



Der Plastik-Kreislauf

Die EU will den Müll in den Meeren eindämmen und plant ein Verbot vieler Einwegprodukte aus Plastik sowie eine Recyclingquote für Plastikflaschen. Gerade hat Prof. Dr. Thomas Rieckmann ein neues Verfahren entwickelt, mit dem das Recycling von PET-Flaschen noch effizienter gestaltet werden kann. Altes PET könnte fast vollständig und damit ressourcenschonend zu neuem PET werden. Doch zwischen ökologisch sinnvoll und ökonomisch machbar klafft manchmal ein ernüchternder Abgrund.

Plastikfrei einkaufen ist nicht einfach. Selbst auf dem Wochenmarkt wird Obst und Gemüse in Plastiktüten verpackt – es sei denn, man hält gleich mehrere eigene Textilbeutel bereit. Mittlerweile gibt es in Köln ein paar schicke kleine Tante-Emma-Läden, die Lebensmittel unverpackt verkaufen. Eine schöne, wenn auch nicht günstige Idee, um unnötigen Verpackungsmüll zu vermeiden. Aber spätestens bei Flüssigkeiten wird es für die meisten Menschen zu unpraktisch, auf die anfallende Einmalverpackung

zu verzichten – zumal sich diese in Deutschland über das Mehrwegsystem in einem Wiederverwertungskreislauf befindet. Statt in Glas oder Dosen werden mittlerweile die meisten Flüssigkeiten in PET-Flaschen angeboten. Nicht nur Getränke, auch immer mehr andere Lebensmittel werden in einer Verpackung angeboten, die aus Polyester, einem thermoplastischen Kunststoff, hergestellt worden ist.

Fünf Recyclingverfahren für PET

Weil es wohl illusorisch ist, dass die Menschheit auf Plastik verzichten wird, gilt es, die Verpackungen für Lebensmittel so sparsam wie möglich zu konzipieren und vor allem den Müll so gering wie möglich zu halten, indem man ihn geschickt wiederverwertet. Das Wirtschaften von der „Wiege-zur-Wiege“ ist ein Ausdruck, der in der Verfahrenstechnik für das Schließen der Materialkreisläufe benutzt wird. Jener Disziplin, die sich mit der Zusammensetzung, Art und Eigenschaft von Stoffen beschäftigt und dabei

physikalische, chemische oder biologische Verfahren anwendet.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Rieckmann vom Institut für Anlagen- und Verfahrenstechnik beschäftigt sich seit 25 Jahren mit der Herstellung, der Verarbeitung, dem werkstofflichen sowie dem chemischen Recycling von Polymeren. In dieser Zeit war er an der Entwicklung verschiedener Verfahren beteiligt, die bis heute in der Industrie bei der Wiederverwertung von PET-Flaschen gebräuchlich sind. „Es gibt prinzipiell fünf Wege, PET-Flaschen einer weiteren Nutzung zuzuführen“, sagt der Professor für Prozesssimulation, Physikalische Chemie und Reaktionstechnik.

Die einfachste Methode ist zugleich die älteste. Anfang der 1990er Jahre löste Rieckmann seine erste industrielle Aufgabe im Bereich des Schließens von Materialkreisläufen: Besonders dicken PET-Flaschen können seitdem wieder befüllt werden, wenn sie vorher sorgfältig mit heißer Lauge gewaschen und dabei von allen nur möglichen Fremdstoffen befreit werden. Diese Flaschen werden in Deutschland über ein eigenes Pfandsystem eingesammelt. Man kann Pfandflaschen nach dem Einsammeln aber auch anders nutzen: sie klein mahlen, waschen und von Fremdstoffen befreien, um danach daraus wieder neue PET-Flaschen herzustellen. Solch ein Verfahren haben der Prozessentwickler und sein Team gemeinsam mit einem deutschen Industrieunternehmen ab Anfang der 2000er Jahre mit entwickelt. Diese Art des PET-Recyclings funktioniert perfekt für farblose, blaue und grüne Flaschen. Der maximale Recyclinganteil beträgt aktuell bei dieser Verfahrensort circa 70 Prozent, Tendenz weiter steigend.

