

Alternative Recyclingansätze zur Verwertung von Verpackungsabfällen

Vom gelben Sack zur neuen Faser

Aktuell werden PET und PP aus stark verschmutzten und heterogenen Mischabfällen der dualen Systeme entweder nur zu minderwertigen Rezyklaten verarbeitet oder verbrannt. Alternative Ansätze wie das lösemittelbasierte Recycling oder die Solvolyse könnten eine wichtige Ergänzung zur mechanischen Aufbereitung sein. Das Fraunhofer Cluster Circular Plastic Economy forscht an diesen Technologien, um hochwertige Rezyklate in einer breiten Anwendung einzusetzen.



Von Mischkunststoffabfall zur PP-Rezyklatfolie und PP-Multifilamentgarn.

© Fraunhofer IVV

Die weit verbreitete Nutzung von Einwegprodukten im Verpackungsbereich aus Polypropylen (PP) und aus Polyethylenterephthalat (PET) sowie die stetig steigende globale Nachfrage führen zu wachsenden Abfallströmen dieser Kunststoffe [1]. Allein in der Europäischen Union (EU) wurden 2023 54 Millionen Tonnen Kunststoffe produziert, davon waren knapp 5 % PET und 16 % PP [2].

Der größte Anwendungsbereich (39 %) für Kunststoffe findet sich in den kurzlebigen Verpackungsmaterialien. 2022 fielen 18,5 Millionen Tonnen Post-Consumer-Verpackungsabfälle an, knapp 38 % wurden recycelt, 45 % energetisch verwertet und 17 % deponiert.

Um der Herausforderung der Kunststoffabfälle zu begegnen, hat die EU mit der PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation) erste Maßnahmen ergriffen. Die Verordnung sieht verpflichtende

Rezyklatquoten vor. So sollen beispielsweise 2030 55 % der Kunststoffverpackungsabfälle recycelt werden. Um die derzeitige Rezyklatquote zu steigern, werden jedoch auch Open-Loop-Konzepte wie etwa die Anwendung von Rezyklaten aus Verpackungen in Textilien untersucht.

Ergänzende Recyclingmethoden auf dem Prüfstand

Eine hochwertige Verwertung im Verpackungsbereich scheidet aktuell häufig an den am Markt befindlichen Recyclingmethoden sowie den hohen Qualitätsanforderungen des Verpackungsbereichs. Für komplementäre Recyclingprozesse wie lösemittelbasierte und chemische Recyclingprozesse muss zunächst die Infrastruktur aufgebaut werden.

Das Fraunhofer Cluster Circular Plastic Economy (CCPE) forscht an der Wert-

schöpfungskette zur Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen, von der Entwicklung neuer Polymere auf Basis biobasierter und Recyclingrohstoffe bis zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Im Rahmen des CCPE-Projekts „Zirkuläre textile Flächegebilde“ wurden für bisher nicht verwertbare PP- und PET-haltige Abfallströme ergänzende Recyclingprozesse zu mechanischen Verfahren entwickelt und die Eignung der gewonnenen Rezyklate, zum Beispiel für die Anwendung als Geotextilien und Dachunterdeck- oder unterspannbahnen, im Praxisversuch nachvollzogen.

Hochwertige rPP-Fasern aus dem lösemittelbasierten Recycling

Für einen PP-reichen Stoffstrom basierend aus einer Folien-Mischkunststofffraktion (Post-Consumer) wurde am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) das lösemittelbasierte Recycling untersucht. Diese Technologie löst PP selektiv, sodass Verunreinigungen wie polyolefinfremde Kunststoffe, Altadditive, Druckfarben und Papier entfernt werden. Das Ergebnis ist ein nahezu sortenreines Rezyklat.

Zur Darstellung der Rezyklatreinheit wurde daraus eine Folie hergestellt, die keine Stippen oder Partikel aufweist und nur leicht verfärbt ist (**Bild 1**). Im Vergleich zu den am Markt befindlichen Post-Consumer-PP-Rezyklaten aus Folienabfällen weisen die im Löseprozess gewonnenen PP-Rezyklate einen deutlich geringeren Verunreinigungsgrad auf.

