

# ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



# Auf Wiedersehen

**Ein Heft über die Kreislaufwirtschaft**

# Kreislaufwirtschaft

Systematische Wiederverwertung

---

Kreislaufwirtschaft bezeichnet ein Organisationsmodell von Produktion und Verbrauch, bei dem eingesetztes Material und genutzte Energie kontinuierlich weiterverwertet werden, zum Beispiel durch langlebige Konstruktion, optimale Instandhaltung sowie Recycling. Ziel ist es, den Lebenszyklus von Produkten zu verlängern, Abfall zu vermeiden und den Energieverbrauch zu verringern. Gegenstück dazu ist die Linearwirtschaft, die sich im Zuge der Industrialisierung in westlichen Gesellschaften weitgehend durchsetzte und diese bis heute prägt. In den vergangenen Jahrzehnten erhielt die Kreislaufwirtschaft immer mehr Aufmerksamkeit. So entwickelten Forscher wie David W. Pearce und Michael Braungart in den Neunzigerjahren unterschiedliche Kreislaufsysteme vor dem Hintergrund der Herausforderungen des Klimawandels.

---

**Linearwirtschaft** wirtschaftliches Organisationsmodell, bei dem Rohstoffe nach Nutzung deponiert und verbrannt werden

**Pearce, David W. (1941–2005)** Britischer Ökonom und Co-Autor des Buchs „Economics of Natural Resources and the Environment“

**Braungart, Michael (\*1958)** Deutscher Verfahrenstechniker und Chemiker, der zusammen mit dem US-Designer William McDonough das „Cradle to Cradle“-Konzept entwickelt hat („Von der Wiege zur Wiege“)



## LIEBE LESERINNEN UND LESER,

können Sie sich ein Leben vorstellen ohne Kunststoff? Ihre Zahnbürste, Ihre Sonnenbrille, Ihre Sportausrüstung: Ginge das alles aus Metall, Holz oder Glas? Wohl kaum. Kunststoffe sind in unserem Leben überall dabei, und sie werden immer stärker: im Leichtbau, in der Medizin, in all den Produkten, die unser Leben leichter und besser machen.

Die Produktion von Kunststoffen wächst und wächst. Mit jedem weiteren Jahr steigt damit der Bedarf an neuen Lösungen. Denn mit der zunehmenden Beliebtheit des Werkstoffs nimmt auch die Menge alter, ausgedienter Kunststoffprodukte dramatisch zu. Als Plastikmüll landen sie weltweit viel zu oft auf Deponien, in Flüssen und Meeren und schließlich in unserer Nahrung und unserem Trinkwasser.

Der Verzicht auf überflüssige Einwegprodukte kann sicher dazu beitragen, das Problem zu lindern. Wirklich lösen lässt es sich dadurch aber nicht. Für all jene Produkte, auf die wir nicht verzichten können, bleibt daher nur ein Ausweg: Wiederverwertung. Recycling. Kreislaufwirtschaft. Alte Kunststoffprodukte werden mithilfe chemischer oder mechanischer Lösungen zerlegt und neu verarbeitet. Der Müll wird zum Rohstoff.

Für sortenreine oder einfach aufgebaute Produkte wie PET-Flaschen gibt es diese Verfahren zum Teil bereits. Für verunreinigte und gemischte Kunststoffe noch nicht wirklich. Aber es gibt viele neue Ideen und Forschungsprojekte, die uns dem Traum einer echten Kreislaufwirtschaft in den kommenden Jahren ein gutes Stück näherbringen könnten. Von diesen Projekten, den besten Ideen und den größten Hindernissen erzählt dieses Heft.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

**Matthias Ruch**

Chefredakteur

Sämtliche Artikel aus dem gedruckten Magazin sowie weitere aktuelle Inhalte finden Sie auch im Internet unter: [elements.evonik.de](http://elements.evonik.de)



# 10



Von wegen Müll: Mit den passenden Technologien lassen sich eingesammelte Kunststoffe wieder in den Wertstoffkreislauf einspeisen.

## KREISLAUFWIRTSCHAFT

### 10 **Runde Sache**

Kunststoff macht das Leben leichter, bequemer und sicherer. Doch was geschieht mit all dem Plastik, wenn es seinen Zweck erfüllt hat? Evonik bietet schon heute viele Lösungen für die Recyclingbranche und arbeitet mit daran, Kunststoffkreisläufe in Zukunft zu schließen

DATA MINING

### 15 **Wohin mit all dem Plastik?**

Was von sieben Jahrzehnten Kunststoffproduktion übrig geblieben ist

SCHAUBILD

### 20 **Kreislaufstärke**

Wie sich unterschiedliche Kunststoffe werkstofflich, rohstofflich und thermisch verwerten lassen

### 22 **Unter Druck**

In Lülldorf forscht Evonik an Verfahren, bei denen Polymere in Monomere aufgespalten und so für den Einsatz in neuen Chemieprodukten wiederverwertbar werden. Ein Ortsbesuch

STREITGESPRÄCH

### 28 **»Erst vermeiden, dann verwerten«**

Ingo Sartorius vom Fachverband Plastics Europe und der WWF-Experte Bernhard Bauske diskutieren über den besten Weg zu einer nachhaltigen Kunststoffökonomie



Evonik-Forscherin Jutta Malter arbeitet mit ihrem Team an effizienten Verfahren fürs PET-Recycling.



## 36 Mehrwertfeuer

Die Emissionen von Stahlwerken sind mehr als Abgas: Aus den Kohlenstoff- und Wasserstoffbestandteilen lassen sich mithilfe von Evonik-Katalysatoren wertvolle Chemikalien gewinnen, die auch als Baustein für Kunststoffe dienen können

## 42 Neuer Holzweg

In der Papierindustrie fällt es tonnenweise als Abfallstoff an: Lignin. Evonik beteiligt sich an einem Forschungsprojekt, bei dem am Ende ein Rohstoff für Hochleistungspolymere herauskommen könnte

## 54 Kreisverkehr

Der Evonik-Zusatz Vestenamer ermöglicht Altreifen eine Zukunft als Rohstoff für den Straßenbau. Mit einer detaillierten Ökobilanz lassen sich die Vorteile für die Umwelt jetzt auch mit Daten belegen



Ziel erreicht: Mittels Life Cycle Assessment lässt sich der ökologische Nutzen von Vestenamer im Straßenbau detailliert nachweisen.

6 START-UP  
Velox aus Israel entwickelt innovative Verfahren zum Bedrucken von Verpackungen

8 PERSPEKTIVEN  
Neues aus Wissenschaft und Forschung

34 MEINUNG  
»Sowohl als auch«  
Lauren Kjeldsen, Leiterin der Division Specialty Additives, hält mechanisches und chemisches Recycling für gleichberechtigte Technologien auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft

46 EVONIK-LAND  
**Österreich**  
Von der Sachertorte bis hin zu Violinsaiten – in vielen Spezialitäten steckt Know-how von Evonik

60 FORESIGHT  
**Einfache Lösung**  
Wie Monomaterial das Recycling revolutioniert

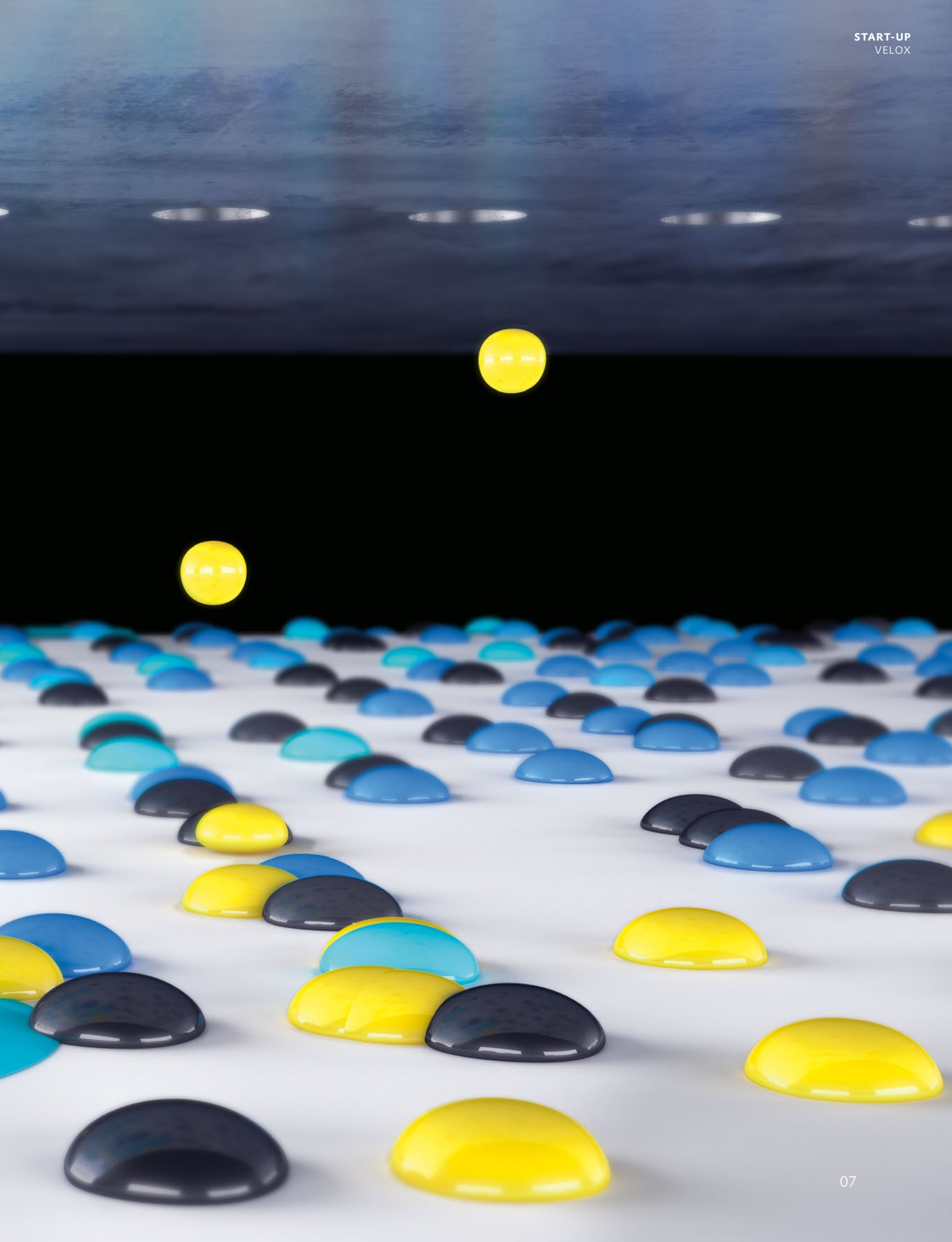
62 IN MEINEM ELEMENT  
**Kupfer**  
Der japanische Pyrotechniker Hideki Kubota färbt mit dem Halbedelmetall sein Feuerwerk blau

63 IMPRESSUM

## PUNKTLANDUNG

In hoher Geschwindigkeit und mit großer Präzision sprühen Druckköpfe mikroskopisch kleine Tintentropfen auf eine Kunststoffoberfläche. Gesteuert wird das hier in einer Computersimulation dargestellte „Direct-to-shape“-Digitaldruckverfahren des Start-ups Velox von einem Algorithmus und spezieller Hardware, die genau bestimmen, welchen Platz jeder einzelne Tropfen einnimmt. Das israelische Unternehmen, an dem Evonik seit 2018 beteiligt ist, hat auch spezielle Tinten für den Digitaldruck auf Kunststoff, Metall und Glas formuliert. Diese Innovationen senken den Tintenverbrauch, verbessern die Nachhaltigkeit und eröffnen durch die Möglichkeit, hochauflösende Bilder auf Oberflächen zu applizieren, neue Spielräume für Kreativität im Verpackungsdesign.







# Weiß = heiß

Schweizer Forscher entwickeln eine Beschichtung für Hochleistungsfasern, die bei Hitze die Farbe wechselt.

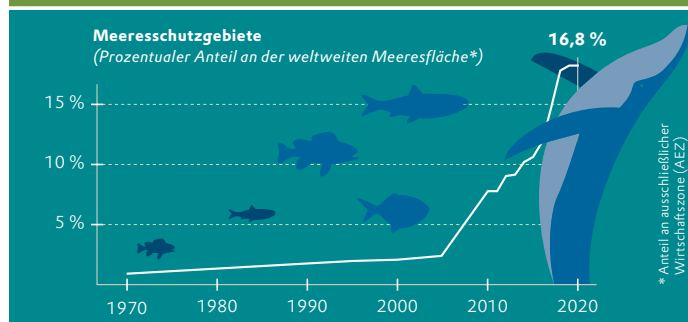
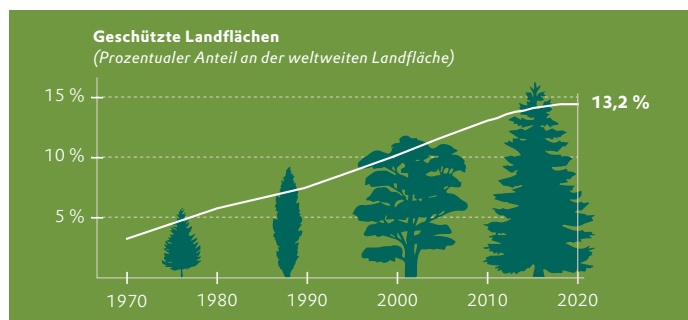
Hochleistungsfasern verlieren unter sehr hohen Temperaturen oft unbemerkt ihre mechanischen Eigenschaften. Im schlimmsten Fall können beispielsweise Rettungsseile bei einem Feuerwehreinsatz reißen. Verhindern soll das künftig ein neues Beschichtungssystem, das von einem Forscherteam der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) sowie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelt wurde. Der Trick: Bei Reaktion mit starker Hitze wechselt die Beschichtung ihre Farbe und zeigt so an, ob das darunterliegende Material noch leistungsfähig genug ist. Ursache für den Farbumschlag ist ein physikalisches Phänomen, die sogenannte Interferenz. Der Überzug besteht aus drei Schichten: Auf die Hochleistungsfaser wird zunächst Silber als metallische Basis aufgetragen, danach eine stabilitäts-



verleihende Schicht aus Titan-Stickoxid. Zuletzt folgt ein 20 Nanometer dünner Auftrag aus Germanium-Antimon-Tellurium, kurz GST. Bei hohen Temperaturen kristallisiert das GST, und der Farbeindruck verändert sich, etwa von Blau nach Weißlich.

BESSER IST DAS

## Natürliches Wachstum



Naturschutzgebiete sind ein Schlüssel für Artenvielfalt und Klimaschutz. Die gute Nachricht: In den vergangenen 50 Jahren ist der Anteil von Naturschutzgebieten an der gesamten Landfläche von 2,6 Prozent auf 13,2 Prozent gestiegen. Der Schutz der Weltmeere wurde erst relativ spät, dafür aber intensiv vorangetrieben: Zuletzt waren weltweit 16,8 Prozent der Meeresfläche als Schutzgebiet ausgewiesen.

Quelle: OECD

# 60%

des in Indien angefallenen Kunststoffs wurden laut einer US-Studie 2015 recycelt – eine der höchsten Quoten weltweit. Experten gehen davon aus, dass sie auch auf den „informellen Sektor“ zurückzuführen ist: in Armut lebende Menschen, die Plastikmüll sammeln und weiterverkaufen.

## DEEP LEARNING ...

... ermöglicht es künftig auch in der Quantenchemie, die Zukunft in Teilen vorherzusagen. Eine am California Institute of Technology in Los Angeles entwickelte künstliche Intelligenz (KI) namens Orbnnet soll deutlich schneller und präziser Eigenschaften und Reaktionsfähigkeit von Molekülen prognostizieren, als das bisher in der analogen Welt möglich war. Basis sind genaue Analysen der elektronischen Molekülstruktur. Wie jede KI muss auch Orbnnet „trainiert“ werden: Die Forscher stellen ihr kontinuierlich neue Aufgaben und erweitern so sukzessive die potenziellen Anwendungsgebiete des Systems.

# Pillen aus dem Printer

Eine Kombination innovativer Druckverfahren ermöglicht die Produktion neuer Pharmaprodukte.

Die gängigen 3D-Druck-Verfahren beschränken sich zumeist auf Materialien, die in flüssigem Zustand geformt werden und anschließend aushärten. Soll der Feststoff allerdings flüssige Anteile beinhalten, müssen diese bislang aufwendig im Nachhinein hinzugefügt werden. Chemiker der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg haben nun ein Kombiverfahren aus 3D-Druck und klassischen Druckmethoden entwickelt, das beides paral-

lel schafft: Während die Produkthülle gedruckt wird, fügen sie die Flüssigkeit tröpfchenweise hinzu. Auf diese Weise gelang es den Forschern bereits, einen flüssigen Wirkstoff in ein biologisch abbaubares Material einzubauen, ohne dass er an Wirkungskraft einbüßte. Das Verfahren könnte bei der Herstellung pharmazeutischer Wirkstoffdepots wie Pillen und Tabletten zum Einsatz kommen, die sich im Körper nach und nach abbauen.

## MENSCH & VISION



### DER MENSCH

Dass sie sich für Nachhaltigkeit und gegen den Klimawandel einsetzen wollte, war Alexandra Tavasoli schon als Jugendlichen klar. Nur, wie? Zunächst überlegte sie, Journalistin oder Politikerin zu werden. „Bald merkte ich jedoch, dass mich wissenschaftliche Lösungen am meisten interessieren.“ Also studierte die gebürtige Kanadierin erst Chemieingenieurwesen, arbeitete dann bei einem Forschungsinstitut, bis sie sich schließlich zur Promotion entschied. Themengebiet: die Umwandlung von Kohlendioxid und organischen Abfallstoffen in neue Chemikalien.

### DIE VISION

Für eine solche Transformation ist Energie nötig – häufig aus fossilen Quellen. Tavasoli hingegen setzt auf Lichtenergie und hat mit ihrem Team einen speziellen Photokatalysator entwickelt: „Die Technologie wandelt CO<sub>2</sub> und Methangas, das bei der Vergärung organischer Abfälle entsteht, in vielseitig einsetzbares Synthesegas um.“ Das Gas kann etwa zu Methanol verarbeitet werden, dient aber auch als Basis für die Produktion von Wasserstoff. 2018 gründete Tavasoli eine eigene Firma: Solistra. Seitdem arbeitet sie als CEO daran, die Technologie fit für den Markt zu machen.

## GUTE FRAGE



### »Wie stellt man Desinfektionsmittel aus Apfelresten her, Frau Dr. Kaiser?«

Viele Handdesinfektionsmittel bestehen zum Großteil aus Ethanol, und das lässt sich aus dem Pressrückstand gewinnen, der bei der Apfelsaftproduktion entsteht. Dieser sogenannte Apfeltrester ist reich an Kohlenhydraten wie Saccharose, Stärke und Cellulose – allesamt ideale Ausgangsstoffe für eine Fermentation zur Ethanolherstellung. Dabei wird der Trester mit Wasser, Hefe und Cellulasen vermischt und für zwei Tage bei 37 Grad im Fermenter gemischt. Die entstehende ethanolische Lösung wird danach destilliert; der verbleibende Rückstand wird der Fermentation wieder zugeführt. Dieser Forschungsansatz, den mein Team und ich verfolgen, ist daher gleich doppelt nachhaltig: Er ermöglicht die Produktion von Ethanol aus einem Abfallstoff, ohne dabei neue Abfälle zu generieren.

*Dr. Doreen Kaiser, Technische Chemikerin an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, ist Co-Autorin der Forschungsarbeit „Enzymatische Hydrolyse und Fermentation von Apfeltrester“.*



Neues Leben: Gesammelte Kunststoffverpackungen warten im Eingangslager des Sortierbetriebs Hündgen bei Bonn auf die Weiterverarbeitung. Im besten Fall werden daraus wieder neue Verpackungen.

# WERT-STOFF





Produkte aus Kunststoff machen unser Leben leichter und sicherer. Zugleich gelangt immer noch viel zu viel Plastik in die Umwelt. Um dieses Problem zu lösen, brauchen wir weltweit bessere Recyclingsysteme und eine echte Kreislaufwirtschaft. Neue Forschungsprojekte geben Anlass zur Hoffnung.



**D**er moderne Sisyphos heißt RoBB-AQC. Mit zackigen Armbewegungen pickt der gelb-schwarze Roboter unermüdlich Plastikflaschen und Folien aus einem endlosen Abfallstrom. Sensoren und künstliche Intelligenz sagen ihm, wo verwertbarer Kunststoff auf dem Förderband vorbeifährt. Doch noch bleibt viel Verwertbares auf dem Band liegen. „Testbetrieb! Der lernt noch“, ruft Frank Arleth gegen den Lärm an und zieht eine Fleecejacke vom Band, die sich unter dem Roboterarm verheddert hat. Arleth und der Roboter arbeiten beide für das Entsorgungsunternehmen Hündgen in Swisttal bei Bonn. Seit mehr als 70 Jahren kümmert sich der Familienbetrieb um Abfall, seit 30 Jahren sortiert man den Inhalt gelber Säcke.

140 Mitarbeiter zählt das Unternehmen, darunter viele Lkw-Fahrer. Von weit her holen sie den Abfall, der hier „Wertstoff“ heißt. Bis zu 450 Tonnen am Tag. Das Einzugsgebiet reicht vom nördlichen Ruhrgebiet bis zum Hunsrück. Im Eingangslager stapelt sich sogar Verpackungsmüll aus Dänemark. Vor zwei Jahren hat der Mittelständler für rund 15 Millionen € in Swisttal eine der modernsten Sortieranlagen in Deutschland gebaut. Die will ausgelastet sein. Sechs Tage die Woche laufen die Maschinen rund um die Uhr. Nur samstags stehen sie für ein paar Stunden still, dann wird sauber gemacht.

#### EINE JAHRHUNDERTAUFGABE

Weltweit werden jedes Jahr über 350 Millionen Tonnen Plastik produziert – mehr als 200-mal so viel wie 1950, als das Kunststoffzeitalter so richtig losging. An die zehn Milliarden Tonnen wurden seither hergestellt, mehr als die Hälfte davon seit dem Jahr 2000 (siehe Grafik auf Seite 17).

Nur ein Bruchteil davon wurde in den vergangenen Jahrzehnten recycelt. Selbst von dem Material, das weltweit heute hergestellt wird, landet noch immer das meiste irgendwann auf Deponien – oder schlimmstenfalls in der Natur (siehe Data Mining auf Seite 15). Weil Kunststoff selbst nach Jahrhunderten nicht verrottet, wächst der Müllberg stetig weiter. Mit verheerenden Folgen für Lebensräume auf dem gesamten Planeten. Plastik ist überall. Fein zerrieben zu Mikroplastik hat es sogar den Weg in unsere Nahrungsketten gefunden.

Längst ist klar, dass es nicht so weitergeht. Ein Lösungsansatz, auf den sich fast alle einigen können, heißt Einsammeln, Aufbereiten, Wiederverwerten (siehe Streitgespräch auf Seite 28). „Circular Plastics“ nennt man den Traum vom geschlossenen Kreislauf, in dem Kunststoffe wieder und immer wieder verwendet werden. Der Spezialchemiekonzern Evonik will gleich



Sammeln, sortieren, schreddern: In den Hallen des Entsorgungsunternehmens Hündgen werden täglich tonnenweise Kunststoffabfälle verarbeitet.