PET in chemische Bestandteile zerlegen

Braune PET-Flaschen und solche mit exotischen Farben können über dieses Verfahren allerdings nicht recycelt werden. Stattdessen werden sie weiterverarbeitet, aktuell zu Stapelfasern. Das sind einfache, relativ kurze und dicke Textilfasern, die man beispielsweise als Daunenersatz für Winterkleidung verwendet. Diese Weiterverarbeitung ist sehr einfach, energetisch günstig und preiswert. Ein Schließen der Materialkreisläufe ist darüber aber nicht möglich. Als vierte Option kann man PET auch in Müllkraftwerken verfeuern und die dabei frei werdende Energie nutzen, um zum Beispiel Strom und Fernwärme zu erzeugen; ökologisch sinnvoll ist diese Variante jedoch nicht.

Im Gegensatz zur fünften Möglichkeit: dem chemischen Recycling. Dabei wird das PET teilweise oder vollständig in seine chemischen Bestandteile zerlegt. Anschließend lässt sich aus den Bausteinen wieder jedes beliebige PET-Produkt produzieren, also Flaschen, Lebensmittelverpackungen, Folien oder Textilfasern. Vor rund 25 Jahren, als Thomas Rieckmann noch in der Industrie tätig war, hat er bereits einen

chemischen Recyclingprozess im industriellen Maßstab entwickelt, um beispielsweise aus geriebenen PET-Flaschen sogenannte PET-Filamente herzustellen. Das sind hochwertige Textilfasern von praktisch unbegrenzter Länge.

Jede Flüssigkeit hat eigene Bedürfnisse

Der Grund für diese verschiedenen Wege, mit gebrauchten PET-Flaschen umzugehen, liegt in der Beschaffenheit der Flaschen und in den Flüssigkeiten, mit denen sie von den Lebensmittelherstellern befüllt werden – und von uns Verbraucherinnen und Verbrauchern bei einer Wiederverwertung. PET-Verpackungen gibt es in allen möglichen Farben und damit verbunden oft auch mit unterschiedlichen Materialeigenschaften für die Haltbarkeit der Lebensmittel: Orangensaft muss vor Sauerstoff geschützt werden, H-Milch dagegen vor dem UV-Anteil des Sonnenlichts. Aus einer PET-Bierflasche darf das Kohlendioxid nicht zu schnell entweichen. Um das Bier zu schützen, sind diese PET-Flaschen deshalb braun eingefärbt. Diese verschiedenen Materialeigenschaften werden über Additive, Fremdstoffe und Farbstoffe erzeugt.

„Unglücklicherweise ist es derzeit günstiger, neues PET zu produzieren, als es chemisch zu recyceln“, sagt Rieckmann. „Die polymeren Rohstoffe sind auf dem Markt mehr oder weniger an die Energiepreise gekoppelt und die sind gerade aus Sicht des chemischen Recyclings von PET deutlich zu niedrig.“ Eigentlich paradox, aber dadurch ist es derzeit also unrentabler, die Wiederverwertungsketten zu schließen und so wenige Rohstoffe wie möglich zu verbrauchen.

Ganz ohne deren Verbrauch geht es übrigens leider nicht: Neuware, im Fachjargon auch *Virgin Polymer* genannt, muss bei der Herstellung von Rezyklaten, also aus recycelten Stoffen hergestellten Materialien, fast immer hinzugefügt werden. Die erste Herausforderung in der

Verfahrenstechnik liegt darin, den Prozentsatz der *Virgin Polymers* so gering wie möglich zu halten. Die zweite lautet, den Herstellungsprozess im Industriemaßstab ökonomisch sinnvoll zu gestalten, also den spezifischen Energiebedarf für das Recycling so niedrig wie möglich zu halten. Beides gleichermaßen hinzubekommen ist die eigentliche Kunst.

Neues Verfahren für Flaschen-Mix

Auf der Suche nach einer Lösung, wie man die Wiederverwertungskette der PET-Flaschen weiter verbessern kann, hat das Team von Professor Rieckmann in einem ZIM-Projekt (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) ein Verfahren entwickelt, bei dem man PET aller Farben und Herkunft zusammenwerfen und in seine Bausteine, die sogenannten Monomere, chemisch zurückverwandeln kann. Wobei, räumt Rieckmann ein, die prinzipielle Idee nicht neu sei, sondern jedem Chemiker bekannt. Es ist ihm und seinem Team vielmehr gelungen, die unterschiedlichen Farben, Additive und Fremdstoffe vollständig von den Monomeren abzutrennen. Dafür wurden zwei spezielle, sogenannte integrierte Reaktoren entwickelt. Sie vereinen die chemischen Prozessschritte mit denen der Stofftrennung. Damit verbunden sind bereits Patentanmeldungen in der EU und den USA.