Für die mechanische Verfahren muss das Abfallmaterial in der Regel zudem sehr sortenrein sein und darf nur wenige Verunreinigungen aufweisen. Der selektive Löseprozess hingegen kann auch mit einem hohen Verunreinigungsgrad

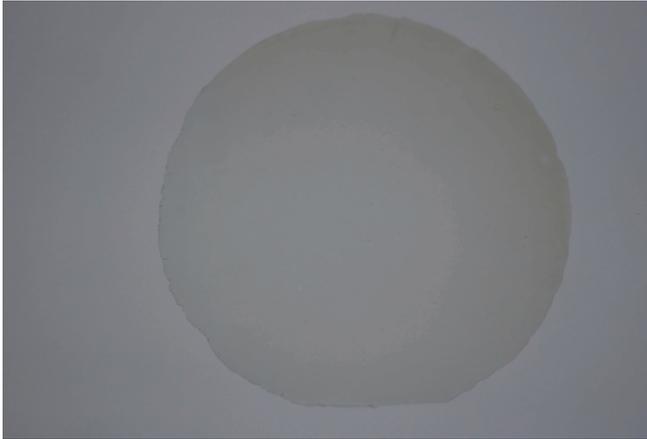


Bild 1. Hergestellte Folie aus 100 % recykliertem PP. © Fraunhofer IVV



Bild 2. Hergestelltes Multifilamentgarn aus 100 % recykliertem PP.

© Fraunhofer IVV

umgehen. Obwohl der Abfallstrom im Projekt 67 % Fremdanteil enthielt (10 % PE, 7 % PS, 10 % PA, 23 % PET, 11 % unlösliche Nicht-Kunststoffe, 6 % Andere) konnte die Polyolefinfraktion (PO) präzise aufgereinigt werden. Durch den Prozess gelang es, sowohl die PO-Fremdkunststoffe als auch den PE-Anteil um 80 % abzutrennen, somit lag der Rest-PE Anteil unter zwei Prozent.

Das gewonnene rPP wurde anschließend am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP) zu einem Garn mit 32 Filamenten versponnen (**Bild 2**). Die Fließ- und Dehneigenschaften des Rezyklats ermöglichten eine stabile Führung des Spinnprozesses und eine hohe Verstreckbarkeit der Filamente bis in den Mikrofaserbereich. Im Nachreckprozess wurden die Muster spulen um den Faktor 1,6 verstreckt und für Zugversuche vorbereitet.

Hochwertige rPET aus dem Solvolysprozess

Der PET-Abfallstrom wurde mittels einer Solvolyse am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) behandelt. Die Abfallfraktion entstammte aus der Misch-PET 90/10 Fraktion (**Bild 3**). Diese wird zum aktuellen Stand des Projektes größtenteils verbrannt und aufgrund zu großer Verunreinigung nur bedingt mechanisch recycelt. Die Fraktion bestand zu 87 % aus PET. Die restlichen 13 % waren PP, PVC, Papier, Aluminium etc.

Bei der Solvolyse werden die Kunststoffe durch den Einsatz eines Depolymerisations-Reagenzes gezielt in ihre jeweiligen Monomere beziehungsweise Monomerderivate gespalten. Dieser Prozess ist insbesondere für Polyadditions- und Polykondensationspolymere geeignet. Im Falle des PET wurde der



Bild 3. Zerkleinerte Post-Consumer-PET-Misch Fraktion. © Fraunhofer ICT

Info

Text

Dr. Ronny Hanich-Spahn ist Gruppenleiter für Recyclingtechnologien am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfnitztal.

Lukas Killinger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ICT in Pfnitztal.

Tanja Fell ist Gruppenleiterin für Verpackungsrecycling am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising.

Dr. Antje Lieske ist Abteilungsleiterin Polymersynthese am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam.

Dr. Evgueni Tarkhanov ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAP in Potsdam.

Dank

Die Autoren möchten sich bei den folgenden Personen bedanken:

- Dr. Christian Schütz vom Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF für die Projektleitung.
- Dr. Daniel Zehm und André Gomoll vom Fraunhofer-Institut IAP für die fachliche Unterstützung und Durchführung der Versuche zur Polymerisation der Rezyklate.
- Philipp Schächtele vom Fraunhofer ICT für die Durchführung der PET-Solvolys Versuche.
- Tanja Ginzinger vom Fraunhofer IVV für die Durchführung der PP lösemittelbasierte Recyclingversuche.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv



Bild 4. Rezyklierter Bishydroxyethylterephthalat aus der PET-Misch

Fraktion. © Fraunhofer ICT



Bild 5. Hergestelltes Multifilamentgarn aus 100 % rezyklierten PET.

