte, die vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) gefördert wurden, aber auch direkte Kooperationsprojekte mit unseren Industriepartnern – und das alles in den letzten fünf Jahren», so der Empa-Forscher.

Doch der Vorteil derartiger Projekte geht weit über die grosszügige Finanzierung hinaus, betont Wick: «Es ist wirklich einzigartig, in einem solch grossen Projekt und breitem Netzwerk über so lange Zeit mit dabei zu sein. Zum einen haben sich daraus zahlreiche neue Kooperationen und Ideen für Projekte ergeben. Zum anderen hat es aber auch eine völlig andere Qualität über eine so lange Zeit mit internationalen Partnern zusammenzuarbeiten, man vertraut sich fast blind; und ein derart eingespieltes Team ist deutlich effizienter und erbringt wissenschaftlich

bessere Ergebnisse», ist Wick überzeugt. Dabei seien nicht zuletzt auch viele persönliche Freundschaften entstanden.

«A NEW DIMENSION»: GRAPHEN UND WEITERE 2D-MATERIALIEN

Graphen ist ein enorm vielversprechendes Material. Es besteht aus einer einzigen Schicht von wabenförmig angeordneten Kohlenstoffatomen und besitzt aussergewöhnliche Eigenschaften: ausserordentliche mechanische Festigkeit, Flexibilität, Transparenz sowie hervorragende Wärme- und Stromleitfähigkeit. Schränkt man das ohnehin zweidimensionale Material räumlich noch mehr ein, etwa zu einem schmalen Band, entstehen sogar kontrollierbare Quanteneffekte. Dies könnte eine Vielzahl von Anwendungen ermöglichen, von Fahrzeugbau über Energiespeicherung bis hin zu Quanten-Computing. Dabei war die Existenz dieses «Wundermaterials» lange nur theoretisch. Erst 2004 konnten die Physiker Konstantin Novoselov und Andre Geim an der «University of Manchester» Graphen gezielt herstellen und charakterisieren. Dafür trugen die Forscher so lange Graphitschichten mit einem Stück Klebeband ab, bis sie nur noch ein Atom dicke Flocken hatten. Für diese Arbeit erhielten sie 2010 den Nobelpreis für Physik.

Seither ist Graphen Gegenstand intensiver Forschung. Unterdessen haben Forschende weitere 2D-Materialien entdeckt, etwa die von Graphen abgeleiteten Graphensäure, Graphenoxid sowie Zyanographen, die Anwendungen in der Medizin haben könnten. Mit anorganischen 2D-Materialien wie Bornitrid oder MXene wollen Forschende leistungsfähigere Batterien bauen, elektronische Komponenten entwickeln oder andere Materialien verbessern. ■



Foto: Empa

WÄRME AUS DEM RECHNER

Keine Wärme verschwenden: Dieses Ziel setzt sich ein Dutzend europäischer Firmen und Forschungsinstitutionen, darunter auch die Empa, im EU-Projekt «HEATWISE». Im Mittelpunkt stehen Gebäude mit umfangreicher IT-Infrastruktur. Die Abwärme dieser Systeme soll vollständig in die Gebäudetechnik integriert werden.

Text: Stephan Kälin



«ZERO WASTE»
Eine neu entwickelte «On-Chip-Flüssigkeitskühlung» sorgt für eine optimale Wärmerückgewinnung in Rechenzentren.

