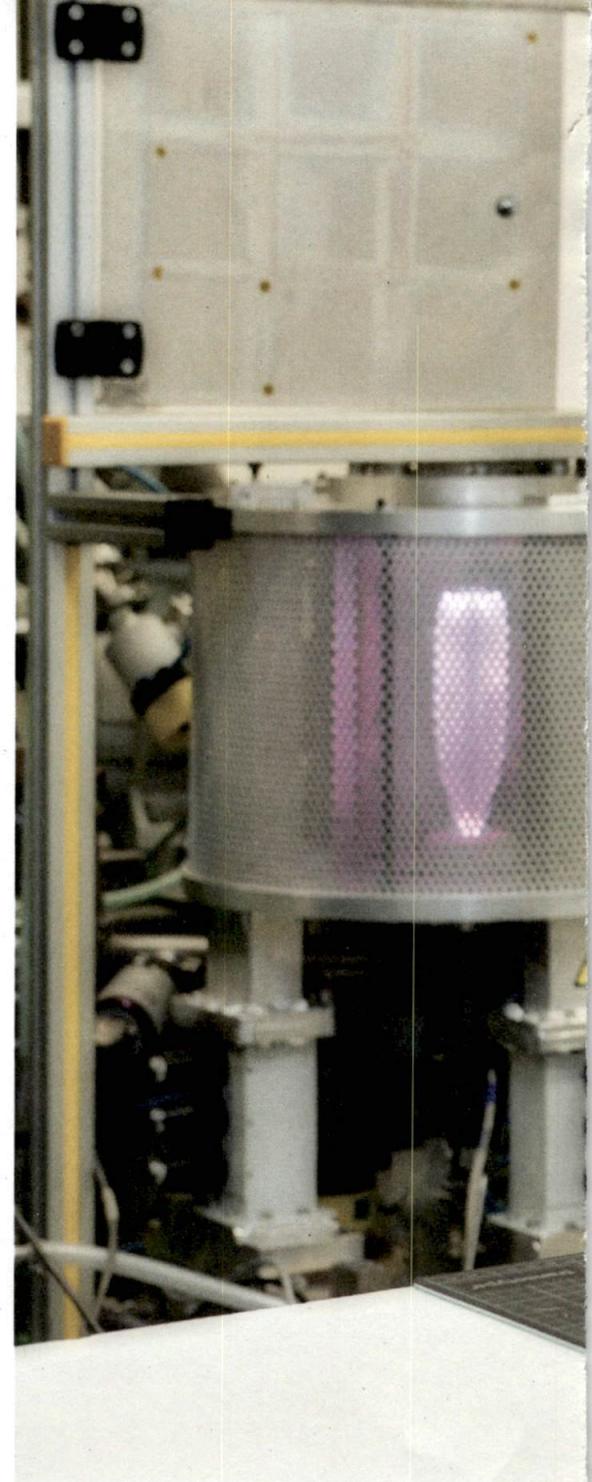


Kunststoff- verwertung erneut im Wandel

Forschungsprojekte zur Kreislaufwirtschaft

In view of recent environmental and socio-political developments, the subject of recycling plastics is receiving a great deal of attention. The unmistakable, partly negative environmental impacts caused by plastic waste are contrasted by the great ecological and economic usefulness and indispensability of plastic products. Mostly linear value-added chains, especially in the case of short-lived plastic products such as packaging, often do not sufficiently ensure that the valuable material flow is recycled appropriately after use. As a result, considerable quantities of plastic waste are (only) recycled for energy or exported to South East Asia. A responsible use of existing material resources is thus developing into an innovation driver for the plastics industry in the course of changing climate and environmental policy objectives as a result of constantly changing legal requirements.

