


ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



Saubere Leistung

1/2019

**Raumfahrt, Halbleiter, Kosmetik: Wie Wasserstoffperoxid
Prozesse effizienter und umweltverträglicher macht → S. 10**

Erdgas: Die Membranexperten aus Schörfling → S. 34

Umwelt: Strom aus Abwärme → S. 50

Wasserstoffperoxid

Vielseitige Verbindung

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist eine klare, farblose Flüssigverbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff. Entdeckt wurde es 1818 von Louis Jacques Thénard, als dieser Bariumperoxid mit Salpetersäure reagieren ließ. Seitdem dient Wasserstoffperoxid als starkes Oxidationsmittel. Es wird zur Herstellung von Bleichmitteln verwendet, zum Beispiel von Papier, Textilien oder Haaren. Darüber hinaus dient es als Desinfektions- und Reinigungsmittel im Haushaltsbereich. Wasserstoffperoxid wird zu Wasser und Sauerstoff abgebaut.

Louis Jacques Thénard: französischer Chemiker, 1777–1857

Bariumperoxid (BaO₂): chemische Verbindung von Barium und Sauerstoff

Salpetersäure (HNO₃): Sauerstoffsäure des Stickstoffs

Oxidationsmittel: Element oder Verbindung, die andere Stoffe oxidiert, indem sie Elektronen aufnimmt



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

wenn Brünette plötzlich blond sind, wenn Zähne, Papier und Wäsche wieder strahlend weiß werden, dann ist der Tausendsassa unter den Molekülen am Werk: Wasserstoffperoxid, kurz H_2O_2 . Diese Verbindung aus zwei Wasserstoff- und zwei Sauerstoffatomen kommt farblos und unscheinbar daher, ist aus vielen Anwendungen aber gar nicht mehr wegzudenken. Besonders spektakulär: der Einsatz als Treibstoff in der Raumfahrt. Jede Sojus-Rakete hat heute H_2O_2 an Bord, um die Turbopumpen beim Start anzutreiben. Grund genug, einen Blick auf die Zukunft der Raumfahrt zu werfen. Wer könnte dies besser als Jan Wörner, der Chef der Europäischen Weltraumagentur ESA?

Kennen Sie Schörfling? Ein netter kleiner Ort am Rande der österreichischen Alpen, direkt am Attersee. Und die Weltzentrale für Hightech-Membranen aus Kunstfasern. Die sehen aus wie Makkaroni, eröffnen in der Anwendung aber ganz neue Möglichkeiten für die Aufbereitung von Erdgas. Wir sind der Spur dieser Membranen gefolgt: vom Attersee bis nach Übersee.

Plastikmüll ist eine fast allgegenwärtige Gefahr für unsere Umwelt. Plastik im Meer, Plastik im Essen, Plastik überall. Mit dem Brüsseler Verbot von Trinkhalmen und Wattestäbchen allein wird sich dieses Problem freilich kaum lösen lassen. Daher beschäftigen sich innovative Unternehmen zunehmend mit der Option, Kunststoff als Rohstoff einzusetzen. Für die Hersteller von Produkten, die auf Plastik basieren, scheint dies gleich doppelt attraktiv: Sie leisten einen Beitrag zur Nachhaltigkeit und decken zugleich den stetig steigenden Bedarf an recycelten Produkten. Kann auf diesem Weg eines Tages tatsächlich ein abfallfreier Kunststoffkreislauf gelingen? Dieser Frage widmet sich das Foresight-Team der Creavis.

In eigener Sache möchte ich Ihnen noch die neue digitale Heimat von ELEMENTS im Internet vorstellen. Klicken Sie einfach mal rein: elements.evonik.de. Ob digital oder auf dem Papier – ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre und freue mich auf Ihre Anregungen und Kommentare: elements@evonik.com

Matthias Ruch
Chefredakteur ELEMENTS

TITEL: H₂O₂

- 10 HINTERGRUND
Powerstoff aus Sauerstoff
 Seit zwei Jahrhunderten bewährt sich Wasserstoffperoxid als Innovationstreiber – jetzt sogar in umweltfreundlichen Raketentriebwerken
- 18 SCHAUBILD
Das Multitalent
 Wie aus Wasser und Luft der Stoff für eine Vielzahl fortschrittlicher Anwendungen entsteht
- 20 INTERVIEW
»Forward to the Moon«
 ESA-Chef Jan Wörner über die weltweiten Ambitionen, den Mond für die Menschheit nutzbar zu machen

MEMBRANEN

- 30 INNOVATION
Getrennte Wege
- 33 DATA-MINING
Gib Gas
- 34 REPORTAGE
Hightech-Membranen vom Attersee

ENERGIE

- 48 ESSAY
Ein Plädoyer für mehr Effizienz
- 50 FORSCHUNG
Heiße Stromquelle

ELEMENTAR

- 6 PERSPEKTIVEN
- 26 NEWS
- 28 MEINUNG
Mehr Forschung, weniger Steuern
- 40 EVONIK-LAND
Südafrika
- 56 CORPORATE FORESIGHT
Da wird was draus
- 58 IN MEINEM ELEMENT
»So entdeckten wir Darmstadtium«
- 59 IMPRESSUM



34

10



HAHN ODER HENNE?

Die Geschlechterfrage kann in der Hühnerzucht existenzielle Folgen haben: Weil sie keine Eier legen und sich nicht für die Fleischproduktion eignen, werden Millionen männliche Küken getötet. Das niederländische Start-up In Ovo, an dem Evonik beteiligt ist, setzt dem eine Methode entgegen, mit der sich das Geschlecht der Tiere bereits im Ei bestimmen lässt. Hierzu wird ein winziges Loch in die Schale gebohrt und eine Probe des Inhalts im Massenspektrometer auf Biomarker überprüft – so wird eine frühe Vorauswahl möglich, die späteres Leid erspart.





Kunst zum Anfassen

Das Mosaik in der neuen Subway Station am früheren World Trade Center wird mit PROTECTOSIL® geschützt.

Das Werk bedeckt eine Fläche von 402 Quadratmetern entlang der Bahnsteige.



An 472 Stationen halten die Züge der New Yorker Subway – seit Kurzem auch wieder an der Cortlandt Street in Lower Manhattan. Der Bahnhof auf dem Gelände des World Trade Center wurde bei den Terrorangriffen vom 11. September 2001 zerstört und jetzt wiedereröffnet. Die Bedeutung des Ortes hebt das Mosaik „Chorus“ der Multimedia-Künstlerin Ann Hamilton her-

vor. Unzählige weiße Marmorsteinchen entlang der beiden Bahnsteige stellen in erhabener Schrift Passagen der Unabhängigkeitserklärung von 1776 und der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte der Vereinten Nationen von 1948 dar. Hamilton will die Fahrgäste der Subway ermutigen, den Text beim Lesen zu berühren. Damit das Kunstwerk, dessen Wert auf mehr als

eine Million \$ geschätzt wird, dabei keinen Schaden nimmt, und Graffiti oder anderer Schmutz leicht zu entfernen sind, wurde es mit PROTECTOSIL®-Produkten von Evonik behandelt. „Wir sind sehr zuversichtlich, dass sich Reisende und Pendler viele Jahre lang an ‚Chorus‘ erfreuen werden“, so Pete DeNicola, Leiter Marketing Americas bei Evonik.

18

PROZENT

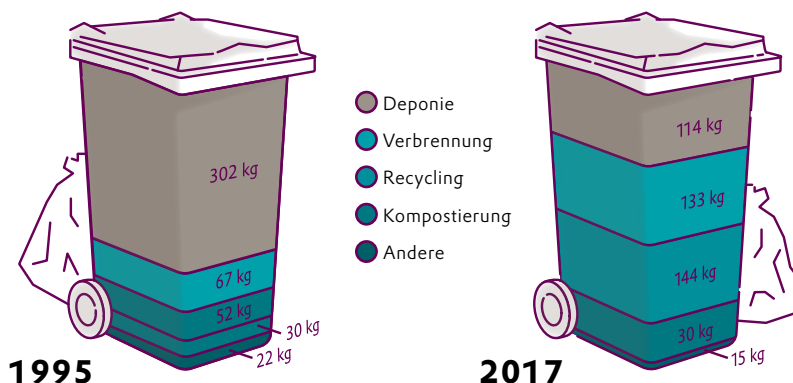
betrug das Wachstum des **Markts für 3D-Druck** im Jahr 2018. Nach Angaben des Analysehauses Smartech Publishing wurden weltweit mit Software, Hardware und Materialien für additive Fertigung fast **8,2 Milliarden €** umgesetzt.

POWER-TO-X ENTLASTET NETZE

Die Transformation von elektrischer Energie in Wärme, chemische Produkte oder Kraftstoffe (Power-to-X) eignet sich zur Entlastung des Stromnetzes. Zu diesem Ergebnis kommt ein Konsortium aus sieben Forschungsinstituten in Nordrhein-Westfalen. Drei Jahre lang wurde untersucht, wie die Technik genutzt werden kann, um ein stabiles Netz und Versorgungssicherheit bei einer verstärkten Einspeisung erneuerbarer Energien zu gewährleisten. Die Ergebnisse: strom-zu-gas-und-waerme.de/aktuelles

BESSER IST DAS

Müllhaufen der Geschichte



Was mit dem Hausmüll in den 28 EU-Mitgliedstaaten geschieht, Angaben pro Kopf

2017 produzierte jeder EU-Bürger im Schnitt 467 Kilogramm **Hausmüll**, 74 Kilo mehr als 1995. Die Verbesserung verbirgt sich hinter den Zahlen: Zum einen wird heute in den Mitgliedstaaten mehr Abfall eingesammelt, der früher illegal entsorgt wurde. Zum anderen hat sich die Müllmenge, die auf Deponien gebracht wird, um 62 Prozent reduziert. Zugleich werden **175 Prozent mehr Abfälle recycelt oder kompostiert**. Tendenz: weiter steigend.

Quelle: Eurostat



»Warum verstehen wir auf Papier gedruckte Texte besser, Professor Stadler?«

Es deutet viel darauf hin, dass wir bei gedruckten Sachtexten andere Lesestrategien anwenden als auf dem Bildschirm. Bei anspruchsvollen Texten auf Papier sind wir es gewohnt, konzentriert und gründlich zu lesen – diese Strategie schafft ein vertieftes Textverständnis. Auf dem Display haben wir hingegen gelernt, eine Flut an kurzen Texten aufzunehmen, zum Beispiel durch Pop-up- oder Messenger-Nachrichten. Diese bewältigen wir kognitiv besser, wenn wir flüchtig lesen. Problematisch wird es, wenn wir diese eher oberflächliche, digitale „Lesart“ an schwierige Texte anlegen. So zeigten Probanden in mehreren Studien unter Zeitdruck ein geringeres Verständnis von Sachtexten auf dem Display. Es ist anzunehmen, dass sie bei ihrer flüchtigen Strategie geblieben sind, obwohl ein vertieftes Lesen notwendig gewesen wäre.

Prof. Dr. Marc Stadler ist Erziehungswissenschaftler an der Ruhr-Universität Bochum.

Belohnung und Strafe

Womit sich KI-Forscher am intensivsten beschäftigen

Bestärkendes Lernen spielt eine zunehmende Rolle auf dem Feld der künstlichen Intelligenz (KI). Das legt ein Beitrag im Magazin „MIT Technology Review“ nahe, für den 16.625 wissenschaftliche Papers aus 25 Jahren analysiert wurden. Die Autoren werteten aus, welche Stichwörter besonders oft auftauchen. Um die Jahrtausendwende stieg die Frequenz von Begriffen rund ums maschinelle Lernen („data“, „network“, „performance“). Mit Durchbrüchen bei der Gesichtserkennung verschob sich das Interesse auf neuronale Netze. Zuletzt boomten Artikel zum „bestärkenden Lernen“, bei dem ein Algorithmus durch Belohnung und Bestrafung lernt, wie er in bestimmten Situationen handeln soll. Wichtiger Impuls: der Sieg des Programms AlphaGo über den Weltmeister im Strategiespiel Go 2015.

MENSCH & VISION

»Die ersten Menschen auf dem Mars sollen ein voll ausgewachsenes Gewächshaus vorfinden«

Paul Zabel baut nahe der Polarstation Neumayer III auch Gurken an.



DER MENSCH

Bereits als kleiner Junge war **Paul Zabel** Science-Fiction-Fan. Später machte er seine Leidenschaft fürs All zum Beruf und studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Technischen Universität Dresden. Seit acht Jahren ist er fürs Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) tätig. Bei seiner Arbeit verbindet der Wissenschaftler die Raumfahrtforschung mit einem weit bodenständigeren Thema: der modernen Landwirtschaft. Zabel ist spezialisiert auf die Entwicklung von Anbaumethoden, durch die möglichst viel Nahrung auf geringem Raum und bei minimaler Energiezufuhr produziert werden kann.

DIE VISION

Paul Zabel und sein Team bauen **Gemüse in der Antarktis** an, genauer: in einem Gewächshaus, das von einem hermetisch abgeriegelten Container umgeben ist. Während draußen eine Kälte von bis zu minus 43 Grad herrscht, werden drinnen unter künstlichem Licht Salat, Tomaten und Gurken angebaut. Das Kalkül: Sollte das Gemüse unter diesen Bedingungen gedeihen, könnten sich Menschen zukünftig auch auf Mond und Mars mit frischer Nahrung versorgen. Den ersten Erfolg können die Forscher bereits vorweisen: 2018 ernteten sie mehr als 200 Kilogramm Gemüse.

POWERSTOFF

AUS SAUERSTOFF

TEXT BERND KALTWASSER



Kosmetik, Reinigung, Mikroelektronik – Wasserstoffperoxid befeuert seit zwei Jahrhunderten innovative Anwendungen in der Chemie. Als Zusatztreibstoff für Raketen liefert die Verbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff nun auch einen wichtigen Beitrag für eine umweltfreundlichere Weltraumfahrt.



Aufbruch ins All: Eine Sojus-Rakete wird startklar gemacht. Mit an Bord: H_2O_2 .

Vor drei Stunden war Sonnenuntergang, jetzt ist der Dschungel in tiefe Dunkelheit getaucht. Die Nacht endet an einem Stacheldrahtzaun, der sich quer durch die tropische Landschaft zieht. Dahinter: eine mehr als 46 Meter hohe Weltraumrakete, von Scheinwerfern in gleißendes Licht gehüllt. Über Lautsprecher ist die Stimme des Directeur des Opérations zu hören, die auf Französisch den bevorstehenden Start ankündigt: „À tous de DDO: Attention pour moins d’une minute.“

Weltraumbahnhof Kourou, Französisch-Guayana, 6. November 2018, 21.46 Uhr Ortszeit. Es läuft die letzte Minute vor dem Start einer Sojus-Rakete, mit der der Wettersatellit „Metop-C“ auf seine Reise ins All geschickt werden soll. Mit an Bord: Wasserstoffperoxid (H_2O_2) von Evonik. Auf einem Video des Raumfahrt-

unternehmens Arianespace lässt sich das Spektakel miterleben. 20 Sekunden vor dem Start: Mit einem Lichtblitz zünden die mächtigen Triebwerke, die das mehr als 300 Tonnen schwere Ungetüm in den Himmel heben sollen. Brausen und Zischen, das anschwillt. Schrittweise wird die Leistung gesteigert, zum Schluss verbrennen Booster und Haupttriebwerk in jeder Sekunde mehr als 450 Kilogramm Kerosin und 1.100 Kilogramm flüssigen Sauerstoff. Das Kontrollzentrum meldet sich erneut: „Attention pour le décompte final.“ Die letzten Sekunden laufen. „... trois, deux, unité.“ Die ganze Startplattform ist in orangefarbenes Glühen gehüllt. „Top, décollage...“ Majestätisch schiebt sich die Rakete in den Himmel. Sie fliegt einen Bogen, steigt immer höher. Rund eine Stunde nach dem Start verkündet eine Sprecherin der Europäischen Wettersatelliten-Organisation Eumetsat, dass erste Signale von „Metop-C“ aufgefangen worden seien: Die Mission ist ein Erfolg.

Evonik hat daran einen maßgeblichen Anteil: „Schon heute hat jede Sojus-Rakete etwa zehn Tonnen hochreines, hochkonzentriertes H_2O_2 an Bord. Damit werden Turbopumpen angetrieben, die die eigentlichen Treibstoffe mit hohem Druck in die Brennkammer pressen“, berichtet Dr. Stefan Leininger, der bei Evonik im Segment Resource Efficiency das Geschäft mit H_2O_2 für Spezialanwendungen betreut. Zehn Tonnen, das ist noch eine überschaubare Menge. Als einer der weltweit führenden Hersteller kann Evonik an 13 Standorten auf sechs Kontinenten jedes Jahr mehr als 950.000 Tonnen Wasserstoffperoxid herstellen.

Die Flüssigverbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff ist zwar schon seit zwei Jahrhunderten bekannt (siehe Chronik Seite 14), doch bis heute erobert sie immer neue Märkte. H_2O_2 und andere Peroxide kommen mittlerweile in so unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz wie der Halbleiterbranche, der Papierherstellung oder der Lebensmitteltechnik. „Das liegt nicht zuletzt an der guten Umweltverträglichkeit des Stoffs und seiner Effizienz“, sagt Leininger. →

Papierproduktion in Eilenburg (Sachsen): Wasserstoffperoxid ersetzt bei der Bleiche umweltschädliche Mittel auf Chlorbasis.



»Dass H₂O₂ immer neue Märkte erobert, liegt an seiner guten Umweltverträglichkeit und seiner Effizienz.«

STEFAN LEININGER,
BUSINESS DIRECTOR SPECIALTIES

Diese Aspekte werden auch in der Raumfahrt immer wichtiger. Der Markt ist im Umbruch: Private Anbieter wie das von Tesla-Erfinder Elon Musk geführte Unternehmen SpaceX, der von Amazon-Chef Jeff Bezos gegründete Wettbewerber Blue Origin, OneWeb oder Rocketlab drängen nach vorn. 2018 hoben 114 Raketen ab – so viele wie nie zuvor in einem Jahr. Zugleich schrumpft die durchschnittliche Größe der Satelliten, die von den Raketen ins All getragen werden. Sogenannte Nanosatelliten (bis zehn Kilogramm Masse) und Mikrosatelliten (bis 100 Kilogramm Masse) werden immer häufiger eingesetzt. Bis zu 2.600 der kleinen künstlichen Trabanten könnten in den kommenden fünf Jahren gestartet werden, so die Prognose des Beratungsunternehmens Spaceworks Inc. Zugleich geht der Trend zu kleineren Raketen.

„Der gesamte Markt ist gerade dabei, den nächsten Evolutionsschritt zu durchlaufen“, sagt Leininger. „H₂O₂ kommt dabei aufgrund seiner guten Handhabbarkeit eine gewichtige Rolle als Treibstoff zu.“ Bisher übernehmen zum Beispiel Hydrazin oder dessen Derivate diese Aufgabe. Hydrazin steht jedoch im Verdacht, Krebs zu erregen, weshalb sein Einsatz in der EU künftig möglicherweise verboten wird. H₂O₂ wäre eine saubere Alternative: Der Raketentreibstoff zersetzt sich bei Kontakt mit einem geeigneten Katalysator unter großer Hitzeentwicklung zu Wasserdampf und Sauerstoff.

GREEN ROCKETRY

H₂O₂ befeuert somit einen globalen Trend: Unter dem Schlagwort „Green Rocketry“ versuchen zahlreiche Akteure, die Raumfahrt nachhaltiger und umweltfreundlicher zu machen. Das ist – neben ökonomischen Aspekten – auch ein Ziel des Future Launchers Preparatory Programme (FLPP), in dem die Europäische Weltraumagentur ESA an Technologien für die übernächste Raketengeneration forscht. „Umweltfreundliche Treibstoffe sind uns wichtig“, sagt Jan Wörner, Generaldirektor der European Space Agency (siehe Interview ab Seite 20). Die Weltraumagentur fördere seit vielen Jahren die nachhaltige Entwicklung auf der Erde und werde dies auch künftig tun.

Einen Schritt in diese Richtung ermöglicht das Projekt „Hyprogeo“, das von der Europäischen Kommission als Teil des Forschungsrahmenprogramms „Horizon 2020“ gefördert wurde (Förderkennzeichen: 634534 HYPROGEO). Es hatte zum Ziel, einen Hybrid-Raketen-

motor zu konstruieren, der den Festtreibstoff Polyethylen verbrennt und Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel nutzt. „Unsere Aufgabe als Projektpartner war es, möglichst hochkonzentriertes H_2O_2 zu produzieren“, erläutert Leininger. Evonik entwickelte eigens hierfür ein Verfahren, das den Stoff in einer Konzentration von bis zu 98 Prozent bereitstellt – ein Spitzenwert für die industrielle Produktion. „Während der eigentliche Herstellprozess von H_2O_2 eine 40- bis 50-prozentige Lösung liefert, wird durch anschließende Destillation und Kristallisation die gewünschte Endkonzentration erreicht“, erläutert Leininger.

DER SAUBERMACHER

Seine Innovationskraft entfaltet Wasserstoffperoxid auch in Umweltanwendungen wie der Bodensanierung oder der Abwasserbehandlung. In den USA chlorieren Klärwerke häufig behandelte Abwässer, bevor sie diese

wieder in Flüsse oder Seen einleiten. Seit einigen Jahren fördert die Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency) den Einsatz alternativer Methoden. Dazu gehört unter anderem die Behandlung von Klärwasser mit H_2O_2 oder Peressigsäure (PAA). Eine umweltfreundliche Lösung, denn beim Einsatz der beiden Peroxide entstehen als Nebenprodukte lediglich Wasser und biologisch gut abbaubare Essigsäure.