Spitäler, Universitäten, Forschungs- und Bürogebäude haben eines gemeinsam: Sie sind vollgepackt mit technischen Geräten und IT-Ausrüstung. Der Betrieb dieser Gerätschaften benötigt Energie – und liefert gleichzeitig Abwärme, die meist ungenutzt verpufft. Im «Horizon Europe»-Projekt «HEATWISE» haben sich zwölf Forschungs- und Industriepartner aus acht Ländern zusammengeschlossen, um den Umgang mit Energie in Gebäuden mit umfangreicher IT-Infrastruktur neu zu denken. «Das Ziel ist ein «Zero Waste»-Prinzip», erklärt Binod Koirala vom «Urban Energy Systems

Lab» der Empa. «Das heisst, wir wollen möglichst die ganze Abwärme zurückgewinnen und ins Heizsystem der Gebäude integrieren.» Die erste Aufgabe von Koirala und seinem Team wird es deshalb sein, mit realen Daten aus dem Empa-Forschungsgebäude «NEST» das Potenzial für Wärmerückgewinne zu identifizieren. Sie konzentrieren sich dabei nicht nur auf die IT-Infrastruktur – von den Servern im Untergeschoss bis zu den Computern in den Büros –, sondern auch auf den Einfluss der Anwesenheit von Personen auf die Raumtemperatur und mögliche Wärmerückgewinnung daraus.

«NEST» ALS REALE PILOTANLAGE

Daraus sollen vorausschauende Regelalgorithmen entstehen, die das Energiemanagement der IT-Infrastruktur mit der Gebäudetechnik koppeln und gleichzeitig weitere Gesichtspunkte berücksichtigen können. «Dazu gehört zum Beispiel ein möglichst CO₂-armer oder möglichst kostengünstiger Betrieb», so Koirala. Diese vielschichtigen Regelalgorithmen werden dann im Rahmen von «HEATWISE» in vier Pilotanlagen implementiert: in ein IT-Forschungs- und Entwicklungszentrum in Polen, in Gebäude der Universität

Aalborg in Dänemark, in eine Autofabrikation in der Türkei und ins «NEST» auf dem Empa-Campus in Dübendorf.

MIT RECHENLEISTUNG ZUM HEISSWASSER

Zusätzlich zur Optimierung des Energiemanagements untersucht das Projekt auch die Anwendung von neuartigen Kühllösungen für Hochleistungs-IT-Systeme. Seit rund zwei Jahren ist im Untergeschoss von «NEST» ein Mikrorechenzentrum in Betrieb, dessen Abwärme bereits ins Mittel- und Niedertemperaturnetz eingespeist und zum Heizen genutzt wird. Das heute luftgekühlte Rechenzentrum wird nun um eine neu entwickelte sogenannte «On-Chip-Flüssigkeitskühlung» des israelischen Projektpartners «ZutaCore» ergänzt. «Diese Kühlung ist für eine optimale Wärmerückgewinnung ausgelegt», erklärt Binod Koirala. Die zurückgewonnene Wärme erreicht Temperaturen von bis zu 70 °C. «Diese Wärme können wir direkt ins Hochtemperaturnetz von «NEST» einleiten und damit beispielsweise die Duschen der Bewohnerinnen und Bewohner betreiben.»

Das Projekt «HEATWISE» ist Anfang 2024 offiziell gestartet und dauert drei Jahre. Es wird von der EU im Rahmen von «Horizon Europe» und vom Schweizerischen Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) unterstützt. ■



Foto: ZutaCore

DIE EMPA AM WEF



CO₂ ALS ROHSTOFF
Mateusz Wyrzykowski stellt die neue Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere» vor.

Die sechs Institutionen des ETH-Bereichs haben anlässlich des «World Economic Forum» (WEF) am WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos vor rund 50 hochrangigen Gästen aus Politik, Forschung und Wirtschaft Highlights aus ihrer aktuellen Forschung präsentiert. Unter den Vertreterinnen und Vertretern der Empa waren Mateusz Wyrzykowski, Co-Leiter des Forschungsschwerpunkts «Built Environment», und Nathalie Casas, Leiterin des Departements «Energy, Mobility and Environment». Zu den Gästen zählten unter anderem Bundesrat Guy Parmelin, Nationalratspräsident Eric Nussbaumer, Staatssekretärin Martina Hirayama und die Präsidentin des European Research Council» (ERC), Maria Leptin, sowie zahlreiche Rektorinnen und Rektoren von Schweizer Universitäten.



