2/2022

ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft

Bahn frei

Wie Lithium-Recycling die Energiewende beschleunigt → S. 10
Kunstleder: Weniger Wasserverbrauch, bessere Qualität → S. 26
Katalyse: Verjüngungskur für Reaktoren → S. 44

Kritische Rohstoffe

Wirtschaftlich wichtige Ressourcen mit hohem Versorgungsrisiko

Als kritisch gelten Rohstoffe, wenn ihnen eine entscheidende wirtschaftliche Bedeutung zukommt, beispielsweise für die Mikroelektronik oder die Nutzung regenerativer Energien, sie aber nicht überall und jederzeit verfügbar sind – sei es, weil sie schwer zu gewinnen sind oder erst ins eigene Land importiert werden müssen. Welche Stoffe das sind, legt in der Europäischen Union die EU-Kommission fest. Sie prüft und aktualisiert ihre Liste der kritischen Rohstoffe in regelmäßigen Abständen, zuletzt geschah dies 2020. Neu in der nun 30 Positionen umfassenden Liste ist Lithium. Die Liste spielt bei Handelsabkommen sowie bei der Förderung von Innovationen, Ressourceneffizienz oder Recycling eine wichtige Rolle.

Rohstoffe natürliche Ressourcen, die entweder direkt verwendet oder weiterverarbeitet werden
Lithium silberweißes, sehr weiches, mit Wasser und feuchter Luft schnell reagierendes Alkalimetall, das nur in Verbindungen vorkommt
Recycling Aufbereiten verbrauchter Ressourcen, um sie wiederverwenden zu können

LIEBE LESERINNEN, LIEBE LESER,

auf den ersten Blick ist die Bezeichnung „weißes Gold" sicher übertrieben. Denn Lithium, das leichteste aller Metalle, findet sich fast überall auf der Welt, in Gestein ebenso wie in Wasser. Dennoch ist es kostbar, denn die moderne Elektromobilität wäre ohne Lithium-Ionen-Batterien gar nicht möglich.

Für die Entwicklung dieser Batterien gab es 2019 den Chemienobelpreis, weniger rühmlich ist ihr Ende: Sie landen meist im Müll. Diese Vergeudung will Evonik beenden, denn die Nachfrage bei Lithium steigt rasant, zudem ist die Förderung aus der Natur aufwendig und alles andere als nachhaltig. „Blue Lithium" heißt das Projekt, das Lithium in reinster Qualität mithilfe eines Elektrolyseurs aus zermahlenen alten Akkus gewinnen soll.

Der amerikanische Autobauer Tesla setzte schon früh auf Lithium-Ionen-Akkus und verzichtet nun im Modell 3 bei den Ledersitzen auf – Leder. Stattdessen kommt optisch und haptisch gleichwertiges Kunstleder zum Einsatz. Auch auf diesem Feld zählt Evonik zu den Treibern der Entwicklung: Moderne Vernetzer ermöglichen die Produktion aus Polyurethan, das ohne den früher typischen „Kunstledergeruch" daherkommt.

Bevor ich weiter ins Schwärmen gerate, mache ich an dieser Stelle einen Punkt. Denn dieses Heft ist das letzte, das ich als Chefredakteur verantworten darf. Nach 14 Ausgaben ELEMENTS übergebe ich das Magazin in die Hände von Jörg Wagner, der bereits 2018 zur Entwicklungsredaktion gehörte. Als Herausgeber werde ich ELEMENTS eng verbunden bleiben. Und eines ist sicher: Frische Themen aus der Welt der Forschung werden uns in den kommenden Jahren gewiss nicht ausgehen.

Es war mir ein Fest.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

Matthias Ruch
Chefredakteur

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

Beckenbauer: Rohstoffunternehmen gewinnen in der chilenischen Atacamawüste Lithium aus Sole. Immer stärker rücken jedoch Recyclingverfahren bei der Gewinnung des Rohstoffs ins Blickfeld.

LITHIUM-RECYCLING

10 **Akkus als Rohstoff**
Lithium ist eines der wichtigsten Materialien, die für den Umstieg in die Elektromobilität benötigt werden. Da der Abbau des Metalls die Umwelt belastet, bietet sich Recycling als alternative Quelle an. Evonik arbeitet an einer effizienten Lösung mittels Keramikmembranen.

DATA MINING
19 **Lithium in Zahlen**
Die wirtschaftliche Bedeutung des Leichtmetalls im Überblick

INTERVIEW
20 **Die Grenzen des Markts**
Die Versorgung mit kritischen Rohstoffen ist weltweit in Gefahr. Der Industrieökologe René Kleijn empfiehlt Wirtschaft und Politik, neue Wege zu beschreiten, um den Nachschub zu sichern.

Tragbare Alternative: Modernes Kunstleder ist kaum zu unterscheiden vom tierischen Vorbild – und daher stark gefragt.

KUNSTLEDER

26 **Besser als das Vorbild**
Vegane Alternativen zu gegerbten Tierhäuten sind gefragt wie nie. Mit innovativen Verfahren sorgt Evonik dafür, dass Kunstleder nicht nur in höchster Qualität produziert wird, sondern auch mit möglichst kleinem ökologischen Fußabdruck.

SCHAUBILD
34 **Schichtarbeit**
Wie sich in der Kunstlederproduktion der Einsatz von Chemikalien und Wasser reduzieren lässt

KATALYSATOREN

44 **Verjüngungskur**
Die Energiebranche nutzt Katalysatoren, um Öl von Verunreinigungen zu befreien. Mit einem innovativen Verfahren sorgt Evonik dafür, dass aufbereitete Katalysatoren ebenso gut arbeiten wie neue.

Alles klar: „Verjüngte" Katalysatoren reinigen Ölprodukte besonders effektiv.

6 START-UP
Mittels 3D-Druck produzierte Tabletten von Laxxon ermöglichen eine kontrollierte Freigabe von Wirkstoffen.

8 PERSPEKTIVEN
Neues aus Wissenschaft und Forschung

36 EVONIK-LAND
Singapur
Technischer Innovationshub und grünster Ort Asiens – der Stadtstaat ist beides zugleich

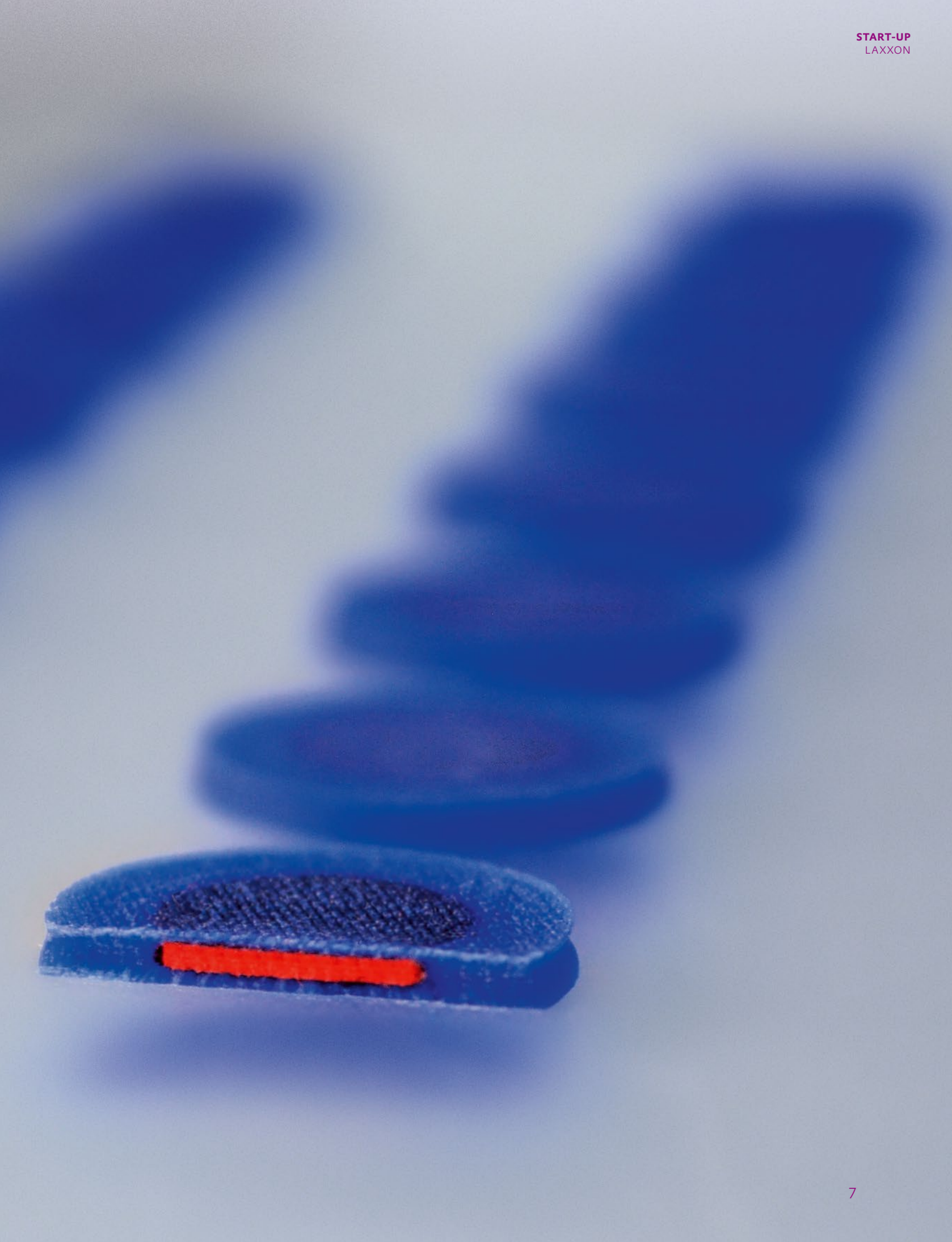
52 FORESIGHT
Länger leben
Wie Nahrungsmittel Menschen helfen, bis ins hohe Alter fit zu bleiben

54 IN MEINEM ELEMENT
Helium
Ohne das Gas könnte Physiker Ruud Dirksen seine Wetterballone nicht starten lassen.

55 IMPRESSUM

PRINT WIRKT

Sie sind rund, oval oder rechteckig, bunt oder weiß: die strukturierten Tabletten des US-amerikanischen Unternehmens Laxxon Medical, in das Evonik Venture Capital vor Kurzem investiert hat. Laxxon druckt die Pillen einfach aus – mithilfe einer neuartigen 3D-Siebdruck-Technologie. Der mehrschichtige Aufbau ermöglicht eine kontrollierte Freisetzung der pharmazeutischen Wirkstoffe über einen längeren Zeitraum hinweg. Außerdem lassen sich so mehrere Inhaltsstoffe miteinander kombinieren. Die zielgenaue Abgabe erfolgt durch Polymere von Evonik. „Für die Patienten ist die Technologie ein großer Gewinn“, sagt Bernhard Mohr, Leiter von Evonik Venture Capital. „Sie reduziert die Nebenwirkungen und die Zahl der Tabletten, die ein Patient einnehmen muss. Damit sinkt das Risiko, ein wichtiges Medikament zu vergessen.“



Wie lang lebt eine Batterie?

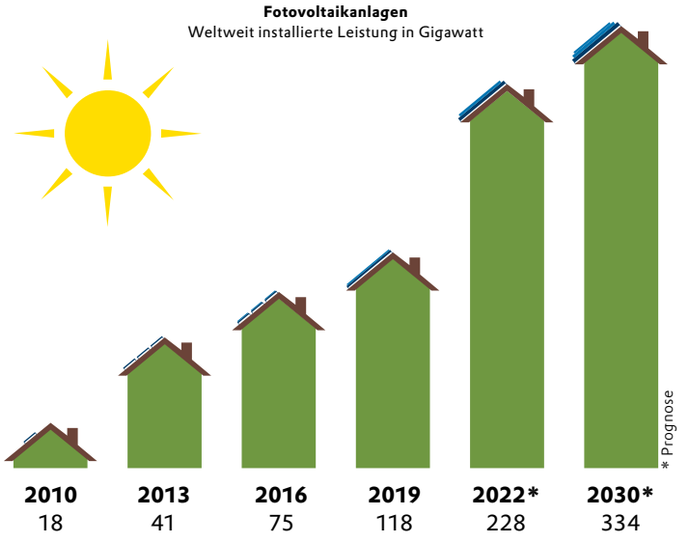
Maschinelles Lernen ermöglicht es, das Durchhaltevermögen von Energiespeichern verlässlicher vorherzusagen.

Wie lang eine Lithium-Ionen-Batterie in einem Elektroauto oder einem Handy hält, ist bislang kaum vorherzusagen. Die derzeit genutzten Prognosemethoden beruhen darauf, Strom und Spannung während des Lade- und Entladevorgangs der Batterie zu messen, doch dabei lassen sich nicht alle relevanten Parameter erfassen. Nun ist es einem Forschungsteam des Argonne National Laboratory beim US-Energieministerium gelungen, die Kapazitäten einer breiten Palette verschiedener chemischer Batterietypen zu prognostizieren – mithilfe eines Algorithmus des maschinellen Lernens. Um das Computerprogramm zu trainieren, haben die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen Daten aus Experimenten mit Hunderten Batterien gesammelt. Die Simulation liefert in kürzester Zeit Erkenntnisse, für die mit realen Zyklen mehrere Jahre erforderlich wären. Auf Grundlage der Ergebnisse sollen leistungsfähigere Batteriematerialien entwickelt werden.

BESSER IST DAS

Sonnenaufgang

Fotovoltaikanlagen
Weltweit installierte Leistung in Gigawatt



Die Energiewende nimmt weiter Fahrt auf. Voraussichtlich werden in diesem Jahr erstmals Fotovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von mehr als 200 Gigawatt installiert – damit hätte sich das Volumen in einer Dekade mehr als verfünffacht. Das am schnellsten wachsende Produktsegment sind Bloomberg New Energy Finance zufolge Solarmodule für die Dachmontage, der wichtigste Abnehmer ist China. Für 2030 rechnen die Analysten mit einem Wachstum auf mehr als 300 Gigawatt.

Quelle: BloombergNEF

300

MAL

ihr Eigengewicht können Objekte aus dem 3D-Drucker tragen, für die neben Quarzsand ein neuartiges Polymer verwendet wird: In Versuchen verdoppelt Polyethylenimin im Vergleich zu herkömmlichen Bindemitteln die Festigkeit der Sandteile. Entwickelt wurde die Technik am Oak Ridge National Laboratory im US-Bundesstaat Tennessee.

PETase …

… hat in der Wissenschaft Hoffnungen geweckt, die weltweite Umweltverschmutzung durch Plastik auf biologischem Weg in den Griff zu bekommen. Erstmals wurde das Enzym 2016 aus dem Bakterium *Ideonella sakaiensis* isoliert. Diese Mikrobe zersetzt mithilfe von PETase den Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET), um ihn für ihren Stoffwechsel zu nutzen. Forschern aus den Vereinigten Staaten und Großbritannien gelang es, die Enzyme so zu modifizieren, dass sie zusammen mit einem zweiten Enzym PET weiter in dessen Grundbausteine Ethylenglykol und Terephthalat (TPA) zerlegen. Nun haben die Wissenschaftler ein Enzym charakterisiert, das TPA abbaut und künftig von Bakterien genutzt werden könnte, um Rohstoffe für neues Plastik herzustellen.

Viren unter Strom

Ein neues Wirkprinzip verhindert mithilfe eines elektrisch geladenen Polymers den Eintritt infektiöser Strukturen in Zellen.

Bakteriell verursachte Krankheiten können mit Breitbandantibiotika therapiert werden. Bei Viruserkrankungen fehlt bislang ein vergleichbar universeller Ansatz. Einem internationalen Forschungsteam unter der Leitung der Universitäten Ulm und Aarhus ist es jedoch gelungen, Polystyrolsulfonat chemisch so zu optimieren, dass es sich für die antivirale Prophylaxe und die Behandlung von Virusinfektionen einsetzen lässt. „Wir haben ein negativ geladenes Polymer entwickelt, das den Eintritt von Viren in die Zellen verhindern kann“, erklärt Rüdiger Groß, einer der Autoren der Studie. Das Polymer, so die Hypothese der Forscher, wickelt sich um virale Hüllproteine und stört durch seine Ladung die Interaktion mit den Rezeptorproteinen der Zelle. In der Zellkultur sei das Prinzip unter anderem bei Herpesviren, HI-Viren und beim Coronavirus SARS-CoV-2 erfolgreich gewesen.

MENSCH & VISION

»Die Beschaffenheit der Muschelschale könnte als Vorbild für Materialien dienen, die in besonders großer Kälte funktionieren müssen.«

DER MENSCH

Dr. Konrad Meister wuchs fernab der Wildnis im Ruhrgebiet auf. In seiner Doktorarbeit beschäftigte sich der Biochemiker und physikalische Chemiker mit Gefrierschutzproteinen, die Fischen in der Antarktis das Überleben sichern. „Ein Kollaborationspartner lud mich ein, auf eine Polarexpedition mitzukommen.“ Seitdem war Meister viermal in der Antarktis – auch während seiner Zeit am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz. Heute lebt der 39-Jährige in Alaska (USA) und lehrt an der Universität der Hauptstadt Juneau.

DIE VISION

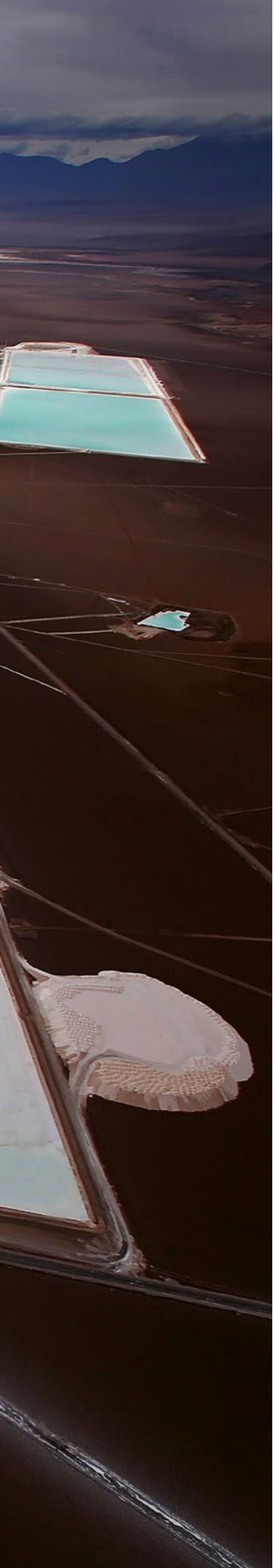
Vereisung führt in vielen technischen Bereichen zu Problemen – etwa bei Flugzeugtragflächen oder Solarzellen. Als Bioniker erkannte Konrad Meister das Potenzial eines Phänomens, das er zufällig mit Kollegen in der Antarktis beobachtet hat: Die Jakobsmuschel *Adamussium colbecki* besitzt eine Oberfläche mit einer **besonders feinen Struktur,** an der Eiskristalle nicht haften bleiben. „Die Beschaffenheit der Schale könnte als Vorbild für Materialien dienen, die in besonders großer Kälte funktionieren müssen“, so der Forscher.

GUTE FRAGE

Lässt sich mit Gülle der Klimawandel aufhalten, Herr Professor Hacker?