In den letzten Jahren hat sich das Recycling beziehungsweise die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe zu einem viel diskutierten Thema entwickelt. Grundlegend für die Kreislaufwirtschaft ist es, sich die verschiedenen Stoff-, Produkt- und Abfallströme bewusst zu machen. Wenn die Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung (Reduce) von Abfällen oder zur erneuten Verwendung der Produkte (Reuse) ausgeschöpft sind, existieren verschiedene Ansätze, um effiziente Stoffkreisläufe zu ermöglichen. Bereits in der Entwicklungsphase können Produkte hinsichtlich ihres Recyclings optimiert werden (Design for Recycling), auch die zielgerichtete Konfiguration von Materialverbunden (Material Design for Recycling) führt dazu, dass die Rezyklierbarkeit von Anfang an mitgedacht wird. Zur Rückführung von Kunststoffabfällen in einen Kreislauf wird zwischen dem werkstofflichen und dem chemischen Recycling unterschieden. Das werkstoffliche Recycling ist ein mehrstufiger Prozess von der Sortierung über die Zerkleinerung, Reinigung, Trocknung und die Regranulierung, bei dem die polymere Struktur des Kunststoffs nicht oder nur geringfügig beeinflusst wird. Durch werkstoffliches Recycling von Abfällen aus dem „Gelben Sack“ lassen sich bis zu 800 Kilogramm Kohlenstoffdioxid je Tonne Kunststoff gegenüber der Neuware einsparen. Um jedoch eine branchenweite Umsetzung zu ermöglichen, müssen die Technologien



des werkstofflichen Recyclings deutlich weiterentwickelt und die Recyclingkapazitäten drastisch erhöht werden. Beim chemischen Recycling wird die polymere Struktur in monomere Grundbausteine zerlegt und schließlich durch einen Syntheseprozess wieder zu einem Polymer aufgebaut. In aller Regel kommt das chemische Recycling in Betracht, wenn das energetisch vorteilhaftere werkstoffliche Recycling nicht möglich ist. Ist auch das chemische Recycling technisch nicht realisierbar oder nicht wirtschaftlich umsetzbar, werden Kunststoffabfälle thermisch verwertet. In diesem Fall erlaubt der hohe Energiegehalt der Kunststoffe deren Nutzung anstelle primärer Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Gas zur Energiegewinnung.



Bild 1: Neu entwickelte Barrierschicht für Kunststoffmehrwegflaschen auf dem Weg zur großtechnischen Umsetzung
Foto: Peter Winandy

Der nachhaltige Umgang mit Kunststoffen macht es erforderlich, dass Vertreter aus Unternehmen, Verbänden und wissenschaftlichen Institutionen an der Entwicklung ökologisch und ökonomisch sinnvoller Recyclinglösungen mitwirken.

Chemisches Recycling von Polystyrol im Extruder

Der Ansatz, Kunststoffe chemisch zu recyceln und somit Polymere wieder in ihre Ursprungsmomere zu zerlegen, die dann erneut und ohne Qualitätsverluste als Grundbaustein für die Herstellung neuer Kunststoffe genutzt werden können, liegt nahe. Die Umsetzung hingegen ist höchst komplex, so dass Projekte zum chemischen Recycling weiterhin zu den Forschungsschwerpunkten zählen. Am

Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen, kurz IKV, wird ein Projekt zum chemischen Recycling von Polystyrol im Doppelschneckenextruder umgesetzt. Polystyrol ist mit einem Anteil von etwa 6,5 Prozent der siebthäufigste Kunststoff in Europa. In Deutschland liegt Polystyrol mit rund sieben Prozent an sechster Stelle. Zahlreiche Anwendungen sind in Bereichen des täglichen Lebens zu finden, etwa in Bau- und Dämmstoffen oder in Produkten der Elektrotechnik sowie Elektronik. Zudem handelt es sich bei Polystyrol um einen bedeutsamen Werkstoff für kurzlebige Verpackungen. Laut PlasticsEurope e. V., dem Verband der Kunststoffhersteller in Deutschland, stieg in den Jahren 2006 bis 2016 die Menge an gesammelten Kunst-

