

ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



E-Volution

Wie Strom chemische Prozesse nachhaltiger macht → S. 10

Haut: Ein Mikrobiom-Modell ermöglicht neue Kosmetika → S. 26

Kreislauf: So kommt altes Reifengummi wieder auf die Straße → S. 50

Elektrochemie

Teilgebiet der physikalischen Chemie

Im weitesten Sinne geht es in der Elektrochemie um Gleichgewichte und Prozesse, an denen elektrisch geladene Teilchen beteiligt sind. Im engeren Sinne beschäftigt sie sich mit den Zusammenhängen zwischen elektrischen und chemischen Vorgängen. Wenn also eine chemische Reaktion mit elektrischem Strom verknüpft ist, spricht man von einem elektrochemischen Vorgang. Diese laufen immer als Redoxreaktion ab. So ist es möglich, chemische in elektrische Energie umzuwandeln und umgekehrt. In Batterien etwa findet eine Umwandlung von chemischer in elektrische Energie statt. Bei der Elektrolyse funktioniert es andersherum: Hier wird Strom für chemische Prozesse genutzt, um etwa Chemikalien herzustellen oder aufzutrennen. Werden dafür zusätzlich Membranen genutzt, spricht man von Elektrodialyse. Die Elektrochemie spielt eine Schlüsselrolle in der Entwicklung nachhaltiger Energiequellen und Speichersysteme sowie in der Herstellung von Chemikalien.

Redoxreaktion Chemische Reaktion, bei der Elektronen von einem Stoff auf einen anderen übertragen werden

Elektrolyse Aufspaltung einer chemischen Verbindung unter Einwirkung des elektrischen Stroms

Elektrodialyse Auftrennen eines Salzes mit einer Membran durch Anlegen einer Spannung



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

Durchbrüche in der Forschung hängen am Geistesblitz eines Einzelnen. Zurückgezogen im Labor, schüttelt das Genie plötzlich die bahnbrechende Erfindung aus dem Ärmel. Ein Heureka-Moment, und da ist die Innovation. Soweit das Klischee, tauglich fürs Kino, aber nicht für die Realität.

Forschung und Innovation sind heute Teamleistungen. Aus dem Zusammenspiel von klugen Köpfen, übergreifendem Denken und den richtigen Rahmenbedingungen ergibt sich Fortschritt. Auch Steve Jobs „erfand“ das iPhone nicht allein. Er brachte die richtigen Dinge und Personen zusammen, sorgte für die passenden Bedingungen – und heraus kam eine der größten Erfolgsgeschichten des 21. Jahrhunderts.

Evonik setzt schon lange auf übergreifende Forschung in Teams, sei es mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft, sei es mit Expertinnen und Experten im eigenen Haus. Mit der neuen Innovationsstrategie geht unser Unternehmen nun einen Schritt weiter: Die Forschungsaktivitäten werden weltweit dort gebündelt, wo die klügsten Köpfe, die stärksten Einrichtungen und die besten Rahmenbedingungen für das jeweilige Thema zu finden sind.

Die Herausforderungen, vor denen wir alle stehen, sind global. Also muss auch die Suche nach Antworten und Lösungen die Welt umspannen. Das neue Evonik Skin Institute mit Hauptsitz in Singapur oder der Cambridge Innovation Satellite in der Nähe von Boston sind zwei Beispiele dafür.

Angesichts der vielen globalen Problemstellungen ist es nötig, sich auf Schwerpunkte zu konzentrieren. Nur so kann Forschung zu konkreten Innovationen führen und dabei helfen, die Probleme zu lösen.

Daher hat Evonik drei Bereiche identifiziert, die als Innovationswachstumskerne die inhaltliche und organisatorische Ausrichtung unserer Forschung definieren: biobasierte Lösungen, Energiewende und Kreislaufwirtschaft. Zu jedem dieser Schwerpunkte stellen wir Ihnen in diesem Heft ein Forschungsprojekt vor. Sie alle haben etwas gemeinsam: Sie repräsentieren Teamarbeit, so wie diese ELEMENTS-Ausgabe auch.

Wenn Sie Fragen zu diesem Heft, Anregungen oder auch Kritik haben, schreiben Sie mir gern: elements@evonik.com

Jörg Wagner
Chefredakteur

Sämtliche Artikel aus dem gedruckten Magazin sowie weitere aktuelle Inhalte finden Sie im Internet unter elements.evonik.de



Kommen und Gehen: In der Pilotanlage in Hanau testen Evonik-Forscher unter anderem, wie sich mithilfe einer Elektrodialyse aus Abfallströmen Natronlauge und Schwefelsäure zurückgewinnen lassen.

ELEKTROCHEMIE

10 Chemie aus der Steckdose

In immer mehr chemischen Verfahren kommt elektrischer Strom zum Einsatz. Evonik hat nun eine Plattform für Technologien entwickelt, bei denen Elektronen genutzt werden, um damit wertvolle Chemikalien zu synthetisieren.

INTERVIEW

22 „Strom wird unsere Primärenergie der Zukunft sein“

Max-Planck-Professor Siegfried Waldvogel über die Rolle der Elektrochemie für die Transformation der Chemiebranche

HAUTMIKROBIOM

26 Bitte nicht stören!

Eine Vielzahl von Bakterien auf der Haut dient der menschlichen Gesundheit. Kosmetika sollen das Gleichgewicht des Mikrobioms tunlichst nicht stören. Ein neues Testverfahren für Inhaltsstoffe ermöglicht besonders schonende Rezepturen.

SCHAUBILD

34 Bunte Gesellschaft

Von Cutibakterien bis Staphylokokken: ein Blick in die Bakterien-WG auf unserer Haut

INNOVATION

Elastisch: In Tests muss sich zeigen, dass ein höherer Anteil devulkanisierten Gummimehls die Materialeigenschaften nicht verschlechtert.

STREITGESPRÄCH

36 „Wie viel Wachstum können wir uns leisten?“

Der Volkswirt Niko Paech und die Wagniskapitalgeberin Romy Schnelle diskutieren darüber, ob Innovationen den Klimawandel aufhalten können – oder ihn womöglich sogar befördern.

REIFENRECYCLING

50 Lläuft und läuft und läuft...

Die Reifenbranche will den Anteil von Recyclinggummi in ihren Produkten deutlich erhöhen. Eine innovative Technologie hilft dabei, die Quote nach oben zu treiben, ohne dass die Eigenschaften der Reifen darunter leiden.

DATA MINING

57 Runde Sache

Wie viele Autoreifen werden produziert, und was steckt eigentlich darin? Ein Überblick



50

6 PERSPEKTIVEN
Neues aus Wissenschaft und Forschung

42 EVONIK-LAND
Ägypten
Das Land im Nordosten Afrikas knüpft an seine glanzvolle Vergangenheit an.

58 FORESIGHT
Menschliche Automaten
Wie humanoide Roboter in den kommenden Jahrzehnten unseren Alltag verändern könnten

60 IN MEINEM ELEMENT
Iridium
Die Elektrochemikerin Zahra Nasri hilft mit, die Bestände des wertvollen Metalls zu schonen.

61 IMPRESSUM



26

Pflege ohne Reue: Im westfälischen Halle-Künsebeck testen Biotechnologen von Evonik, wie Inhaltsstoffe von Kosmetika auf das Hautmikrobiom wirken.



Auf dem Nachhaltigkeitsgipfel 2015 haben die Vereinten Nationen 17 Ziele definiert, die sogenannten Sustainable Development Goals (SDG). Auch Evonik leistet vielfältige Beiträge, um eine nachhaltige Entwicklung zu unterstützen. Wir stellen sie an dieser Stelle vor.



Zur **Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen** ist eine schnelle, weitreichende und nachhaltige Reduktion der Treibhausgas-Emissionen notwendig. Im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen verpflichtet sich Evonik, seinen CO₂-Fußabdruck als Konzern deutlich zu reduzieren.

Evonik setzt für die **Defossilierung des Energiesektors** unter anderem auf Membranen. Anfang 2024 hat der Konzern mit dem Ausbau seiner Produktionskapazitäten für Sepuran-Hohlfasermembranen begonnen. Damit lassen sich Gase effizient trennen, etwa bei der Aufbereitung von Biogas oder der Gewinnung von Wasserstoff. Die Membranen tragen dazu bei, den Aufbereitungsprozess so effizient und kostengünstig wie möglich zu gestalten, und schonen so Ressourcen und Umwelt.

Fast so fein wie Pferdehaar: Sepuran-N2-Membranen von Evonik haben einen Durchmesser von weniger als einem halben Millimeter. Die dünnen Polyimidschläuche werden zu mehreren Zehntausend gebündelt und in Edelstahlmodule eingebettet. Ob Stickstoff, Wasserstoff oder Biogas: Die innovative Membrantechnologie von Sepuran funktioniert unter geringem Energieverbrauch und ohne Hilfsstoffe wie Wasser oder Chemikalien.

Beim Blitzverdampfen entstehen für wenige Sekunden Temperaturen von mehr als 2.000 Grad Celsius.

Heiße Lösung

Hohe Temperaturen machen Batterieabfälle magnetisch – und erleichtern so das Recycling wertvoller Bestandteile.

Noch ist das Problem überschaubar: 2023 erreichten laut einer Studie von SNE Research weltweit gerade einmal 170.000 Batterien aus Elektrofahrzeugen ihr Lebensende. 2040 werden es voraussichtlich mehr als 42 Millionen sein. „Angesichts dessen ist die Entwicklung nachhaltiger Recyclingmethoden dringend erforderlich“, sagt James Tour. Der Professor für Chemie, Materialwissenschaften und Nanoengineering leitet an der Rice University in Houston, Texas, ein Forschungsteam, das eine neue Methode zur Extraktion aktiver Materialien aus Batterieabfällen entwickelt. Bislang werden dafür zumeist thermische oder chemische Prozesse genutzt, die kostspielig sind und erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben.

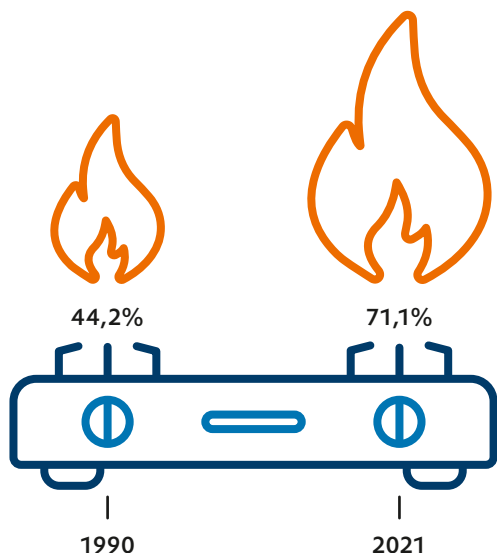


Das Team um Tour nutzt stattdessen eine Methode, die als Flash Joule Heating (FJH) oder Blitzverdampfung bekannt ist und ohne Lösungsmittel auskommt. Mittels FJH erhitzen die Forscher Batterieabfälle für wenige Sekunden auf 2.500 Kelvin (2.227 Grad Celsius), wodurch bei den Materialien magnetische Hüllen und stabile Kernstrukturen entstehen. Die Ausbeute an Batteriemetallen mit dieser Methode liegt nach Angaben der Forscher bei 98 Prozent. „Bemerkenswert ist, dass die Metallverunreinigungen nach der Abtrennung deutlich reduziert wurden“, so Tour. Struktur und Funktionalität der Materialien blieben bei dem Verfahren erhalten.

BESSER IST DAS

Gesünder kochen

Anteil der Weltbevölkerung mit Zugang zu sauberen Brennstoffen fürs Kochen, in Prozent



Holz, Dung, Kohle – wo zum Kochen feste Brennstoffe genutzt werden, sind Schlaganfall, Herz- und Lungenerkrankungen stärker verbreitet. Die Umstellung auf saubere Energiequellen wie Erdgas, Methanol oder Elektrizität ist rasch vorangekommen, vor allem in Afrika und Südostasien. Waren 1990 noch mehr als die Hälfte aller Menschen auf feste Brennstoffe zum Kochen angewiesen, sind es heute kaum mehr als ein Viertel.

Quelle: WHO

67

PROZENT

des einfallenden Sonnenlichts werden von der Flachwassermuschel *Tridacna* genutzt, um Stoffwechsel zu betreiben. Forscher der Yale University wollen diese Erkenntnis für die Entwicklung hocheffizienter Bioreaktoren nutzen. Die Hülle der Muschel leitet das Licht an Algen weiter, die in ihrem Inneren als Nahrungsquelle wachsen und Strahlungsenergie für die Photosynthese benötigen. Indem sie sich im Laufe des Tages aufbläht, vergrößert die Muschel ihre Oberfläche, wodurch der Wirkungsgrad noch gesteigert wird.

ENERGY HARVESTING ...

... beschreibt die Gewinnung elektrischer Energie aus Umgebungsquellen. Die Technik wird unter anderem in der Mikroelektronik eingesetzt. Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich fanden einen Weg, die Abwärme eines Mikrochips in elektrische Energie umzuwandeln. Dafür setzten sie Germanium, einem Halbleiter mit guten thermoelektrischen Eigenschaften, Zinn zu. Dank dieser Kombination konnte das Team die thermische Leitfähigkeit reduzieren, während die elektrischen Eigenschaften erhalten blieben. Durch Energy Harvesting auf dem Chip könnte der Bedarf an externer Kühlung reduziert und so die Effizienz elektronischer Geräte gesteigert werden.

MENSCH & VISION

»Die Zugabe von Koffein erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit erheblich.«

DER MENSCH

„Ich wollte mit meiner Arbeit schon immer etwas Sinnvolles tun. Besonders grüne Energie weckte mein Interesse“, sagt Aly Kombargi. Seit 2021 ist der junge Ingenieur Doktorand am Massachusetts Institute of Technology (MIT), wo er an wasserstoffbetriebenen Unterwasserfahrzeugen arbeitet. Schon als Kind hatte Kombargi Spaß daran, Dinge zu bauen; Mathe und Physik lagen ihm in der Schule. So absolvierte er seinen Bachelor in Maschinenbau und angewandter Mathematik und legte auch in seinem Masterstudium an der École polytechnique in Frankreich den Fokus auf dieses Fachgebiet.

DIE VISION

Während seiner Forschung am MIT entdeckte Kombargi, dass Aluminium aus Getränkedosen mit Meerwasser Wasserstoff erzeugt, wenn es mit seltenen Metallen wie Indium und Gallium vorbehandelt wird. Er begann, die Anwendung nicht nur für Unterwasserfahrzeuge, sondern auch für Boote oder Autos zu erforschen. Dabei entdeckte er etwas Interessantes: „Die Zugabe von Koffein, insbesondere Imidazol, erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit erheblich und ermöglicht es, 90 Prozent des Indiums und Galliums zurückzugewinnen.“ In Zukunft möchte Kombargi saubere und treibstoffsparende Technologien entwickeln.



Eins für zwei

Japanische Chemiker erzeugen Bindung zweier Kohlenstoffatome mit nur einem gemeinsamen Elektron.

Sind zwei Kohlenstoffatome (C) miteinander verbunden, teilen sie sich üblicherweise ein Elektronenpaar. Forschern der Universität Hokkaido ist es nun gelungen, eine weitere Form dieser kovalenten Bindung nachzuweisen, bei der sich zwei Atome ein ungepaartes Elektron teilen. „Solche Ein-Elektron-Sigma-Bindungen gelten als weit schwächer als typische Sigmapbindungen aus zwei Elektronen“, erklären die Wissenschaftler im Magazin „Nature“. Zum Nachweis verwendete das Team um den Chemiker Takuya Shimajiri ein Derivat

des Kohlenwasserstoffs Hexaphenylethan (HPE). Es enthält eine stark verlängerte, normale C-C-Bindung, die durch anhängende sperrige Kohlenwasserstoffringe gedehnt wird. Wird dieses Molekül in Gegenwart von Iod oxidiert, spaltet sich das sperrige Molekül in zwei Teile. Diese lagern sich danach wieder zusammen – haben dann aber nur noch ein gemeinsames Bindungselektron. Das Team erhofft sich, dass die Erkenntnisse dazu beitragen, die exotische Bindung und ihren praktischen Nutzen weiter zu erforschen.

GUTE FRAGE

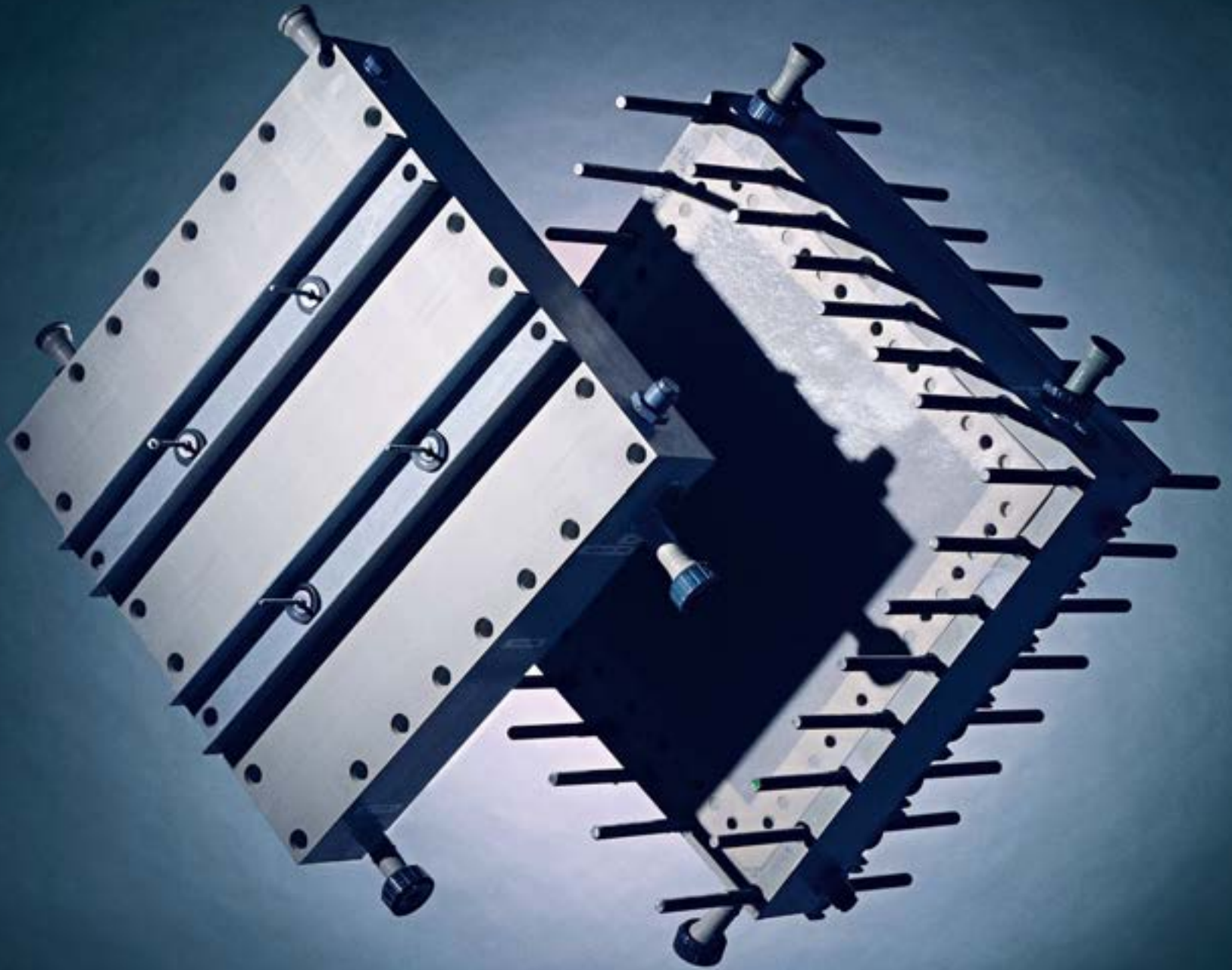


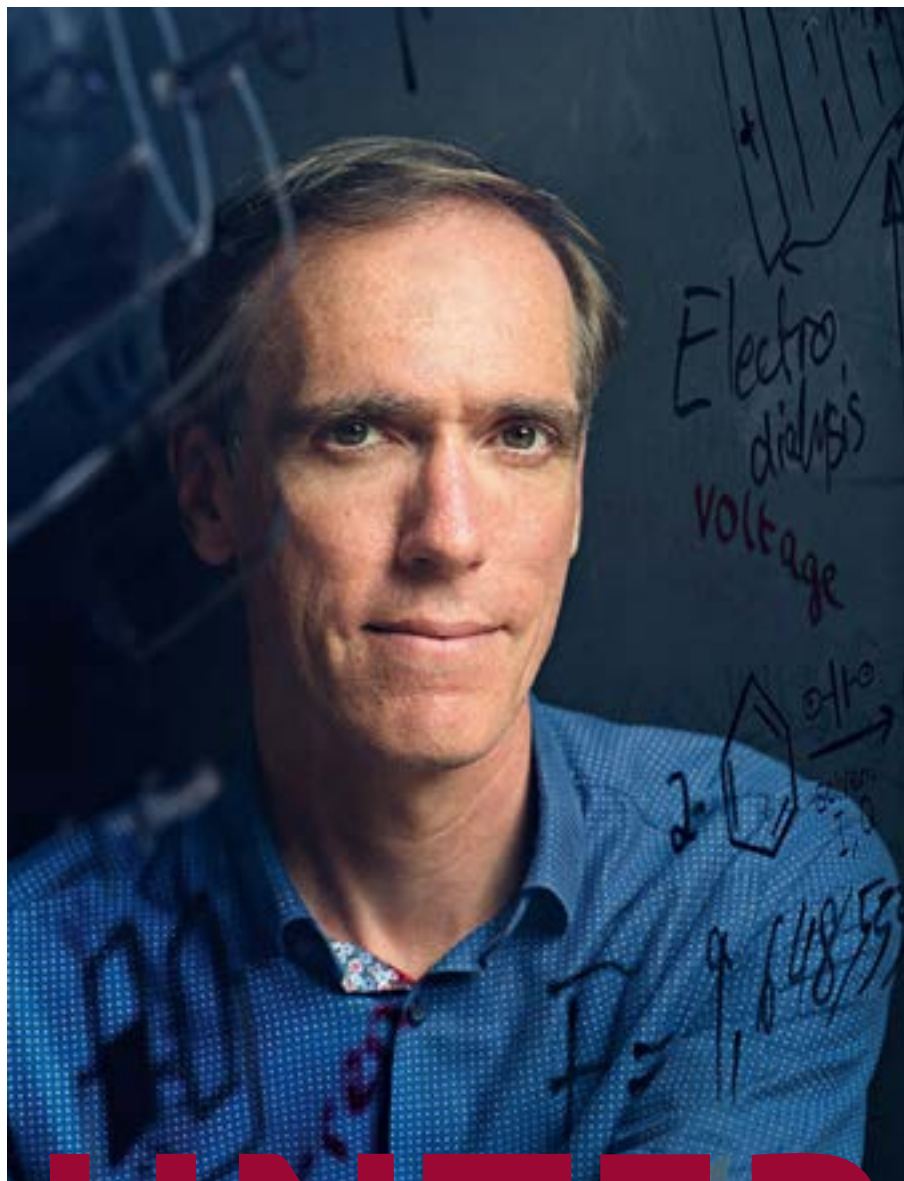
Kann man Arzneien aus CO₂ herstellen?