Ein Stück weit schon. Aus Schweinegülle kann in Biogasanlagen grüner Wasserstoff gewonnen werden, bei dessen Verbrennung kein CO_2 entsteht. Allerdings war die Erzeugung bislang aufgrund der hohen Kosten unwirtschaftlich. Vor zwei Jahren haben wir ein sogenanntes Chemical-Looping-Verfahren entwickelt, mit dem wir kostengünstig und dezentral hochreinen Druckwasserstoff herstellen können. In der Anlage wird zuerst Biogas zu Synthesegas reformiert, das dann im Reaktor Eisenoxid zu Eisen reduziert. In einem weiteren Schritt wird Wasserdampf zugeführt, der das Eisen wieder oxidiert. Dabei wird Wasserstoff frei. Der Generator ist gerade einmal so groß wie ein Frachtcontainer und lässt sich zum Beispiel auf Bauernhöfen nutzen. Die Möglichkeit, erneuerbare Energien vor Ort zu nutzen, ist für die Eindämmung des Klimawandels extrem wichtig.

Viktor Hacker ist Professor am Institut für Chemische Verfahrens- und Umwelttechnik der TU Graz (Österreich). Mit einem Start-up treibt er die kommerzielle Nutzung des Wasserstoffgenerators voran.



STROM FÜR DIE MASSE

Der Ausbau der Elektromobilität soll helfen, das Klima zu retten – und hinterlässt dennoch durch den Abbau des benötigten Lithiums weit sichtbare Spuren auf der Erde. Das Recycling dieses wichtigen Rohstoffs für die Batterieproduktion senkt diese Umweltbelastung. Hochleistungsmembranen von Evonik könnten dabei schon bald im Mittelpunkt stehen.

TEXT **CHRISTOPH BAUER**

Wasser in der Wüste: Die Atacama-Salzebene im Norden Chiles mit ihren gigantischen Solebecken ist eine der größten Lithiumlagerstätten der Welt.

Grün, türkis, gelb – in unzähligen Farben leuchten die riesigen Becken in der gleißenden Sonne. Die Salinen in der schier endlosen Ebene der Atacamawüste in Chile zählen zu den Hauptlieferanten des „weißen Goldes“: Lithium. In Australien werden sogar noch größere Mengen aus Hartgesteinsmineralien im Tagebau gewonnen. Diese Minen reichen mehr als 100 Meter in die Tiefe, an ihren Rändern bahnen sich Lkw ihren Weg über schmale, spiralförmig angelegte Pisten in die Höhe und in die Tiefe. →

Weit weg von den Nutzern: Arbeiter bereiten am Salzsee von Uyuni in Bolivien den Bau einer Versuchsanlage zur Lithiumgewinnung vor.

Die gigantischen Abbaustätten sind ein weithin sichtbares Zeichen der globalen Verkehrswende: weg von Verbrennungsmotoren, hin zu Elektroantrieben mit wiederaufladbaren Batterien, in denen jede Menge Lithium steckt. Was auf der einen Seite der Umwelt nützt, führt auf der anderen Seite zu erheblichen Schäden. In der Atacamawüste lässt zwar die Sonne das Wasser verdunsten, sodass die Konzentration des Lithiums ohne zusätzliche Energiezufuhr erhöht werden kann. Doch für den Betrieb werden erhebliche Mengen an Wasser benötigt, was das knappe Grundwasser weiter absinken lässt. Auch Tagebaue wie in Australien führen immer häufiger zu Konflikten mit den Bewohnern der Gegenden. Ein Dilemma, an dessen Lösung Evonik mitarbeitet – auf Basis der Membrankompetenz des Unternehmens.

ELEKTROMOBILITÄT ALS TREIBER

Ohne die relevanten Batteriematerialien wie Lithium, Kobalt und Nickel, da sind sich die Experten einig, wird die Elektromobilität in den kommenden Jahrzehnten nicht vorankommen. Im Gegenteil: Der Bedarf an Lithiumcarbonat und Lithiumhydroxid, maßgebliche Rohstoffe für die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien, wird gewaltig steigen. In jedem E-Auto kommen bis zu zehn Kilogramm davon zum Einsatz. Weltweit lag der Bedarf 2018 bei 59.000 Tonnen Lithiumcarbonat-Äquivalenten. 2025 soll dieser Wert nach Berechnungen des US-amerikanischen Produzenten Albemarle bereits 650.000 Tonnen betragen, also gut das Elffache. Lithium wird zwar auch für andere Anwendungen benötigt, etwa bei der Produktion von Keramik oder Schmierstoffen (siehe Data Mining auf Seite 19) – „der entscheidende Treiber für die Nachfrage nach Lithium wird jedoch die Elektromobilität sein“, sagt Dr. Elisabeth Gorman, die bei der Creavis – strategische Innovationseinheit und Business-Inkubator von Evonik – die Neugeschäftsentwicklung für Lithium-Recycling verantwortet.

RECYCLING WIRD ATTRAKTIVER

Um den vermehrten Bedarf an Lithium auch in Zukunft zu decken, wird in den Ausbau von Lithiumquellen und Anlagen zur Aufbereitung des Rohstoffs investiert. Ein weiterer wichtiger Zugang zum Lithium wird künftig das Recycling sein. An den Standorten Hanau und Marl arbeitet Evonik an einem Entwicklungsprojekt, um hochreines Lithium aus Batterieabfällen zu gewinnen.

Die Wiederverwertung von Lithium aus Altbatterien würde gleich zwei Probleme lösen: die Deckung des rasant wachsenden Bedarfs und die sinnvolle Entsorgung der Energiepakete, die bei unsachgemäßer Behandlung immer noch genug Restladung in sich haben, um einen Brand auszulösen. Zurzeit ist das Recycling von Lithium sehr aufwendig. Das Material landet daher am Ende des Lebenszyklus der Batterien fast vollständig im Müll. Selbst der Anteil, der nach der Rückgewinnung von Kobalt und Nickel in der Recyclinganlage zusammen mit anderen Reststoffen übrig bleibt, wird häufig in der Prozessschlacke gebunden und lediglich in der Bauindustrie als mineralischer Zuschlagstoff in Fertigbeton verwendet – ein schmähliches Ende des „weißen Golds“.

»Der entscheidende Treiber für die Nachfrage nach Lithium wird die Elektromobilität sein.«

ELISABETH GORMAN, BUSINESS DEVELOPMENT MANAGER BEI DER CREAVIS

Und was heute deponiert wird, ist erst ein Vorgeschmack auf das, was die Zukunft bringen wird. Noch stehen wir ganz am Anfang des Zeitalters der Elektromobilität. Mehrere Stufen zeichnen sich auf dem Weg zum Recycling ab. Batterien, die derzeit im Einsatz sind, werden für mehrere Jahre auf den Straßen unterwegs sein. Wenn das Fahrzeug, das sie antreiben, am Ende seiner Lebensdauer verschrottet wird, erbringen die Akkus oft noch 70 bis 80 Prozent ihrer ursprünglichen Leistung. Sie können demontiert und in Containern zu Stromspeichern zusammengeschaltet werden. Mercedes-Benz hat bereits vor Jahren Versuchsprojekte an verschiedenen Standorten mit solchen „Second Life"-Batterien gestartet, um Produktionsanlagen vor Schwankungen im Stromnetz abzusichern.

Irgendwann lohnt sich der Einsatz dieser wiederaufladbaren Batterien jedoch nicht mehr. Statt die Akkus zu entsorgen, rückt an diesem Punkt das Recycling in den Blickpunkt. Die Wiederverwertung von Lithium und anderen Inhaltsstoffen wird wirtschaftlich immer attraktiver. Sowohl für Kobalt als auch für Nickel hat sich der Preis in den vergangenen zwei Jahren mehr als verdoppelt. Der Preis für Lithiumcarbonat ist zwar langsam und kontinuierlich bis Anfang 2021 gefallen, seitdem hat er sich aber fast verzehnfacht. Damit sind alle wesentlichen Bestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie so teuer geworden, dass die Wiederverwendung nicht nur ökologisch sinnvoll ist, sondern sich auch ökonomisch lohnt. „Zugleich bauen viele Länder regulatorischen Druck auf", sagt Elisabeth Gorman. In der Europäischen Union müssen in vier Jahren mindestens 35 Prozent des Lithiums in verbrauchten Batterien zurückgewonnen werden. Bis 2030 steigt der Anteil auf 70 Prozent. „Auch bei der Verarbeitung setzt die EU Mindeststandards", ergänzt die Evonik-Expertin. „In neuen Batterien müssen 2030 wenigstens zwölf Prozent recyceltes Kobalt, 20 Prozent wiederverwendetes Nickel und vier Prozent aufgearbeitetes Lithium stecken." China verpflichtete bereits 2018 die heimischen Autofabriken, Lösungen für Batterien →

Im Evonik-Labor in Hanau werden Muster der Keramikmembran vermessen.

Elisabeth Gorman ist bei der Creavis für die Neugeschäftsentwicklung beim Lithium-Recycling zuständig.

2021 wurden weltweit mehr als 6,5 Millionen E-Autos verkauft. In vielen Ländern entstehen neue Produktionsanlagen. Sogar schwere Pick-ups wie der Ford F-150 werden mittlerweile mit Elektroantrieb angeboten.

zu finden, die ihren ersten Lebenszyklus hinter sich haben. Die USA haben noch keine landesweite Regelung vorgelegt, die Bundesstaaten sollen sich des Problems annehmen.

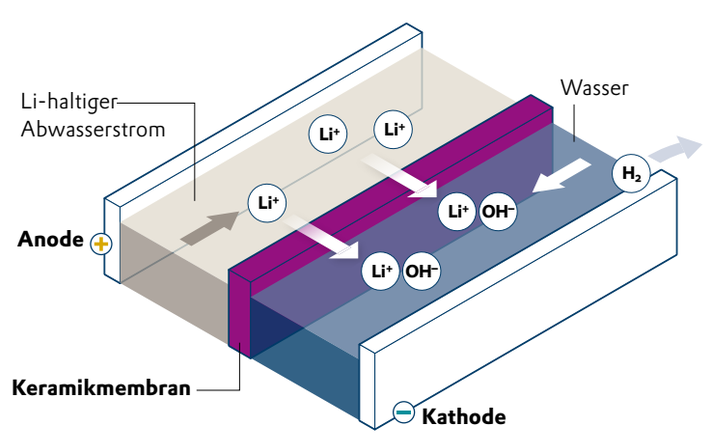
Um die Quoten der EU künftig zu erreichen, sind schnell zusätzliche Recyclingkapazitäten erforderlich. 2023 werden in der Europäischen Union Altbatterien mit einem Gewicht von voraussichtlich 100.000 Tonnen fürs Recycling fällig sein. Über die Zahl der bereits verkauften Elektrofahrzeuge lässt sich abschätzen, dass es 2025 bereits 300.000 Tonnen sein werden, weltweit wird das Volumen dann bei einer Million Tonnen liegen. Überall steigen die Anstrengungen, Lithium aus verbrauchten Batterien zurückzugewinnen. Ein weiterer Grund hierfür ist, dass der Transport frisch gewonnener Lithiumsalze aus entfernten Regionen wie Südamerika oder Australien energieintensiv ist und damit die CO_2-Bilanz belastet. Das Verschiffen der Rohmaterialien ist teuer, mancherorts werden Zölle aufgeschlagen. Da liegt es nahe, den Stoff, wenn er schon einmal in einer Region vorhanden ist, dort möglichst weiter zu nutzen.

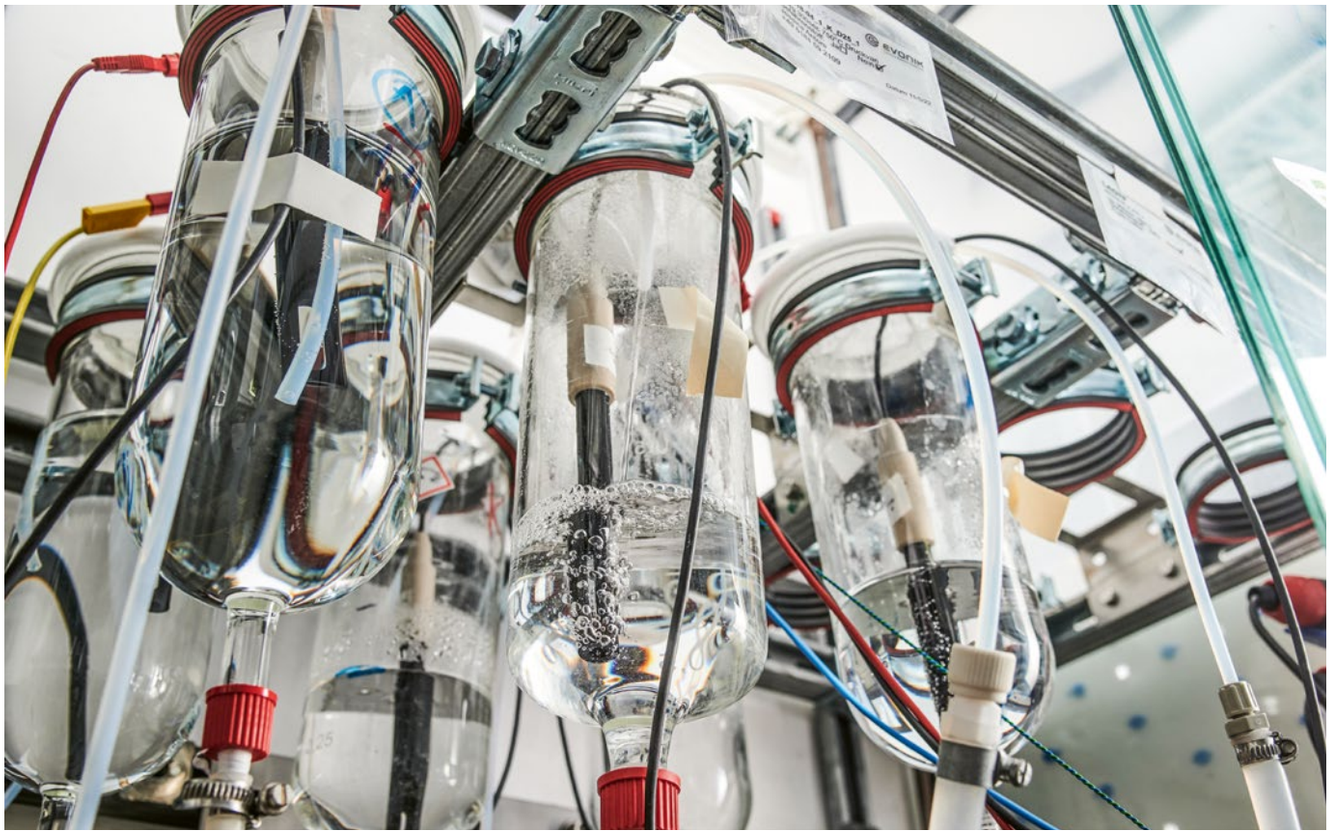
LITHIUM AUS SCHWARZER MASSE

Evonik begleitet diese Entwicklung seit Jahren mit wachsendem Interesse. 2019 setzte sich beim Ideation Jam, dem unternehmensinternen Ideenwettbewerb, das Team „Blue Lithium“ durch. Vom ursprünglichen Konzept, Lithium aus Meerwasser zu gewinnen, schwenkte das Team auf eine Technik um, die Reststoffe aus Recyclinganlagen herausfiltert. Ein Jahr lang wurde das Verfahren im Konzern weiterentwickelt, seither treibt es die Creavis voran. Im Kern geht es darum, Lithium unter möglichst geringem Einsatz von Energie und Chemikalien aus sogenannter schwarzer Masse zu gewinnen. Darunter verstehen Fachleute das, was von Lithium-Ionen-Akkus übrig bleibt, nachdem die Kunststoffteile entfernt wurden und der Rest zerkleinert worden ist.

LITHIUM AUS DER ELEKTROLYSE

Ein lithiumhaltiger Abwasserstrom aus der Recyclinganlage fließt zwischen der Anode und der von Evonik entwickelten Keramikmembran. Die Lithiumionen mit positiver Ladung werden von der negativen Kathode angezogen und wandern zur Membran. Sie enthält ebenfalls Lithiumionen (Li^+), sodass diese aus dem Abwasserstrom von einer lokalisierten Stelle in der Membran zur nächsten springen können. Mittels dieses „Hopping-Mechanismus“ gibt die Membran immer genau so viele Lithiumionen in Richtung der Kathode ab, wie sie aus der Richtung der Anode aufnimmt. Zugleich reagiert das Wasser mit den Elektronen an der Kathode zu Wasserstoff (H_2) und Hydroxid (OH^-), das mit den Lithiumionen zu Lithiumhydroxid reagiert – dem gewünschten Produkt.





Dank der Keramikmembran lässt sich Lithium aus Abwässern in so hoher Reinheit herausfiltern, dass es direkt für die Herstellung neuer Batterien genutzt werden kann.

Einige Methoden zur Wiederaufbereitung der fein gemahlenen Inhaltsstoffe werden bereits angewendet. Sie basieren entweder auf Schmelzprozessen (pyrometallurgischen Verfahren), auf der Verwendung von Laugen (hydrometallurgischen Verfahren) oder auf einer Kombination aus beidem. Bewährt haben sich diese Prozesse für Kobalt und Nickel, die bereits in hoher Ausbeute isoliert und als Sekundärrohstoff wiederverwendet werden. Was an Reststoffen übrig bleibt, enthält jedoch noch das Lithium, dessen Rückgewinnung sich bisher finanziell kaum lohnte.

NACHHALTIGERES VERFAHREN

Doch nun arbeitet Evonik bei der Entwicklung weiterführender Technologien mit Unternehmen zusammen, die sich darauf spezialisiert haben, die Materialien sogenannter End-of-life-Batterien weiter zu nutzen, und das weiße Gold aus der schwarzen Masse herausholen wollen. Diese Unternehmen haben Erfahrung im Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus haushaltstypischer und industrieller Nutzung. Bisher gewinnen sie daraus Aluminium, Kupfer, Stahl und Edelstahl zurück.

Die derzeitigen Prozesse zur Aufarbeitung von Lithium sind jedoch nicht effizient genug, weshalb das Metall nur in geringen Mengen zurückgewonnen wird. Gemeinsam mit den Recyclingfirmen will Evonik nun ein besseres Verfahren mit dem Ziel finden, die Lücke zur geschlossenen Kreislaufwirtschaft von Lithium als Batterierohstoff zu schließen. Bisher gängige Verfahren zur Rückgewinnung von Lithium aus Batterieresten arbeiten häufig mit einem aufwendigen Fällprozess. Hierbei wird die Konzentration der Lithiumsalze im wässrigen Abfallstrom erhöht und anschließend mit Natriumcarbonat, also Soda, ausgefällt. Das entstehende Lithiumcarbonat muss aufwendig von bei der Reaktion entstehenden Stoffen gereinigt sowie durch Zugabe von Calciumhydroxid zu Lithiumhydroxid umgesetzt werden. Erst dann steht es wieder als Rohstoff für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus zur Verfügung. Das gesamte Verfahren ist kostenintensiv, erfordert zusätzliche Chemikalien, verbraucht sehr viel Wasser und ist damit wirtschaftlich wenig attraktiv für Batterierecycler.

Die Evonik-Experten arbeiten an einem einfacheren und nachhaltigeren Verfahren. Sie wollen in einem kontinuierlichen Vorgang und mit nur einem Schritt das Lithium zurückgewinnen. Dabei setzen sie auf einen elektrochemischen Prozess zur Aufreinigung der Lithiumsalze aus den wässrigen Abfallströmen. Auf diesem Gebiet ist Patrik Stenner Fachmann. Er arbeitet als Prozessingenieur im Bereich Verfahrenstechnik & Engineering am Standort Hanau und leitet dort die Gruppe Electrochemical Processes & Exploration.