stoffverpackungsabfällen um zwölf Prozent von 14,9 Millionen Tonnen auf 16,7 Millionen Tonnen. Ausgereifte Recyclingkonzepte sowie angepasste Geschäftsmodelle sind also gefragt. Der weitaus größte Anteil mit 85 Prozent entfällt auf sogenannten Post-Consumer-Abfall. Dieser wird in Deutschland über das „Duale System“ gesammelt und enthält verschiedene Arten organischer Abfälle aus Lebensmitteln. Im Falle der werkstofflichen Verwertung bedeutet dies, dass – je nach angestrebter Qualität des Recyclingmaterials – Wasch- und Trocknungsprozesse notwendig sind. Bei einer chemischen Wiederverwertung können die Abfälle ohne Waschen direkt verarbeitet werden. Im Rahmen des Forschungsvorhaben „Recycling von Polystyrol mittels rohstofflicher Ver-

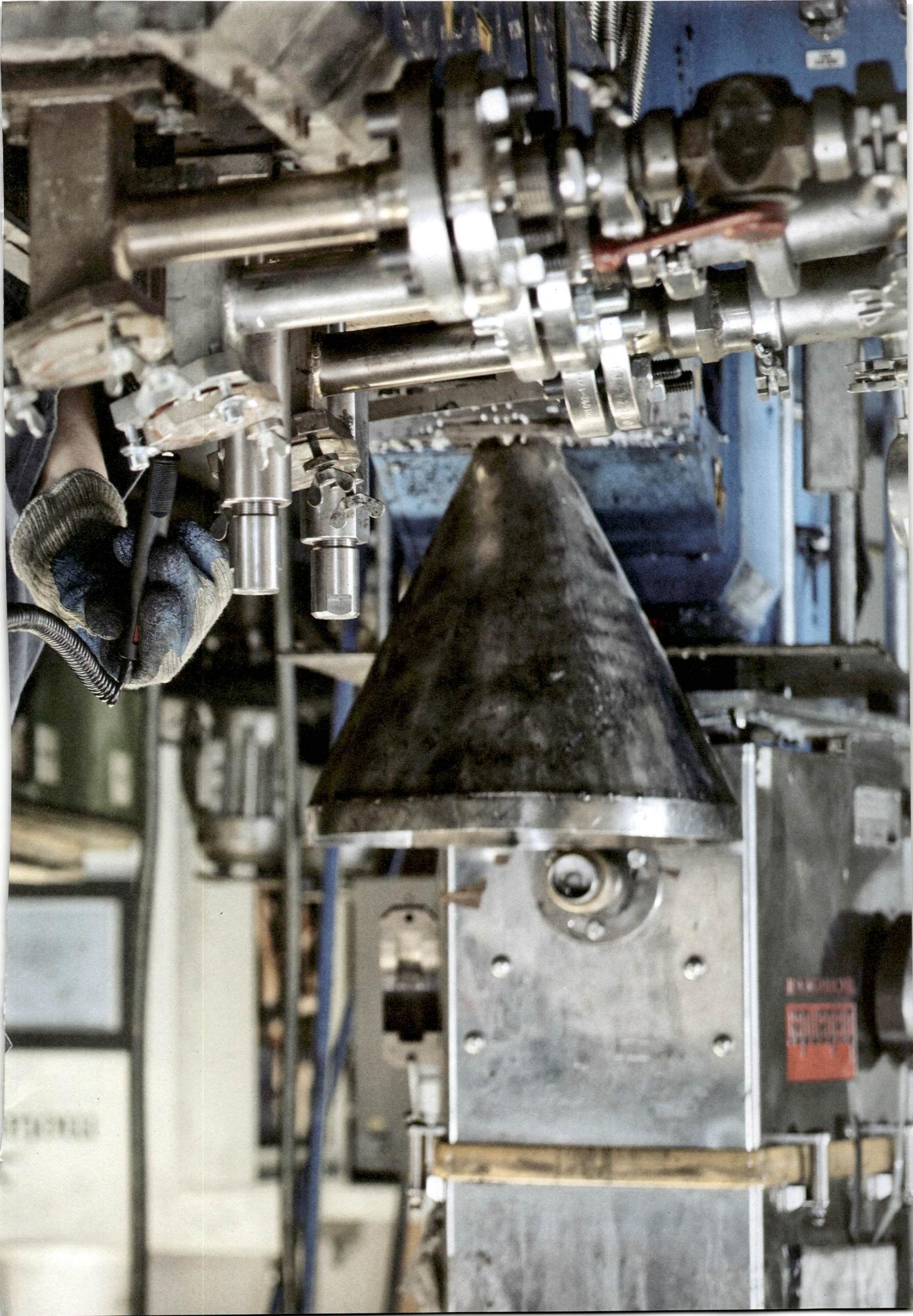




Bild 2: Den Kunststoffkreislauf schließen – chemisches Recycling von Polystyrol im kontinuierlichen Prozess mittels Doppelschneckenextruder
Foto: Peter Winandy