Als starke Oxidationsmittel bekämpfen die Peroxide die in den Abwässern vorhandenen Keime. Viren, Bakterien und andere Mikroben werden durch unspezifische Wirkmechanismen abgetötet. „Die Peroxide durchdringen die Zellhülle von Mikroorganismen und verändern sie, sodass sie ihre Barrierefunktion verliert“, sagt Evonik-Experte Leininger. Außerdem werden die Enzyme im Zellinnern oxidiert und so irreversibel geschädigt. Beides lässt den Zellstoffwechsel zusammenbrechen. Vor allem PAA hat sich als potentes Desinfektionsmittel bewährt. Bereits ein Hundertstel der entsprechenden H_2O_2 -Dosis bringt eine vergleichbare Wirkung. „Durch die lipophilen Eigenschaften des Acetyl-Teils des Moleküls kann PAA besonders leicht →

Es grünt so grün dank H_2O_2

Wasserstoffperoxid und elektrischer Strom pflegen von jeher eine enge Beziehung: Das Weißensteiner Verfahren, mit dem H_2O_2 vor über 100 Jahren erstmals großtechnisch hergestellt werden konnte, beruht auf einer Elektrolyse. Heutzutage nutzt die Industrie fast ausschließlich das Anthrachinon-Verfahren (siehe Kasten Seite 16), bei dem Wasserstoffperoxid mithilfe eines Reaktionsträgers gewonnen wird. Das dänische Unternehmen HPNow treibt nun ein Verfahren voran, das an die

Ursprünge der H_2O_2 -Produktion anknüpft: Das Start-up aus Kopenhagen hat eine Technologie entwickelt, bei der in einem vollautomatischen System unter Verwendung von Wasser, Luft und elektrischem Strom Wasserstoffperoxid entsteht. Die Technologie erscheint so vielversprechend, dass sich der Venture-Capital-Arm von Evonik im Rahmen einer Serie-A-Finanzierungsrunde Ende 2017 einen Minderheitsanteil an dem jungen Unternehmen gesichert hat. „HPNow kann der elektrochemischen Produktion von Wasserstoffperoxid zum Durchbruch verhelfen“, sagt Bernhard Mohr, Leiter Venture Capital bei Evonik.

Herzstück des Systems ist ein modularer Generator, mit dem Wasserstoffperoxid hergestellt werden kann. In einer katalytischen Zelle werden Wasser und Sauerstoff elektrochemisch in einem Schritt zu H_2O_2 umgesetzt. Mit diesem dezentralen Ansatz könnte das Peroxid künftig auch dort zum Einsatz kommen, wo Kosten für Transport und Lagerung seinen Gebrauch bislang einschränken – zum Beispiel in Gewächshäusern für die Gemüse- oder Blumenzucht. Damit die Schläuche für die Tröpfchen-

bewässerung nicht verstopfen, müssen sie regelmäßig gespült werden. Bisher nutzten viele Züchter dafür eher aggressive Reinigungsmittel oder chlorhaltige Produkte statt umweltfreundlichen Wasserstoffperoxids. Der Einsatz von H_2O_2 , bei dem als einziges Nebenprodukt Wasser entsteht, war für die Landwirte bisher zu aufwendig. „Die Technologie von HPNow macht es erstmals möglich, Wasserstoffperoxid bedarfsgerecht zu erzeugen und unmittelbar vor Ort weiterzuverwenden“, so Mohr. Die ersten Praxistests hat das neue System bereits gemeistert.



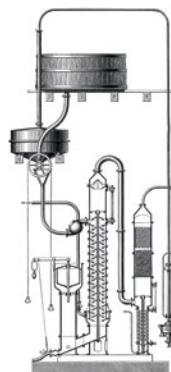
Fernab der Fabrik: dezentrale H_2O_2 -Produktion in einem Gewächshaus in Dänemark

**WASSERSTOFFPEROXID:
201 JAHRE VOLLER INNOVATIONEN**



1818

Wasserstoffperoxid wird zum ersten Mal von dem französischen Chemiker **Louis Jacques Thénard** durch Reaktion von Bariumperoxid mit Salpetersäure hergestellt.



1894

Das erste reine Wasserstoffperoxid wird vom deutschen Chemiker Richard Wolfenstein per **Vakuumdestillation** gewonnen.



Die Degussa beteiligt sich an der ÖCW. Das Werk Weissenstein geht im Januar in Betrieb. Erstmals ist die Erzeugung von **hochkonzentriertem Wasserstoffperoxid** (30 Prozent) möglich.

1910



1857

Der englische Hygieniker Benjamin Ward Richardson stellt fest, dass Wasserstoffperoxid zur **Wundbehandlung** genutzt werden kann. Heute wird es noch zur Desinfektion medizinischer Geräte verwendet.

1873

Die erste Anlage zur **fabrikmäßigen Herstellung** von dreiprozentigem Wasserstoffperoxid entsteht bei Schering in Berlin. Die Lösung findet mit der Zeit als Haarbleichmittel und zur antibakteriellen Reinigung Einzug in deutsche Haushalte.

1906

Der Gründer der Österreichischen Chemischen Werke (ÖCW), Otto Margulies, erwirbt ein Patent zur Herstellung von Wasserstoffperoxid auf elektrochemischem Weg. Die dazu nötige Fabrik wird in **Weissenstein** (Kärnten) errichtet.

1907

Die Degussa liefert erstmals Natriumperborat an Henkel zur Produktion des Waschmittels **Persil**. Mittlerweile wird dieser Wirkstoff aus Wasserstoffperoxid gewonnen.



in die Zellmembran eindringen“, erläutert Leininger. Zudem kann PAA – anders als H₂O₂ – nicht durch ein besonderes Enzym, die mikrobielle Katalase, abgebaut werden. Resistenzmechanismen gegen PAA sind deshalb bisher unbekannt.

Diese Vorteile wissen immer mehr Kommunen in den USA zu schätzen. So fiel vor wenigen Jahren in der 650.000-Einwohner-Stadt Memphis die Grundsatzentscheidung, für die Abwasserbehandlung fortan PAA einzusetzen. Die Verantwortlichen einigten sich mit dem US-Unternehmen PeroxyChem auf einen langfristigen Liefervertrag mit unbedingter Zahlungsverpflichtung. Daraufhin begann der Peroxid-Hersteller vor zwei Jahren mit den Planungen für eine neue PAA-Fabrik in der Region. Anfang November 2018 hat Evonik angekündigt, PeroxyChem übernehmen zu wollen.

Peroxide wie H₂O₂ und PAA reduzieren nicht nur die Keimbelastung. Sie eliminieren auch schwer abbaubare organische Spurenstoffe, die bei der Einleitung von Klärwasser in Oberflächengewässer ein Problem darstellen könnten. Zudem wird Wasserstoffperoxid zum Entgiften cyanidhaltiger Abwässer genutzt, wie sie in Galvanobetrieben, Härtereien, im Gichtgas von Hochöfen oder in Minen anfallen. H₂O₂ oxidiert dort Cyanid

zu Cyanat, das zu Ammoniak und Kohlensäure hydrolysiert wird. In Galvanobetrieben nutzt man Wasserstoffperoxid zudem, um die im Ätzprozess aus Salpetersäure entstehenden Stickoxide wieder zu Salpetersäure zu oxidieren.

Bei manchen Schadstoffen kann H₂O₂ allein nichts ausrichten. Geht es beispielsweise um die Entfernung von Benzolen oder Phenolen aus Abwasser, greifen Chemiker zu einem Trick: Wasserstoffperoxid wird entweder durch zweiwertige Eisenionen (Fe²⁺), UV-Strahlung oder Ozon zu Hydroxylradikalen (•OH) gespalten. Dieses Radikal ist eines der stärksten Oxidationsmittel überhaupt und reagiert mit fast allen organischen Verbindungen.

UMWELTFREUNDLICHE ALTERNATIVE

Aus der Elektronikindustrie ist H₂O₂ bereits nicht mehr wegzudenken. Vor allem in Asien wächst die Nachfrage rasant. Halbleiterhersteller dort nutzen beispielsweise besonders reines Wasserstoffperoxid allein oder in



1995

Die Degussa transportiert erstmals Wasserstoffperoxid **per Schiff**, und zwar von Alabama bis LeMont nahe Chicago.

1935

Hellmuth Walter ist der erste deutsche Erfinder, der Wasserstoffperoxid als **Treibstoff für Motoren** nutzt. Später findet Wasserstoffperoxid auch Verwendung als Treibgas in der Raketentechnik.

Das erste Patent für ein **Zahnaufhellungsgel** auf Wasserstoffperoxid-Basis wird angemeldet.

1953

Die erste großtechnische Anlage, die den **Anthrachinon-Autoxidations-Prozess** verwendet, wird in Memphis (Tennessee) von DuPont eröffnet.

1989



2018

Evonik Industries unterzeichnet mit One Equity Partners einen Vertrag zur Übernahme von **PeroxyChem**, einem US-amerikanischen Hersteller von Wasserstoffperoxid und Peressigsäure.

Kombination mit Schwefelsäure, um Siliziumscheiben von Photolacken zu reinigen und mit einer wenige Nanometer dünnen Oxidationsschicht zu versehen. Zudem wird das Gemisch bei der Herstellung von Leiterplatten als Ätzmittel genutzt. „Wasserstoffperoxid/Schwefelsäure-Ätzmittel werden wegen ihrer geringen Kosten, der guten Wirksamkeit und der reduzierten Entsorgungsprobleme gern gewählt“, berichtet Dr. Jürgen Glenneberg, Leiter Process Engineering im Geschäftsgebiet Active Oxygens. H_2O_2 wird zunehmend auch bei der Herstellung von Flüssigkristalldisplays (LCD) eingesetzt, wo wasserstoffperoxidhaltige Lösungen die Kupferleiterbahnen zur Stromversorgung der LCDs herausätzen.

In einer Reihe großtechnischer Synthesen findet H_2O_2 ebenfalls Verwendung – zum Beispiel bei der Produktion von epoxidiertem Sojabohnenöl, einem wichtigen Weichmacher für PVC-Plastisole, der zunehmend auch in anderen Kunststoffen eingesetzt wird. Ein Gemisch aus Wasserstoffperoxid und Ameisensäure oxidiert dabei die Kohlenstoffdoppelbindungen in den Fettsäureketten unter Bildung der entsprechenden Epoxide. Bei der Synthese von Caprolactam, das unter anderem zur Herstellung von Nylonfasern verwendet wird, hat sich in jüngster Zeit ein auf Wasserstoffperoxid basiertes Verfahren durchgesetzt. Hierbei wird Ammoniak selektiv mit H_2O_2 zu Hydroxylamin oxidiert, das in situ mit Cyclohexanon zu Caprolactam reagiert. Im Gegensatz zu klassischen Verfahren können über diesen Weg Tausende Tonnen an sulfathaltigen Abfallprodukten eingespart werden. →



Keimfrei: Peroxide bekämpfen Mikroorganismen im Abwasser.

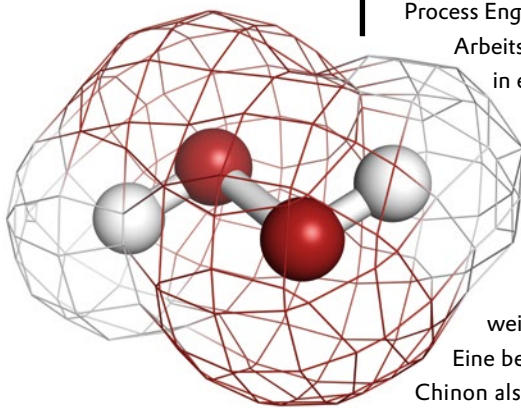
Wie H₂O₂ produziert wird: das Anthrachinon-Verfahren

Die Wiege der industriellen Herstellung von Wasserstoffperoxid steht in Weißenstein in Kärnten. Dort betrieben die Österreichischen Chemischen Werke die erste elektrolytische Wasserstoffperoxid-Fabrik der Welt, heute gehört sie zu Evonik. Das sogenannte Weißensteiner Verfahren ermöglichte erstmals die großtechnische Produktion von Wasserstoffperoxid. Inzwischen wird in dem Werk – wie fast überall in der Welt – das Autoxidationsverfahren eingesetzt. Es wurde zwischen 1935 und 1945 von Georg Pfeleiderer und Hans-Joachim Riedl bei der IG Farben in Ludwigshafen entwickelt und seitdem immer weiter verfeinert. Das Verfahren beruht auf der zyklischen Reduktion und Oxidation eines alkylierten Anthrachinons.

Der erste Schritt, die Hydrierung, findet in einem mit einer Lösung des Alkylanthrachinons (der „Arbeitslösung“) gefüllten Reaktor statt. „Dort verbindet sich Wasserstoff in Gegenwart eines Palladiumkatalysators mit dem Reaktionsträger, einem Chinon-Derivat, zum Hydrochinon“, erläutert Jürgen Glenneberg, Leiter Process Engineering im Geschäftsgebiet Active Oxygens. Der Katalysator wird anschließend vollständig aus der

Arbeitslösung herausfiltriert. Im zweiten Schritt, der Oxidationsstufe, wird Luft mit großen Kompressoren in einen mit der Arbeitslösung gefüllten Blasenreaktor gepumpt. Das Hydrochinon in der organischen Phase oxidiert bei Kontakt mit Luftsauerstoff unter Bildung von Wasserstoffperoxid spontan zurück zu Chinon. Die Tatsache, dass diese Reaktion ohne Zugabe eines Katalysators abläuft, gab dem Autoxidationsverfahren seinen Namen. Im dritten Schritt, der Extraktion, gelangt die Arbeitslösung in eine sogenannte Trennkolonnen. Das darin enthaltene H₂O₂ wird extrahiert, indem Wasser im Gegenstromprinzip zugegeben wird. Das Ergebnis ist eine 35- bis 50-prozentige wässrige Lösung, die beispielsweise durch Vakuumdestillation oder zusätzliche Reinigungsschritte weiter aufbereitet werden kann.

Eine besondere technische Herausforderung des Verfahrens verbirgt sich in der Arbeitslösung: Sowohl Chinon als auch Hydrochinon müssen gelöst bleiben und dürfen nicht ausflocken. Die Löslichkeit lässt sich durch die Wahl eines geeigneten Alkylsubstituenten und die Zusammensetzung des Lösemittelgemischs beeinflussen. „Zum Einsatz kommen typische alkylierte Anthrachinon-Derivate wie 2-Ethyl-, 2-tert.-Butyl- oder 2-Amylanthrachinon“, so Glenneberg. Um das Chinon in Lösung zu halten, sind häufig unpolare Stoffe wie C₉-/C₁₀-Alkylbenzole Teil der Arbeitslösung. Polare Stoffe wie Tris-(2-ethylhexyl)-phosphat, Diisobutylcarbinol oder Methylcyclohexylacetat übernehmen diese Aufgabe für das Hydrochinon. Wichtig für den Prozess ist, dass die Arbeitslösung in der Anlage regelmäßig aufgereinigt wird. Zwar kann sie theoretisch unbegrenzt genutzt werden – würden jedoch in jedem Durchlauf nur 0,1 Prozent des Chinons in Nebenreaktionen irreversibel geschädigt, bräche der Prozess innerhalb von zwei Monaten zusammen. Die älteste Arbeitslösung von Evonik nutzt das Werk in Antwerpen (Belgien). Sie stammt von 1969.



Sauerstoff (rot) und Wasserstoff (weiß) gehen im Wasserstoffperoxid-Molekül eine energiereiche Verbindung ein.

Neben Wasserstoffperoxid selbst kommen auch einige Folgeprodukte zum Einsatz. Reagiert H₂O₂ mit Natriumcarbonat (Soda), so bildet sich das feste Addukt Natriumpercarbonat. Dies wird aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften in Vollwaschmitteln als Bleichmittel oder in Geschirrrreinigern als Bleich- und Desinfektionsmittel eingesetzt. Als weiteres „festes Wasserstoffperoxid“ wird Percarbamid, eine Verbindung aus H₂O₂ und Harnstoff, zum Bleichen von Haaren und Zähnen genutzt. Ein besonders wichtiges H₂O₂-Folgeprodukt ist Peressigsäure, eigentlich eine Gleichgewichtsmischung aus Essigsäure, Wasserstoffperoxid und Peressigsäure. Aufgrund der stark keimtötenden Wirkung werden die unterschiedlichen Formulierungen überwiegend in Desinfektionsanwendungen in der Lebensmittelindustrie, der Tierhygiene, der Wäsche-desinfektion und im Umweltbereich eingesetzt.

Die größte Einzelanwendung für Wasserstoffperoxid stellt im Augenblick die Synthese von Propylenoxid dar, einem wichtigen Ausgangsstoff für die Herstellung von Kunststoffen auf Basis von Polyurethanen, die zum Beispiel in Polstern von Autositzen und Möbeln oder als Isoliermaterial für Kühlgeräte Verwendung finden. Im sogenannten HPPO-Verfahren wird H₂O₂ als Oxidationsmittel verwendet, um Propylen zu Propylenoxid zu epoxidieren, wobei als einziges Koppelprodukt Wasser anfällt.

Dank des eigens für das HPPO-Verfahren entwickelten Katalysators Titansilikat-1 (TS-1) läuft die Reaktion schon bei relativ milden Umgebungsbedingungen ab.



Gesund und haltbar:
In der Lebensmittel-
industrie werden
PET-Flaschen vor der
Abfüllung mit
Wasserstoffperoxid
sterilisiert.

„Weil die Rohmaterialien im Prozess besonders effizient verwertet werden, der Katalysator besonders leistungsfähig ist und die Investitionskosten vergleichsweise niedrig sind, ist der Prozess so kosteneffektiv“, erläutert Dr. Florian Lode, der im Geschäftsgebiet Active Oxygens strategische Projekte leitet.

KUNSTSTOFF-KOOPERATION

Entwickelt wurde das Verfahren von Evonik und thyssenkrupp Industrial Solutions, die nun auch gemeinsame Lizenzen dafür vergeben. Während thyssenkrupp Industrial Solutions vor allem für den Anlagenbau verantwortlich zeichnet, übernimmt Evonik die Versorgung der Lizenznehmer mit Wasserstoffperoxid und dem Katalysator TS-1. „Mit dem HPPO-Verfahren gelingt es unseren Kunden, die Umwelt zu entlasten und gleichzeitig nachhaltig sowie wirtschaftlich zu produzieren“, so Lode. „Ein perfektes Beispiel für Ressourceneffizienz in der chemischen Industrie.“

In der Praxis kann man das zum Beispiel im Norden Ungarns erleben: In dem 17.000-Einwohner-Städtchen Tiszaújváros baut die ungarische MOL-Gruppe gerade eine riesige HPPO-Anlage, die im ersten Halbjahr 2021 in Betrieb gehen soll. Die Anlage ist Teil eines insgesamt knapp zwei Milliarden US-\$ schweren Investitionsprogramms, mit dem MOL zum führenden Chemieunternehmen in Mitteleuropa und zum einzigen

»Wasserstoffperoxid ermöglicht eine vielseitige Chemie – und zerfällt am Ende zu Wasser und Sauerstoff.«

FLORIAN LODE, LEITER STRATEGIC PROJECTS,
PERFORMANCE OXIDANTS

integrierten Polyole-Produzenten der Region aufsteigen will. In Asien wird das HPPO-Verfahren bereits seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. So wurden die beiden ersten kommerziellen Anlagen in Ulsan (Südkorea) und Jilin (China) errichtet.