Stenner entwickelt in seinem Labor eine neuartige Elektrolysezelle, deren Besonderheit in einer lithiumselektiven Keramikmembran zwischen Anode und Kathode besteht. Der wässrige Abfallstrom aus der Recyclinganlage wird durch die Zelle geführt, wobei Lithiumionen mit dem im Prozess entstehenden Hydroxid (OH^-) zu Lithiumhydroxid reagieren und zusätzlich Wasserstoff (H_2) entsteht (siehe Infografik links). →

„Das Produkt ist so rein, dass es ohne weitere Aufbereitung die hohen Anforderungen an ‚Battery Grade'-Material erfüllt und sofort für die Batterieproduktion genutzt werden kann", so Stenner. Kann also die Produktion in großem Stil starten? Patrik Stenner lächelt: „Im Labor sehen die Ergebnisse schon sehr vielversprechend aus, und wir testen bereits einen Prototyp. Aber das hier ist ein Forschungsprojekt. Es gibt noch eine ganze Reihe Fragen zu lösen, bevor wir den Prozess in industriellem Maßstab umsetzen können."

Schon jetzt zeichnet sich aber ab, dass dieser Prozess besser handhabbar, effizienter und nachhaltiger sein wird als die bisherigen Verfahren. Die Leitungsfähigkeit der Keramikmembran ist im Labormaßstab mit einer Rückgewinnungsquote von mehr als 99 Prozent exzellent. Erste Vergleiche legen nahe, dass der neue Prozess wirtschaftlicher und kosteneffizienter sein müsste als die bislang genutzten Methoden. Bei der Entwicklung profitieren die Evonik-Experten sowohl von ihren Membranerfahrungen als auch von ihrem Partikel-Know-how. Als Spezialisten für Materialien im Nanometermaßstab wie Siliziumdioxid und weitere Spezialoxide sowie deren Eigenschaften und Anwendungen wissen sie genau, wie sie eine keramische Membran, die nur Lithiumionen „durchlässt", erzeugen können. Nun stehen die ersten Tests mit „echtem" Abwasser an, danach muss der nächste Schritt zu einer Pilotierung gelingen.

Im Labor am Evonik-Standort in Hanau läuft eine Anlage im Versuchsmaßstab. Die Ergebnisse sind vielversprechend.

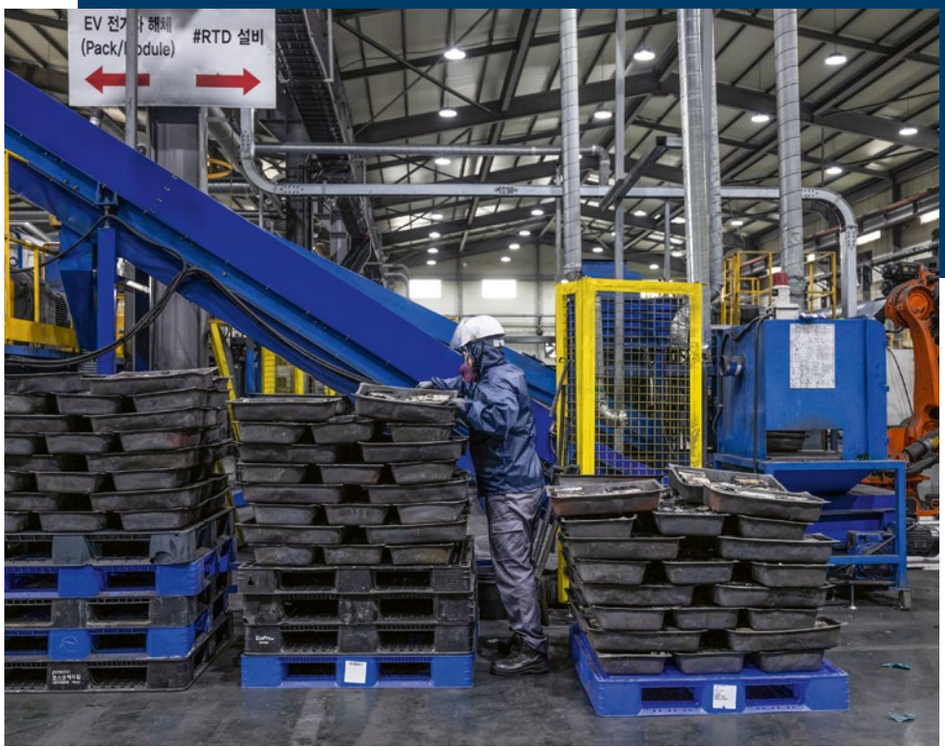
LITHIUM AUS NATÜRLICHEN QUELLEN

Im traditionellen Autobauerland Deutschland herrscht bei Lithium eine große Nachfrage. Tesla hat gerade erst in der Nähe Berlins ein Autowerk eröffnet, gleich nebenan möchte Unternehmenschef Elon Musk auch eine Batteriefabrik bauen. Hersteller wie Volkswagen, Mercedes-Benz, BMW, Audi oder Porsche hegen ebenfalls Pläne und wollen meist in Kooperation mit Batterieherstellern Werke in der Nähe ihrer Produktionsstätten bauen. Sie schaffen so im Herzen Europas eine enorme Lithiumnachfrage.

Eine potenzielle Quelle hierfür wäre in Sachsen verfügbar, wo im Erzgebirge nahe der deutsch-tschechischen Grenze seit je Bergbau betrieben wird. In der vor 75 Jahren größtenteils stillgelegten Mine Zinnwald wurde Lithium entdeckt, das unter Tage bis nach Tschechien hinein zu finden ist. Mehr als 35 Millionen Tonnen Erz werden hier unter der Erde vermutet. Das Zinnwaldit genannte Mineral enthält im Durchschnitt 1,6 Prozent Lithium. Allein auf der deutschen Seite des Erzgebirgskamms umfasst die Lagerstätte rund 125.000 Tonnen Lithium. Das entspricht etwa 650.000 Tonnen Lithiumcarbonat und wäre genug, um damit rund 20 Millionen Elektroautos wie den ID.3 von Volkswagen auszurüsten, rechnet Armin Müller von der Betreiberfirma Deutsche Lithium vor. Bis zur neuen Tesla-Fabrik sind es gerade einmal 250 Kilometer. Ein klarer Standortvorteil gegenüber Chile oder Australien.

Natürliche Lithiumsole-Vorkommen lassen sich ebenfalls mit dem Verfahren nutzen – was auch in Deutschland einen weiteren Rohstoffstrom erschließen würde. Ganz im Westen Deutschlands hat sich das australische Unternehmen Vulcan Energy mit dem regionalen Energieversorger am Oberrheingraben zusammengeschlossen. Gehört Tesla dem reichsten Mann der Welt, so ist Vulcan Energy im Besitz einer der reichsten Frauen der Welt, der Multimilliardärin Gina Rinehart.

Ihr Unternehmen strebt die Gewinnung von Lithium ohne CO_2-Ausstoß an. Das Metall soll aus thermalem Tiefenwasser gewonnen werden, das aus vulkanischem Gestein im Untergrund an die Oberfläche gelangt. Das 120 Grad heiße Tiefenwasser wird an die Oberfläche gepumpt, die Wärme genutzt, Lithium extrahiert und



In dieser südkoreanischen Fabrik werden alte und defekte Lithium-Ionen-Batterien geschreddert. Aus dem dabei entstehenden Pulver, der sogenannten schwarzen Masse (unten), lassen sich wertvolle Rohstoffe wie Nickel, Kobalt und Lithium zurückgewinnen.

das abgekühlte Wasser dann in einen anderen Bereich in der Tiefe zurückgepumpt. Ein ähnliches Verfahren will die RAG-Stiftung, Hauptaktionärin von Evonik, mit Grubenwasser aus stillgelegten Zechen im Ruhrgebiet etablieren.

ENTWICKLUNG BIS 2025

Die Evonik-Fachleute Gorman und Stenner halten die Einsatzgebiete in der sogenannten primären Lithiumgewinnung für spannend. „Für uns wäre das allerdings erst der zweite Schritt“, so Gorman. „Wir konzentrieren uns zunächst auf die Sekundärlithiumgewinnung, also das Recycling.“ Sie sind zuversichtlich, dass sie das Keramikmembran-Verfahren in drei bis fünf Jahren bis zur Marktreife entwickelt haben.

Selbst recyceln werde Evonik jedoch nicht, betont Gorman. Diese Aufgabe werden Betreiber von Recyclinganlagen übernehmen, die mit der Keramikmembran „made by Evonik“ die Ausbeute relevanter Rohstoffe für die Batterieproduktion erhöhen können. Solche spezialisierten Unternehmen entstehen aktuell in großer Zahl, dabei handelt es sich vor allem um Kooperationen von Batterieherstellern, Recyclingunternehmen und Autobauern.

Einen bedeutenden Markt sehen die Evonik-Fachleute in China, einem globalen Vorreiter bei der Elektromobilität. Einer Studie der Beratungsgesellschaft PwC zufolge rollten dort im ersten Quartal 2022 eine Million Elektroautos neu auf die Straßen – das sind zwei Drittel aller auf der Welt zugelassenen batteriebetriebenen Pkw. Bereits 15 Prozent aller Neufahrzeuge sind dort E-Autos. Zum Vergleich: In den wichtigsten europäi-

GLOSSAR

Zelle Kleinste elektrochemische stromproduzierende Einheit einer Batterie. Die Zelle besteht aus zwei Elektroden, Elektrolyt, Separator und Gehäuse. Bei der Entladung wird gespeicherte chemische Energie durch die elektrochemische Redoxreaktion in elektrische Energie umgewandelt.

Batterie Zusammenschaltung mehrerer Zellen. In Primärbatterien sind die Reaktionen bei der Entladung nicht oder nur teilweise umkehrbar, sie können also nicht wieder aufgeladen werden.

Akku Sekundärbatterie, in der die die Entladereaktionen weitgehend umkehrbar sind, sodass eine mehrfache Umwandlung von chemischer in elektrische Energie und zurück möglich ist. Sie wird Akkumulator oder kurz Akku genannt.

Lithiumbatterie Primärbatterie, bei der Lithium (Li) als aktives Material in der negativen Elektrode verwendet wird.

Lithium-Ionen-Batterie Oberbegriff für Akkumulatoren auf der Basis von Lithiumverbindungen. Die reaktiven Materialien in der negativen und in der positiven Elektrode sowie im Elektrolyten enthalten Lithiumionen. Li-Ionen-Akkus haben eine höhere spezifische Energie als andere Akkumulatortypen. Durch Tiefentladung oder Überladung verlieren sie Leistung und brauchen deshalb elektronische Schutzschaltungen.

Lithium-Polymer-Batterie Spezielle Bauform des Lithium-Ionen-Akkus, bei der der Elektrolyt als feste bis gelartige Folie auf Polymerbasis vorliegt. Das ermöglicht eine freiere, zum Beispiel besonders flache Gestaltung. Dieser Typ kommt vor allem in Elektrofahrzeugen zum Einsatz.

Patrik Stenner mit einer Probe des Vormaterials, aus dem die keramische Membran hergestellt wird. Sein Ziel ist es, das Verfahren auch in industriellem Maßstab zu realisieren.

»Unser Verfahren soll effektiver und energiesparender sein als bisherige Methoden.«

PATRIK STENNER, VERFAHRENSINGENIEUR AM EVONIK-STANDORT HANAU

schen Märkten sind es 13 Prozent, in Südkorea sieben Prozent, in den USA fünf Prozent und in Japan lediglich ein Prozent.

Deutsche Autobauer hatten lange ein Problem, mit elektrischen Wagen auf dem chinesischen Markt Fuß zu fassen. Durch neue Modelle und mehr Produktion vor Ort gelang es ihnen nun innerhalb eines Jahres, den Marktanteil von zwei auf vier Prozent zu verdoppeln. Eine größere Wertschöpfungstiefe würde den Unternehmen helfen, diesen Weg auszubauen, meint PwC-Autoexperte Jörn Neuhausen: „Neben Investitionen in eine lokale Batterieproduktion und dem Aufbau von Gigafactorys in Europa und den USA könnten zukünftig auch Partnerschaften mit Rohstoffherstellern eine größere Rolle für Automobilhersteller spielen, um die Abhängigkeit von volatilen Lieferketten zu reduzieren."

GEFAHR EINER „BATTERIELÜCKE"

Entscheidend für den Erfolg der E-Welle ist die Verfügbarkeit von Batterien und den darin enthaltenen Rohstoffen. Die Beratungsfirma Roland Berger geht davon aus, dass der weltweite Bedarf an Lithium-Ionen-Batterien bis 2030 weltweit auf 2.800 Gigawattstunden (GWh) steigen wird, rund 30 Prozent davon für die Produktion von E-Autos. Derzeit liegt die Nachfrage bei etwa 390 GWh. Wolfgang Bernhart, Seniorpartner bei der Unternehmensberatung Roland Berger, rechnet mit einem hohen Risiko, „dass wir in eine Batterielücke laufen". Laut einer Analyse des Center for Automotive Research mit Sitz in Duisburg und Peking werden in den kommenden sechs Jahren weltweit Batteriezellen für fast 15 Millionen Neuwagen fehlen. Grund dafür sind vor allem Engpässe bei Basismaterialien wie Lithium, Kobalt und Nickel. „Für die Automobilindustrie ist ein Zugang zu Rohstoffen, die aus der Kreislaufwirtschaft stammen, existenziell wichtig, denn anders werden sie mittelfristig die eigenen und die gesetzlich vorgegebenen Klimaziele nicht erreichen können", sagt Elisabeth Gorman.

Die Technologie, die sie mit ihren Kollegen bei Evonik und den Partnern entwickelt, könnte also nicht nur die Nachhaltigkeit der Elektromobilität verbessern. Sie könnte ebenso dazu beitragen, dass sowohl in den Weiten der chilenischen Atacamawüste als auch im australischen Outback weniger Natur dem Lithiumbedarf geopfert wird.

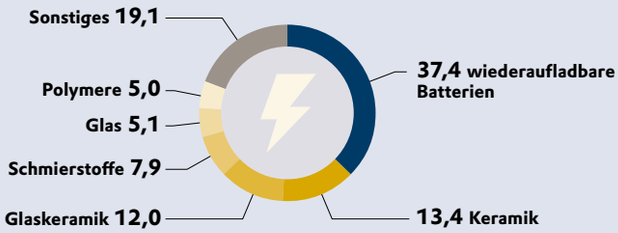
Christoph Bauer ist Journalist. Er arbeitet in der Kommunikationsabteilung von Evonik.

LITHIUM IN ZAHLEN

Das Leichtmetall zählt neben Elementen wie Kobalt, Nickel oder Kupfer zu den wichtigsten Rohstoffen für die Energiewende. Ein Überblick der wirtschaftlichen Bedeutung

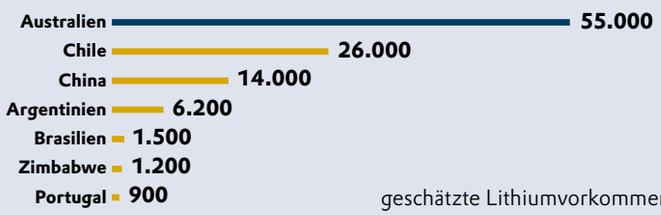
INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**

Unerlässlich für Energiespeicher
Verwendung von Lithium 2015, in Prozent

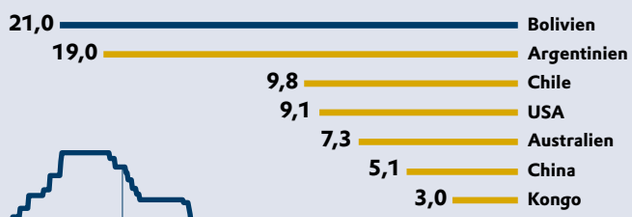


Die größten Lieferanten
Abbau von Lithium 2021*, in Tonnen

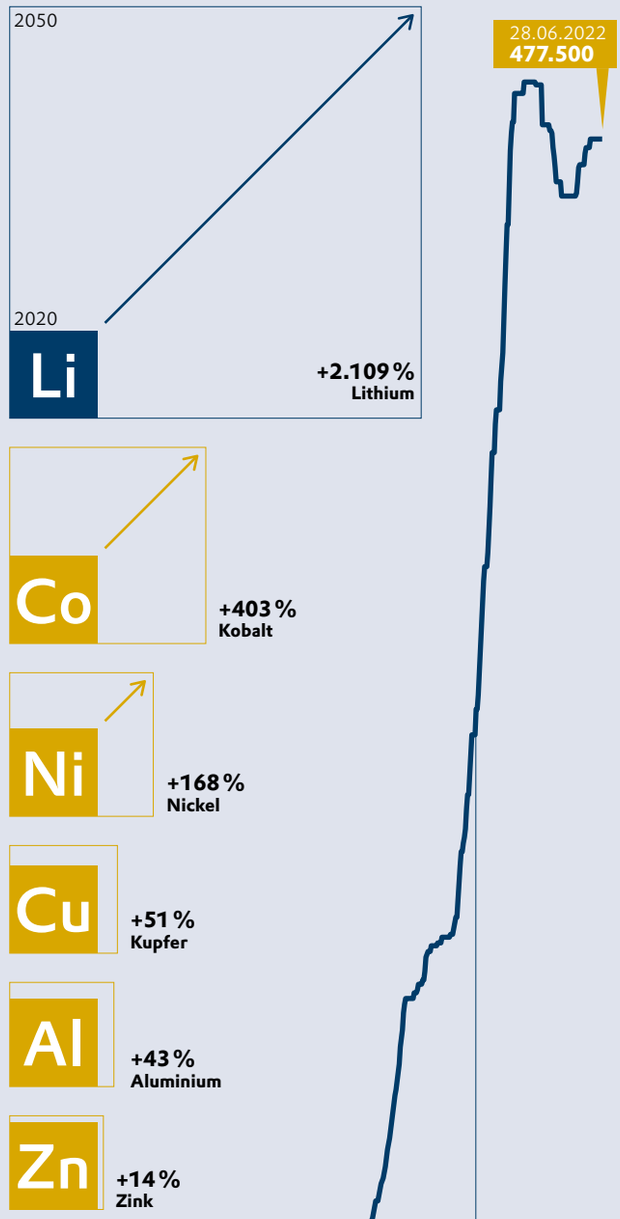
*Prognose



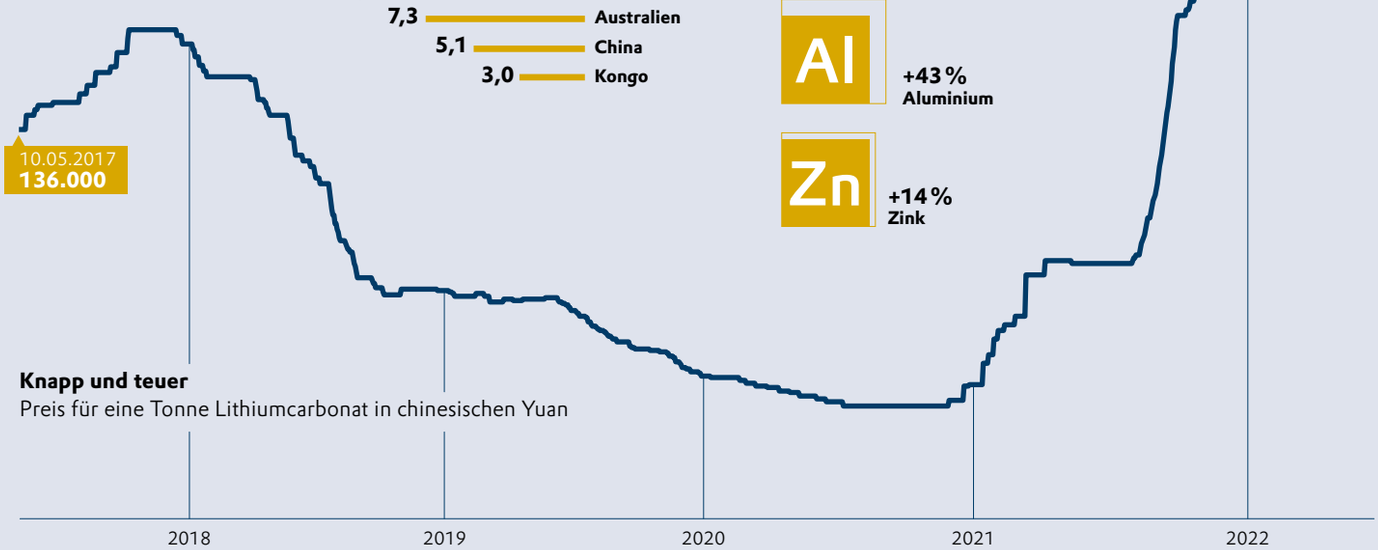
geschätzte Lithiumvorkommen, in Millionen Tonnen



Die Nachfrage wächst
Mehrbedarf ausgewählter Metalle für den Einsatz in Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in Europa 2050 gegenüber 2020*, in Prozent



Knapp und teuer
Preis für eine Tonne Lithiumcarbonat in chinesischen Yuan



Quellen: U. S. Geological Survey, Deutsche Rohstoffagentur, KU Leuven, Trading Economics

»Wir können uns nicht einfach nur auf die Märkte verlassen«

Durch Covid-19 und den Krieg in der Ukraine sind die globalen Lieferketten stark unter Druck geraten. Dies gilt vor allem für Rohstoffe, die für die Energiewende benötigt werden. René Kleijn, Professor für industrielle Ökologie an der Universität Leiden, erklärt, was Branchen und Länder angesichts der Preisschocks und Versorgungsengpässe jetzt tun sollten.