Ja. Kohlenstoffdioxid (CO₂) lässt sich als Ausgangsstoff für die Synthese lebensrettender Arzneimittel nutzen. Mithilfe der Ingenieurbiologie können wir biologische Systeme so gestalten und modifizieren, dass sie CO₂ verstoffwechseln und in wertvolle Produkte umwandeln. Als potenzielle mikrobielle Fabrik haben wir das Bakterium *Cupriavidus necator* H16 ausgewählt, das aus CO₂ verschiedene Plattformchemikalien herstellen kann, darunter auch Vorprodukte für die Pharmaindustrie. Wir haben das Bakterium so verändert, dass es einen Teil des eingefangenen CO₂ in Mevalonat umwandelt, einen Baustein mit sechs Kohlenstoffatomen für Medikamente. Mit unserer Forschung legen wir den Grundstein für eine Zukunft, in der Arzneimittel und andere Produkte gesundheits- und umweltschonend hergestellt werden können.

Katalin Kovacs ist Lehrbeauftragte an der Faculty of Science der University of Nottingham im Vereinigten Königreich.

Beinahe magisch wirkt es, wenn Salze in dem Elektrodialyse-Stack wieder in ihre wertvollen Ausgangsstoffe umgewandelt werden – tatsächlich stecken dahinter Strom, verschiedene Membranen und das Know-how von Verfahreningenieur Patrik Stenner und seinem Team.





UNTER STROM

Teure Energieträger und Rohstoffe sowie höhere Anforderungen an den Klimaschutz erfordern neue Verfahren zur Gewinnung von Chemikalien. Evonik erkundet daher Möglichkeiten, verstärkt elektrochemische Prozesse und Produkte zu nutzen – und hat dafür eigens eine Plattform ins Leben gerufen.

TEXT RALPH H. AHRENS



Rohstoffe auf Kreislaufbasis: In der Pilotanlage in Hanau testen die Ingenieure die Technologie im größeren Maßstab.



Auf den ersten Blick unterscheidet sich der weiße Raum im Industriepark Wolfgang in Hanau kaum von anderen Laboren bei Evonik: In der Mitte stehen lange Tische mit kleinen Kreiselpumpen, an den Seiten sind Abzüge installiert, an denen Frauen und Männer in weißen Kitteln mit Reagenzgläsern und Erlenmeyerkolben arbeiten. Wer jedoch genauer hinschaut, erkennt für Labore eher untypische Objekte: silbrig-graue, rechteckige Geräte – manche kaum größer als ein Smartphone, manche so groß wie ein Computer. Die Geräte bestehen aus zwei Metallplatten, die an Kabel angeschlossen sind. In die Zwischenräume wird durch dünne Leitungen eine Flüssigkeit eingeleitet. Auf der anderen Seite strömen andere Flüssigkeiten wieder heraus.

„Das sind Natronlauge und Schwefelsäure, die wir hier in unserer Elektrodialysezelle gewonnen haben“, erklärt Patrik Stenner. Der Verfahreningenieur leitet die Plattform Elektrochemische Prozesse & Produkte. Gemeinsam mit etwa 20 Mitarbeitern an den Evonik-Standorten in Hanau und Schanghai (China) erforscht er, wie sich Chemie mit Strom betreiben lässt. „Die Technologie ermöglicht es, Prozesse und Produkte viel grüner zu machen“, schwärmt Stenner. „Mithilfe von Elektrizität können wir es schaffen, Rohstoffe im Kreis zu führen und damit Ressourcen einzusparen.“

EINE NEUE EPOCHE DER ELEKTROCHEMIE

Die Elektrochemie erlebt eine Renaissance. Weltweit beschäftigen sich Forscher mit Reaktoren, die statt mit Gas, Kohle oder Öl mit elektrischem Strom betrieben werden. Daneben rücken die Plasmachemie und Elektrolyseverfahren, bei denen Elektronen als Rohstoff genutzt werden, in den Blickpunkt. Sowohl Basischemikalien als auch Spezialprodukte könnten künftig in großen Mengen mittels Elektrizität aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden – und so den Ausstoß von Klimagasen reduzieren helfen.

Viele Verfahren sind gut bekannt. Die Grundlagen dafür wurden bereits vor fast 250 Jahren gelegt (siehe „Spannende Reaktionen“). Bis ins 20. Jahrhundert hinein wurden immer neue Verfahren entwickelt, mit denen Produkte elektrochemisch hergestellt worden sind. Manche Prozesse haben sich in der Industrie etabliert – beispielsweise die Galvanik, bei der Oberflächen unter Strom gesetzt werden, um sie mit einer feinen Metallschicht zu überziehen. Oder die Chlor-Alkali-Elektrolyse, bei der mittels Elektrizität aus Kochsalz Chlor und Natronlauge gewonnen wird.

Doch solange Rohstoffe und fossile Energie preiswert waren und Umwelt- wie Klimaschutz eine untergeordnete Rolle spielten, verließ sich die Industrie in vielen Bereichen zumeist auf etablierte, klassisch-präparative Verfahren.

Seit einiger Zeit hat ein Umdenken eingesetzt: Der Klimawandel, hohe Energiepreise und immer mehr Verbraucher, die Wert auf nachhaltig erzeugte Produkte legen, verändern die Rahmenbedingungen. Bis 2050 will die Chemiebranche in der EU klimaneutral wirtschaften. Gelingen kann das nur, wenn Stoffkreisläufe geschlossen, alternative Rohstoffe genutzt und die Chemie elektrifiziert wird.

LEICHTER IN DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT

Die Möglichkeiten, die Unternehmen nutzen können, sind vielfältig: Strom lässt sich beispielsweise direkt zum Heizen nutzen oder um Motoren anzutreiben. Sogenannte Power-to-X-Verfahren verwandeln Stromüberschüsse in Plattformchemikalien oder alternative Kraftstoffe. Strombasierte Verfahren können auch eingesetzt werden, um Nebenströme aus der Produktion in den Stoffkreislauf zurückzuführen. „Mithilfe der Elektrochemie wird es für Chemieunternehmen leichter, in die Kreislaufwirtschaft einzusteigen“, sagt Siegfried R. Waldvogel, Direktor am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr (siehe Interview Seite 22). →

Alles im Fluss:
Doktorandin Vera Beier prüft die Kreisläufe der Elektrodialyse in der Pilotanlage.



SPANNENDE REAKTIONEN

Seit beinahe 250 Jahren sind Chemie und Elektrizität miteinander verbunden. Die Produktion von Strom durch chemische Reaktionen und die Herstellung von Chemikalien mittels Elektrizität haben sich seither in vielen Bereichen durchgesetzt. Ein Überblick.

1789

Adriaan Paets van Troostwijk und Johan Rudolph Deiman führen eine Elektrolyse von Wasser durch. Um in einer Glasröhre Wasserstoff und Sauerstoff voneinander zu trennen, nutzen die beiden Chemiker eine sogenannte Elektrisiermaschine, bei der eine Glasscheibe über eine Handkurbel in Drehung versetzt wird und durch Reibung Ladung erzeugt (Foto).



1799

Der italienische Physiker Alessandro Volta entwickelt die erste leistungsfähige Batterie. Die Voltasche Säule besteht aus silbernen Münzen, Zinkplättchen und feuchten Pappscheiben. Ein Jahr später werden die ersten Elektrolysen mit der Voltaschen Säule durchgeführt.



Herzstück: In dem Elektrodialyse-Stack wird das aus Vorlagebehältern eingeleitete Natriumsulfat gespalten. Die Forscher gewinnen Natronlauge und Schwefelsäure zurück.



»Die Elektrochemie ermöglicht es, Prozesse und Produkte viel grüner zu machen.«

PATRIK STENNER, LEITER DER
PLATTFORM ELEKTROCHEMISCHE
PROZESSE & PRODUKTE BEI EVONIK



Eine wichtige Rolle bei der Umstellung kommt den Elektronen – also den Ladungsträgern des Stroms – in chemischen Prozessen zu. Das Beispiel Wasserelektrolyse zeigt, wie sie sich nutzen lassen: An zwei Elektroden, die in einer wässrigen Lösung hängen, wird eine Spannung angelegt. Zwischen Kathode (Minuspol) und Anode (Pluspol) baut sich dadurch ein elektrisches Feld auf. Darin wird Wasser (H_2O) zu Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) umgesetzt. Wird die Elektrolyse mit regenerativem Strom betrieben, entsteht der begehrte „grüne“ Wasserstoff, der für zahlreiche Reaktionen in der Chemie relevant ist.

WELTWEITER AUSTAUSCH

Daneben betrachten Elektrochemiker verstärkt Sekundärrohstoffe – also Produkte aus Nebenströmen, die bisher teuer entsorgt werden müssen. Die Hoffnung: Mit Hilfe von grünem Strom lassen sich aus vermeintlichen Abfällen wertvolle Rohstoffe für chemische Prozesse zurückgewinnen.

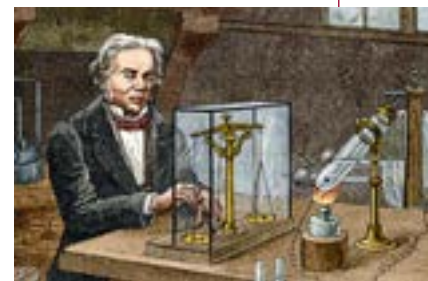
Genau hier kommt die Plattform Elektrochemische Prozesse & Produkte ins Spiel, die Evonik 2020 als Teil der Division Technology & Infrastructure gegründet hat. Sie hat ihren Hauptsitz in Hanau, dem elektrochemischen Know-how-Zentrum von Evonik, und fördert den fachlichen Austausch der Elektrochemie-Fachleute aus den unterschiedlichen Unternehmensbereichen. Leiter der Plattform ist Patrik Stenner, ein starker Fürsprecher dieser Technologie: „Wir schätzen, dass sich der CO_2 -Fußabdruck bei rund einem Fünftel der Prozessschritte bei Evonik durch den Einsatz von Elektrochemie deutlich senken lässt“, sagt der 53-Jährige, der seit 1996 bei Evonik arbeitet und zahlreiche strombasierte Verfahren entwickelt hat. →

1805

Lodovico Gasparo Brugnatelli gelingt die erste galvanische Vergoldung. Dabei wird durch elektrischen Strom aus einer Goldsalzlösung ein dünner Überzug auf den Silberuntergrund übertragen.

1832

Der englische Naturforscher Michael Faraday entdeckt die Grundsätze der Elektrolyse.



1838

Das Prinzip der Brennstoffzelle wird entdeckt. Der deutsch-schweizerische Chemiker und Physiker Christian Friedrich Schönbein umspült zwei Platindrähte in verdünnter Schwefelsäure mit Wasserstoff beziehungsweise Sauerstoff und bemerkt zwischen den Drähten eine elektrische Spannung.

1849

Der deutsche Chemiker Hermann Kolbe stellt mittels Elektrolyse verschiedene organische Verbindungen her. Die Elektrolyse von Carbonsäuren zur Herstellung von Alkanen wird nach ihm Kolbe-Elektrolyse genannt.

» Wir wollten neue Reaktionswege beschreiten, um Energie und Rohstoffe einzusparen.«

JAN BENEDIKT METTERNICH, CHEMIKER
IM INNOVATIONSMANAGEMENT
DER BUSINESS LINE CROSSLINKERS



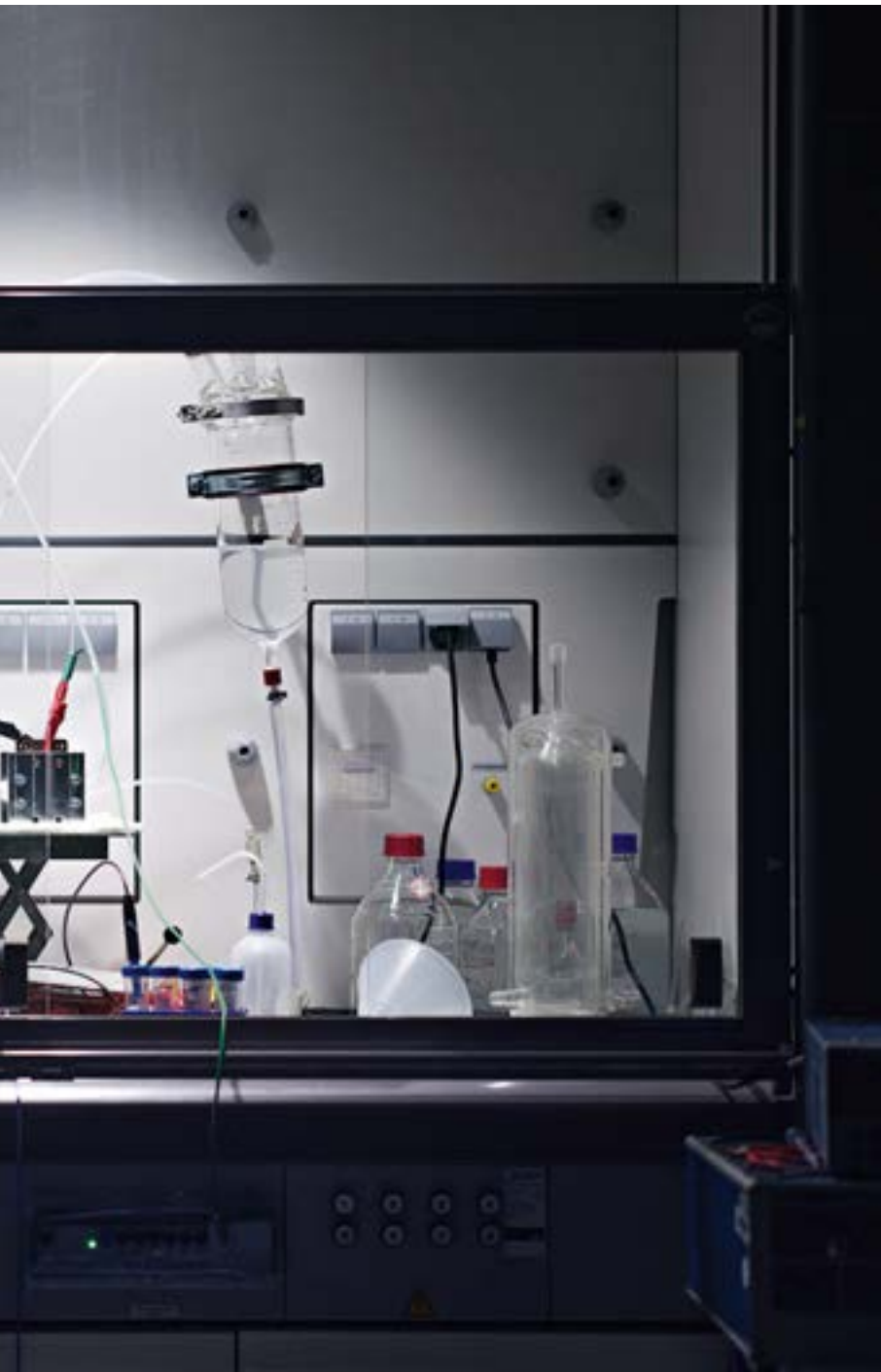
Nahezu alle Versuche auf diesem Gebiet finden nunmehr in Hanau statt – unabhängig davon, ob eine Business Line in Marl, in den USA oder anderswo elektrochemisch arbeiten will. „So sorgt die Plattform auch für mehr Sichtbarkeit des Themas im Unternehmen“, sagt Stenner.

ELEKTRONEN ERSETZEN LAUGEN UND SÄUREN

Eines der Projekte, das am weitesten vorangeschritten ist, hat mit den silbrig-grauen Kästen im Hanauer Labor zu tun. In ihnen läuft die sogenannte Elektrodialyse ab. Mithilfe dieses Prozesses sollen künftig in großem Stil Rohstoffe aus Nebenprodukten chemischer Reaktionen gewonnen werden. Beispielsweise bei der pH-Wert-Einstellung, einem wichtigen Prozessschritt in vielen Verfahren: Wird der pH-Wert eines Stoffstroms durch Zugabe einer Lauge oder Säure eingestellt, entsteht dabei am Ende des Prozesses eine salzhaltige Lösung, zum Beispiel Natriumsulfat.



Bislang lässt es sich nicht wiederverwenden. Stenners Ziel ist, die beiden Ausgangsstoffe zurückzugewinnen – in diesem Fall Natronlauge und Schwefelsäure. „Das wäre ein Paradebeispiel für eine Kreislaufwirtschaft – und ökonomisch wie ökologisch sinnvoll“, erläutert Stenner. Zum einen müsste Evonik weniger Lauge und Säure zukaufen. Zum anderen würden Umwelt und Klima entlastet: Die Rohstoffe würden mithilfe der Elektrodialyse mit einem deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck gewonnen als bei konventioneller Herstellung, und die Salzfracht in Abwässern würde reduziert. Beispielsweise zeigen erste Abschätzungen mithilfe von Life-Cycle-Analysen, dass der CO₂-Fußabdruck der aus Natriumsulfat zurückgewonnenen Natronlauge etwa zwei Drittel niedriger ist



Nachhaltiger Rohstoff: Wird bei der Wasserelektrolyse Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt, entsteht grüner Wasserstoff.

1892

Die Chemiker Hamilton Castner in den USA und Karl Kellner in Österreich erfinden das Amalgamverfahren zur Chloralkali-Elektrolyse, mit der sich Chlor und Natronlauge mittels getrennter Anoden- und Kathodenzellen gewinnen lassen.

1907

Die Österreichischen Chemischen Werke (ÖCW) bauen eine Anlage für die Herstellung von Wasserstoffperoxid. Mit dem elektrolytischen Verfahren zur Herstellung von Wasserstoffperoxid, dem „Weißsteiner Verfahren“, wird weltweit das erste Verfahren entwickelt und umgesetzt, nach dem Wasserstoffperoxid großtechnisch produziert werden kann.



als der konventionell hergestellter Natronlauge. Dieser Wert verbessert sich nochmals deutlich beim Einsatz von Grünstrom in der Elektrodialyse. Die Ingenieure haben sich allerdings noch ambitioniertere Ziele gesteckt: Sie arbeiten daran, den pH-Wert künftig ganz ohne Laugen oder Säuren einzustellen – allein mittels einer im Prozess zwischengeschalteten Elektrodialyse.

In anderen Bereichen hat sich die Elektrodialyse bereits bewährt: So wird damit seit den 1960er-Jahren Meerwasser entsalzt. Seit den 1990er-Jahren darf das Verfahren in der EU verwendet werden, um den Alkoholgehalt von Wein zu senken oder um Weinstein zu entfernen. Was sich bei der Trinkwasseraufbereitung und in der Lebensmittelindustrie bewährt hat, steckt in der

Chemieindustrie noch in den Anfängen. Die Branche holt zwar auf, „von einem Standardprozess sind wir aber noch weit entfernt“, sagt Stenner. Die Eigenschaften der Ausgangsstoffe und Endprodukte machen ein auf jeden einzelnen Prozess individuell abgestimmtes Vorgehen nötig.