Raumfahrt, Mikrotechnik, Umweltsanwendungen, chemische Synthesen – aus der heutigen Welt ist der Powerstoff aus Sauerstoff nicht mehr wegzudenken. Fragt man den Evonik-Experten Lode, so ist die Kraft des Wasserstoffperoxids aber noch keinesfalls ausgereizt: „Wasserstoffperoxid ermöglicht eine vielseitige Chemie – bei der am Ende nur Wasser übrig bleibt. Das macht es im Zeitalter eines gestiegenen Umweltbewusstseins spannend, nach neuen Anwendungen für dieses Produkt zu suchen.“ —

Das Multitalent

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist bei zahlreichen Anwendungen nicht wegzudenken. Als einer der führenden Hersteller kann Evonik jährlich 950.000 Tonnen des Bleich- und Oxidationsmittels produzieren. Das Geschäftsgebiet Active Oxygens versorgt aus 13 Standorten auf sechs Kontinenten seine Kunden in aller Welt mit H₂O₂ in unterschiedlichen Konzentrationen und Reinigungsgraden.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER



1. HERSTELLUNG

HYDRIERUNG

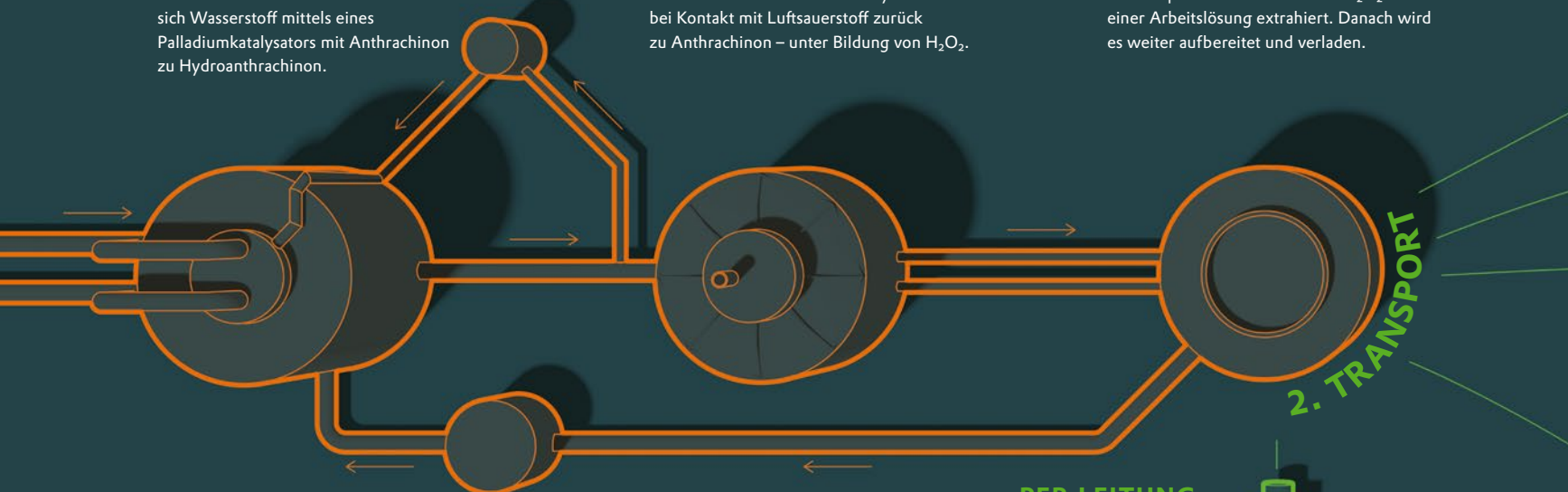
Im Schleifenreaktor verbindet sich Wasserstoff mittels eines Palladiumkatalysators mit Anthrachinon zu Hydroanthrachinon.

OXIDATION

Im Blasenreaktor oxidiert das Hydroanthrachinon bei Kontakt mit Luftsauerstoff zurück zu Anthrachinon – unter Bildung von H₂O₂.

EXTRAKTION

Im Zweiphasenreaktor wird das H₂O₂ aus einer Arbeitslösung extrahiert. Danach wird es weiter aufbereitet und verladen.



2. TRANSPORT

3. ANWENDUNG

BERGBAU

Wasserstoffperoxid wird oft als Oxidationsmittel in metallurgischen Prozessschritten wie Erzlaugung oder Elutionsmittelbehandlung eingesetzt.

CHEMISCHE SYNTHESE

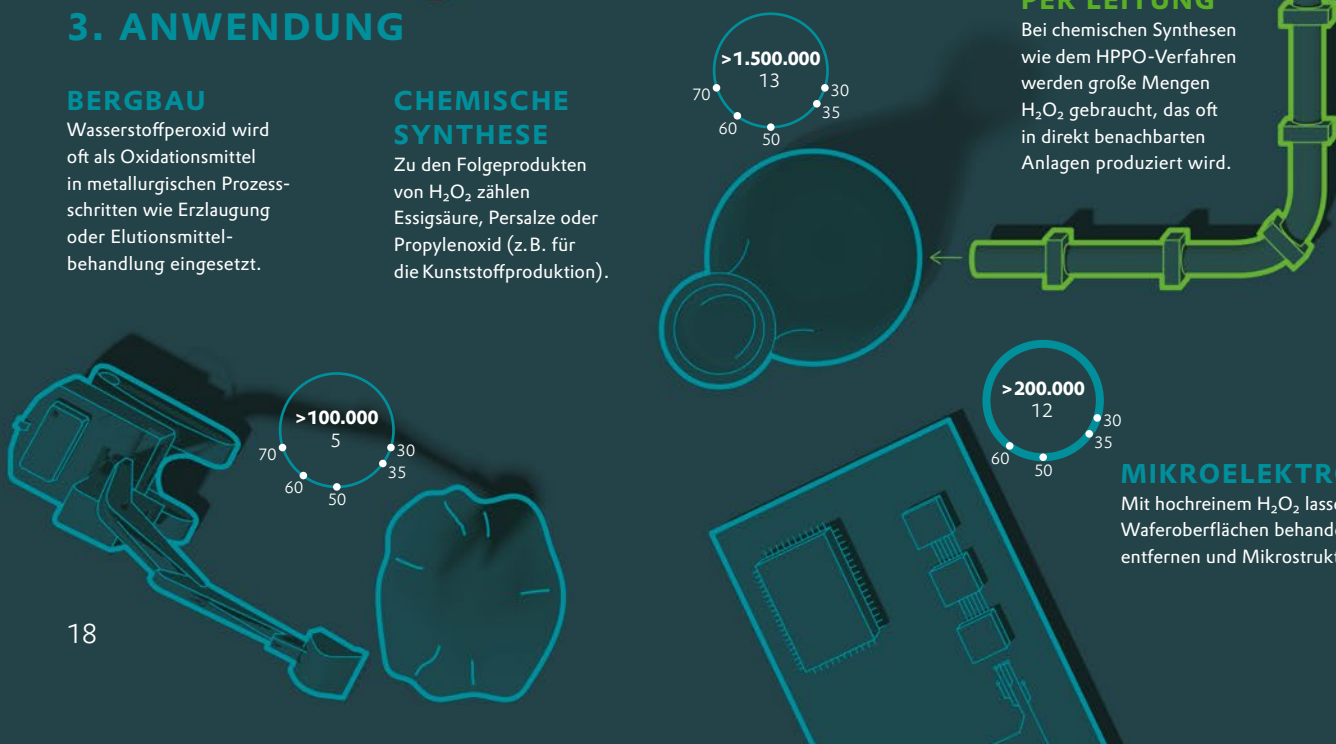
Zu den Folgeprodukten von H₂O₂ zählen Essigsäure, Persalze oder Propylenoxid (z. B. für die Kunststoffproduktion).

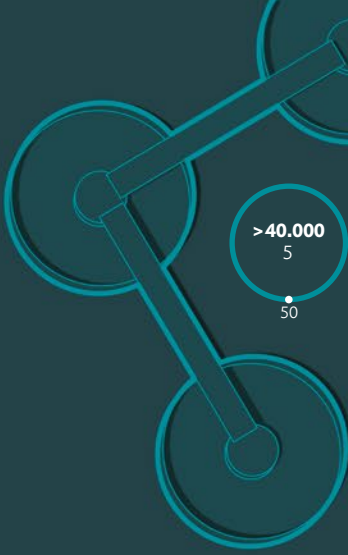
PER LEITUNG

Bei chemischen Synthesen wie dem HPPO-Verfahren werden große Mengen H₂O₂ gebraucht, das oft in direkt benachbarten Anlagen produziert wird.

MIKROELEKTRONIK

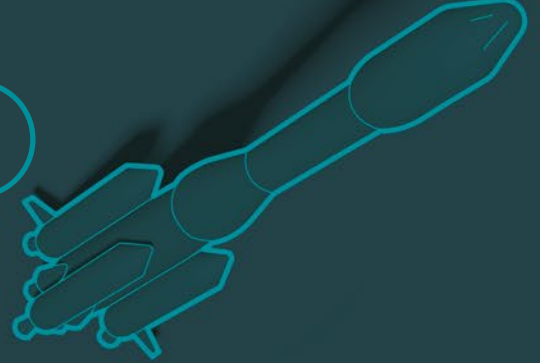
Mit hochreinem H₂O₂ lassen sich Waferoberflächen behandeln, Photolacke entfernen und Mikrostrukturen ätzen.





AQUAKULTUR

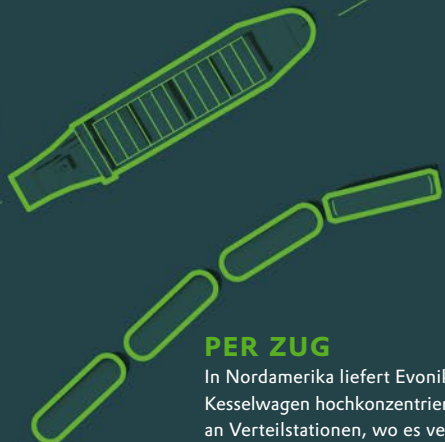
H₂O₂ dient der Desinfektion. Der beim Zerfall ins Wasser abgegebene Sauerstoff sorgt zudem bei Fischen für optimale Wachstumsbedingungen.



LUFT- UND RAUMFAHRT

Für den Einsatz als Raketentreibstoff stellt Evonik H₂O₂ in einer Konzentration von bis zu 98 Prozent her.

Sicherheit hat Priorität: Den Transport von besonders hochkonzentriertem H₂O₂ überwacht Evonik **per Satellit**.



PER ZUG

In Nordamerika liefert Evonik in Kesselwagen hochkonzentriertes H₂O₂ an Verteilstationen, wo es verdünnt wird. Lastwagen transportieren das Produkt schließlich zu den Endkunden.

SONSTIGE ANWENDUNGEN

In vielen anderen Märkten hat sich Wasserstoffperoxid ebenfalls bewährt, sei es bei der Förderung von Öl und Gas, der Desinfektion von Tierställen oder beim Freihalten von Leitungen zur Tropfbewässerung.

PER SCHIFF

Der Standort Rheinfelden produziert besonders hochkonzentriertes H₂O₂ für die Raumfahrt. Es wird in speziellen GPS-überwachten Containern u. a. per Schiff zum Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana gebracht.

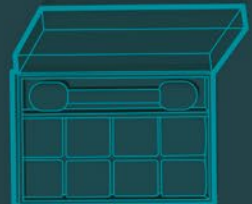
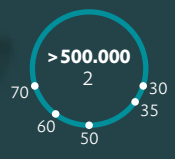


LEBENSMITTEL UND GETRÄNKE

Die H₂O₂-Lösung Oxteril® wird fürs Sterilisieren von PET-Flaschen, Kunststoffbehältern und Kartonverpackungen verwendet.

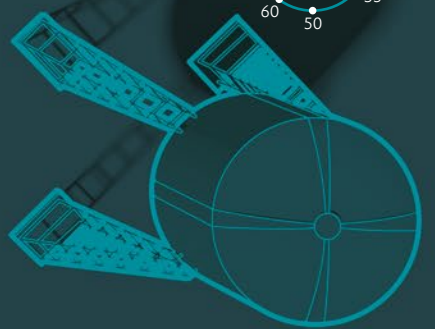
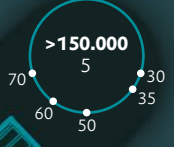
PER LKW

Ein Vorteil des Transports per Lkw ist die große Flexibilität. Kunden überall auf der Welt erhalten zum passenden Zeitpunkt H₂O₂ in exakt der gewünschten Konzentration und Reinheit.



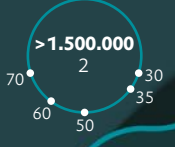
WOHNEN UND LIFESTYLE

In Haarfärbemitteln zählt Wasserstoffperoxid zu den wichtigsten Bestandteilen. In Asien ist bleichende Kosmetik beliebt.



PAPIER, TEXTIL UND ZELLSTOFF

Textilien wurden als Erstes mit H₂O₂ gebleicht, später auch Papier. Für reinweiße Verpackungen ist der Stoff heute noch wichtig.



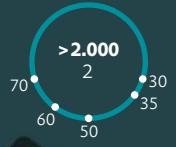
PER FLUGZEUG

H₂O₂ mit einer Konzentration von weniger als 40 Prozent lässt sich auch per Luftfracht transportieren. Das ist vor allem dann sinnvoll, wenn sehr schnell verhältnismäßig geringe Mengen gebraucht werden.



PHARMA UND HEALTHCARE

In niedrigen Konzentrationen eignet sich H₂O₂ zur Flächendesinfektion und Wundbehandlung sowie zur Reinigung von Kontaktlinsen.



UMWELT

Als besonders umweltverträgliche Oxidationsmittel kommen H₂O₂ und Peressigsäure z.B. bei der Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz.

»FORWARD TO THE MOON«

Die Europäische Weltraumagentur ESA hat wie die Amerikaner und die Chinesen den Mond ins Visier genommen. Generaldirektor Jan Wörner über den Wettbewerb im All, umweltfreundliche Treibstoffe – und die Inspirationskraft der Raumfahrt

INTERVIEW **CHRISTIAN BAULIG UND BERND KALTWASSER**
FOTOGRAFIE **RAMON HAINDL**

Millionen kennen den Hauptkontrollraum des Europäischen Raumflugkontrollzentrums ESOC in Darmstadt aus dem Fernsehen. Bei Missionen wie dem Start der Merkursonde „BepiColombo“ im vorigen Oktober verfolgen hier Techniker der Europäischen Weltraumagentur ESA auf Dutzenden Monitoren Flugbahnen und Systeme von Raketen und Modulen. An diesem Wintertag ist der Raum für das ELEMENTS-Interview mit Jan Wörner reserviert. Mit schnellen Schritten eilt der ESA-Generaldirektor herein und wirft den blauen Dienstparka über einen Tisch. Auf dem rechten Ärmel ist das Logo der „Horizons“-Mission befestigt, die mit der Landung des deutschen ISS-Astronauten Alexander Gerst im Dezember zu Ende ging. „Öffentlichkeitsarbeit muss sein“, sagt Wörner und lacht. Dann nimmt er auf einem der Stühle Platz, auf denen sonst seine Techniker sitzen.

Professor Wörner, die Chinesen haben gerade erfolgreich eine Sonde auf den Mond geschickt, die Amerikaner bereiten ebenfalls eine neue Mission dorthin vor. Wieso erlebt der Erdtrabant fast 50 Jahre nach der Landung von Apollo 11 ein Comeback?

JAN WÖRNER Es ist eigentlich kein „Back to the moon“, sondern ein „Forward to the moon“. Diesmal gibt es keinen Wettlauf zweier Supermächte, sondern wir werden alle zusammenarbeiten. Die Landung auf der Rückseite des Mondes ist ein großer Erfolg der chinesischen Raumfahrt. Ich würde mich freuen, wenn die internationale Zusammenarbeit im All künftig noch enger würde. Aus diesem Grund hat der Mond für mich einen hohen geopolitischen Wert.

Sie selbst haben vorgeschlagen, ein „Moon Village“ zu errichten. Was verbirgt sich hinter der Weltraumidylle?

Der Begriff stammt nicht von mir, aber ich habe ihn übernommen, weil mir die Analogie gefällt. Wenn Sie ein Dorf auf der Erde gründen, ist das kein Beschluss einer Regierung, sondern eine Sache vieler Leute mit ganz unterschiedlichen Interessen. Im Moon Village geht es ebenfalls darum, in einer gemeinsamen Basis verschiedene Interessen zusammenzuführen, zum Beispiel Robotik oder astronautische Projekte. Akteure sind nationale Raumfahrtagenturen, Forschungseinrichtungen oder Industrieunternehmen.

Warum richtet sich das Interesse derzeit so sehr auf den Mond?

Aus Vernunftgründen. Wer glaubt, in wenigen Jahren mit Astronauten zum Mars zu fliegen, dem kann ich ganz schnell erklären, warum das nicht geht: Wir haben auf dem Mars etwa 40 Prozent der Erddanzleistungskraft und eine Atmosphäre. Sie müssen beim →



Jan Wörner ist seit Juli 2015 Generaldirektor der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Wörner studierte Bauingenieurwissenschaften und beschäftigte sich lange mit dem Thema Erdbebensicherheit. Er lehrte an der Technischen Hochschule Darmstadt und war von 2007 bis 2015 Vorstandsvorsitzender des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Wörners derzeitiger Vertrag bei der ESA reicht bis Juni 2019.



Große Pläne:
Auch die
Europäer wollen
zum Mond.

Starten wie beim Landen Dinge überwinden, die Sie auf dem Mond nicht haben. Sie brauchen also eine Rakete und Treibstoff. Wenn Sie mit Menschen so eine weite Strecke im All zurücklegen, müssen Sie zudem etwas für die Gesundheit tun. Zwei Jahre Reisezeit ohne jegliche Möglichkeit eines medizinischen Eingriffs kann ich mir nicht vorstellen. Hinzu kommt die dauerhaft hohe Strahlung.

Welche Erkenntnisse erhoffen Sie sich von einer neuen Mondmission?

Über den Mond ist relativ wenig bekannt. Die Landungen in den Sechziger- und Siebzigerjahren erfolgten alle dicht am Äquator, und da ist es staubtrocken. Wenn Sie an die Pole gehen, finden Sie Wasser. Auf der Rückseite des Mondes könnte man Observatorien bauen, um von dort aus ins All zu schauen.

Erwarten Sie, auf Rohstoffvorkommen zu stoßen?

Es gibt Unternehmen, die sich versprechen, Rohstoffe vom Mond zur Erde zu bringen. Ich bin da skeptisch, weil ich glaube, dass unsere Raketen dafür einfach zu teuer sind. Ich könnte mir aber vorstellen, dass Unternehmen Touristen auf den Mond bringen. Der Mensch hat es – zum Glück – in seinen Genen, dass er dorthin reisen möchte, wo er noch nicht war. Das ist übrigens auch ein Argument, warum ich auf astronautische Raumfahrt setze. Offensichtlich ist das persönliche Erleben für Menschen enorm wichtig.

Eine Kooperative auf dem Mond – das klingt verlockend. Aber müssen wir uns nicht sorgen, dass andere Teilnehmer das Wissen der Europäer absaugen?

Stellen Sie sich vor, Sie wären ein Alien und hätten die Fähigkeit, alles, was auf der Erde passiert, zu sehen, zu hören und zu verstehen. Wären Sie sich so sicher, sofort erkennen zu können, wer die Guten und wer die Bösen sind? Ich bezweifle das. Isolation hat in unserem Weltsystem außerdem niemals funktioniert und auch nicht geholfen. Erst Öffnung hat etwas gebracht. Die ESA kooperiert mit vielen Ländern weltweit – aber wir sind natürlich vorsichtig.

In den USA drängen mit Unternehmen wie Blue Origin, SpaceX oder Virgin Galactic immer mehr private Anbieter von Weltraumflügen auf den Markt. Verschläft Europa diesen Trend?

Es ist nicht so, dass wir da weit hinterherhinken. Nehmen Sie OHB, den Entwickler der Galileo-Satelliten. Das war einmal ein ganz kleines Unternehmen: Otto Hydraulik Bremen. Irgendwann sind die in die Raumfahrt eingestiegen – und wollen jetzt sogar eine eigene kleine Rakete entwickeln. Die Firma Ariane-space, die unsere Trägerraketen ins Weltall schießt, ist ebenfalls eine private Firma.

»Es ist gut zu erkennen, dass unser System uns die Möglichkeit gibt, Ideen umzusetzen.«

Und die gerät durch die neuen US-Konkurrenten mächtig unter Druck.

Ich will den Druck nicht leugnen. Bisher hat die Ariane 5 sehr erfolgreich gearbeitet – nicht weil sie besonders billig wäre, sondern wegen ihrer Zuverlässigkeit und weil wir in Französisch-Guayana einen günstig gelegenen Startplatz haben. Mit der Ariane 6, die im Juli 2020 zum ersten Mal starten soll, reduzieren wir die Kosten gegenüber der Ariane 5 um die Hälfte. Elon Musk hat mit SpaceX offensichtlich ein gutes Geschäftsmodell. Aber er arbeitet auch mit besonderen Randbedingungen, was die Bezahlung und die soziale Absicherung seiner Mitarbeiter angeht sowie die Verträge mit der NASA und anderen. Wir können in diesem Wettbewerb nicht ohne Weiteres mithalten ...

... was nicht zuletzt an der Konstruktion der ESA mit ihren 22 Mitgliedern liegt. Wie wollen Sie diese überzeugen, mehr Geld für die Raumfahrt bereitzustellen?

Eine gründliche Untersuchung unserer Aktivitäten hat gezeigt, dass 1 €, der in die Raumfahrt investiert wird, 6 € zurückbringt. Einen weiteren Effekt halte ich allerdings für mindestens ebenso wichtig: Wir leiden unter der „europäischen Krankheit“, dem Zukunftspessimismus. Für die Perspektive eines Kontinents ist es nicht gut, wenn wir der nächsten Generation ständig erzählen, es gebe nur Probleme.

Deswegen fragen wir nach den Chancen.

Weltraum fasziniert. Wenn wir auf einem Kometen landen, sagen die Leute: „Boah!“ Und wenn Alexander Gerst ein halbes Jahr in der Internationalen Raumstation Versuche macht, sind sie ebenfalls begeistert. Das ist ein wichtiger positiver Gehirnvorgang. Manche Leute stellen fest, wie andere einen Traum Realität werden lassen. Und einige sagen: Das kann ich doch auch. Es ist gut zu erkennen, dass unser System uns die Möglichkeit gibt, Ideen umzusetzen. Diese Botschaft hoffe ich durch die Raumfahrt in die Gesellschaft hineinzubringen.