INTERVIEW **CHRISTIAN BAULIG** & **JÖRG WAGNER**

Herr Professor Kleijn, in einem Fachartikel haben Sie im vorigen Jahr beschrieben, wie ein plötzlich ausbrechender Krieg zu folgenschweren Lieferunterbrechungen bei Rohstoffen führen könnte, die für die Energiewende dringend benötigt werden. Nun ist mit dem Ukrainekrieg genau dieser Fall eingetreten. Können Sie hellsehen?

RENÉ KLEIJN: Ich hätte mit meiner Prognose natürlich lieber komplett danebengelegen, als jetzt in dieser Situation zu sein. Der Umstieg auf erneuerbare Energien hat sich in den vergangenen Jahren beschleunigt. Das ist auch gut so, denn wir müssen die vereinbarten Klimaziele erreichen. Für eine erfolgreiche Energiewende werden jedoch Unmengen an Rohstoffen benötigt – und niemand weiß so genau, woher sie kommen werden. Ich arbeite schon eine ganze Weile an dem Thema und konnte die potenziellen Probleme deshalb vielleicht etwas früher erkennen.

Setzt sich für eine nachhaltigere Nutzung natürlicher Ressourcen ein: René Kleijn, Professor am Institut für Umweltstudien an der Universität Leiden (Niederlande)

In vielen Industrieländern hat die Energiewende bereits vor 20 Jahren begonnen. Warum sind wir auf Situationen wie jetzt nicht vorbereitet?

Es gab großes Vertrauen in die Märkte. Man ging davon aus, dass der Markt Angebot und Nachfrage selbst regulieren würde. In der Vorstellung vieler Politiker wird sich das Angebot irgendwie einstellen, wenn die Nachfrage da ist. Offensichtlich trifft das nicht immer zu. Seit Beginn der Covid-19-Pandemie wurde uns unsere Abhängigkeit von globalen Lieferketten sehr deutlich vor Augen geführt – man erinnere sich an die Beschaffung von Masken oder Komponenten für Beatmungsgeräte. Als wegen der Lockdowns in den Häfen nicht gearbeitet wurde und deswegen keine Lieferungen mehr aus China eintrafen, brach praktisch das gesamte globale Versorgungsnetz zusammen.

Die logistischen Auswirkungen der Pandemie haben sich inzwischen abgeschwächt. Warum herrscht dennoch ein Mangel an kritischen Rohstoffen?

Wir befinden uns in einer Situation, in der Bergbauunternehmen weit im Voraus Investitionen tätigen müssen, um Minen in Betrieb zu nehmen. Das ist ein langwieriger Prozess, der zehn bis 20 Jahre dauern kann. Er reicht von der Entdeckung einer Lagerstätte über die Beantragung der Genehmigungen und die Exploration bis hin zur Finanzierung einer neuen Mine. Nehmen wir zum Beispiel Kupfer, das für Generatoren von Windturbinen, für Solarzellen und für das Stromnetz benötigt wird. Ich habe mir von Bergbauexperten sagen lassen, dass man ab sofort jedes Jahr in zwei große Minen investieren müsste, um den Bedarf für die nächsten 30 Jahre zu decken! Das verdeutlicht, wie aufwendig es ist, die für die Energiewende benötigten Rohstoffe zu gewinnen. Wir können uns nicht einfach nur auf die Märkte verlassen.

Bei diesen Überlegungen sind politische Probleme noch gar nicht berücksichtigt wie solche, die wir mit Russland haben – einem Land, von dem wir im Welthandel nun unabhängiger werden wollen.

Genau. Wir sind in einigen Fällen auf Importe aus autoritären Staaten angewiesen. Und wie wir jetzt bei russischem Gas sehen, ist es schwer, Sanktionen durchzusetzen, wenn man von diesen Importen abhängig ist. China könnten wir beispielsweise niemals mit derartigen Sanktionen belegen. →

Kinderarbeit: In Staaten wie dem Kongo werden Kupfer und andere für die Energiewende wichtige Rohstoffe unter fragwürdigen Bedingungen gewonnen.

Heißt das, wir müssen uns von der Globalisierung ein Stück weit verabschieden und eher einen regionalen Ansatz verfolgen?
Nicht unbedingt. Aber wir müssen unsere Lieferketten belastbarer machen, sodass Störungen besser aufgefangen werden können. Das gilt sowohl für Nachfrageschocks, zum Beispiel das sprunghaft gestiegene Interesse an Elektrofahrzeugen, als auch für Angebotsschocks, wenn aufgrund eines Konflikts plötzlich keine Rohstoffe aus Russland und der Ukraine mehr zur Verfügung stehen.

Wie können wir unsere Lieferketten denn belastbarer machen?
Zunächst müssen wir unsere Versorgung breiter aufstellen. Viele Regionen wie die USA oder Europa suchen sichere und zuverlässige Partner wie Kanada oder Australien, von denen wir in einer für uns akzeptablen Weise viele Rohstoffe beziehen können. Wir müssen aber auch in Erwägung ziehen, mehr Rohstoffe innerhalb Europas abzubauen …

… was keine leichte Aufgabe ist.
Allerdings. Wir sind es nicht mehr gewohnt, einen großen Bergbaubetrieb direkt vor unserer Haustür zu haben. Für erneuerbare Energien müssen jedoch deutlich weniger Rohstoffe abgebaut werden, als wir es beispielsweise vom Kohlenbergbau kennen.

Die Menschen, in deren Umfeld plötzlich ein Bergwerk in Betrieb genommen werden soll, dürfte dieses Argument kaum überzeugen.
Das stimmt. Diese Bedenken müssen wir berücksichtigen und verstehen. Das Problem haben wir allerdings in vielen Bereichen der Energiewende, ob es nun um Bergwerke, Windkraftanlagen oder Hochspannungsmasten geht. Indem wir die Öffentlichkeit in diese Prozesse einbinden, können wir jedoch viele Bedenken ausräumen. Darum dauert in Europa manches ein bisschen länger.

Sie sprechen von finanzieller Entschädigung?
Man tut sich generell schwer damit, betroffene Anwohner finanziell zu entschädigen. Ich gebe Ihnen ein Beispiel aus meinem Heimatland. Wir haben ein riesiges Gasfeld im Norden der Niederlande aufgegeben, weil die Gasförderung kleinere Erdbeben verursachte, die wohlgemerkt keine katastrophalen Folgen hatten. Das Explorationsunternehmen und die Regierung haben mit der Gasförderung Riesensummen verdient. Hätte man nur ein Prozent der Einnahmen den betroffenen Kommunen zukommen lassen, hätten sich die Probleme vielleicht erledigt: Das Gasfeld könnte weiter genutzt werden und dazu beitragen, die aktuelle Versorgungslage zu entspannen.

Wie sieht es mit Menschen in anderen Ländern der Welt aus, aus denen wir kritische Rohstoffe wie Kobalt beziehen?
In vielen afrikanischen Staaten herrscht große Enttäuschung darüber, wie chinesische Firmen operieren: Sie bezahlen die Elite, gewinnen die Rohstoffe und bauen höchstens mal hier und da eine Eisenbahnlinie oder eine Straße. Das geht auch anders. Wir können langfristige Partnerschaften aufbauen. Wir können die Rohstoffgewinnung sozialverträglich und verantwortungsbewusst gestalten. Wir können die Kommunen in ihrer Entwicklung unterstützen und gleichzeitig dafür sorgen, dass die Menschen vor Ort am Rohstoffabbau

Boombranche: Die Solarwirtschaft benötigt große Mengen seltener Rohstoffe wie Tellur, Indium oder Gallium. Zu den wichtigsten Abnehmern zählt China.

Kriegsfolgen: Nach Moskaus Angriff auf die Ukraine wurden Lieferungen von Öl und Gas aus Russland reduziert oder ganz gestoppt.

mitverdienen. Ich weiß, das klingt idealistisch und ist in Ländern mit viel Korruption schwer umzusetzen. Wir könnten dies jedoch zu einem Alleinstellungsmerkmal für europäische Abbauvorhaben machen.

Wird diese Strategie in Zukunft zu höheren Preisen für strategisch wichtige Ressourcen führen?
Ja. Ich denke, wir müssen für unsere Versorgungssicherheit tiefer in die Tasche greifen. Darüber hinaus will die Europäische Kommission den Schwerpunkt auf nachhaltige Rohstoffgewinnung legen. Das bedeutet: Es gibt einen Preisaufschlag für verantwortungsvoll abgebaute Rohstoffe und nachhaltig produzierte Materialien aus Europa, wo wir Umweltschutzauflagen einhalten und auf die lokale Bevölkerung Rücksicht nehmen.

Sollten wir angesichts der schwierigen Sicherung unserer Rohstoffversorgung nicht überdenken, ob wir all diese Ressourcen überhaupt brauchen?
Man könnte sich in der Tat fragen, ob wirklich jedes E-Auto eine 60- oder sogar 100-Kilowattstunden-Batterie benötigt. Im Prinzip ist das eine riesige Materialverschwendung, weil das Auto die meiste Zeit ungenutzt herumsteht. Sollten Autos irgendwann in das Stromnetz eingebunden werden, sieht die Sache vielleicht schon anders aus. Doch unseren Energie- und Materialverbrauch zu senken ist immer noch der beste, billigste und nachhaltigste Weg.

Viele Unternehmen, darunter Evonik, arbeiten derzeit an der Entwicklung neuer Batteriegenerationen, die überhaupt keine seltenen und teuren Materialien wie Lithium enthalten. Wird die Ressourcenknappheit den technischen Fortschritt beschleunigen, der es uns ermöglicht, einige der aktuellen Probleme zu lösen?
Ich traue der Technologie einiges zu. Es gibt bereits Lithium-Eisenphosphat-Batterien ohne Kobalt. Sie haben eine etwas geringere Kapazität als herkömmliche Batterien, sind aber im Hinblick auf die Brand- oder Explosionsgefahr sicherer. Unterm Strich kommt es allerdings nicht nur auf technische Errungenschaften, sondern auch auf wirtschaftliche Aspekte und Geschäftsmodelle an: Das Produkt, das sich am besten verkauft und mit dem am meisten Geld verdient wird, ist nicht zwangsläufig das technisch beste. Daher ist es wichtig, dass die Regierungen ihre Vorurteile ablegen. Wenn wir unsere technischen Kompetenzen, unseren Einfallsreichtum und unsere Kreativität wirklich in die richtige Richtung lenken wollen, brauchen wir zum Beispiel eine Bepreisung von CO_2.

Die wurde in den vergangenen Jahren ja bereits eingeführt …
… und das ist gut so. Wenn wir die Kosten für Umweltbelastungen in die Rohstoffkosten einbeziehen, steigt der Rohstoffpreis. Das macht die Kreislaufwirtschaft wesentlich attraktiver. Man geht mit den Rohstoffen viel bewusster um.

Warum tun wir uns dann mit Recycling so schwer? Liegt das nur an den verhältnismäßig geringen Kosten für neu gewonnene Rohstoffe?
Wir leben in einer Wegwerfgesellschaft, in der Ressourcen so billig sind, dass sie nicht richtig wertgeschätzt werden. Im Rahmen des Susmagpro-Projekts, das vom EU-Förderprogramm Horizont 2020 finanziert wird, untersuchen wir gemeinsam mit der Universität Pforzheim die Recyclingmöglichkeiten für die Metalle der seltenen Erden, denn sie sind von zentraler Bedeutung für die Energiewende. Sie stecken etwa in den Magneten von Windturbinen und in den Motoren von Elektrofahrzeugen. Der Bedarf an Magneten wird in Zukunft enorm sein. Die für das Recycling notwendige Technologie wird derzeit im Rahmen des Projekts optimiert. Die entscheidende Frage lautet jedoch: Wie bekommt man die Magneten aus den Elektrofahrzeugen in die Recyclinganlagen? Haben Sie schon mal einen Elektromotor gesehen? Der Rotor besteht aus Stahlblechen mit Löchern. Die Magnete werden meist in diese Löcher hineingeklebt. Möchte man die Magnete recyceln, muss das ganze Gehäuse auseinandergebaut werden, um an den Motor zu gelangen. →

»Wir müssen unsere Versorgung breiter aufstellen.«

René Kleijn (58) ist Professor für industrielle Ökologie an der Universität Leiden in den Niederlanden. Er ist Autor zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten und trug dazu bei, dass sich das Fachgebiet der industriellen Ökologie Anfang der 2000er-Jahre zu einer anerkannten wissenschaftlichen Disziplin entwickelte. In seiner Forschung widmet er sich der systematischen Analyse von Nachhaltigkeitsfragen mithilfe von Instrumenten wie der Lebenszyklusanalyse und der Stoffstromanalyse. Kleijn hat diese Instrumente bereits in vielen verschiedenen Bereichen angewandt, unter anderem in der chemischen Industrie, im Energiesektor und in der Recyclingindustrie. In den vergangenen Jahren beschäftigte er sich vorrangig mit kritischen Rohstoffen, belastbaren und nachhaltigen Lieferketten, der Kreislaufwirtschaft und möglichen Ressourcenknappheiten im Rahmen der Energiewende.

Inflation: Weil der Nachschub von Öl und anderen Rohstoffen stockt, explodieren weltweit die Verbraucherpreise – unter anderem für Benzin.

Anschließend muss man den Motor herausnehmen und ebenfalls zerlegen, um an den Rotor zu kommen und diese eingeklebten Magnete irgendwie zu entfernen. Der Materialwert beträgt aber vielleicht nur 100 €. Wirtschaftlich ist das also vollkommen unsinnig.

Fordern Sie eine strengere Regulierung?
Ja. Entweder muss das Recycling solcher Rohstoffe Pflicht werden, oder es müssen hierfür heftige Preisaufschläge erhoben werden. Anders wird es nicht funktionieren. Der Rohstoffpreis allein reicht heutzutage nicht mehr aus, um das System in die richtige Richtung zu lenken. Rohstoffe sind unglaublich billig, und in Ländern wie den Niederlanden oder Deutschland sind Arbeitskräfte extrem teuer. Der niedrige Rohstoffpreis ergibt sich zum Teil daraus, dass die Umwelt- und Sozialkosten nicht eingerechnet sind. Oft werden Rohstoffe in Ländern gewonnen, in denen es keine ausreichenden Umweltschutzgesetze und kein Bewusstsein für soziale Verantwortung gibt. Berechnungen zeigen, dass ein iPad aus nachhaltig beschafften Rohstoffen um die 10.000 € kosten könnte.

Für einige Ressourcen wie Kobalt oder Nickel scheint das Recycling schon sehr gut zu funktionieren. In der EU werden schätzungsweise 95 Prozent dieser Materialien recycelt. Die Verwertungsquote von Kupfer liegt bei bis zu 80 Prozent. Lithium hingegen wird bisher praktisch überhaupt nicht recycelt. Können Sie das erklären?
Auch das ist wieder vom Rohstoffpreis abhängig. Nickel und Kobalt sind wertvoller als Lithium. Der Lithiumpreis ist allerdings in den letzten Monaten dramatisch gestiegen. Vielleicht wird damit auch das Recycling wirtschaftlich attraktiver. Aus technischer Sicht ist das Recycling der Hauptbestandteile von Batterien nicht besonders schwierig. Man entlädt die Batterie, wirft sie in einen Schredder und trennt die Materialien voneinander. Das ist ein kostengünstiger und beliebig skalierbarer Prozess. Und das ist der springende Punkt: Recycling lohnt sich wirtschaftlich nur, wenn es in großem Maßstab betrieben werden kann.

Der E-Mobilitätstrend ist nur wenige Jahre alt, und es sind erst ein paar Millionen Elektroautos auf unseren Straßen unterwegs. Deren Batterien werden wir in 15 oder 20 Jahren recyceln können.

Gegenwind: Wo Rohstoffe gewonnen werden, droht Protest. In den Niederlanden wehrten sich Bürger erfolgreich gegen die Förderung von Erdgas.

Sind wir zu ungeduldig, was den Einstieg in die Kreislaufwirtschaft betrifft?
In den nächsten zehn bis 20 Jahren werden wir uns noch nicht darauf verlassen können, dass die Kreislaufwirtschaft einen nennenswerten Teil der Ressourcen liefert. Vorerst müssen wir also viele Rohstoffe aus primären Quellen nutzen. Wir müssen jedoch heute schon sicherstellen, Produkte so zu gestalten, dass wir diese Materialien irgendwann zurückgewinnen und recyceln können.

Wenn unser Ziel eine Kreislaufwirtschaft für wichtige Rohstoffe ist – warum sollte ein Bergbauunternehmen dann Milliarden in ein Geschäft stecken, das in 30 Jahren überflüssig wird?
Das ist in der Tat ein Dilemma. Minenbetreiber sind generell skeptisch, denn vor 20 Jahren wurde ihnen ein riesiger Markt für ihre Rohstoffe versprochen, die für all diese grünen Technologien benötigt werden. Sie investierten also in Minen, aber dann wuchs der Markt viel langsamer als erwartet. Es gab eine Überproduktion, und die Preise fielen. Warum sollten sie also jetzt Geld in neue Minen stecken?

Man könnte öffentliche Gelder investieren.
Das könnte eine sinnvolle Strategie sein. Nehmen wir als Beispiel die Metalle der seltenen Erden, die in Wirklichkeit gar nicht so selten sind. Im Vergleich zu den Endprodukten, in denen sie zum Einsatz kommen, sind sie extrem billig. Der Gewinn, der sich mit der Investition in ein paar Hundert Kilotonnen Rohstoffe generieren lässt, ist also gigantisch. Seltsamerweise haben riesige Wirtschaftsmächte wie die USA oder die EU darauf nicht reagiert. Japan hingegen investiert in eine Reihe von Minen und Raffinerien, etwa in das australische Bergbauunternehmen Lynas.