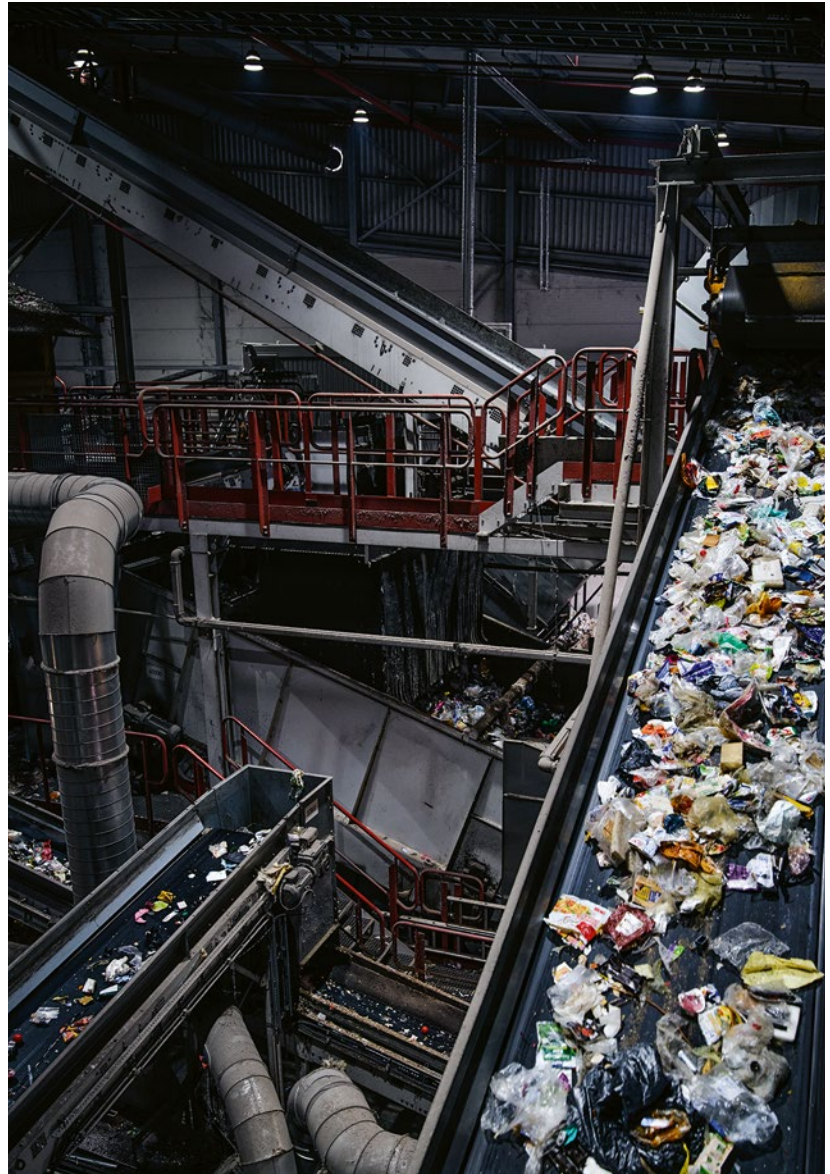
## »Mehrschichtfolien aus verschiedenen Kunststoffen lassen sich praktisch nicht trennen.«

MONICA HARTING PFEIFFER,  
PROJEKTMANAGERIN BEI RE PLANO

auf mehreren Ebenen etwas zu diesem Ziel beitragen. Gebündelt werden diese Bemühungen seit Neuestem im konzerneigenen Global Circular Plastics Program (siehe Infokasten auf Seite 14).

Umweltverbände fordern, insgesamt weniger Plastik einzusetzen. Selbst sie erwarten aber nicht, dass wir je ganz darauf verzichten. Von der Einwegspritze bis zum Gummihandschuh ist medizinische Versorgung ohne Plastik nicht mehr sicher. Kunststoffe isolieren Gebäude und Kühlschränke, helfen in Form leichter Bauteile, den Spritverbrauch von Autos zu senken, verbessern in Verpackungen die Haltbarkeit von Lebensmitteln und reduzieren so deren Verschwendung. Elektrofahrzeuge, Windstrom, Solarenergie – viele ökologische Hoffnungsträger gäbe es nicht ohne Kunststoff.

Knapp die Hälfte des heute produzierten Kunststoffs wird jedoch in Verpackungen verarbeitet, die binnen kürzester Zeit zu Abfall werden. Um diese Flut in den Griff zu bekommen, müssen aus alten Verpackungen neue werden. Doch dieses Ziel wird vielerorts durch die Gesetzgebung erschwert. In Deutschland etwa darf kein Plastik aus dem gelben Sack wieder zu Lebensmittelverpackungen verarbeitet werden, denn es lässt sich nicht restlos ausschließen, dass sich unterwegs Schadstoffe ins Material eingeschlichen haben. Doch selbst für Verpackungen, die nicht mit Lebensmitteln in Berührung kommen, werden erst selten Rezyklate aus benutztem Plastik eingesetzt, weil dessen Qualität zu stark schwankt.



Fast vollautomatisch: Kameras, künstliche Intelligenz und Roboter helfen, Kunststoffe zu identifizieren und zu trennen.

Drei Kunststoffe spielen heute die Hauptrolle bei Verpackungen: Polypropylen (PP), verschiedene Arten von Polyethylen (PE) und Polyethylenterephthalat (PET) machen zusammen mit Abstand den größten Anteil des gesamten Materials für Tüten, Schalen, Folien, Flaschen und andere Verpackungen sowie Alltagsgegenstände aus (siehe Infografik auf Seite 18). Jeder der drei Kunststoffe lässt sich nach Gebrauch bestens aufschmelzen und mehrfach neu verarbeiten.

Nur mischen sollte man die Materialien nicht. Schon wenige Prozent PP in einer PE-Folie sorgen dafür, dass sich Verpackungen nicht mehr dicht verschweißen lassen. Unternehmen wie Hündgen setzen deshalb modernste Technik ein, um die drei Kunststoffe sortenrein zu trennen. Roboter ergänzen neuerdings Sortiermaschinen, deren Kameras im Nah-Infrarot- und im UV-Licht die jeweiligen Kunststoffmoleküle unterscheiden können und dann die entsprechenden Teile mit gezielten Luftstößen aus dem Abfallstrom pusten. →



Jeder Schnipsel Kunststoff, den Hündgen nicht identifizieren, herausziehen und als Wertstoff vermarkten kann, wird verbrannt – sei es in Müllverbrennungsanlagen oder als „Ersatzbrennstoff“ zum Beispiel in Zementwerken. Diese Restmengen, für deren Verwertung Hündgen zahlen muss, machen gut 40 Prozent des Inhalts eines gelben Sackes aus. Mit einigem technischen Aufwand holt das Unternehmen deshalb seit Neuestem noch einmal zwei Prozent mehr gemischte Kunststoffreste aus dem Abfallstrom. Aus dem grauen Agglomerat werden Parkbänke, Spielplatzgeräte oder Terrassen-Unterkonstruktionen hergestellt. Das ist zwar gut für die Recyclingquote, aber noch kein Beitrag zu einer echten Kreislaufwirtschaft.

Bessere Chancen auf ein neues Leben als Verpackung haben die großen Ballen aus PP, PE oder PET, die Hündgens Hof verlassen. Sie werden weiterverarbeitet von Firmen wie RE Plano in Lünen bei Dortmund. Das Unternehmen gehört zu der Remondis-Gruppe, einem Giganten der Recycling- und Abfallwirtschaft mit 36.000 Mitarbeitern an 900 Standorten. Das 230 Hektar große Lippewerk in Lünen gilt als Europas größtes Recyclingzentrum. Vom Bioabfall über Elektronik bis zur Metallschlacke werden hier jedes Jahr eine Million Tonnen Abfall verwertet. RE Plano kümmert sich vor allem um PE und PP, ein Schwesterunternehmen bereitet PET auf.

#### WASCHEN, TRENNEN, FÖHNEN

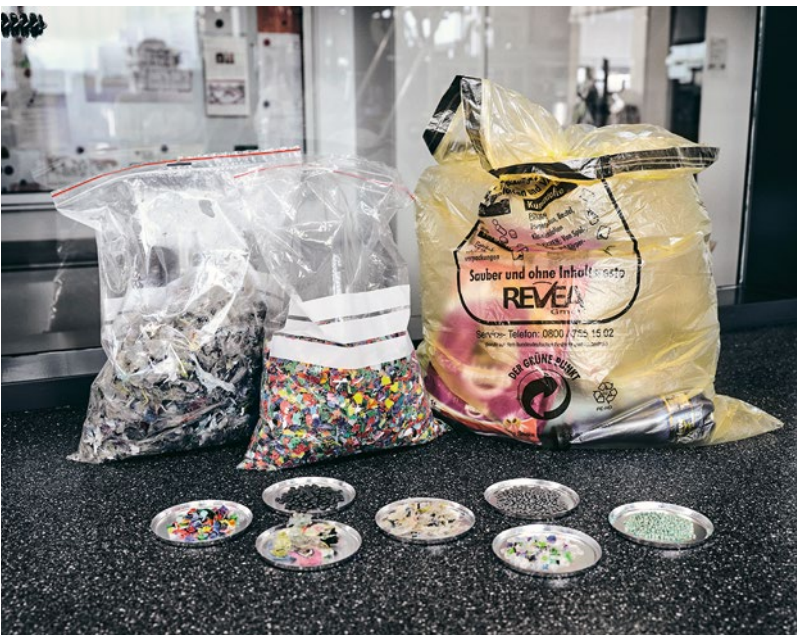
Um aus den vorsortierten Packungen möglichst reines Recycling-Granulat zu gewinnen, das wie neues Plastik verarbeitet werden kann, werden die Ballen zunächst geschreddert und gewaschen. „Wie genau, das ist Betriebsgeheimnis“, sagt Monica Harting Pfeifer. Die Verfahrenstechnikerin ist Projektmanagerin bei RE Plano. So viel gibt sie preis: „Wir stellen eine Lauge her, in der wir zum Beispiel aufgeklebte Etiketten und Aufdrucke ablösen.“ Die gewaschenen und getrockneten Flocken werden danach erneut sortiert, um zum Beispiel zerkleinerte Flaschen aus PE von mitgeschredderten Etiketten zu trennen. Das geschieht etwa mittels Windsichtung. Dabei macht man sich die unterschiedlichen Partikelformen und Flugeigenschaften zunutze.

„Was sich praktisch gar nicht trennen lässt, sind Mehrschichtfolien aus verschiedenen Kunststoffen“, erklärt Harting Pfeifer. Ausgerechnet diese Folien sind jedoch der Renner im Verpackungsmarkt. Ob Kaffee oder Hundefutter – wenn Feuchtes oder Fettiges verpackt werden soll, kommen Beutel mit teilweise mehr als einem Dutzend verklebter oder bedampfter Kunststoffschichten zum Einsatz. Sie sind lichtdicht, geruchsdicht, sehr robust und brauchen in Summe nur wenig Material. Bloß trennen und stofflich recyceln lassen sie sich kaum.

weiter auf Seite 16 →

## Global Circular Plastics Program

Evonik bündelt seine Aktivitäten zum Kunststoffrecycling im neuen Global Circular Plastics Program. Das Unternehmen bietet Lösungen für die Verbesserung von Effizienz und Qualität des mechanischen Recyclings und arbeitet an verschiedenen Technologien für chemisches Recycling. Zugleich erforscht Evonik, wie sich Rohstoffe etwa aus Kunststoffabfällen und Bioabfällen bis hin zu CO<sub>2</sub> aus Biogas- oder Industrieabgasen für die Herstellung von Chemikalien nutzen lassen. Indem die Verwendung nachhaltiger Rohstoffe für die eigene Produktion vorangetrieben wird, verbessert Evonik seinen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und erhöht bei den Kunden den Anteil nachhaltiger Materialien. Insgesamt bedient der Konzern die gesamte Wertschöpfungskette des Kunststoffkreislaufs und rechnet mit einem zusätzlichen Umsatz von mehr als 350 Millionen € pro Jahr ab 2030.



Weg aus der Sack-Gasse: In den Evonik-Laboren an der Goldschmidtstraße in Essen werden Verfahren entwickelt, die die Ausbeute aus Wertstoffsäcken verbessern.

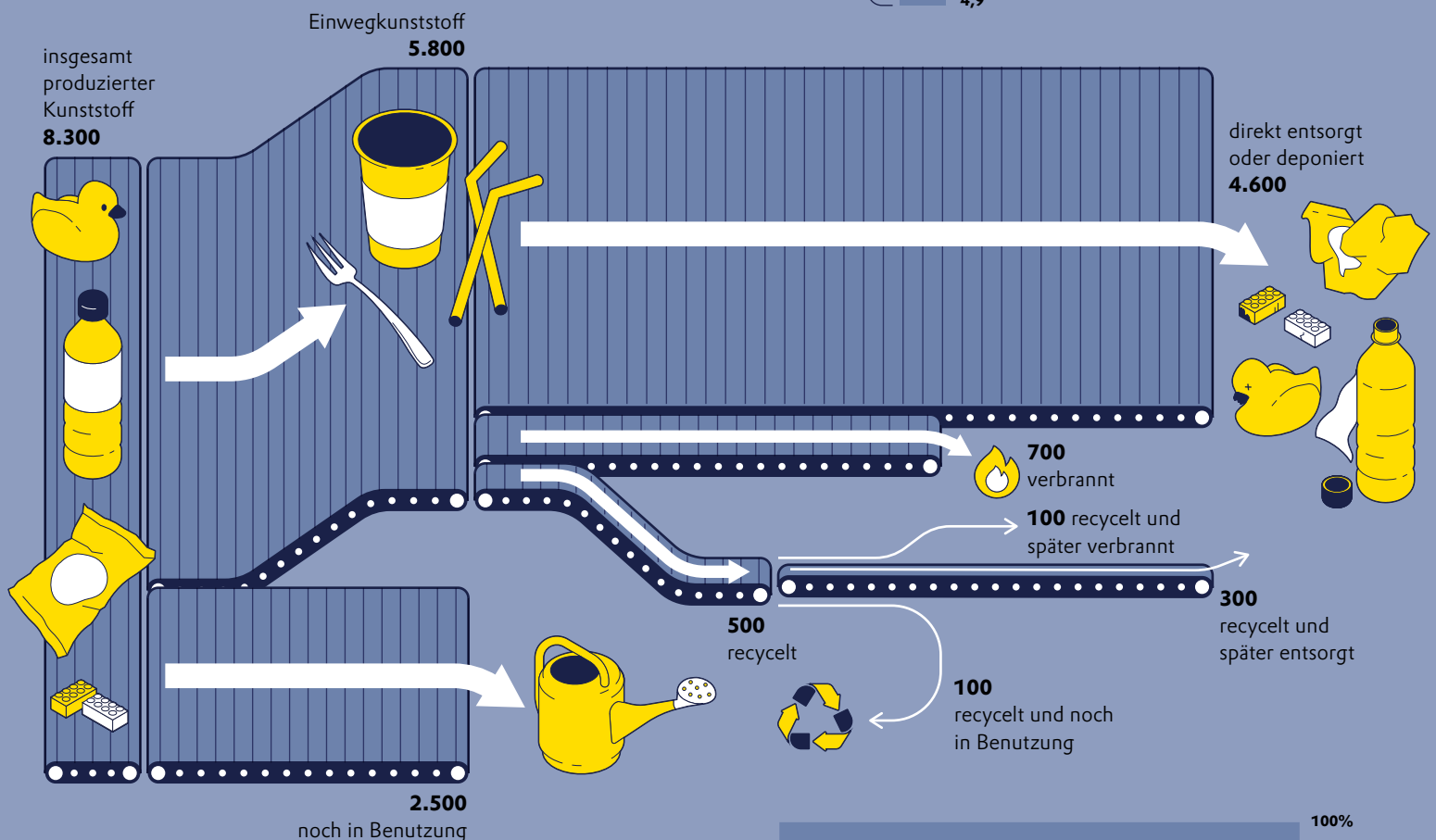
# WAS WIRD DARAUS?

Ein Leben ohne Kunststoff ist kaum mehr vorstellbar. Doch wohin mit den Abermillionen Tonnen benutzter Plastikprodukte? Die Lösung liegt in mehr Recycling.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

## Entsorgt, verbrannt, recycelt, in Benutzung

Verwendung aller weltweit zwischen 1950 und 2015 produzierten Kunststoffe (Polymere, Harze, Kunstfasern und Additive) in Millionen Tonnen



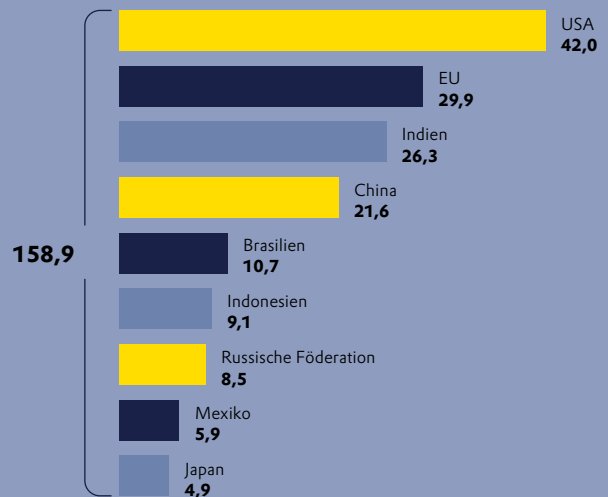
## Zu schade für die Deponie

Anteil der Verwertungs- bzw. Entsorgungswege des weltweit anfallenden Kunststoffabfalls (Schätzung)

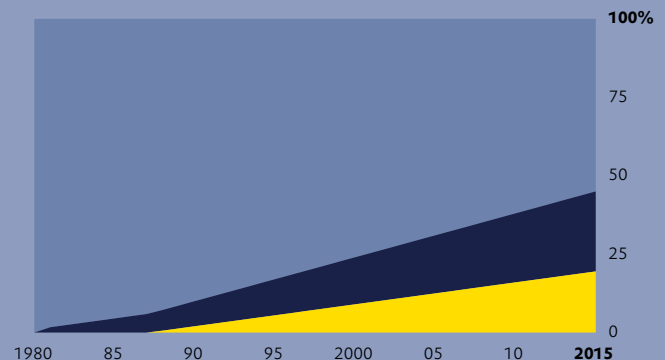
deponiert verbrannt recycelt

## Ab in die Tonne

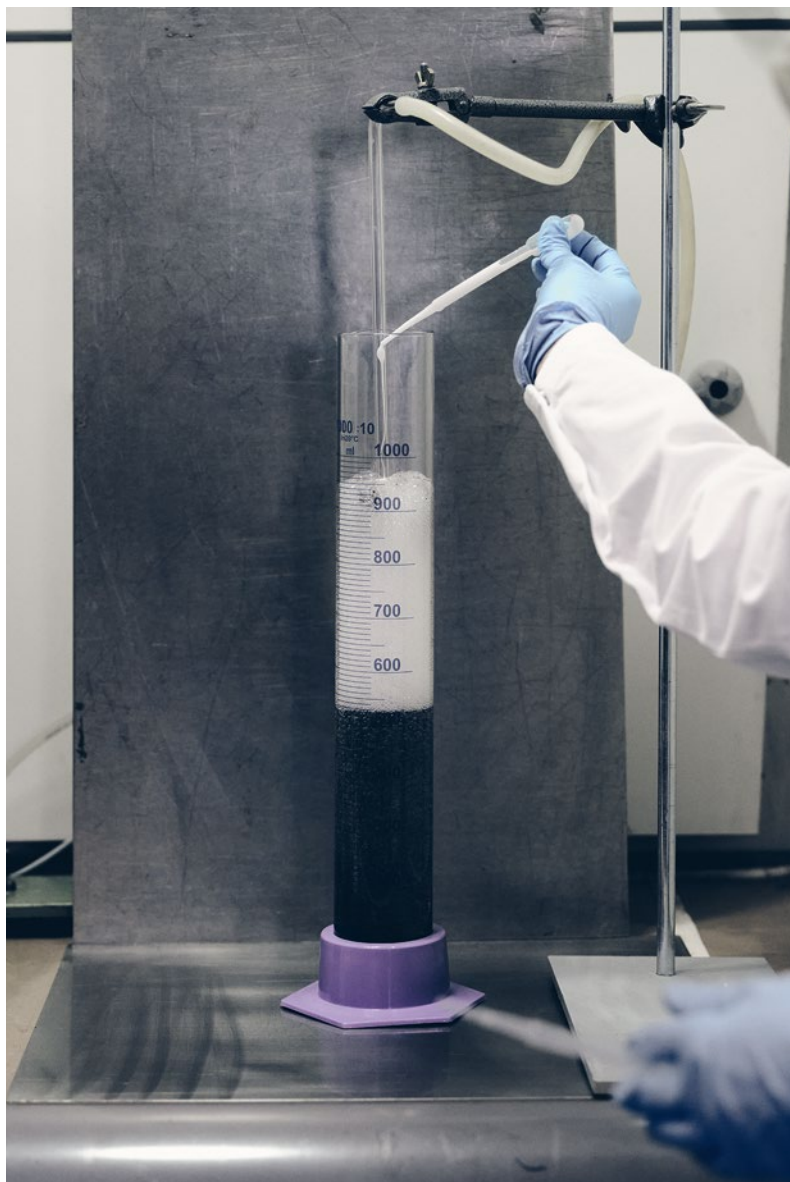
Kunststoffabfälle nach Herkunft, in Millionen Tonnen 2016



Quellen:  
Roland Geyer et al.: „Production, use, and fate of all plastics ever made“.  
In: Science Advances 2017;3: e1700782



Entschäumer von Evonik helfen, den Waschprozess beim Kunststoffrecycling deutlich zu verbessern (u.). Chemielaborantin Janina Kilian überprüft den Geruch einer Probe recycelten Kunststoffs.



Bei Evonik in Essen kennt man diese Sorgen sehr genau. Am Standort Goldschmidtstraße hat der Spezialchemiekonzern vor drei Jahren sein Anwendungslabor mit angeschlossenem Technikum ausgebaut, um den Problemen der Recycler auf den Grund zu gehen. „Diese Unternehmen waren bis vor ein paar Jahren für uns praktisch kein Markt“, sagt Kathrin Lehmann, Technical Director Polymer Specialties. „Das ändert sich gerade gewaltig.“

#### MASSGESCHNEIDERTE REZEPTUREN

Evonik liefert seit Jahrzehnten Additive und Hilfsstoffe in die Kunststoffindustrie. Vom Flammenschutz bis zur Fließfähigkeit, von der Kratzfestigkeit bis zur Haptik verbessern sie die Eigenschaften der Endprodukte. Dass vieles davon auch für das Verarbeiten von Rezyklat gefragt wäre, liegt nahe. „Im Detail sind die Anforderungen aber anders, und wir stellen fest, dass wir im Recycling noch viel mehr Know-how einbringen können“, sagt Lehmann.

Etwa beim Waschen und Trennen: Lehmanns Team untersucht regelmäßig eingesendete Proben von Waschlaugen, wie auch RE Plano sie verwendet. Sie entwickeln maßgeschneiderte Tensid-Rezepturen, die beim sogenannten De-Inking und De-Labeling Tinten und Etiketten schnell und rückstandsfrei ablösen. Entschäumer vereinfachen den Waschprozess, weil kein Schaum mehr überquillt. Netzmittel bringen die Lauge besser zwischen die Oberflächen, Trockenmittel helfen Energie beim anschließenden Trocknen sparen. „Dieses Prozesswissen, das wir für andere verarbeitende Industrien über Jahrzehnte aufgebaut haben, kommt jetzt im Recycling kombiniert zum Einsatz“, sagt Lehmann.