© Fraunhofer IAP

Prozess der Glykolyse, ein Spezialfall der Solvolyse unter Verwendung von Ethylenglykol, angewendet. Die vorliegende PET-Fraktion wurde dabei ohne weitere Vorbehandlung eingesetzt. Im Prozess wird PET in Bishydroxyethylterephthalat (BHET) als Monomer gespalten (**Bild 4**). Dabei wurde der Kunststoff nahezu vollständig umgesetzt.

Alle anderen Bestandteile der Abfallfraktion wurden als unlöslicher Anteil nach der Reaktion abfiltriert. Die Vorteile dieses Prozesses sind unter anderem, dass sich das erhaltene recycelte Monomer rBHET gut umkristallisieren lässt. Dadurch ist eine einfache Abtrennung von Fremdstoffen und Additiven möglich und das Monomer kann in guter Reinheit und moderater Ausbeute isoliert werden.

Das umkristallisierte rBHET wurde anschließend am Fraunhofer IAP zu hochwertigem rPET für textile Anwendungen umgesetzt (**Bild 5**). Das rPET

das Garn auf einer Reckanlage mit einem Reckfaktor von 1,8 verstreckt und seine mechanischen Eigenschaften untersucht.

Fasereigenschaften und Anwendungspotential

Die hergestellten Fasermusterproben weisen sehr gute mechanische Eigenschaften für textile Anwendungen auf. Die feinen rPP- und rPET-Einzelfilamente der Garne besitzen Eigenschaftsprofile (**Tabelle 1**), die sich für vielfältige Anwendungen eignen.

Die Qualität der aufgearbeiteten Rezyklate ermöglicht zudem die direkte Verarbeitung der Materialien zu Spinnvliesen. Dieser Herstellungsprozess stellt nahezu identische Anforderungen an das Material wie die Faserproduktion nach dem Schmelzspinnverfahren. Dadurch könnten weitere umsatzstarke Märkte mit den o.g. Produkten wie Dach-

textilien, Zeltstoffen oder Bezugsstoffen für Möbel und die Automobilbranche verwendet werden.

Fazit und Ausblick

Der selektive Löseprozess für PP ermöglicht es, Verunreinigungen wie Fremdstoffe oder Additive effektiv abzutrennen und ein hochwertiges Rezyklat zu gewinnen, das nahezu Neuware-Qualität erreicht. Die Technologie schafft somit eine Voraussetzung für eine echte Kreislaufwirtschaft und eine nachhaltigere Zukunft der Kunststoffindustrie.

Bei PET-Verpackungsabfällen erweist sich die Solvolyse als geeignete Methode. Sie ermöglicht die Rückgewinnung des Monomers BHET. Entscheidend ist dabei die Robustheit des Verfahrens. Projektarbeiten des Fraunhofer CCPE zeigten, dass verunreinigte Abfallströme die Prozessstabilität nicht beeinträchtigen. Damit eignet sich die Solvolyse als ideale Ergänzung zum mechanischen Recycling von PET, das auf saubere Materialströme angewiesen ist.

Die Entwicklungen des Fraunhofer CCPE zeigen, erst durch die Integration fortschrittlicher Verfahren wie lösemittelbasiertes und chemisches Recycling wird eine echte Kreislaufwirtschaft mit optimierter Ressourcennutzung erreichbar. Um die Technologien zur Marktreife zu bringen und eine nachhaltige Zukunft für Kunststoffe zu sichern, ist nun die gezielte kooperative Umsetzung mit der Industrie und aktive Unterstützung durch die Politik erforderlich. ■

Tabelle 1. Zugeigenschaften (Einzelfilamente) der nachverstreckten rPP- und rPET-Garne, Prüfautomat Favimat. Quelle: Fraunhofer CCPE

Rezyklat	Titer [dtex]	Festigkeit [cN/tex]	E-Modul [cN/tex]	Bruchdehnung [%]
rPP _{32F55dtex}	1,73 ± 0,1	42,1 ± 3,6	454,1 ± 41,9	58,4 ± 10,4
rPET _{48F46dtex}	0,95 ± 0,1	45,1 ± 5,7	774,7 ± 80,9	11,9 ± 2,5

wurde auf einer Pilot-Schmelzspinnanlage zu Multifilamentgarn mit 48 Filamenten verarbeitet. Dies gelang mit sehr guter Spinnstabilität und einer hohen Verstreckbarkeit des Materials bis in den Mikrofaserbereich. Anschließend wurde

unterspannbahnen oder Geotextilien angesprochen werden. Darüber hinaus eignet sich das rPP-Garn für Applikationen wie Filter, Teppiche, Kunstrasen oder Markisen. Das rPET-Garn könnte hingegen zur Herstellung von Kleidung, Heim-