Könnte sich die EU ein Beispiel daran nehmen?
Industrie und Regierung in Japan sind eng miteinander verflochten. Daher orientiert sich die Regierung stark an den Wünschen der Industrie. In China sind viele strategisch wichtige Unternehmen sogar in staatlicher Hand. Die US-Regierung setzt sich sehr dafür ein, die Versorgung mit Rohstoffen für Batterien durch gesetzliche Maßnahmen wie den Defense Production Act zu sichern. In Europa ist es hingegen eher unüblich, dass sich die Regierung in diese Branchen einmischt, außer vielleicht in Frankreich. Doch selbst in Deutschland verschwimmen die Grenzen mittlerweile: Wenn sich die großen Autohersteller über fehlende Rohstoffe beklagen, schließt die Regierung bilaterale Abkommen mit anderen Ländern. In Ländern wie den Niederlanden oder Dänemark wäre das undenkbar.

2020 wurde die Europäische Rohstoffallianz ERMA gegründet, um einen zuverlässigen, sicheren und nachhaltigen Zugang zu Rohstoffen zu sichern. Könnte die Organisation nicht mehr Investitionen in diesem Bereich auf den Weg bringen?
Die ERMA denkt zumindest über diese Probleme nach. Und sie fördert zahlreiche Forschungsprojekte. In Europa sehe ich nicht die Art von Machtpolitik, wie wir sie aus Japan, den USA oder China kennen. In naher Zukunft könnte sich das allerdings ändern, denn die EU plant ein Rohstoffgesetz. Ich bin zwar nicht sicher, welche Folgen das haben wird, aber es ist ein Schritt in diese Richtung.

Angesichts des Kriegs in der Ukraine sind plötzlich wieder fossile Brennstoffe wie Kohle gefragt. Sind Sie besorgt, dass der Trend zu erneuerbaren Energien an Tempo verliert?
Es ist richtig, dass sich die Umstände ändern. In vielen Regionen ist Solarenergie die günstigste Form der Energie überhaupt, selbst ohne staatliche Förderung. Auf einem freien Markt sollte sie sich also eigentlich durchsetzen können. Aber jetzt steigen die Preise wegen der Verteuerung der Rohstoffe wieder. Ich glaube, dass sich viele Probleme lösen lassen. Doch die Regierungen müssen die richtigen Grenzen innerhalb der Marktwirtschaft setzen, damit sich die Technik in die richtige Richtung entwickeln kann. Technik und Wirtschaft allein werden das nicht schaffen.

HÄUTE FÜR MORGEN

Kunstleder verschont Tiere und kann auch die Umwelt entlasten. Dank moderner Chemie geht beides längst ohne Abstriche bei der Qualität. Evonik entwickelt Lösungen, um die Produktion von Ledersubstituten noch nachhaltiger zu machen.

TEXT **TOM RADEMACHER**

Tesla schwört drauf, Stella auch und Peta sowieso. Die Rede ist von Kunstleder. Sein Model 3 liefert der US-amerikanische Elektroautobauer Tesla nur noch mit Sitzen aus Lederimitat. Modedesignerin Stella McCartney schmäht echte Tierhäute in ihren Taschen und Schuhen von jeher. Und die Tierschutzorganisation Peta veröffentlicht Kunstleder-Styleguides für eine wachsende Schar von Modejüngern, die Rinderleben retten wollen. „A killer look without any killing", so die Devise: todschick, ohne zu töten.

„Veganes Leder" liegt im Trend. Der Begriff selbst ist gemacht für unsere Zeit. Mehr und mehr Konsumenten sorgen sich um Klima, Tierwohl und Umwelt. Künstlich hergestelltes Leder ist da im Vorteil. Ihm fallen weder Lebewesen noch Landschaften für das Futter zum Opfer. Das Klima wird weniger belastet, das Gewissen ebenso.

Abstriche bei Qualität und Verarbeitung muss man nicht befürchten. Vorbei sind die Zeiten, als Kunstleder sich wie Plastik anfühlte, schnell spröde und rissig wurde. Selbst Experten tun sich heute bei hochwertigem Kunstleder schwer, das Imitat vom Original zu unterscheiden. In einigen Anwendungen ist es ihm sogar überlegen. Möglich wurde das durch verbesserte chemische Zutaten und neue Herstellungsverfahren. Evonik kennt sich mit beidem gut aus. Produkte des Konzerns stecken schon in praktisch jeder Lage modernen Kunstleders. Nun will das Essener Spezialchemieunternehmen auch bei den Herstellungsverfahren neue Standards in Sachen Nachhaltigkeit setzen.

FLEXIBEL UND WIDERSTANDSFÄHIG

Eine Wiege innovativer Produkte für Kunstleder steht in Herne, im Herzen des Ruhrgebiets. Dort produziert Evonik sogenannte Vernetzer (Crosslinker). Diese Stoffe verleihen modernen Kunststoffbeschichtungen ein langes Leben und manch andere besondere Eigenschaft. Von Herne aus hat Evonik die Technologie und die Produkte in die ganze Welt gebracht. Der Anlagenkomplex im Westen Deutschlands hat ein exaktes Ebenbild im chinesischen Schanghai. Produziert wird außerdem in Antwerpen (Belgien) und in Mobile im US-Bundesstaat Alabama. Crosslinker der Evonik-Marke Vestanat erlauben es, besonders zähe Lacke und Kunststoffschichten herzustellen. Sie verbinden die langen Moleküle im Kunststoff zu einem robusten Netzwerk, das starken mechanischen und chemischen Beanspruchungen trotzt. Im Automobilbau oder in Industriefußböden zum Beispiel sorgt das für Haltbarkeit. Im Kunstleder verlängern dagegen Crosslinker die Molekülketten so, dass ein flexibles und dennoch widerstandsfähiges Material entsteht. →

VESTANAT® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

Evonik-Experte Denis Pukrop arbeitet an Verfahren, mit denen sich Kunstleder ohne Lösemittel und mit viel weniger Wasser produzieren lässt.

Richtige Mischung: In der Anwendungstechnik in Marl stellt Evonik versuchsweise Prepolymere her, die dann im 2K- und 1K-Verfahren als Beschichtung des Kunstleders aushärten.

»In hochwertigen Kunstledern dominiert Polyurethan.«

MICHAEL MEYER, LEITER DES FILK FREIBERG INSTITUTE

Ein Schnitt ins Kunstleder zeigt, worum es geht. Das Material ist vielschichtig und besteht aus mehreren Lagen, die jeweils eine eigene Aufgabe erfüllen: Ein textiler Träger sorgt für Stabilität, eine Schaumstoffschicht für den weichen Griff, eine Deckschicht für Oberflächenstruktur und Farbe. Obenauf kommt in der Regel noch eine klare Schicht, die das Material vor UV-Licht und anderen Beanspruchungen schützt. „In Wahrheit sind es meist einige Schichten mehr, die zusammen erst die gewünschten Effekte erzeugen", sagt Dr. Michael Meyer. Der Biologe und Verfahrenstechniker leitet im sächsischen Freiberg das FILK Freiberg Institute, hervorgegangen aus dem Forschungsinstitut für Leder- und Kunstledertechnologie. Es geht auf eine Gerberschule des 19. Jahrhunderts zurück, als in der Region Lederproduktion und Bergbau florierten.

CHINA DOMINIERT DEN MARKT

Zu DDR-Zeiten hatte sich das Institut zusätzlich auf Kunstleder spezialisiert. Meyer und das FILK arbeiten inzwischen sowohl für die Leder- als auch für die Kunstlederbranche – und alles, was dazwischenliegt. „Ganz klar lässt sich das gar nicht mehr trennen", sagt Meyer. Schließlich kämen in der Verarbeitung von Leder aus Tierhaut seit Langem Lacke und Kunststoffbeschichtungen zum Einsatz. „Die Automobilindustrie hat dem mit ihrer Forderung nach beliebig reproduzierbaren Oberflächendesigns den größten Vorschub geleistet", so Meyer. Heute geht es im Institut auch um Biotechnologie. Denn beim Kunstleder wird zunehmend mit biologischen Rohstoffen experimentiert (siehe Infokasten auf Seite 30).

Doch noch ist die Lage eindeutig. „Auf dem Weltmarkt für Kunstleder dominieren ganz klar klassische Erzeugnisse auf Basis von PVC oder Polyurethan", sagt Martin Lei. Der Evonik-Manager leitet von Schanghai aus das Marketing von Crosslinkern in der Region Asia-Pacific. An China führt in der Branche fast kein Weg vorbei: Das Land produziert gut 80 Prozent des weltweiten Kunstleders, zuletzt rund drei Millionen Tonnen pro Jahr. Mit einigem Abstand folgen weitere asiatische Länder wie Vietnam und Thailand. „Auch bei manchen Kunstledern, die zum Beispiel als ‚Made in Italy' vermarktet werden, haben nur die letzten Veredlungsschritte wirklich in Europa stattgefunden", sagt Lei. „Das Basismaterial kommt aus Asien."

Quantitativ liegen Kunstleder aus PVC und Polyurethan (PU) weltweit etwa gleichauf. Qualitativ dagegen führt ganz klar PU. „PVC ist billig zu produzieren", sagt FILK-Chef Meyer. „In hochwertigen Kunstledern hingegen dominiert Polyurethan." Es ist vielseitiger, meist griffiger, langlebiger und selbst echtem Leder in manchem überlegen. So lässt sich PU-Kunstleder in der Waschmaschine reinigen.

WENIGER PROBLEMATISCHE ALTERNATIVEN

Die Produktion selbst wird auch immer nachhaltiger. Kunstleder auf PU-Basis lassen sich heute weitgehend ohne schädliche Lösungsmittel herstellen. Das war früher anders. Vor allem die Verwendung von Dimethylformamid (kurz DMF) war für lange Zeit ein Makel der PU-Kunstlederproduktion. Es dient dazu, den Kunststoff in gelöster Form auf die Textilbahn aufzutragen. Beim Fällen und Trocknen entweicht das Lösemittel, zurück bleibt die PU-Schicht. Mit viel Wasser müssen dann DMF-Rückstände ausgewaschen werden. Weil DMF schädlich für Umwelt und Arbeiter ist, hat man ihm den Kampf angesagt. Im vergangenen Jahr hat die EU die Richtlinien für den Verkauf von Produkten selbst mit minimalem DMF-Gehalt nochmals verschärft. Auch Chinas Regierung macht Druck, um DMF und andere Lösemittel in der Industrie zu reduzieren. Und mehr als 170 Modeunternehmen haben sich zusammengeschlossen, um Chemikalien wie DMF aus ihren Lieferketten vollständig zu verbannen. →

Kunstleder wird in großen Lackier- und Prägeanlagen hergestellt, hier für den Einsatz in der Fahrzeugindustrie.

Evonik-Mitarbeiterin Silvia Herda bestimmt am Titrator, in welchem Umfang die Monomere im Prepolymer synthetisiert wurden.

Auch aus Kakteen lässt sich Lederersatz herstellen.

LEDER AUS PILZEN, KORK UND KAKTUS

Auch Substitute aus nachwachsenden Rohstoffen brauchen Chemie.

Bei Kunstleder geht der Trend ebenfalls in Richtung „bio“: Wissenschaftler forschen an einer Vielzahl neuartiger Ledersubstitute auf biologischer Basis. Evonik arbeitet zum Beispiel an einem Mischmaterial, das Leder nicht nur nahekommt, sondern sich auf ganz neue Arten verarbeiten lässt. Dazu hat der Konzern 2019 in das US-amerikanische Start-up Modern Meadow investiert, das mithilfe von Hefezellen Kollagen produziert. Mit diesem Strukturprotein, einem Hauptbestandteil in Haut und Bindegewebe, sowie mit biobasierten Polymeren will das Unternehmen mit Sitz in Nutley (New Jersey, USA) ein lederähnliches Material herstellen. Für Michael Meyer, Experte am sächsischen FILK Freiberg Institute, sind solche Biomaterialien „Trendsubstitute“. Mittlerweile gibt es Lederersatz etwa auf Basis von Apfelschalen, Ananasblättern, Pilzen, Kork oder Kakteen. Auch die biobasierten Materialien werden aber erst mithilfe chemischer Produkte und Beschichtungstechnologie eine brauchbare Grundlage. Einige sind inzwischen zu durchaus vorzeigbaren Alternativen herangereift. „Reine Naturprodukte sind das allerdings nicht“, sagt Lederexperte Meyer.

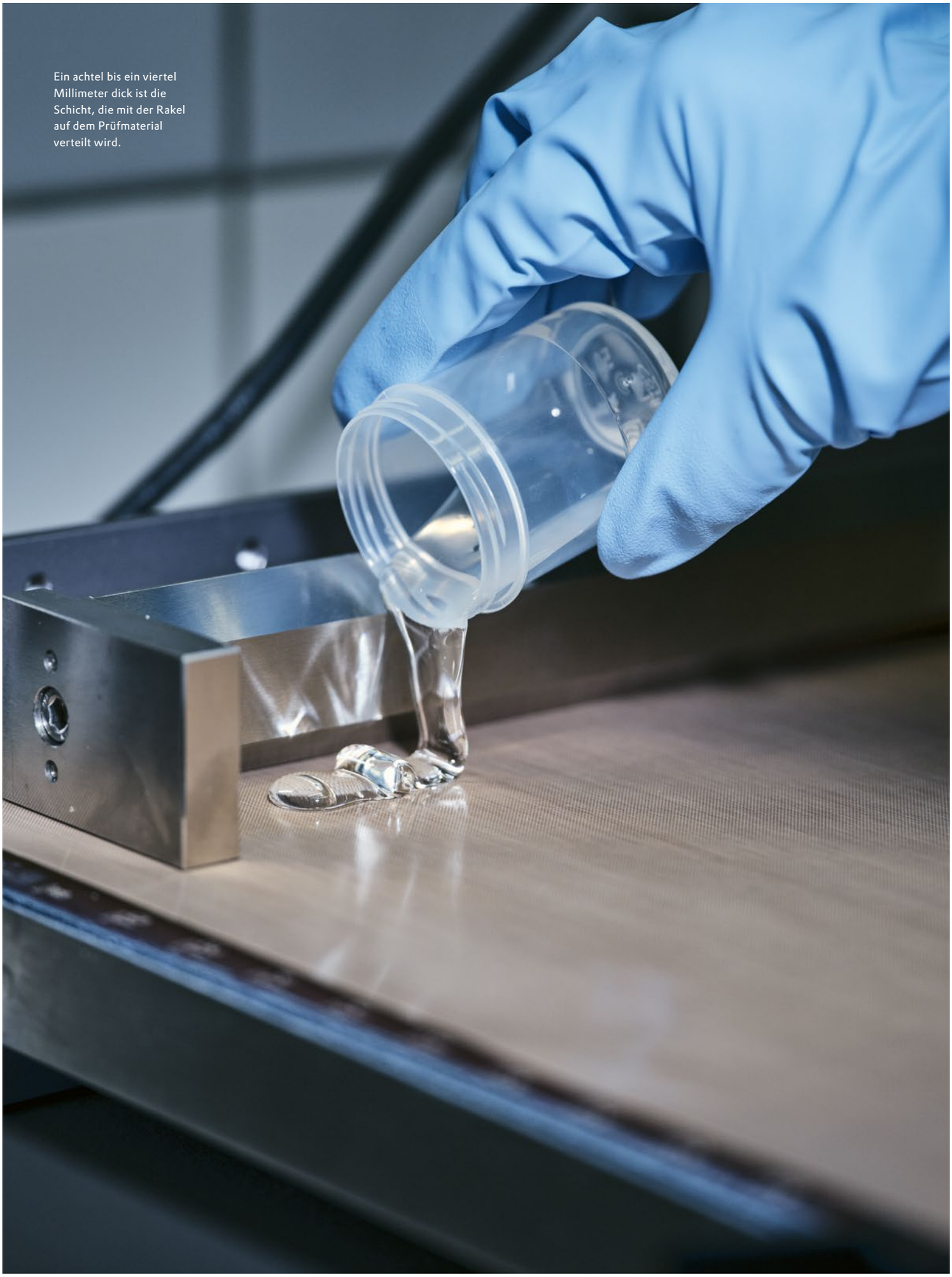
Längst bietet die Industrie weniger problematische Alternativen. So lassen sich Schaumschicht, Deckschicht und Schutzlack aus Polyurethan als wässrige Dispersion auftragen, ein Gemisch fast ausschließlich aus Wasser und PU-Mikropartikeln. Im Trocknungsofen wird dann nur noch Wasser verdunstet statt Lösungsmittel. Marktprognosen zufolge soll sich zwischen 2021 und 2027 der Anteil des Dispersionsverfahrens allein in Chinas PU-Kunstlederproduktion etwa versechsfachen. Evonik fördert diesen Trend mit Produkten für das Verfahren.

Jedoch war in der Vergangenheit die Herstellung einer auf wässrigen PU-Dispersionen basierenden Schaumschicht in gewünschter Qualität schwierig. Es fehlte an speziell für diese Anwendung optimierten Schaumstabilisatoren. Entwickler aus dem Evonik-Geschäftsgebiet Comfort & Insulation haben an dieser Stelle angesetzt, um mit ihren Schaumadditiven mit dem Markennamen Ortegol P die technologische Lücke zu füllen. Außerdem verbessern sie bei der Herstellung des Kunstleders deutlich die Energie-, Rohstoff- und Emissionsbilanz und basieren zu 100 Prozent auf pflanzlichen Rohstoffen.

UV-SCHUTZ UND DECKSCHICHT IN EINEM

Zugleich arbeitet Evonik im Chemiepark Marl an weiteren alternativen Technologien. „Es geht auch ganz ohne Wasser“, sagt Denis Pukrop. Er hat im Geschäftsgebiet Crosslinkers ein Verfahren mitentwickelt, mit dem sich die PU-Deckschicht moderner Kunstleder effizient, einfach und umweltverträglich aus Reaktivsystemen auftragen lässt. In einigen Industrien ist das sogenannte 2K-Verfahren schon gang und gäbe. So nutzen es metallverarbeitende Unternehmen zum Beispiel, um Bleche widerstandsfähig zu beschichten. →

ORTEGOL® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.



Ein achtel bis ein viertel Millimeter dick ist die Schicht, die mit der Rakel auf dem Prüfmaterial verteilt wird.

Nachdem die Schicht aufgetragen wurde, trocknet sie auf der Heizplatte (links im Bild) für fünf Minuten. In der Produktion erledigen Maschinen diese Schritte am laufenden Band.

2K steht für „zwei Komponenten“: Die chemischen Reaktionsbausteine für lange Kunststoffmoleküle werden flüssig vermischt und aufgetragen, um die Polymerisation auf dem Trägermaterial in Gang zu setzen. „Man kennt das von Zweikomponentenklebern aus dem Baumarkt“, sagt Pukrop. „Sobald die Partien verrührt sind, startet die Polymerisation, und die Mischung härtet aus.“ Beim Polyurethan werden dazu Polyole – drei- und höherwertige Alkohole – eingesetzt, die mit dem richtigen Crosslinker zu einem Netz aus langkettigen Polyurethanmolekülen aushärten.

Im 2K-Verfahren entsteht binnen Minuten eine Kunststoffschicht auf dem Trägermaterial, ohne dass Wasser oder Lösemittel entfernt werden müssten. „Um den Prozess zu beschleunigen, reicht eine viel kürzere Zeit im Ofen mit entsprechend niedrigem Energieeintrag“, sagt Pukrop. Ein Schlüsselprodukt dazu ist Vestanat IPDI, chemisch ausgedrückt cycloaliphatisches Isophorondiisocyanat, das die Trocknung und Härtung solcher Beschichtungen verbessert. Auch im Dispersionsverfahren spielt es deshalb eine wichtige Rolle. Ganz nebenbei macht es die Beschichtung licht- und wetterstabil. „Man könnte also den UV-Schutz gleich in die Deckschicht einbauen und sich eine zusätzliche Schutzlackierung sparen“, erklärt Pukrop. Weiterer Pluspunkt: Evonik bietet das Produkt – wie inzwischen all seine Isophoronprodukte aus Herne – aus erneuerbaren Rohstoffen an. Die Ökobilanz weist im obigen Beispiel einen Anteil von 75 Prozent erneuerbarem Kohlenstoff aus.