**»Recycler waren bis vor ein paar Jahren für uns praktisch kein Markt.«**

KATHRIN LEHMANN, TECHNICAL DIRECTOR POLYMER SPECIALTIES



Nebenan testet ein Team um Sebastian Heßner derweil an Extrudern und Folienmaschinen, was Evonik-Additive beim Aufbereiten und Verarbeiten der Recyclingkunststoffe leisten können. „Das sind zum Teil die gleichen Anforderungen wie beim Virgin Plastic, also bei neuem Material“, erklärt der Leiter der Pilotanlage. „Aber es kommen weitere hinzu.“ Weil das Ausgangsmaterial stärker variere, müssten zum Beispiel Fließ- und Schmelzeigenschaften öfter feinjustiert werden.

### GERÜCHE UNTER VERSCHLUSS

Ein typisches Problem ist auch der Geruch. „Wenn organische Verbindungen oder Klebereste im Rezyklat enthalten sind und beim Extrudieren erhitzt werden, entstehen flüchtige, stark riechende Abbauprodukte, die danach lange ausdünsten“, erklärt Heßner. Billige Recyclingprodukte wie Eimer oder Gartenmöbel findet man im Baumarkt deshalb manchmal einfach der Nase nach. „Manche Recycler behelfen sich mit der Zugabe von Duftstoffen“, sagt Heßner. „Unsere Geruchsabsorber dagegen überdecken nicht einfach den Geruch kurzzeitig, sondern halten dauerhaft die flüchtigen Moleküle buchstäblich im Material fest.“

Selbst für die Mehrschichtfolien, an denen Recycler verzweifeln, hat Evonik womöglich schon zwei Lösungen parat. Kathrin Lehmann zieht eine aufgerollte Folie aus dem Schrank, die ihr ein asiatischer Verpackungshersteller kürzlich geschickt hat. Die beiden waren vor der Coronapandemie auf einer Fachmesse ins Gespräch gekommen. Sichtlich zufrieden zeigt Lehmann nun ein Becherglas, in dem zwei hauchdünne Folien umeinander wabern – einmal Plastik, einmal Alu. „Mit den richtigen Tensiden können wir auch so etwas zu 100 Prozent sauber trennen. Kein Problem!“

Wo diese Trennung nicht möglich ist, kommt Sebastian Babik ins Spiel: „Manchmal lassen sich chemisch verschiedene Materialien miteinander verheiraten und gemeinsam verwerten“, sagt er. Sein Titel bei Evonik lautet Director Technology Platform Polyolefins, und seine Lösung heißt Vestoplast. Das Polyolefin von Evonik steckt in Heißklebern, die heute zum Beispiel Windeln, Damenbinden und Kartons zusammenhalten. Als chemischer Verwandter von PE und PP könne es aber die beiden Stoffe miteinander kompatibel machen, wie Babik erklärt. „In Tests mit der TU Wien konnten wir neue Recyclingmaterialien aus zwei Dritteln PE und einem Drittel PP erzeugen, die deutlich verbesserte physikalische Eigenschaften aufweisen.“ Das sind gute Nachrichten für alle Unternehmen, die künftig selbst mehr Rezyklat einsetzen wollen und heute noch Schwierigkeiten haben, genügend hochwertiges Material zu bekommen. →

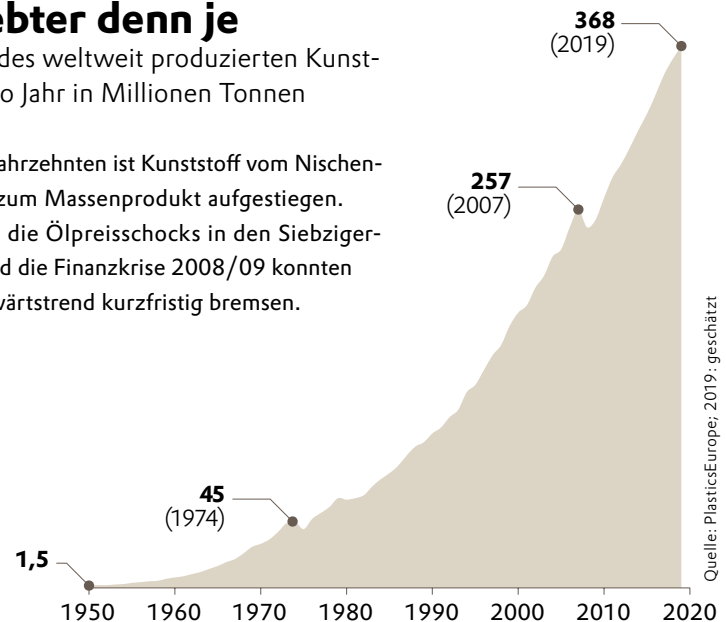
Reißfest: Evonik testet seine Rezyklate auch als Material für Säcke und Folien, zwei der gängigsten Anwendungen.



## Beliebter denn je

Menge des weltweit produzierten Kunststoffes pro Jahr in Millionen Tonnen

In sechs Jahrzehnten ist Kunststoff vom Nischenmaterial zum Massenprodukt aufgestiegen. Lediglich die Ölpreisschocks in den Siebzigerjahren und die Finanzkrise 2008/09 konnten den Aufwärtstrend kurzfristig bremsen.





Das Ziel der Evonik-Forscher: Granulat aus recyceltem Kunststoff, das neuem Material ebenbürtig ist

Der Henkel-Konzern etwa setzte 2019 insgesamt 769.000 Tonnen Verpackungsmaterial für seine Konsumgüter ein – von Pattex bis Persil, von Schwarzkopf bis Sidolin. Rund die Hälfte davon bestand aus Plastik. Bis 2025 will Henkel alle Verpackungen wiederverwendbar oder recycelbar machen. Zu mindestens 30 Prozent sollen sie aus Rezyklat bestehen. Eine Herausforderung für die Produktdesigner. „Die Anforderungen der Konsumenten sind hoch“, sagt Thorsten Leopold, bei Henkel Director Global Packaging Innovation für den Bereich Home Care. „Sie wollen nachhaltige Produkte und Verpackungen, aber keine Kompromisse bei Farbe, Geruch oder Haptik oder Funktionalität der Verpackung.“

#### UMDENKEN UND DAZULERNEN

Mit seiner Klebstoffsparte steht der Konzern derweil auch auf der Seite der Zulieferer: Etiketten, Kartons und auch viele Mehrschichtverpackungen halten erst dank Henkel-Klebern. „Da hat zuletzt ein echter Sinneswandel bei den Kunden stattgefunden“, sagt

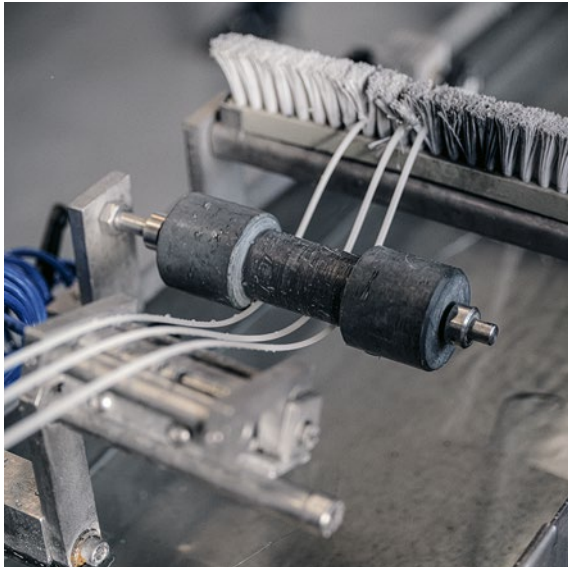
## Mach's aus Plastik

Produktion von Polymeren nach Typen und Anwendungen in Prozent, 2019



Quelle: PlasticsEurope





Dennis Bankmann, der bei Henkel Adhesive Technologies den Titel des Senior Manager Circular Economy trägt. „Bis vor ein paar Jahren musste alles immer noch fester, noch temperaturbeständiger, noch länger halten. Heute fragen die Kunden auch, wie sich das alles wieder lösen lässt.“ Statt vollflächig verklebter Papieretiketten kommen deshalb beispielsweise punktuell fixierte Kunststoffbanderolen zum Einsatz. Für Umverpackungen hat Henkel einen Klebstoff entwickelt, der es ermöglicht, dass Kartons nicht mehr mit Folie umwickelt werden müssen und trotzdem nicht von der Palette purzeln.

Als Zulieferer weiter vorn in der Wertschöpfungskette ist dann auch wieder Evonik gefragt. Der Konzern liefert neben Vestoplast noch unzählige weitere Zutaten für Kleber, die vom Joghurtbecher bis zum Pappkarton alles Mögliche zusammenhalten. „Längst zählt nicht nur das Verkleben und das Lösen“, sagt Babik. „Die Frage ist auch, wie verhält sich der Kleber selbst im Recycling? Die Kunden gucken heute einfach viel genauer hin.“

Es sind dieses Umdenken und die Summe unzähliger kleiner Problemlösungen, die Hoffnung machen. Gesetzgeber in aller Welt machen Druck, erhöhen Sammel- und Recyclingquoten, nehmen Industrie, Handel und Verbraucher in die Pflicht. Sortierer, Recycler, Verpackungshersteller, Konsumgüterunternehmen und die Chemie reagieren, indem sie neue Wege aus der Sackgasse finden. Die Umrisse einer Kreislaufwirtschaft für Verpackungskunststoffe sind noch vage, aber doch erkennbar. Den globalen Kreis endgültig zu schließen wird eine Jahrhundertaufgabe. Es bleibt noch viel zu lernen. Nicht nur für den emsigen Roboter am Förderband. —



Wie in der Fabrik: Im Evonik-Technikum in Essen werden Rezyklate in industriellen Verfahren verarbeitet, allerdings in kleinerem Maßstab.



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

# Runde für Runde

Rund 370 Millionen Tonnen Kunststoff werden weltweit jährlich produziert. Nur ein Bruchteil davon wird recycelt. Diese Übersicht zeigt, mithilfe welcher Technologien es möglich ist, einen Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe zu etablieren, gleichzeitig wertvolle Ressourcen zu sparen und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu minimieren.

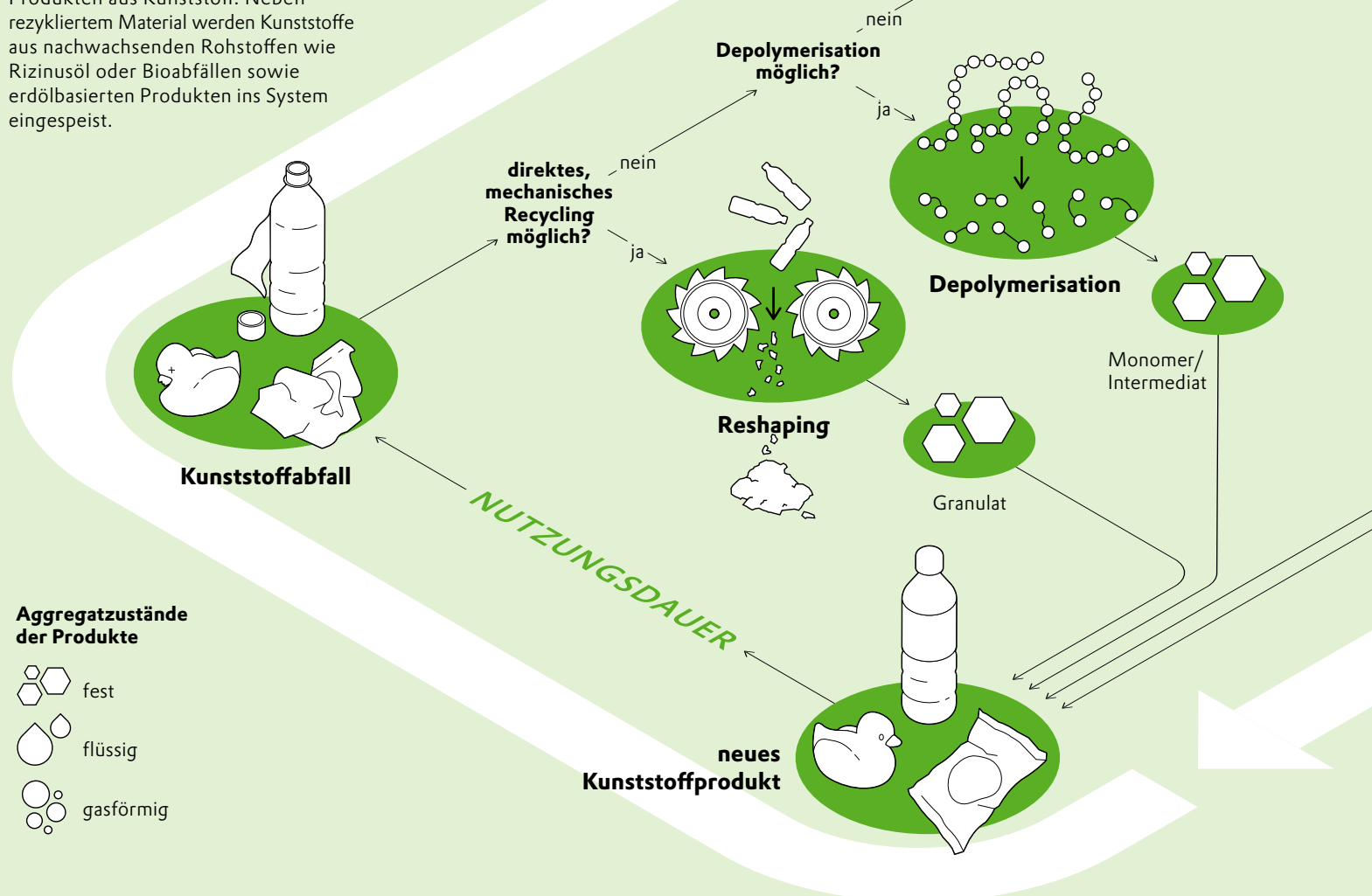
INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**

## Mechanisches und chemisches Recycling

Je nach Material, Verarbeitungsart, Produktzustand oder Verschmutzungsgrad bieten sich unterschiedliche Verfahren zur Aufbereitung von Kunststoff an. Neben dem mechanischen Recycling, bei dem das Polymer erhalten bleibt, werden verschiedene chemische Verfahren eingesetzt.

### Start und Ziel

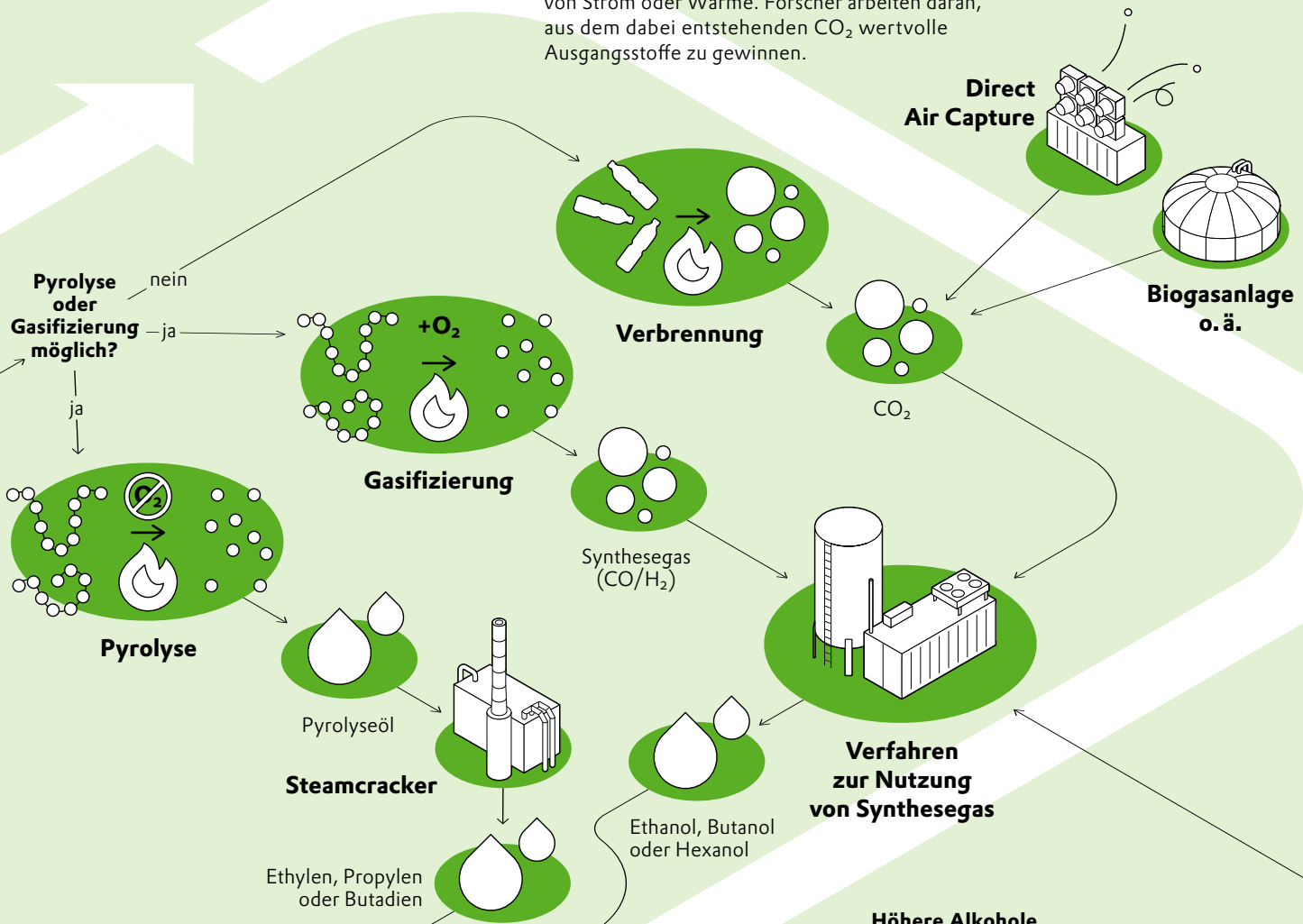
Der Kreislauf beginnt und endet mit Produkten aus Kunststoff. Neben rezykliertem Material werden Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie Rizinusöl oder Bioabfällen sowie erdölbasierten Produkten ins System eingespeist.





### Thermische Verwertung

Kann Kunststoff nicht stofflich verwertet werden, wird er verbrannt und erzeugt Energie in Form von Strom oder Wärme. Forscher arbeiten daran, aus dem dabei entstehenden CO<sub>2</sub> wertvolle Ausgangsstoffe zu gewinnen.



### Höhere Alkohole

Mischungen aus CO<sub>2</sub>, CO und H<sub>2</sub> lassen sich nutzen, um daraus Methanol oder Kohlenwasserstoffe für weitere Produktionsschritte herzustellen. Für die höheren Alkohole arbeitet Evonik an biotechnologischen und chemischen Lösungen.

### Wasserstoff

Bei der Realisierung einer Kreislaufwirtschaft spielt Wasserstoff als Bestandteil des Synthesegases eine wichtige Rolle. Mit regenerativen Energien erzeugt, trägt er langfristig zur Erreichung der Klimaziele bei.





Im Autoklavenhaus am Evonik-Standort Lülsdorf experimentiert Laborleiterin Jutta Malter mit ihrem Team an möglichst effizienten Verfahren zum chemischen Recycling von Kunststoffen.



# DIE ZEIT IST REIF

Durch chemisches Recycling können auch Kunststoffe wiederverwertet werden, die je nach Land bisher in der Verbrennung oder der Deponie landen. Evonik arbeitet an einem Verfahren für stark verschmutztes PET – und macht damit ganz neue Stoffströme erst recycelfähig.

TEXT DENIS DILBA

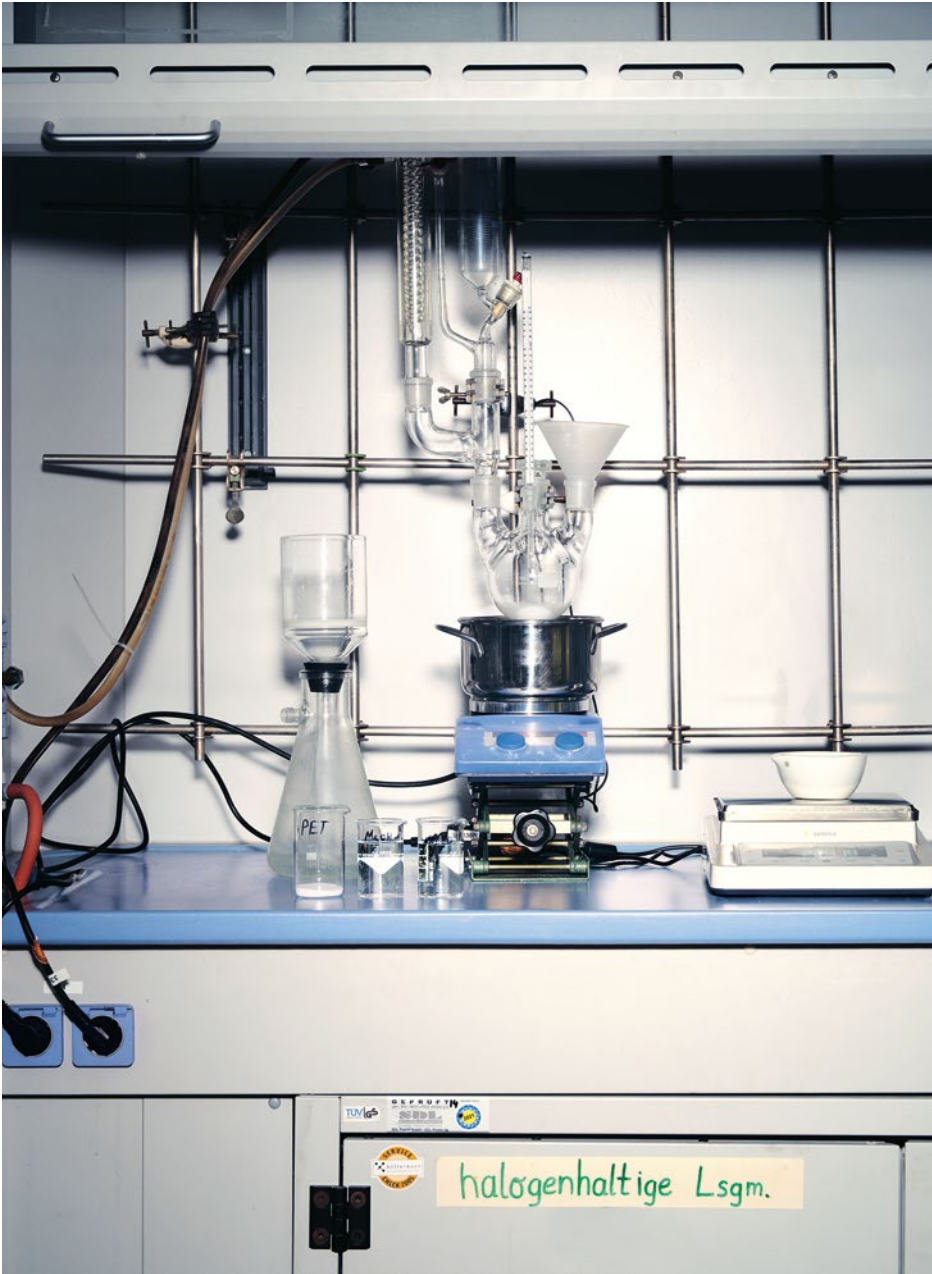
**W**ie in einer Schneekugel wirbeln die PET-Schnipsel hinter fingerdickem Borosilikatglas umher. Ein Rührwerk in dem Druckbehälter aus Edelstahl sorgt dafür, dass der Tanz der Polymerflocken in der farblosen Flüssigkeit nicht endet. Zuerst läuft das nur im Schein der Taschenlampe sichtbare Schauspiel ohne augenscheinliche Veränderung ab. Dann aber beginnen sich die Schnipsel aufzulösen. Wenn weit über 100 Grad Celsius erreicht sind und sich hoher Druck im Behälter aufgebaut hat, dauert es nicht mehr lang, bis sie vollständig verschwunden sind. Die Flüssigkeit im Testreaktor hat jetzt eine bläuliche Farbe angenommen. „Bei diesem Rohstoff, nämlich stark gefärbtem PET, ist das so üblich“, sagt Dr. Jutta Malter, Laborleiterin am Evonik-Standort Lüllsdorf bei Köln.