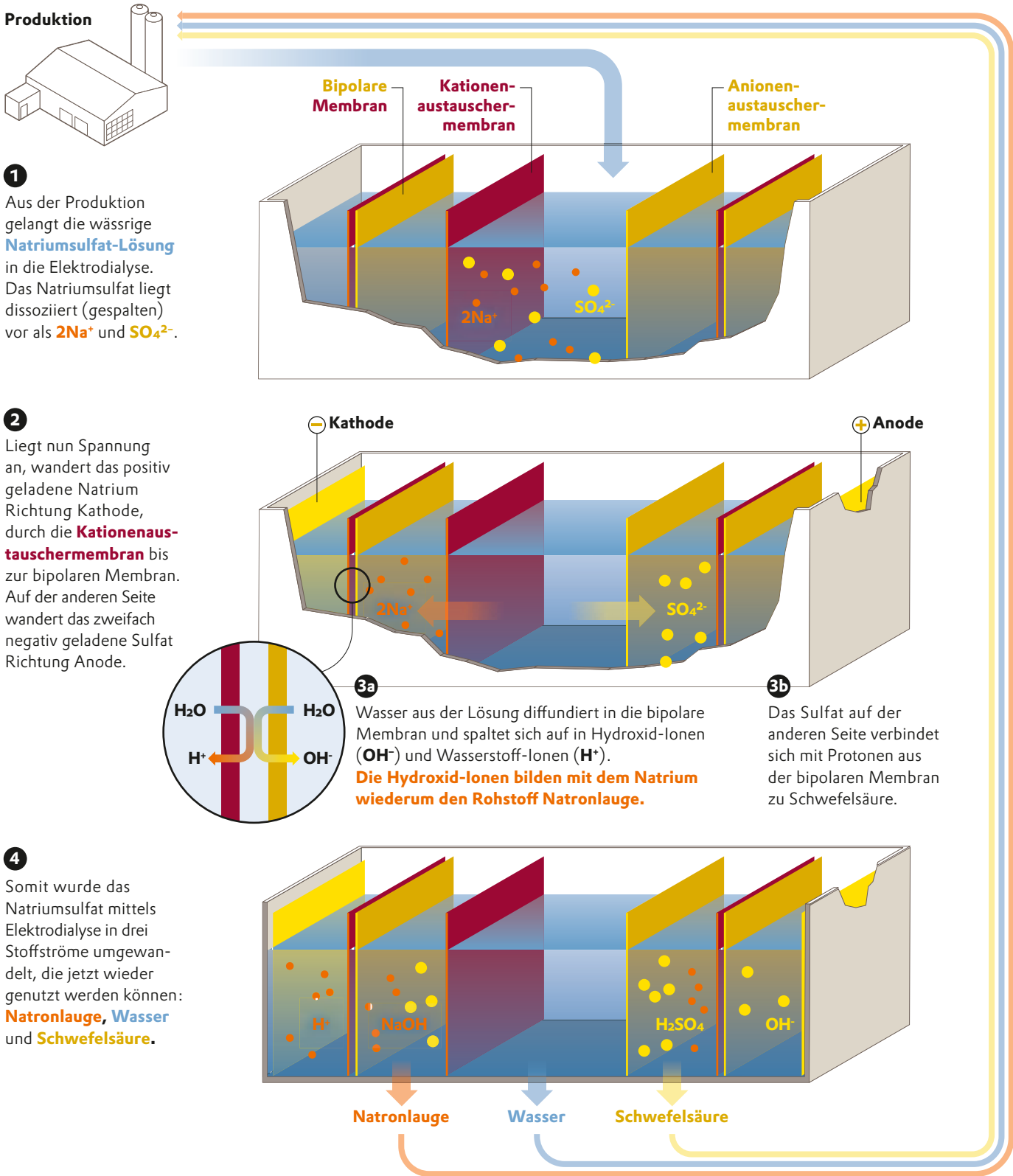
Die Elektrodialyse, die Stenner und sein Team zurzeit erforschen, ist technisch aufwendiger als eine klassische Elektrolyse. „Das Herzstück unseres Aufbaus sind Membranen, die die Elektrolysezellen in mehreren Kammern aufteilen.“ Sie fungieren als eine Art engmaschiges Gitter, das nur bestimmte Ionen durchlässt.

DER CLOU SIND DIE MEMBRANEN

Drei Membrantypen kommen in Stenners Aufbau zum Einsatz: Die Anionen-Austauschermembran (AAM) lässt nur negativ geladene Ionen hindurch, die Kationen-Austauschermembran (KAM) nur positiv geladene. Hinzu kommen bipolare Membranen, die aus je einer Ani- →

VOM NEBENPRODUKT ZUM ROHSTOFF

Wie aus einer Natriumsulfat-Lösung mittels Elektrodialyse Natronlauge und Schwefelsäure gewonnen werden können





Sauer oder basisch? Die Wissenschaftler messen den pH-Wert, um ihn mittels Elektrodialyse einzustellen.

onen- und einer Kationen-Austauschermembran aufgebaut sind. Dieses Doppelpack können Ionen zwar nicht vollständig durchqueren. Zerfällt Wasser innerhalb der Membran jedoch mithilfe des elektrischen Feldes, wandern die Wasserstoff-Ionen (H^+) in die eine und die Hydroxid-Ionen (OH^-) in die andere Richtung (siehe Infografik Seite 18).

Vor dem Beginn des Experiments im Hanauer Labor werden Leitungen und Kabel angeschlossen. Die Elektrolysezelle ist bereit. Stenner steht vor der Versuchsanlage, drückt auf mehrere Schalter und startet so die Dialyse. Spannung ist angelegt, Strom fließt. Gleichzeitig wird die Natriumsulfat-Lösung eingeleitet. Ähnlich wie Wasser zerfällt auch Natriumsulfat (Na_2SO_4) in Ionen: Es entstehen Natrium-Ionen (Na^+) und Sulfat-Ionen (SO_4^{2-}).

AUS DEM LABOR IN DIE ANWENDUNG

„Die drei Membranen sorgen dafür, dass bestimmte Ionen in bestimmten Kammern landen“, erklärt Stenner. Auf der einen Seite reagieren die Natrium-Ionen mit den Hydroxid-Ionen zu Natronlauge ($NaOH$). Auf der anderen Seite des Versuchsaufbaus treffen die Sulfat-Ionen auf Wasser-

stoff-Ionen und reagieren zu Schwefelsäure (H_2SO_4). Lauge und Säure reichern sich so lange an, bis jeweils eine zehnprozentige Lösung entstanden ist. Jede davon wird abgeleitet und kann direkt wieder eingesetzt werden.

Dieses Verfahren hat sich im Labormaßstab bewährt. In einer Stunde produzieren Elektrolysezellen im Labor mittlerweile mehrere Liter Natronlauge und Schwefelsäure. „Auf dem Weg hierhin mussten wir allerdings einige Herausforderungen bewältigen“, berichtet Stenner. Besonders die Membranen erwiesen sich als komplex. „Sie reagieren manchmal empfindlich auf bestimmte Stoffe.“ Das kann dazu führen, dass sie schnell altern und ihre Funktion nicht mehr erfüllen. Bei der Aufarbeitung der Natriumsulfatlösung stellte sich heraus, dass winzige Partikel die Dialyse störten. Diese werden jetzt zuvor abgetrennt, um einen reibungslosen Prozess zu ermöglichen.

Nun geht es daran, die erzeugten Mengen zu erhöhen: Um mehr Natriumsulfat aufzubereiten, sind leistungsfähigere Elektrodialysezellen nötig. Größere Membranen verbrauchen allerdings überproportional mehr Strom. Statt wie in der Chemie üblich von einer kleinen Anlage in eine große Anlage zu wechseln, werden in der Elektrochemie die Einheiten vervielfacht (Numbering-up). →

1940

In den USA werden mehr als 600.000 Tonnen Chlor mittels Elektrolyse hergestellt. Auch Wasserstoffperoxid wird elektrosynthetisch aus Schwefelsäure hergestellt. Dieses Verfahren wird aber ab 1945 durch chemische Herstellungsmethoden ersetzt.

1965

Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Nylon entwickelt das US-Unternehmen Monsanto ein elektrolytisches Verfahren zur Herstellung einer Vorstufe des zur Nylonherstellung benötigten Hexandiamins.



Grüne Elektrochemie: Uta Kemper und Juan Felipe Sarria Motta arbeiten mit daran, Rohstoffe CO₂-neutral zurückzugewinnen.



Evonik prüft, ob die Technologie im kommenden Jahr in einer Demonstrationsanlage bei der Herstellung gefällter Kieselsäuren zum Einsatz kommen kann. Diese werden beispielsweise genutzt, um den Rollwiderstand von Reifen zu senken und sie damit energiesparender zu machen. Ein Teil der natriumhaltigen Rohstoffe und Reaktionsprodukte, die bei der Herstellung der gefällten Kieselsäure eine Rolle spielen, können mithilfe der Elektrodialyse im Kreis geführt werden. Ziel ist es, Rohstoffe mit großem CO₂-Fußabdruck mehrfach zu nutzen. Funktioniert die Demonstrationsanlage reibungslos, wäre das ein wichtiger Schritt in Richtung mehr Nachhaltigkeit.

DIE PLATTFORM ALS SPRUNGBRETT

Auch bei anderen Anwendungen liefert die Elektrodialyse ermutigende Ergebnisse. Ein Beispiel: Bei der Herstellung der Substanz Isophorondiamin, eines Rohstoffs, der in Rotorblättern von Windrädern als Vernetzer verwendet wird, fällt das Salz Ammoniumsulfat an. Per Elektrodialyse sollen hier Ammoniak und Schwefelsäure zurückgewonnen werden. Die ersten Versuche im Technikum sind ebenfalls vielversprechend.

Neben der Elektrodialyse treibt die Plattform weitere elektrochemische Prozesse voran. So will Evonik unter anderem eine spezielle Carboxylsäure mittels Strom synthetisieren, die zur Herstellung hochwertiger Polyester und Polyamide eingesetzt wird. Bislang wird sie unter Einsatz von Salpetersäure hergestellt. Gemeinsam mit Fachleuten des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr arbeitet Stenners Team an einem elektrochemischen Weg. Das Projekt Eloxchem wird mit Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon Europe“ der Europäischen Union gefördert im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 101138376.

Bei der Herstellung vernetzender Moleküle, sogenannter Crosslinker, könnte ebenfalls Elektrochemie zum Einsatz kommen. „Wir wollten neue Reaktionswege beschreiten, um Energie und Rohstoffe einzusparen“, sagt Dr. Jan Benedikt Metternich, Chemiker im Innovationsmanagement der Evonik-Business-Line Crosslinkers. Heute werden Moleküle bei hohen Temperaturen und unter hohem Druck hydriert. Es wird also zusätzlicher Wasserstoff in das Molekül eingebaut. „Mit Elektrochemie funktioniert dies auch bei Raumtemperatur und ohne Druck.“ Metternich ist von den Vorteilen der Elektrochemie-Plattform bei Evonik überzeugt. Für ihn sei vor allem der rege Austausch mit den Wissenschaftlern in Hanau wichtig, die die konkreten Forschungsarbeiten durchführen.

Vor vier Jahren ist die Plattform mit zwei Dutzend elektrochemischen Projekten gestartet, mittlerweile hat sich die Zahl mehr als verdoppelt. „Und wir entdecken

immer mehr Einsatzgebiete“, erklärt Stenner – von der Abwasserbehandlung bis zur Aktivierung von Kohlendioxid, um dieses in andere Moleküle einzubauen.

Die Begeisterung für die Vielseitigkeit der Elektrochemie teilt Patrik Stenner mit Siegfried R. Waldvogel. Auch der Max-Planck-Experte ist davon überzeugt, dass diese Methode einen wichtigen Beitrag für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wirtschaft leisten kann: „Wir sind damit weniger abhängig von fossilen Quellen und verringern den CO₂-Fußabdruck“, so Waldvogel.

Das macht die Elektrochemie zu einem Baustein für Evonik, um die selbst gesteckten Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und damit einen Beitrag zum Erreichen des Pariser Klimaziels zu leisten: 2015 einigten sich die Staaten der Welt darauf, dass die Erderwärmung möglichst auf 1,5 Grad Celsius, auf jeden Fall aber auf deutlich unter zwei Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter beschränkt werden soll.

NEUES LABOR FÜR SCHNELLE ERGEBNISSE

Evonik hat zugesagt, ihre Treibhausgasemissionen, die bei Energieversorgung und Produktion anfallen, von 2021 bis 2030 um ein Viertel zu senken – und das ohne die Produktion zu verringern. 700 Millionen Euro investiert das Unternehmen in sogenannte Next Generation Technologies, also in die Weiterentwicklung von Produktionsprozessen und Infrastruktur zur Einsparung von CO₂-Emissionen.

Auch in die Plattform Elektrochemische Prozesse & Produkte fließt Geld: Evonik will in den kommenden fünf Jahren einen zweistelligen Millionenbetrag aufwenden. Damit Patrik Stenner und sein Team noch schneller Ergebnisse erzielen, wird zurzeit in Hanau ein neues Labor eingerichtet. Für Stenner eine zusätzliche Motivation: „Wir können elektrochemische Verfahren konsequent weiterentwickeln und damit Zukunftstechnologien vorantreiben, die wesentlich für die grüne Transformation der Chemieindustrie sind.“



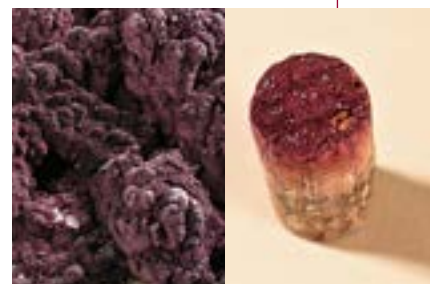
Ralph H. Ahrens, selbst promovierter Chemiker, beschreibt als Journalist gern Wege zu einer nachhaltigeren Chemie.

1968

Neu entwickelte „dimensions-stabile“ Anoden machen die elektrolytische Chlorherstellung effizienter, da sie weniger stark verschleifen als Graphitanoden. Ende der 1960er-Jahre bringt DuPont zudem Ionenaustauschmembranen für den Einsatz in Elektrolysen auf den Markt.

1990

Die Elektrodialyse zur Entfernung von Weinstein oder zur Alkoholreduktion beginnt sich durchzusetzen.



2010

Siemens startet in Singapur Tests mit einer Pilotanlage zur Entsalzung von Meerwasser mittels Elektrodialyse. Das Verfahren wird bereits seit den 1960er-Jahren eingesetzt, kommt aber wegen des hohen Energieverbrauchs selten zum Einsatz.



2023

Das Wasserstoffunternehmen Sunfire installiert den weltweit größten Hochtemperatur-Elektrolyseur für die Produktion von grünem Wasserstoff in Rotterdam.



»Es funktioniert – und es lohnt sich«

Die meisten chemischen Prozesse werden heutzutage durch einen Katalysator beschleunigt. Durch Fortschritte in der Elektrochemie reicht künftig immer häufiger elektrischer Strom aus, um eine Reaktion anzutreiben, sagt Professor Siegfried R. Waldvogel vom Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion.

INTERVIEW RALPH H. AHRENS & NADINE ALBACH

Herr Professor Waldvogel, die Chemieindustrie in der Europäischen Union will bis 2050 klimaneutral wirtschaften. Welche Rolle spielt dabei die Elektrochemie?

Dank der Elektrochemie können wir elektrischen Strom als Primärenergiequelle nutzen. Wir sind damit weniger abhängig von fossilen Quellen und verringern den CO₂-Fußabdruck. Mehr noch: Wir werden weniger Rohstoffe benötigen, um chemische Substanzen herzustellen, und es entsteht weniger Abfall. Und mit ihrer Hilfe können Substanzen einfacher wiederverwendet werden. Es wird also leichter, in die Kreislaufwirtschaft einzusteigen.

Wie schnell kann diese Transformation gelingen?

Es wird 20 bis 30 Jahre dauern, bis größere Teile der Chemieindustrie elektrifiziert sind. Aber es geht voran. Gerade in Deutschland tut sich sehr viel, etwa im Rahmen des Zukunftsclusters „Elektrifizierung Technischer Organischer Synthesen“, kurz ETOS. Dieses Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung läuft seit April 2023 – und viele Unternehmen sind dort vertreten. Die Umstellung wird ein schrittweiser Prozess sein, nicht alles kann sofort klappen. Aber es gibt bereits Bereiche, in denen wir schon heute zeigen können, dass es funktioniert und dass es sich lohnt. Dadurch wächst das Interesse an der Methode.

Die Zusammenhänge, die der Elektrochemie zugrunde liegen, sind schon lange bekannt.

Warum erlebt sie gerade jetzt eine Renaissance?

Zum einen haben Wirtschaft und Wissenschaft verstanden, dass aufgrund der Klimakrise schnell etwas

passieren muss. Zum anderen gab es in den zurückliegenden Jahrzehnten viele Innovationen, die den Einsatz elektrochemischer Verfahren erleichtern. So werden einige Elektroden heute aus nachhaltig hergestellten Kohlenstoffmaterialien produziert, die teure Edelmetalle oder giftiges Quecksilber ersetzen.

Derzeit hemmt der hohe Strompreis hierzulande die schnelle Verbreitung elektrochemischer Prozesse.

Wie kann die Technologie wettbewerbsfähig werden?

Im Moment kostet Strom in Europa in der Tat fünf-, sechsmal so viel wie in den USA, aber das dürfte sich ändern. Strom wird unsere Primärenergie der Zukunft sein. Windkraft und Photovoltaik machen ihn preiswerter – auch wenn das noch ein bisschen dauert. Stromspeichersysteme werden dazu beitragen, dass Strom künftig auch zu Zeiten zur Verfügung steht, in denen er heute noch knapp ist. Ich sehe in der mit regenerativem Strom betriebenen Elektrochemie die einzige Möglichkeit, chemische Reaktionen wirklich nachhaltig durchzuführen. Es lohnt sich also, weiter in Elektrochemie zu investieren, weil uns das einen Vorsprung gegenüber anderen Regionen verschafft.

Was fasziniert Sie als Wissenschaftler an der Elektrochemie?

Die Vielfalt der Möglichkeiten. Vor allem bei Reaktionen, die viel Energiezufuhr erfordern, ist die Elektrochemie häufig eine elegante Lösung. Chemische Bindungen bestehen aus Elektronen. Gibt man ein Elektron hinzu oder nimmt eins weg, werden diese Bindungen aktiviert. Bislang werden dafür oft Metalle oder andere Katalysatoren genutzt. Mit elektrischem Strom lassen sich Stoffe durch Wegnahme oder Hinzufügen von Elektronen viel stärker oxidieren beziehungsweise reduzieren als mit einem chemischen Reagenz. Auf einmal werden Reaktionen möglich, die wir vorher nicht durchführen konnten. Das Charmante an der Elektrochemie: Es werden Syntheseschritte eingespart oder weniger Reagenzien benötigt. Zudem werden die Prozesse auch sicherer. →

Wie wollen Sie am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion die Elektrochemie vorantreiben?

Wir arbeiten bildlich gesprochen an den weißen Flecken auf dieser wissenschaftlichen Landkarte. Unser Ansporn ist es, sehr viel besser zu sein als die traditionelle Chemie – indem wir die Synthese von Produkten vereinfachen oder ihre Aufarbeitung. Natürlich wollen wir auch, dass unsere Entwicklungen wirklich genutzt werden. Am Ende geht es also nicht nur darum, einen eleganten Prozess zu entwickeln. Wir müssen auch gute Argumente haben, die einen Betriebswirt überzeugen, ihn umzusetzen.

An was für Projekten arbeiten Sie zurzeit?

Häufig wollen wir Stoffkreisläufe schließen, um vermeintliche Abfälle weaternutzen zu können. In Norwegen sind wir zum Beispiel an zwei Projekten beteiligt. Es geht darum, Lignosulfonat beziehungsweise Kraftlignin – also Reststoffe aus der Holzverarbeitung – zu wertvollen Aromastoffen wie Vanillin zu verarbeiten. Die Prozesse unterscheiden sich voneinander, aber beide werden jetzt erstmals im Pilotmaßstab im industriellen Umfeld getestet. Sind sie erfolgreich, könnten sich Zellstofffabriken zu Bioraffinerien wandeln.



Könnte man mit solchen Verfahren auch Altlasten wieder in den Kreislauf zurückholen?

Ja, zum Beispiel das Insektengift Lindan. Es ist bereits seit vielen Jahrzehnten in der Bundesrepublik Deutschland verboten. Viele Millionen Tonnen Abfall, die bei seiner Herstellung angefallen sind, lagern aber bis heute in Deponien bei uns, in Rumänien oder Spanien. Drei Viertel des Gewichts dieser Abfälle macht das darin enthaltene Chlor aus. Indem wir es elektrochemisch abspalten, erhalten wir zusätzlich Benzol oder chlorierte Produkte, die die Industrie benötigt. Ein anderes Beispiel sind Verbrennungsgase wie Schwefeldioxid. Dieses lässt sich elektrochemisch in organische Substanzen einbauen, und man erhält antibakterielle Wirkstoffe, die Sulfonamide, die in der Human- und Tiermedizin eingesetzt werden können. Sogar zum Gelingen der Energiewende wird die Elektrochemie beitragen.

Das müssen Sie erklären.

Nehmen wir die Chlor-Alkali-Elektrolyse, das größte elektrochemische Verfahren, das wir in der Chemie betreiben. Um Ihnen ein Gefühl zu geben: Etwa 14 Prozent des in Nordrhein-Westfalen industriell genutzten Stroms wird für dieses Verfahren verwendet. Das entspricht einer Leistung von mehreren Gigawatt. Wird nun plötzlich deutlich mehr oder weniger Windstrom als prognostiziert erzeugt, können die Anlagen mit mehr oder weniger Leistung gefahren werden und so helfen, die Netze zu stabilisieren.