Jan Wörner im Gespräch mit den ELEMENTS-Redakteuren Bernd Kaltwaßer (r.) und Christian Baulig

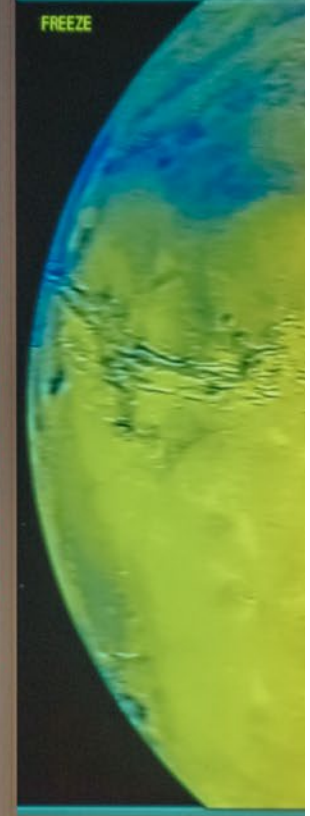
Die Mehrheit der Steuerzahler schaut vermutlich eher auf handfeste Ergebnisse. Was sagen Sie denen?

Raumfahrt ist Infrastruktur. Genaue Zeitmessung geschieht über Satelliten. Die moderne Wettervorhersage, Navigation, Telekommunikation – all das wäre ohne Raumfahrt undenkbar. Sämtliche Energienetze werden aus dem All koordiniert. Wir können mit der Raumfahrt zudem neue Materialien entwickeln wie Titan-Aluminit, eine Legierung, die sich für Turbinenschaufeln einsetzen lässt. Beim Legierungsverfahren müssen Sie die Viskosität prüfen. Auf der Erde fällt Ihnen entweder die Legierung auseinander, wenn Sie sie eine Weile auf derselben Temperatur halten, oder sie wird fest. Wir überlegen sogar, Medikamente in der Schwerelosigkeit des Alls zu produzieren.

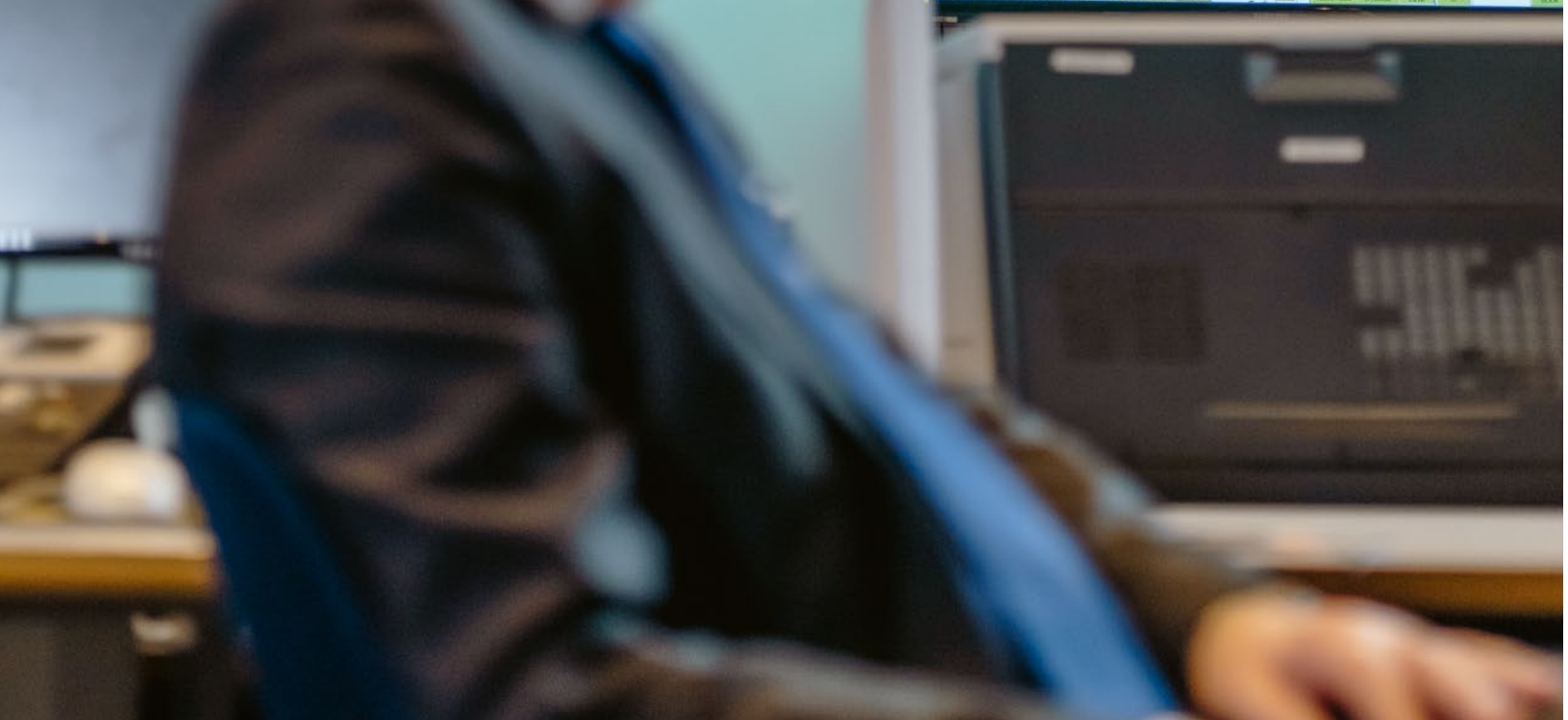
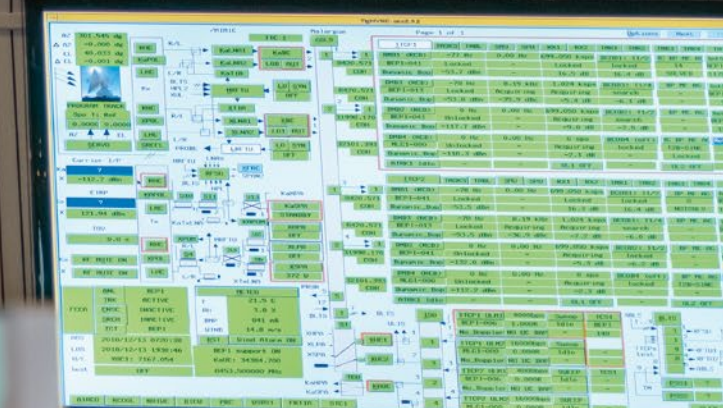
Bislang ist das Interesse der Wirtschaft an der Forschung im Weltraum noch recht verhalten. Das einzige komplett →



10:45
10:45
12:45
23:45
20:45
15:45
12:45
10:45



European operations centre



»Der Mensch hat es – zum Glück – in seinen Genen, dass er dorthin reisen möchte, wo er noch nicht war.«

von der Industrie bezahlte Experiment auf der ISS war der Test einer Creme von Evonik. Wie erklären Sie sich das?

Ach, das muss sich entwickeln. Als Michael Faraday 1831 die elektromagnetische Induktion entdeckte, hat es noch viele Jahrzehnte gedauert, bis die Industrie diese Erkenntnis in Produkte umgesetzt hat. Wir müssen da einen langen Atem haben. Neuerdings bieten wir auf der Internationalen Raumstation Unternehmen eine kostengünstige Möglichkeit, Versuche durchzuführen: unsere „Ice Cubes“. Sie schicken uns einfach ein Gerät mit den Maßen zehn mal zehn mal zehn Zentimeter oder einem Vielfachen davon. Das schießen wir dann hoch in die Raumstation, wo die Experimente durchgeführt werden. Kostet 50.000 €.

2018 wurden weltweit 111 Raketen gestartet – so viele wie nie zuvor. Müssen Sie sich nicht mehr Gedanken über den Umweltaspekt der Raumfahrt machen?

Die ESA hat an dieser Summe nur einen kleinen Anteil, aber umweltfreundliche Treibstoffe sind uns wichtig. In unseren Boostern nutzen wir Feststoffraketen, die in der Tat nicht sehr umweltverträglich sind. Das Gleiche gilt für Kerosin sowie für Hydrazin, das als Treibstoff in Raketen, Satelliten und Raumsonden zum Einsatz kommt. Wasserstoff und Sauerstoff, die den Treibstoff der zentralen Arianestufe darstellen, hingegen sind sehr sauber ebenso wie elektrische Antriebe.

Neuerdings nutzen Sie sogar die Luft in der Atmosphäre. Wie funktioniert das?

Beim sogenannten Air Breathing werden Luftmoleküle genutzt. Dadurch benötigen wir einen deutlich kleineren Sauerstofftank an Bord. Auch Methan könnte künftig einen Beitrag als Treibstoff leisten. Wasserstoff muss man auf minus 250 Grad Celsius herunterkühlen, damit er flüssig wird, um ihn in die Triebwerke zu pumpen. Bei Methan benötigen wir nur minus 170 Grad Celsius. Außerdem ist die Dichte von Methan höher, dadurch lässt es sich leichter im Tank handhaben. Hinzu kommen elektrische Antriebe, die ionisierte Moleküle in elektrischen Feldern beschleunigen.

Über Monate haben die Menschen gebannt verfolgt, wenn Alexander Gerst aus der ISS von seinen Experimenten und seinen Eindrücken von der Erde berichtet hat. Sind Sie traurig, dass Ihr wichtigster Botschafter im All nun wieder auf der Erde ist?

Im Gegenteil, er ist ja jetzt immer verfügbar. Thomas Reiter ist das letzte Mal 2006 geflogen und heute jeden zweiten Tag für uns unterwegs. Auch Astronauten wie Ernst Messerschmid oder Reinhold Ewald oder Ulf Merbold – wenn die auftreten, haben wir garantiert volle Häuser. Selbst Matthias Maurer, der noch gar nicht geflogen ist, wird auf Veranstaltungen umringt. Das finde ich fantastisch.

Professor Wörner, Sie sind 64 Jahre alt. Was würden Sie gern zu Lebzeiten im All erreicht sehen?

(überlegt) Da halte ich mich lieber zurück. Die ESA steht auf vier Säulen. Wenn ich ein einzelnes Projekt heraushebe, habe ich ein Problem mit den Vertretern der drei übrigen Säulen. Nur so viel: Dass es mit dem Moon Village vorangeht, ist eine Herzensangelegenheit. —

i Die Europäische Weltraumorganisation ESA

mit Sitz in Paris koordiniert die Weltraumaktivitäten von 22 Mitgliedstaaten. Die 1975 gegründete Agentur verfügt über ein Jahresbudget von rund 5,6 Milliarden €. Zu den wichtigsten Aufgaben zählen die Fortentwicklung der satellitengestützten Navigation und Telekommunikation, die Erdbeobachtung sowie die Erforschung des Sonnensystems. Die ESA ist einer der Projektpartner der Internationalen Raumstation ISS.

EVONIK-NEWS



Die Lingalaks-Aquafarm im Hardangerfjord (Norwegen)

Nachhaltig gezüchteter Lachs kommt in die Läden

In norwegischer Aquakultur wird Fischöl durch natürliches Algenöl ersetzt.

Die Einzelhandelskette Kaufland bringt gemeinsam mit dem norwegischen Lachsfarmer Lingalaks einen Lachs in den Handel, der mit Omega-3-Algenöl statt mit Fischöl gezüchtet wurde. Noch in diesem Jahr soll der gesunde und ressourcenschonend produzierte Lachs in rund 660 Filialen in Deutschland angeboten werden.

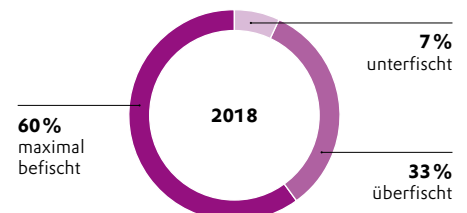
Den Impuls für diese Innovation in der Aquakultur gab Veramaris. Das 2017 gegründete Gemeinschaftsunternehmen von Evonik und DSM produziert ein Algenöl, das reich an den für die Lachszucht wichtigen Omega-3-Fettsäuren EPA (Eicosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) ist. Es wird mithilfe natürlicher Meeresalgen durch Fermentierung

an Land gewonnen, ist frei von Schadstoffen und ausschließlich mit natürlichen Antioxidantien stabilisiert. Dabei kommt die Produktion ganz ohne Wildfisch aus, der in Aquakulturen beim bislang üblichen Futter – Fischmehl und Fischöl – eine Schlüsselrolle spielt.

Veramaris organisierte in den vergangenen Jahren den Dialog zwischen allen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette, von Aquakulturbetreibern über Exporteure bis hin zu Nichtregierungsorganisationen.

Die Nachfrage von Verbrauchern nach gesundem und nachhaltigem Lachs ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Kaufland sieht daher großes Potenzial in der Zusammenarbeit mit Lingalaks und Veramaris.

KOMMERZIELL GENUTZTE FISCHBESTÄNDE WELTWEIT



Weltweit gelten 33 Prozent der kommerziell genutzten Fischbestände als überfischt, 60 Prozent als maximal genutzt. Quelle: WWF, Juli 2018

Venture Capital mehr als verdoppelt

Evonik legt einen zweiten Fonds für Wagniskapital auf. Mit einer Einlage von 150 Mio. € wird das Gesamtvolumen auf 250 Mio. € mehr als verdoppelt. Der neue Venture-Capital-Fonds soll dem Konzern den Zugang zu zukunftsweisenden Technologien und innovativen Geschäftsmodellen sichern. Darüber hinaus dient dieser Schritt zur Unterstützung der digitalen Transformation von Evonik sowie der frühzeitigen Identifikation potenzieller Übernahmeziele. Geschäftsführer der Evonik Venture Capital GmbH ist Dr. Bernhard Mohr. „Die Erhöhung des Fondsvolumens auf 250 Mio. € unterstreicht unsere Ambition, Evonik Venture Capital als einen der weltweit führenden Investoren im Bereich der Spezialchemie zu etablieren“, sagt Mohr. Als Wagniskapitalgeber unterstützt Evonik junge Unternehmen nicht nur mit Geld, sondern auch mit der Erfahrung und den Kontakten eines weltweit führenden Spezialchemieunternehmens. Seit 2012 ist der Konzern 25 Beteiligungen eingegangen. Die inhaltliche Ausrichtung orientiert sich an jenen vier Geschäftsfeldern, die Evonik als Wachstumskerne ausgemacht hat: Health & Care, Animal Nutrition, Smart Materials und Specialty Additives.

25

BETEILIGUNGEN

ist die Evonik Venture Capital GmbH bislang eingegangen. Seit 2012 ist der Konzern in diesem Bereich aktiv.



Ein Katalysator von Evonik spielt eine wichtige Rolle auf bemannten Raumfahrtmissionen.

Evonik-Katalysator im Lebenserhaltungssystem der ISS

Die Internationale Raumstation ISS hat ein neues Element für das Lebenserhaltungssystem mit dem Namen „Advanced Closed Loop System“ (ACLS) erhalten, das Ende 2018 von Kommandant Alexander Gerst eingebaut und getestet wurde. In dem System übernimmt ein Katalysator von Evonik eine wichtige Rolle. Das ACLS wurde von Airbus für die Europäische Weltraumorganisation ESA entwickelt, um für eine effiziente Lebenserhaltung an Bord zu sorgen. Es ist in der Lage, ausgeatmetes Kohlendioxid aus der Luft zu entfernen und Sauerstoff zum Atmen herzustellen. Zudem erzeugt es etwa 40 Prozent des benötigten Frischwassers und reduziert damit deutlich die Menge an Wasser, die von der Erde zur ISS transportiert werden muss. Der Beförderung von Wasser zur ISS ist extrem teuer und aufwendig. Pro Liter fallen bis zu 60.000 € Kosten an. Im laufenden Jahr 2019 wird das System auf der Raumstation in den Normalbetrieb gehen.

Neue Manager in die Geschäftsführung der Segmente berufen

Evonik hat neue Manager in die Geschäftsführung der Segmente berufen. Johann-Caspar Gammelin, bislang Vorsitzender der Geschäftsführung der Evonik Performance Materials GmbH, übernimmt zum 1. April 2019 den Vorsitz der Geschäftsführung der Evonik Nutrition & Care GmbH. Er folgt in diesem Amt auf Dr. Reiner Beste, der ebenfalls zum 1. April als Regional President die Aufgabe übernimmt, die Evonik-Regionen Asien-Pazifik Nord und Asien-Pazifik Süd zu einer Region zusammenzuführen. Nach-

folger von Gammelin als Vorsitzender der Geschäftsführung der Evonik Performance Materials GmbH wird Dr. Joachim Dahm. Damit zählen Gammelin und Dahm künftig, ebenso wie Dr. Claus Rettig als Geschäftsführer der Evonik Resource Efficiency GmbH und Gregor Hetzke als Geschäftsführer der Evonik Technology & Infrastructure GmbH, zum erweiterten Vorstand von Evonik. Dr. Rainer Fretzen zieht zum 1. April 2019 in die Geschäftsführung der Evonik Technology & Infrastructure GmbH ein und übernimmt deren Vorsitz am 1. September 2019 von Gregor Hetzke. Ab diesem Zeitpunkt gehört Fretzen dann ebenfalls zum erweiterten Vorstand von Evonik.

Interner Innovationspreis verliehen

Engagierte Mitarbeiter und deren Forschungserfolge hat Evonik im Dezember wieder mit dem unternehmenseigenen Innovationspreis gewürdigt. Zu den jüngsten Gewinnern zählt das Produkt RHEANCE® One, mit dem ein Durchbruch für eine sanfte und gleichzeitig effektive Reinigung von Haut und Haaren gelungen ist. Die natürlichen Glycolipide werden durch einen biotechnologischen Prozess allein auf der Basis pflanzlicher Zucker hergestellt und sind vollständig biologisch abbaubar. Ebenfalls ausgezeichnet wurde ein neues Verfahren mit dem Namen SPHERILEX®. Es ermöglicht die Herstellung kugelförmiger Kieselsäurepartikel mit kontrollierter Partikelgrößenverteilung und Porosi-

tät in einem kontinuierlichen Prozess. Der erstmalig vergebene Preis in der Kategorie „Geschäftsmodellinnovation“ wurde für ein integriertes Managementsystem für die Lieferkette von Active Oxygens in Nordamerika vergeben, das Daten aus unterschiedlichen Quellen automatisch zieht und ihre Auswertung in einem Dashboard darstellt.



Einmal im Jahr würdigt Evonik engagierte Mitarbeiter und deren Forschungserfolge mit dem unternehmensinternen Innovationspreis.



Thomas Wessel ist Personalvorstand und Arbeitsdirektor von Evonik.

Höchste Zeit für Veränderungen

Weltweit werden forschende Unternehmen steuerlich gefördert – nicht so in Deutschland. Diesen Wettbewerbsnachteil sollten wir uns nicht länger leisten.

Von Thomas Wessel

Es gibt nur wenige Industrienationen auf der Welt, in denen ein steuerlicher Anreiz für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten fehlt. Deutschland, das oft gerühmte Land der Tüftler, Erfinder und Ingenieure, gehört leider dazu. Über die Förderung einzelner Projekte hinaus gibt es bei uns keine steuerliche Unterstützung von Forschung und Entwicklung, kurz FuE, erst recht nicht für Großunternehmen. Das schadet der Innovationskraft deutscher Unternehmen und belastet sie im weltweiten Wettbewerb.

ANDERE STAATEN LEGEN VOR

Dabei zeigt der Blick über die Grenzen hinweg: Länder, die am meisten in ihre Innovationskraft investieren, gehören auch wirtschaftlich zu den erfolgreichsten Standorten. Die Mehrheit der OECD-Staaten und die Hälfte der EU-Staaten nutzen Mittel wie eine sogenannte Inputförderung, um ihre Forschung zu unterstützen. So hat Frankreich bereits vor mehr als drei Jahrzehnten Förderinstrumente eingeführt, die Niederlande fördern seit mehr als zwei Jahrzehnten, das EU-nahe Norwegen und Irland seit knapp 15 Jahren die Forschung steuerlich in ihren Wirtschaftssystemen.

Das zahlt sich aus. Österreich etwa hat sein 1988 eingeführtes steuerliches Fördersystem vor sechs Jahren reformiert. Seitdem sind dort die Bruttoinlandsausgaben für FuE gemessen am Volkseinkommen deutlich gestiegen. Auch für den Staatshaushalt hat dieses Instrument positive Effekte: Allein die

»Eine pragmatische, administrierbare Variante für den Einstieg wäre die Begrenzung der Steuergutschrift auf FuE-Personalaufwendungen.«

Lohnsteuerzahlungen der zusätzlich von Unternehmen eingestellten Wissenschaftler können die Kosten der österreichischen Forschungsförderung fast zur Hälfte decken. Die Verrechnung mit der Lohnsteuer hat einen direkten Effekt auf den Cashflow.

GRÖSSE SPIELT KEINE ROLLE

In Deutschland sind nicht nur die einheimischen Unternehmen durch das Fehlen solcher Instrumente benachteiligt. Auch die deutschen Standorte ausländischer Unternehmen leiden darunter, denn beim Akquirieren von Konzern-Forschungsprojekten geraten sie im internen Standortvergleich ins Hintertreffen. Langfristig geht dies zulasten der gesamten deutschen Volkswirtschaft.

Verschließen wir nicht die Augen davor: Die weltwirtschaftlichen Gewichte verlagern sich rasant – vor allem zugunsten asiatischer Staaten, die mit deutlichen Steuervorteilen nicht nur bei Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten werben. Hierzulande steht im Mittelpunkt der politischen Auseinandersetzung über die steuerliche FuE-Förderung weniger der Wettbewerb um Realinvestitionen als vielmehr der Vorwurf einer Steuervermeidung für multinational tätige Unternehmen.