Ohne weiteren Aufreinigungsschritt findet sich der blaue Farbstoff später auch in dem Monomerbaustein des PET wieder, auf den die Forscher in der sogenannten Alkohololyse nach dem Abkühlen abzielen. Zwar nur in geringer Konzentration – doch auch das entstandene Dimethylterephthalat oder kurz DMT hat einen leichten Blaustich.

Wie vermeidet man solche Verfärbungen? Wie lassen sich solche Verunreinigungen später am einfachsten aus dem Monomer entfernen? Dies sind Fragen, die Malter und ihr Team im Geschäftsgebiet Functional Solutions klären wollen. Von den Antworten hängt ab, für welche Einsatzzwecke sich das wiederverwertete Material eignet. Ziel ist es, eine Kombination aus Chemikalien und technischen Prozessen zu finden, die es ermöglicht, Kunststoffabfälle auf chemischem Weg energiesparend, wirtschaftlich und für hochwertige Anwendungen zu recyceln.

## RECYCLINGKUNSTSTOFFE SIND GEFRAGT

Dr. Patrick Glöckner ist fest davon überzeugt, dass die Zeit des chemischen Recyclings gekommen ist. „Viele Prozesse sind im Grunde seit Jahrzehnten bekannt“, sagt der Experte für zirkuläre Wirtschaft bei Evonik. →



Im Labor läuft die Methanolyse im Dreihalskolben ab. Das Gemisch aus PET, Methanol und dem Katalysator Natriummethylat wird dabei in einem Topf voll Thermo-Öl zum Sieden gebracht.

„Doch erst jetzt sind die Technologien so weit gereift, dass sie vor der Umsetzung in den industriellen Maßstab stehen.“ Die Vorzeichen hätten sich geändert, sagt Glöckner, der das Global Circular Plastics Program von Evonik verantwortet. „Viele Kunden setzen auf möglichst nachhaltige Produkte. Auch große Markenartikler fragen für ihre Produkte verstärkt recycelte Kunststoffe wie PET nach.“ Der Möbelhändler Ikea ist hier besonders ehrgeizig: „Eines unserer ambitionierten Ziele ist es, bis 2030 für alle Produkte, bei denen es relevant ist, ausschließlich erneuerbare und recycelte Materialien zu verwenden“, sagt Raffaele Giovanazzi, der sich im Polymerteam von Ikea mit der Wiederverwertung von Materialien beschäftigt.



## »Wir bauen eine Plattform-technologie für das Recycling verschiedener Polymere auf.«

PATRICK GLÖCKNER,  
LEITER GLOBAL CIRCULAR PLASTICS PROGRAM

Politische Entwicklungen unterstützen den Trend zu mehr recyceltem Plastik. So sollen nach dem Willen der Europäischen Kommission bis 2025 zehn Millionen Tonnen Rezyklat in Europa im Einsatz sein. Bis 2030 sollen alle Verpackungen in Europa entweder wiederverwendbar oder recycelfähig sein. „Recycled in the EU“ soll zu einem Qualitätsmerkmal werden.

Weltweit wird daher verstärkt an der Umsetzung mechanischer und chemischer Methoden zum Kunststoffrecycling gearbeitet. „Wir werden beide Verfahren brauchen, wenn wir ambitionierte politische Ziele erfüllen und eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft aufbauen wollen“, sagt Glöckner. Das mechanische Recycling ist meist die erste Wahl. „Nur lässt sich eben nicht alles mechanisch recyceln.“

Die Zusammensetzung mancher Kunststoffe macht sie für mechanisches Recycling ungeeignet. Dazu zählen vor allem Folienverpackungen für Wurst und Käse. Sie bestehen aus mehreren hauchdünnen Schichten unterschiedlicher Kunststoffe. Solche Verbundfolien werden heute in Deutschland verbrannt, weil die sortenreine Trennung zu teuer wäre. Zudem lassen sich selbst gut wiederverwertbare Kunststoffe wie PET nicht unbegrenzt mechanisch recyceln, weil sie beispielsweise



Vor den praktischen Experimenten im Labor berechnet Jutta Malter, was theoretisch herauskommen müsste.



eingefärbt sind. Und schließlich werden bei jedem Durchlauf die Molekülketten kürzer und lassen sich so nicht mehr für hochwertige Anwendungen einsetzen.

### AUS KETTEN WERDEN KLEINERE MOLEKÜLE

Nur rund ein Viertel des recycelten PET-Materials in Deutschland kann daher wieder zu Flaschen verarbeitet werden. Aus einem weiteren großen Anteil werden andere Produkte hergestellt, hauptsächlich Fleecepullis und Industriefolien. „Ein mechanisches Recycling dieser Produkte ist noch herausfordernder“, sagt Glöckner.

Das chemische Recycling bietet einen Ausweg. Anders als bei der mechanischen Aufbereitung werden die Polymerketten des Ausgangsmaterials hier in sogenannte Monomere gespalten, wodurch selbst stark verunreinigte, eingefärbte sowie mit Additiven oder Fremdstoffen versetzte Polymerstoffströme als wertvoller Rohstoff wiederverwertet werden können. Aus den so gewonnenen chemischen Bausteinen lassen sich dann neue Polymere für hochwertige Anwendungen herstellen – und der Kreis schließt sich.

Für die praktische Anwendung eignen sich solche Verfahren jedoch nur, wenn sie im industriellen Maßstab genutzt werden können. „Die zuverlässige Verfügbarkeit von großen Mengen geringwertiger Abfallrohstoffe ist der Schlüssel zu mehr chemischem Recycling“, sagt Ikea-Experte Giovanazzi. Im Global Circular Plastics Program von Evonik liegt ein Fokus daher auf Technologien, bei denen Eingangsmaterialien in großen Mengen anfallen. Zudem muss eine positive Ökobilanz sichergestellt sein. Denn nicht alles, was technisch möglich ist, kommt der Umwelt zugute. Die Verfahrensentwicklung zur PET-Methanolyse, an der Jutta Malter und ihr sechsköpfiges Team zurzeit in Lülldorf arbeiten, ist dabei schon weit fortgeschritten.

„Chemisch betrachtet, handelt es sich um eine Umesterung“, erklärt Malter. Das PET-Rohmaterial wird mit einer vielfachen Menge an Methanol und dem Katalysator versetzt und dann erhitzt. Neben dem Reaktionsprodukt DMT entsteht Ethylenglykol (EG). Bei reinen Ausgangsstoffen und idealen Reaktionsbedingungen sei das keine besonders komplizierte Reaktion, sagt Malter. „Für Chemiker, die lieber komplexe Moleküle synthetisieren, ist dies vermutlich nicht die richtige Aufgabe.“ Die Herausforderungen liegen jenseits der Reaktion im Reagenzglas. Malter geht es darum, einen

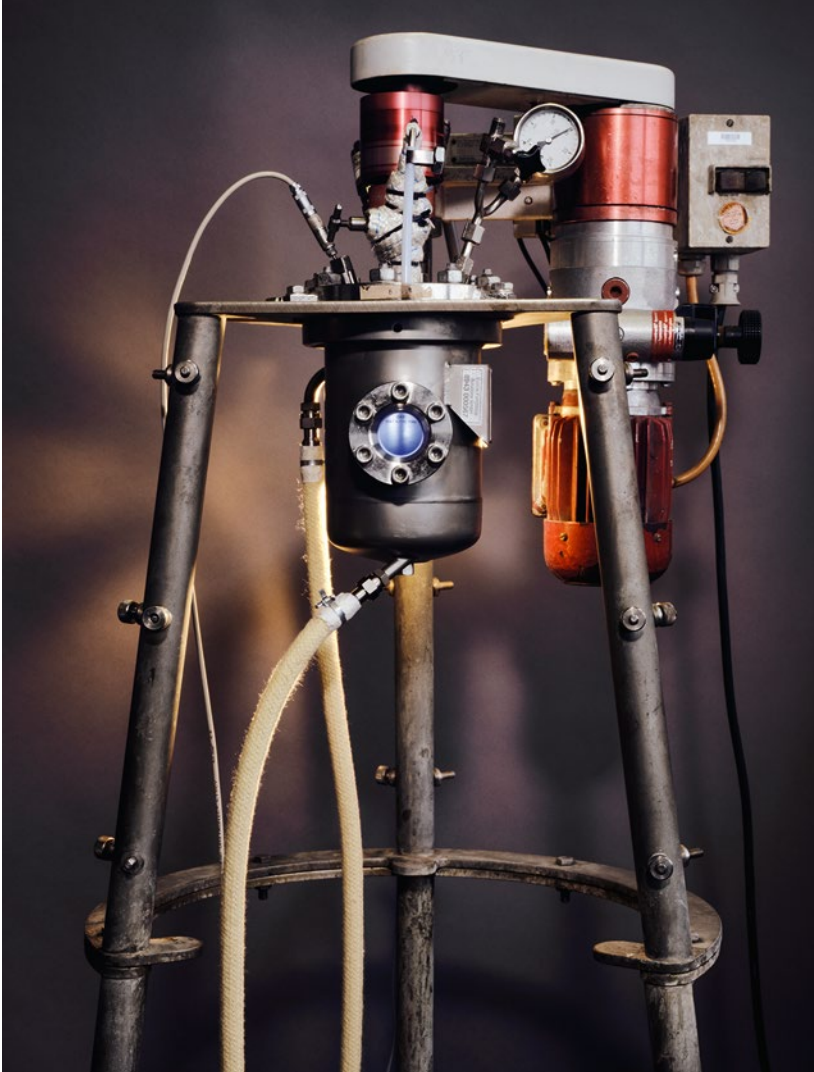


Als Hauptprodukt der PET-Methanolyse erhalten die Labormitarbeiter Dimethylterephthalat, einen weißen Feststoff.

kosteneffizienten Prozess zu entwickeln, der bei unterschiedlichsten PET-Ausgangsmaterialien eine hohe Ausbeute an möglichst reinem DMT und EG ergibt. Und das Ganze natürlich mit optimierter Ökobilanz.

### EIN VERFAHREN – VIELE MÖGLICHKEITEN

Ein wichtiger Fixpunkt bei ihren Versuchen ist der Katalysator: Natriummethylat ist das Mittel der Wahl. Das Alkoholat, das Evonik schon lange in Lülldorf herstellt, wird heute vor allem zur Produktion von Biodiesel eingesetzt. Durch die effiziente PET-Methanolyse soll sich auch ein interessanter neuer Absatzmarkt für das Geschäftsgebiet eröffnen. →



Im Autoklav, einem gasdicht verschließbaren Behälter, erfolgt die PET-Methanolyse unter Druck und hohen Temperaturen. Dies beschleunigt den Reaktionsprozess.



## »Der Vorteil des DMT-Rezyklats: Wir müssen dem Kunden kein neues Molekül erklären.«

MICHAEL GRASS, LEITER ANWENDUNGSTECHNIK & PRODUKTENTWICKLUNG IM GESCHÄFTSBEREICH PERFORMANCE INTERMEDIATES

Seit 2014 wurden sämtliche Kombinationen von gängigen Kunststoffen und am Standort produzierten Alkoholen getestet, um Erkenntnisse für Recyclingmöglichkeiten zu gewinnen. Die PET-Methanolyse mit Natriummethylat setzte sich als eine der aussichtsreichsten Paarungen durch.

Was darüber hinaus für diese Reaktion spricht: Das dabei gewonnene DMT könnte Evonik selbst nutzen. „Durch dessen Einsatz könnten wir noch nachhaltigere Weichmacher produzieren“, sagt Michael Graß aus dem Geschäftsgebiet Performance Intermediates von Evonik. Graß' Bereich produziert heute bereits einen Weichmacher aus Dimethylterephthalat. „Eine Alternative aus DMT-Rezyklat hätte den Vorteil, dass sie dieselben Eigenschaften besitzt wie ein konventionell hergestell-

tes Produkt“, sagt Graß. „Wir müssen dem Kunden kein neues Molekül erklären.“ Und die Zulassungen in der EU-Chemikalienverordnung REACH können unverändert weitergenutzt werden.

Für den Erfolg des nachhaltigen Weichmachers muss ein wettbewerbsfähiger Preis sichergestellt sein, betont Graß. Schließlich konkurriert jeder recycelte Rohstoff mit dem Preis, der für neues Material auf Erdölbasis verlangt wird. Und ja, bläulich dürfte das DMT für so eine Anwendung natürlich auch nicht sein. Dafür soll nun Jutta Malter sorgen. „Technisch machbar ist das auf jeden Fall“, sagt die Chemikerin. Doch es gilt noch eine Fülle an Details zu prüfen: Benötigt man eine Aufreinigungsstufe oder zwei oder drei – oder je nach Druck und Temperatur vielleicht gar keine? Lässt sich



hochreines DMT auch aus anderen, womöglich günstigeren PET-Quellen herstellen? Wie stark wirken sich Verschmutzungen im jeweiligen Ausgangsmaterial auf das Reaktionsprodukt aus?

Wenn all dies geklärt ist, wird Thomas Richter weitere Fragen stellen. Zusammen mit anderen Experten aus dem Bereich Process Technology & Engineering arbeitet er an effizienten und skalierbaren Prozessen, um für Evonik die wirtschaftlichen Potenziale des chemischen Recyclings zu heben. Am Ende dieses Weges soll eine funktionsfähige Anlage in großem Maßstab stehen. „Der Haken bei den meisten Reaktionen ist, dass sie nicht eins zu eins aus dem Labormaßstab zu einer industriellen Produktion hochskaliert werden können“, sagt Richter.

#### AUF DEM WEG ZUR PLATTFORMTECHNOLOGIE

Bei der PET-Methanolyse forscht er wie die Chemikerin Malter am optimalen Set-up. „Einfach größere Rührkessel nehmen funktioniert nicht“, sagt Richter. Die Reaktion würde zu lange dauern, und der Prozess wäre im Verhältnis zum erzielbaren Ausstoß zu teuer. Den Druck zu erhöhen und damit die Reaktion zu beschleunigen ist ebenfalls problematisch. „Die damit verbundenen Folgekosten werden dann zu hoch“, sagt Richter. Der Weg zum besten Prozess führt für die Experten aus den verschiedenen Einheiten von Evonik über den Aufbau einer Pilotanlage.

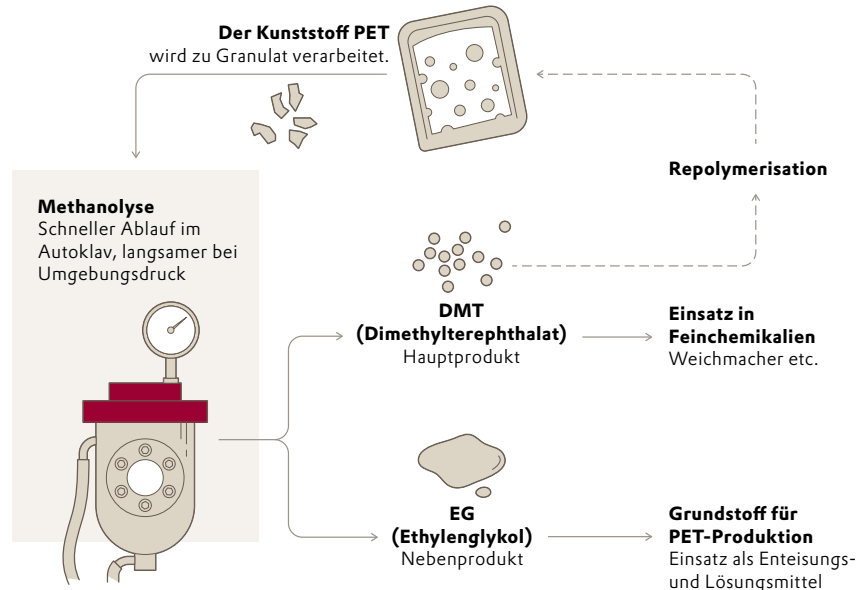
Auf dieser Basis könnte man dann später Kunden verschiedene Angebote machen: Brauchen sie für eine eigene Anlage das gesamte Prozess-Know-how oder nur den idealen Katalysator? Patrick Glöckner denkt aber schon über das PET-Recycling hinaus: „Wir nutzen das Wissen, das wir hier aufbauen, um eine Plattformtechnologie aufzubauen. Diese kann sowohl für das Recycling anderer Polymerklassen als auch für die Gewinnung anderer Monomere genutzt werden.“ Evonik wolle einen möglichst großen Beitrag dazu leisten, Wiederverwertungstechnologien schneller, effizienter und günstiger zu machen, sagt Glöckner. „Letztlich geht es darum, das Erdöl in der Erde zu lassen.“



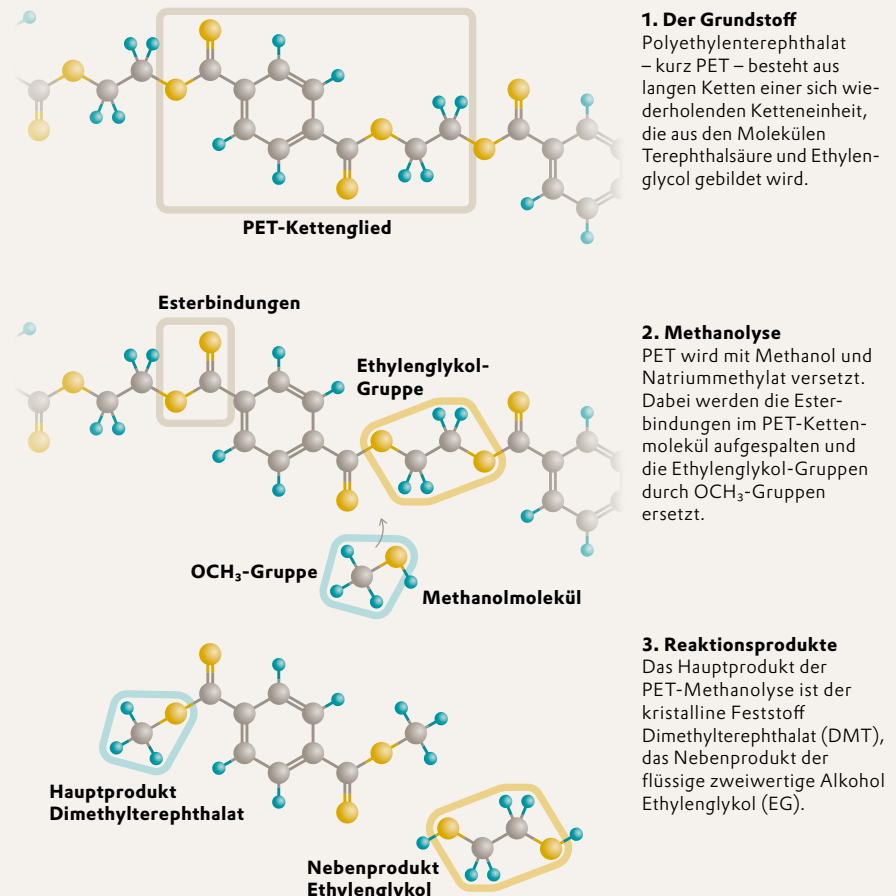
**Denis Dilba** ist Diplom-Ingenieur und Journalist. Vor allem schreibt er über Wissenschaft und Technik – je komplexer das Thema, desto lieber.

## Rohstoffliches Recycling

Der Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET) wird bisher mechanisch, also werkstofflich, recycelt. Dabei wird das gesammelte Material geschreddert, gereinigt, eingeschmolzen – und wieder zur Flasche geformt. Stark verunreinigtes oder farbiges PET lässt sich so aber nicht verarbeiten. Hier soll das chemische (rohstoffliche) Recycling zum Einsatz kommen.



### So funktioniert die PET-Methanolyse





**»Ich bin skeptisch,  
ob wir mit heutigen  
Kunststoffen zu  
einer echten  
Kreislaufwirtschaft  
kommen.«**

BERNHARD BAUSKE,  
KOORDINATOR MEERESMÜLL BEIM WWF

Wie sollte Material beschaffen sein, das sich optimal wiederverwerten lässt? Was ist der wahre Wert von Plastikabfällen? Und wo sind Verbote nötig? Ein Streitgespräch über Wege hin zu einer nachhaltigeren Kunststoffwirtschaft

MODERATION **TOM RADEMACHER & MATTHIAS RUCH** ILLUSTRATION **ORIANA FENWICK**





# »Kunststoff ist vielseitig und leistungsfähig – auch für die Ökologie.«

INGO SARTORIUS,  
GESCHÄFTSFÜHRER PLASTICS EUROPE DEUTSCHLAND

**Herr Sartorius, Ihr Verband feiert gerade „100 Jahre Kunststoff“. Schauen wir doch mal in die Zukunft: Braucht die Welt in 100 Jahren noch Plastik?**

**INGO SARTORIUS** Kunststoff ist aus dem Leben nicht mehr wegzudenken. Der Werkstoff ist vielseitig und leistungsfähig – übrigens auch für die Ökologie: Leichtbau im Automobil sorgt für weniger Emissionen und schont damit das Klima. Das gilt ebenso für die Isolierung am Bau. In der Medizin und der Verpackung sind Kunststoffe hocheffizient, bieten Sicherheit und Hygieneschutz.

**BERNHARD BAUSKE** Kunststoffe haben seit den Fünfzigerjahren einen beispiellosen Siegeszug angetreten. Die Menge an Kunststoff, die wir jedes Jahr produzieren, entspricht ungefähr dem Gewicht der gesamten Menschheit. Der Grund ist, da will ich Herrn Sartorius recht geben, dass das Material in der Tat vielseitig und leistungsfähig ist. Der entscheidende Nachteil ist bloß: Kunststoffe sind nicht biologisch abbaubar. Selbst in Deutschland, wo die Abfallwirtschaft einigermaßen funktioniert, landen jährlich fast 450.000 Tonnen Kunststoff in der Umwelt – davon drei Viertel in Form von Mikroplastik.

**Was bedeutet das?**

**BAUSKE** Wo Plastik in die Umwelt gelangt, reichert es sich an. So steigt die Belastung in der Natur stetig. Wir stoßen sogar in der Arktis und in der Tiefsee auf Kunststoffteilchen und alte Verpackungen. Da können Sie so viele Naturschutzgebiete einrichten, wie Sie wollen – Plastik findet immer einen Weg und schädigt die Ökosysteme mit den darin lebenden Tieren.

**SARTORIUS** Dass Kunststoffe als Abfälle in die Umwelt und in die Meere gelangen, ist nicht hinnehmbar. Da brauchen wir in der Tat Lösungen. Und unsere Industrie wirkt daran mit.

**BAUSKE** Der erste Schritt sollte doch wohl die Vermeidung sein! Und zwar da, wo große Mengen anfallen, die schnell zu Müll werden: bei den Einwegprodukten. Bei einer Einwegtüte spielt es keine Rolle, ob sie aus Kunststoff oder aus Papier besteht. Die Ökobilanz einer Papiertüte kann sogar schlechter ausfallen. Daher lautet eine unserer Forderungen: Einwegtüten müssen komplett vermieden werden. →



**Dr. Bernhard Bauske** ist Referent für Plastikmüll in den Ozeanen bei der Umweltorganisation WWF Deutschland. Er hat Biologie an der Universität Hamburg studiert und am dortigen Institut für Bodenkunde promoviert. Seit 28 Jahren arbeitet Bauske für den WWF. Zu seinen Schwerpunktthemen zählen Verpackungen und Recycling. Bauske betreut für den WWF unter anderem Entwicklungsprojekte im Bereich Wertstoffsammlung und -sortierung in mehreren Ländern Südostasiens.