Doch dieses Recyclingverfahren wird so erst einmal nicht zur Anwendung kommen. „Wir haben unserem Kooperationspartner ausgerechnet, wie hoch die Produktionskosten im Industriemaßstab sein würden – ökonomisch war das leider unter den aktuellen Bedingungen sehr unattraktiv“, sagt Rieckmann. „Denn gegenüber den Anlagen rentabel zu sein, die aus fossilen Rohstoffen PET herstellen, müsste diese Anlage Tag und Nacht, 365 Tage im Jahr, jede Stunde mit circa 25 Tonnen gebrauchten PET-Flaschen beliefert werden.“ Logistisch sei es nicht möglich, diese Masse an Flaschen über Jahre zuverlässig in Europa zu beschaffen. >>



Hier farblich sortiert: Die PET-Recyclingrohstoffe, sogenannte *Flake*, werden aus PET-Flaschen gemahlen (oben). Das Granulat (unten) ist das Ergebnis des chemischen Verfahrens „Von-der-Flasche-zur-Flasche“.

Je größer der Maßstab, umso komplizierter
Dass eine Prozessentwicklung zu einer technisch eleganten Lösung führt, diese aber nicht wirtschaftlich ist, ist in der Verfahrenstechnik nicht unüblich. Aus vielleicht anfänglich fünf viel versprechenden Ideen bleibt am Ende oft nur eine übrig. Denn vom Labor überträgt man das Verfahren in eine Anlage in Technikumsmaßstab, entwickelt diese weiter zu einer sogenannten Mini-Plant, bevor am Ende eine Pilotanlage und danach eine Anlage im Großmaßstab gebaut werden kann. „Werden Prozesse im Maßstab vergrößert, extrapoliert man immer aus einem bisher bekannten Ausschnitt der Chemie und Physik“, erläutert Rieckmann.

„Werden Prozesse im Maßstab vergrößert, bricht man bei jedem Schritt in mehr oder weniger neue Gefilde auf.“

„Am Anfang handhabt man bei der Prozessentwicklung im Labor ein paar Gramm, dann einige Kilogramm, bis man eventuell mit einer Tonne pro Stunde oder mehr umgehen muss. Man bricht bei jedem Schritt der Maßstabsvergrößerung in mehr oder weniger neue Gefilde auf und muss neue Wege beschreiten.“ Und landet dabei auch in Sackgassen. Oder schlägt Haken und kann eine Idee in anderen Bereichen wieder aufgreifen.

Zum Beispiel im Textilrecycling. Die meisten Textilien lassen sich nämlich nicht werkstofflich recyceln. Wenn sie atmungsaktiv, wasserabweisend, wärmedämmend oder pflegeleicht sein sollen, bestehen sie meistens aus Mischgeweben, also aus mehreren textilen Rohstoffen. Daneben gibt es die vielen optischen Modedesigner: Kleidung in matten Farben, dann wieder glänzend oder glitzernd. „In PET-Textilfasern ist eigentlich immer Titandioxid enthalten, ein Metalloxid, das als Mattierungsmittel eingesetzt wird. Hinzu kommen die unterschiedlichen Farbstoffe, Pigmente oder organischen Moleküle, die beim werkstofflichen Recycling immer wieder Probleme bereiten oder diesen Prozess sogar gänzlich unmöglich machen“, so

noch nicht filtern können. Und damit können sie von Mensch und Tier über die Nahrung aufgenommen werden. PET-Partikel sind schwerer als Wasser und lagern sich auf den Böden der Flüsse und Meere ab.