Nun kann man die Frage stellen, ob die deutsche Industrie angesichts ihres wirtschaftlichen Erfolgs überhaupt eines Steueranreizes bedarf. Schließlich leistet und liefert sie Innovationen verlässlich auch aus eigener wirtschaftlicher Kraft. Doch spielen generelle Steuerentlastungen für Unternehmen im internationalen Standortwettbewerb eine zunehmende Rolle, das zeigt etwa der Blick auf die drastische Senkung der Unternehmensteuern in den USA.

Dem kann sich auch Deutschland nicht komplett entziehen, insbesondere nicht im Zukunftsfeld FuE. Denn in zunehmend wissensbasierten Volkswirtschaften spielen Forschung und Entwicklung sowie im-

materielle Wirtschaftsgüter wie Patente und Markenrechte eine herausragende Rolle. Es ist höchste Zeit für Veränderungen, Deutschland darf bei der Standortwahl von Investitionsentscheidungen und der Ansiedlung innovativer Unternehmen steuerlich nicht länger im Abseits stehen!

Deshalb fordere ich die Bundesregierung auf, zum einen mit einer Steuerreform den Grundstein dafür zu legen, mit den Nachbarstaaten und Handelspartnern steuerlich auf Augenhöhe zu agieren. Das passive, zurückhaltende Gebaren muss ein Ende haben. Vor allem aber brauchen wir eine steuerliche Forschungsförderung, und zwar jetzt, für alle Unternehmen und technologieoffen.

Ziel muss eine allgemeine Steuergutschrift für FuE-Aufwendungen für alle forschenden Unternehmen sein, die die Aufwendungen für Auftragsforschung einbezieht. Und zwar unabhängig von der Unternehmensgröße: Innovationsrelevant sind kleine und mittlere Firmen ebenso wie große Konzerne. Gerade Letztgenannte sind oft Systemführer bei Innovationskooperationen und Hauptauftraggeber von Forschungsaufträgen an den Mittelstand.

Eine pragmatische, administrierbare und mit geringeren Steuerausfällen verbundene Variante für den Einstieg in eine steuerliche FuE-Förderung in Deutschland wäre die Begrenzung der Steuergutschrift auf FuE-Personalaufwendungen. Das darf aber nicht das Ziel, sondern allenfalls ein Meilenstein auf dem Weg zum Status „für alle und technologieoffen“ sein.

Generell ist es wichtig, dass das Förderinstrument einfach und transparent gestaltet wird, um die Verwaltungskosten nicht nur für den Staat, sondern auch für die Unternehmen gering zu halten. Und wie für alle Förderungen muss gelten, dass es planbar und verlässlich ist und den Unternehmen Rechts- und Investitionssicherheit bietet. Alldem wird die gängige Praxis jenseits der deutschen und innerhalb der europäischen

Grenzen gerecht. All das muss auch die deutsche Variante gewährleisten.

Ein Ende des langen Stillstands schien zuletzt nah. Schließlich wurde die Einführung einer steuerlichen Forschungsförderung im Koalitionsvertrag für kleine und mittelständische Firmen vereinbart. Das Forschungsministerium und das Wirtschaftsministerium hatten bereits im Herbst vorigen Jahres gemeinsame Eckpunkte vorgelegt. Von entscheidender Bedeutung ist aber, dass sich das Finanzministerium konstruktiv beteiligt. Dann könnte bis Ostern ein gemeinsamer Gesetzentwurf der Bundesregierung vorliegen. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn den guten innovationspolitischen Ideen zügig gesetzliche Taten folgten.

NEUE ERKENNTNISSE

Dabei gäbe es weit mehr Gewinner als „unseren“ Wirtschaftsstandort. Mehr Forschung hierzulande intensiviert den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Und zugleich böte die steuerliche Förderung die Möglichkeit neuer volkswirtschaftlicher Erkenntnisse. Es ließe sich zum Beispiel einfacher eine Innovationsquote berechnen – also die Anzahl der innovativen Unternehmen im Verhältnis zur Gesamtzahl der Unternehmen.

Das funktioniert sogar differenziert nach Branchen. So würde etwa eine Konzentration auf immer weniger wirtschaftliche Akteure, die in stärker konzentrierten Märkten mit erhöhten Markteintrittsbarrieren agieren, transparent – dem könnte dann entgegen-gesteuert werden.

Auch örtliche Verlagerungen der Innovationszentren zulasten des heimischen Arbeitsmarkts und der Folge einer Abwanderung von Know-how würden besser sichtbar. Das ist für Deutschland besonders relevant. Denn das rohstoffarme Land der Tüftler und Erfinder lebt seit Jahrzehnten davon, bei Forschung und Entwicklung vorn zu liegen statt hinterherzuhinken. —



Getrennte Wege

TEXT GEORG DAHM

Um den steigenden Erdgasbedarf zu decken, werden zunehmend Felder mit hohem CO₂-Gehalt erschlossen. Ein perfektes Einsatzgebiet für die neuen Hightech-Membranen aus Österreich.

Erdgasförderung in Kanada: Viele Felder weisen hohe Konzentrationen an CO₂ auf, das vom Methan geschieden werden muss.

Für einen an sich sauberen Energieträger ist das eine ganz schön dreckige Mischung, die da aus dem Erdreich strömt: Das heiße, rohe Erdgas, das am Südpol des amerikanischen Kontinents gefördert wird, enthält nicht nur Methan – Brennstoff für Herde, Heizungen, Kraftwerke und Motoren. Sondern auch jede Menge CO₂, und das besitzt die unschöne Eigenschaft, mit Wasser zu aggressiver Kohlensäure zu reagieren. Herde, Heizungen, Kraftwerke und Motoren würden an rohem Erdgas ziemlich schnell zugrunde gehen. Ebenso wie die Leitungen, durch die es vom Produzenten zum Abnehmer fließt.

Solch „saures“ Erdgas ist in der Energiebranche nichts Neues. Jede Förderanlage besitzt deshalb Separationssysteme, die den Rohstoff aufbereiten und neben Kohlendioxid auch andere unerwünschte Elemente wie Wasser oder schwere Kohlenwasserstoffe trennen. Die Menge an saurem Erdgas nimmt jedoch seit einiger Zeit zu. „Die Nachfrage nach Erdgas ist so hoch, dass immer mehr Vorkommen mit sehr hohen CO₂-Anteilen erschlossen werden“, sagt Dr. Patrick Schiffmann vom Anlagenbauer Linde Engineering. „Wir beobachten steigende CO₂-Anteile, weil man seit einigen Jahren Kohlendioxid, das aus gefördertem Erdgas abgetrennt wurde, wieder ins Erdreich verpresst hat.“ Gasförderung und -reinigung werden somit immer anspruchsvoller.

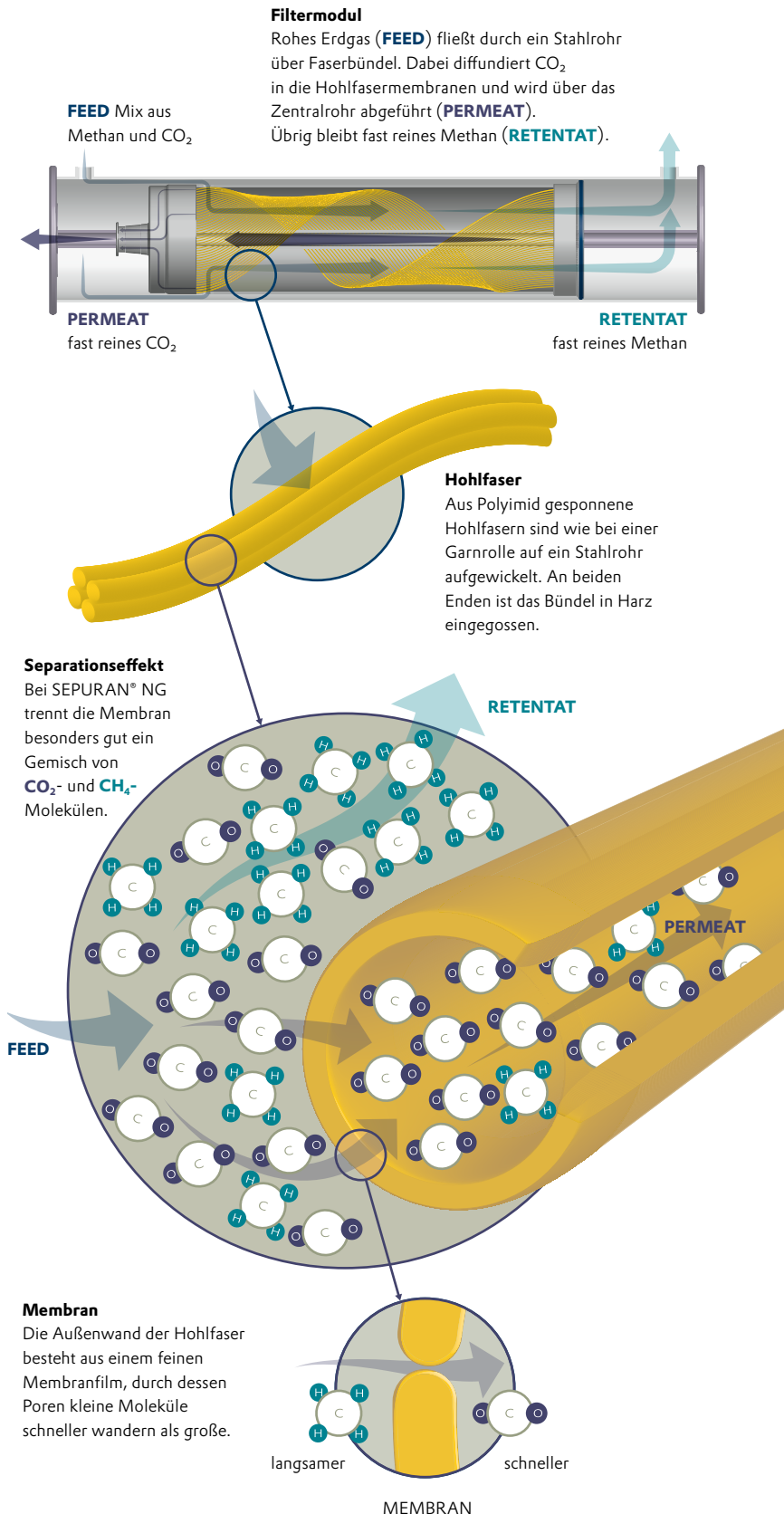
Seit gut einem Jahr betreibt der Anlagenbauer auf einem Gasfeld in Südargentinien eine neue Separationstechnik, die das „Gas Sweetening“, wie die Aufbereitung in der internationalen Fachsprache genannt wird, grundlegend verändern könnte. Grundlage ist ein Produkt von Evonik, das sich auf anderen Gasmärkten bereits bewährt hat: SEPURAN® – eine Kunststoffmembran, die anders funktioniert als alle Konkurrenzprodukte. Und die dadurch eine Schlüsselrolle spielen kann bei der Deckung des wachsenden Erdgasbedarfs.

POLYIMID STATT CELLULOSEACETAT

Bis zu 50 Prozent beträgt der CO₂-Anteil des Erdgases in der Region, wo Linde mit der Evonik-Membran die Prozesse seines Kunden optimiert – der Grenzwert für die Einspeisung in Pipelines beträgt zwei Prozent. Bisher kam der Betreiber gerade einmal auf zehn Prozent, berichtet Prozessingenieur Schiffmann. Herzstück und Sorgenkind der Anlage sind die herkömmlichen Membranen aus Celluloseacetat, also Kunststofffasern auf Holzbasis. „Eigentlich ein wunderbares Material“, sagt Dr. Götz Baumgarten, bei Evonik verantwortlich für das Markt- →

RAUS MIT DEM CO₂

Die neueste Generation der SEPURAN®-Module ist darauf ausgelegt, Erdgas von aggressivem Kohlendioxid zu reinigen.



segment Membranen. „Es hat nur zwei Probleme: Erstens halten die Membranen nicht lange, und jeder Austausch bedeutet Produktionsausfälle. Zweitens ist die Membran nicht besonders selektiv.“

Die Selektivität ist ein wichtiger Faktor dafür, wie wirtschaftlich eine Membran arbeitet: Idealerweise lässt sie nur eine Art von Molekülen durch und hält andere zurück. Beim rohen Erdgas etwa würde sich auf der einen Seite reines Methan sammeln und auf der anderen Seite das (unerwünschte) CO₂. So einfach ist es in der Realität leider nicht. Die Membran erkennt nicht, welches Molekül gerade passieren will – darum diffundiert immer auch ein Teil des wertvollen Methans.

Die Trennwirkung entsteht dadurch, dass verschiedene Moleküle unterschiedlich schnell durch die Membran wandern. Je größer die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen zwei Molekülen, desto sauberer kann man das Gas auftrennen. „Mit den klassischen Produkten gingen unserem Kunden zehn Prozent des Methans verloren“, sagt Linde-Experte Schiffmann. „Mit der Evonik-Technologie reduzieren wir den Verlust auf zwei Prozent. Bei einem Output von 25 Tonnen Erdgas pro Stunde ist das viel Geld, das nicht mehr verpufft, und eine Menge Treibhausgas, das nicht mehr entweicht. Die begrenzten Erdgasvorkommen lassen sich viel sinnvoller nutzen.“

Anders als klassische Membranen besteht SEPURAN® aus Polyimid, einem Hochleistungskunststoff, den Evonik selbst entwickelt hat, produziert und zu Fasern verarbeitet. Die letzten beiden Schritte geschehen in Schörfing in Österreich (siehe Reportage ab Seite 34). In der hohen Fertigungstiefe sieht Baumgarten einen großen Vorteil gegenüber der Konkurrenz: „Wir haben den ganzen Prozess selber in der Hand, vom Molekül- und Polymerdesign bis zu der Art, wie wir die Fasern wickeln und in ein Membranmodul bringen.“

Unter dem Elektronenmikroskop sieht man den komplexen Aufbau der Membran (siehe Grafik Seite 31): Jede Faser ist hohl wie ein Strohalm, innen ist das Material porös wie ein Schwamm. „Diese Struktur macht die Faser stabil“, erklärt Baumgarten. „Die Oberfläche dagegen bildet ein glatter Film, er sorgt für die Separationswirkung.“ In den Membrankartuschen sind die Fasern auf einem Stahlrohr aufgewickelt, das Konstrukt wirkt wie eine überdimensionierte Garnrolle. Das rohe Erdgas strömt an den Fasern entlang, Kohlendioxidmoleküle diffundieren durch die Membranoberfläche ins Innere der Hohlfasern, das Gas wird auf seinem Weg durch die Kartusche immer ärmer an CO₂.

HART IM NEHMEN

Seit acht Jahren ist SEPURAN® auf dem Markt. Das Material hat sich seither etabliert – zum Beispiel in Biogasanlagen, wo es hilft, Methan aufzureinigen. Zudem wird es genutzt, um Stickstoff aus der Umgebungsluft zu gewinnen und wertvolle Gase wie Helium oder Wasserstoff zu konzentrieren. Was all diese Anwendungen gemeinsam haben: Bei ihnen wird das Ausgangsgas – der sogenannte Feed – ins Innere der Hohlfasern geleitet. Das durch die Membran diffundierende Gas, Permeat genannt, wird getrennt vom anderen Teil, dem Retentat, abgeführt. Separiert wird also von innen nach außen.

Für die neue Anwendung hat Evonik die Separationsrichtung umgedreht und die Konstruktion verändert: „Die Membran wird bei der Aufreinigung von Erdgas stärker belastet, wir haben höhe-

ren Druck und höhere Temperaturen“, erklärt Baumgarten. „So sind wir auf die Bauweise mit gewickelten Fasern gekommen: Sie liefert uns die nötige Robustheit.“

Tatsächlich ist die Membran so hart im Nehmen, dass Linde selbst nach mehreren Monaten Dauereinsatz keinen Leistungseinbruch feststellen konnte. „Bei Celluloseacetat-Membranen macht sich der bereits nach einem Monat bemerkbar, nach drei Monaten muss man einen Teil der Kartuschen austauschen“, sagt Schiffmann. „Bei SEPURAN® hatten wir selbst nach einem halben Jahr noch die gleiche Trennleistung wie am Anfang.“ Was für Anlagenbetreiber bedeutet, dass sie seltener die Anlage ganz oder teilweise herunterfahren müssen, um Membranen zu wechseln. Ein weiterer Vorteil: Bilden sich in der Anlage zeitweise flüssige Kohlenwasserstoffe, regenerieren sich SEPURAN®-Membranen. „Eine Celluloseacetat-Membran ist danach erledigt“, so Schiffmann.

EIN SEPARATIONSDURCHGANG WENIGER

Die Trennwirkung im Test war so gut, dass sie sich auf die gesamte Konstruktion der Erdgasaufbereitungsanlage auswirkte: „Oft benötigt man zwei Separationsstufen“, sagt Schiffmann. „Das Permeat enthält nach der ersten Stufe noch so viel Methan, dass wir es mit einem Kompressor verdichten und durch eine zweite Membranstufe schicken. So wird der größte Teil des Methans zurückgehalten“, sagt Schiffmann. Das erfordere einen immensen Energie- und Kapitaleinsatz. „Bei den Hohlfasermembranen ist das Retentat schon nach der ersten Stufe so rein, dass wir diese Maschinen teilweise abschalten oder mit der halben Leistung betreiben können. All das spart Geld und erhöht die Verfügbarkeit.“

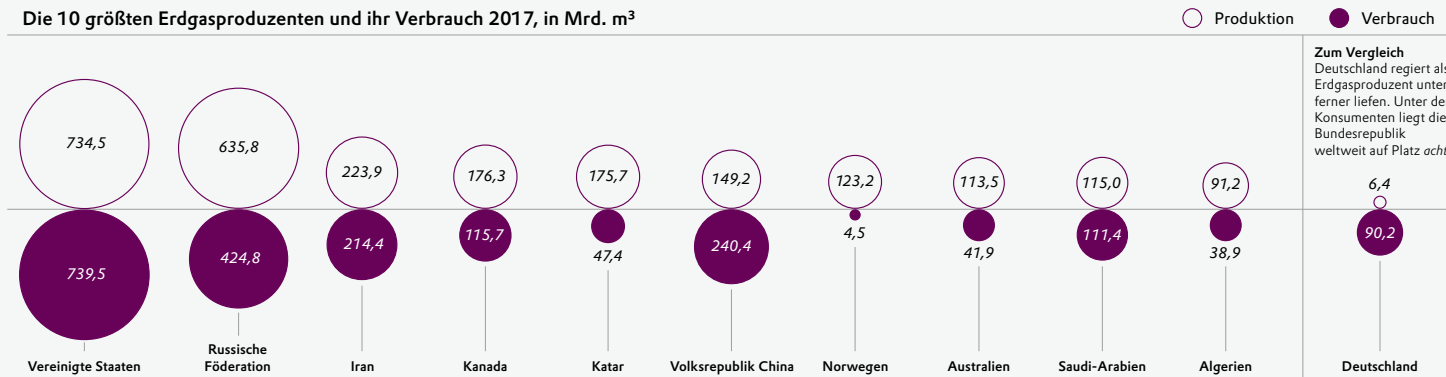
Die Betriebsdaten aus der Anlage und dem eigenen Labor nutzt Schiffmanns Team nicht nur selbst für die Planung neuer und die Umrüstung bestehender Anlagen. „Wir spielen unsere Daten, Informationen und Erkenntnisse auch an Evonik zurück, damit die Konstruktion weiterentwickelt werden kann.“ Eine Win-win-Situation für beide Partner.