**Theoretisch könnten wir Kunststoff doch immer wieder verwenden.**

**BAUSKE** Theoretisch ja. Aber ich bin skeptisch, ob wir mit Kunststoffen, wie wir sie heute herstellen und verwenden, jemals zu einer echten Kreislaufwirtschaft kommen.

**Warum?**

**BAUSKE** Kunststoff ist leistungsfähig, aber auch sehr komplex. Einige Kunststoffprodukte haben 40 bis 200 verschiedene Zusatzstoffe. Dieses Material zu recyceln ist aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften nicht einfach. Hier muss eine Harmonisierung her.

**Wenn Forscher neue Materialien entwickeln, um ganz spezielle Anforderungen zu lösen, arbeiten sie oft mit Kunststoffen – für Verpackungen ebenso wie für Knochenimplantate. Laufen wir Gefahr, diese Möglichkeiten künftig einschränken zu müssen?**

**SARTORIUS** Absolut! Kunststoffe werden ja nicht entwickelt und hergestellt, damit sie irgendwann mal Abfall werden, sondern wegen des Nutzens, den sie in

ihren jeweiligen Anwendungen bringen. Die Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung in Wiesbaden hat herausgefunden, dass in Deutschland allein durch Innovationen während der vergangenen 20 Jahre in der Industrie pro Jahr etwa eine Million Tonnen Verpackungswerkstoff eingespart wurden. Ein gutes Viertel des Materials wird also vermieden, wenn man so will, bevor das Produkt überhaupt auf den Markt kommt. Eine Schwierigkeit liegt aber in der Tat darin, dass diese optimierten Verpackungen komplexer sind. So gibt es etwa spezialisierte Mehrschichtverbunde, bei denen ein werkstoffliches Recycling schwierig wird.

**BAUSKE** Das ist ein wichtiger Zielkonflikt: Eine sehr dünne Verpackung erfordert weniger fossile Ressourcen. Weil sich die Schichten aber weder trennen noch sinnvoll zusammen verwerten lassen, landet die Verpackung am Ende in der Verbrennung. Setzt sich die Entwicklung wie bisher fort, gehen künftig 10 bis 13 Prozent des CO<sub>2</sub>-Budgets, das wir zur Erreichung des 1,5-Grad-Klimaziels nutzen dürfen, nur für Herstellung und Verbrennung von Kunststoffen drauf.

**Bringen uns neue Biokunststoffe einer Lösung näher?**

**BAUSKE** Leider nein. Schon die Produktion bio-basierter Rohstoffe für Plastik kann problematisch sein. Ich denke da an den Einsatz von Pestiziden, soziale Probleme in den Ländern, in denen die Pflanzen hierfür angebaut werden, und an die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Darüber hinaus sind biobasierte Kunststoffe nicht per se biologisch abbaubar. Am wichtigsten ist es, Kunststoffe möglichst lange im Umlauf zu halten.



# »Wir müssen dafür sorgen, dass Folien und andere Materialien werthaltig genug sind, damit sie eingesammelt werden.«

BERNHARD BAUSKE

## Und was ist mit biologisch abbaubaren Kunststoffen?

**BAUSKE** Selbst die bergen Probleme. In kaltem Salzwasser zersetzen sie sich beispielsweise längst nicht so schnell wie im warmen Komposthaufen. In industriellen Kompostwerken sind sie zudem nicht willkommen, weil die dortigen Rottezeiten viel zu kurz sind. Deutsche Kompostierer sortieren heute meist jeglichen Kunststoff aus, weil sie nicht erkennen können, ob er sich zersetzt oder nicht. Eine biologisch abbaubare Plastiktüte wird also herausgefischt und verbrannt. Zudem fühlen sich Verbraucher animiert, Verpackungen aus Biokunststoff einfach in die Landschaft zu werfen. Biologisch abbaubare Kunststoffe sollten nur da eingesetzt werden, wo sie schwer rückholbar sind, zum Beispiel in der Land- und Forstwirtschaft.

**SARTORIUS** Natürlich sollte der Verbraucher in keinem Fall zum „Littering“ verleitet werden. Allerdings können wir das Abfallsystem in Deutschland nicht mit dem anderer Länder vergleichen. Wir haben in Europa ganz unterschiedliche Vorgehensweisen. In Italien etwa ist der Umgang mit zertifizierten kompostierbaren Kunststoffen von der Herstellung über die Handhabung bis zur Kompostierungs- oder Vergärungsanlage etabliert. Wichtig ist, dass Sammel- und Sortiersysteme auf diese Materialien eingestellt werden und andere etablierte Verwertungswege nicht stören.

## Wie sieht er denn dann aus, der Weg zur Kreislaufwirtschaft?

**BAUSKE** Der erste Ansatz wäre – und dafür tritt der WWF auch ein – ein internationales Abkommen, das die Staaten dazu verpflichtet, keinen Plastikmüll mehr in die Meere gelangen zu lassen. Eigentlich eine relativ einfache, überschaubare Forderung. Doch das setzt voraus, dass Länder ihr Abfallmanagement in den Griff bekommen. Dazu benötigen sie Unterstützung und

Know-how-Transfer. Ein zweiter Punkt: Wir brauchen dringend eine erweiterte Produzentenverantwortung, für die auf nationaler Ebene ein gesetzlicher Rahmen geschaffen werden muss. Und drittens: In Südostasien haben das Beratungsunternehmen McKinsey und die Umweltschutzgruppe Ocean Conservancy vor ein paar Jahren ermittelt, dass etwa 80 Prozent des Kunststoffs in Verpackungsabfällen für Müllsammler nur einen geringen Wert haben. Er wird deshalb meist auf wilden Müllkippen entsorgt und gelangt von dort aus in die Umwelt. Wir müssen also dafür sorgen, dass Folien und andere Materialien werthaltig genug sind, damit sie eingesammelt werden und wieder zu gleichartigen Produkten verarbeitet werden können.

## Was können die Erzeuger tun, um dieses Ziel zu erreichen?

**SARTORIUS** Produktdesign ist einer der zentralen Schlüssel, um hier besser zu werden. Nehmen Sie etwa sogenannte Pouch-Beutel, die man als Nachfüllpack für Flüssigseife oder Hundefutter kennt. Die müssen im Supermarkt extrem hohe Anforderungen erfüllen. Da darf selbst bei einem Sturz aus großer Höhe nichts platzen, nichts auslaufen. Hier wären vernünftige Kompromisse möglich, um einfachere, umweltfreundlichere Lösungen zu finden. Statt zwei Jahre muss so eine Verpackung vielleicht auch nur ein halbes Jahr halten. Dann brauchte man nicht mehr neun Folien-schichten, sondern nur noch fünf. Entscheidend ist dabei, dass wir diese verschiedenen Schichten miteinander wertstoffkompatibel verbinden, sodass nach der Nutzung alles zusammen recycelt werden kann. →

# »Wichtig ist, neue Recyclinglösungen technologieoffen zu entwickeln.«

INGO SARTORIUS

## **Kriegen Sie das hin?**

**SARTORIUS** Mit unserem Know-how ist das durchaus machbar. Ganz wesentlich ist, dass Werkstoffkonstrukteure und Designer zusammenarbeiten. Daher beteiligen wir uns unter anderem am Runden Tisch Ökodesign, der bereits Leitlinien entwickelt hat. So ein Produkt muss dann aber auch bezahlt werden.

## **Wie kann chemisches Recycling dabei helfen, die Kompatibilitätsprobleme zu lösen?**

**SARTORIUS** Wir wollen die Materialeigenschaften des Kunststoffes möglichst erhalten. Deswegen sind mechanische Recyclingverfahren erst einmal vorzuziehen – egal ob ich den Kunststoff aufschmelze und granuliere oder ob ich in neuen Verfahren die langkettigen Polymere in Lösung bringe, Verunreinigungen herausfiltere und die Polymere dann wieder ausfalle. Die polymere Kette wird dabei kaum verändert. Davon unterscheiden sich chemische Verfahren, bei denen polymere Ketten aufgespalten werden, um dann aus kleinen Bausteinen neue Kunststoffe herzustellen.

## **Und das wäre keine Alternative?**

**SARTORIUS** O doch, da gibt es durchaus Potenzial. Die Forschung läuft, und die Kunststoffherzeuger arbeiten gemeinsam mit der Chemie, Nutzern und Recyclern in verschiedenen Projekten mit der Wissenschaft. Aktuell befassen wir uns vor allem mit Technologien wie Solvolyse, Depolymerisation und Pyrolyse.

**BAUSKE** Wir sehen diese Methode eher skeptisch. Chemisches Recycling wird immer wieder als die Lösung für unsere Müllprobleme vorgeschlagen, dabei ist das eigentlich nichts Neues. Prozesse wie die Pyrolyse sind sehr komplex. Man muss so eine Anlage

sehr genau steuern, vor allem den Input. Einfach Müll zusammensammeln und hineinkippen funktioniert nicht. Wenn ich also aufwendig sortieren muss, kann ich auch gleich mechanisch recyceln. Ich gebe aber gern zu: Das Versprechen, aus „sauberen“ Molekülen wieder neuen Werkstoff herzustellen, klingt sehr attraktiv.

## **Aber?**

**BAUSKE** Aber die Fragen bleiben: Ist das auch in großem Maßstab technisch realisierbar? Sind die Kosten wettbewerbsfähig? Was passiert mit den Abfällen, die bei der Produktion anfallen? Und letztlich müssen wir auch die Energiebilanz und andere Umweltparameter kritisch betrachten.

**SARTORIUS** Natürlich sind noch viele Fragen offen. Aber wir dürfen nicht alle chemischen Recyclingverfahren in einen Topf werfen. Je nach Verfahren können die Ökobilanzen sehr unterschiedlich ausfallen. Wir nehmen uns insbesondere Restabfallfraktionen vor, die in Haushalten, im Handel oder im Gewerbe anfallen. Dann finden wir Wege, um Werthaltiges herauszuholen, das bislang nur energetisch verwertet werden kann. Dafür laufen intensive Forschungsarbeiten, zum Beispiel beim Karlsruher Institut für Technologie, an denen wir uns in einem großen Konsortium beteiligen.

**BAUSKE** Forschung ist gut, ich sperre mich nicht dagegen. Die wird uns aber in den nächsten zehn Jahren nicht retten. Wir werden nicht umhinkommen, Abfall zu vermeiden, Werkstoffe zu ersetzen und mit allen Mitteln das mechanische Recycling auszuweiten – vor allem, indem wir die Sammel- und Sortiersysteme verbessern.

## **Wenn Sie die Gesetze selbst schreiben könnten, wie ließen sich die Probleme lösen?**

**BAUSKE** In Ländern, in denen die Abfallwirtschaft schwach entwickelt ist, brauchen wir einen gesetzlichen Rahmen für eine erweiterte Produzenten-



**Dr. Ingo Sartorius** ist seit 2008 Geschäftsführer und Leiter des Geschäftsbereichs Mensch und Umwelt bei Plastics Europe Deutschland, dem Verband der Kunststoffhersteller in Deutschland. Sartorius hat in Braunschweig Chemie studiert und dort promoviert. Der deutsche Fachverband gehört zur paneuropäischen Organisation Plastics Europe. Deren rund 100 Mitgliedsunternehmen produzieren mehr als 90 Prozent aller Kunststoffe in den EU-Mitgliedstaaten sowie in Norwegen, der Schweiz und der Türkei.



verantwortung – so wie wir sie in Deutschland kennen: Wer Produkte und Verpackungen in Verkehr bringt, ist auch dafür verantwortlich, diese am Lebensende wieder einzusammeln, zu sortieren und zu recyceln. Der WWF unterstützt schwerpunktmäßig in Südostasien Regierungen dabei, das nötige Know-how und die erforderlichen Systeme aufzubauen. Eine Lizenzabgabe für Verpackungen könnte die derzeit unterfinanzierte Abfallwirtschaft unterstützen und zudem die nötige Lenkungswirkung erzielen. Ebenso sollten wir uns anschauen, ob es sinnvoll ist, Kunststoffe aus Erdöl zu besteuern – so wie andere Mineralölprodukte auch.

#### **Zusätzliche Steuern? Warum das?**

**BAUSKE** Frische Materialien stehen in direkter Konkurrenz zu Recyclingmaterialien, die dadurch attraktiver würden. Das ist gerade in Ländern mit einem großen informellen Sektor im Abfallmanagement wichtig. In Indonesien und Vietnam etwa leben viele Menschen davon, werthaltiges Plastikmaterial zu sammeln und dann zum Recycling zu geben. Wenn sich das nicht mehr lohnt, hören sie auf damit. Dann bricht mit dem Markt plötzlich auch die Abfallsammlung zusammen – und wir finden dieses Material eben in der Umwelt wieder.

#### **Wir sollten also ölbasierte Produkte besteuern, um frisches Plastik zu verteuern?**

**SARTORIUS** Das halte ich für problematisch. Wir würden damit auch Kunststoffe teurer machen, die etwa als Leichtbauteil das Klima schützen oder sich wunderbar recyceln lassen. Wir kennen die Diskussion um Papiertüten und Plastiktüten – bei der die Plastiktüte in Sachen Kreislaufwirtschaft viel besser dasteht. Ebenso wie die PET-Flasche, die aus einem einzigen Kunststoff besteht und für die längst ein etablierter Werkstoffkreislauf existiert. Wichtig ist, die bestehende Kreislaufwirtschaft weiter auszubauen und neue Recyclinglösungen technologieoffen zu entwickeln. Dabei sollten auch weitere Möglichkeiten in anderen Anwendungsbereichen zusätzlich zum Verpackungssektor ausgebaut werden. So kommen wir eher zu einer echten Kreislaufwirtschaft. Gerade Kunststoff hat das Zeug dazu. —



Lauren Kjeldsen verantwortet das Programm Circular Plastics bei Evonik.

# Die Zeit ist reif für die Kreislauf- wirtschaft

Von Lauren Kjeldsen

Um die Klimaziele zu erreichen, müssen wir den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft schaffen. Branchenübergreifende Kooperationen, Innovationen und kluge politische Entscheidungen sind ebenso gefragt wie ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen Wirtschaft, Umwelt und Lebensqualität. Nur so kann nachhaltiger Erfolg sichergestellt werden.

**V**or einigen Jahren besuchte ich ein Branchenevent in Europa. Dort wurde ein Foto von einer Mülldeponie gezeigt, auf der sich Unmengen von Matratzen türmten. Dieses erschreckende Bild hat mich nicht mehr losgelassen. Als Chemikerin weiß ich, dass solche Materialien in dieser Form sehr lange in der Umwelt überdauern – es sei denn, sie werden verbrannt. Zwar wird bei der Müllverbrennung thermische Energie freigesetzt, doch ich bin überzeugt, dass wir auch innovative Lösungen für die Verwertung solcher Materialien finden können. Umso mehr freue ich mich, heute als Verantwortliche unseres globalen Programms Circular Plastics Teil dieser Initiative zu sein. Im Rahmen dieses Programms bündelt Evonik Projekte und Kompetenzen aus allen Unternehmensbereichen, um Zirkularität voranzutreiben.

Die Kreislaufwirtschaft bietet enormes Potenzial. Es wäre doch großartig, wenn wir aus Abfällen wertvolle Rohstoffe wiedergewinnen könnten! Kohlenstoffbasierte Materialien haben wir im Überfluss – unter anderem in Form von CO<sub>2</sub> und den meisten Kunststoffen. In unseren Mülltonnen zu Hause schlummern wertvolle Ressourcen. Dazu kommen entsorgte Altgeräte und ausgediente Autos. Wenn wir Materialien am Ende ihrer Nutzungsdauer für andere Zwecke wiederverwerten, können wir den Übergang von der linearen Wirtschaft (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) zur zirkulären Wirtschaft schaffen. In einer uneingeschränkt funktionierenden Kreislaufwirtschaft könnte weitgehend auf fossile Brennstoffe verzichtet werden, und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß ließe sich reduzieren.

Der Übergang zu einer kreislauforientierten Wirtschaft ist Teil des European Green Deal. Damit möchte die EU bis 2050 klimaneutral werden und Wirtschaftswachstum durch mehr Nachhaltigkeit erzielen. Auch China wird sein kürzlich verkündetes Ziel einer Klimaneutralität bis 2060 nur mit einer zirkulären Kohlenstoffwirtschaft erreichen können. Die „Circular Economy“ wird eine wichtige Rolle bei der Umsetzung des Pariser Klimaabkommens spielen – der internationalen Klimaschutzvereinbarung, der sich die USA jetzt wieder anschließen.



## Wir brauchen sowohl mechanisches als auch chemisches Recycling, um unsere ambitionierten politischen Ziele zu erreichen. Grundsätzlich ist keine dieser Technologien der anderen überlegen. Vielmehr ergänzen sie sich.

Damit Zirkularität wirklich funktioniert, müssen vier Faktoren zusammentreffen. Der erste Faktor ist Innovation. Unternehmen wie Evonik leisten hier einen entscheidenden Beitrag. Wir verfügen über die notwendigen Mittel und das Know-how, um neue Recyclingtechnologien für Kunststoffe zu entwickeln. Zweitens brauchen wir einheitliche Wettbewerbsbedingungen. Es darf keine Bevorzugung bestimmter Technologien oder Materialien geben. Wir stehen vor derart massiven und vielfältigen Herausforderungen, dass wir alle verfügbaren Recyclingverfahren benötigen. Hier sind kluge politische Strategien gefragt.

Der dritte Faktor ist eine branchenübergreifende Kooperation. Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft kann nicht von einzelnen Unternehmen oder einer einzelnen Branche geleistet werden. Alle Beteiligten entlang der gesamten Wertschöpfungskette müssen einbezogen werden.

### INNOVATIONEN SENKEN KOSTEN

Viertens geht es um das richtige Gleichgewicht zwischen Mensch, Umwelt und Wirtschaftlichkeit. Wir dürfen uns nicht nur auf einen dieser Aspekte konzentrieren und die anderen ignorieren. Sicher wäre ein Kreislaufsystem wünschenswert, das Lebensqualität ermöglicht und die Umwelt schont, ohne dass wir auf etwas verzichten müssen. Wir müssen abwägen, welche der verfügbaren Lösungen am besten funktioniert.

Wirtschaftlichkeit spielt eine wichtige Rolle. Viele Recyclingverfahren stecken noch in den Kinderschuhen. Sie müssen effizienter werden, um für die Industrie attraktiv zu sein. Solange der Einsatz „neuer“ Kohlenwasserstoffe in Form von Öl, Kohle oder Erdgas billiger ist, werden sich die Recyclingverfahren nicht durchsetzen. Eine kluge politische Strategie muss hier dazu beitragen, diese finanzielle Hürde zu überwinden. Durch Innovationen im Chemiesektor sin-

ken die Kosten. Tatsächlich verlangen unsere Kunden diese Innovationen – und wir liefern sie. Ausgehend von den derzeitigen Ideen aus dem Circular-Plastics-Programm rechnet Evonik ab 2030 mit einem Umsatzplus von mehr als 350 Millionen € pro Jahr. Und das ist erst der Anfang.

Zirkularität muss zugleich jedoch auch umweltfreundlich sein. Indem wir Kunststoffen zu einem zweiten Leben verhelfen, werden Verbrennungsvorgänge vermieden und fossile Brennstoffreserven geschont. Wir müssen ausgeklügelte Recyclingmethoden entwickeln, die nicht mehr Energie verbrauchen als die Produktion neuer Materialien. Daher benötigen wir wissenschaftliche Lebenszyklusanalysen, um die Umweltwirkungen eines Produkts während seiner gesamten Lebensdauer zu messen – von der Rohstoffgewinnung über die Fertigung bis zur Auslieferung an den Kunden.

Neben Wirtschaft und Umwelt dürfen wir die gesellschaftlichen Aspekte nicht vergessen. Circular-Economy-Lösungen müssen die Lebensqualität verbessern, und zwar weltweit und auf lange Sicht. Die Kreislaufwirtschaft kann dazu beitragen, Innovationen zu fördern, Arbeitsplätze zu schaffen und das Wirtschaftswachstum anzukurbeln.

Doch wie steht es um die Prozesse, mit denen Kunststoff zirkulär verwertbar werden soll? Aus den verfügbaren Technologien stechen zwei vielversprechende Methoden hervor, die wir weiterentwickeln müssen: mechanisches Recycling und chemisches Recycling. Beim Stichwort Recycling denken die meisten an alte Plastikflaschen, aus denen neue Flaschen entstehen. Dies ist ein Beispiel für mechanisches Recycling. Die Verarbeitung von Plastikabfällen umfasst zahlreiche Schritte wie das Zermahlen, Waschen, Trennen und Trocknen.

Beim chemischen Recycling wird die Polymerkette in chemische Grundbausteine sowie Monomere zerlegt, die anschließend

wieder als Rohstoffe in chemischen Prozessen zum Einsatz kommen. Mit dieser Re-Methode kann die Qualität der Rezyklate verbessert werden, sodass recycelte Kunststoffe für verschiedene Anwendungen genutzt werden können. In der Spezialchemie könnten wir viele unserer Produkte aus Rohstoffen fertigen, die wir aus Abfällen gewinnen, anstatt auf fossile Rohstoffe zurückzugreifen.

### EIN POLITISCHER RAHMEN

Wir brauchen sowohl mechanisches als auch chemisches Recycling, um unsere ambitionierten politischen Ziele zu erreichen. Grundsätzlich ist keine dieser Technologien der anderen überlegen. Vielmehr ergänzen sie sich, weil sie für unterschiedliche Abfallströme geeignet sind. Durch chemisches Recycling könnten bisher nicht recycelte Mischabfallströme der Wiederverwertung zugeführt werden.

Wir brauchen daher politische Rahmenbedingungen für chemisches Recycling. Der Begriff sollte gesetzlich verankert werden. Außerdem muss das chemische Recycling auf die Recyclingquoten der europäischen Länder angerechnet werden können. Wie andere Verwertungsmethoden könnte auch chemisches Recycling einen wertvollen Beitrag zur Schonung fossiler Ressourcen leisten.

Am besten ist es natürlich, Abfall gar nicht erst entstehen zu lassen. Häufig könnten Produkte deutlich länger verwendet werden – unabhängig davon, aus welchem Material sie bestehen. Unsere Spezialchemie trägt dazu bei, dass die Produkte unserer Kunden robuster und beständiger gegen Kratzer, Hitze und Korrosion werden. Auf diese Weise lässt sich ihre Nutzungsdauer verlängern.

Wenn aber Produkte tatsächlich das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben, können wir direkt an der Wertschöpfungskette der Kunststoffindustrie ansetzen und den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft ermöglichen. Wenn es um Elemente wie Kohlenstoff und die Entwicklung von Recyclinglösungen geht, ist die chemische Industrie ein Schlüsselsektor. Schließlich ist Chemie unsere Kernkompetenz. —

# LICHTBLICK FÜR DAS KLIMA

TEXT KARL HÜBNER





Hochofen von Thyssenkrupp in Duisburg bei Nacht: Bei der Stahlproduktion entstehen Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasserstoff, die künftig für die nachhaltige Produktion von Chemikalien genutzt werden könnten.