Die Elektrochemie kann also einen Beitrag leisten zur flexiblen Produktion?

Das ist durchaus eine Option. Dazu müssten Anlagen aber anders gebaut werden. Der Begriff beschreibt die Idee, bisher konstant betriebene Produktionsprozesse flexibel an das Stromangebot anzupassen. So sollen sich Stromverbraucher wie Elektromotoren oder -heizungen flexibel hinzu- oder abschalten lassen, ohne dass das allzu starke Auswirkungen auf den Produktionsprozess hat. Mit Elektrolysezellen ginge das recht einfach. Auch einige Prozesse sind so robust, dass sie die Leistung problemlos verdoppeln oder verdreifachen können. Aber es wäre wichtig, die notwendige Peripherie von Anfang an groß genug zu gestalten. Sie müssten viel größere Puffer einbauen, als das bisher der Fall ist.

Wo liegen die Grenzen der Elektrochemie?

Man muss sich immer den Einzelfall anschauen. Ammoniak etwa könnten wir prinzipiell elektrochemisch herstellen. Der Haken daran ist, dass dabei immer eine stark verdünnte wässrige Lösung entsteht, man meist aber wasserfreies Ammoniak wei-



Siegfried R. Waldvogel (55) ist seit Dezember 2023 Direktor der Abteilung Elektrosynthese am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr, kurz MPI CEC. Der Chemiker und sein Team fokussieren sich darauf, Abfall- und Restströme durch das Einspeisen von Strom in wertvolle Chemikalien umzuwandeln. Zuvor erforschte Waldvogel als Professor an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz unter anderem, wie sich schnell testen lässt, wann Elektrosynthesen sinnvoll durchzuführen sind und wie elektrosynthetische Umwandlungen auch im industriellen Maßstab erfolgreich verlaufen können. 2018 hat er zu diesen Themen das Start-up ESY-Labs in Regensburg mitgegründet.

terverarbeiten will. Das erhalten wir heute schon im Haber-Bosch-Verfahren, also durch die Synthese von Ammoniak aus Luftstickstoff. Hier ist das klassische Verfahren im Vorteil. Den größten Teil der Energie benötigt jedoch die Herstellung des für das Verfahren nötigen Wasserstoffs – und der ließe sich hervorragend durch Wasser-Elektrolyse herstellen. Entscheidend ist zudem, wofür das Ammoniak genutzt wird.

Sagen wir, wir machen Düngemittel daraus...

Dann würden Sie also Nitrate herstellen. Es gibt erste Arbeiten, die zeigen, dass sich der Stickstoff elektrochemisch direkt zum Nitrat oxidieren lässt. Ganz ohne Umweg über das Ammoniak. Das zeigt, wie wichtig es ist, vom Ende her zu denken. Die Frage ist: Welches Produkt will man nutzen, und wie lässt es sich energetisch am besten herstellen?

Evonik entwickelt eine bestimmte Spielart der Elektrochemie, die Elektrodialyse, weiter. Worauf kommt es dabei an?

Bei der Elektrodialyse sind die Membranen der Schlüssel. Sie sind ionenselektiv, lassen also entweder nur negativ oder nur positiv geladene Teilchen durch. Dadurch können sie Stoffe trennen und zum Beispiel Säuren oder Laugen aufbereiten, die oft in chemischen Reaktionen als Nebenprodukt entstehen. Grundsätzlich soll eine Anlage möglichst lange laufen, ohne das manuell eingegriffen werden muss. Die Membranen haben aber eine begrenzte Standzeit: Bei der Chlor-

Alkali-Elektrolyse müssen sie nach etwa acht Jahren gewechselt werden. Das ist ein aufwendiger Prozess, der viel händische Arbeit erfordert. Zudem erhöht so eine Membran den Energiebedarf des Systems, für jede einzelne brauchen sie einige 100 Millivolt zusätzlich. Am Ende wird sich in der Regel das kostengünstigste Verfahren durchsetzen. Das kann – je nach Zielmolekül – ein elektrochemisches Verfahren wie Elektrodialyse oder Direktsynthese sein oder auch mal ein klassisches Verfahren.

Eignet sich Elektrochemie dann überhaupt für die Herstellung von Grundchemikalien?

Grundsätzlich schon. Über Nitrate haben wir bereits gesprochen, das Verfahren hierfür steckt aber noch in den Kinderschuhen. Und auch von der kommerziellen Treibstoffherstellung sind wir weit entfernt. Dafür ist Strom jetzt noch viel zu teuer. Bei der Synthese organischer Verbindungen betritt man hingegen ein anderes Preissegment. Da ist, abhängig vom konkreten Produkt, schon vieles möglich. Neben dem Preis spielen manchmal auch ganz andere Überlegungen eine Rolle. Pharmaunternehmen etwa setzen heute für manche Prozesse teure und seltene Metalle wie Iridium oder Ruthenium als Katalysatoren ein. Viele dieser Metalle werden aus politisch wenig zuverlässigen Staaten bezogen. Deshalb ist es sinnvoll, über Alternativen nachzudenken.

Worin besteht – neben den wirtschaftlichen und technischen Punkten – die größte Herausforderung bei der Umsetzung elektrochemischer Prozesse?

Wir müssen sicherstellen, dass wir gut ausgebildete Experten haben. Elektrochemie ist mehr als Batterieforschung und das Erlernen von Strom-Spannungskurven. Auch das Herstellen und Isolieren der Produkte ist wichtig. Das ist im Prinzip die präparative Chemie kombiniert mit der Elektrochemie: Es kommen also zwei Disziplinen zusammen, und es wäre gut, wenn dies an mehreren Universitäten gelehrt würde. —

HAUT KULTUR

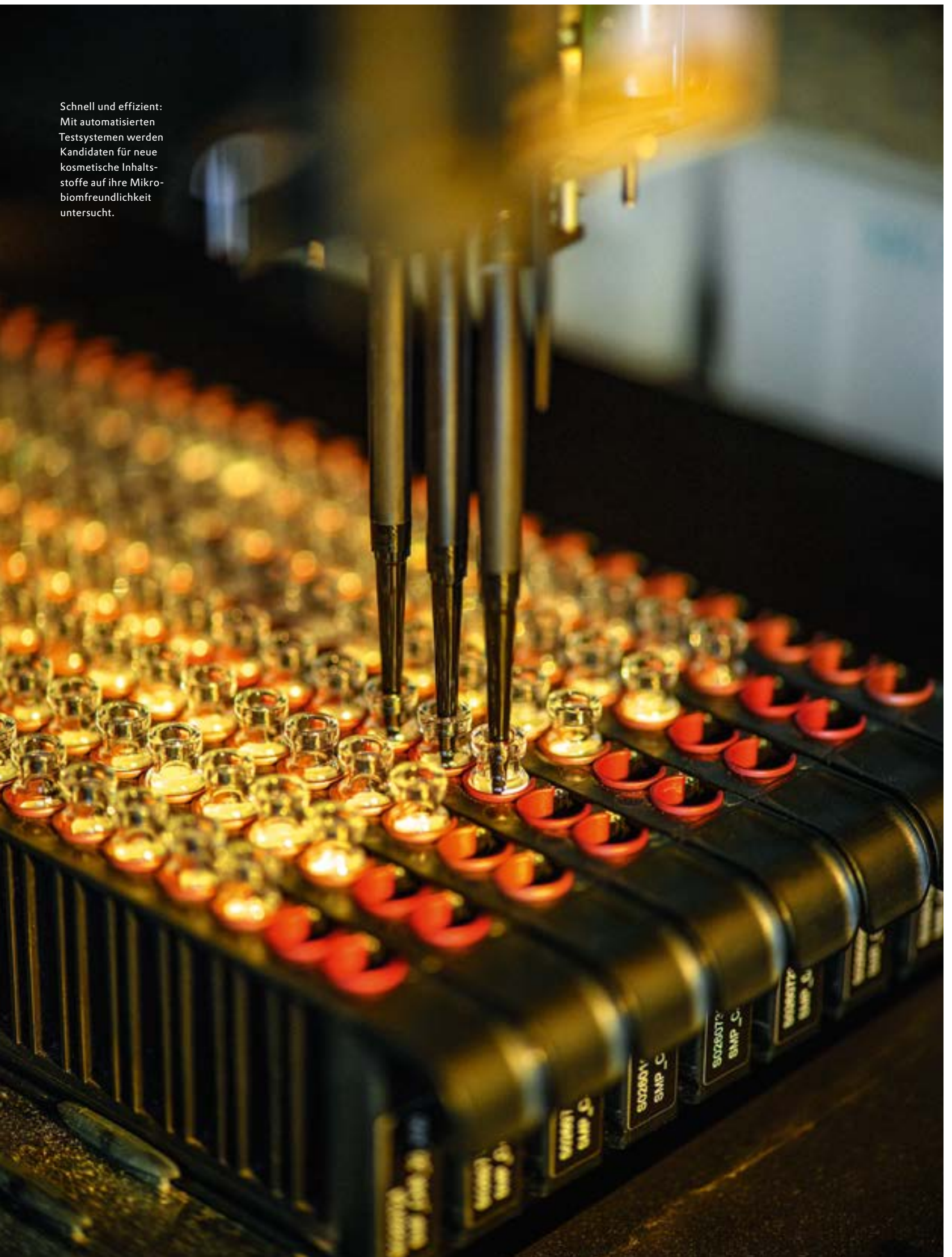
Unsere Körperoberfläche ist Lebensraum einer Vielzahl von Mikroorganismen, die der Gesundheit dienen. Kosmetika sollten das natürliche Hautmikrobiom möglichst nicht stören. Deshalb hat bei Evonik ein Team um den Mikrobiologen Stefan Pelzer ein Modell entwickelt, mit dem wichtige Inhaltsstoffe getestet werden können.

TEXT **SINA HORSTHEMKE**

Wir können sie nicht sehen. Wir können sie nicht hören. Wir können sie nicht spüren. Doch sie sind überall – unser Körper ist übersät mit ihnen: Mikroorganismen. Kleinstlebewesen, die in unvorstellbarer Zahl unsere Haut besiedeln. Schätzungsweise 30 Billionen Bakterien beherbergt ein Mensch. Sie tummeln sich in den Poren auf unseren Armen, vermehren sich im Talg unserer Nase oder ernähren sich vom Schweiß der feuchten Wärme unserer Achseln.

Klingt eklig? Ist ganz natürlich. Der Mensch ist sogar auf seine Mitbewohner angewiesen. Sie halten zum Beispiel den Säureschutzmantel der Haut stabil und bilden einen natürlichen Schutz. Ohne ein stabiles Hautmikrobiom, wie die Gemeinschaft der Mikroben auf uns heißt, hätten Krankheitserreger leichtes Spiel. →

Schnell und effizient:
Mit automatisierten
Testsystemen werden
Kandidaten für neue
kosmetische Inhalts-
stoffe auf ihre Mikro-
biomfreundlichkeit
untersucht.





Da einige der eingesetzten Bakterienstämme keinen Sauerstoff vertragen, bringt Biotechnologin Michelle Dargatz sie unter Sauerstoffabschluss in ein geeignetes Kulturmedium.

Es lohnt sich also, die gesund erhaltenden Mikroorganismen auf der Haut ebenso gut zu pflegen wie die Haut selbst. Doch geht das überhaupt, angesichts der vielen Kosmetika, die in hiesigen Badezimmern zum Einsatz kommen? Umfragen zufolge verwendet die Hälfte der Menschen in Deutschland täglich Hautpflegeprodukte. Weltweit werden mit Reinigern und Cremes, Lotionen und Masken, Seren und Ölen in diesem Jahr mehrere Hundert Milliarden US-\$ umgesetzt.

VIELFÄLTIGE WOHNUNGEMEINSCHAFT

Doch wie wirken sich diese Pflegeprodukte auf das Hautmikrobiom aus? Bringen sie es aus dem Gleichgewicht? Und falls ja: Wie ließe sich das verhindern? Diesen Fragen geht in Halle-Künsebeck unweit von Bielefeld Professor Dr. Stefan Pelzer mit seinem Team nach. Der Mikrobiologe ist seit 2012 bei Evonik und leitet im Biotech Hub des Unternehmens die Mikrobiomforschung. Das Unternehmen verspricht sich viel von biobasierten, biotechnologisch hergestellten und biologisch abbaubaren Lösungen. Der Biotech Hub vereint die Kompetenzen auf diesem Gebiet, rund 150 Angestellte arbeiten an drei Standorten an fast 80 Projekten.

Pelzer, der bereits für den Bereich Animal Nutrition die Forschung zum Darmmikrobiom voranbrachte, erarbeitet mit seinem Team zurzeit die Grundlagen, um die Wirkung von Kosmetika auf das Hautmikrobiom künftig bereits im Labor abschätzen zu können. Denn Evonik entwickelt, produziert und vermarktet auch Inhaltsstoffe für Hautpflegeprodukte. Kunden des Bereichs Care Solutions sind Kosmetikfirmen, die

selbstverständlich die neuesten Erkenntnisse in Sachen Mikrobiom und das Interesse potenzieller Endverbraucher daran in ein entsprechendes Produktangebot umsetzen wollen.

Voraussetzung dafür sind nachweislich „mikrobiomfreundliche“ Wirk- und Hilfsstoffe. Aus ihnen formulieren die Hersteller Produkte, die mit dem entsprechenden Versprechen beworben werden können. „Als mikrobiomfreundlich bezeichnen wir ein Produkt, das weder die Vermehrung der Mikroorganismen stört noch ihre Vielfalt gravierend verändert“, erklärt Pelzer.

Zur „natürlichen Besiedlung“ gehören zum Beispiel Staphylokokken, die sich gern in traubenähnlichen Gebilden anordnen, Corynebakterien, die unter dem Mikroskop wie kleine Keulen aussehen, stäbchenförmige Cutibakterien und viele mehr. Die Wohngemeinschaft aus Mikroorganismen ist vielfältig, unterscheidet sich allerdings in ihrer Zusammensetzung, je nachdem welche Körperstelle man betrachtet. So leben im feuchten Milieu der Kniekehlen nicht die gleichen Bakterien wie auf den eher trockenen Unterarmen. Und im Talg einer öligen Stirn, auf die viel Sonne trifft, fühlen sich andere Mitbewohner wohl als im Intimbereich, wo Bakterien mit wenig Licht und Sauerstoff auskommen müssen. Nur ganz bestimmte Arten sind als „Allrounder“ nahezu überall zu finden – sie stehen deshalb bei Evonik im Fokus.

Den Begriff Mikrobiom prägte 2001 der inzwischen verstorbene US-amerikanische Mikrobiologe und Nobelpreisträger Joshua Lederberg. Seitdem ist die Euphorie groß. Zunächst ging es vor allem um das Darmmikrobiom.

» Unser Modell erfasst auch die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der Bakterien untereinander. «

STEFAN PELZER, LEITER DER MIKROBIOMFORSCHUNG
IM BIOTECH HUB VON EVONIK



Vor Beginn der Tests wird der Mikrobioreaktor für die Kultivierung der Bakterien programmiert (links). Stefan Pelzer arbeitet seit 2012 für Evonik an Biotech-Projekten.

Die Gemeinschaft der Mikroben im Verdauungstrakt ist – daran besteht kein Zweifel mehr – maßgeblich für Gesundheit und Wohlbefinden mitverantwortlich. Sie soll sogar im Zusammenhang mit Erkrankungen wie Diabetes oder Alzheimer stehen. „Was wir über die Besiedlung des Darms von Mensch und Tier wissen, ist uns beim Erforschen des Hautmikrobioms eine große Hilfe“, berichtet Pelzer. „Wir können zum Beispiel Technologien aus der Darmmikrobiom-Forschung übernehmen und viel über die richtige Herangehensweise lernen.“

Welche Mikroben sich auf der Haut eines Menschen tummeln, entscheidet sich schon bei seiner Geburt: Kommt ein Baby per Kaiserschnitt auf die Welt, besiedeln andere Bakterien seine Haut als nach einer natürlichen Geburt. Später beeinflussen das Alter, die Hormone, das Immunsystem, Antibiotikabehandlungen, der Wohnort und der Lebensstil das Ökosystem auf der Haut. Wie oft setzen wir uns der Sonne aus? In welchem Klima

leben wir? Wie oft duschen wir, und womit waschen wir uns, welche Cremes tragen wir danach auf (siehe hierzu auch das Schaubild auf Seite 34)?

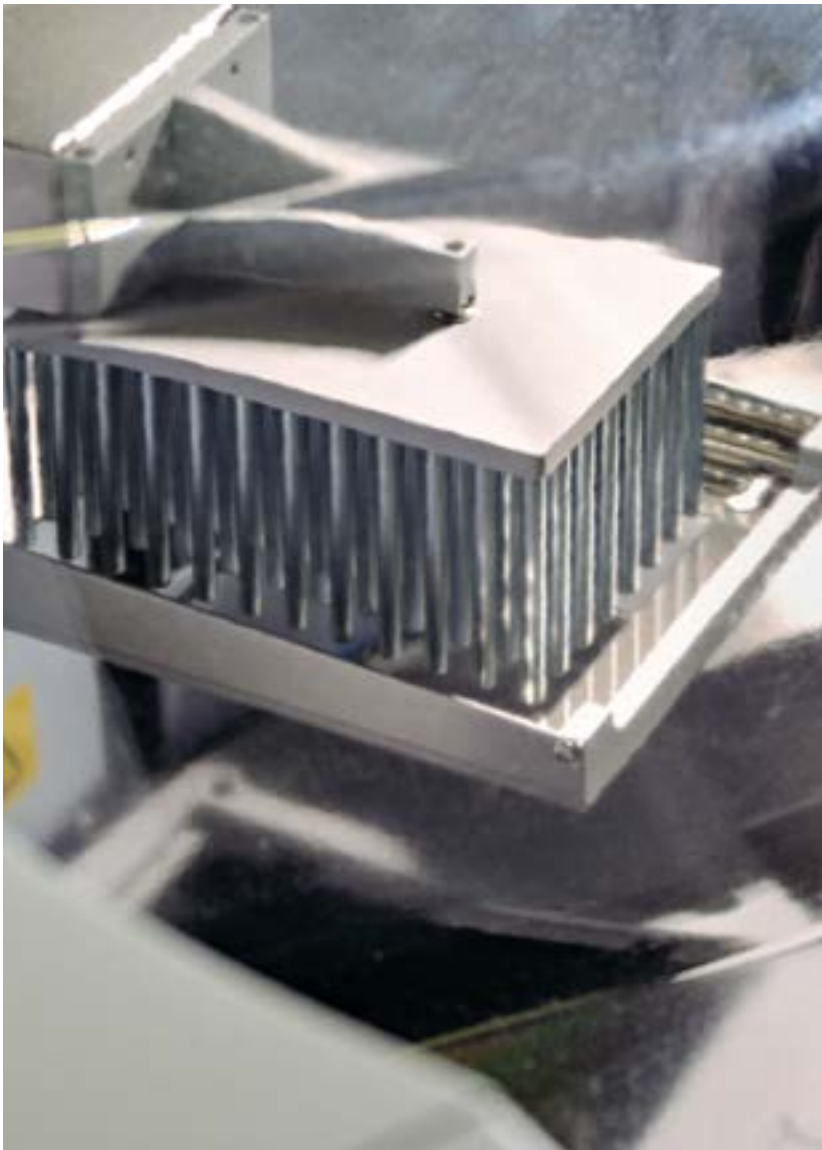
KONKURRENTEN AUF DER HAUT

Wie Kosmetika und ihre Inhaltsstoffe auf die Haut wirken, ist bisher meist ohne angemessene Rücksicht auf das Mikrobiom getestet worden. Versuche beschränkten sich bestenfalls auf wenige Bakterienarten. „Das ist zu vereinfachend“, findet Pelzer, dem es darum geht, im Labor realistische Testbedingungen zu schaffen. Schließlich leben zahlreiche Mikroben auf der Haut zusammen. Sie stehen im Wettbewerb oder profitieren voneinander. Sie kommunizieren über Botenstoffe und beeinflussen sich in ihrem Wachstum gegenseitig. „Deshalb haben wir ein Mikrobiom-Modell aus den wichtigsten Hautmikroben entwickelt, das erstmals auch die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der Bakterien →

untereinander erfasst“, erklärt der Wissenschaftler, der derzeit auch Präsident der Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie ist. „Denn eine gepflegte Haut, egal an welcher Stelle, ist auf ein ausbalanciertes Mikrobiom angewiesen.“

Das Team um Stefan Pelzer betrachtet die Mikroben nicht isoliert, sondern als Gemeinschaft. Ausgerichtet am Bedarf der Kosmetikindustrie und aufbauend auf ersten Experimenten bei der Creavis, der strategischen Forschungseinheit von Evonik, wurde ein Mikrobiom-Modell entwickelt. Die Forscher in Halle-Künsebeck nahmen sich die verschiedenen Hautzonen – trocken,

Nach der Co-Kultivierung werden die Bakterienstämme anhand ihres genetischen Fingerabdrucks identifiziert. Dazu wird die DNA aus der Kulturlösung mit Magnetpartikeln isoliert.



feucht, ölig – zum Vorbild und stellten aus jenen Bakterien, die in allen drei Bereichen siedeln, sogenannte Co-Kulturen zusammen. Acht bis zehn der häufigsten Mikrobenarten wachsen gleichzeitig in Nährmedien, scheiden wie auf der menschlichen Haut Stoffwechselprodukte aus, interagieren und konkurrieren miteinander. Setzt man sie gemeinsam den Inhaltsstoffen von Kosmetika aus, kann das ihr Zusammenspiel beeinflussen. Damit geht die Komplexität des Systems weit über die der bisher verfügbaren Tests hinaus.