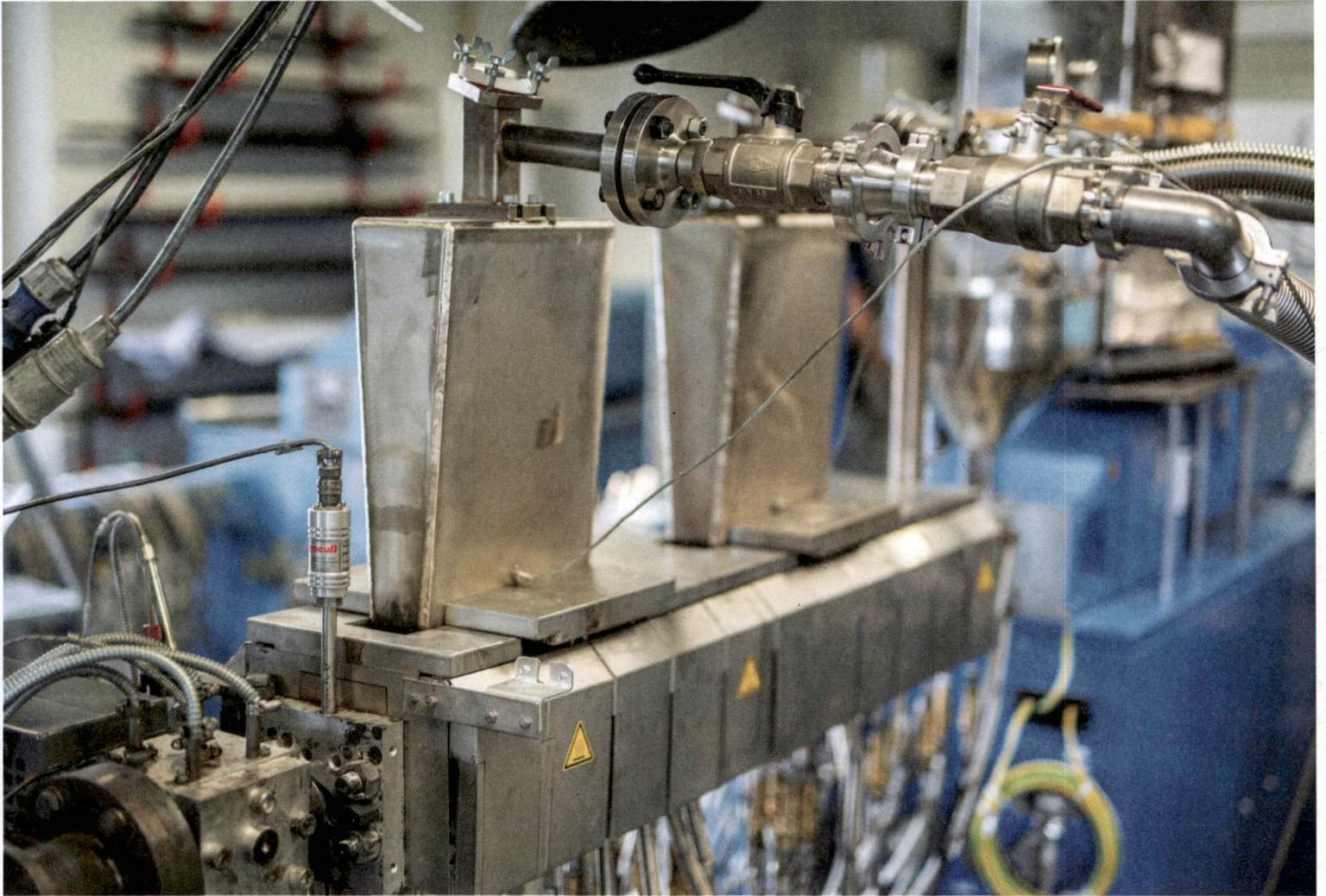


Bild 3: Aufbereitungsanlage zum chemischen Recycling von Polystyrolabfällen

Foto: IKV, Fröls

wertung – ResoIve“ entwickelte das IKV mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam mit der Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth, dem Institut für Aufbereitung und Recycling der RWTH sowie der INEOS Styrolution Group GmbH, Frankfurt am Main, ein Verfahren zum chemischen Recycling von Polystyrol. Ausgangsware waren Polystyrol-Verpackungsabfälle, Endprodukt ist ein aus den gewonnenen Monomeren hergestelltes Polystyrol mit gleichwertigen Eigenschaften der Neuware. Eine Herausforderung lag in der technischen Konfiguration einer Aufbereitungstechnologie sowie einer Prozessführungsstrategie, die im Einklang mit dem komplexen Materialverhalten des Kunststoffes bis zur thermischen Zersetzung stehen muss.

Zunächst wird aus dem Gelben Sack eine sortenreine Polystyrolfraktion für den Verwertungsprozess extrahiert. Neben der Sortierung folgt eine Zerkleinerung der Abfälle, damit eine Materialförderung in der Aufbereitung mittels Doppelschneckenextruder möglich ist, siehe Bild 3. Durch die thermische

Aufspaltung der Makromoleküle oberhalb der Verarbeitungstemperatur degradiert der Kunststoff zu Monomeren, Oligomeren sowie flüchtigen Spaltprodukten. Die für die spätere Kunststoffsynthese verwertbaren chemischen Grundbausteine werden im Prozess über einen Kondensationsvorgang abgeführt. Während in Referenzversuchen mit Neuware Kondensatausbeuten von rund 65 Prozent erzielt werden, sind es bei der Polystyrolfraktion aus dem Gelben Sack nur rund 40 Prozent. Dies lässt sich auf Füllstoffe, Fremdpolymere und Schmutzanhaftungen zurückführen, die den verfügbaren Polymeranteil verringern. Die Styrolmonomere dienen zur Synthese von neuem Polystyrol. Der thermische Kettenabbau im Doppelschneckenextruder bietet neben einer kontinuierlichen Prozessführung und hohen Durchsätzen den Vorteil, dass durch die Selbstreinigung der Schnecken Materialrückstände sowie Fremdpartikel abgetragen werden. Die Forschungsergebnisse lassen sich in die Anwendung im industriellen Maßstab überführen.