Das Marktpotenzial ist Götz Baumgarten zufolge selbst unter pessimistischen Annahmen enorm. Je höher der CO₂-Anteil in den Erdgasvorkommen, desto stärker verdrängen Membranen weitverbreitete chemische Reinigungsprozesse wie die sogenannte Aminwäsche. „Auf dem Markt für Erdgas-Sweetening kommen Membranen erst auf einen Marktanteil von 8 Prozent, und davon wiederum bestehen bisher 80 Prozent aus Celluloseacetat.“ Ein Markt im Volumen von mehreren 100 Millionen € wartet auf die Branche, schätzt Baumgarten – und davon will sich Evonik einen großen Teil sichern. —

Gib Gas

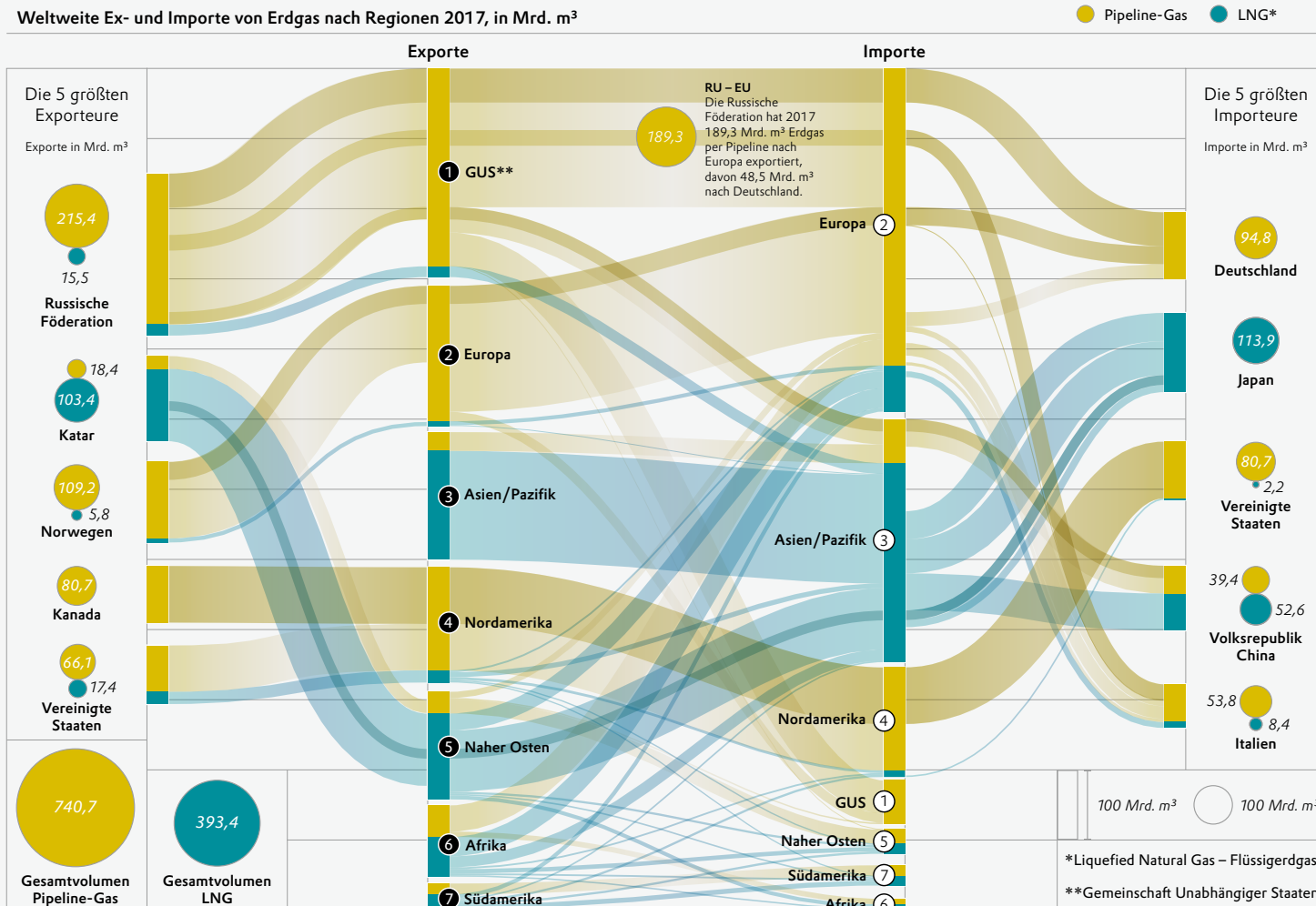
Erdgas wird fürs Heizen von Wohnungen und zur Stromerzeugung verwendet, es dient als Wärmelieferant für industrielle Prozesse und als Treibstoff. Die Vorkommen liegen jedoch zumeist nicht dort, wo der Bedarf am größten ist. Ein Überblick über Vorräte und Transportwege eines der wichtigsten Energieträger.

Die 10 größten Erdgasproduzenten und ihr Verbrauch 2017, in Mrd. m³



Zum Vergleich
Deutschland regiert als Erdgasproduzent unter fernem liefern. Unter den Konsumenten liegt die Bundesrepublik weltweit auf Platz acht.

Weltweite Ex- und Importe von Erdgas nach Regionen 2017, in Mrd. m³



in Mrd. m ³	GUS**	Europa	Asien/Pazifik	Nordamerika	Naher Osten	Afrika	Südamerika
Exp. Pipeline-Gas	1 282,9	2 192,8	3 26,8	4 146,4	5 30,9	6 45,0	7 15,4
Export LNG	15,5	8,3	155,0	17,4	122,5	55,4	19,1
Imp. Pipeline-Gas	1 62,3	2 423,4	3 62,9	4 146,8	5 22,2	6 7,6	7 115,4
Import LNG	–	2 65,7	3 283,5	4 9,2	5 13,0	6 8,2	7 13,8

MEMBRANEN

Keine Angst vorm Spinnen

TEXT **GEORG DAHM**
FOTOGRAFIE **ENNO KAPITZA**



Die Produktion von Kunststofffasern hat in Oberösterreich Tradition. In Schörfling werden daraus Membranen gefertigt, die weltweit die Erdgasreinigung revolutionieren könnten.

Manchmal zeichnet sich Fortschritt durch Langsamkeit aus. Gemächlich dreht sich die meterlange Spule, auf die eine Maschine kreuz und quer, Schicht um Schicht, ein Faserbündel aufwickelt. Mit rhythmischem Schnarren fährt die Spindel wieder und wieder und wieder die Länge der Wickelmaschine ab – bis nach einer Weile ein gewaltiger goldener Flechtzopf erkennbar wird.

Diese „Pensionistengeschwindigkeit“ hat Peter Aigner anfangs schwer zu schaffen gemacht: „Die Trägheit des Prozesses war für mich die größte Herausforderung.“ Der Schichtleiter im Evonik-Werk Schörfling arbeitet seit 34 Jahren als Chemieverfahrenstechniker und ist ein deutlich höheres Tempo gewohnt. Hier am Attersee in Oberösterreich spinnen sie seit fast 100 Jahren Kunststoffe zu Fasern – früher Viskose, heute Polyimid. Normalerweise laufen die Fäden viel schneller von der Maschine.

Hier aber geht es nicht um „normale“ Fasern, wie sie für Funktionskleidung, Bettwäsche, Teebeutel oder Babytücher benötigt werden. In der Werkhalle inmitten eines kleinen Gewerbegebiets entstehen Hohlfasern: ultrafeine, makkaroniähnliche Gebilde, deren Innenleben mit dem bloßen Auge kaum zu erkennen ist. Jede dieser Fasern besitzt die Fähigkeit, Gase voneinander zu trennen, indem sie das eine ins Innere diffundieren und das andere außen vor lässt. Zu dicken Bündeln gepackt und in Stahlrohre eingebaut, werden die Kunststoffhalme unter dem Markennamen SEPURAN® zu →

Herr der Fasern: Niemand kennt die Spinmaschine so gut wie Peter Aigner. Er sorgt dafür, dass die hauchfeinen Hohlmembranen in bester Qualität auf die Rolle kommen.

Hochleistungsfiltern für die chemische Industrie, für Biogasanlagen oder – die jüngste Weiterentwicklung – für die Reinigung von Erdgas, das oft mit einem hohen CO₂-Gehalt aus dem Boden kommt und ungefiltert schnell Rohrleitungen und Verbindungsstücke zerfressen würde.

Wer im Winter von Salzburg nach Schörfing fährt, denkt eher an Skiurlaub als an marktführende Kunststoffkompetenz. Von hier aus ist es nicht weit bis zu den bekannten Skiarenen Dachstein West oder Krippenstein-Obertraun. Die malerische Gegend rund um den Attersee ist jedoch seit Jahrzehnten als Zentrum von Textil- und Kunststofffasern bekannt. Im benachbarten Lenzing sitzt das gleichnamige, heute weltweit aktive Traditionsunternehmen, aus dem die Schörflinger Evonik-Niederlassung hervorgegangen ist.

Maschinenführer Aigner ist einer von 53 Mitarbeitern, die für die Membranproduktion verantwortlich sind. Ein Expertenjob. Flüssigen Kunststoff dazu zu kriegen, sich perfekt zu einem nie endenden Halm zu

Gigant: Diese Maschine produziert Polyimidfasern für die Membranen.



»Ich bin mit Polyimiden groß geworden. Aber das hier ist etwas völlig anderes.«

PETER AIGNER, MASCHINENFÜHRER

formen, der innen leicht porös ist und außen einen Film mit genau festgelegten chemischen Eigenschaften bildet – das muss man erst einmal hinbekommen. „Ich bin mit Polyimiden groß geworden“, sagt Aigner, „aber was wir hier machen, ist ganz was anderes.“

AUS ZWEI MACH EINS

So fein die Fasern sind, so gewaltig wirkt die Maschine, die sie erzeugt. Die Fäden, die gerade die Edelstahlspule füllen, fließen aus einem haushohen Stahlkoloss von der Länge mehrerer Pkw-Garagen. Wer sich der Konstruktion nähert, eine der Stahltreppen besteigt und durch die Fenster ins Innere blickt, sieht über die ganze Strecke ein paar zarte Fäden, die durch dampfende Flüssigkeitsbäder gezogen werden. Ihr Ursprung liegt am anderen Ende der Spinnmaschinen, hinter einem Gewirr aus folienumwickelten Rohren und Leitungen. Hier befinden sich die Spinnndüsen, die eine Polymerlösung zu Halmen spritzen.

Das Ausgangsmaterial wird in zwei mannsgroßen weißen Kunststofftanks aus Lenzing angeliefert, wo Evonik Polyimid produziert: ein Tank mit der sogenannten Dope-Lösung, goldfarben und klebrig wie Honig, und ein Tank mit Lösungsmittel. Beide Komponenten, der zähe Kunststoff und das flüchtige Lösungsmittel, müssen in den Spinnndüsen so zusammengeführt



Austausch: Evonik fertigt in Schörfing im Dreischichtbetrieb, bei Peter Aigner laufen die Fäden zusammen.

4

VARIANTEN
von SEPURAN®-
Membranen hat
Evonik
im Angebot.



Kontrolle ist besser: Eine Membrankartusche wird in ein Druckrohr eingeführt und danach auf ihre Leistungsfähigkeit getestet.

werden, dass sie aus der Ringform fehlerfrei und gleichmäßig als nie endende Nudel hervortreten. „Es kommt nicht nur auf die äußere Form an“, sagt Dr. Götz Baumgarten, bei Evonik verantwortlich für das Membrangeschäft. Auch die Oberfläche der Faser müsse verlässlich so ausfallen, dass sie die gewünschten Trenneigenschaften besitzt. Alles an und in dieser Maschine ist ein wertvolles Betriebsgeheimnis: von der Temperatur des Wasserbads, über das Tempo, mit dem die Maschine läuft, bis hin zur Anzahl der Fäden, die gleichzeitig erzeugt werden.

ANGRIFF AUF DEN ERDGASMARKT

So langsam der Prozess auch zu laufen scheint, „unsere Konkurrenten im Gas-Separationsmarkt wundern sich, wie schnell wir sind“, sagt Baumgarten stolz. Er meint nicht nur das Tempo, mit dem sich Evonik in den vergangenen Jahren als wichtiger Zulieferer bei der Aufbereitung von Stickstoff oder Biogas etabliert hat, son-

dern auch die kurze Zeitspanne, in der das Unternehmen neue Anwendungsbereiche erschlossen hat. Der Einsatz von SEPURAN® in der Erdgasaufbereitung ist der jüngste Coup: der Angriff auf einen konservativen Markt, in dem es lange keine echten Innovationen gab. Zumeist wird das Gas mithilfe von Chemikalien auf Stickstoffbasis gereinigt – teuer, wartungsintensiv und wenig umweltfreundlich. Separationsmembranen haben erst einen kleinen Marktanteil, weil sie bislang weniger effizient und haltbar waren. Baumgarten ist jedoch zuversichtlich, dass viele Anlagenbetreiber auf das neue Material aus Österreich umsteigen werden. Die Fabrik in Schörfling ist so geplant, dass sie schnell auf wachsende Nachfrage reagieren kann.

Eigentlich ist das Erdgasgeschäft keins, das man sich als Zulieferer wünscht. Projekte in dieser Branche haben Vorlaufzeiten von 18 bis 24 Monaten: eine große Lieferung und dann wieder lange nichts. „Wenn wir die Maschine einmal eingerichtet haben, dann können →

53

MITARBEITER
sind in der Mem-
branproduktion
beschäftigt.



Kooperation: Mit Peter Aigner und dessen Kollegen hat Evonik-Manager Götz Baumgarten (r.) die SEPURAN®-Fertigung entwickelt.

wir monatelang ohne Pause produzieren“, sagt Aigner. „Wir laufen 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche, das ganze Jahr.“ Die Frage lautet: Wie lässt sich Kontinuität schaffen?

Die Antwort findet sich ein paar Meter hinter der Wickelmaschine, die Faserbündel zu Erdgasfiltern ordnet: In einer zweiten Fertigungslinie wickelt dort ein Apparat, der einem Mühlrad ähnelt, Fäden zu einem Polygon mit meterlangen Kanten auf: „Das nennt man Weife oder Haspel“, erklärt Aigner. Seit jeher wickelt man in Spinnereien Garn so in handhabbare Bündel.

ZOPF ODER BÜNDEL?

Bei Evonik werden solche Bündel in Biogas-, Stickstoff- und Heliummembranen eingebaut, die Zopf-Form findet man nur bei den Erdgasmembranen. Eine Fabrik

Rotation: Die Faserbündel werden auf Wickelkerne gespult.



»Jedes Modul hier hat den Wert einer teuren Armbanduhr.«

GÖTZ BAUMGARTEN, BUSINESS
MANAGER MEMBRANES

stellt also mehrere Produkte her, deren Stückzahl je nach Bedarf hoch- und runtergefahren wird. „So können wir gleichzeitig verschiedene Märkte bedienen und bekommen eine kontinuierliche Produktion hin“, sagt Baumgarten.

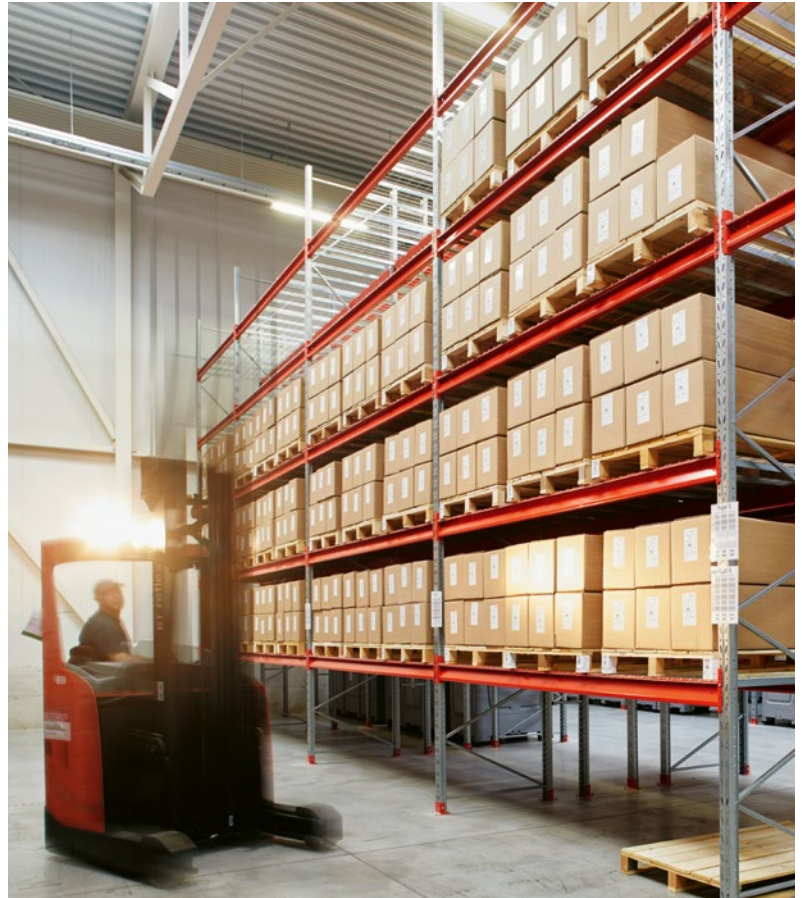
In welche Form die Fasern geformt werden – Zopf oder Bündel –, hängt davon ab, wie das Gas durch die Apparatur strömen soll. „Bei der Separation von Stickstoff oder Biogas leiten wir es durch den Innenraum der Faser, beim Erdgas außen über die Faser hinweg.“ Für die erste Anwendung eignen sich gerade verlaufende Fasern besser, für die zweite gewickelte. Die Wicklung sorgt dafür, dass das Erdgas gleichmäßig fließt. Genau so schnell, dass die Kohlendioxidmoleküle Gelegenheit haben, durch die Membran in die Hohlräume zu diffundieren, wodurch der Gasstrom immer reiner wird, die Methankonzentration also steigt.

Turmhohe Öfen stehen an den Fabrikwänden eine Halle weiter bereit, um den frischen Faserbündeln das nötige Finish zu verleihen; die Fachleute sprechen von „tempern“. Handarbeit, wie alles, was passiert, sobald die „Ernte“ von der Spinnmaschine genommen wird. Egal ob Bündel oder Zopf – damit aus Fasern Membranmodule werden, ist Präzision nötig. Schließlich sollen die Produkte über viele Jahre ihren Dienst auf Förderplattformen und in Raffinerien versehen.

„Jedes Modul, das wir hier fertigen, hat den Wert einer teuren Armbanduhr“, sagt Baumgarten. Werkbänke statt Fließbänder tragen dazu bei, dass in Schörfling mehr Manufaktur- als Fabrikatmosphäre herrscht. Zunächst werden die Faserbündel sauber abgeschnitten und danach mittels einer Zentrifuge mit Harzpfropfen an jedem Ende verschlossen.

TEST UNTER REALEN BEDINGUNGEN

„Potting“ nennt man diesen Vorgang, der komplexer ist, als es den Anschein hat. Wer schon einmal ein Blatt oder ein Insekt in Harz gegossen hat, um einen durchscheinenden Briefbeschwerer herzustellen, stört sich nicht an ein paar Bläschen in seinem Werk – der Briefbeschwerer funktioniert so oder so. Aber bei einem Membranmodul muss jeder Guss perfekt sein, jede Fa-



Breite Palette: Im Auslieferungslager stapeln sich Erdgasmembranen neben solchen für Biogas, Stickstoff und Edelgase.

70

GRAD
Betriebstemperatur
halten die
SEPURAN®-Membranen
locker stand.

ser gut umschlossen, alles dicht, was dicht sein muss. An der Seite, an der das CO₂ aus dem Inneren der Hohlfasern abfließen soll, wird der Pfropfen so weit abgesägt, dass die Faseröffnungen freiliegen. Später wird eine Edelstahlkappe dieses Ende umschließen, in der sich das ausströmende Gas sammelt und durch ein Rohr abgeleitet wird.

Sind die Faserbündel in eine Hülle aus schwarzem Schrumpfschlauch gepackt und mit Edelstahlendstücken versehen, müssen die Module im Einzeltest beweisen, dass sie absolut fehlerfrei sind: Hinter einem Rolltor wartet die Wahrheit in Gestalt einer Druckluftstation, die 20 Minuten lang Realbetrieb simuliert. Zerlegt ein Membranmodul im Test die eingeführte Druckluft nicht sauber genug, wird es wohl auch im Realbetrieb an seiner Aufgabe scheitern. Ein Rollcontainer mit aussortierten Membranen vor der Tür zeigt, dass es Evonik mit seinem Anspruch ernst meint.

Dass die SEPURAN®-Membranen mit dem Erdgasmarkt ein ganz neues Terrain erobern, mit Millionenumsätzen und dem Potenzial für weltweiten Einsatz, scheint hier in Schörfling keinen nervös zu machen. Die Arbeit geht weiter, im Dreischichtbetrieb, konzentriert und gelassen. „Wenn du hektisch wirst, machst du alles nur schlimmer“, sagt Maschinenführer Aigner. Manchmal ist „Pensionistengeschwindigkeit“ genau das richtige Tempo. —



Unberührte Wildnis, bewegte Geschichte und eine Kultur im Aufbruch: Südafrika ist ein Land mit vielen Facetten.

Die „Regenbogennation“ wächst so dynamisch wie kaum eine andere Volkswirtschaft auf dem afrikanischen Kontinent. Ein verheißungsvoller Zukunftsmarkt für kreative Lösungen.

TEXT NICOLAS GARZ



■ Vogelperspektive: Wer Glück hat, begegnet an den Stränden Südafrikas Pinguinen in freier Wildbahn. Das Land ist in der ganzen Welt bekannt für seine Artenvielfalt. Um diese zu erhalten, wurden bereits vor mehr als 120 Jahren die ersten Schutzgebiete eingerichtet. Am bekanntesten ist der Kruger-Nationalpark, wo unter anderem Löwen, Nashörner und Elefanten in ihrem ursprünglichen Habitat leben. Rund zehn Millionen Touristen besuchen jedes Jahr Südafrika – die Faszination für die wilde Natur spielt dabei eine wesentliche Rolle.

■ Lichtblick: Oben thront der Tafelberg, unten pulsiert das Leben. Der Alltag in Kapstadt ist geprägt von einem Mix verschiedener Kulturen. Die Bewohner der zweitgrößten Stadt des Landes gelten als vergleichsweise entspannt – keine schlechte Grundeinstellung in einer Metropole, die sich permanent verändert und neu erfindet. So wurde das Stadtpanorama zur Fußballweltmeisterschaft 2010 um einen Blickfang erweitert: das Cape Town Stadium. Eine hochmoderne Fußballarena, die dank Lichtsäulen aus PLEXIGLAS® jede Nacht mit den Sternen über dem Tafelberg um die Wette strahlt.







■ Heißhunger: Grillen, auf Afrikaans Braai genannt, ist in Südafrika besonders populär. Auf den Rost kommen sowohl landestypische Fleischsorten wie Springbock als auch konventionelle wie Rind oder Huhn. Die Vieh- und Geflügelzucht spielt daher eine wichtige Rolle. Hier kommt die Aminosäure DL-Methionin zum Einsatz, damit die Tiere ihre Nahrung optimal verwerten.