„Letztlich ist alles eine Frage des politischen Willens“, sagt Professor Rieckmann. „In Westeuropa haben wir ein vergleichsweise geringes Müllproblem. Viele EU-Länder sind bereits sehr fortschrittlich darin, gebrauchte Kunststoffe zu sammeln und zu recyceln oder aus ihnen Energie zu gewinnen. Unser globales Problem ist vielmehr, dass viele andere Staaten, vor allem in Afrika, Asien sowie Mittel- und Südamerika, diese organisatorischen und technischen Möglichkeiten nicht nutzen. Und, dass aufgrund unterschiedlicher Interessenlagen die Staaten keine einheitlichen Regelungen, Verbote und Grenzwerte haben.“

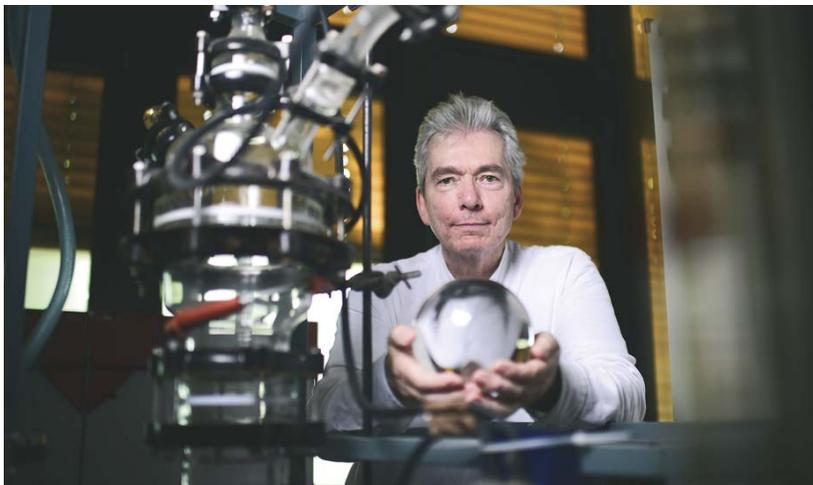
Neue Absatzmärkte gesucht

Mittlerweile hat die Volksrepublik China den Import von Plastikmüll verboten. Jetzt müssen sich die Müll-Anbieter neu orientieren. Das an der TH Köln realisierte Verfahren wäre eine schöne Lösung gewesen, aber unrentabler Idealismus hat auf den internationalen Märkten keine Existenzchance. Es ist also ein gemeinsamer politischer und gesellschaftlicher Wille nötig, Kunststoffe und anderen Müll in einem globalen Wiederverwertungskreislauf zu halten. Für die Verfahrenstechnik böten sich dann noch mehr Forschungs- und Entwicklungsfragen, um die Produktkreislaufketten so engmaschig wie möglich zu halten und damit ein Wirtschaften von der „Wiege-zur-Wiege“, also ohne Abfälle zu ermöglichen. mp

Rieckmann. Seiner Einschätzung nach lässt sich das patentierte PET-Recyclingverfahren auf das Textilrecycling übertragen.

PET ist eine Frage der Politik

Nicht nur Plastikverpackungen, auch Textilien mit Kunststoffen sind für die Umwelt eine große Belastung: Bereits in der Waschmaschine werden kleine Kunststoffpartikel aus den Kleidungsstücken nach und nach abgerieben und gelangen so über das Abwasser ins Trinkwasser oder in die Ozeane, weil die meisten Kläranlagen diese Kleinstpartikel heute



Investitionsausgaben von Chemieanlagen und Herstellkosten der Produkte zu schätzen, gleicht dem Verfahrenstechniker Thomas Rieckmann zufolge augenzwinkernd betrachtet einem Blick in die Kristallkugel.

Makro

Gebrochene Karbonröhren sammelt Marc Möller, Promovend am Institut für Fahrzeugtechnik. An die 200 davon wird er im Laufe der nächsten zwölf Monate zerstören. Nicht von Hand, sondern mithilfe eines sogenannten Hydropulsers. Über diese servohydraulische, dynamische Prüfmaschine kann Möller die Karbonröhren verschiedenen Belastungen aussetzen: Ziehen, Drücken, Verdrehen, entweder einzeln oder in Kombination, und sie dabei unterschiedlichen Spannungen und Amplituden aussetzen. Aus den Ergebnissen erarbeitet der Ingenieur ein mathematisches Modell zum Ermüdungsverhalten von Faserverbundstoffen, das auf alle möglichen Bauteile angewendet werden kann und Aussagen zu deren geschätzter Lebensdauer trifft – ob im Flugzeug-, Autobau oder im Sport. Betreut wird der Doktorand dabei von Prof. Dr. Jochen Blaurock. Die Prüfmaschine wurde über einen Großgeräteantrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Land Nordrhein-Westfalen finanziert.