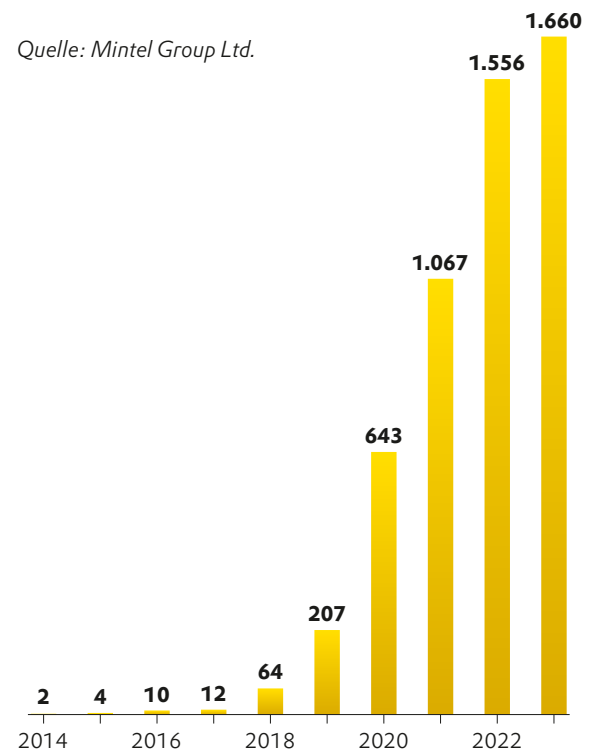
Wie die Mikroben auf Tenside, Ceramide, Öle oder Feuchtigkeit spendende Stoffe reagieren, lässt sich nicht mit bloßem Auge sehen. Die Aufschlüsselung der spezifischen Bakterien-DNA in einer Probe verrät jedoch genau, welche Mikroben eine Testsubstanz gut aushalten und welche womöglich ganz verschwinden. „Wir haben festgestellt, dass manche Inhaltsstoffe Diversität und Wachstum kaum beeinflussen“, berichtet Pelzer. „Andere am Markt erhältliche Substanzen wiederum hatten immense Effekte auf die Vielfalt der Hautbakterien.“

Eine kleine Herausforderung auf dem Weg zum mikrobiomfreundlichen Produkt sind Konservierungsstoffe. Sie sind unverzichtbar, damit eine Creme im Tiegel nach dem Öffnen haltbar bleibt. Sie hemmen nach dem

MEHR WERT FÜR DIE HAUT

Weltweit neu am Markt eingeführte Kosmetikprodukte, die das Mikrobiom adressieren

Quelle: Mintel Group Ltd.



» Das Hautmikrobiom ist ein wichtiger Faktor bei der Vermarktung von Kosmetikprodukten. «

Auftragen aber auch das Wachstum der „guten“ Bakterien auf der Haut, zumindest vorübergehend. Hier gilt es, Mittel zu finden, die einerseits ihre Funktion als Konservierungsmittel erfüllen und andererseits dem Mikrobiom so wenig wie möglich schaden. Am Standort Hamburg arbeitet ein Team von Care Solutions an genau dieser Aufgabe: Es entwickelt Konservierungsstoffe ausschließlich aus natürlichen Rohstoffen.

Gerät die Bakterien-WG auf der Haut für längere Zeit aus dem Gleichgewicht, etwa durch Antibiotika oder übertriebene Hygiene, schwächt das die Barrierefunktion der Haut. Dann können unerwünschte Mikroorganismen die Oberhand gewinnen. Ein Beispiel: *Cutibacterium acnes* gehört zu den häufigsten Vertretern auf der menschlichen Haut. Werden bestimmte Stämme davon aber dominant, kann das Akne begünstigen. Oder ein Hefepilz breitet sich leichter aus, wodurch sich Schuppen bilden. Neben Kosmetika, die das Mikrobiom möglichst nicht stören, hat die Evonik-Forschung auch Pflegeprodukte im Blick, die das Wachstum bestimmter Bakterien sogar fördern – ähnlich wie sich mit probiotischen Joghurts die Darmflora gesund halten lässt.

GEFRIERSCHRANK UND BRUTSCHRANK

Viele der Versuche laufen im Labor in Halle-Künsebeck unter strengen Sicherheitsvorschriften. Nur nach einer Einweisung und ausgerüstet mit Kittel und Schutzbrille ist der Zutritt erlaubt. Einerseits bewahren diese Regeln die wertvollen Kulturen vor Verunreinigungen, andererseits schützen sie Mitarbeiter oder Besucher vor den Bakterien. Die Mikroben lagern bei minus 80 Grad Celsius in einem Gefrierschrank, den ein Zahlenschloss sichert. Angenehmere Temperaturen herrschen in großen Brutschränken, die zahlreiche Glaskolben gleichzeitig wärmen und schwenken. In einer hypoxischen Station arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit anaeroben Mikroben, die ohne Sauerstoff auskommen. In einem Hochdurchsatz-Kultivator und einem Mikrobioreaktor vermehren die Forschenden kontrolliert Bakterien und verfolgen deren Wachstum online. Wie gut oder wie schlecht die Kulturen gedeihen, ermitteln sie auch per Durchflusszytometrie, einem Verfahren, bei dem sich Zellen mithilfe von Laserlicht voneinander unterscheiden lassen.

JENNIFER BOURLAND,
LEITERIN DES EVONIK
SKIN INSTITUTE IN SINGAPUR



Einen Teil der Arbeit, die früher Menschen verrichteten, erledigen im Evonik-Labor Maschinen: In einem Raum picken Hightech-Roboter Bakterien von Nährböden, in einem anderen pipettieren und verdünnen sie mit präzisen Bewegungen Proben. „Die Automatisierung von Arbeitsschritten spart uns viel Zeit“, sagt Pelzer. „Wir kommen so schneller zum Ergebnis und schaffen Kapazitäten für andere Aufgaben.“

Die Erforschung des Mikrobioms bei Akne zum Beispiel. Michelle Dargatz ist bei Evonik dafür zuständig. Die Biotechnologin arbeitet seit sieben Jahren im Unternehmen, kürzlich hat sie eines der Evonik-Modelle auf einem internationalen Hautmikrobiom-Kongress in Den Haag vorgestellt. In Künsebeck entwickelt sie jetzt das erste Modell, das Problemhaut simulieren soll.

Leiden Menschen unter Akne, liegt das unter anderem daran, dass sich bestimmte Stämme von *Cutibacterium acnes* auf ihrer Haut besonders wohlfühlen. Sie vermehren sich im Talg übermäßig und verdrängen dadurch andere Mikroben. Dargatz untersucht, wie Bakteriengemeinschaften, die typischerweise auf Aknehaut zu finden sind, auf bestimmte Inhaltsstoffe von Kosmetika reagieren. Welchen Effekt hat beispielsweise Salicylsäure, die in Pflegeprodukten für unreine Haut zu finden ist? Wie reagiert das *Cutibacterium acnes* auf entzündungshemmendes Zink? Und welche Substanzen verbessern den Abfluss des Talgs, ohne dabei die „guten“ Hautbakterien zu stören? →



Mit einem hochmodernen qPCR-Verfahren ermittelt Michèle Dargatz, wie sich die einzelnen Bakterienstämme im Testansatz vermehrt und verteilt haben.

In einer Labor-Sterilbank läuft gerade der erste Test mit sogenannten Stressfaktoren. Dargatz will prüfen, wie ihre Bakterien auf UV-Licht, also Sonneneinstrahlung, reagieren. Einige Stunden lang stehen sie im leuchtenden Blau, danach wird gezählt, ob sie sich noch normal vermehren können.

AUS DEM REAGENZGLAS AUF DIE HAUT

„Mithilfe der beiden Modelle für normale und akneanfällige Haut wollen wir Mikroorganismen und ihre Wechselwirkungen genau verstehen, um die Produkte für unsere Kunden zu verbessern“, sagt Forschungsleiter Pelzer. Bislang habe das Team rund 30 Substanzen aus Kosmetika an den Kulturen überprüft, darunter sowohl eigene Inhaltsstoffe als auch Produkte von Kunden. Eine wichtige Erkenntnis: Die Formulierung, also der Mix verschiedener Substanzen, kann die Wirkung einzelner Zutaten aufheben oder verändern.

In Zukunft will Pelzers Team vor allem Inhaltsstoffe und Formulierungen aus den Evonik-Laboren mit den Hautmikrobiom-Modellen testen. Zudem sollen weitere Mikrobiom-Modelle entwickelt werden, die etwa Kopfhaut mit Schuppen, atopische Dermatitis oder ältere Haut imitieren. Computersimulationen, ergänzt Pelzer, könnten seine Forschung dank künstlicher Intelligenz bald unterstützen und Vorhersagen zur Wirkung von Substanzen treffen.

Noch untersucht das Team im Biotech Hub die Bakterien in Reagenzgefäßen. Doch Pelzer plant schon den nächsten Schritt: „Es wäre die Königsdisziplin, die Mikroben in Zukunft auf künstlichem 3D-Hautgewebe zu untersuchen, um auch ihre Interaktion mit den Hautzellen zu erforschen.“ Um diesem Ziel näher zu kommen, arbeitet die Gruppe in Halle-Künsebeck eng mit anderen Evonik-Forschungseinheiten zusammen. Dazu gehört das Evonik Skin Institute in Singapur, das im März dieses Jahres gegründet wurde. „Zu untersuchen, wie Kosmetika auf die Haut wirken und was der Verbraucher von den Produkten erwarten kann, ist eine unserer Spezialitäten“, sagt Leiterin Dr. Jennifer Bourland.

Das Team der Zellbiologin arbeitet nicht nur an Zellkulturen und Geweben, sondern lässt auch Tests an Freiwilligen durchführen. Das Skin Institute dient somit als Schnittstelle zwischen Markt und Wissenschaft. Seit drei, vier Jahren spiele das Mikrobiom für die Kosmetikindustrie eine zunehmende Rolle, berichtet Bourland: „Und inzwischen ist das mehr als nur ein Trend. Das Hautmikrobiom ist zu einem ganz wichtigen Faktor bei der Vermarktung von Kosmetikprodukten geworden.“

Gut 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten mit Bourland im Skin Institute an verschiedenen Projekten, das Mikrobiom fasziniert die Biotechnologin aber besonders: „Es kristallisiert sich heraus, dass es nicht nur mit Erkrankungen im Zusammenhang steht, sondern auch bei Gesunden mit der Haut interagiert und ebenso wie das Darmmikrobiom Einfluss auf viele Bereiche unseres Lebens hat.“



In einem Mikrobiom-Modell für akneanfällige Haut enthält das Kulturmedium künstliches Hautfett und -schuppen (oben). Automatisierte Prozesse beschleunigen die Durchführung von Labortests zum Hautmikrobiom.



Mit Stefan Pelzer in Deutschland ist Bourlands Team nahezu wöchentlich in Kontakt. „Haben wir beispielsweise Substanzen, die wir für das Mikrobiom für interessant halten, testen die Kollegen sie für uns. Wir arbeiten viel an der Haut, die Künsebecker viel am Mikrobiom“, berichtet Bourland. Beides miteinander zu kombinieren sieht auch sie als großes Ziel. Um es zu erreichen, arbeitet das Skin Institute mit verschiedenen Start-ups zusammen, die sich mit Hautbiologie beschäftigen. „Auf der Suche nach neuen Wegen und Innovationen ist unser Netzwerk ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg“, so die Wissenschaftlerin. Bisher stehen die Tests des Mikrobioms auf Laborhaut aber am Anfang. „Die Modelle sind noch nicht repräsentativ für das, was wirklich auf der Haut geschieht“, sagt Bourland, „doch wir arbeiten daran.“

In absehbarer Zeit, glaubt die Zellbiologin, werden viele Kosmetika in den Drogerieregalen mikrobiomfreundlich sein. „Bei ihrer Entwicklung wird es die größte Herausforderung sein, auf möglichst viele Mikrobiome einzugehen, da diese ja sehr individuell sind“, so Bourland.

Um diese Individualität weiter zu erforschen, ist Evonik weltweit vernetzt. Auch mit dem Center for Microbiome Innovation der University of California in San Diego (USA) sind die Forschenden aus Künsebeck in regelmäßigem Kontakt. Hinzu kommt der Austausch mit Kosmetikherstellern, die die Interessen ihrer Kunden im Blick haben. Ob Kalifornien, Singapur oder Deutschland – das gemeinsame Ziel ist klar: In Zukunft sollen wissenschaftlich nachgewiesene Pflegeprodukte das Hautmikrobiom schützen und unterstützen. Um die Gesundheit zu erhalten und optimale Hautpflege zu ermöglichen – ganz individuell. —



Sina Horsthemke ist Wissenschaftsjournalistin in München. Die Diplombiologin schreibt vor allem über Gesundheitsthemen.

Bakterien-WG

Der Mensch ist ein eigenes Ökosystem. Auf der Körperoberfläche tummeln sich Billionen winziger Mikroben: das Hautmikrobiom. Diese Gemeinschaft der Kleinstlebewesen hält schädliche Keime fern – solange sie im Gleichgewicht ist.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

WELCHE BAKTERIEN WO AUF DEM KÖRPER LEBEN

Die Haut des Menschen ist nicht überall gleich. Es gibt feuchte, trockene und ölige Körperstellen, die mit ihren unterschiedlichen Bedingungen verschiedene Bakterien anlocken.



trockene Bereiche



Auf den Unterarmen leben *Cutibakterien* sowie *Corynebakterien* und *Streptokokken*.

feuchte Bereiche








Coryne- und *Cutibakterien* sowie *Staphylokokken* fühlen sich etwa unter den Achseln wohl.

ölige Bereiche



Auf der Stirn oder am Rücken finden sich vor allem *Cutibakterien*.

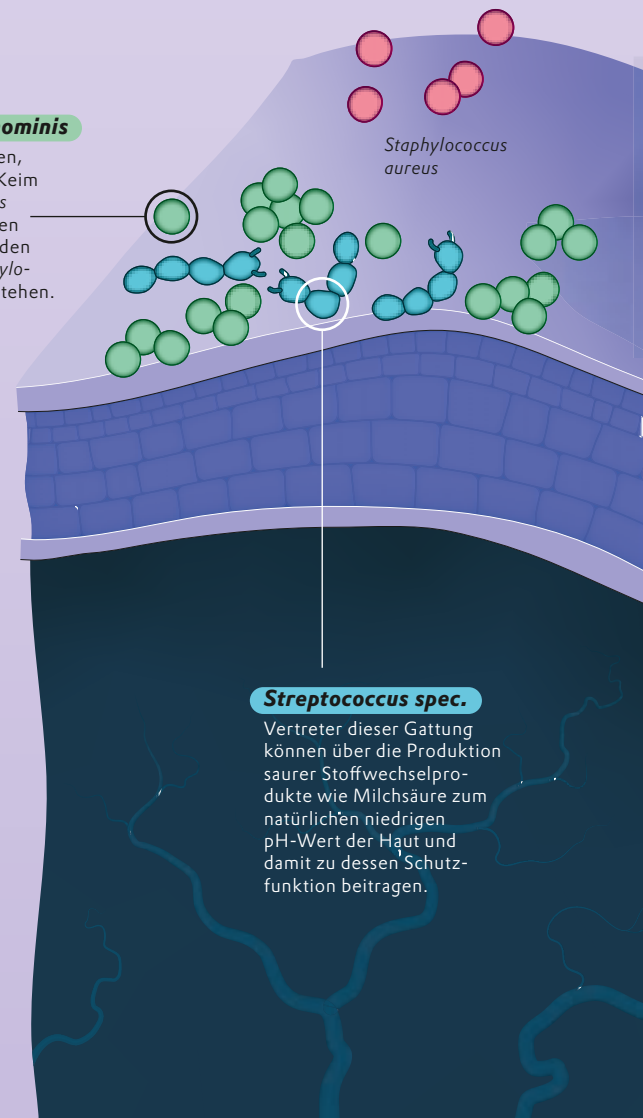
-  *Corynebakterien*
-  *Cutibakterien*
-  *Staphylokokken*
-  *Streptokokken*
-  sonstige Bakterien

WIE MIKROBEN AUF DER HAUT MITEINANDER AGIEREN

Die unterschiedlichen Bakterien auf der Körperoberfläche erfüllen diverse Aufgaben. Gerät der Mix aus dem Lot, können Erkrankungen, etwa Akne, auftreten.

Staphylococcus hominis

Produziert Substanzen, die den schädlichen Keim *Staphylococcus aureus* fernhalten. In feuchten Regionen wie unter den Achseln lassen *Staphylokokken* Gerüche entstehen.

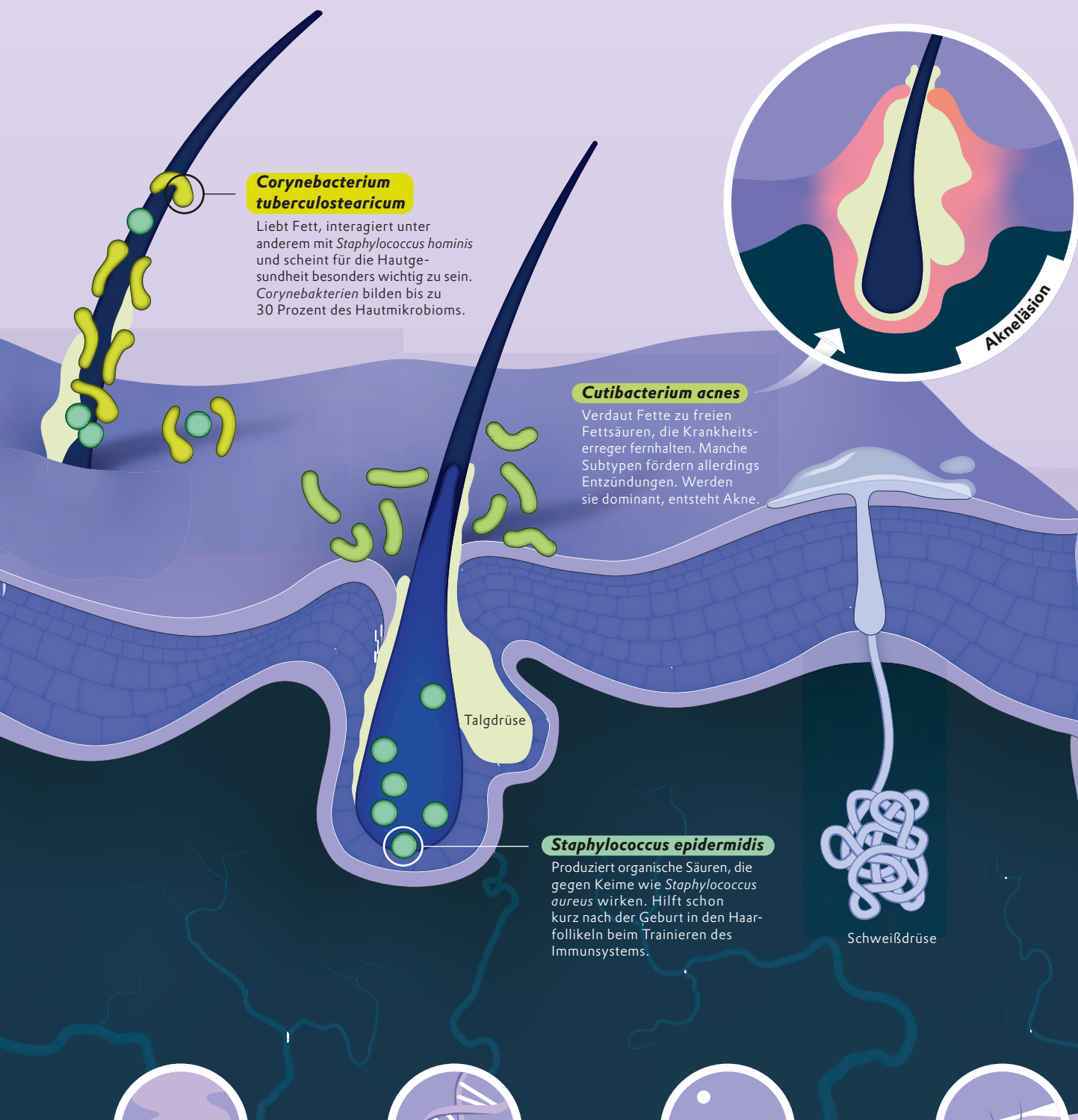


Streptococcus spec.

Vertreter dieser Gattung können über die Produktion saurer Stoffwechselprodukte wie Milchsäure zum natürlichen niedrigen pH-Wert der Haut und damit zu dessen Schutzfunktion beitragen.

WAS DAS HAUTMIKROBIOM BEEINFLUSST

Welche Mikroben auf der Haut eines Menschen siedeln, ist ziemlich individuell, denn die Bakterien-WG unterliegt zahlreichen Einflüssen.