## Emissionen der Stahlindustrie nutzen, um daraus Kunststoff herzustellen: An diesem Fernziel arbeitet Evonik gemeinsam mit Partnern im Verbundprojekt Carbon2Chem. Der Weg dorthin führt über höhere Alkohole wie Ethanol – und Katalysatoren, die in Hanau entwickelt werden.

**D**er Himmel über der Ruhr glüht nicht mehr wie früher in der Nacht. Doch wenn im Stahlwerk in Duisburg der Hochofen angestochen wird, ist das immer noch weithin sichtbar. Thyssenkrupp produziert hier rund zehn Millionen Tonnen Stahl im Jahr. Während dem Eisenerz in der sogenannten Verhüttung mithilfe von Kokskohle der Sauerstoff entrissen wird, entsteht Hüttengas. Und zwar in riesigen Mengen.

Dieses Gasgemisch enthält neben 40 Prozent Stickstoff im Wesentlichen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>). Schon heute wird es als wichtiger Rohstoff für die Energiegewinnung eingesetzt. Durch die Verbrennung des Hüttengases erzeugt Thyssenkrupp Wärme und deckt seinen kompletten Strombedarf in Duisburg. Doch am Ende werden im dortigen Werk immer noch jährlich 20 Millionen Tonnen Kohlendioxid frei. Das entspricht rund 2,5 Prozent der deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Weltweit entfallen etwa acht Prozent des Kohlendioxidausstoßes auf die Stahlproduktion.

Das Forschungsprojekt Carbon2Chem, an dem Evonik beteiligt ist, sucht daher nach Wegen, den Kohlenstoff und andere Bestandteile des Hüttengases für die Herstellung von Chemikalien zu nutzen. Das Ziel ist

klar: Je besser das Gas verwertet wird, desto weniger CO<sub>2</sub> gelangt in die Atmosphäre und desto weniger fossile Rohstoffe werden benötigt.

Das Projekt steht auf einer breiten Basis. Neben Thyssenkrupp und Evonik sind fast 20 Partner aus der Chemie-, Energie- und Stahlwirtschaft sowie aus der akademischen Forschung an Carbon2Chem beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt mit insgesamt rund 140 Millionen €. Nach der ersten Phase, die 2016 gestartet war und mit vielversprechenden Ergebnissen abgeschlossen wurde, läuft nun die zweite Phase an (siehe Kasten auf Seite 40).

### BEWÄHRTE TECHNIK, NEUE ANFORDERUNGEN

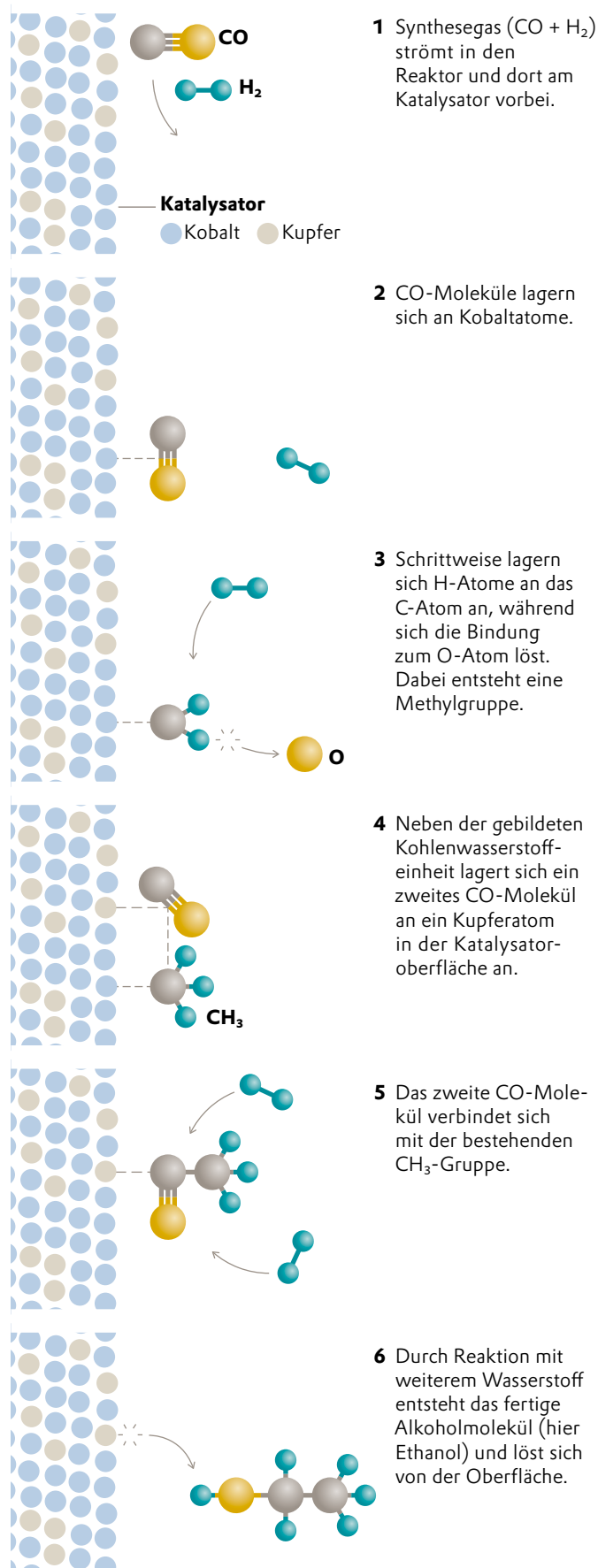
Die chemischen Grundlagen für die Umwandlung von Hüttengas in eine Vielzahl von Chemikalien sind seit mehr als 100 Jahren bekannt. Gasmischungen aus CO, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> nutzt die chemische Industrie als sogenanntes Synthesegas unter anderem für die Herstellung von Methanol bereits seit Langem in großtechnischem Maßstab. Eine der wesentlichen Herausforderungen für die Forscher im Carbon2Chem-Projekt ist die Aufbereitung des Hüttengases und die Anpassung der erprobten Prozesse an das Synthesegas aus der Stahlproduktion.

Für eine neue Technologie leistet Evonik in einem Teilprojekt Pionierarbeit. Das Spezialchemieunternehmen entwickelt Katalysatoren, die CO und H<sub>2</sub> als wesentliche Bestandteile des Hüttengases in sogenannte höhere Alkohole überführen sollen, die auf diesem Wege bisher nicht zugänglich waren (siehe Infokasten auf Seite 39). Im weiteren Verlauf möchte das Projektteam im besten Fall auch CO<sub>2</sub> direkt verwerten können.

Dr. Bernd Jaeger, der bei Evonik die Katalysatorforschung leitet, bezeichnet die anstehende Transformation der Chemieindustrie als den Treiber für diese Forschung. „Der Ersatz fossiler Rohstoffquellen durch nachhaltige und CO<sub>2</sub>-neutrale Einsatzstoffe wird die bestehenden Stoffströme in unserer Industrie verändern“, sagt Jaeger. Höhere Alkohole könnten eine Schlüsselstellung in dieser Wertschöpfungskette einnehmen. „Noch fehlt es jedoch an einem wirtschaftlichen und selektiven chemischen Herstellverfahren“, so Jaeger. Hier greift die Idee der Evonik-Forschung, →

# Vom Synthesegas zum Ethanol

Schematische Darstellung der Reaktionsprozesse



maßgeschneiderte Katalysatoren zu entwerfen, die genau diesen fehlenden Schritt zu einer nachhaltigen Wertschöpfungskette direkt aus Hüttengasen und Kohlendioxid ermöglichen.

Katalysatoren senken den Energieaufwand für den Start chemischer Reaktionen, beschleunigen diese damit und machen sie effizienter. Manchmal ermöglichen sie eine Reaktion überhaupt erst. So auch hier. „Kohlenmonoxid- und Wasserstoffmoleküle kämen von sich aus gar nicht darauf, sich zu größeren Molekülen zusammenzutun“, sagt Dr. Dorit Wolf. „Der Katalysator gibt ihnen dazu die nötige Hilfestellung.“ Die Chemikerin leitet bei Evonik die Forschungsabteilung für Prozesskatalysatoren und koordiniert von Hanau aus die Forschungsk Kooperation zwischen Thyssenkrupp Industrial Solutions, Evonik und Forschungseinrichtungen für das „Höhere Alkohole“-Projekt.

Das Hanauer Team hat in den vergangenen Jahren schon etliche Katalysatorkandidaten hervorgebracht. Sie bestehen aus schwarzem Pulver und sehen recht unspektakulär aus. Umso mehr fällt der Behälter mit dem violetten Inhalt auf, der im Abzug des Labors steht. „Das ist ein Kobaltsalz, das wir als Rohstoff einsetzen“, erklärt Dr. Arne Reinsdorf, Leiter der Entwicklung von Mischmetallkatalysatoren, und lüftet damit einen Teil des Geheimnisses aller bisherigen Katalysatoransätze. „Es handelt sich stets um Kombinationen von Kobalt und Kupfer, jeweils eingebunden in eine Kohlenstoffmatrix.“

## EIN MIX AUS KUPFER UND KOBALT

Um aus einem Molekül wie  $\text{CO}$  höhere Alkohole zu machen, muss ein Katalysator eine Reihe ganz unterschiedlicher Reaktionsschritte ermöglichen (siehe Infografik links). Dafür benötigen die Wissenschaftler verschiedene aktive Zentren auf dessen Oberfläche. Ein homogenes Material aus nur einer Substanz würde das nicht leisten. Daher setzt das Team auf die Kombination aus Kobalt und Kupfer.

Die Wahl kommt nicht von ungefähr. Vielmehr greifen die Experten auf Wissen zurück, das man zuvor bei ähnlichen Prozessen gewonnen hat. Kobaltkatalysatoren haben sich bei der Überführung von Synthesegas in längererkettige Kohlenwasserstoffe bewährt, im sogenannten Fischer-Tropsch-Verfahren.

Kupfer wiederum ist eine erprobte Komponente für die Gewinnung von Methanol, dem einfachsten Alkohol. „Bei der Synthese höherer Alkohole versuchen wir, diese beiden schon etablierten Verfahren so miteinander zu vereinen, dass zunächst Kohlen-





Laborantin Mona Müller prüft am Evonik-Standort Hanau die Zwischenstufe einer Katalysatorsynthese (oben). Im Rheometer messen die Forscher die Fließfähigkeit ihrer Pulver.

wasserstoffketten gebildet werden, die am Ende dann noch die alkoholtypische OH-Gruppe erhalten“, sagt Reinsdorf.

Mit der Idee, eine Kobalt-Kupfer-Kombination zu nutzen, begann aber erst die Detailarbeit. Da waren zum Beispiel die Fragen nach dem optimalen Mengenverhältnis der beiden Elemente, nach optimalen chemischen Strukturen, in denen sie vorliegen sollten, etwa als Metall oder in oxidischer Form, getrennt in einzelne Partikel oder als Mischphase. Außerdem wusste man zwar, dass dem Katalysator eine Spur Mangan auf die Sprünge hilft, aber ob man dieses besser auf, neben oder zwischen den Kupfer-Kobalt-Partikeln positioniert, musste erst geklärt werden.

In zahlreichen Tests haben die Forscher bereits die optimalen Mengenverhältnisse ermittelt. Hierbei half das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Dort werden die Katalysatormuster aus Hanau in einem Parallelreaktorsystem aus Edelstahl auf die Probe gestellt. Bei genau definierten Temperatur- und Druckbedingungen leiten die Experten Synthesegas durch die Reaktoren, analysieren anschließend, welche Substanzen entstanden sind – und in welcher Menge.

Nur solche Katalysatoren, die sich beim Fraunhofer UMSICHT bewährt haben, sollen nun in der zweiten Projektphase bei Thyssenkrupp in Duisburg einer weiteren Teststufe unterzogen werden. In dem dort eigens für das Carbon2Chem-Projekt errichteten Technikum gibt es einen ähnlichen Versuchsaufbau mit drei wichtigen Unterschieden: Die Reaktoren sind größer, das zugeführte Synthesegas wird direkt aus dem Hüttengas des benachbarten Stahlwerks gewonnen, und die Testreihen sollen deutlich länger laufen, um die Lebensdauer der Katalysatoren zu untersuchen. →



## Höhere Alkohole

Als höhere Alkohole gelten Alkohole mit mehr als einem Kohlenstoffatom. Die einfachste Variante ist Ethanol, das wir aus alkoholischen Getränken kennen und das bei der alkoholischen Gärung entsteht. Ethanol spielt auch bei vielen chemischen Synthesen und als Kraftstoffzusatz (E5, E10) eine Rolle. Andere höhere Alkohole dienen unter anderem als Vorstufen für die Herstellung von Wirkstoffen für die Pharmazie oder den Pflanzenschutz, von Tensiden für Cremes, Salben oder Waschmittel oder auch von Lösungsmitteln und Weichmachern für Kunststoffe. Von einigen Alkoholen werden jährlich mehrere Millionen Tonnen hergestellt. Während man einige kurzkettige Alkohole bisher vor allem über die Fermentation von Biomasse gewinnt, ist die Synthese längerer Alkohole erdölbasiert. In beiden Fällen kann der Weg über Synthesegas (aus Abfällen) eine nachhaltige Alternative sein (siehe hierzu auch die Rubrik „Mensch & Vision“ auf Seite 9).



Während die Ausgangsstoffe und Synthesezwischenstufen noch recht bunt daherkommen, ist das fertige Katalysatormaterial immer schwarz.

Die Ergebnisse erster Testreihen mit gut 40 Katalysatorvarianten aus Hanau waren eindeutig: Es gelingt tatsächlich, höhere Alkohole aus Synthesegas herzustellen. Ein wichtiger Erfolg, doch bisher entstanden im Prozess zu viele unerwünschte Nebenprodukte: insbesondere Methan und kurzkettige Alkane. Die neueste Katalysatorgeneration schafft einen Anteil an höheren Alkoholen von über 50 Prozent. „Damit haben wir das Ziel der ersten Projektphase erreicht“, sagt Wolf. Ganz zufrieden ist sie aber immer noch nicht. „Wir brauchen eine höhere Selektivität und noch bessere Ausbeuten.“

#### EINBINDUNG VON KOHLENDIOXID

Deswegen arbeiten die Experten weiter an der Optimierung des Katalysators. Dass ein Mengenverhältnis von Kobalt zu Kupfer von vier zu eins gut funktioniert, wissen sie aus den ersten Versuchsreihen. Jetzt untersuchen sie gezielt Prozessbedingungen wie Druck, Temperatur oder Verweilzeit im Reaktor. Zudem könnte die Größe der Metallkristallite und damit einhergehend das Auftreten von Kristallflächen, -ecken und -kanten im Pulver von Bedeutung sein. Um dies mithilfe von Experimenten besser zu verstehen, arbeiten die Evonik-Forscher mit Experten der Ruhr-Universität Bochum und der RWTH Aachen zusammen.

Parallel dazu beschäftigen sich Dorit Wolf und Arne Reinsdorf mit einem weiteren Thema: auch Kohlendioxid für die Reaktion zu nutzen. Das war bei den bisherigen Tests nicht im verwendeten Synthesegas enthalten, ist aber ein Hauptbestandteil von Hüttengas. „Wir versuchen derzeit, unseren Katalysator so zu designen, dass CO<sub>2</sub> in die Synthese miteingebaut werden kann“, sagt Wolf und gibt zu bedenken: „Das ist alles andere als trivial.“ Sollte dies gelingen, ließen sich künftig auch andere CO<sub>2</sub>-haltige Gasgemische als Rohstoff für das Verfahren nutzen.

Zunächst aber gilt es jetzt, die Selektivität des Katalysators zu erhöhen. Dabei wollen die Forscher nicht nur die Ausbeute an höheren Alkoholen steigern, sondern auch die Länge der entstehenden Molekülketten besser steuern können. Bisher reichte die Verteilung der Kettenlängen in den Produktmischungen von Ethanol (mit zwei C-Atomen) bis Hexanol (mit sechs C-Atomen). Für spätere Anwender der Technologie wäre es jedoch sehr nützlich, die Länge der Ketten gezielt kontrollieren zu können. Denn Alkohole sind, je nach Kettenlänge, für ganz unterschiedliche Marktteilnehmer interessant. Während die längeren Alkohole vor allem

## Carbon2Chem

Kohlenstoff nicht mehr zu emittieren, sondern im Kreislauf zu führen – das ist das wesentliche Ziel des Projekts Carbon2Chem. Dazu sollen Technologien entwickelt werden, die die stoffliche Verwertung des bei der Stahlproduktion entstehenden Hüttengases ermöglichen. Fast 20 Partner aus der Chemie-, Energie- und Stahlwirtschaft, darunter auch Evonik, sowie Forschungseinrichtungen widmen sich in diversen Teilprojekten speziellen Fragestellungen. Unter anderem geht es darum, aus Hüttengaskomponenten wichtige Chemikalien wie Ammoniak, Methanol oder höhere Alkohole herzustellen. Ein weiteres Teilprojekt arbeitet an geeigneten Verfahren für die Auftrennung der im Hüttengas enthaltenen Substanzen.

Die erste Projektphase von 2016 bis 2020 hatte ein Budget von etwa 120 Millionen €, von denen mehr als 60 Millionen durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) getragen wurden. Der Finanzrahmen für die zweite Phase von 2020 bis 2025 ist noch größer und wird vom BMBF mit bis zu 75 Millionen € unterstützt.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter den Kennzeichen 03EK3041A (2016–2020) und 03EW0008A (2020–2023) gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung





von Herstellern in der Spezialchemie nachgefragt werden, ließen sich kürzere Alkohole wie Ethanol oder Propanol in der Produktion von synthetischen Kraftstoffen oder Monomeren für Polyolefine einsetzen. Bernd Jaeger sieht hier ein großes Potenzial für eine Katalysatorplattform: „Im besten Fall bieten wir künftig eine ganze Palette maßgeschneiderter Versionen an, aus der sich jeder Anwender die für seine Anforderungen passende auswählen kann.“

#### ANDERE ROHSTOFFQUELLEN SIND MÖGLICH

Jaeger denkt noch einen Schritt weiter: „Am Ende muss es natürlich das Ziel sein, Stoffkreisläufe zu schließen“, sagt er. Und genau dazu könnte das im Höhere-Alkohole-Projekt entwickelte Verfahren eines Tages beitragen. „Wir entwickeln eine Technologie für die Verwertung von Synthesegas, und das kann auch aus anderen Quellen stammen.“ Sobald das Verfahren steht, kämen auch Biogasanlagen als Rohstoffquelle in Betracht.

In Zukunft könnten auch Kunststoffabfälle die gewünschte Gasmischung liefern, indem man sie bei hoher Temperatur und hohem Druck mit kleinen Mengen Sauerstoff zerlegt. Einige Unternehmen arbeiten derzeit daran, diese sogenannte Gasifizierung in den industriellen Maßstab zu überführen. „Das wäre etwa für mechanisch nicht rezyklierbare Abfallströme interessant“, sagt Jaeger und meint dabei insbesondere verunreinigte oder gemischte Abfälle, die die Kunststoffe Polyethylen oder Polypropylen enthalten. „Gerade diese beiden Polymere werden in großen Mengen produziert, aber bisher kaum chemisch recycelt“, so Jaeger.

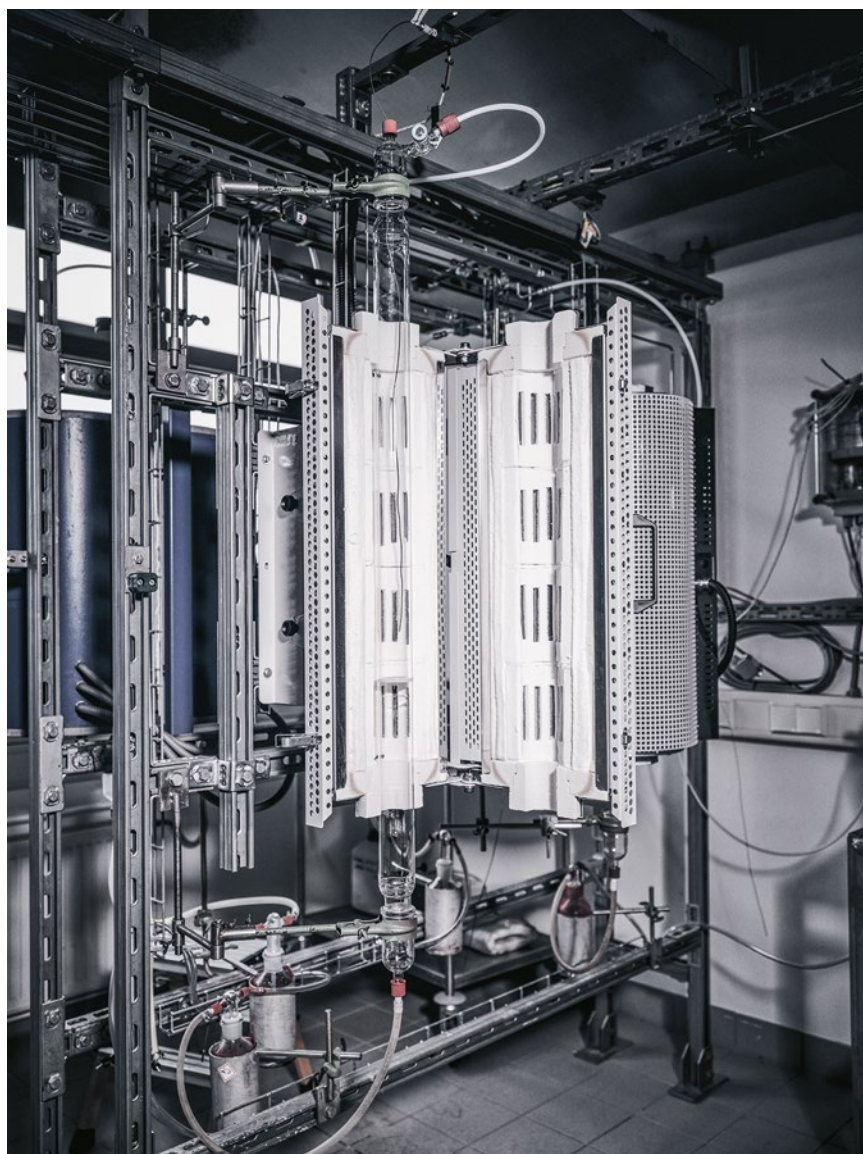
Beide Polymertypen lassen sich prinzipiell auch aus zwei höheren Alkoholen gewinnen: aus Ethanol beziehungsweise Propanol. Die Alkohole werden dabei zunächst in Ethylen und Propylen überführt, die bisher aus Erdöl gewonnen werden. Aus den Einzelbausteinen Ethylen und Propylen könnten dann wieder neue Polymere entstehen und damit neue Kunststoffprodukte. Ein Stoffkreislauf wäre geschlossen. —



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

## »Wir brauchen eine höhere Selektivität und noch bessere Ausbeuten.«

DORIT WOLF, LEITERIN DER FORSCHUNGSABTEILUNG FÜR PROZESSKATALYSATOREN BEI EVONIK



Nach der Synthese muss das Katalysatormaterial getrocknet werden. Dies geschieht unter Schutzgas in sogenannten Drehrohröfen.



# NATUR- TALENT







## »Wir machen aus einem scheinbar wertlosen ein wertvolles Material.«

FRANK WEINELT, LEITER DER PRODUKT- UND PROZESSENTWICKLUNG IM GESCHÄFTSGEBIET HIGH PERFORMANCE POLYMERS BEI EVONIK

Lange Zeit galt Lignin als Abfallstoff aus der Zelluloseherstellung. Der Holzbestandteil wurde hauptsächlich zur Energiegewinnung verbrannt. Dabei stecken in dem natürlichen Rohstoff verborgene Potenziale – als Baustein für Hochleistungskunststoffe.