Mehrweggetränkeflaschen aus PET mittels Plasmatechnik

Der verantwortungsvolle und nachhaltige Umgang mit wertvollen Ressourcen lässt für zahlreiche Produkte ein Optimierungspotenzial erkennen. Ein Beispiel sind Getränkeflaschen aus Kunststoff, die in hohen Stückzahlen hergestellt werden. Im Vergleich mit PET-Einweg- und auch Glas-Mehrwegflaschen schneiden PET-Mehrwegflaschen in der Ökobilanz deutlich besser ab. Das Einsammeln und Waschen der PET-Mehrwegflaschen benötigt bei nicht zu langen Transportwegen weniger Energie als die Neuherstellung und Entsorgung oder der Recyclingprozess von PET-Einwegflaschen. Allerdings ist ihr Anwendungsbereich limitiert. Sauerstoffempfindliche Produkte wie Bier, Wein, Saft oder kohlenensäurehaltige Getränke können bislang nur in PET-Einwegflaschen, Glasflaschen oder Getränkekartons angeboten werden. Die Umstellung von PET-Einwegflaschen und Glas-Mehrwegflaschen auf PET-Mehrweg kann zur deutlichen Reduktion der klimaschädlichen CO₂-Emission beitra-

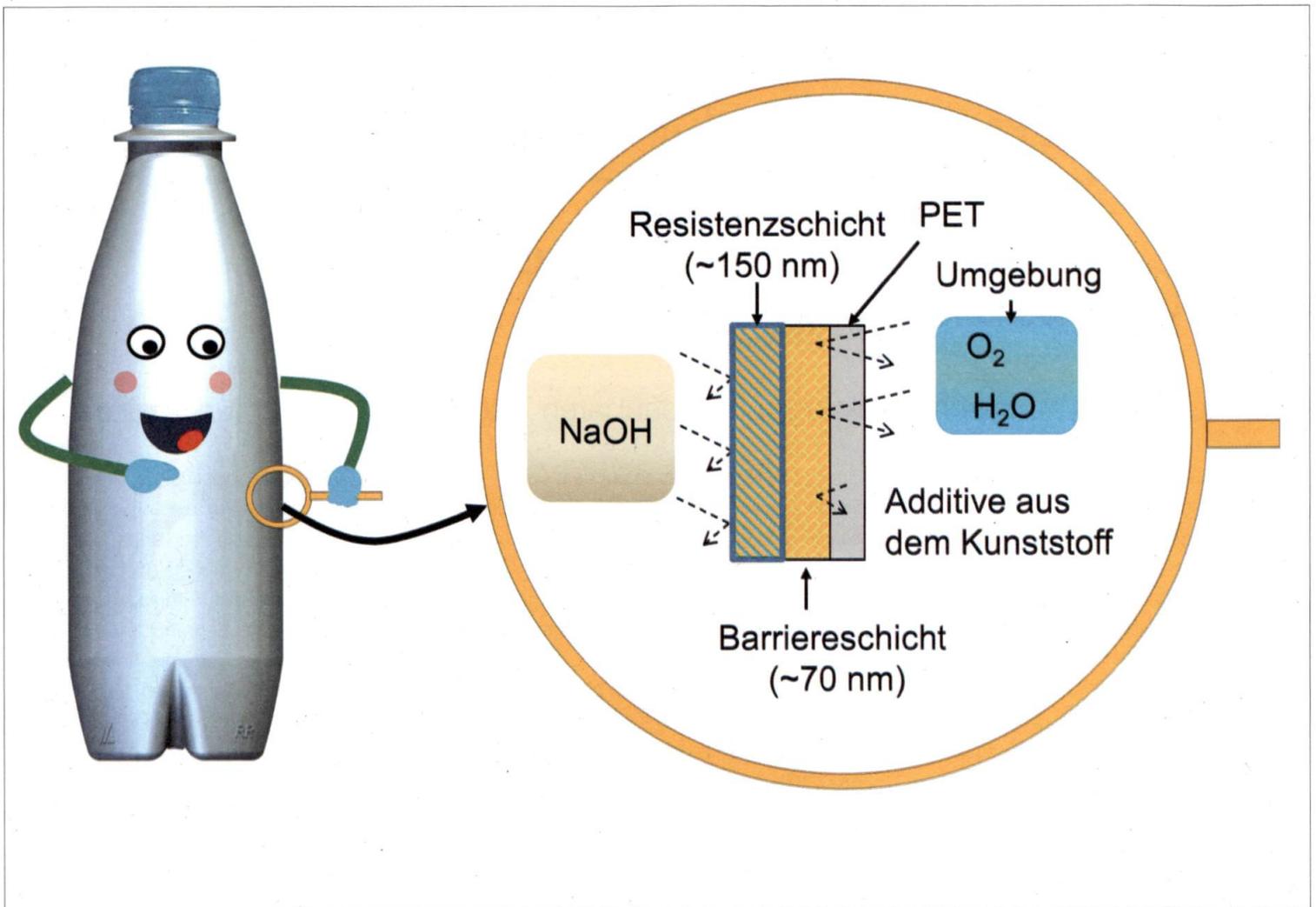


Bild 4: Natronbeständiger Barrierschutz bei der PET-Flaschenreinigung

gen, was die Ökobilanz der Branche entscheidend verbessern würde. Neben den Vorteilen der Bruchstabilität und der geringeren Masse weist das Material PET im Falle von sauerstoffempfindlichen Getränken den Nachteil auf, dass PET nicht hinreichend dicht gegenüber Gasen ist. Auch Geschmacksmigration aus dem Produkt in die PET-Wand und umgekehrt sorgen für eine eingeschränkte Verwendbarkeit. Aus diesem Grund werden PET-Flaschen bereits seit einigen Jahren auf der inneren Oberfläche mit einer hauchdünnen etwa 80 Nanometer glasartigen Beschichtung ausgerüstet, die diese Effekte verhindert. Nachteilig ist, dass diese Schichten nicht natronlaugebeständig sind: Sie halten den für Mehrwegflaschen üblichen Waschprozessen nicht stand. Die glasartigen Barrierschichten werden mithilfe von Niederdruckplasmen aufgebracht. Plasmaverfahren bieten die Möglichkeit, durch die Variation von Prozessparametern das Eigenschaftsspektrum der Beschichtung in einem breiten Rahmen zu variieren. Bestehende Prozesstechnologien und etablierte