AUF DIE WISSENSCHAFT ANSTOSSEN



WISSENSCHAFT FÜR ALLE
Empa-Forschende organisieren die St. Galler Ausgabe des «Pint of Science».

Vom 13. bis 15. Mai findet das weltweite Wissenschaftsfestival «Pint of Science» statt. Forschende gehen dabei in Bars und Cafés und sprechen mit einem breiten Publikum über ihre Forschung. Was 2013 in drei Städten in Grossbritannien angefangen hat, umfasst heute mehr als 400 Städte in 25 Ländern – so auch in der Schweiz. Die St. Galler Ausgabe von «Pint of Science» wird dieses Jahr zum zweiten Mal in Folge von Forschenden der Empa und des Kantonsspitals St. Gallen organisiert. Vortragen werden Rednerinnen und Redner von der Empa, aber auch aus der Industrie, den Fachhochschulen und den Universitäten rund um St. Gallen. Die Themen und Veranstaltungsorte sind auf der Website des Festivals zu finden.



Fotos: Empa

CO₂ ZURÜCKGEWINNEN



Wollen wir unsere ehrgeizigen Klimaziele erreichen, müssen wir nicht nur die Treibhausgasemissionen eindämmen, sondern auch das bereits ausgestossene CO₂ aus der Atmosphäre «zurückholen». Am diesjährigen «Technology Briefing» am 26. Juni zum Thema «Mining the Atmosphere» zeigen Empa-Forschende anhand neuester Forschungsergebnisse und verschiedener Praxisbeispiele, wie man atmosphärisches CO₂ als Rohstoff gewinnen und in Kreisläufen nutzen kann – und dabei erst noch ein neues Wirtschaftssystem erzeugt –, bevor das gebundene Klimagas letztlich in finalen Senken deponiert wird. Die dafür notwendige Entwicklung von wertschöpfenden Materialien und Prozessen fördert den Übergang von einer CO₂-emittierenden zu einer CO₂-bindenden Gesellschaft. Weitere Informationen zu Programm und Anmeldung finden Sie auf der Website.



DIE EMPA AN DER SWISSBAU



Mit dem Forschungs- und Innovationsgebäude NEST war die Empa an der Swissbau vertreten. Die grösste Fachmesse der Schweiz für Bau und Immobilien fand vom 16. bis 19. Januar in Basel statt. Expertinnen und Experten der Empa und ihrer Partner hielten Keynotes und Praxistalks rund um nachhaltiges Bauen und Innovation im Bauwesen und begrüssten die Besucherinnen und Besucher am Messestand. Die Vorträge sind online verfügbar.

MINING THE ATMOSPHERE
Der stellvertretende Empa-Direktor Peter Richner präsentierte CO₂-negative Baumaterialien.



VERANSTALTUNGEN

14. MAI 2024
Kurs: Klebtechnik für Praktiker
Zielpublikum: Industrie und Interessierte an industrieller Klebtechnik
www.empa-akademie.ch/klebtechnik
Empa, Dübendorf

15. MAI 2024
wissen2go: Antibiotic Resistance
Zielpublikum: Öffentlichkeit
www.empa.ch/web/w2go/antibiotic-resistance
Empa, Dübendorf und online via Zoom

16. MAI 2024
Topical Day: Imaging and Image Analysis
Zielpublikum: Wissenschaft
www.empa-akademie.ch/imaging
Empa, Dübendorf

26. JUNI 2024
Technology Briefing: «Mining the Atmosphere» – CO₂ aus der Atmosphäre als Rohstoff für neue Materialien
Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft
www.empa-akademie.ch/technobriefing
Empa, Dübendorf

25. – 26. SEPTEMBER 2024
Konferenz: Swiss ePrint 2024
Zielpublikum: Wissenschaft und Industrie
swisseprint.ch
Empa, Dübendorf



THE PLACE WHERE INNOVATION STARTS.



Materials Science and Technology