TEXT NICOLAS GARZ

**F**ür die meisten Menschen sieht diese bräunlich-zähe Flüssigkeit, die regelmäßig in großen Mengen in Zellstofffabriken anfällt, wie Abfall aus. Jemand wie Dr. Frank Weinelt sieht darin jedoch einen chancenreichen Kandidaten für die Entwicklung von Hochleistungskunststoffen. Der Chemiker hat sich diesen Blick antrainiert: Als Leiter der Produkt- und Prozessentwicklung im Geschäftsgebiet High Performance Polymers bei Evonik ist Weinelt ständig auf der Suche nach Rohstoffen, aus denen sich Bausteine für Kunststoffe gewinnen lassen. Ihm geht es darum, natürliche Alternativen zum Erdöl aufzuspüren, seit Jahrzehnten die Grundlage für petrochemische Produkte.

Eines von Weinelts Erfolg versprechendsten Naturtalenten ist diese braune Brühe: Lignin, ein Bestandteil von Holz. Das natürliche Polymer ist ein Abfallstoff, der bei der Produktion von Zellulose entsteht, etwa für Schreib- oder Toilettenpapier. Weit mehr als 50 Millionen Tonnen Lignin fallen in der Papierindustrie weltweit pro Jahr an. „Lignin ist ein erneuerbarer Rohstoff und zudem günstig“, schwärmt Weinelt. „Die Natur liefert dieses Material frei Haus und in rauen Mengen.“

Da es sich nur sehr langsam biologisch abbaut, wurde Lignin bislang hauptsächlich getrocknet und zur Energiegewinnung verbrannt. Für die Polymerspezialisten von Evonik steckt darin jedoch viel mehr Poten-

zial: „Lignin ist ein nachhaltiger Rohstoff, der sich gut zur Erzeugung interessanter Monomere eignet“, sagt Weinelt. „Etwa von substituierter Adipinsäure, einem möglichen Bestandteil von Hochleistungskunststoffen, der uns bislang nicht zur Verfügung stand und sich aus petrochemischen Rohstoffen aller Voraussicht nach nicht so leicht gewinnen lässt.“

### NEUE QUELLE FÜR HIGHTECHMATERIAL

Die Anfänge seiner Suche reichen ins Jahr 2017 zurück: Damals traf sich Weinelt regelmäßig mit Siegfried Waldvogel, Professor an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz und Experte für Elektrochemie. Die Gespräche kreisten zunächst um die Renaissance der Elektrolyse, die wegen stark gesunkener Kosten für erneuerbare Energien vermehrt zum Einsatz kommt – auch zur Produktion von Basischemikalien. Während der Treffen im Chemiepark Marl entwickelten die beiden Forscher nach und nach eine Idee: das Biopolymer Lignin mittels Elektrolyse in Monomere umzuwandeln, die anschließend zu Hochleistungspolymeren weiterverarbeitet werden können. „So machen wir aus einem scheinbar wertlosen Material ein wertvolles“, erklärt Weinelt.

Die Elektrolyse eignet sich dafür in mehrfacher Hinsicht: „Zum einen stammt der Strom komplett aus regenerativen Energiequellen, die mittlerweile gut verfügbar sind“, erklärt Waldvogel. „Zum anderen bleibt, anders als bei klassischen organischen Verfahren, bei der Elektrolyse kein Reagenzabfall als Nebenprodukt übrig.“ →

Erneuerbarer Rohstoff:  
Das natürliche Polymer Lignin ist ein Bestandteil von Holz und fällt bei der Produktion von Zellulose in großem Maßstab an.

## Ein Projekt, 16 Partner

Im Forschungsprogramm „Liberate“ (Lignin Biorefinery Approach using Electrochemical Flow) beschäftigen sich insgesamt 16 Partner mit elektrochemischen Anwendungen des Ausgangsstoffs Lignin. Neben Evonik sind die beiden Chemierhersteller Perstorp und Oxiris an dem Konsortium beteiligt, außerdem weitere sieben kleine und mittlere Unternehmen, vier internationale Forschungseinrichtungen (unter anderem die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung) sowie zwei Universitäten. Das Projekt wird mit einer Summe von insgesamt rund zehn Millionen € unterstützt.

Das Projekt wurde mit Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ der Europäischen Union gefördert im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 820735.



# Liberate

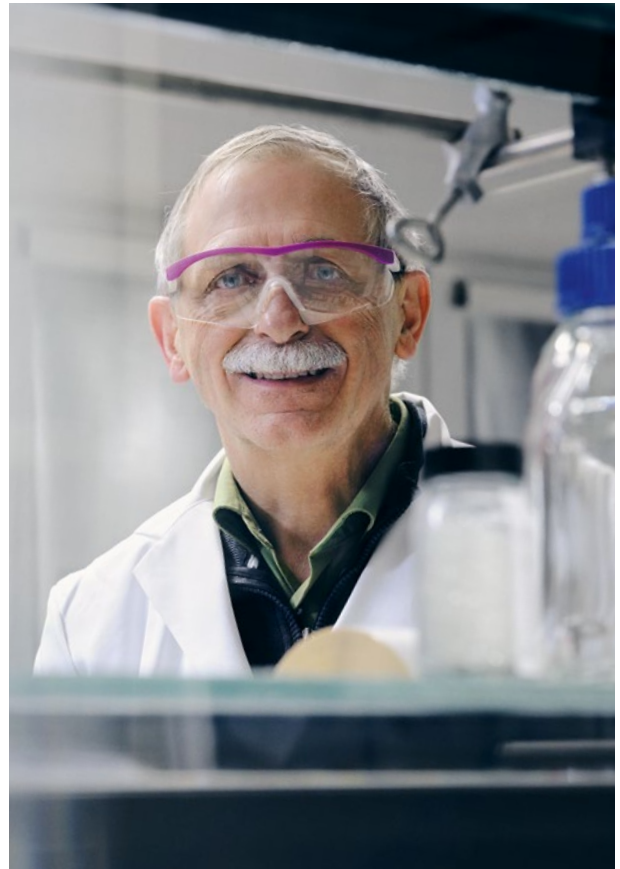
Mit ihrer Idee bewarben sich die Forscher für das EU-Förderprogramm „Horizon 2020“ – und erhielten Anfang 2018 den Zuschlag. Seitdem sind Konzern und Lehrstuhl Teil des europaweiten „Liberate“-Konsortiums (mehr dazu im Infokasten). „Liberate besteht aus mehreren Teilprojekten“, erklärt Chefkoordinator Angel Manuel Valdivielso vom Technologiezentrum Leitat mit Sitz in Barcelona. „Ihnen ist allen gemein, dass sie elektrochemische Verfahren zur Umwandlung von Lignin in verschiedene Basischemikalien nutzen.“

Während Evonik und die Forscher in Mainz Monomere aus Lignin gewinnen, arbeiten andere Partner an der Umwandlung von Kraft-Lignin in den Aromastoff Vanillin. Ein weiterer Teil des Konsortiums treibt die Umsetzung des Biopolymers in oligomere Phenol-derivate voran (siehe Schaubild).

Die Zeit läuft. Ende 2021 soll eine elektrochemische Pilotanlage im norwegischen Trondheim in Betrieb gehen, in der die Elektrolyse von Lignin im industriellen Kontext durchgeführt werden kann. „Mit dieser Pilotanlage erhalten wir die Möglichkeit, Chemikalien auf Lignin-Basis elektrochemisch so effizient herzustellen, dass sie perspektivisch mit konventionellen Produkten konkurrieren können“, sagt Valdivielso. „Weltweit stellen immer mehr Unternehmen ihre Produktion auf biobasierte Materialien um – der Bedarf an nachweislich nachhaltigen Chemikalien ist dementsprechend groß und wird weiterwachsen.“

### UNTER STROM GESETZT

Wie das Verfahren im Kleinen bereits funktioniert, kann man in den Laborräumen der Universität Mainz begut-



Evonik-Forscher Franz-Erich Baumann verwendet Adipinsäure auf Lignin-Basis für die Entwicklung von Polyamiden.

achten. Hier arbeitet Siegfried Waldvogel Tag für Tag mit gelöstem Lignin, das ihm von Zellstoffherstellern zugesendet wird. Dessen Elektrolyse vollzieht sich in mehreren Schritten: „Zunächst lösen wir die benötigten Bausteine aus dem Polymer heraus“, sagt Waldvogel. Dafür setzen seine Forscherkollegen das in Natronlauge gelöste Lignin in einem Druckbehälter aus Edelstahl unter Strom.

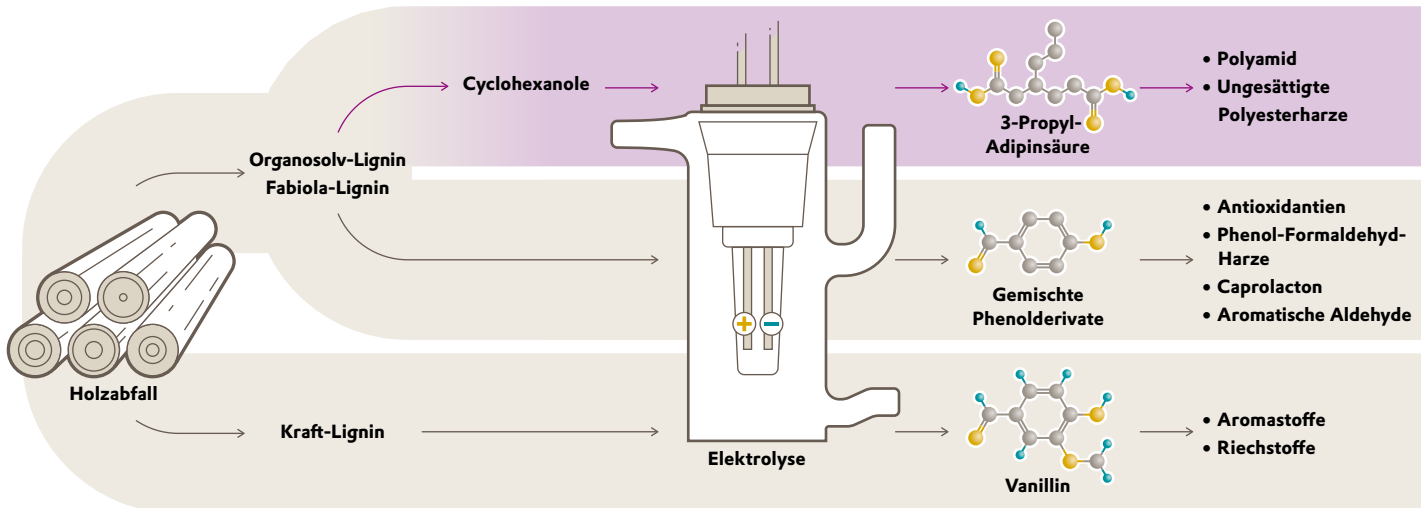
Aus diesem ersten Schritt, der Depolymerisation, entstehen Phenole, die anschließend mithilfe eines Katalysators mit Wasserstoff reagieren. War diese Hydrierung erfolgreich, erhalten die Forscher wachsartige Cyclohexanole, die im finalen Schritt in einer großen Glaszelle oxidiert werden. „Nach Abschluss der Oxidation bekommen wir biobasierte Dicarbonsäuren, beispielsweise substituierte Adipinsäure, die zur Weiterverarbeitung in Copolymere genutzt werden können“, sagt Waldvogel.

Im Mainzer Labor geht es um die Grundlagenforschung, die produzierten Mengen sind dementsprechend gering. Künftig soll die Elektrolyse von Lignin in großem Maßstab stattfinden: „Während die Schritte bis zu den Cyclohexanolen extern durchgeführt werden, wollen wir die Oxidation zu den Adipinsäurederivaten bei Evonik vornehmen, sobald es wirtschaftlich sinnvoll ist“, erklärt Polymerspezialist Weinelt. „Die Ko-



## Von Vanillin bis Kunststoff

Europaweit arbeiten die Liberate-Partner an verschiedenen Teilprojekten: Neben der Transformation von Lignin zu Hochleistungskunststoffen wie dem bei Evonik produzierten Polyamid (obere Route) werden Verfahren erprobt, bei denen das Biopolymer in gemischte Phenolderivate (Mitte) oder in den Aromastoff Vanillin (unten) umgewandelt wird.



operation mit der Universität Mainz ist die beste Basis, um unser elektrochemisches Know-how in diese Richtung zu vertiefen.“

### VOM MONOMER ZUM COPOLYMER

Aktuell fokussieren sich die Forscher darauf, Verfahren und Ausbeute zu optimieren. Es geht um Menge und Qualität: Je reiner die aus Mainz gelieferten Produkte, desto mehr können die Evonik-Polymerspezialisten in Marl damit anfangen. Etwa Dr. Franz-Erich Baumann, der dort seit mehr als drei Jahrzehnten die Entwicklung von Basispolymeren vorantreibt. Baumanns Labor steht voller Messgeräte und Apparaturen, mit denen er die frisch eingetroffenen Dicarbonsäuren zunächst untersucht: Eignen sie sich überhaupt für eine Weiterverarbeitung zu einem Copolymer? Ist das der Fall, beginnt die Prüfung, mit welchen potenziellen Partnern – weitere Monomere und Diamine – sie sich kombinieren lassen. „Diese Kombination verleiht dem Polyamid am Ende seine charakteristischen Merkmale“, sagt Baumann. „Die Adipinsäure auf Lignin-Basis ist ein wichtiger Baustein, mit dem wir diese Eigenschaften beeinflussen können.“ Ein Baustein, dessen Anteil je nach Kombination bis zu 62 Prozent der gesamten Stoffmenge ausmacht.

Erweist sich eine Verbindung als aussichtsreich, beginnt die Polykondensation: Die Ausgangsstoffe werden in einen Reaktor in Form eines Stahlzylinders gefüllt, wo sie unter starker Hitze und hohem Druck miteinander reagieren. Nach einiger Zeit öffnet Baumann dann den erkalteten Zylinder und holt mit einer Zange

vorsichtig ein schmales Röhrchen hervor, in dem sich eine erstarrte weißliche Schmelze befindet: ein neues Polyamid. „Jedes Mal, wenn uns das gelingt, wird unser Baukasten ein Stück größer.“

Die Verwendungsmöglichkeiten sind vielfältig. So könnten schon in naher Zukunft Lifestyleprodukte wie Sonnenbrillen aus Polyamiden gefertigt werden, die auch auf Lignin-basierten Monomeren beruhen. Das Gleiche gilt für Komponenten, die heute aus Metall und Stahl gefertigt werden, beispielsweise in der Automobil- oder Bauindustrie. Doch so weit sind die Forscher noch nicht.

„Für eine Produktion im industriellen Maßstab müssen wir effizienter werden und das vielfältige Know-how klug bündeln“, sagt Frank Weinelt, der dazu jetzt verstärkt mit den Ingenieuren der Verfahrenstechnik zusammenarbeitet. Darüber hinaus halten die Polymerspezialisten die Augen offen auf der Suche nach weiteren biogenen Rohstoffen, auch aus unkonventionellen Quellen. Schließlich hat die Erfahrung gezeigt, dass selbst in manch trüber Brühe Chancen auf ein wahres Naturtalent stecken. —



**Nicolas Garz** ist Redakteur bei der Hamburger Kommunikationsagentur Bissinger+. Er schreibt regelmäßig über Themen aus den Bereichen Forschung, digitale Technologien und Nachhaltigkeit.





# Auf zu neuen Horizonten

---

Nicht von ungefähr wird Österreich in der Nationalhymne als „Land der Berge“ besungen: Mehr als 60 Prozent der Staatsfläche sind alpines Gebirge. Daneben besticht das Geburtsland Mozarts durch eine reiche Kulturlandschaft und Unternehmen, die die Republik mit Innovationen in die Zukunft führen. Auch Evonik ist mit vier Standorten vertreten.

TEXT ANNA SCHRIEVER & NICOLAS GARZ



Vom Gipfel des Schobersteins eröffnet sich ein herrlicher Blick auf den oberösterreichischen Attersee. Am Nordufer liegen die Gemeinden Schörfling und Lenzing, wo seit fast 100 Jahren Textil- und Kunststofffasern produziert werden. Evonik knüpft nachhaltig an diese Tradition an: Im Schörflinger Werk werden Polyimide zu Fasern und Membranen verarbeitet. Die hocheffizienten Filtrations- und Separationstechnologien reinigen Rauchgase auf oder veredeln zum Beispiel Biogas zu hochreinem Biomethan.





■ Mit maximaler Sorgfalt fertigt Rupert Hofer in seiner Werkstatt in Graz hochwertige Geigen. Der Geigenbau hat in Österreich eine lange Tradition, die Streichinstrumente sind für ihre Qualität bekannt. Damit die Violine einen optimalen Klang hervorbringt, sind neben handwerklichem Geschick und gutem Holz auch leistungsfähige Saiten nötig, die zumeist aus Nylonfasern bestehen. Im Vergleich zu Saiten aus herkömmlichen Fasern ermöglichen solche aus dem Evonik-Hochleistungspolymer Vestakeep eine neue audiophile Dimension. Der Ton klingt breiter aufgestellt, voluminöser und damit angenehm warm und dennoch klar und präzise.









Im Norden die Nockberge, im Süden die Gailtaler Alpen: Weissenstein ist von einem beeindruckenden Panorama umgeben – und mittendrin steht das Evonik-Werk, in dem Wasserstoffperoxid und Peressigsäure produziert werden. Nach dem Ort wurde das „Weissensteiner Verfahren“ benannt, das erstmals die großtechnische Produktion von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) ermöglichte. Heute wendet man das deutlich effizientere Anthrachinon-Verfahren an. Pro Jahr werden in Weissenstein mehrere Zehntausend Tonnen  $H_2O_2$  und Peressigsäure produziert, die beispielsweise in Bleich- oder Desinfektionsmitteln Verwendung finden.







Österreich ist ein Land der kulinarischen Genüsse. Zu den Highlights gehört neben dem Wiener Schnitzel unter anderem die Sachertorte, die 1832 von Franz Sacher kreiert wurde. Heute wird sie weltweit gebacken, „original“ darf sich aber nur die Variante aus dem Hotel Sacher in Wien nennen. Im Wesentlichen besteht die Torte aus Eiern, Butter, Zucker, Mehl, Aprikosenmarmelade (in Österreich: Marillenmarmelade) und natürlich Schokolade. Die typische knackige Schokoladenglasur enthält Speiseöle und -fette, die mithilfe der Katalysatoren von Evonik hergestellt wurden. Sie sorgen dafür, dass die Glasur gut am Kuchen haftet und im Mund den perfekten Schmelz entfaltet.



Die Großglockner Hochalpenstraße ist Österreichs höchstgelegene befestigte Straße: In rund 2.500 Meter Höhe verbindet sie die Bundesländer Salzburg und Kärnten. Zum Schutz vor Lawinen wurden Teile der 1935 eröffneten Passstraße mit sogenannten Lawinengalerien überbaut. Werden die Straßen im Winter enteist, greifen die Chloride im Tausalz den Stahlbeton der Galeriesäulen an. Dem können Korrosionsschutzmittel wie Protectosil vorbeugen. Die darin enthaltenen Silane sorgen dafür, dass die wichtigen Bauwerke auch unter frostigen Bedingungen keinen Schaden nehmen.





**KURZE WEGE, OPTIMALE  
ZUSAMMENARBEIT**

Evonik ist an vier Standorten in der Alpenrepublik vertreten: in Lenzing, Schörfling, Weißenstein und in der Hauptstadt Wien. Die Transportwege zwischen den Standorten sind teils sehr kurz: So wird in Lenzing Polyimid produziert, das wenige Kilometer entfernt im Evonik-Werk Schörfling als Basis für innovative Hochleistungsmembranen dient.



**Evonik-Standorte**

- 1 Wien
- 2 Weißenstein
- 3 Schörfling
- 4 Lenzing

An

**4**

Standorten arbeiten

**327**

Mitarbeiter.







Ein Berg an Problemen oder eine wertvolle Rohstoffquelle? Reifenhalde in Reykjavik (Island)

# DIE REIFEN-PRÜFUNG

Mehr als die Hälfte aller Autoreifen werden weltweit deponiert oder verbrannt. Dabei ließe sich das alte Gummi viel besser im Straßenbau verwerten. Dank spezieller Zusätze wird der Asphalt damit umweltfreundlicher und haltbarer. Ein Life Cycle Assessment belegt die Vorteile mit Daten.

TEXT CHRISTOPH BAUER

**E**r ermöglicht einen sicheren Weg zur Arbeit, den schnellen Transport von Waren: Asphalt. Bevor er zum Einsatz kommt, wird er jedoch erst einmal gequält. In einer Kältekammer der Prüfgesellschaft PTM in Dortmund simulieren Ingenieure im Auftrag von Evonik den Winterbetrieb auf einer Straße. Ein quadratmetergroßes Probestück Asphalt wird dort tagelang weit in den Frostbereich heruntergekühlt – doch es hält der Dauerbelastung stand, Risse sind nicht erkennbar. Frank Lindner ist mit dem Ergebnis zufrieden: „Unser Additiv Vestenamer macht diese Mischung auch unter harten Bedingungen industriell nutzbar“, so der Straßenbauexperte von Evonik.

Der Asphalt im Labor ist etwas Besonderes: Er wurde mit Gummimehl aus Reifen hergestellt, die das Ende

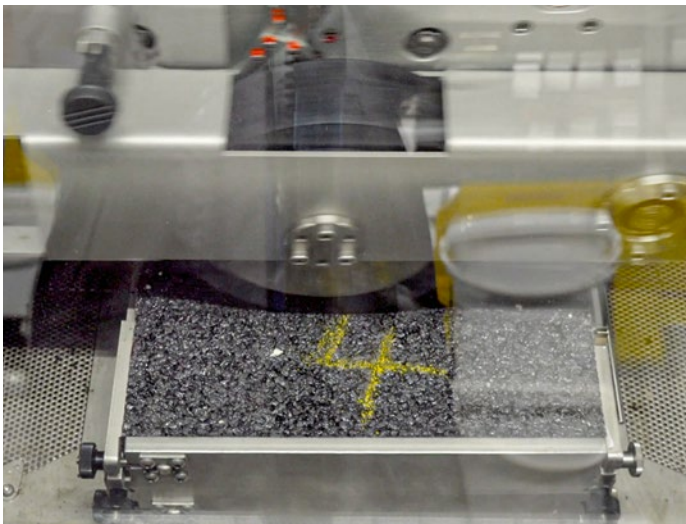
## 25

**MILLIONEN**  
Tonnen Altreifen  
werden weltweit  
jährlich entsorgt.

ihrer Lebenszeit erreicht hatten – und dem von Evonik hergestellten Additiv Vestenamer. „Die Zusätze gewährleisten einen steifen, aber dennoch flexiblen Asphaltbelag und einen optimalen Verdichtungsgrad“, erklärt Lindner. Was der Fachmann seit Einführung des Produkts vor einigen Jahren an vielen Straßendecken in der Praxis beobachten konnte, ist dank der Laborergebnisse nun auch mit Daten belegbar. Diese fließen ein in eine umfassende Ökobilanz des Additivs, von den Experten Life Cycle Assessment, kurz LCA, genannt. Es geht darum, die Auswirkungen eines Produkts auf die Umwelt in einer bestimmten Anwendung über seine gesamte Lebensdauer hinweg zu bewerten – von seiner Herstellung über den Einsatz bis zur Entsorgung. →



Vestenamer macht im Straßenbelag nur 0,5 Promille des Volumens aus, sorgt aber dafür, dass er widerstandsfähiger wird. Dies wird in im Dortmunder PTM-Labor getestet.