Umbruch: Noch basiert der Großteil der Energie Südafrikas zwar auf Kohle, die Bedingungen für eine Energiewende sind jedoch günstig: Die Sonne scheint häufig, an den Küsten weht ein kräftiger Wind. Verschiedene Evonik-Produkte unterstützen die ökologische Transformation. So steigert VISCOBASE® die Effizienz von Windrädern, während DYNASYLAN® in Solarmodulen als Klebstoffadditiv dient.



■■■■■ Lage, Lage, Lage: 2017 verkaufte Südafrika rund 4,5 Millionen Hektoliter Wein ins Ausland – und war damit der weltweit sechstwichtigste Exporteur. Der Großteil stammt aus der südlichen Provinz Westkap. In der Landwirtschaft Südafrikas trägt das Granulat STOCKOSORB® dazu bei, dass Böden auch unter unwirtlichen Bedingungen fruchtbar bleiben. Zudem sorgen Kieselsäuren im Pflanzenschutz dafür, die reiche Ernte zu sichern: damit im Wein nicht nur Wahrheit, sondern auch Wohlstand liegt.





PRODUKTION UND INNOVATION

In Südafrika betreibt Evonik zwei Produktionsstätten: Im nord-östlichen Elandsfontein produziert der Konzern PLEXIGLAS®, in Umbogintwini Wasserstoffperoxid (H₂O₂). In Midrand, dem dritten südafrikanischen Evonik-Standort, befinden sich der Verwaltungssitz und der Vertrieb. Außerdem betreibt Evonik hier Innovationszentren, in denen neue Produkte erforscht und entwickelt werden.



Große Evonik-Standorte
 1 Midrand
 2 Elandsfontein
 3 Umbogintwini
 4 Kapstadt

An

4

Standorten in Südafrika beschäftigt Evonik rund

100

Mitarbeiter.



Rod Janssen arbeitet als selbstständiger Energieberater in Paris. Er ist zudem Vorsitzender von Energy Efficiency in Industrial Processes (EEIP), einer Non-Profit-Organisation und politischen Plattform für Energieeffizienz in der Industrie.

Wir haben dazugelernt

Der Klimawandel scheint unausweichlich. Trotz vieler Rückschläge bleibt eine Steigerung der Energieeffizienz die beste Maßnahme, um die Auswirkungen der globalen Erwärmung zu begrenzen.

TEXT **ROD JANSSEN**
ILLUSTRATION **HENRIK ABRAHAMSSON**

Vor einem Jahr veröffentlichten Professor Ernst Ulrich von Weizsäcker und Anders Wijkman ihren Bericht für den Club of Rome. Der Titel „Wir sind dran“ sagt, worum es geht – jeder muss seinen Beitrag leisten. Die Autoren argumentieren, dass der Mensch immer schneller einen immer größeren Fußabdruck auf der Erde hinterlässt. Werde dieser Trend nicht umgekehrt, führe das zu einem Zusammenbruch der Weltwirtschaft.

Naturgemäß besteht ein Konflikt zwischen Gewinnmaximierung und der Rettung der Welt. Es muss ein besseres Gleichgewicht geschaffen werden zwischen Mensch und Natur, Markt und Gesetz, privatem Konsum und öffentlichen Gütern, kurzfristigem und langfristigem Denken sowie sozialer Gerechtigkeit und Anreizen für herausragende Leistungen. Wir alle müssen überdenken, wie wir mit unserem Planeten umgehen. Noch tun wir nicht genug. Zu dieser Schlussfolgerung kommt auch der Weltklimarat: Wenn die globale Erwärmung 1,5 Grad Celsius übersteigt, so heißt es in einem Sonderbericht, wird dies verheerende Auswirkungen haben.

Was also muss getan werden? Zahlreiche optimistische Fallstudien und politische Vorschläge könnten uns auf den Weg zur Nachhaltigkeit bringen. So würde uns ein Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft dabei helfen, das Problem der Ressourcenverknappung zu lösen, die CO₂-Emissionen deutlich zu senken und mehr Arbeitsplätze zu schaffen. Eine regenerative Landwirtschaft kann die Bodenerosion stoppen, den Ertrag erhöhen und CO₂ im Boden binden. Durch die Nutzung von Abwärme zur Stromerzeugung werden weniger Kraftwerke benötigt.

Es gibt jede Menge Programme, die uns wieder in die Spur Richtung Nachhaltigkeit bringen könnten. Europa hat politische Rahmenbedingungen aufgestellt, die auf die Erreichung langfristiger Ziele ausgelegt sind, und arbeitet an deren Weiterentwicklung. So fordert die EU alle Verbraucher und die Industrie auf, wirksame Maßnahmen zu ergreifen – und zwar sofort.

Der 2014 festgelegte Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 setzt verbindliche Hauptziele, darunter die weitere Senkung der Treibhausgasemissionen, die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien und eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz. 2018 wurden die Ziele in Bezug auf die Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien gestärkt. Im Juni haben sich die Kommission, das Parlament und der Rat unter anderem darauf geeinigt, die Effizienz bis 2030 um 32,5 Prozent zu erhöhen. Eine Klausel erlaubt es, dieses Ziel vor 2023 nach oben zu korrigieren. Die Energie-

minister verständigten sich zudem darauf, dass der Anteil der erneuerbaren Energien 2030 bei mindestens 32 Prozent liegen soll. Darüber hinaus existiert eine langfristige Vision für eine Dekarbonisierung: Der EU-Fahrplan für eine kohlenstoffarme Wirtschaft sieht vor, dass die Mitgliedstaaten ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80 Prozent reduzieren. Um das zu erreichen, muss jede Branche ihren Beitrag leisten.

Auf der Pariser Klimakonferenz von 2015 haben sich die Regierungen zur Einhaltung eines langfristigen Ziels verpflichtet: die Begrenzung der Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau. Angestrebt wird eine Begrenzung des Anstiegs auf 1,5 Grad Celsius, wodurch sich die Auswirkungen des Klimawandels stark verringern würden. Die Politiker waren sich einig, dass die globalen Emissionen so bald wie möglich ihren Höchststand erreichen sollten. Sie waren sich bewusst, dass dies für Entwicklungsländer länger dauern würde, und versprachen, mit den besten verfügbaren Technologien für eine schnelle Senkung zu sorgen.

Es geht hier um gesamtgesellschaftliche Ziele, die uns alle betreffen, von Einzelpersonen über Unternehmen bis hin zu Nationen. Jeder muss nun handeln. Doch wo soll man anfangen? Es ist nie einfach, diese Frage zu beantworten. Zum Glück hat die EU vor Kurzem für große Industrieunternehmen ein verpflichtendes Energieaudit eingeführt, das regelmäßig wiederholt werden muss. Das ist ein guter Anfang. Der einzige Weg, das Audit zu umgehen, ist die Zertifizierung nach ISO 50001, eine Norm mit konkreten Vorgaben für den Aufbau eines Energiemanagementsystems. In erster Linie soll diese Norm einen Kulturwandel bewirken. Sie ist so gestaltet, dass sich sämtliche Unternehmensbereiche, auch die oberste Führungsebene, für das Energiemanagement einsetzen müssen. Unter anderem sollen die Emissionen durch die Nutzung moderner Produktionsverfahren gesenkt, der Anteil von Recyclingmaterialien im Herstellungsprozess erhöht und Energie aus Abwärme erzeugt werden.

Allerdings gab es zuletzt Rückschläge aufseiten der Politik. An der Spitze der USA und Brasiliens stehen Präsidenten, die den Klimawandel leugnen. Der französische Staatschef Emmanuel Macron setzte nach den Protesten der Gelbwesten die geplante Steuererhöhung auf Benzin und Diesel aus. Die Ergebnisse der UN-Klimakonferenz in Katowice lassen Entschlusskraft vermissen und haben gezeigt, wie schwer es ist, die Interessen von Industriestaaten und Entwicklungsländern miteinander zu vereinbaren.

Doch es gibt Grund zur Hoffnung. Die Ölkrise der Siebzigerjahre haben die Weltwirtschaft erschüttert, woraufhin wir Energieeffizienz zum politischen Ziel erhoben haben. In der neuesten Ausgabe ihres „World Energy Outlook“ berichtet die Internationale Energieagentur (IEA), dass der Energieverbrauch der Industrie seit 2000 weltweit um durchschnittlich 2,5 Prozent pro Jahr gestiegen ist. In ihrem „New Policies Scenario“ prognostiziert die IEA jedoch, dieser Anstieg werde sich „infolge einer höheren Energieeffizienz und deutlich niedrigerer Wachstumsraten bei der Produktionsleistung energieintensiver Industrien“ auf 1,3 Prozent pro Jahr verlangsamen.

Warum ist das so? Wir haben seit den Siebzigerjahren dazugelernt. Wir sind viel besser gerüstet, um wirksame Maßnahmen zu ergreifen – vorausgesetzt, wir wollen etwas verändern und engagieren uns dafür. Leider stoßen Unternehmen bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen immer noch auf Hindernisse wie Finanzierungsprobleme oder mangelndes Vertrauen in Produkte oder Technologien. Manche Firmen betrachten Energieeffizienz nach wie vor nicht als strategisches Ziel. Wir wissen, dass viele Unternehmen Energiesparpotenziale nicht ausschöpfen. Wie aus Umfragen hervorgeht, finden sich in praktisch jeder Produktionshalle zahlreiche Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung, die kostengünstig oder sogar ganz ohne Mehrkosten umgesetzt werden könnten.

Glücklicherweise stehen uns immer mehr Technologien zur Verfügung, deren Preise stetig sinken. Viele Innovationen leisten einen wertvollen Beitrag, und auch die wachsende Zahl von Serviceunternehmen macht die Einführung von Energiesparmaßnahmen einfacher. So lassen sich beispielsweise Audits heute deutlich einfacher durchführen als früher.

„Manche Firmen betrachten Energieeffizienz nicht als strategisches Ziel.“

Die Finanzbranche arbeitet an Angeboten, die Unternehmen bei der Finanzierung von Energiesparmaßnahmen unterstützen. Die Branche bemüht sich unter anderem, Energieeffizienzprojekte als weniger risikoreich einzustufen, um bei Investoren Vertrauen zu wecken. Die Angebote richten sich sowohl an energieintensive wie auch an weniger energieintensive Branchen. Es sind zudem Bestrebungen im Gang, das Know-how der Finanzinstitute bei der Analyse von Energieeffizienzprojekten zu verbessern, sodass die Kreditrisiken abgesichert werden und die Projekte die nötigen Finanzierungen bekommen. Auf regulatorischer Ebene werden Energieeffizienzmaßnahmen nun besser unterstützt. Dieser Trend wird sich in Zukunft noch verstärken.

Wir haben allen Grund zur Annahme, dass wir wieder in die Spur kommen können. Die Energy Transitions Commission, ein Gremium, dem unter anderem Vertreter der Wirtschaft sowie führende Persönlichkeiten des öffentlichen und sozialen Sektors angehören, kam kürzlich zu der Schlussfolgerung, dass energieintensive Industrien mit der Zeit ihr Geschäft komplett dekarbonisieren könnten. Bisher hat es niemand für möglich gehalten, dass das technisch machbar sein könnte.

Zum Glück behalten die meisten Unternehmen ihren Optimismus – und lassen in ihren Bemühungen nicht nach. Niemand will auf Geschäft verzichten oder seine Wettbewerbsfähigkeit verlieren. Eine höhere Energieeffizienz löst nicht alle Probleme, aber sie geht viele von ihnen an. Somit haben von Weizsäcker und Wijkman völlig recht, an uns zu appellieren: Wir sind dran! —

HEISSE STROM- QUELLE

TEXT NADINE NÖSLER

Ob in der Industrie oder im Haushalt – überall geht Energie als Abwärme verloren. Thermoelektrische Generatoren können diese in Strom verwandeln. Doch bisher war ihre Produktion aufwendig und teuer. Experten haben nun einen vollautomatisierten Herstellungsprozess entwickelt, der großes Potenzial für die Energierückgewinnung birgt.

Während die Pizza auf dem Blech knusprig backt, erzeugt der Ofen viel heiße Luft. Sobald sich die Ofentür öffnet, geht diese an die Umgebung verloren. Kühlschränke geben Wärme ab, damit es im Inneren kalt bleibt, und auch beim Autofahren entweicht durch den Auspuff konstant Wärme. Bei Industrieprozessen findet das im großen Maßstab statt: Ob bei Motoren, in Pumpen oder Öltraffinerien, überall fällt massenhaft Energie an, die als Abwärme abgegeben wird. Allein in Deutschland könnten Jahr für Jahr 300 Terawattstunden weiterverwendet werden – das würde den hiesigen Stromverbrauch von etwa sieben Monaten decken. Weltweit liegt das Einsparpotenzial Schätzungen zufolge jährlich bei rund 57 Milliarden US- $\$$.

THERMOELEKTRISCHE GENERATOREN VERWANDELN WÄRME IN STROM

Um Abwärme künftig besser zu nutzen, untersuchen Forscher verschiedene Lösungen. Eine vielversprechende Möglichkeit bietet die Umwandlung von Wärme in elektrische Energie. Thermoelektrische Generatoren, TEG genannt, können selbst aus kleinen Temperaturdifferenzen Strom erzeugen. Ein Team aus Forschern der Creavis, der strategischen Innovationseinheit von Evonik, und der Verfahrenstechnik als proaktivem Technologieentwickler im Konzern hat einen vollautomatisierten Herstellungsprozess für diese Technologie entwickelt, sodass sie künftig eine größere Rolle bei der Rückgewinnung von Energie spielen könnte.

Ein thermoelektrischer Generator ist simpel aufgebaut (siehe Grafik auf Seite 54): Er besteht aus zwei unterschiedlichen Halbleitern, die durch einen elektrischen Schaltkreis miteinander verbunden sind. Einer

der Schenkel dient als n-Halbleiter (n steht für negativ), der andere als p-Halbleiter (p steht für positiv). Wird eine Seite der beiden Schenkel erhitzt, erhalten die dortigen Elektronen zusätzliche Energie. Die Folge: Mehr Ladungsträger bewegen sich vom heißen zum kalten Ende als in umgekehrter Richtung. Am kalten Ende des n-Schenkels sammelt sich also negative Ladung, an dem des p-Schenkels positive. Zwischen den Schenkeln herrscht somit eine elektrische Spannung. Diese beträgt allerdings bloß wenige Mikrovolt pro Grad Celsius Temperaturunterschied. Deshalb →

300.°C

AUSPUFFANLAGEN

Künftig könnten TEG im Abgasstrang von Fahrzeugen genutzt werden. Hier entstehen Temperaturen von bis zu 300 Grad. In Lastzuständen über die maximale Einsatztemperatur wird zum Schutz der Generatoren ein Teil des Abgasstroms vorbeigeleitet. Die Herausforderungen für die TEG: Vibrationen und Stöße auf unebenen Straßen, wenig Platz für die Installation sowie häufige, unregelmäßige Temperaturwechsel.





INDUSTRIELLE PROZESSE

Kraftwerke auf Basis fossiler Brennstoffe und viele Industriebetriebe erzeugen große Mengen an Abwärme und bieten ein attraktives Einsatzgebiet für die thermoelektrischen Generatoren. Öfen in Stahlwerken erreichen beispielsweise bis zu 1.300 Grad Celsius. Unter diesen erschwerten Bedingungen müssen die Generatoren über eine lange Zeit stabil und robust gegenüber mechanischen Einwirkungen und Korrosion bleiben.

1.300 °C

muss eine große Anzahl an Schenkelpaaren in Reihe geschaltet werden, damit nutzbare Mengen an Strom erzeugt werden können.

VOLLAUTOMATISCHER HERSTELLUNGSPROZESS

So einfach das Verfahren erscheint, so kompliziert ist die Umsetzung. Das größte Problem: der Herstellungsprozess der Generatoren. Die Schenkel der thermoelektrischen Generatoren – wenige Millimeter lange Bauteile – mussten bisher in Handarbeit an ein Trägermaterial angebracht werden. TEG in größeren Stückzahlen zu produzieren war aufwendig und kostspielig. In Nischenanwendungen haben thermoelektrische Generatoren ihre Effektivität jedoch bereits seit Längerem bewiesen. An Bord der Raumsonde Voyager 1 etwa verwandeln sie – 15 Milliarden Kilometer von der Erde entfernt – seit 20 Jahren zuverlässig Wärme von zerfallenen Radioisotopen in Strom.

»Unser Verfahren beschleunigt die Herstellung der Generatoren.«

DIRK LEHMANN, CREAIVIS

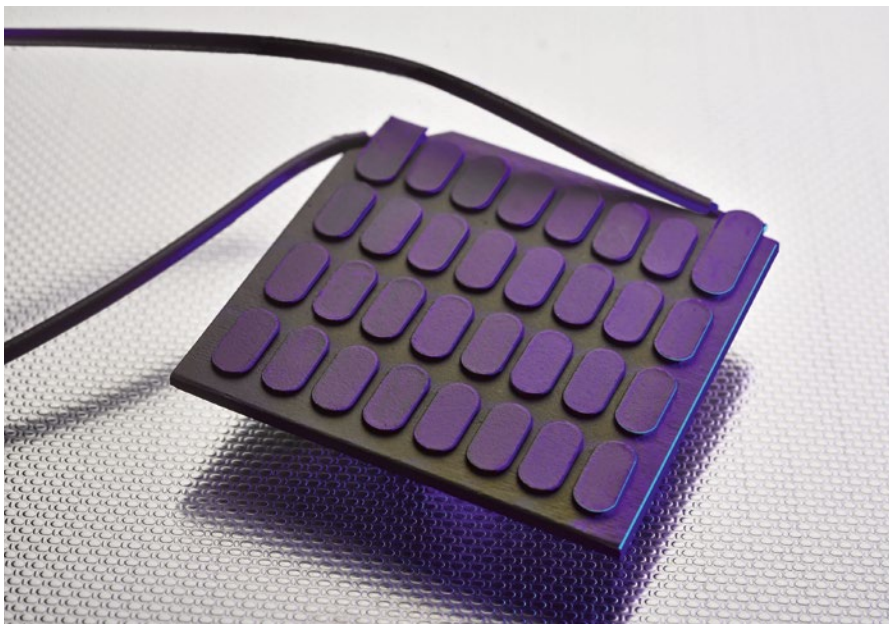
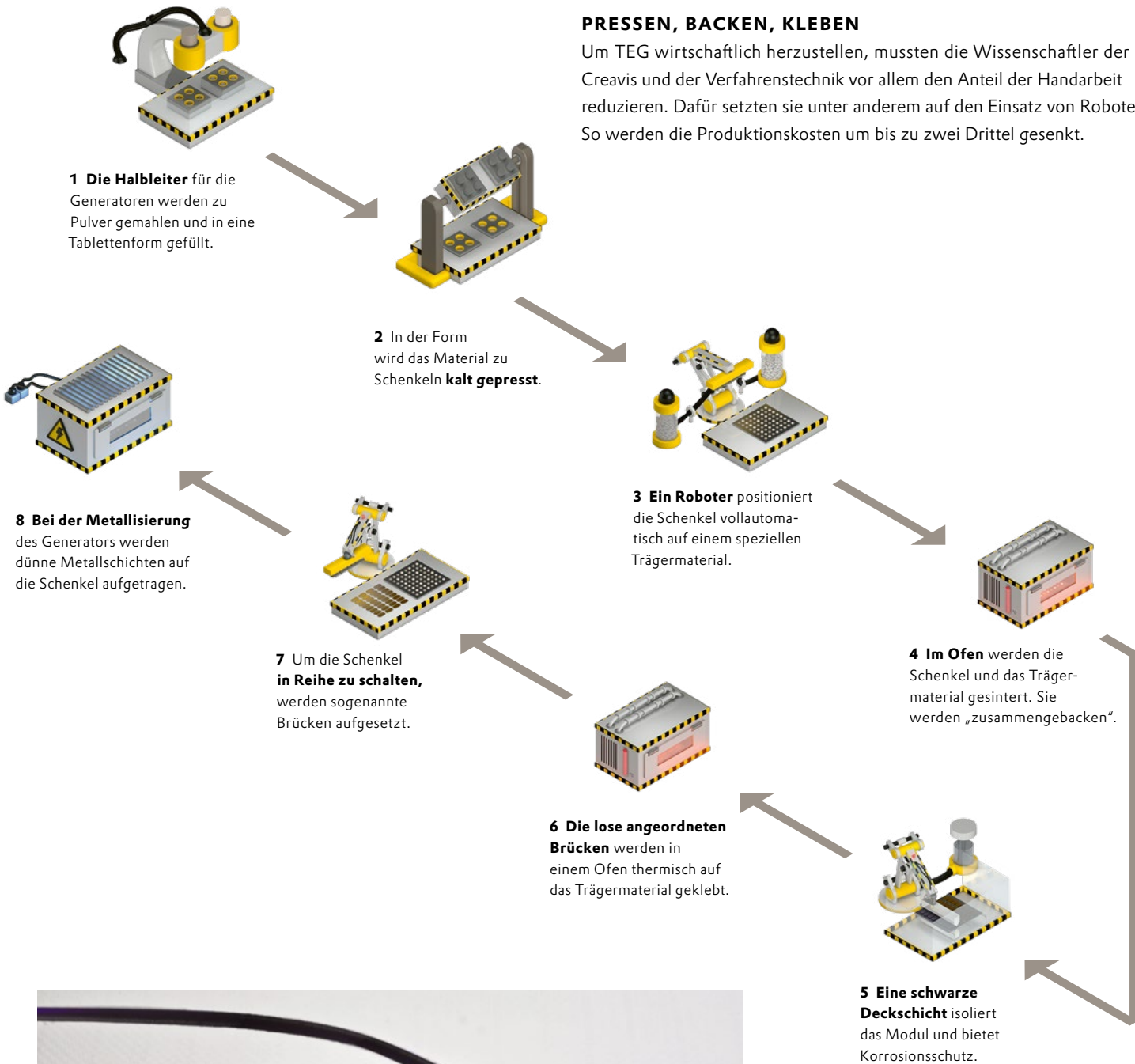
Creavis-Wissenschaftler wollten dieses Potenzial auch für irdische Anwendungen nutzen und begannen damit, einen wirtschaftlichen Herstellungsprozess für thermoelektrische Generatoren zu entwickeln. „Die Idee ist entstanden, als unser Unternehmen noch im Energiebereich tätig war und seine Kraftwerke so umweltfreundlich wie möglich betreiben wollte“, erklärt Dirk Lehmann, Leiter Business & Launch Management. Nach Abwägung der Vor- und Nachteile waren die thermoelektrischen Generatoren das System der Wahl: Sie kommen ohne mechanische Bewegungen aus, wandeln den Wärmefluss auf direktem Weg um, sind mit anderen Systemen kombinierbar, kompakt und im Betrieb sehr zuverlässig. Zudem haben sie lange Wartungsintervalle. „Um den Prozess für größere Produktionsmengen nutzbar zu machen, haben wir uns verschiedene Innovationsmöglichkeiten angesehen“, so Lehmann.