ES GEHT NOCH EINFACHER

Das von Evonik speziell für die Kunstlederproduktion optimierte 2K-Verfahren bietet Vorteile für Effizienz und Nachhaltigkeit. Und doch hat es einen Haken. Die Handhabung ist vor allem in der Lackindustrie etabliert, für die Hersteller von Kunstleder ist sie jedoch neu und unter anderem wegen der Reaktivität der Komponenten nicht ganz einfach. Da die Reaktion automatisch beginnt, ist gutes Timing wichtig. Einmal angemischt, ist die Verbindung der zwei Komponenten nicht mehr zu stoppen. „Bei einem Produktwechsel fallen somit Reste an, was Abfall und Kosten produziert“, erklärt Pukrop.

Der Experte hat daher ein weiteres Verfahren für die Kunstlederherstellung fit gemacht. Im sogenannten 1K-Verfahren wird nur eine Komponente eingesetzt. Darin sind die gleichen Bestandteile wie beim 2K-Verfahren bereits vorgemischt. Sie lassen sich zusammen transportieren und problemlos handhaben. Der Trick: Die Polymerreaktion wird chemisch blockiert. Erst durch ein kurzes Erhitzen auf 130 bis 150 Grad löst sich die Blockierung, und die Polymerisation beginnt. Evonik bietet derart blockierte Vernetzer bereits für andere Industrien an – für Pulverbeschichtungen zum Beispiel. Das neu patentierte Verfahren wurde für die Kunstlederproduktion optimiert, etwa um besonders flexible und dehnbare Beschichtungen zu ermöglichen. „Für die Hersteller heißt das außerdem, dass sie nicht so viel Neues in der Handhabung lernen müssen und weniger an ihren Produktionsprozessen umzurüsten brauchen“, erklärt Guido Streukens, Leiter der Anwendungstechnik für Vestanat in Marl. Das Blockierungsmittel gibt beim Lösen der Blockierung lediglich Alkohol in kleinen Mengen frei.

Griffig, weich und täuschend echt: Modernes Kunstleder ist oft nur schwer von tierischem Leder zu unterscheiden.

Noch beginnt die Branche erst damit, lösemittelbasierte Verfahren in größerem Stil durch wasserbasierte zu ersetzen. Und auch das 2K-Verfahren wird bislang in wenigen, speziellen Anwendungen eingesetzt. Aber die Vorteile der modernen 1K-Technik summieren sich: kein Einsatz von Lösemitteln, drastisch geringerer Wasser- und Energieverbrauch als beim Dispersionsverfahren und noch weniger Produktionsaufwand und Abfälle als beim 2K-Prozess. Könnte gut sein, dass sich wegen solcher guten Gründe bald neben Tesla, Stella und Peta viel mehr Freunde des veganen Leders finden werden.

Tom Rademacher ist freier Journalist in Köln. Er schreibt unter anderem über Wissenschafts- und Industriethemen.

VESTANAT® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

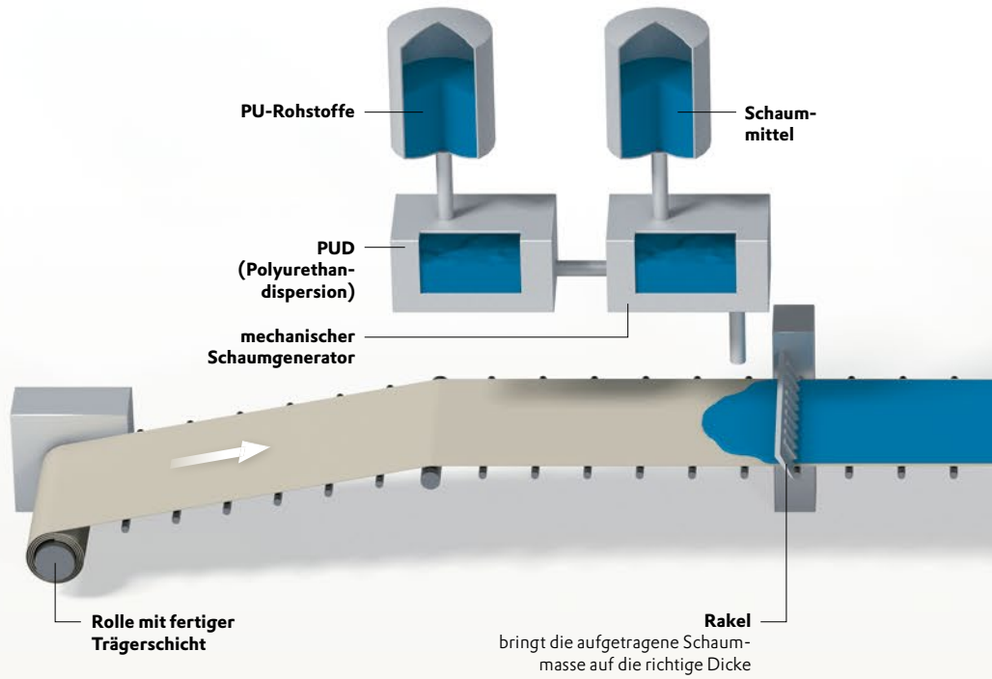
In bester Lage

Modernes Kunstleder besteht aus verschiedenen Schichten. Gerade beim hochwertigen Lederimitat auf Polyurethan-Basis machen Spezialitäten von Evonik den Herstellungsprozess nachhaltiger.

INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**

PERFEKTER SCHAUM

Evonik liefert wichtige Bestandteile für den Kunststoff und zudem Additive, die zum Beispiel die exakte Porengröße im erzeugten Schaum gewährleisten.



1. DIE SCHAUMSCHICHT

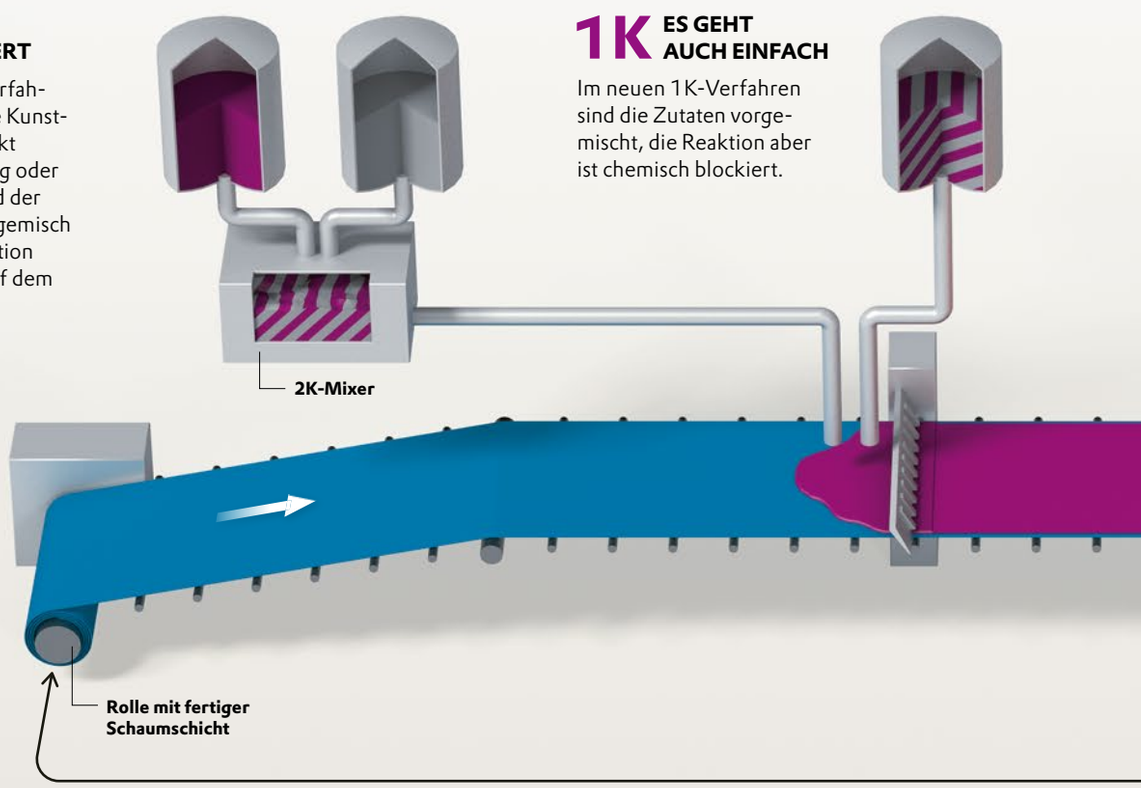
Für das griffige Gefühl von Leder kommt geschmeidiger Schaumstoff auf eine Textilbahn. Das geht heute auch mit Wasser statt aggressiven Lösemitteln.

2K DIREKT POLYMERISIERT

Im Zweikomponentenverfahren (2K) werden flüssige Kunststoffzutaten vor Ort direkt gemischt. Statt als Lösung oder wässrige Dispersion wird der Kunststoff als Reaktionsgemisch aufgetragen. Polymerisation und Aushärten finden auf dem Träger selbst statt.

1K ES GEHT AUCH EINFACH

Im neuen 1K-Verfahren sind die Zutaten vorgemischt, die Reaktion aber ist chemisch blockiert.

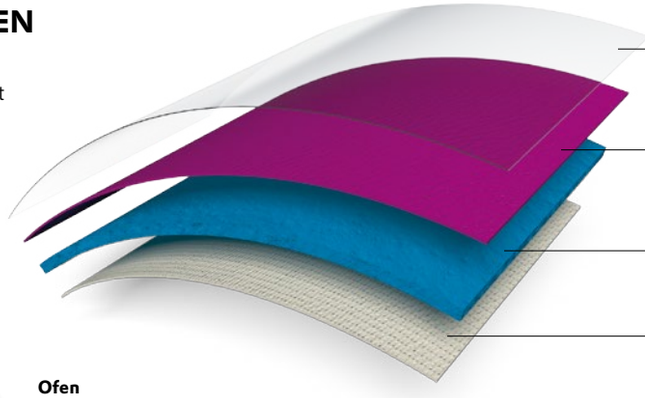


2. DIE HAUTSCHICHT

Die Färbung und eine lederähnliche Oberfläche kommen erst mit der Hautschicht auf den Schaum. Von Evonik entwickelte 2K- und 1K-Systeme ermöglichen das ganz ohne Lösemittel oder Wasser.

VIER SCHICHTEN

Im Wesentlichen besteht Kunstleder heute aus Kunststoffschichten, die nach und nach auf ein meist gewebtes Trägermaterial aufgebracht werden.

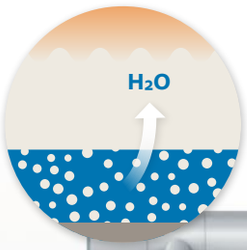


Decklack
- Eine transparente PU-Lackierung schützt vor Umwelteinflüssen.
- Additive sorgen für das perfekte Finish.

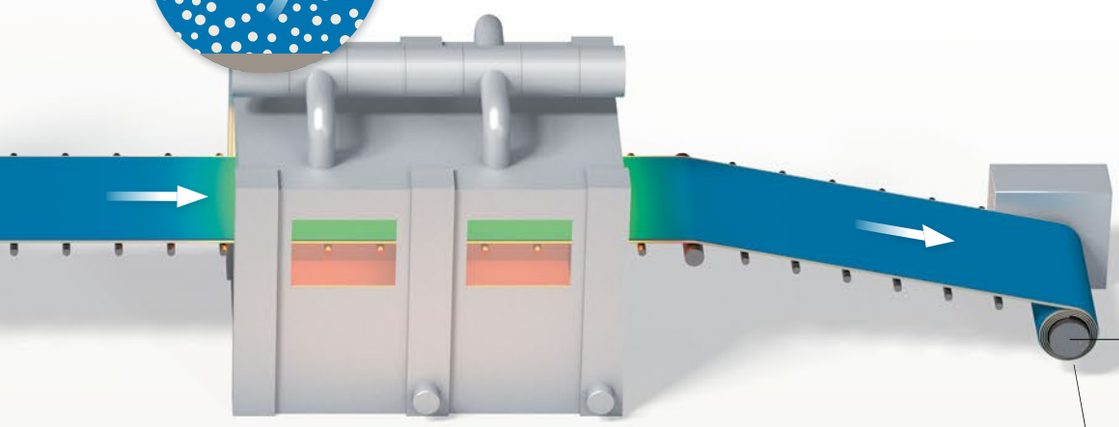
Hautschicht
- Oberflächenstruktur und Farbe werden als eine PU-Lackierung aufgetragen.
- Vernetzer und Additive machen sie besonders robust.

Schaumschicht
- Hilfsstoffe, Additive und Katalysatoren sorgen für einen geschmeidigen und griffigen PU-Schaum.

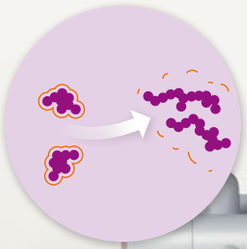
Textile Trägerschicht
- Ein gewebtes Textilmaterial gibt dem Kunstleder seine Reißfestigkeit.



Ofen
Das Material wird bei 60 bis 120 °C getrocknet. Beim wasserbasierten Prozess kann das mehr als eine Stunde dauern.

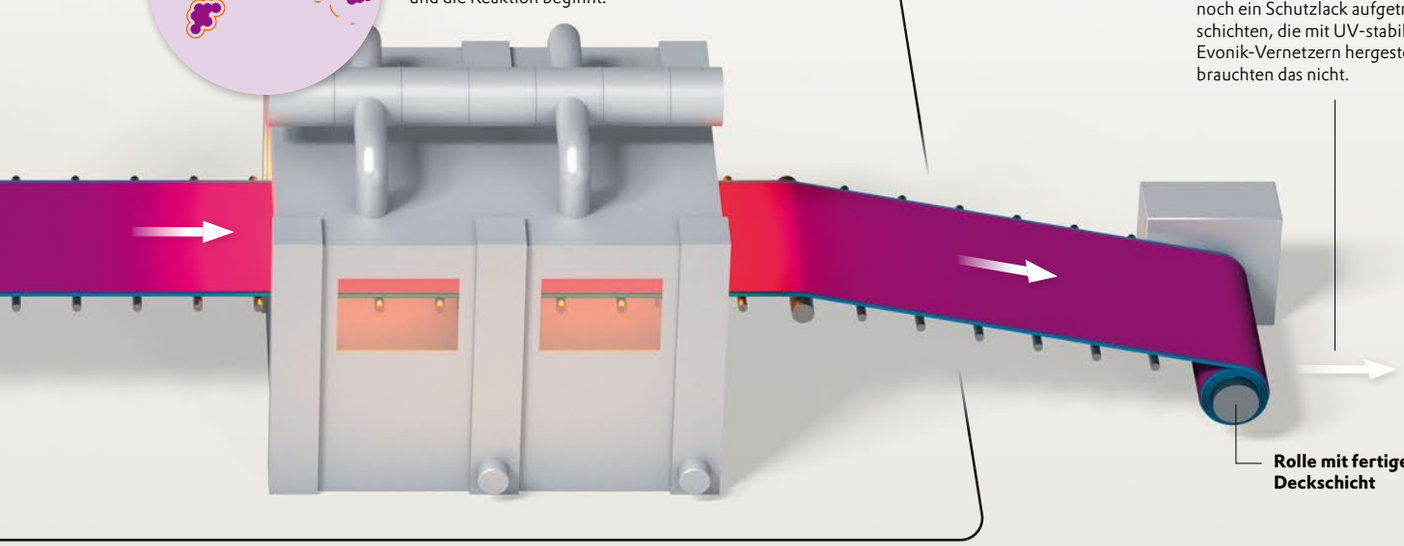


Rolle mit fertiger Schaumschicht



Ofen
Beim 2K-Verfahren beschleunigen wenige Minuten im Ofen die Reaktion. Beim 1K-Verfahren löst ein kurzes Erhitzen im Ofen die chemische Blockade, und die Reaktion beginnt.

Weiterverarbeitung
Nach der Hautschicht wird bislang noch ein Schutzlack aufgetragen. Deckschichten, die mit UV-stabilisierenden Evonik-Vernetzern hergestellt würden, brauchten das nicht.



Rolle mit fertiger Deckschicht

Spektakulärer Stadtstaat

Vor 200 Jahren war Singapur ein Fischerdorf. Heute ist es eine pulsierende Metropole mit fast sechs Millionen Einwohnern. Der südostasiatische Stadtstaat liegt strategisch günstig an den Schnittstellen wichtiger Schiffs- und Flugrouten. Zudem gilt er als einer der technisch fortschrittlichsten und grünsten Orte der Welt.

TEXT **CAROLA HOFFMEISTER**

Wie riesige Urzeitmuscheln liegen die beiden Gewächshäuser des Erholungsgebiets Gardens by the Bay auf einer dem Meer abgerungenen Insel südöstlich des Stadtzentrums. Im benachbarten Hafen herrscht auch nachts geschäftiges Treiben. Er ist der zweitgrößte der Welt, nach dem der chinesischen Metropole Schanghai. Der Zustand der Weltwirtschaft lässt sich wie unter einem Brennglas beobachten: Liegen während wirtschaftlicher Flauten zuweilen Hunderte Frachtschiffe auf Reede, ist der Hafen dem Ansturm zuletzt kaum nachgekommen. Umschlagplätze gibt es auf mehreren Inseln. Rund 30 Kilometer von der zentralen Hafenpromenade entfernt liegt Jurong Island, ein Zentrum der Energie- und Chemieindustrie, in dem Evonik mit zwei großen Produktionsanlagen vertreten ist.

Über Generationen haben die Einwohner Singapurs das traditionelle Streetfood in sogenannten Hawker Centres perfektioniert – Ansammlungen von Schnellrestaurants unter einem Dach, die seit 2019 zum immateriellen Kulturerbe der UNESCO gehören. In fast jedem Hawker Centre gibt es einen Stand mit Hainan Chicken Rice, einem Gericht aus Südchina. Das Angebot der Garküchen ist so gut, dass einige vom Guide Michelin ausgezeichnet wurden. Evonik trägt aus lokaler Produktion zu einer besonders nachhaltigen Erzeugung von Hühnerfleisch bei. In Singapur stellt das Unternehmen Metamino her. Die Aminosäure senkt den Rohproteingehalt im Hühnerfutter und entlastet so den Organismus der Tiere. Die Anlage in Singapur ist die größte von weltweit dreien im Konzern.

MetAMINO® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

阿仔海南鷄飯
AH-TAI HAINANESE CHICKEN RICE
STALL NO. 7
咖喱角
CURRY PUFF

Das 1887 im Kolonialstil errichtete Hotel wurde nach dem Gründer der britischen Niederlassung, Sir Thomas Stamford Raffles, benannt und gilt als erstes Haus am Platz. In der historischen Long Bar wurde einst der berühmte Cocktail Singapore Sling kreiert, die prächtigen Suiten bewohnten Gäste wie Charlie Chaplin, Elisabeth II. oder Michael Jackson. Dass die Fassade des Nationaldenkmals immer strahlend weiß glänzt, erfordert regelmäßige Pflege. In einer zweieinhalbjährigen Renovierung wurde kürzlich die Pracht des Raffles Hotel wiederhergestellt. Besonders lange hält der Anstrich von Gebäuden in tropischen Regionen mit Farben und Lacken, die Additive der Evonik-Marke Tego enthalten.