„Die Gesellschaft im Allgemeinen und Kunden im Speziellen erwarten immer mehr Transparenz“, sagt Bernd Schlüter, Experte im Life-Cycle-Management-Team bei Evonik. „Life Cycle Assessments helfen dabei, Produkte besser vergleichbar zu machen.“ Um aussagekräftige Daten zu bekommen, strapazieren die Techniker den mit Vestenamer versetzten Asphalt unter extremen Bedingungen. Gegenüber der Kühlkammer simuliert im PTM-Labor eine andere Anlage Hochsommer. Unter dem verglasten Deckel ist es 60 Grad Celsius heiß. Unermüdlich fährt eine Walze mit hohem Druck auf einem Stück Asphalt hin und her. Bei hohen Temperaturen verursacht die Dauerbelastung durch Lastwagen die gefürchteten Spurrillen – eine Gefahr für Autofahrer, wenn sich etwa bei Regen das Wasser darin sammelt. Auch hier zeigen die Daten: Bei der Asphaltmischung mit Gummimehl und Vestenamer hält sich der Verschleiß in engen Grenzen.

# 50

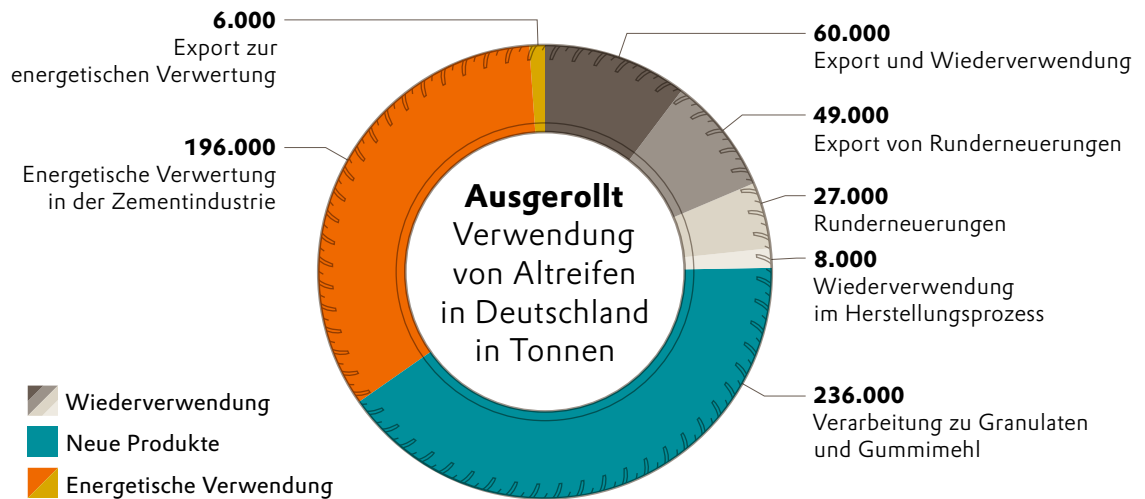
**PROZENT**  
des Straßenbelags  
lassen sich dank  
Vestenamer  
wiederverwenden.

## DATEN ALS ARGUMENTATIONSHILFE

Der Aufwand für die Tests ist gewaltig. Und das für ein Produkt, das in der fertigen Straße gerade einmal 0,5 Promille der Fahrbahndecke ausmacht? „Die Menge spielt eine untergeordnete Rolle“, sagt Straßenbau fachmann Lindner und ergänzt: „Entscheidend ist, was das Produkt bewirkt.“ Zahlen, Daten und Fakten helfen, die Vorteile des Produkts zu verdeutlichen.

Es bedarf einer Menge Überzeugungsarbeit. Der Einsatz von Gummimehl im Straßenbau ist aus vielen Gründen sinnvoll, doch in der Vergangenheit kam es dennoch nicht recht zum Zug. In Form von ausgedienten Reifen ist Gummi in großen Mengen günstig verfügbar. Als Mehl dem Asphalt beigemischt, verleiht es der Masse die gewünschte Klebrigkeit – allerdings klebt das Material auch an den Maschinen und Lkw der Bau firmen. Bei normalen Verarbeitungstemperaturen ist die Mischung sehr schwer zu verarbeiten. Höhere Temperaturen erfordern mehr Energieeinsatz und führen dazu, dass das Gummimehl beginnt, sich zu zersetzen. „Wenn Straßenbauer früher ‚Gummimehl‘ gehört haben, dann war für sie die Sache schon erledigt“, sagt Evonik-Experte Lindner.





Vestenamer räumt mit diesen Nachteilen auf, und zwar nachweislich. Hohe Temperaturen sind für die Verarbeitung nicht nötig – und auch mit niedrigen Temperaturen kommt der Vestenamer-Gummimehl-Mix gut zurecht. Andere Mischungen können unter Umständen zu schnell auskühlen und sind damit nicht mehr optimal zu verdichten. Dies kann im Extremfall dazu führen, dass ein gerade fertiggestellter Straßenbelag komplett erneuert werden muss.

#### IDEAL FÜR INDUSTRIEANWENDUNGEN

Das Evonik-Produkt ist ein teilkristalliner Kautschuk, ein sogenanntes trans-Polyoctenamer. Seine Eigenschaften liegen zwischen denen von flüssigen und festen Gummipolymeren. Bevor es vulkanisiert wird, hat es die Eigenschaften eines Thermoplasts. Es ist also hart, bei Wärme formbar und leicht zu verarbeiten – kurz: ideal für eine industrielle Anwendung. Vestenamer wird dem Gummimehl in kleinen Mengen beigemischt. Beim Erwärmen schmilzt es und legt sich wie eine Haut um die Gummipartikel. Das reduziert massiv die Neigung der Asphalt-Gummimehl-Mischung, sich an Metall zu heften. Das Material rutscht sauber aus der Thermomulde des Lkw und verklebt auch nicht die Mischanlage des Straßenfertigers, der den Asphalt zur Fahrbahndecke verarbeitet.

„Durch unseren Zusatz werden aus Reifen, die für den Straßenverkehr nicht mehr zulässig sind, Hochleistungsrohstoffe für den Straßenbau“, sagt Lindner. Die Zahlen aus Dortmund belegen: „Wenn wir die Reifen als Rohstoffe dort einsetzen, verlängern wir die Lebensdauer ihrer Rohstoffe um das Achtfache.“ Dieser

## Zweites Leben

Im weltweiten Vergleich gilt Deutschland, wie die Europäische Union insgesamt, als Vorreiter bei der Weiterverwertung abgenutzter Reifen. Doch in vielen anderen Regionen der Welt – etwa China, Russland, den arabischen Staaten, Afrika oder Australien – werden Reifen oftmals deponiert.

Effekt macht sich positiv in der Ökobilanz bemerkbar und ist zugleich Lösung für ein Entsorgungsproblem. Denn oft endet das Leben alter Reifen bisher in Zementwerken, wo sie als Brennmaterial „thermisch verwertet“ werden. In einigen Ländern der Welt gibt es sogar noch Reifendeponien – eine im wahren Wortsinn brandgefährliche Rohstoffverschwendung.

**90.000**

**TONNEN  
CO<sub>2</sub> wurden  
weltweit beim Bau  
von Straßen  
dank Vestenamer  
eingespart.**

#### PRAXISTEST IN PADERBORN

In die Gesamtbilanz fließen zahlreiche Faktoren ein, erklärt Life-Cycle-Experte Schlüter: „Wir beziehen auch Daten über die mögliche Ersparnis von Ressourcen ein, etwa durch die längere Nutzungsdauer des Materials.“ Auf der Detmolder Straße im ostwestfälischen Paderborn zeigt Frank Lindner, was dies in der Praxis bedeutet. Die Straße mit vielen Geschäften und Restaurants links und rechts, mehreren Buslinien und einer Menge Verkehr wurde 2012 mit Asphalt gebaut, dem Gummimehl und Vestenamer als Bindemittel beigemischt waren. Das Besondere an dieser Straße: 50 Prozent des neuen Straßenbelags stammen aus der Wiederverwendung des alten. →



Straßenbaufirmen mögen den Asphaltmix mit Vestenamer, weil er gut zu verarbeiten ist und die Maschinen trotz des Gummianteils nicht verschmutzen.

## »Unser Produkt macht aus Abfallstoffen einen wertvollen Rohstoff.«

BERND SCHLÜTER, EXPERTE IM LIFE-CYCLE-MANAGEMENT-TEAM BEI EVONIK

Seitdem kommt Lindner regelmäßig in Paderborn vorbei und schaut sich die Fahrbahndecke an: „Die ist wie neu“, sagt er zufrieden. Straßenbauunternehmen versuchen, die Wiederverwendungsquote zu steigern. Aktuell können bis zu 15 Prozent des Altmaterials wieder in die neue Deckschicht der Straße eingebaut werden. Mit der von Evonik entwickelten Methode lässt sich dieser Wert auf 50 Prozent steigern. Taugt das Material nach mehreren Durchgängen nicht mehr für den Einsatz in der Fahrbahnoberfläche, kann es noch zu großen Teilen in der darunterliegenden Tragschicht verwendet werden.

Dies wäre für die Unternehmen ebenso gut wie für die Kommunen, die die Straßen in Auftrag geben. Mit herkömmlichen Verfahren wären bei der Sanierung der

# 0,7

**TONNEN**  
Kohlendioxid spart jede Tonne recycelter Reifen im Vergleich zur Verbrennung ein.

Detmolder Straße 705 Tonnen frisches Gestein und 45 Tonnen Bitumen notwendig gewesen. Tatsächlich wurden nur 352 Tonnen Gestein und 23 Tonnen frischer Bitumen erforderlich – gerade einmal die Hälfte. Möglich machten das sieben Tonnen Gummimehl und gerade einmal 400 Kilogramm Vestenamer. Das reduziert den logistischen Aufwand gewaltig: Bei 20 Tonnen Zuladung und angenommenen 100 Kilometer Entfernung des Steinbruchs zur Mischanlage wurden in Detmold in Summe 750 Liter Diesel und damit rund 2 Tonnen Kohlendioxid bei der Anlieferung der Gesteine eingespart. Vom sinkenden Lärmpegel und weniger verstopften Straßen ganz zu schweigen. In Detmold ging es nur um einen Kilometer Straße, aber Deutschland allein besitzt ein sekundäres Straßennetz von mehr als 170.000 Kilometer Länge.

Noch wesentlicher für die CO<sub>2</sub>-Ersparnis: Jede Tonne Reifen, die nicht verbrannt, sondern wieder in den Stoffkreislauf zurückgebracht wird, entlastet die Umwelt um 0,7 Tonnen Kohlendioxid. Macht beim Paderborner Beispiel 4,9 Tonnen. Und die dortige Detmolder Straße ist nur eines von zig weltweit realisierten Projekten, die mit Vestenamer effizienter und nachhaltiger umgesetzt wurden. Addiert man die Länge der erneuerten Fahrbahnen, reicht die Strecke vom Werkstor in Marl, wo Vestenamer produziert wird, bis zur Elfenbeinküste. So wurden bereits 90.000 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Zum Vergleich: Ein Wald mit 90.000 Buchen müsste 80 Jahre wachsen, um diese Menge Kohlen-



## Aus Alt mach Neu

Ein Reifen erreicht laut Definition das Ende der Lebenszeit, wenn seine Lauffläche abgenutzt ist. Er ist dann zwar für eine sichere Fortbewegung unbrauchbar, das Material, aus dem er besteht, ist aber noch völlig intakt. Die Idee, es weiterzuverwenden, wird schon lange praktiziert. Die einfachste Art ist die sogenannte thermische Verwertung. So werden Altreifen etwa in Zementwerken verbrannt, wofür jedoch oft sogar bezahlt werden muss. Aus Sicht eines Life Cycle Assessments stellen diese Fälle ein schlechtes Recycling dar: Ein eigentlich wertvoller Rohstoff wird für einen Zweck eingesetzt, für den es bessere Alternativen gäbe. Nachhaltiger ist die Methode, die Reifen zu schreddern und zu Gummimehl zu verarbeiten. Dies eignet sich etwa als Baumaterial oder für die Verarbeitung zu Gummimatten. Doch der Bedarf hierfür ist begrenzt und das Angebot riesig. Allein in Deutschland fallen Jahr für Jahr rund 600.000 Tonnen an.

dioxid zu speichern. Die Ersparnis könnte sogar um ein Vielfaches größer sein. Noch wird mehr als die Hälfte aller Reifen weltweit entweder deponiert oder verbrannt – Jahr für Jahr rund 13 Millionen Tonnen (siehe Infokasten oben).

### BELEGBARER NUTZEN

Insgesamt könnten durch den Einsatz von Vestenamer bei Straßenbelägen über den gesamten Lebenszyklus je nach Annahmen zwischen 10 und 60 Prozent der Kohlendioxidemissionen gegenüber konventionellen Straßenbelägen eingespart werden. Für Bernd Schlüter ist das ein starkes Argument, Vestenamer in größerem Umfang zu nutzen: „Wir haben hier ein Produkt, das gefahrlos eingesetzt werden kann, aus Abfallstoffen einen wertvollen Rohstoff macht, die Lebensdauer des Produkts verlängert, Naturmaterialien einspart und den Energieverbrauch senkt“, sagt der Life-Cycle-Experte. „Und das Ganze belegt durch nachprüfbare Daten.“




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



Die Beimischung von Gummimehl und Vestenamer erhöht die Lebensdauer von Fahrbahnoberflächen.





# OFFEN FÜR MONO

Das Unternehmen Nyguard produziert Reißverschlüsse, bei denen sämtliche Teile vom Anfangsteil bis zum Zipper aus Vestamid Terra bestehen – einem biobasierten Kunststoff von Evonik.



Die meisten Alltagsprodukte bestehen aus einem Materialmix. Das erhöht den praktischen Nutzen, erschwert aber das Recycling. Vor allem bei Kunststoffen könnte der Umstieg auf Monomaterialien die Wiederverwertung erleichtern – ein wichtiger Schritt hin zu einer Kreislaufwirtschaft.

TEXT **BJÖRN THEIS**

Jahr für Jahr landen rund 20.000 Tonnen gebrauchte Zahnbürsten auf der Müllhalde – und das allein in den USA. Das Problem: Die meisten Hersteller verwenden für ihr Produkt mehrere unterschiedliche Kunststoffe. Die Kombination sorgt dafür, dass die Zahnbürste leicht und günstig ist sowie das Zahnfleisch schont. Da sich die Materialien, wenn überhaupt, nur schwer sortenrein trennen lassen, können sie jedoch nicht recycelt werden.

Ob Drogerieartikel, Elektronik, Kleidung oder Verpackungen – bei unzähligen Herstellungsprozessen werden Materialien gemischt oder zusammengefügt, um Produkte praktisch, sicher, hygienisch oder knitterfrei zu machen. Und das führt zum gleichen Problem wie bei den Zahnbürsten: Nach Ende der Nutzungsdauer lassen sich die Gegenstände nicht sinnvoll recyceln.

#### ÖKOLOGISCH UND EFFIZIENT

„Take – Make – Use – Waste“ – so bezeichnen Experten solche linearen Produktsysteme. Der Klimawandel und steigende Umweltbelastungen machen jedoch deutlich, dass wir für eine nachhaltige Zukunft ein neues Paradigma benötigen: die „Make – Use – Recycle – Make“-Kreislaufwirtschaft. Ein zukunftsweisendes Prinzip für die Realisierung solcher effizienten Kreisläufe ist das Monomaterial-Designkonzept. Dabei wird das Produkt aus einem einzigen Werkstoff gefertigt, der sich problemlos aufbereiten und wieder in den Produktions- und Nutzungskreislauf einspeisen lässt.

Dass ein solcher Ansatz möglich ist, belegen zahlreiche Beispiele. 2019 präsentierte die Industriedesignerin Alexia von Salomon etwa eine Zahnbürste, bei der alle Bestandteile, von den Borsten bis zum Griff, aus dem gleichen Kunststoff gefertigt sind. Dadurch kann diese Bürste wieder und wieder recycelt werden. Auch die Verpackungsindustrie investiert in eine Zukunft mit Monomaterialien. Das Unternehmen Mondi Kalenobel etwa hat seit einem Jahr ein Monomaterial im Sortiment, das der Lebensmittelmulti Unilever für die Verpackung von Knorr-Tütensuppen in der Türkei verwendet.

Besonders weit ist die Bekleidungsindustrie. Mehrere Modemarken testen bereits einen Monomaterial-Ansatz. Adidas etwa präsentierte 2019 die Futurecraft Loop-Sneakers – Sportschuhe, die vom Senkel bis zur Sohle aus nur einem Kunststoff, einem thermoplastischen Polyurethan, gefertigt sind.

Eine Kreislaufwirtschaft für Reißverschlüsse ist das Ziel der Firma Nyguard. Ihre Ny2Life-Reißverschlüsse bestehen ebenfalls aus nur einem Material. Im Angebot sind derzeit gleich drei Monomaterial-Varianten – eine davon aus Vestamid Terra, einem biobasierten Kunststoff von Evonik.

#### SYNERGIEN MIT 3D-DRUCK

So einfach das Konzept klingt – der Weg zu einem vielfältigen und nachhaltigen Monomaterial-Sortiment ist noch weit. Die Beschränkung auf einen einzigen Werkstoff birgt jedoch ein enormes ökonomisches und ökologisches Potenzial, gerade in Kombination mit anderen Technologien wie etwa dem 3D-Druck. Diese Art der Fertigung erlaubt es, auf Kleber oder Schrauben zu verzichten. Damit könnten in Zukunft selbst komplexe Produkte aus Monomaterial hergestellt werden.

Um sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten auszuloten, erstellt das Foresight-Team der Creavis unterschiedliche Kunststoff-szenarien für das Jahr 2040. Zudem wurde im Dezember 2020 die Einheit Circularity of Plastics gegründet – eine Gruppe, die an transformativen Innovationen für die Realisierung von Kunststoffkreisläufen arbeitet. Auf diese Weise unterstützt die Creavis das globale Evonik-Programm Circular Plastics, das Kunststoffkreisläufe möglichst schnell Realität werden lassen soll. —



**Björn Theis** leitet die Abteilung Foresight der Evonik-Innovationseinheit Creavis. Seine ELEMENTS-Kolumne erscheint regelmäßig auf [elements.evonik.de](http://elements.evonik.de).



# »Blau ist besonders kompliziert«

PROTOKOLL ANNA SCHRIEVER

Seit mehr als 30 Jahren ist **Hideki Kubota** (50) Pyrotechniker in Japan. Der größte Feuerwerkskörper, den er bisher hergestellt hat, wog 60 Kilogramm, hatte einen Durchmesser von 60 Zentimetern und flog 500 Meter hoch.



**M**ein Feuerwerk soll schön bunt sein, vor allem blaues Feuerwerk ist jedoch kompliziert herzustellen. Dafür benötigen wir Kupfer, genauer gesagt Kupferoxid. Die Temperatur bei der Explosion der blauen Feuerwerkskörper darf 1.200 Grad nicht übersteigen, sonst funktioniert die chemische Reaktion nicht. Zugleich darf das Blau auch nicht zu dunkel werden. Es soll schließlich vor dem Nachthimmel gut zu sehen sein. Deshalb optimiere ich ständig die Zusammensetzung.

Für die unterschiedlichen Farben unserer Raketen brauchen wir zahlreiche chemische Elemente. Mit Strontium erzeugen wir zum Beispiel Rot, mit Barium Grün und mit Aluminium Weiß. Um Helligkeit und Brenndauer zu kontrollieren, sind weitere Zutaten nötig. Welche das genau sind, bleibt unser Betriebsgeheimnis. Jeder Hersteller produziert nach seiner eigenen Rezeptur.

Feuerwerk hat in meiner Familie Tradition: Seit 1909 stellt unsere Firma Pyrotechnik her. Mit 18 habe ich die Lizenz erworben, Raketen bauen zu dürfen – und seither ständig meine Kenntnisse erweitert. Um neue Licht- und Knalleffekte zu erschaffen, muss ich wissen, wie sich der Zustand chemischer Elemente verändern kann. Ich liebe die Chemie!

Während der Coronapandemie finden keine Feuerwerksshows statt. Unser Geschäft ist dadurch zum Erliegen gekommen. Wir arbeiten ständig weiter an neuen Effekten. Doch leider können wir sie nicht testen. Das ist problematisch, denn erst bei der Explosion zeigt sich, ob alles funktioniert wie erwartet. Vor großen Feuerwerksshows bin ich daher immer sehr aufgeregt. Zigtausend Menschen starren dann in den Himmel, staunen und sind ganz gerührt bei dem Anblick der bunten Formationen über ihren Köpfen.

Drei bis sechs Monate lang tüfteln wir an neuen Mischungen und stellen die Feuerwerkskörper her – und zwar per Hand. Nach einer halben Stunde ist alles vorbei. Für mich ist es immer ein unbeschreibliches Gefühl, wenn die Zuschauer applaudieren und jubeln, sobald die letzte Rakete explodiert ist. Diesen Moment genieße ich ganz besonders.



# 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.) |  
**CHEFIN VOM DIENST** Inga Borg, Deborah Lippmann | **TEXTCHEF** Christian Baulig, Jörg Wagner |  
**ONLINE-REDAKTION** Nicolas Garz, Anna Schriever |  
**BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Magnus Wiedenmann (Grafik) |  
**ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSKB+ | An der Alster 1 | 20099 Hamburg | **DRUCK** Neef+Stumme premium printing, Wittingen | **COPYRIGHT** © 2021 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](mailto:elements@evonik.com) | **BILDNACHWEISE**  
Cover: Christian Lohfink/Upfront | S.3 Kirsten Neumann, S.4–5 Robert Eikelpoth (2), Getty Images | S.6–7 Velox Ltd. | S.8–9 Getty Images, TU Bergakademie Freiberg/D. Müller, Anson MacKerach; Illustration: KNSKB+ | S.10–19 Robert Eikelpoth, S.15–21 Infografiken: Maximilian Nertinger, S.19 Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Stefan Eisenburger | S.22–27 Robert Eikelpoth; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Fail Better Media/Helen Fischer; Infografik: Maximilian Nertinger | S.28–33 Illustrationen: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlagen von privat und Plastics Europe | S.34–35 Harald Reusmann/Evonik | S.36–41 thyssenkrupp Steel Europe AG, Robert Eikelpoth (4), Stefan Wildhirt/Evonik; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von privat | S.40–43 Casey McCallister/stocksy.com, Robert Eikelpoth (2); Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Caren Detje | S.46–53 action press/image-Broker/Robert Haasmann, Matthias Kniepeiss/geigenbau.at, Karsten Bootmann/Evonik, Hotel Sacher, Shutterstock | S.54–59 Getty Images, Lina Nickelowski/Evonik (2), Frank Preuß/Evonik, Fotolia, Dieter Debo (2); Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann/Evonik | S.60–61 Christian Lohfink/Upfront; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann/Evonik | S.62 Kazuma Obara

[elements.evonik.de](https://elements.evonik.de)

# Probleme kann man niemals ...

... mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind, sagte einst Albert Einstein, der sich als Schöpfer der Relativitätstheorie mit dem Denken in neuen Kategorien auskannte. Seine Einsicht ist hochaktuell: Um Ressourcen zu schonen und zugleich immer mehr Menschen Wohlstand zu ermöglichen, benötigen wir neue Ansätze.

Zum Beispiel eine Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe, die auf Wiederverwertung statt Wegwerfen setzt. Moderne Verfahren helfen, aus vermeintlichem Abfall wertvolle Rohstoffe zu gewinnen. Dies schützt nicht nur die Umwelt, sondern ermöglicht die Produktion innovativer Hochleistungsmaterialien.

1/2021 **Kreislaufwirtschaft**