Corynebacterium tuberculostearicum

Liebt Fett, interagiert unter anderem mit *Staphylococcus hominis* und scheint für die Hautgesundheit besonders wichtig zu sein. *Corynebakterien* bilden bis zu 30 Prozent des Hautmikrobioms.

Cutibacterium acnes

Verdaut Fette zu freien Fettsäuren, die Krankheitserreger fernhalten. Manche Subtypen fördern allerdings Entzündungen. Werden sie dominant, entsteht Akne.

Staphylococcus epidermidis

Produziert organische Säuren, die gegen Keime wie *Staphylococcus aureus* wirken. Hilft schon kurz nach der Geburt in den Haarfollikeln beim Trainieren des Immunsystems.

Talgdrüse

Schweißdrüse

Akneläsion



Lebenswandel

Raucher haben häufig trockenere Haut, was nicht alle Bakterien mögen. Wie oft Menschen Antibiotika einnehmen oder womit sie sich waschen, wirkt sich ebenfalls auf das Mikrobiom aus.



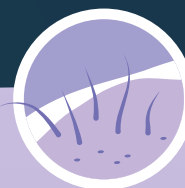
Systemische Wirtsfaktoren

Die Gene, das Immunsystem und die Ernährung bestimmen mit, welche Bakterienarten sich auf der Haut wohlfühlen und welche eher nicht. Auch die Hormonspiegel wirken sich auf die Hautbeschaffenheit und die Mikroben aus.



Umwelt

Wo jemand lebt – in der Stadt oder auf dem Land, in tropischem Klima oder in der Wüste –, beeinflusst das Mikrobiom. Häufiger Aufenthalt im Freien bei starker Sonneneinstrahlung kann ebenfalls Folgen für das Zusammenspiel der Bakterien haben.



Lokale Wirtsfaktoren

Jede Haut ist anders – manche Menschen neigen zu fettiger Haut, andere zu trockener. Das Mikrobiom sieht entsprechend unterschiedlich aus. Auch wie viel ein Mensch schwitzt oder wie behaart er ist, kann eine Rolle spielen.



**»Die Hightech-Strategie,
die wir seit Jahrzehnten
verfolgen, hat die Welt nicht
besser gemacht.«** NIKO PAECH

»Unternehmertum und Innovation sind der einzige Weg, die Menschheit voranzubringen.«

ROMY SCHNELLE

Lange bedeutete wirtschaftliches Wachstum zwangsläufig zusätzlichen Ressourcenverbrauch. Mithilfe technischer Innovationen versuchen Unternehmen, die beiden Phänomene zu entkoppeln. Der Wachstumskritiker Niko Paech und die Wagniskapitalgeberin Romy Schnelle streiten darüber, ob das gelingen kann.

MODERATION CHRISTIAN BAULIG UND JÖRG WAGNER

Frau Schnelle, die deutsche Wirtschaft ist in den vergangenen zehn Jahren um rund 14 Prozent gewachsen. Gleichzeitig haben wir es geschafft, den CO₂-Ausstoß um 29 Prozent zu senken. Wird es mithilfe von Innovationen und bei wirtschaftlichem Wachstum gelingen, die Klimakrise in den Griff zu bekommen?

SCHNELLE Auf jeden Fall. Vieles ist auf den Weg gebracht und zeigt in die richtige Richtung. Als High-Tech Gründerfonds finanzieren wir seit 19 Jahren innovative Start-ups – viele davon aus dem Bereich, den wir heute Climatetech nennen. Die Unternehmen würden die Transformation gern viel schneller vorantreiben, aber ich finde ihre Impulse für die Energiewende schon jetzt sehr beeindruckend.

PAECH Ich bezweifle, dass diese Zahlen stimmen. Wenn wir die Verlagerung von Emissionen in andere Länder sowie alle Kriseneffekte berücksichtigen, glaube ich nicht, dass wirklich eine Reduktion des Treibhausgasausstoßes aufgrund technischen Fortschritts erzielt wurde. Eine starke Senkung der CO₂-Emissionen war und ist immer dann zu verzeichnen,

wenn der Verkehr und die Industrie schwächeln. Wenn CO₂-Emissionen in Deutschland ohne empirische Trickserei gesunken sind, lag es am Zusammenbruch der DDR, der Finanzkrise 2008/09 oder der Coronapandemie. Bis heute gibt es kein wirklich wasserdichtes Beispiel für eine Technologie, die ein ökologisches Problem gelöst hat, wenn alle räumlichen, zeitlichen, stofflichen und systemischen Verlagerungseffekte der dabei zum Einsatz gelangten Technologie einkalkuliert werden. Ich würde sogar noch weiter gehen: Technologische Innovationen im Bereich des Klimaschutzes kippen in eine ökologische Bedrohung.

Wie kommen Sie darauf?

PAECH Vor 20 Jahren habe ich argumentiert, dass es nicht gelingt, über technische Innovationen das Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von ökologischen Schäden zu entkoppeln. Inzwischen gehe ich weiter und sage: Die Energiewende zerstört den letzten Rest an Kulturlandschaften und vor allem an Biodiversität, ohne dass die genutzten Technologien maßgeblich die Kohlendioxidemissionen senken. →

Und dann haben wir noch nicht über die vielen praktischen Probleme wie Übertragungsnetze, Energiespeicher und so weiter gesprochen. Zudem halte ich es für Science-Fiction, die derzeitige Industrie auf Strom und Wasserstoff umstellen zu wollen.

SCHNELLE Da habe ich mehr Zutrauen in Fortschritt und wirtschaftliches Wachstum! Als generalistischer Fonds investieren wir in unterschiedliche Bereiche, etwa die Entwicklung von Medikamenten oder Finanzinnovationen. Aus gutem Grund engagieren wir uns aber auch in Umwelttechnologien. Heute ernten wir Erfolge, die wir vor vielen Jahren gesät haben. 2011 haben wir beispielsweise in das Start-up Kiwigrind investiert. Das Unternehmen hat eine leistungsstarke Plattform für dezentrales Energiemanagement entwickelt – also eine Art Betriebssystem, das eine Verbindung zwischen erneuerbaren Energien herstellt, etwa Photovoltaik, Energiespeicher und -netz sowie E-Mobilität. Damals war das überhaupt noch nicht en vogue. Später haben wir unsere Anteile sehr erfolgreich an Innogy, LG und die Quandt-Familie, die hinter Solarwatt und BMW steht, veräußert. Das sind heute wesentliche Akteure, die zur Netzstabilität beitragen – eine der Herausforderungen, von denen Sie sprechen.

Der Anreiz für Unternehmen, solche Lösungen voranzutreiben, liegt darin, mit den Technologien Gewinn zu erzielen – was Wertsteigerung und somit wirtschaftliches Wachstum impliziert. Wie sollen wir die Abkehr von einer fossilen Wirtschaft schaffen, wenn dieser Anreizmechanismus außer Kraft gesetzt wird?

»Heute ernten wir Erfolge, die wir vor vielen Jahren gesät haben.« ROMY SCHNELLE

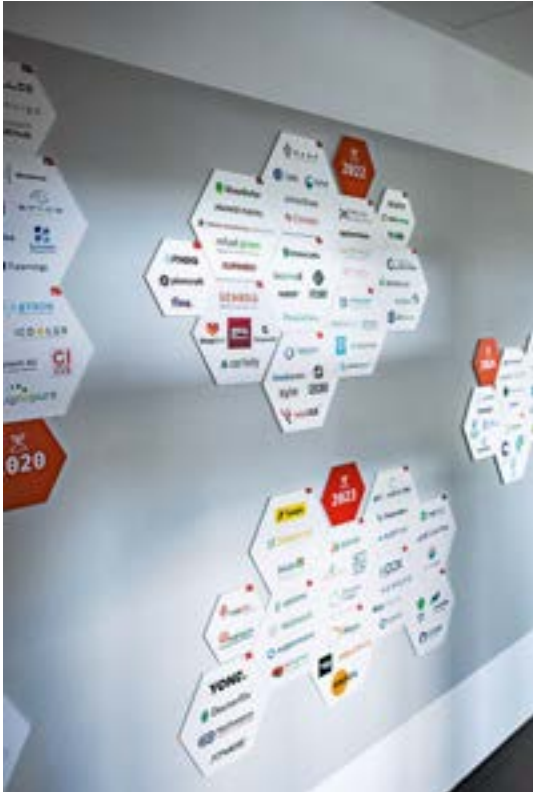
PAECH Auch in einer Postwachstumsökonomie, die ich empfehle, werden wir Technologien wie dezentrale Energiemanagementsysteme oder virtuelle Kraftwerke brauchen. Aber wenn Technologien zugleich Wachstum induzieren sollen, schütten wir das Kind mit dem Bade aus.

Von 2010 bis 2018 sind in Deutschland laut Bundesregierung eine halbe Billion € in die energetische Sanierung des Gebäudebestands geflossen. Eine halbe Billion! Nach Angaben eines Berliner Instituts hat das die Klimagasemissionen in diesem Bereich nur um 2,7 Prozent gesenkt. Aber wie viele zusätzliche Emissionen entstehen durch den Nachfrageeffekt, zumal die halbe Billion € das Einkommen vieler Menschen erhöht? Dass der technische Einspareffekt mehrfach überkompensiert wird, dürfte mehr als wahrscheinlich sein. Das Versprechen, Renditen und Shareholder-Value könnten „guten“ Technologien zum Durchbruch verhelfen, sehe ich deshalb kritisch. Ich selbst habe eine Energiegenossenschaft mitgegründet, die ganz anders an das Thema herangeht, weil sie getragen wird von Menschen, die sagen „Wir wollen Klimaschutz“ und nicht „Wir wollen reich werden“.

Wollen die Menschen hinter den Start-ups, in die Sie investieren, vor allem reich werden, Frau Schnelle?

SCHNELLE Ich würde mal jeder Gründerin und jedem Gründer unterstellen, dass sie oder er keine Dollarzeichen in den Augen hat. Es geht nicht in erster Linie um Rendite. Die Unternehmerinnen und Unternehmer, die wir begleiten, sind sehr stark von ihrer Mission getrieben, die wollen etwas besser machen. Viele engagieren sich ganz bewusst für Themen wie Kreislaufwirtschaft, um etwas zu verändern. Der Weg, Investoren wie uns aufzunehmen, ergibt sich in der Regel, wenn sie kein Fremdkapital von der Bank erhalten oder es nicht schaffen, ihre Entwicklung ohne externes Kapital voranzutreiben.

PAECH Das Problem liegt doch auf der Hand: Innovationen bringen immer etwas Zusätzliches in die Welt. Und selbst etwas Immaterielles wie die Digitalisierung hat ökologische Folgen – denken Sie an den immensen zusätzlichen Stromverbrauch durch immer größere Rechenzentren! Statt neue Technologien voranzutreiben, die Komplexität, Modernisierungsstress und Unbeherrschbarkeit zur Folge haben, sollten wir auf eine andere Form der Veränderung setzen – Exnovation. Sie liefert die Antwort auf die Frage: Wie kommt das ehemals Innovative, inzwischen längst zum Problem Gediehene wieder aus der Welt?



Also weg mit Elektroautos und Smartphones, Windrädern und Solarpaneelen?

PAECH Eine Energiewende, die diesen Namen verdient, braucht auch Technologien, da will ich nicht widersprechen. Aber in erster Linie geht es um Einsparung, und wir laufen im Moment Gefahr, über eine – ich muss das so unwissenschaftlich sagen – durchgeknallte Fortschrittsgläubigkeit ein Alibi dafür zu erzeugen, nicht dort anzusetzen, wo es viel wichtiger ist: nämlich den Verkehr zu reduzieren, eine Agrarwende herbeizuführen, keine zusätzlichen Häuser zu bauen, die Digitalisierung und den Konsum einzudämmen. Außerdem sollten wir uns fragen, ob sich eine Gesellschaft nicht auch zu Tode innovieren kann, indem sie sich mit Technologien umgibt, die nicht mehr kontrollierbar sind.

SCHNELLE Das ist mir zu pauschal. Wir haben zum Beispiel in Ineratec investiert, ein Unternehmen, das synthetische E-Fuels herstellt für Flugzeuge und Schiffe. Ich wüsste nicht, was daran nachteilig wäre. Ein anderes Unternehmen, Traceless Materials, stellt biologisch abbaubare Kunststoffe her. Es liefert einen wichtigen Beitrag für die Kreislaufwirtschaft und trägt dazu bei, den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Instagrid entwickelt eine portable Batterie, die Dieselgeneratoren ersetzt. Viele Probleme, die Sie benennen, sehe ich auch. Aber ich bin überzeugt davon, dass Innovationen zur Lösung beitragen. →



Romy Schnelle, 45, ist seit Mai 2023 Mitglied der dreiköpfigen Geschäftsführung des High-Tech Gründerfonds (HTGF) mit Sitz in Bonn. Der HTGF investiert seit 2005 in junge Technologieunternehmen und verwaltet ein Kapital von mehr als zwei Milliarden €. Finanziert wird er vom Bundeswirtschaftsministerium, der staatlichen KfW Capital und 45 privaten Unternehmen, darunter auch Evonik. Insgesamt hat der HTGF bisher rund 750 Start-ups finanziert, von denen mehr als 180 verkauft oder an die Börse gebracht wurden. Schnelle ist seit 2008 für den HTGF tätig. Zuvor gründete die Medienwissenschaftlerin gemeinsam mit dem MP3-Erfinder Karlheinz Brandenburg das Fraunhofer-Spin-off Iosono, heute Barco Audio



Niko Paech, 63, ist Professor für Volkswirtschaftslehre. Er lehrt und forscht an den Universitäten Siegen und Oldenburg. Paech gilt als Verfechter der Wachstumskritik und hat den Begriff der „Postwachstumsökonomie“ geprägt. Darunter versteht der Ökonom ein Wirtschaftssystem, das zur Versorgung des menschlichen Bedarfs nicht auf wirtschaftliches Wachstum angewiesen ist. Faktoren wie Ressourcenknappheit, die ökologische Überlastung der Erde sowie die Krisenanfälligkeit des Finanz- und Geldsystems erfordern Paech zufolge eine Abkehr vom heutigen Wirtschaftssystem. Das Konzept eines grünen Wachstums bezeichnet er als Utopie, stattdessen setzt er auf Suffizienz und Selbstversorgung.

Gibt es neben „schlechten“ Innovationen womöglich auch „gute“, Herr Paech?

PAECH Ich will über Entwicklungen, wie sie eben beispielhaft genannt wurden, nicht den Stab brechen. Grundsätzlich halte ich jedoch vor allem soziale Innovationen für wichtig. Wie schaffen wir es, die Nutzung von Gütern und Technologie neu zu organisieren, ohne materielle Infrastrukturen hinzuzufügen? Ich bin ein Anhänger der solidarischen Landwirtschaft, in der in kleinen Einheiten dezentral, kleinräumig und bedarfsgerecht gewirtschaftet wird. Als Sozialwissenschaftler finde ich den kulturellen Wandel in Nischen interessant – und da treffen wir uns, Frau Schnelle:



Technologische Innovationsprozesse beginnen ebenfalls in Nischen und diffundieren danach in die Welt. Das geht übrigens auch mit ganz geringem Kapitaleinsatz. In der Schweiz etwa hat sich das Unternehmen Revido ausgebreitet, das gebrauchte Apple-Geräte aufbereitet und wieder verkauft. Diese Innovation ist eher arbeits- als kapitalintensiv. Sie lehnt Technik nicht ab, dient aber dazu, den Output zu senken. Wir brauchen eine Volkswirtschaft, in der wieder mehr Handwerk, mehr agrarische Arbeit unter menschenwürdigen Bedingungen eine Rolle spielt. Die High-tech-Strategie, die wir seit Jahrzehnten verfolgen, hat die Welt leider nicht besser gemacht.

SCHNELLE Das trifft vielleicht in Industrieländern für manche Bereiche zu. Wenn Sie in den globalen Süden schauen, wird das ganz anders gesehen: Die Erfindung und Verbreitung von Handys hat in Afrika die Entwicklungs- und Teilhabechancen sehr vieler Menschen stark verbessert, weil sie die Stufe physischer Telefon- und Datennetze überspringen konnten. Auch bei künstlicher Intelligenz schätze ich den potenziellen Nutzen deutlich höher ein als die Gefahren. Prädiktive Instandhaltung etwa erleichtert die Transformation im Maschinenbau oder in der Schwerindustrie. In der Medizin sind dank KI ebenfalls enorme Fortschritte möglich. Das Start-up Aignostics – eine Ausgründung der Berliner Charité – nutzt künstliche Intelligenz zur Analyse großer Mengen an Gewebeprobe. Dadurch können Therapien schneller entwickelt und genauer angepasst werden.

» Es bedarf einer fortschrittskritischen Aufklärung und eines kulturellen Wandels.«

NIKO PAECH

PAECH Das mag sein, trägt aber nur zur vermeintlich optimierten Fortsetzung des Wachstumsparadigmas bei. Es ist längst eine Situation erreicht, in der die substanzielle Basis für weiteres wirtschaftliches Wachstum nicht mehr gegeben ist. Das Wachstum technischer Infrastrukturen konkurriert mit Flächen und Ressourcen, die man für die Ernährung braucht. Je mehr Technik wir entwickeln und einsetzen, desto mehr verbrauchen wir jene Ressourcen, die den Menschen dazu dienen, ihre Grundbedürfnisse erfüllen zu können. Der Schwund an Biodiversität und Flächen, die wir überhaupt noch bewirtschaften können, überkompensiert die Vorteile – auch in Afrika. Junge Menschen sollten dort zuvorderst in der Landwirtschaft und im Handwerk arbeiten, statt in Coltanminen – für unsere Smartphones! – ihr Leben zu riskieren oder sich auf die Reise nach Europa zu machen, weil sie nicht erfüllbaren Versprechungen auf den Leim gehen.

Technologie kann aber auch dazu beitragen, solche Entwicklungen zu verhindern. Evonik hat zum Beispiel ein Gründerzentrum in Ruanda mit aufgebaut. Die Start-ups vor Ort adressieren die lokalen Themen als Erste. So wird verhindert, dass kapitalgefütterte Unternehmen aus anderen Teilen der Welt dorthin kommen und das Geschäft machen. Abgesehen davon: Sie sprechen von „immer mehr“ Technik, die zum Problem wird. Bei vielen Innovationen geht es doch um „bessere“ Technik.

PAECH „Bessere“ oder „werthaltigere“ Innovationen addieren neue Lösungen, aber auch neue Nebenwirkungen, Abhängigkeiten und Risiken. Wenn dann noch zusätzliche Einkünfte entstehen, steigt die Nachfrage und folglich die Güterproduktion.

Frau Schnelle, auf welchem Weg lässt sich dieses Dilemma auflösen?

SCHNELLE Ich sehe keinen anderen als das Unternehmertum – auch wenn ich heutzutage nicht Lenkerin eines Konzerns oder eines produzierenden Mittelständlers sein möchte mit so hohen Energiekosten und all den Fragen der Zukunftsfähigkeit. Wir haben da eine Riesenaufgabe vor uns, weil unser Wohlstand gefährdet ist.

PAECH Ich will sogar hoffen, dass unser Wohlstand gefährdet ist, weil er dekadent ist. Wir sind jetzt in Europa bei zwölf Tonnen CO₂-Ausstoß pro Kopf und pro Jahr. Wir müssten runter auf eine Tonne, wenn wir

bei acht Milliarden Menschen innerhalb ökologischer Grenzen bleiben und global gerecht leben wollen. Das hilft auch, der Verkümmern und Entfremdung entgegenzuwirken, zu der das Industriemodell geführt hat. Niemand versteht diese überkomplexe Welt noch. Früher habe ich meinen Röhrenfernseher noch selbst repariert. Heute sind wir schicksalsabhängig und hilflos. Wir können nur noch komplexere Produkte kaufen und hoffen, dass alles funktioniert. Auch diese Schattenseite der Industriegesellschaft lässt sich nur überwinden, indem wir sie maßvoller gestalten.

SCHNELLE Natürlich sind wir in einer superkomplexen Welt unterwegs, und wir müssen uns auch als Fonds immer wieder neu die Frage stellen, in welche Themen wir investieren. Wir tun sicher alle gut daran, ein Stück maßvoller zu sein. Unternehmertum und Innovation sind aber der einzige Weg, die Menschheit voranzubringen. Wir können ja nicht einfach den Menschen verordnen, auf Neuerungen zu verzichten. Wie soll das denn gehen?