INFINAM® und TEGO® sind eingetragene Marken der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

Singapur ist, anders als die meisten Megacitys, ein Paradies für Radfahrer. Die Biker sausen abseits vom lärmenden Autoverkehr auf gut ausgebauten Wegen von einem Park zum nächsten und genießen die Aussicht auf Hafen und Skyline. Möglich ist dies dank des Park Connector Network, eines 300 Kilometer umfassenden Netzwerks von Wander-, Jogging- und Radwegen, das Singapurs Erholungsflächen miteinander verbindet. Bei einem Ausflug ins Grüne darf das richtige Fahrradzubehör nicht fehlen. 3D-gedruckte Produkte aus Hochleistungsmaterialien der Evonik-Linie Infinam verheißen eine strapazierfähige Qualität, wie sie auch für den Outdoorsport nötig ist – insbesondere bei hohen Temperaturen.

In Singapur blüht und rankt es in mehr als 300 Gärten und Parks – eine Pracht, die der Metropole den Titel „grünste Stadt Asiens“ einbrachte. Um zur grünsten Stadt der Welt aufzusteigen, unterstützt die Regierung Projekte wie das Erholungsgebiet Gardens by the Bay mit seinen spektakulären Glaskonstruktionen: Der 1,28 Hektar große Flower Dome beheimatet mehr als 32.000 Pflanzen aus gemäßigten Regionen. Im kleineren Cloud Forest Dome blühen Orchideen auf einem Nebelberg in der Nähe eines Wasserfalls. Dekorative Zementwände im dort gelegenen chinesischen Garten halten dem feuchtwarmen Klima dank Korrosionsschutzmitteln wie Protectosil von Evonik stand.

Protectosil® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

FOKUS

Evonik hat seine Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Singapur 2018 durch ein Forschungszentrum mit dem Schwerpunkt Ressourceneffizienz erweitert. Dort werden Innovationen in den Bereichen Funktionsoberflächen und additive Fertigung vorangetrieben. Auf der Insel Jurong betreibt der Spezialchemiekonzern außerdem eine Großanlage zur Produktion von Methionin. Mithilfe dieser Aminosäure lässt sich die Ernährung von landwirtschaftlichen Nutztieren gesund, effizient und umweltschonend gestalten.

Evonik-Standorte
1 Nordic European Centre
2 Jurong Island
3 Jurong Island
4 Tuas
5 Tuas
6 Biopolis

An

6

Standorten arbeiten

700

Mitarbeiter.

Weg nach oben: Andrew Kincannon, Leiter des Evonik-Testzentrums für Hydroprocessing-Katalysatoren, auf dem Firmengelände in Little Rock (Arkansas).

RAFFINIERTE LÖSUNG

Eine neue Technologie soll bei der Transformation des Energiesektors helfen und zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft beitragen. Das Evonik-Verfahren reduziert Abfall und Treibhausgasemissionen durch die Verjüngung ausgedienter Katalysatoren in Ölraffinerien. Als Nächstes könnte der Einsatz bei Biokraftstoffen folgen.

TEXT **NORBERT KULS**

Jim Seamans, im Evonik-Geschäftsbereich Catalysts Leiter RD&I für Nord- und Südamerika, hat die Technologie mitentwickelt, mit der sich verbrauchte Katalysatoren vielfältiger Art zu neuwertigen aufbereiten lassen.

Little Rock war schon einmal Schauplatz einer historischen Transformation. Ende der 1950er-Jahre kam es in der Hauptstadt des US-Bundesstaats Arkansas zu einem Schlüsselmoment in der Geschichte der amerikanischen Bürgerrechtsbewegung. Die Little Rock Central High School zählte zu den ersten Schulen, an denen die Rassentrennung aufgehoben werden sollte. Zuvor hatte der Oberste Gerichtshof entschieden, dass eine getrennte Unterrichtung schwarzer und weißer Kinder an öffentlichen Schulen gegen die Verfassung verstoße. Neun afroamerikanische Schülerinnen und Schüler standen im September 1957 einem rassistischen weißen Mob und der Nationalgarde von Arkansas gegenüber, die die Eingänge der bis dahin ausschließlich von weißen Jugendlichen besuchten Schule blockierten. Schließlich entsandte Präsident Eisenhower Bundestruppen zum Schutz der Schülerinnen und Schüler. Heute ist die Oberschule ein National Historic Site, eine historische Gedenkstätte, an der ein Museum an die damaligen →

Verbrauchte Katalysatoren sind schwarz von Koks und Schwefel. Frische und verjüngte Katalysatoren haben unterschiedliche Farben.

»Es ist ein gutes Gefühl, mit unserer Verjüngungstechnologie etwas bewegen zu können.«

ANDREW KINCANNON, LEITER DES TECHNIKUMS IN LITTLE ROCK

Auseinandersetzungen erinnert. Zu Ehren der „Little Rock Nine“ gibt es zudem am Arkansas State Capitol, dem Sitz der Regierung des Bundesstaats, eine Bronzeskulptur mit Gedenktafel.

Gerade mal 15 Autominuten von diesem Wahrzeichen im Stadtzentrum von Little Rock entfernt, in einem einstöckigen ehemaligen Lagerhaus mit weißer Fassadenverkleidung und Evonik-Logo in Deep Purple, arbeitet ein Team aus Chemieingenieuren an einer weiteren historischen Transformation. Es ist ein Vorhaben, mit dem wir eine der größten Herausforderungen unserer Zeit bewältigen könnten: den Klimawandel. Das Team hat ein Verfahren entwickelt, das bei der Energiewende helfen könnte, indem es Treibhausgasemissionen senkt und den Weg für eine Kreislaufwirtschaft freimacht.

Bei dieser neuesten Transformation dienen als Katalysatoren chemische Hilfsmittel, die in Raffinerien verwendet werden, um in einem als Hydrotreating bezeichneten Prozess Schwefel oder Stickstoff aus Rohölprodukten wie Naphtha, Benzin oder Diesel zu entfernen. Eines Tages

»Kunden können die gleiche Katalysatorleistung zu einem niedrigeren Preis und mit einem kleineren CO_2-Fußabdruck bekommen.«

GUILLAUME VINCENT, LEITER DES EVONIK-GESCHÄFTSSEGMENTS HYDROPROCESSING-KATALYSATOREN

Zaubertrommel: Bei der Imprägnierung werden aktive Metalle wie Molybdän, die Rohöl entschwefeln, gelöst und auf dem Katalysatorträger neu verteilt.

könnte diese Technologie auch auf breiter Basis bei biobasierten Rohstoffen wie Pflanzenöl angewendet werden.

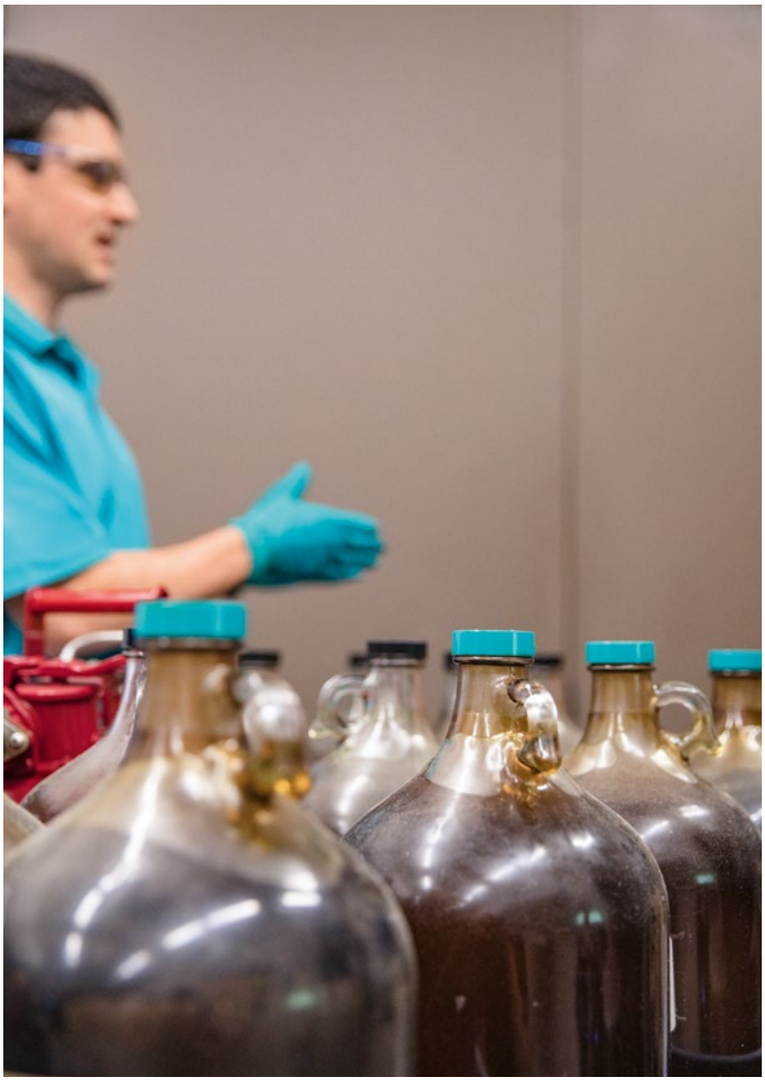
„Alles dreht sich um die Energiewende", sagt Jim Seamans, Leiter RD&I für den Geschäftsbereich Catalysts von Evonik in Nord- und Südamerika. Diesen Eindruck hat er kürzlich auf der AFPM-Jahrestagung gewonnen, der größten Branchenkonferenz amerikanischer Hersteller von Kraftstoffen und petrochemischen Erzeugnissen. „Früher interessierten sich die Konferenzteilnehmer vor allem für Sicherheitsaspekte und neue Entschwefelungsverfahren. Heute geht es um die Frage, wie wir eine auf fossilen Brennstoffen basierende Industrie so umbauen können, dass mehr erneuerbare Rohstoffe zum Einsatz kommen, denn die Öffentlichkeit erwartet, dass wir den Klimawandel eindämmen."

Seamans spielt eine entscheidende Rolle bei dieser Wende. Zusammen mit seinem in Deutschland tätigen Kollegen Guillaume Vincent, Evonik-Geschäftssegmentsleiter für Hydroprocessing-Katalysatoren (HPC) und -Services, hat er eine innovative Technologie erfunden, die zahlreiche unterschiedliche Katalysatortypen am Ende ihrer Nutzungszeit „verjüngen" kann. Nach ihrer „Verjüngungskur" sind diese Katalysatoren neuwertig, manchmal sogar leistungsfähiger als im Ursprungszustand.

WERTVOLLE METALLE REAKTIVIEREN

Seamans und Vincent haben das Verfahren bei Porocel entwickelt, einem amerikanischen Katalysatorspezialisten, den Evonik im November 2020 für 210 Millionen $ übernommen hat, um ihr Katalysatorgeschäft auszubauen. Die Excel-Rejuvenation-Technologie macht bisherige Recyclingprozesse zur Rückgewinnung der wertvollen Metalle in den Katalysatoren überflüssig. Dadurch werden die Ausbeutung natürlicher Ressourcen, Abfall und Treibhausgasemissionen erheblich reduziert. Das Verfahren – eine Art Jungbrunnen für verbrauchte Katalysatoren – könnte im Zuge der nachhaltigen Transformation der Energiewirtschaft auf große Nachfrage stoßen. →

Excel® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.



Produktentwicklungsingenieur Dan Miskin
mit Rohölbehältern im Testzentrum

Neue Katalysatorstränge fallen zum Trocknen auf ein Förderband.

Seamans gehört zu einer Gruppe erfahrener ehemaliger Porocel-Mitarbeiter, die jetzt für Evonik arbeiten. Der Chemieingenieur mit MBA-Abschluss war früher für den Energieriesen Shell tätig und hat bereits damals Verjüngungstechnologien für das Katalysatorgeschäft mitentwickelt.

Das Konzept ist im Prinzip nicht neu. Mitbewerber wie Albemarle, einer der weltweit größten Hersteller von Hydroprocessing-Katalysatoren, verjüngen ihre Produkte schon seit Jahren. Die Technologie von Evonik sticht jedoch heraus, weil sie bei zahlreichen Katalysatoren unterschiedlicher Hersteller angewandt werden kann. „Wir hatten die Idee, eine vollkommen eigenständige Verjüngungstechnologie zu entwickeln“, sagt Vincent. Den Anstoß dazu gab der Bedarf von Kunden weltweit.

Porocel wurde 1937 als Joint Venture von Atlantic Richfield und Standard Oil of New Jersey gegründet und kann an den Produktionsstandorten in Singapur, Luxemburg und Kanada sowie in Lafayette (US-Bundesstaat Louisiana) Katalysatoren verjüngen. „Eine Präsenz auf mehreren Kontinenten ist sinnvoll, denn wir arbeiten mit Raffinerien aus der jeweiligen Region. Und verbrauchte Katalysatoren kann man nicht einfach mal eben so um die Welt transportieren“, sagt Seamans.

BUNTE MISCHUNG

Das ehemalige Lagerhaus am Stadtrand von Little Rock ist das Herzstück des Geschäfts. Dort sind die Pilotanlage und das Testzentrum für die Verjüngung von Katalysatoren untergebracht. Die Begeisterung, Teil einer größeren Veränderung zu sein, ist überall spürbar. „Es ist ein gutes Gefühl, etwas bewegen zu können“, sagt der Chemieingenieur Andrew Kincannon, der das Technikum in Little Rock leitet.

Beim Rundgang durch die Labore weisen Seamans und Kincannon auf Messbecher und Vorratsbehälter hin, deren Inhalt an Steinchen oder Perlen aus dem Bastelladen erinnert: blaue, weiße, grüne, schwarze und beige Katalysatoren, manche länger, manche kürzer. Die verschiedenen Farben werden von einem Mix „aktiver“ Metalle wie Molybdän, Wolfram, Nickel oder Kobalt hervorgerufen. Die Metalle befinden sich auf einem hochporösen Aluminiumoxidträger, der an einen trockenen Schwamm erinnert. Diese Struktur dient dazu, seine Oberfläche zu vergrößern (siehe Infografik auf der rechten Seite).

In einem röhrenartigen Reaktor werden die Partikel auf einer weißlichen keramischen Aluminiumoxidbasis aufgeschichtet. In der Branche bezeichnet man diesen Reaktortyp als Festbettreaktor, weil die Katalysatorpartikel fixiert sind. Oben auf diesem aufgeschichteten Partikelturm befinden sich andere perlenartige Objekte in drei-

flügeliger Form oder als Hohlzylinder. Ihre Rolle besteht darin, während des Raffinerieprozesses Verunreinigungen zu entfernen, etwa in Kokernaphtha vorkommendes Silizium oder Arsen, das manchmal im Rohöl enthalten ist. Die Rohölprodukte fließen schließlich durch den Rohrreaktor, und die Katalysatoren entfernen Schwefel und Stickstoff.

Nach einer Weile verliert der Katalysator aber seine Wirkung. Schwefel und kohlenstoffreicher Petrolkoks sammeln sich an den Metallen und verstopfen die Poren. Zudem verändert sich die Verteilung der katalytisch aktiven Substanzen. „Im Katalysator beginnt eine Agglomeration der Metallpartikel“, sagt Kincannon. „Die schwefelhaltigen Bestandteile des Rohöls können nicht mehr zu diesen aktiven Zentren gelangen.“

WIE VON ZAUBERHAND

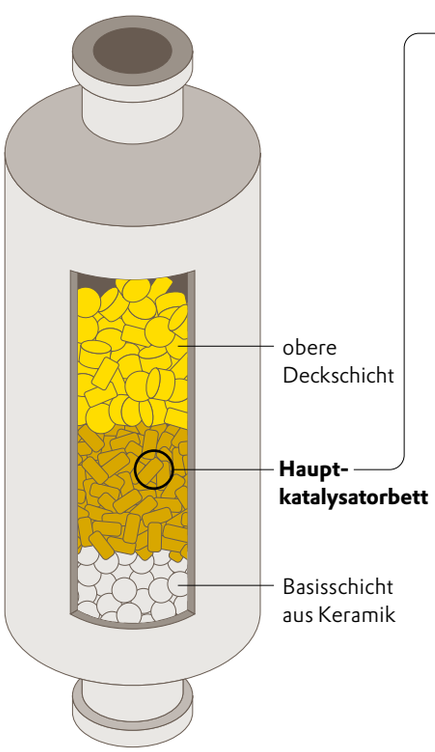
Ein Raffineriebetreiber hat dann zwei Möglichkeiten. Er kann den verbrauchten Katalysator durch einen frischen ersetzen. Oder er kann sich für eine Verjüngung entscheiden und bis zu 70 Prozent der Kosten sparen. Bei einer Raffinerie, die eine halbe Million $ für einen Katalysator ausgibt, bedeutet das eine Ersparnis von 350.000 $. Die Excel-Verjüngung erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. In einem ersten Schritt, der sogenannten Regenerierung, werden Schwefel- und Kohlenstoffablagerungen schonend verbrannt. Doch mit dieser bewährten Methode lassen sich nur rund 65 bis 85 Prozent der ursprünglichen Leistung des Katalysators wiederherstellen. „Man erreicht auf diese Weise nicht die volle Aktivität, weil die Agglomeration nicht aufgelöst werden kann und die Metalle daher nicht neu verteilt werden“, erklärt Kincannon.

Der zweite Schritt ist die eigentliche Verjüngung, die die Leistung des Katalysators fast vollständig wiederherstellt. Und das geht so: Evonik gibt patentgeschützte Hilfsstoffe in die regenerierten Katalysatoren. Dadurch sollen sich die Metalle wieder neu verteilen, also an die richtigen Stellen gelangen. Der „magische Moment“, wie es das Team in Little Rock nennt, findet in der Imprägniertrommel statt, einem runden Stahlbehälter, der wie →

(FAST) SO GUT WIE NEU

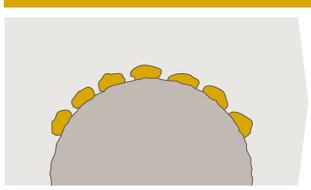
Wie das Verjüngungsverfahren Katalysatoren ein zweites Leben schenkt

AUFBAU DES REAKTORS



ARBEITSWEISE UND AUFBEREITUNG

REGENERIERUNG

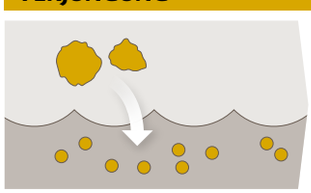


1. Neuer Katalysator
Metalle wie Molybdän oder Wolfram bilden **aktive Zentren** auf einem porösen Untergrund aus **Aluminiumoxid.** Je gleichmäßiger die Zentren verteilt sind, desto besser die Leistung.

2. Verbrauchter Katalysator
Die Metalle sorgen dafür, dass Schwefel aus dem Öl entfernt wird, das durch den Katalysator läuft. Dies führt zu **Koksablagerungen.** Aktive Zentren verbinden sich mit der Zeit zu **Haufen,** wodurch die Reaktionsfähigkeit sinkt.

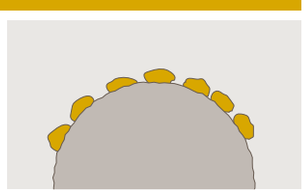
3. Regenerierter Katalysator
Im Zuge der Regeneration werden Koks und Schwefel schonend abgebrannt. Die Metalle bleiben jedoch in der **Haufenform.** Dadurch erreicht der regenerierte Katalysator nur 65 bis 85 Prozent der ursprünglichen Leistungsfähigkeit.

VERJÜNGUNG



4. Imprägnierung
Beim Excel-Prozess wird eine wässrige Lösung, die **chelatisierende Mittel** enthält, auf den regenerierten Katalysator aufgetragen, um Metallagglomerate aufzulösen und die aktiven Zentren neu zu verteilen.