Vor allem galt es, den Anteil der Handarbeit zu reduzieren (siehe Grafik rechts). Die Forscher entschieden sich dafür, die Halbleiter für die Generatoren zu Pulver zu mahlen und anschließend in eine Tablettenform zu füllen. Darin werden sie zu Schenkeln kalt gepresst. „Hier zeigt sich schon der erste Vorteil unseres Prozesses“, erklärt Patrik Stenner, Leiter Exploration & Electrochemistry in der Verfahrenstechnik. „Wir müssen die Schenkel nicht mehr aus dem Vollen zuschneiden – und verlieren somit kein Material.“

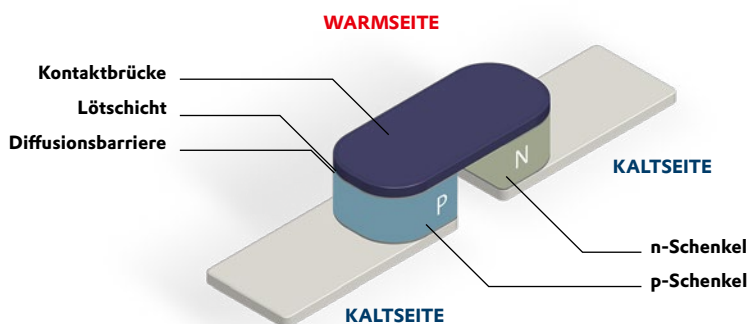
Anschließend fügt ein Roboter die Schenkel vollautomatisch in die zuvor gebohrten Löcher eines speziellen Trägermaterials ein. So entsteht in nur kurzer Zeit das Grundgerüst des Moduls. Dieses wird im Ofen gesintert: Schenkel und das Trägermaterial werden „zusammengebacken“, also stabil miteinander verbunden. Anschließend wird das Modul poliert, damit →

PRESSEN, BACKEN, KLEBEN

Um TEG wirtschaftlich herzustellen, mussten die Wissenschaftler der Creavis und der Verfahrenstechnik vor allem den Anteil der Handarbeit reduzieren. Dafür setzten sie unter anderem auf den Einsatz von Robotern. So werden die Produktionskosten um bis zu zwei Drittel gesenkt.



Der fertige Generator misst etwa sechs mal sechs Zentimeter.



UNTER SPANNUNG

1821 entdeckte der Physiker und Arzt Thomas Johann Seebeck den sogenannten Seebeck-Effekt, der in thermoelektrischen Generatoren zur Stromerzeugung genutzt wird. Diese bestehen aus zwei Halbleitern, die durch einen Schaltkreis miteinander verbunden sind. Wird eine Seite erhitzt, so wandern die Elektronen im n-Schenkel zum kalten Ende. Im p-Schenkel hingegen wandern die Elektronen aufgrund von Elektronenlöchern zur warmen Seite. An einem Halbleiter sammelt sich so negative und am anderen positive Ladung. Zwischen den Schenkeln entsteht dadurch eine elektrische Spannung. Die Bestandteile der Generatoren werden durch eine angelötete Kontaktbrücke miteinander verbunden. Eine Diffusionsbarriere verhindert, dass sich Stoffe in den unterschiedlichen Bestandteilen mit der Zeit vermischen.

keine Verschmutzungen den Wirkungsgrad senken. „Nun muss das Bauteil noch geschützt und leitfähig gemacht werden“, erklärt Stenner. Bei der Metallisierung des Generators werden dünne Metallschichten auf die Schenkel aufgetragen. Nickel schützt den Halbleiter vor Zerstörung durch Diffusion von Fremdmetallen in das Material. Kupfer dient als Kontaktschicht für die elektrische Anbindung. Um die Schenkel in Reihe zu schalten, werden zudem sogenannte Brücken aufgesetzt. Eine schwarze Deckschicht isoliert das Modul und bietet Korrosionsschutz. Zum Abschluss werden Drähte an die Modulkontakte angeschlossen.

Obwohl in einem Modul 64 Schenkel in Reihe geschaltet werden, ist der einsatzfähige Generator gerade einmal halb so groß wie ein Fünf-€-Schein. Das macht ihn in der Anwendung flexibel. Wird eine größere Menge elektrischer Strom benötigt, können mehrere Generatoren miteinander verbunden werden. Außerdem sind sie mit anderen Systemen zur Abwärmenutzung kombinierbar. Dank des neuen Herstellungsprozesses und des besonderen Trägermaterials sind die thermoelektrischen Generatoren äußerst robust und funktio-

nieren bei bis zu 260 Grad Celsius. Herkömmliche TEG lassen sich nur bis 200 Grad einsetzen. Bei höheren Temperaturen, wie sie etwa bei der Herstellung und Verarbeitung von Zement, Glas, Keramik oder Metall entstehen, wird das TEG in Teilen der Anlage eingesetzt, wo die Hitze weniger stark ist.

Der größte Vorteil der neuen Produktionsweise liegt Dirk Lehmann zufolge im höheren Tempo: „Unser vollautomatisches Verfahren beschleunigt die Herstellung der Generatoren.“ Und hilft, die Preise zu senken: Bis zu zwei Drittel der Produktionskosten lassen sich durch den neuen Herstellungsprozess einsparen.

AUFWENDIGE FORSCHUNGSARBEIT

In diesen Erfolg haben die Creavis-Wissenschaftler gemeinsam mit den Experten der Verfahrenstechnik viel Arbeit gesteckt. Zum einen musste der Prozess entwickelt und perfektioniert werden. Zum anderen mussten die Forscher den Beweis liefern, dass sowohl das Verfahren als auch die damit produzierten Generatoren zuverlässig funktionieren. Dazu stellten sie eine Miniserie mit 1.000 Prototypen her und führten Feldtests durch. Eine Herausforderung brachte das Einsetzen der Schenkel in den Träger mit sich. Dieser Prozessschritt lief zunächst reibungslos. Doch beim 300. Generator fielen die Schenkel plötzlich durch die zuvor gebohrten Löcher. Der Grund: Der Bohrer war mit der Zeit stumpf geworden und hat die mikrometerngenau zu fertigenden Löcher geweitet. Ein neues Material für das Werkzeug musste gefunden werden. „Jetzt haben wir einen optimalen Prozess, der in großen Serien funktioniert“, so Lehmann. Für seine Leistung wurde das Team 2016 mit dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis in der Kategorie „Forschung“ ausgezeichnet.

Die Verfahrenstechnik von Evonik arbeitet nun daran, die Generatoren konzernweit in verschiedenen Anlagen zu testen – zum Beispiel in einer Produktionsanlage in Rheinfelden, wo Abwärme genutzt werden soll. Einzelne TEG werden dafür zu einem großen Modul zusammengesetzt. Bei einem Temperaturunterschied von circa 70 Grad Celsius gegenüber der Umgebung kann so Strom erzeugt werden, um lokale Messvorrichtungen zu versorgen. „Die Generatoren werden einen wichtigen Beitrag zur ressourceneffizienten Produktion unserer Anlagen leisten“, sagt Patrik Stenner.

»Wir haben viel Entwicklungsarbeit in das Projekt gesteckt. Jetzt haben wir einen optimalen Prozess, der in großen Serien funktioniert.«

DIRK LEHMANN, CREAVIS

Damit ist das Potenzial jedoch noch nicht ausgeschöpft. Dass die Ausgangsmodule so klein sind, macht die Generatoren auch für den Einsatz in autonomen Energiesystemen interessant – beispielsweise in gasbetriebenen Heizgebläsen, wie sie in Großzelten für Notunterkünfte verwendet werden. So ließe sich auch abseits von Energienetzen autark Strom erzeugen.

THERMOELEKTRIK KÜHLT UND WÄRMT

In Zukunft könnte der verschlankte Produktionsprozess auch für Module eingesetzt werden, die das Prinzip der thermoelektrischen Generatoren umdrehen und aus Strom Wärme (oder Kälte) erzeugen. Dadurch eröffnen sich weitere Märkte, zum Beispiel in Elektroautos. „Die Automobilindustrie steht vor der Herausforderung, die Lithium-Ionen-Batterien in den Fahrzeugen durch Temperierung effizienter zu machen oder zum Beispiel eine Sitzheizung zu betreiben“, erklärt Lehmann.

Bislang hat Evonik einige Tausend TEG hergestellt. Um eine Produktion in großen Stückzahlen zu ermöglichen und die Technologie in möglichst viele Anwendungsbereiche einzuführen, sucht Evonik jedoch einen Abnehmer für den Herstellungsprozess. „Die Produktion und der Vertrieb von thermoelektrischen Generatoren sind nicht die Kernkompetenz von Evonik als Chemieunternehmen“, erklärt Lehmann. „Wir glauben jedoch an unser Verfahren und wollen auch anderen die Möglichkeit geben, von unserer Arbeit zu profitieren.“ —



AUTARKE ENERGIEERZEUGUNG

Dass thermoelektrische Generatoren so klein sind, macht sie auch für den Einsatz in autonomen Energiesystemen interessant. Etwa in Heizgeräten, bei denen Luft mithilfe von Propangas auf bis zu 95 Grad erhitzt wird. TEG könnten zusätzlich elektrischen Strom erzeugen, sodass auch fernab von Leitungsnetzen die Energieversorgung gesichert wäre.

95 °C

Ist das Kunststoff, oder kann
das weg? Eine Frau
überprüft in einem Slum von
Dhaka, der Hauptstadt
Bangladeschs, Polyethylenfolie,
die recycelt werden soll.



**DA WIRD
WAS DRAUS**

Alte Sportklamotten als wertvolle Ressource für neue Sneaker? Ausrangierte Fischernetze als Wertstoff für Feinstrumpfhosen? Ja, das ist möglich, wenn man Plastikmüll als eine wertvolle und zukunftsweisende Ressource versteht.

TEXT **BJÖRN THEIS**

Kunststoffe zählen mit Sicherheit zu den großen Erfindungen der Menschheit. Dank ihrer vielfältigen Eigenschaften ermöglichten sie gesellschaftlichen und technologischen Fortschritt. Ohne Kunststoff müssten wir heute auf zahlreiche Annehmlichkeiten verzichten: vom Bremsschlauch bis zur Schallplatte, von der Frischhaltefolie bis zur Strumpfhose.

Allerdings haben Kunststoffe aufgrund ihrer kostengünstigen Produktion auch unsere Konsummuster verändert: In vielen Gesellschaften ist etwas entstanden, das Soziologen als Wegwerfmentalität bezeichnen. Ein Beispiel hierfür ist die sogenannte Fast Fashion. Manche globale Modeketten bieten pro Jahr 24 verschiedene Kollektionen an. Die Folge: Wir besitzen immer mehr Kleidung, die wir kaum noch tragen, weil sie so schnell aus der Mode kommt. Ein weiteres großes Einsatzfeld für Kunststoffe sind Verpackungen, zum Beispiel für den hygienischen Verkauf von Lebensmitteln und Medikamenten oder für den Transport von größeren Wareneinheiten.

Doch der massenhafte Einsatz von Kunststoff bringt Probleme mit sich: Wird ein Plastikprodukt nicht mehr gebraucht, landet es im Müll. Kunststoffe benötigen eine lange Zeit, um zu verrotten – werden sie nicht (oder nur thermisch) verwertet, sind wachsende Plastikberge an Land und – inseln im Meer die Folge.

EIN UMDENKEN HAT BEGONNEN

Allerdings gibt es Signale, die den Beginn einer Trendwende vermuten lassen: Immer mehr Unternehmen sehen in Plastikmüll eine nachhaltige Ressource. So hat beispielsweise der Sportartikelproduzent Adidas angekündigt, ab 2024 nur noch recycelte Kunststoffe für seine Produkte zu verwenden. Der Bekleidungshersteller Sympatex verspricht noch mehr: Bis 2020 will das Unternehmen seinen Materialkreislauf schließen – alle Produkte können dann unendlich oft recycelt werden. Dass so etwas möglich ist, zeigt der italienische Garnhersteller Aquafil mit seiner Neuheit Econyl, das sich beliebig oft wiederverwerten lässt.

Neue technologische Entwicklungen unterstützen die Wiederverwertung von Kunststoffen: So nutzt die niederländische Initiative Recycled Island Foundation recycelten Kunststoff für den Plattform-

bau von schwimmenden Elementen, um in Rotterdam einen schwimmenden Park entstehen zu lassen. Recycelte Produkte gelten bei Konsumenten zunehmend als hip. Unternehmen wie das Start-up Share haben diese Trendwende erkannt. Der Mineralwasserabfüller bietet als Erster in Deutschland nur noch Flaschen aus 100 Prozent Recyclat an, das heißt aus komplett wiederverwertetem Plastik.

Diese Beispiele sind Indizien eines gesellschaftlichen Umdenkens. Es entsteht eine neue Vision für die Plastikwirtschaft: ein geschlossener, abfallfreier Kunststoffkreislauf, in dem man die eingesetzten Materialien möglichst oft wiederverwenden kann. Hier schlummert ein gewaltiges Potenzial, schließlich ist die Ressource „gebrauchte Kunststoffe“ in großen Mengen vorhanden und wächst stetig nach.

HOCHZEIT ZWEIER KUNSTSTOFFE

Doch um dieses Potenzial zu wecken, ist noch viel Arbeit nötig. Entsorgungswirtschaft und Kunststoffhersteller etwa müssen voneinander lernen. Oftmals sind den Recyclern die Ansprüche der Industrie an mögliche Recyclate nicht bewusst, während die Kunststoffhersteller die Probleme beim Recycling nicht kennen. So lassen sich Kunststoffsorten im Abfall schwer voneinander trennen. Das führt dazu, dass die heute erhältlichen Recyclate gegenüber ihren sortenreinen Vorfahren mindere Eigenschaften aufweisen. Mischt man beispielsweise die weitverbreiteten Kunststoffe Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) miteinander, geht die Widerstandsfähigkeit der Ausgangsmaterialien verloren.

Grund genug für das Foresight-Team der strategischen Innovationseinheit Creavis, sich der Zukunft des Kunststoffrecyclings zu widmen. Die Forscher verfolgen beispielsweise den Ansatz, PE und PP durch ein Blockcopolymer zu „verheiraten“, ohne dass die gewünschten Materialeigenschaften verloren gehen. Und es wäre doch schade, wenn man in Zukunft weiterhin etwas massenhaft entsorgen muss, das den schönen Namen Kunststoff trägt. —



Björn Theis ist Zukunftsforscher. Als Mitglied des Corporate Foresight-Teams entwickelt er Szenarien zur Spezialchemie von morgen.



»» So entdeckten wir Darmstadtium ««

Prof. Dr. Dr. Sigurd Hofmann (74) startete 1974 als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der GSI und stieg bis zum Leiter der Experimente zur Erzeugung neuer Elemente auf. Seit er 2009 in Rente ging, ist er als Gastforscher tätig. Im Teilchenbeschleuniger werden Elemente auf eine Zielscheibe mit einem anderen Element geschossen.

PROTOKOLL NADINE NÖSLER
FOTOGRAFIE BASTIAN WERNER

Kernphysiker erzeugen aus bekannten Elementen neue. Wir wollen den Aufbau von Materie verstehen und so die Entwicklung des Universums. Bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung, der GSI, schießen wir in einem Teilchenbeschleuniger zwei Atomkerne mit einer Geschwindigkeit von 30.000 Kilometern pro Sekunde aufeinander. Durch die Fusion der Kerne entsteht ein neues, zuvor unbekanntes Element, das wir mit einem Separator herausfiltern und anschließend untersuchen. Der Nachweis ist kompliziert: Die neuen Elemente sind instabil und zerfallen im Bruchteil einer Sekunde. Daher muss ich die Energie, mit der die Atomkerne abgeschossen werden, genau berechnen und die Geräte darauf einstellen. In den Achtzigern haben wir drei Elemente entdeckt, allerdings mussten wir danach zehn Jahre Entwicklungsarbeit in die Nachweismethode stecken. Ob ich da mal die Geduld verloren habe? Auf keinen Fall! Es war ja immer viel zu tun. Und wir hatten ein klares Ziel vor Augen: das nächste Element sicher belegen zu können. Das ist uns dann auch gelungen.

An den Tag, an dem wir Element 110 nachweisen konnten, werde ich mich immer erinnern: Zwei Kollegen und ich waren allein am Experiment. Wir besprachen die vorliegenden Messungen – und da war der Nachweis! Die Anzahl der Protonen im Atomkern des entstandenen Elements stimmte. Eigentlich will man so eine Entdeckung sofort bekannt geben. Aber dann hätten wir keine Zeit gehabt, ein Paper zu schreiben. Also haben wir dichtgehalten und sofort losgelegt. Um drei Uhr nachts waren wir fertig und haben den Bericht unseren Kollegen

auf den Schreibtisch gelegt. Die haben am nächsten Morgen vielleicht gestaunt! Durch unsere präzisen Berechnungen konnten wir dann zügig zwei weitere Elemente nachweisen. Besonders stolz bin ich darauf, dass unser Team diesen Elementen Namen geben durfte. Das Element 110 haben wir auf meinen Vorschlag hin Darmstadtium genannt – zum Dank an die Stadt, in der ich studiert habe und seit 45 Jahren meiner Leidenschaft nachgehe. —

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, Deborah Lippmann | **TEXTCHEF** Christian Baulig, Jörg Wagner | **ON-LINE-REDAKTION** Chris Höfner, Nadine Nösler | **BILD-REDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Steffen Granz (Creative Direction), Wiebke Schwarz (Art Direction), Magnus Wiedenmann (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSKB+ | An der Alster 1 | 20099 Hamburg | **DRUCK** Neef+Stumme premium printing, Wittingen | **COPYRIGHT** © 2019 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** Titel-Illustration: Alex Broeckel/Die Illustratoren | S. 3 Kirsten Neumann | S. 4 Enno Kapitza | S. 5 ESA/S. Corvaja | S. 6–7 Jamie Chung/Trunk Archive | S. 8–9 Getty Images, RUB/Marqard, DLR, Illustration: KNSKB+ | S. 10–17 UPI/laif, ESA/S. Corvaja, picture-alliance/ZB, HPNow, action press, mauritius images/United Archives, mauritius images/Falkenstein/Bildagentur-online Historical Collect./Alamy, Konzernarchiv Evonik Industries AG (2), picture alliance/The Advertising Archives, iStockphoto (3), Shutterstock/molekuul_be | S. 18–19 Illustration: Maximilian Nertinger | S. 20–25 Ramon Haindl | S. 26–27 Veramaris, 123rf/Konstantin Shalklein, Lina Nikelowski | S. 28 Bernd Brundert | S. 30 The Linde Group | S. 31–33 Illustrationen: KNSKB+ | S. 34–39 Enno Kapitza | S. 40–47 Robert Harding Picture Library/National Geographic Creative, Getty Images (2), mauritius images/Edwin Remsberg/Alamy, Gerald Haenel/laif; Illustration: KNSKB+ | S. 48 Illustration: Henrik Abrahams | S. 50–55 iStockphoto (3), Evonik (11) | S. 56 action press | S. 58 Bastian Werner

Evonik ist ein weltweiter Hersteller von PMMA-Produkten, die unter der registrierten Marke PLEXIGLAS® in Europa, Asien, Afrika und Australien vertrieben werden und unter der Marke ACRYLITE® auf dem amerikanischen Kontinent.

elements.evonik.de

The difficulty lies, not in the new ideas,

... but in escaping from the old ones, hat einst der Wirtschaftswissenschaftler John Maynard Keynes gesagt. Wir ergänzen: Vor alten Ideen zu „fliehen“ bedeutet, die Flucht nach vorn zu ergreifen – in eine bessere Zukunft.

Das geht nicht von allein. Um Dinge neu, anders und quer zu denken, benötigt man viel Neugier, Kraft und Leidenschaft. Die neue ELEMENTS zeigt Menschen, die uns Mut machen: weil sie selbst jeden Tag den Mut aufbringen, gewohnte Pfade zu verlassen – und mit ihrer Arbeit sprichwörtlich nach den Sternen greifen.

1/2019 **Wasserstoffperoxid**