PAECH Eine diktatorische Instanz, die Neuerungsprozesse verbieten soll, ist unrealistisch. Es bedarf einer fortschrittskritischen Aufklärung und eines kulturellen Wandels, den Rest erledigen Krisen. Gleichwohl ist nichts gegen Entrepreneure einzuwenden, die ihren Erfolg an der Qualität und am Sinn ihrer Erzeugnisse ausrichten. Der Verkaufswert ist dann nur Mittel zum Zweck, bestenfalls zur angemessenen Kostendeckung. Eine derartige Zweck-Mittel-Umkehrung wäre Teil eines suffizienten Unternehmertums, das gute Ideen nicht um des Profits willen entwickelt. Dann noch ein Wort zum Wesen der Innovation. Dirk Baecker, ehemaliger Mitarbeiter des großen Soziologen Niklas Luhmann, sagte: „Wir brauchen Innovationen, damit wir uns nicht ändern müssen.“ Das wäre zu bedenken, bevor wir uns in immer unkalkulierbarere Abenteuer stürzen, nur um einen unrettbaren Wohlstand retten zu wollen. —




Wo eine Wüste ist, ist auch ein Weg

Ägyptens historisches Erbe zieht Menschen aus aller Welt in seinen Bann – nicht zuletzt, weil es viele Fragen offenlässt, etwa zum Bau der Pyramiden. Doch eines steht fest: Die Ägypter zeichnen sich durch eine bemerkenswerte Zielstrebigkeit aus: ob beim Bau eines Kanals mitten durchs Land oder beim Hochziehen einer neuen Metropole. Eine Umgebung, in der auch Evonik einen festen Platz hat

TEXT PAULINE BRENKE



The image shows the Temple of Hatshepsut in Deir el-Bahari, Egypt. The temple is a terraced structure built into a massive, reddish-brown sandstone cliffside. The architecture features multiple levels with columns and niches. In the foreground, a paved walkway leads towards the temple, with several people walking. The sky is clear and blue, and the overall scene is bathed in warm, golden light, suggesting late afternoon or early morning.

— Eins mit dem Fels: Der Totentempel der Hatschepsut in Deir el-Bahari am Westufer des Nils in Theben ist ein architektonisches Meisterwerk. Der dreistöckige Tempel aus Kalkstein beeindruckt durch seine terrassenartige Architektur inmitten schroffen Gesteins. Errichten ließ ihn die Königin und spätere Pharaonin Hatschepsut im 15. Jahrhundert v. Chr. Obwohl sie als Frau von der Thronfolge ausgeschlossen war, riss sie den Pharaontitel an sich und regierte rund zwei Jahrzehnte lang. Ihre Herrschaft soll sich durch erfolgreichen Handel, eine florierende Wirtschaft und zahlreiche öffentliche Bauprojekte ausgezeichnet haben – und zählt zu den Glanzzeiten der ägyptischen Geschichte.

■ Willkommen im größten Lesesaal der Welt! In der Bibliotheca Alexandrina ist Platz für 2.000 Menschen, 360 Computer und acht Millionen Bücher. Das Gebäude wurde 2002 im Hafen von Alexandria eröffnet und beherbergt auch ein Planetarium sowie vier Museen. Als Vorbild dient die im Jahr 288 v. Chr. erbaute antike Bibliotheca, damals ein Ort geballten Wissens. In ihrer modernen Nachfolgerin soll nun ein neuer Wissensschatz angehäuft werden. Derzeit stehen um die 1,5 Millionen Bücher in den Regalen. Manch eines davon verdankt seine Existenz Evonik, denn das Unternehmen stellt Produkte für hochwertige Druckfarben her sowie Wasserstoffperoxid zum Bleichen von Papier.





■ In der ägyptischen Küche treffen Einflüsse aus dem Nahen Osten, Afrika und dem mediterranen Raum aufeinander. Die Grundzutaten sind recht einfach: Vor allem Hülsenfrüchte, Gemüse, Getreide gehören dazu und selbstverständlich Gewürze wie Kreuzkümmel oder Kardamom. Viele traditionelle Gerichte sind vegetarisch, und obwohl Fleisch in der ägyptischen Küche eine wichtige Rolle spielt, wird es im Alltag eher sparsam verwendet. Zu besonderen Anlässen werden jedoch gerne Lamm, Rind, Hähnchen oder Taube serviert, etwa gegrillt in Form von Kebab oder Kofta. Aminosäuren von Evonik tragen unter anderem in der Hühnerzucht dazu bei, die Produktivität auf nachhaltige Weise und unter Berücksichtigung des Tierwohls zu steigern.





45 Kilometer östlich von Kairo entsteht die neue Verwaltungshauptstadt Ägyptens, New Administrative Capital (NAC) genannt. Baustart auf dem 270 Quadratkilometer großen Areal war 2016, nach Fertigstellung sollen dort etwa 6,5 Millionen Menschen leben. Ein Großteil der Regierungseinrichtungen ist bereits aus Kairo hierher umgezogen. Ziel des Mega-Entwicklungsprojekts ist es, die Verkehrsüberlastung und die Umweltverschmutzung in der bisherigen Hauptstadt abzumildern. Teilweise fertiggestellt ist der Central Business District (CBD, Foto) mit Büroflächen, Geschäften, Hotels und Wohnungen. Für den Bau des neuen Viertels lieferte Evonik rund 300 Tonnen des Betonzusatzmittels Sitren AirVoid, mit dem Luftgehalt und Luftporengröße im Baumaterial gesteuert werden können, um die Verarbeitung zu erleichtern.

Tag und Nacht sind Containerschiffe wie dieses 300-Meter-Exemplar der dänischen Reederei Maersk auf dem Suezkanal unterwegs. Seit dem Jahr 1869 verbindet die 193 Kilometer lange künstliche Wasserstraße das Mittelmeer mit dem Roten Meer. Zuvor mussten Schiffe aus Nord- und Westeuropa den etwa 6.000 Kilometer längeren Weg um die Südspitze Afrikas nehmen. Der Kanal hat sich zu einer der wichtigsten Handelsrouten der Welt entwickelt und spielt auch für die ägyptische Wirtschaft eine entscheidende Rolle. Allein 2023 waren hier knapp 26.500 Schiffe mit rund 1,5 Milliarden Tonnen Fracht unterwegs. Dank mariner Beschichtungen von Evonik sind Frachter und Tanker für den Einsatz im Salzwasser bestens gerüstet.





START MIT TIERNÄHRUNG

Seit 60 Jahren ist Evonik im Nahen Osten und in Afrika präsent. Das Büro in der ägyptischen Hauptstadt Kairo war eines der ersten in der Region. Was 1964 zunächst als Verbindungsbüro für das Geschäftsgebiet Tiernahrung eröffnet wurde, ist heute ein Standort mit 22 Mitarbeitern aus acht Bereichen, die die Landwirtschaft, die Öl- und Gas- sowie die Farben- und Lackindustrie bedienen.



An

1

Standort arbeiten

22

Mitarbeiter.



GIB GUMMI!

Der Hauptbestandteil alter Autoreifen lässt sich bisher kaum für die Produktion neuer Pneu verwenden. Das liegt auch daran, dass sich die für die Gummibildung wichtige Vulkanisation nicht einfach umkehren lässt. Evonik forscht an einer Technologie, die mehr Altreifenmaterial fit für den Neueinsatz macht.

TEXT **KARL HÜBNER**

Neureifen in einem Lager: Reifenhersteller wollen den Anteil an Recyclingmaterialien in ihren Produkten erhöhen.

Es war ein Meilenstein der Chemie, als es Charles Goodyear und Thomas Hancock vor 180 Jahren unabhängig voneinander gelang, aus labberigem Naturkautschuk elastisches und zugleich strapazierfähiges Gummi herzustellen. Den Prozess nannten sie Vulkanisation – schließlich waren Hitze und Schwefel im Spiel. Gummi trat in der Folge einen Siegeszug an und ist heute aus dem Alltag kaum wegzudenken. Zu den wichtigsten Produkten aus dem Allround-Werkstoff gehören Reifen, ohne die Mobilität auf unseren Straßen unmöglich wäre.

Rund 1,6 Milliarden Fahrzeuge sind weltweit unterwegs, die in ihrem Leben mehrfach mit Reifen ausgerüstet werden müssen. 2023 wurden knapp 1,8 Milliarden Reifen produziert und gleichzeitig ähnlich viele Altreifen für immer von den Felgen abgezogen (siehe Data Mining, Seite 57). →



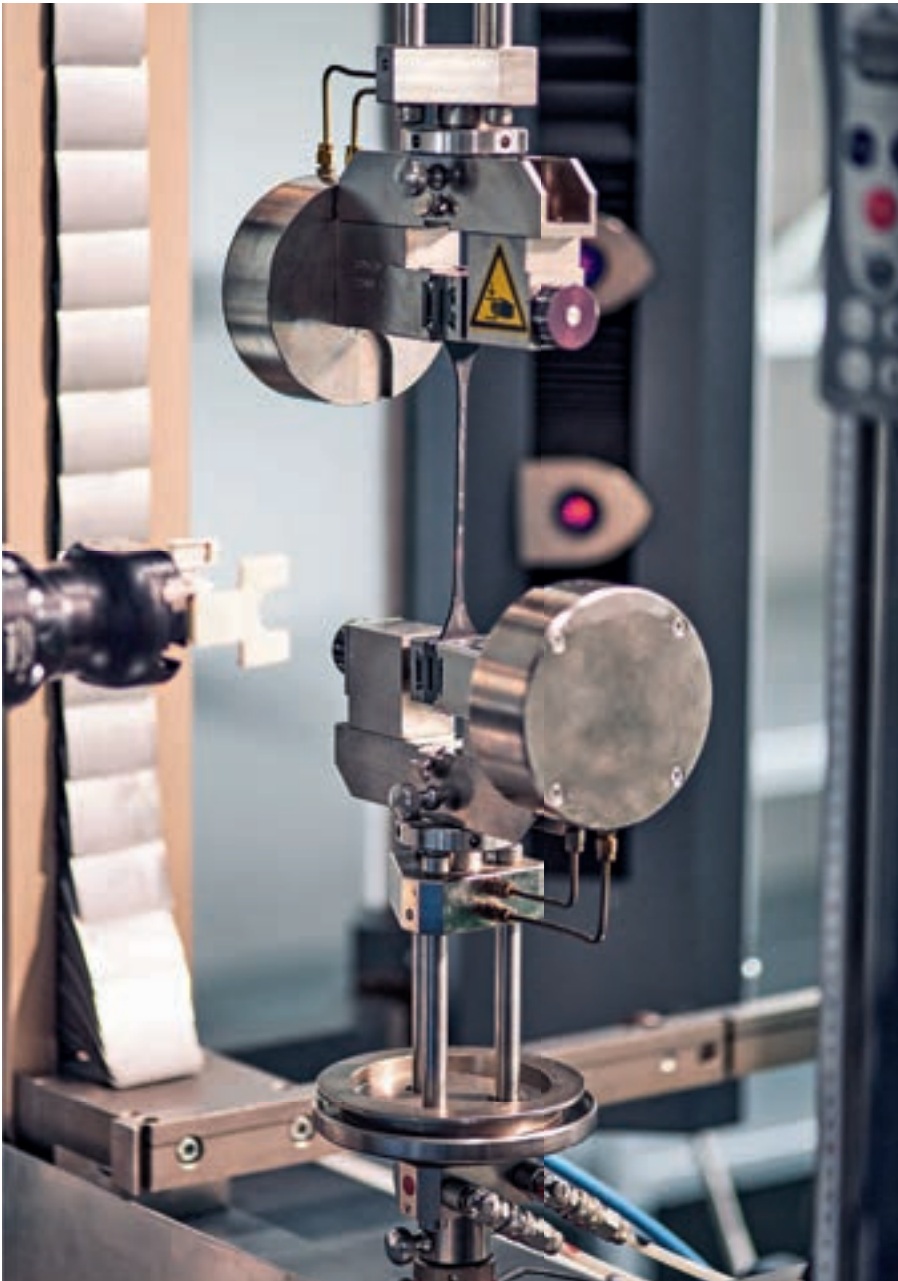
Im Idealfall würde man das Material der ausgedienten Reifen als Rohstoff für deren Nachfolger nutzen. Altreifen lassen sich gut einsammeln und liegen, anders als die meisten Kunststoffe, sortenrein vor. Warum also die Gummibestandteile nicht einfach einschmelzen und für neue Reifen verwenden? Das geht leider nicht. Die Vulkanisation hat nämlich eine Kehrseite: Chemisch lässt sie sich bislang nur mit viel Aufwand rückgängig machen.

VOM ABFALL ZUM ROHSTOFF

Lange Zeit galten abgefahrenere Reifen als Abfall. Noch in den 1990er-Jahren landet selbst in Europa ein Großteil auf Deponien. Der Rest wurde meist verbrannt, um etwa in Zementwerken Energie zu erzeugen. Irgendwann kam die Idee auf, alte Reifen zu schreddern und zu mahlen. Das so erzeugte Gummimehl geht seither allerdings vor allem in Straßenbeläge, Sportböden oder Baumaterialien.

Dass Reifengummi wieder für Reifen genutzt wird, ist die Ausnahme. „Branchenexperten schätzen, dass Reifenhersteller allenfalls fünf Prozent des Kautschuks in ihren Gummirezepturen durch Recyclingmehl ersetzen“, sagt Dr. Christian Mani. Mehr, so heißt es, könnte die Eigenschaften der Reifen verschlechtern. Seit einigen Jahren aber ist in der Branche viel in Bewegung gekommen. Praktisch alle weltweit aktiven Reifenproduzenten haben sich ehrgeizige Nachhaltigkeitsziele gesetzt und wollen den Anteil erneuerbarer und recycelter Materialien in ihren Rezepturen stark steigern. Ein US-Hersteller präsentierte Anfang 2023 einen Demo-Reifen, der zu 90 Prozent aus nachhaltigen Rohstoffen besteht, immerhin sieben Prozent stammen dem Unternehmen zufolge aus Altreifen. Das Ziel vieler Hersteller ist klar: Stoffkreisläufe schließen.

Der Weg dorthin hält jedoch viele technische Herausforderungen bereit. Denn die Einarbeitung von altem Gummi in neues ist eine komplizierte Angelegenheit. Die Eigenschaften des damit hergestellten Materials reichen nicht an das von Gummi aus ausschließlich neuen Rohstoffen heran. Das liegt Christian Mani zufolge vor allem daran, dass sich die Moleküle aus dem Recycling-Gummimehl bei der erneuten Vulkanisation kaum mit neuem Material vernetzen und potenzielle Schwachstellen entstehen. Um das zu ändern, müsste man das molekulare Netzwerk im Altgummi zuvor aufbrechen, also devulkanisieren (siehe Infografik Seite 54).



Elastisch: Die Zugfestigkeit unterschiedlicher Gummimischungen wird an hantelförmigen Prüfkörpern getestet, sogenannten Schulterstäben.

»Schätzungen zufolge ersetzen Reifenhersteller derzeit allenfalls fünf Prozent des Kautschuks durch Recyclingmaterial.«

CHRISTIAN MANI, PROJECT MANAGER
PORTFOLIO DEVELOPMENT, CREAVIS

Genau daran arbeitet Mani. Bei der Creavis, der strategischen Innovationseinheit von Evonik, forscht der Chemiker seit einigen Jahren in Marl an Kreislaufkonzepten für Polymermaterialien. Eines seiner Projekte dreht sich um Altreifen und darum, die Vulkanisation im darin enthaltenen Gummi zumindest teilweise rückgängig zu machen. So wollen er und sein Team den bisherigen Anteil recycelten Gummis in neuen Reifen vervielfachen.

AUSSICHTSREICHER KANDIDAT

Vierorts arbeiten Forscher derzeit an der Devulkanisation. Bislang haben sie jedoch noch keinen Ansatz gefunden, der zu einer breiten industriellen Anwendung geführt hätte. Thermisch-mechanische Verfahren etwa haben unerwünschte Nebenwirkungen auf das molekulare Netzwerk im Altgummi. Durch chemische Zusätze versucht man daher, das Reaktionsgeschehen besser zu kontrollieren und in die richtigen Bahnen zu lenken. Devulkanisationshilfen heißen solche Zusätze. „Einige Substanzen schaffen das bereits recht gut, doch leider sind sie giftig oder sorgen für unerwünschte Gerüche im späteren Gummiprodukt“, sagt Prof. Dr. Wilma Dierkes, außerordentliche Professorin an der Universität Twente in Enschede, wo sie sich seit mehr als 20 Jahren mit Devulkanisation beschäftigt. Ihr Forschungsbereich kooperiert seit einigen Jahren mit dem Evonik-Team um Mani.

Während dieser Zusammenarbeit kam ein Stoffkandidat in den Blick, der viele Anforderungen erfüllt und die Nachteile bisheriger Devulkanisationshilfen vermeidet. Zentraler Bestandteil ist ein Vinylsilan – eine Verbindung, bei der ein zentrales Siliziumatom eine seiner Bindungen zu einer Vinylgruppe bildet. Weil diese recht reaktionsfreudig ist, kann das Vinylsilan während der Devulkanisation als Radikalfänger dienen. „Radikale bilden sich beim Brechen der Schwefelbrücken“, erklärt Mani: „Auf beiden Seiten bleiben Molekül-Enden zurück, die so reaktiv sind, dass sie sofort neue Bindungen knüpfen.“

Devulkanisationshilfen „versiegeln“ diese Molekül-Enden chemisch und nehmen ihnen ihre Reaktivität. „Die Vinylgruppe in unserem Silan verhindert so eine Rückvernetzung“, so der Forscher. Zugleich soll das Vinylsilan auch solche Radikale abfangen, die die Kautschuk-Polymerketten aufbrechen können – und so eine unerwünschte Nebenwirkung verhindern.

Daneben erfüllt das Vinylsilan eine weitere Aufgabe, die vor allem beim Recycling von Pkw-Reifen wichtig ist. Anders als etwa Exemplare für Lkw enthalten sie in ihrem Laufflächengummi nämlich einen chemisch eingebundenen Füllstoff: Kieselsäure. „Fürs Recycling ist es von großer Bedeutung, diese Kieselsäure zu reaktivieren, sodass sie beim abermaligen Vulkanisieren neue chemische Bindungen eingehen kann“, erklärt Mani. Genau das leistet Vinylsilan.

Um herauszufinden, wie gut eine Devulkanisationshilfe ihren Job erledigt, sind eine Reihe von Tests notwendig: zum einen mit dem Devulkanisat, also dem Produkt der Devulkanisierung von altem Gummi, zum anderen mit dem neuen Gummi, für dessen Herstellung das Devulkanisat verwendet wurde. →



Christian Mani kümmert sich seit viereinhalb Jahren als Projektmanager bei der Innovationseinheit Creavis um Kreislaufkonzepte für Polymermaterialien.



Schnittmuster: In der Anwendungstechnik am Standort Wesseling stellt Evonik Gummi für Prüfzwecke selbst her. Die für das jeweilige Testverfahren benötigten Formen werden vor der Vulkanisation zugeschnitten.

Für solche Untersuchungen reist Christian Mani immer wieder nach Wesseling südlich von Köln. Dort befindet sich die Evonik-Anwendungstechnik Tire & Rubber. Unter anderem entwickelt sie Kieselsäureprodukte für Pkw-Reifen und stellt Proben für Versuchszwecke her. Die dafür erforderliche Testinfrastruktur nutzt Mani nun mit. Der Creavis-Forscher kann hier Gummiteile mit beliebigen Rezepturen herstellen lassen. Und es ist möglich, die Eigenschaften des produzierten Gummis direkt zu untersuchen.

TESTS MIT GUMMIHANTELN

Auch an diesem sonnigen Tag steht Christian Mani wieder einmal im Prüflabor. Mit Dr. Jens Kiesewetter, dem Leiter der Anwendungstechnik in Wesseling, schaut er auf eine Apparatur, die gerade ein schwarzes, hantelförmiges Gummiteil in die Länge zieht. Ein Monitor daneben zeigt ein Diagramm, in dem die aufgewendete Kraft gegen die Dehnungslänge des Gummiteils aufgetragen ist: eine Linie, die ansteigt.

Als die Gummihantel ihre Länge annähernd verdoppelt hat, reißt sie in der Mitte. Im selben Moment fällt die Kurve auf dem Monitor senkrecht ab. „Das war jetzt die Bruchdehnung“, sagt Kiesewetter und erklärt, dass sich aus der am Ende aufgewendeten Kraft und der dabei erreichten maximalen Dehnung des Gummis die Zugfestigkeit errechnen lässt.

Mani und Kiesewetter kontrollieren die Werte, dann geht es weiter zum nächsten Testaufbau. „Unsere Gummiprüben enthalten unterschiedliche Anteile an Devulkanisat, und wir wollen schauen, wie sich diese Anteile auf die Eigenschaften auswirken“, erklärt Mani. Neben der Zugfestigkeit seien das etwa die Härte oder die Materialhomogenität.

DEVULKANISIEREN – ABER RICHTIG

Für den Wiedereinsatz von altem Gummi gilt es, dessen molekulares Netzwerk selektiv aufzubrechen.

Regeneriertes Gummi

Viele bisherige Devulkanisierungsansätze brechen nicht nur die Schwefelbrücken, sondern auch die Polymerketten auf. Letzteres verschlechtert beim Wiedereinsatz die Eigenschaften.

Vulkanisiertes Gummi

Das Vulkanisieren vernetzt die Kautschukpolymere mit Schwefel und sorgt so für die Elastizität des Gummis.

Devulkanisiertes Gummi

Das Ziel einer für Recyclingzwecke geeigneten Devulkanisierung ist es, möglichst selektiv nur die Schwefelbrücken aufzubrechen und die Kautschukketten intakt zu lassen.



Christian Mani arbeitet eng mit Jens Kiesewetter zusammen, der bei Evonik die Anwendungstechnik Tire & Rubber leitet. Im Homogenitätstest (unten rechts) zeigt sich, wie gut Recyclinggummi (unten) in neues Gummi integriert ist.