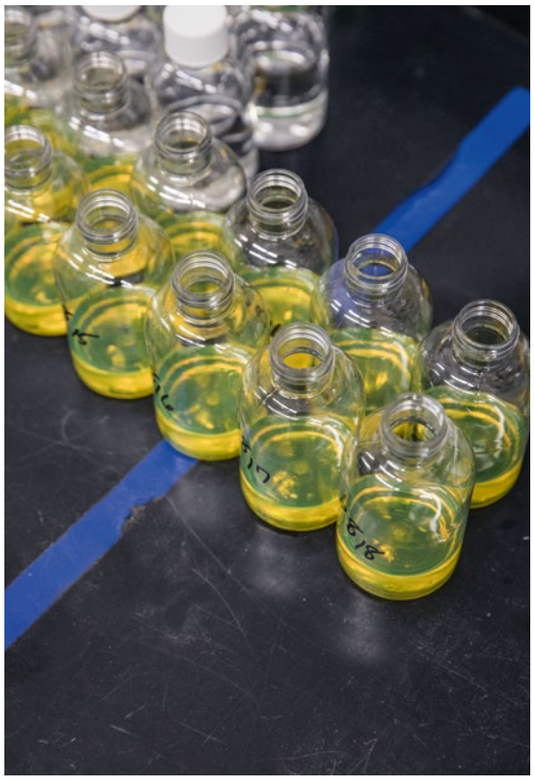
5. Trocknung
Der Katalysator wird getrocknet, um einen **Teil der wässrigen Lösung** zu entfernen.



6. Verjüngter Katalysator
Am Ende sind die **aktiven Zentren** wieder fast genauso verteilt wie am Anfang. Dies führt zu einer fast vollständig wiederhergestellten Leistungsfähigkeit des Katalysators.

Excel® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

Der Ingenieur Dan Miskin kontrolliert im Testzentrum einen Reaktorskid – eine Raffinerie im Miniaturformat. Unten: Flaschen mit entschwefeltem Kraftstoff, der den Katalysator passiert hat



eine überdimensionale Weinkaraffe aussieht. Die Metalle werden in einer wässrigen sauren Flüssigkeit gelöst, die auf den Träger aus Aluminiumoxid gesprüht und in seinen Poren absorbiert wird. Schließlich wird eine dünne Schicht aufbereiteter Katalysatoren zum Trocknen auf ein Edelstahlband aufgebracht. „Das ist ein bisschen wie in einem Pizzaofen“, sagt Seamans. Bei diesem Prozess werden die Metalle neu verteilt. Dabei wird der ursprüngliche Zustand fast wiederhergestellt.

Je nach Verteilung haben verjüngte Katalysatoren sogar eine höhere Leistungsfähigkeit als neue. Verjüngte Katalysatorpartikel sind meist auch etwas kürzer. „Wenn man sie in den Reaktor gibt, vergrößert sich somit das Katalysatorvolumen etwas“, erklärt Seamans.

Im Raffineriebetrieb können die mit Katalysatoren befüllten Reaktoren mehrere Stockwerke hoch sein. Im Testlabor von Evonik in Little Rock spielt sich alles in einem viel kleineren Maßstab ab. Kincannon und sein Team betreiben acht etwa 2,40 Meter hohe Reaktorskids – eine Raffinerie im Miniaturformat. Glasbehälter mit dunkelbraunem Rohöl stehen auf dem Fußboden, auf einem Schrank befinden sich ein Plastikkanister mit hellgelbem Winterdiesel und kleine Flaschen mit einer klaren Flüssigkeit, die mit einem schwarzen Filzstift nummeriert wurden. Ähnliche Flaschen befinden sich ganz unten in den Minireaktoren. Sie fangen den entschwefelten, reinen Kraftstoff auf, nachdem er in einem schlanken, mit Aluminiumfolie und Isoliermaterial bedeckten rund 1,20 Meter hohen Zylinder den Katalysator passiert hat.

Der Prozess wird von einem Leitstand im Nebenraum gesteuert und überwacht. Man braucht genaue Daten, viele Tests und jede Menge Geduld, um die notorisch konservative Ölindustrie davon zu überzeugen, das Verfahren auf breiter Basis einzusetzen. Die Excel-Technologie ist erst vor fünf Jahren auf den Markt gekommen – in dieser Branche eine kurze Zeit. „Der Vorbehalt

Excel® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

gegenüber Technologien, die sich noch nicht bewährt haben, ist sehr groß“, stellt Seamans fest, der am Standort The Woodlands, einem Vorort der amerikanischen Energiehauptstadt Houston (Texas), arbeitet. Eine Raffinerie will keinen teuren Stillstand riskieren, weil ein Katalysator womöglich nicht richtig funktioniert. „Wir haben mehr als 100 Verträge mit Raffinerien abgeschlossen, aber wir müssen unsere Kunden immer noch davon überzeugen, dass unsere Technologie zuverlässig ist und sich rechnet“, sagt er.

Für Guillaume Vincent ist es eine Glaubensfrage. „Das ist wie beim Autokauf. Da muss man sich zwischen einem Neufahrzeug und einem Gebrauchtwagen mit niedrigem Kilometerstand entscheiden, der genauso gut fährt, aber weniger kostet. Manche Kunden wollen einfach keinen gebrauchten Katalysator, selbst wenn sie für weniger Geld und mit einem kleineren CO_2-Fußabdruck die gleiche Leistung wie bei einem frischen Exemplar bekommen könnten.“ Doch nicht alle sind so skeptisch. Für einen europäischen Bestandskunden ist Excel bereits ein wichtiger Teil seiner Strategie zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. „In Europa verkauft sich die Technologie leichter“, sagt Technical Manager Mike Martinez, der ebenfalls in Houston für Evonik tätig ist. Martinez wertet die Prozessdaten bei den Kunden aus, modelliert Katalysatorbetten und Reaktoren und stellt die Vorteile der Technologie bei Kunden und auf Fachkonferenzen vor. „Wir sind dabei, eine Erfolgsbilanz zu erstellen“, sagt er. „Wir haben jede Raffinerie der Welt auf dem Schirm.“

EHRGEIZIGE ZUKUNFTSPLÄNE

Potenzielle Kunden sind nicht nur die großen multinationalen Raffineriebetreiber wie TotalEnergies, BP, Phillips 66 oder Repsol. Excel ist auch eine Option für kleinere, unabhängige Raffinerien, die normalerweise nur regional tätig sind. Die dritte potenzielle Kundenbasis sind staatliche Raffineriebetriebe im Nahen Osten, in Indien und anderen Teilen Asiens. In diesem Jahr möchten Seamans und sein Team auch aktuelle Versuchsdaten veröffentlichen, die die Leistungsfähigkeit der Verjüngungstechnologie unter verschiedenen erschwerten Einsatzbedingungen bestätigen. Dabei werden Parameter wie Temperatur, Druck oder Art der Rohstoffe berücksichtigt.

In Zukunft soll Excel nicht nur bei fossilen Brennstoffen zum Einsatz kommen. Andrew Kincannon zeigt auf einen Plastikbehälter, der eine gelbliche Flüssigkeit enthält. Sie sieht aus wie Diesel, doch es handelt sich um Pflanzenöl. Das ist der nächste Meilenstein, den die Katalysatorexperten von Evonik erreichen wollen. Einige Raffinerien gehen bereits in die Offensive: weg vom Erdöl, hin zu erneuerbaren Treibstoffen. Das US-Unternehmen Phillips 66 etwa plant, eine Rohölanlage in Kalifornien auf erneuerbare Treibstoffe umzustellen. Ab 2024 sollen dort Altspeiseöl und Lebensmittelabfälle verarbeitet werden. Mitbewerber wie Valero, TotalEnergies, Repsol, Chevron oder Marathon haben ebenfalls angekündigt, in Biokraftstoffraffinerien zu investieren.

„Die Möglichkeiten, mit biobasierten Ausgangsstoffen zu arbeiten, sind noch ziemlich begrenzt, denn die meisten Kraftstoffe werden nach wie vor aus erdölbasierten Vorprodukten hergestellt“, sagt der amerikanische RD&I-Chef Seamans. Doch der Anteil erneuerbarer Kraftstoffe steigt. Seamans schätzt, dass bis 2030 bereits 20 Prozent der Kraftstoffe biobasiert sein könnten. „Das ist definitiv ein Wachstumsmarkt. Doch selbst bei ölbasierten Ausgangsstoffen haben wir ein enormes Wachstumspotenzial, das wir noch nicht voll ausschöpfen.“

Vom Rohstoff zum Kraftstoff: Andrew Kincannon, der Leiter des Technikums, mit Proben von dunklem Rohöl und raffiniertem, entschwefeltem Kraftstoff

Norbert Kuls ist Pressesprecher von Evonik in Nordamerika. Zuvor hat er als US-Korrespondent mehrerer deutscher Zeitungen gearbeitet.

Der Bildhauer Antonio Canova verewigte Hebe 1796 in Marmor. Dem Mythos nach verliehen Nektar und Ambrosia der griechischen Göttin der Jugend Unsterblichkeit.

EWIGE JUGEND

TEXT **BJÖRN THEIS**

Können wir uns in Zukunft einfach ein paar zusätzliche Lebensmonate oder gar Jahre anfuttern? Gut möglich – die Suche nach wirksamen Anti-Aging-Nahrungsergänzungsmitteln hat vielversprechende Kandidaten hervorgebracht.

Schon lange forschen Wissenschaftler an Nahrungsmitteln, die ein längeres und aktiveres Leben ermöglichen. Auch Evonik hat sich mit dem Nahrungsergänzungsmittel Medox in einem Markt platziert, der auf Gesundheit und Wohlbefinden abzielt – und will künftig noch tiefer in dieses Thema einsteigen. Besonders aussichtsreiche Ansätze macht die Forschung auf dem Gebiet der sogenannten Senolytika aus. Diese Stoffgruppe sorgt dafür, dass geschädigte Körperzellen sich selbst zerstören. Dadurch wird vermieden, dass sich im Körper Stoffe ansammeln, die Alterungsprozesse auslösen.

DAS DORF DER HUNDERTJÄHRIGEN

Die Sehnsucht nach dem ewigen Leben ist so alt wie die Menschheit. Bereits im Gilgamesch-Epos, einer der ältesten schriftlichen Überlieferungen menschlicher Dichtkunst aus dem zweiten Jahrtausend vor Christus, macht sich König Gilgamesch auf, um ein Kraut zu finden, das den Tod abwendet. Rund 1.200 Jahre später berichtet Homer von Ambrosia, einer unsterblich machenden Speise, die den Göttern der Antike vorbehalten war. Und im dritten Jahrhundert vor Christus entsendet der erste chinesische Kaiser Qin Shihuangdi seinen Hofmagier Xu Fu auf die Suche nach einem Kraut gegen das Altern.

Alles Streben nach ewigem Leben ist erfolglos geblieben, doch es brachte wertvolle Erkenntnisse. 1878 entdeckte der Engländer John Biddulph das im Himalaja versteckte Königreich der Hunza, in dem viele Menschen 100 Jahre und älter wurden. Ursache hierfür war keine göttliche Ambrosia, sondern eine profane Diät aus getrockneten Nüssen und Früchten. Von dieser Ernährungsweise hörte der Schweizer Arzt Maximilian Bircher-Benner, der daraufhin das Birchermüesli erfand.

Erstmals brachte man ein langes Leben mit spezieller Ernährung in Verbindung. Etwa ein Jahrhundert später fand sich ein weiterer Beleg für diesen Zusammenhang. In den südchinesischen Provinzen Guizhou, Sichuan und Guangxi beobachteten Wissenschaftler einen außergewöhnlich hohen Anteil von über 100-Jährigen. Untersuchungen ergaben, dass wohl Jiaoguan, aus dem sich die Menschen hier einen Tee brauen, für das längere Leben verantwortlich ist: Diesem „Kraut der Unsterblichkeit“, das aus der Familie der Kürbisgewächse stammt, werden zahlreiche positive Wirkungen zugesprochen. Es soll Stress abbauen, den Blutzucker senken sowie das Herz und das Immunsystem stärken.

GEZIELTER ZELLTOD

Dank solcher Funde ist man heute sicher, dass die Ernährung einen zentralen Einfluss auf Alterungsprozesse hat. Weltweit suchen Forscherinnen und Forscher nach Nährstoffen, die unser Leben verlängern. An der University of Minnesota in den USA etwa wird die Wirkung sogenannter Flavonoide erforscht. Sie stellen einen Großteil der Blütenfarbstoffe und spielen eine wichtige Rolle im Stoffwechsel vieler Pflanzen. Hierbei stießen die Wissenschaftler auf Fisetin. Der gelbliche Stoff kommt im Perückenstrauch vor, aber auch in Äpfeln, Trauben, Gurken und Erdbeeren. Wissenschaftler vermuten, dass Fisetin ein potentes Senolytikum ist und den Suizid geschädigter Zellen veranlasst, die ansonsten zu Entzündungen führen und Alterungsprozesse verursachen.

Neben Fisetin gibt es weitere aussichtsreiche Senolytika-Kandidaten, beispielsweise Quercetin, ebenfalls ein Flavonoid, das aus Äpfeln, Zwiebeln oder Knoblauch gewonnen werden kann, oder die Alkaloide Piperlongumin, das in einer Pfefferpflanze aus Südostasien vorkommt, und Berberin, einen Inhaltsstoff der Berberitze. Keiner dieser Wirkstoffe wird uns Unsterblichkeit bringen. Allerdings scheint es, dass sie ein längeres und gesünderes Leben ermöglichen könnten. Ein guter Grund für das Foresight-Team der Creavis, sich mit diesen Substanzen zu beschäftigen. So zielt der Inkubationscluster „Prevention & Wellbeing“ der Creavis darauf ab, neue gesundheitsfördernde Produkte zu entwickeln.

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

MEDOX® ist eine eingetragene Marke der Evonik Industries AG oder einer ihrer Tochtergesellschaften.

2 4,0026
He
Helium

»Helium ist unser Zugtier«

PROTOKOLL **KAROLINA FÖST**
FOTOGRAFIE **JÖRG KLAUS**

Dr. Ruud Dirksen ist Physiker und arbeitet am Meteorologischen Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdiensts, wo seit 1905 die Vertikalstruktur der Atmosphäre erforscht wird. Der gebürtige Niederländer leitet dort die In-situ-Sondierungsgruppe.

Nach Wasserstoff ist Helium das zweitleichteste Gas. Diese Eigenschaft machen wir uns beim Deutschen Wetterdienst zunutze. Helium ist unser Zugtier: Es trägt Wetterballone mit Messinstrumenten, sogenannte Radiosonden, in den Himmel.

Helium ist erstaunlich. Auf der Erde kommt das Edelgas äußerst selten vor. Im Weltall hingegen ist es das zweithäufigste Element. Während das Helium im Universum beim Urknall entstand, ist es auf der Erde eine Folge des Älterwerdens unseres Planeten. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall von Elementen wie Uran.

Zweimal am Tag starten an 14 Messstationen des Deutschen Wetterdienstes Radiosonden; hier in Lindenberg bei Berlin sogar viermal täglich. Sie steigen mit einer Geschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde auf und übermitteln alle ein bis zwei Sekunden Informationen zu Lufttemperatur, -feuchtigkeit und -druck sowie zu Windstärke und -richtung. Wir können auch erfassen, wie sich Wolken bilden oder wie sich Saharastaub verteilt.

Beim Start hat der Wetterballon einen Durchmesser von 1,5 Metern. In gut 35 Kilometer Höhe erreicht der Ballon aufgrund des abnehmenden atmosphärischen Drucks eine Ausdehnung von etwa zwölf Metern – und platzt. Die Sonde segelt an einem Fallschirm auf die Erde zurück.

Zugegeben: Als ich beim Deutschen Wetterdienst angefangen habe, fand ich es schwer, mir vorzustellen, dass ein so kleines Instrument so viel leisten kann. Ich hatte zuvor in den Niederlanden an Satellitenprojekten gearbeitet. Heute bin ich fasziniert von der Radiosondierung. Die Daten sind ein großer Schatz. Sie retten Menschenleben, weil wir mit ihnen Hurrikane und andere Unwetter vorhersagen können. Aber sie signalisieren mir auch, ob ich lieber mit dem Fahrrad zur Arbeit fahren sollte oder mit dem Auto.

Impressum

HERAUSGEBER Evonik Industries AG | Christian Schmid | Rellinghauser Straße 1–11 | 45128 Essen | **BERATUNG UND KONZEPT** Manfred Bissinger | **CHEFREDAKTION** Matthias Ruch (V. i. S. d. P.) | **CHEF VOM DIENST** Inga Borg, Christoph Bauer, Deborah Lippmann | **TEXTCHEF** Christian Baulig, Jörg Wagner | **ONLINE-REDAKTION** Mirijam Ankrah| **BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Victor Schirner (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | An der Alster 1 | 20099 Hamburg | **DRUCK** Neef+Stumme premium printing, Wittingen | **COPYRIGHT** © 2022 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 +49 201 177-3315 | E-Mail elements@evonik.com | **BILDNACHWEISE** Cover: Alex Broeckel / Die Illustratoren | S. 3: Kirsten Neumann | S. 4–5: Bloomberg via Getty Images, Jonathon Kambouris / Gallery Stock, Katharina Poblotzki | S. 6–7: Laxxon Medical GmbH | S. 8–9: Getty Images, Paul A. Cziko (2), TU Graz; Infografik: KNSK GROUP | S. 10–19: Reuters / Ivan Alvarado, Ullstein Bild – Lineair / Sebastian Bolesch, Evonik Industries, Robert Eikelpoth, Sylvia Jarrus / The New York Times / Redux / laif, Stefan Wildhirt / Evonik (3), Bloomberg via Getty Images (2); Infografiken: Maximilian Nertinger (2); Illustration: Oriana Fenwick / Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann / Evonik Industries | S. 20–25: Barbra Verbij (2), Bernd Hartung / Agentur Focus, VCG via Getty Images, Imago / ITAR-TASS, Imago / Wolfgang Maria Weber, Imago / Tim Wagner | S. 26–33: Robert Eikelpoth (5), FILK Freiberg Institute gGmbH / René Jungnickel, Picture Alliance / Hendrik Schmidt / dpa-Zentralbild / dpa, Desserto, Stephan Abry; Illustration: Oriana Fenwick / Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Stefan Eisenburger | S. 34–35: Infografik: Maximilian Nertinger | S. 36–43: Thies Raetzke / Laif, Picture Alliance / ANN, Athanasios Gioumpasis / Getty Images, Getty Images, Picture Alliance / Reuters; Illustration: KNSK GROUP | S. 44–51: Katharina Poblotzki (10), Emilie Vincent; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick / Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von privat | S. 53: bpk | Scala; Illustration: Oriana Fenwick / Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann / Evonik | S. 54: Jörg Klaus

elements.evonik.de

»Die Seltsamkeit einer Sache …

… thut demnach das meiste zu Erhöhung ihres Preißes“, schrieb 1672 der deutsche Naturrechtsphilosoph, Historiker und Völkerrechtslehrer Samuel von Pufendorf. Er erkannte schon zu Beginn des Zeitalters der Aufklärung, dass ein begehrtes Gut umso teurer wird, je weniger davon vorhanden ist.

Dreieinhalb Jahrhunderte später erleben wir, wie die stockende Versorgung mit Energieträgern und anderen Rohstoffen zu Preissprüngen führt. Zugleich schafft die Knappheit Anreize, Technologien zu entwickeln, mit denen sich für die Energiewende kritische Materialien wie Lithium wiederverwerten lassen – und die die teure sowie umweltschädliche Förderung neuer Rohstoffe langfristig überflüssig machen.