Anlagentechniken werden daher kontinuierlich erforscht, sodass sich die Plasma- und Oberflächentechnik zu einem Forschungsgebiet mit breiter gesellschaftlicher Relevanz entwickelt hat. Im Rahmen eines Transferprojektes zum Sonderforschungsbereich/Transregio SFB-TR87 „Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten“ wird das erarbeitete Grundlagenwissen genutzt, um ein multifunktionales Schichtsystem zu entwickeln, das eine ausreichend hohe Laugenbeständigkeit durch eine Resistenzschicht aufweist und zudem über eine hohe Barriere Wirkung verfügt, siehe Bild 4. Die Prozesse müssen anschließend auf markt gängige Anlagen zur Innenbeschichtung von PET-Mehrwegflaschen transferiert werden. Hierzu ist eine hochkomplexe Schicht- und Plasmadiagnostik vonnöten. Gemeinsam mit der KHS Corpoplast GmbH, Hamburg, und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Ruhr-Universität Bochum wurde ein funktionales Schichtsystem identifiziert und so weit weiterentwickelt, dass damit ausgerüs-

tete PET-Mehrwegflaschen im Labormaßstab über 20 Waschzyklen unbeschadet überstehen. Mithilfe der Plasmadiagnostik muss nun der Übertrag der Plasmaeigenschaften auf die großtechnische Anlage realisiert werden. Markt gängige Maschinen sind in der Lage, über 40.000 Flaschen pro Stunde zu beschichten. Am Ende der Projektlaufzeit soll der Prozess in der Lage sein, eine Mehrweg-PET-Flasche für sauerstoffsensible Getränke wie Fruchtsäfte oder Biere zu fertigen.

Autoren

Dr. rer. nat. Rainer Dahmann ist außerplanmäßiger Professor am Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

Dr.-Ing. Martin Facklam ist Leiter der Abteilung Extrusion und Kautschuktechnologie am Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.