Die Forscher verwenden bei ihren Versuchen eine Rezeptur für das Laufflächengummi von Pkw-Reifen, weil dies zu den anspruchsvollsten Reifenkomponenten zählt. Dazu ist es wichtig zu wissen, dass ein Reifen zwar durchgehend aus Gummi besteht, die Rezepturen für die einzelnen Bestandteile wie Lauffläche, Karkasse, Seitenwand, Wulst oder Innenbeschichtung aber jeweils unterschiedlich sind, etwa was die Art des verwendeten Kautschuks betrifft. Die Lauffläche muss dabei den höchsten Anforderungen standhalten und garantiert nicht zuletzt die Sicherheit des Fahrzeugs. „Funktioniert ein Devulkanisat in dieser Komponente, dann wird es sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch für einige der anderen Reifenteile eignen“, sagt Wilma Dierkes von der Universität Twente.

DAS ZIEL: 20 PROZENT

„Die bisherigen Laborversuche deuten darauf hin, dass sich bis zu 20 Prozent des Kautschuks durch Devulkanisat ersetzen lassen und das damit hergestellte Gummi

immer noch den hohen Qualitätsansprüchen von Reifenherstellern genügen würde“, sagt Christian Mani. Das wäre etwa eine Vervielfachung gegenüber den Mengen an Gummimehl, die Reifenhersteller aktuell in ihre Rezepturen einarbeiten.

Dass nun so viel mehr möglich ist, erklärt Mani mit dem gelungenen Aufbrechen der Schwefelbrücken und auch der Bindungen zwischen Füllstoff und Polymernetzwerk. Damit seien die in den →



Mustervielfalt: Um die Eigenschaften eines Gummis zu ermitteln, führt Evonik viele standardisierte Tests mit definierten Prüfkörpern in unterschiedlichen Formen durch.

Kautschukketten noch vorhandenen Doppelbindungen besser zugänglich geworden und könnten bei der neuerlichen Vulkanisation für Vernetzungen genutzt werden.

DER WEG IN DIE INDUSTRIELLE PRAXIS

Trotz der bisherigen Erfolge sei es jedoch zu früh, auf Reifenhersteller zuzugehen, sagt Mani. „Bisher stammen unsere Devulkanisate aus Laborversuchen. Derzeit versuchen wir sicherzustellen, dass die Eigenschaften auch dann gewährleistet sind, wenn wir in größeren Anlagen devulkanisieren, wie sie für eine industrielle Anwendung nötig wären.“ Damit kann auch noch nicht gesagt werden, in welche Reifenkomponenten und mit welchem Anteil Hersteller das Devulkanisat später einmal einarbeiten würden. Wären es wirklich die 20 Prozent im anspruchsvollen Laufflächengummi, kann sich Recyclingforscherin Wilma Dierkes sogar vorstellen, dass die Wiederverwertungsquote in anderen Reifenkomponenten höher ist.

Und noch etwas gilt es vorab zu testen. Lange Zeit haben Mani und sein Team das Gummi für ihre Versuche selbst im Technikum produziert. In der industriellen Praxis käme das Material direkt von Firmen, die Altreifen aufarbeiten. Sie trennen zwar im Reifen enthaltene Stahl- und Textilanteile ab, aber die verschiedenen Gummitypen von Karkasse, Seitenwand oder Lauffläche lassen sich dort nicht separieren. Gummimehl von Altreifen ist

daher ein Gemisch. Derzeit probieren die Evonik-Forscher um Mani aus, ob sich ihre für definiertes Gummi bewährte Methode auch hierfür eignet. Um das zu ermitteln, wird Mani noch einige Zeit auf die Unterstützung von Jens Kieseewetter und seinem Team zurückgreifen.

Weder Charles Goodyear noch Thomas Hancock hätten sich wohl träumen lassen, dass es eines Tages ein Ziel sein könnte, ihre mit großen Mühen und Rückschlägen entwickelte Vulkanisation rückgängig zu machen. Um Rohstoffengpässe, Nachhaltigkeit und Kreislaufkonzepte mussten sie sich allerdings auch noch keine Gedanken machen. Das ist heute anders. Für Christian Mani wäre es daher ein großer Erfolg, wenn Evonik eines Tages mit einem von seinem Team entwickelten Produkt dazu beitragen würde, deutlich mehr Reifengummi als bisher im Kreislauf zu halten. —

Karl Hübner ist promovierter Chemiker und Journalist. Er arbeitet als freier Autor und schreibt häufig über Forschungsthemen.



FAHRGESCHÄFT

Egal wie Fahrzeuge künftig angetrieben werden – sie rollen auf Rädern. Der Bedarf an Gummireifen wird in den kommenden Jahren weiter steigen. Umso dringlicher ist die Einführung einer Kreislaufwirtschaft, in der Gummi immer wieder verwendet werden kann.

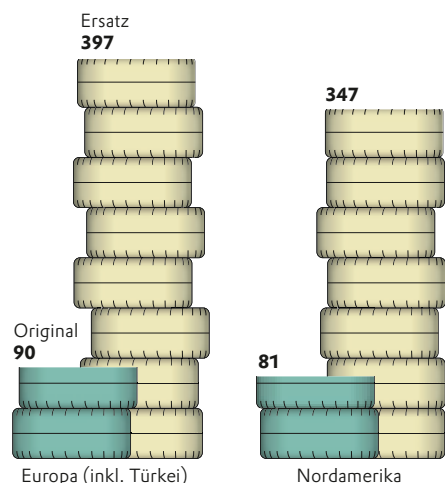
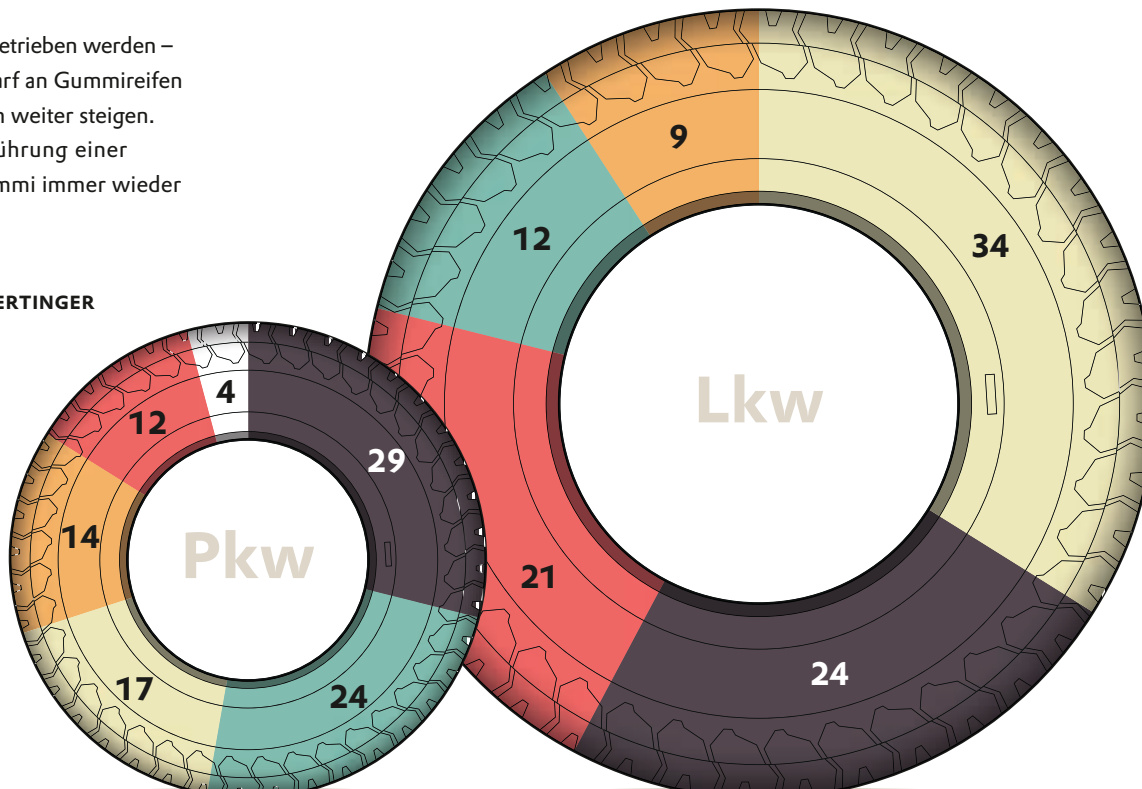
Quellen: ETRMA, Statista, WBCSD

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

Nicht nur Gummi

Inhaltsstoffe eines Reifens, in Prozent

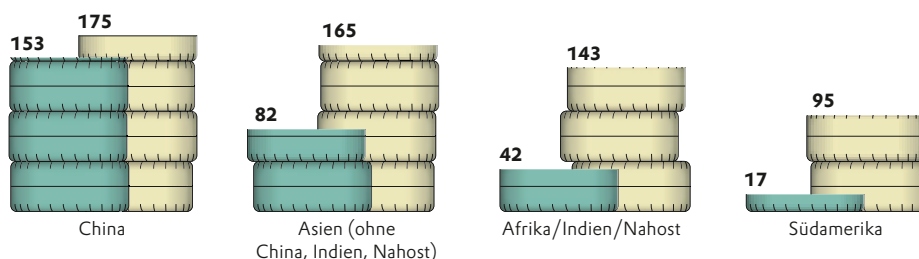
- Füllstoffe
- Synthekautschuk
- Naturkautschuk
- Antioxidantien u. a.
- Stahl (Reifendraht)
- Textilfasern



In alle Welt

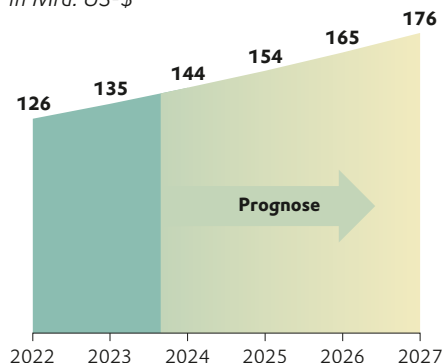
Reifen* zur Erstausrüstung und als Ersatz 2023, in Millionen Stück

* für Pkw und Lkw



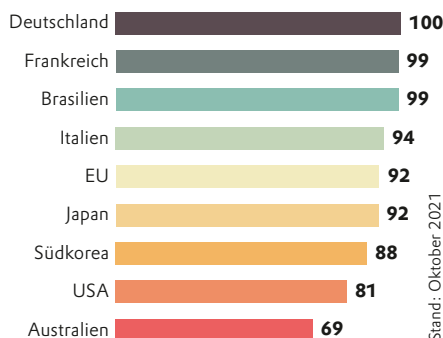
Der Markt wächst

Weltweiter Umsatz mit Autoreifen, in Mrd. US-\$



Vorbild Europa

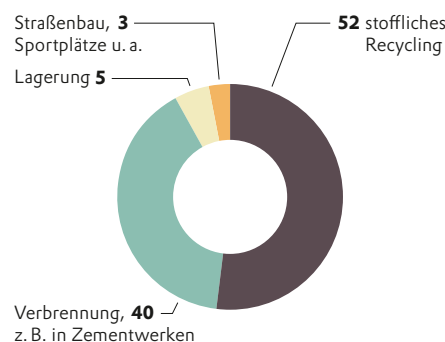
Weiterverwertungsraten ausgewählter Länder bzw. Regionen, in Prozent



Stand: Oktober 2021

Der Kreis schließt sich

Verwendung von Altreifen in der EU 2019, in Prozent





**MENSCH UND
MASCHINE**

Mit den Sprachfähigkeiten von C-3PO aus der „Star Wars“-Saga kann kein Wesen mithalten – der Filmroboter zeigt jedoch auch menschliche Züge.

Hochtechnisierte Helfer, die uns dienend zu Seite stehen und jede Aufgabe schnell und klaglos erledigen – diese Fiktion könnte schon bald Realität werden. Es bricht das Zeitalter der humanoiden Roboter an.

TEXT **BJÖRN THEIS**

Die griechischen Götter ließen es sich gut gehen. Tagein, tagaus wurden sie bedient, und zwar von menschenähnlichen „Automatons“, gefertigt von Hephaistos, dem Götterschmied. Der göttliche Bedarf an diesen Maschinenwesen war so groß, dass die Herstellung einer Serienproduktion glich. So berichtet Homer in der „Ilias“ von einem Besuch der Meeresgöttin Thetis bei Hephaistos, der gerade dabei ist, Beine für gleich 20 dieser Diener herzustellen. Man kann also sagen, dass der Götterschmied der Erfinder dessen ist, was wir heute Roboter nennen.

ANGEPASST AN DIE MENSCHENWELT

Heute kommen Millionen von Robotern zum Einsatz, vor allem in der industriellen Produktion, aber zunehmend auch in Privathaushalten. Sie haben gemein, dass sie meist nur für eine Aufgabe konstruiert wurden, etwa zum Staubsaugen. Von den multifunktionalen Götterdienern sind sie weit entfernt. Noch. Gleich mehrere Unternehmen möchten den Traum von mechanischen Helfern, die unterschiedliche Dinge selbstständig erledigen können, realisieren. Hierfür konstruieren sie Roboter, die uns Menschen ähneln. Die Idee dahinter: Humanoide Roboter wären perfekt an unsere Menschenwelt angepasst und könnten jedes Werkzeug genauso gut bedienen wie wir selbst.

Ganz weit vorn in der Entwicklung eines solchen Helfers ist das US-amerikanische Unternehmen Figure. Sein Robotermodell Figure 02 ist 1,68 Meter groß, wiegt 70 Kilo, kann mit einer Akkuladung circa fünf Stunden lang arbeiten und 20 Kilo befördern. Kostenpunkt: circa 130.000 US-\$. In China arbeitet man auf Hochtouren an einem ähnlichen Konzept: Der Human 1 des Herstellers Unitree ist mit einem angedachten Preis von circa 90.000 US-\$ deutlich günstiger als sein amerikanischer Konkurrent, dafür ist er bloß 1,20 Meter groß, 35 Kilo schwer und kann nur Lasten bis zu drei Kilo bewegen.

ERST IN DIE FABRIK, DANN INS HEIM

Sogar Tesla investiert in Humanoide. Erst kürzlich gab der E-Auto-Hersteller bekannt, dass die zweite Generation seiner Optimus-Roboter erste Testarbeiten in einem Fahrzeugwerk aufgenommen hat. Figure 02 betätigt sich bereits bei BMW versuchsweise im Karosseriebau, während Mercedes den Einsatz humanoider Roboter in der Logistik erprobt. Noch weiter ist das US-amerikanische Unternehmen GXO Logistics. Dort sind humanoide Roboter bereits in den laufenden Betrieb eingebunden.

Der Preis für die Helfer sinkt von Generation zu Generation. Der Tesla-Roboter Optimus G2 soll weniger als 30.000 US-\$ kosten und richtet sich damit auch an Privatleute. Bevor Roboter routinemäßig Hausarbeiten übernehmen, wird jedoch noch einige Zeit vergehen – die Vielzahl der Aufgaben vom Abwasch bis zum Fensterputzen überfordert derzeit selbst die leistungsstärksten Modelle. Der potenzielle Markt für Humanoide ist dennoch gigantisch, Analysten von Goldman Sachs schätzen, dass er bereits 2035 ein Volumen von 38 Milliarden US-\$ erreichen wird und in den Dekaden danach den Automobilmarkt überholen könnte. Ein guter Grund für das Foresight-Team, das Thema im Rahmen des Fokusthemas „Game Changer 2035“ genauer zu betrachten. Denn wenn es in Zukunft Heerscharen mechanischer Menschendiener geben soll, braucht es jede Menge spezialchemischer Innovationen. —

Björn Theis leitet die Abteilung Foresight der Evonik-Innovationseinheit Creavis.





»Mehr grüner Wasserstoff aus weniger Iridium«

PROTOKOLL **MARKUS SARIOGLU**
FOTOGRAFIE **URBAN ZINTEL**

Zahra Nasri ist Elektrochemikerin und Chief Scientific Officer für das Hamburger Start-up **Elementarhy**. Das Unternehmen hat Membran-Elektroden-Baugruppen für Protonenaustauschmembran-Elektrolyseure entwickelt. Elektrolyseure sind essenziell, um die volatilen erneuerbaren Energien in grünen Wasserstoff umzuwandeln und die Industrie zu dekarbonisieren.

In der Erdkruste kommt Iridium nur in geringen Mengen vor. Meteoriten hingegen weisen höhere Konzentrationen auf. Dass wir überhaupt Iridium auf unserem Planeten finden, führen viele Wissenschaftler daher auf einen Asteroiden-Einschlag zurück, der vor 66 Millionen Jahren auch das Ende der Dinosaurier besiegelt haben könnte.

Das Metall wird stark nachgefragt, unter anderem in der Automobil- und Elektronikindustrie. Iridium ist korrosionsbeständig und hat einen hohen Schmelzpunkt. Zudem besitzt das Element hervorragende elektrokatalytische Eigenschaften und eine hohe chemische Stabilität. Diese Eigenschaften machen Iridium auch zu einem hervorragenden Katalysator für Wasserstoff-Elektrolyseure. Die stetig steigende Nachfrage bei grünem Wasserstoff und erneuerbaren Energien wird künftig zu einer Verknappung des Metalls führen. Bis 2030 könnte die Iridiumnachfrage das Angebot um das Dreifache übersteigen. Wir müssen also alles daransetzen, unsere Vorräte an Iridium zu schonen und so die Wasserstoffproduktion zu vergünstigen.

Genau das machen wir bei **Elementarhy**. Wir entwickeln Membran-Elektroden-Baugruppen für die Anode in Protonenaustauschmembran-Elektrolyseuren, die nur ein Zwanzigstel der Iridiummenge konventioneller Anoden benötigen. Darauf bin ich sehr stolz. Schon im Studium wusste ich, dass ich mit meinem Wissen gesellschaftlichen Nutzen schaffen möchte. Nach einigen Jahren in der Grundlagenforschung habe ich dann den Entschluss gefasst, selbst an einem Produkt und dessen Markteinführung mitzuwirken.

Mit unserem Produkt reduzieren wir die Kosten für Membran-Elektroden-Baugruppen um bis zu 50 Prozent und ermöglichen den Herstellern von Wasserstoff-Elektrolyseuren, ihre Produktion zu skalieren. Das Feedback unserer Kunden stimmt mich zuversichtlich und motiviert mich ungemein. —

e/Hy
elementarhy

Impressum

HERAUSGEBER Evonik Industries AG | Matthias Ruch | Rellinghauser Straße 1–11 | 45128 Essen | **BERATUNG UND KONZEPT** Manfred Bissinger | **CHEFREDAKTION** Jörg Wagner (V.i.S.d.P.) | **CHEF VOM DIENST** Inga Borg, Bernd Kaltwaßer | **TEXTCHEF** Christian Baulig | **REDAKTION** Pauline Brenke | **BILDREDAKTION** Katharina Werle | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Pearl Elephant (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | Holstenwall 6 | 20355 Hamburg | **DRUCK** Linsen Druckcenter GmbH, Kleve | **COPYRIGHT** © 2024 by Evonik Industries AG, Essen. Nachdruck nur mit Genehmigung der Agentur. Der Inhalt gibt nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder. Fragen zum Magazin ELEMENTS: Telefon +49 201 177-3276 | E-Mail elements@evonik.com | **BILDNACHWEISE** Titelillustration: Mark Gmehling/Die Illustratoren | S. 3: Kirsten Neumann/Evonik Industries AG | S. 4/5: Robert Eikelpoth (2), Julian Stratenschulte/dpa | S. 6/7: Evonik Industries AG | S. 8/9: Jeff Fitlow/Rice University, Tony Pulsone/MIT MechE, Markus Robert | S. 10–21: Robert Eikelpoth (11), Klaus Kordesch, akg-images, Evonik Industries AG, Evonik-Konzernarchiv, SSPL/UIG/Bridgeman Images, Jiri Hubatka/Alamy Stock Foto, Stockfood, Munshi Ahmed/Bloomberg via Getty Images; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss | S. 22–25: Robert Eikelpoth | S. 26–35: Robert Eikelpoth (7), Evonik Industries AG (2); Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss; Infografik: Maximilian Nertinger | S. 36–40: Melina Mörsdorf (3), Henning Ross (3) | S. 42–49: Frank Fell/robertharding/laif, SHAWN BALDWIN/NYT/Redux/laif, KHALED DESOUKI/AFP via Getty Images, Wang Dongzhen Xinhua/eyevine/laif, Stringer/Bloomberg via Getty Images | S. 50–57: XH4D/Getty Images, Robert Eikelpoth (8); Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss; Infografik: Maximilian Nertinger | S. 58/59: Herbaut/Le Figaro Magazine/laif; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss | S. 60: Urban Zintel

elements.evonik.de

» Die Entwicklung des Menschen ist lebensnotwendig ...

... von der Erfindung abhängig. Sie ist das wichtigste Produkt seines schöpferischen Gehirns«, schrieb Nikola Tesla (1856–1943) in seinen autobiografischen Aufzeichnungen. Der Forscher widmete sein gesamtes Leben dem Streben nach technischen Neuerungen – vor allem auf dem Gebiet der Elektrotechnik.

Um die Produktion von Chemikalien unabhängiger von fossilen Energieträgern zu machen und wertvolle Rohstoffe aus Abfallströmen zurückzugewinnen, bieten elektrochemische Prozesse ungeahnte Möglichkeiten. Evonik beschäftigt sich intensiv mit der Frage, wie Elektronen für chemische Reaktionen genutzt werden können, um einen effektiven Beitrag für den Klimaschutz zu leisten.