

## Die Eigenschaften von Rezyklaten ermitteln

# Verunreinigungen auf der Spur

Die schwankenden Eigenschaften von Rezyklaten stellen für Kunststoffverarbeiter eine große Herausforderung dar. Die Vorhersage ihrer Qualität ist aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren und Arten von Verunreinigungen sehr komplex. Abhilfe dafür möchte das Forschungsprojekt PlasticBond schaffen. Erste Ergebnisse sind vielversprechend.

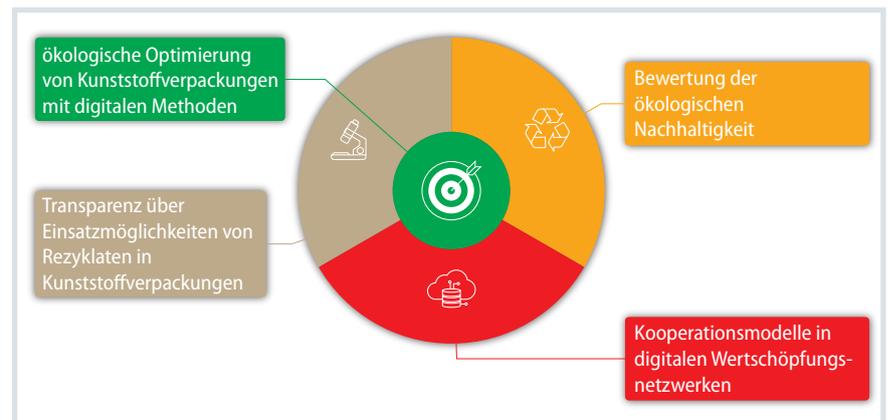
**E**in sinnvoller Rezyklateinsatz im Verpackungsbereich ist unter anderem abhängig von den erzielbaren Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften. Aufgrund der unterschiedlichen Herkunft des Abfalls und der verschiedenen Lieferanten eines Kunststoffverarbeiters unterliegen Rezyklate Schwankungen. Die Materialeigenschaften sind somit nicht konstant und können nur schwer vorhergesagt werden. Bei der Folienextrusion können beispielsweise Verunreinigungen zu Stippen beim späteren Produkt führen. Je nach Größe und Ausprägung einer Stippe ist es wichtig, diese näher zu untersuchen. Neben optischen Beeinträchtigungen der Folien können nämlich auch wichtige Funktionen wie die Bedruckbarkeit, die Barriere- und die mechanischen Eigenschaften negativ beeinflusst werden. Im schlimmsten Fall führt das dazu, dass eine Folie sich für gewisse Einsatzbereiche nicht mehr eignet.

Zur Untersuchung der Eigenschaften von Recyclingkunststoffen am Granulat (etwa der Anteil an Fremdstoffen) existieren verschiedene Methoden, jedoch keine etablierten Standardvorgaben, anhand derer auf die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften geschlossen werden kann. Bestehende Normen wie EN 15344 und EN 15345 für Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) zur Charakterisierung von Rezyklaten reichen oftmals nicht aus für eine umfassende Überprüfung der Materialqualität, da sie kaum angepasste Prüfverfahren beinhalten.

Neben den Materialeigenschaften eines Rezyklats müssen für eine Verbesserung der Nachhaltigkeit von Verpackungen auch alle möglichen Auswirkungen auf die Umwelt untersucht

werden (z. B. durch die Art der Verwertung). Zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Produkten und Prozessen werden Ökobilanzen herangezogen. Auf diese Weise kann die Kreislaufführung eines Produkts mit konventionellen, linearen Prozessketten anhand definierter Wirkungsindikatoren zur Beschreibung der Umweltauswirkung von Elementarflüssen (z. B. dem Treibhauspotenzial) verglichen werden. Ein ökologisch und ökonomisch optionaler Einsatz von Recycling-

Bundesministerium für Bildung und Forschung – untersucht (**Bild 1**). Dafür wird anhand eines Standbodenbeutels, aus einer kommerziell eingesetzten Mono-PE-Struktur, mit einer Vielzahl an Partnern ein allgemeines Beschreibungsmodell zur Bewertung von Kunststoffverpackungen erstellt (beteiligte Unternehmen siehe nebenstehender **Kasten**). Parallel dazu werden die Auswirkungen des Rezyklateinsatzes unter Verwendung unterschiedlicher Materialqualitäten und



**Bild 1.** Für die Zielerreichung von PlasticBond sind drei Kernbereiche entscheidend.

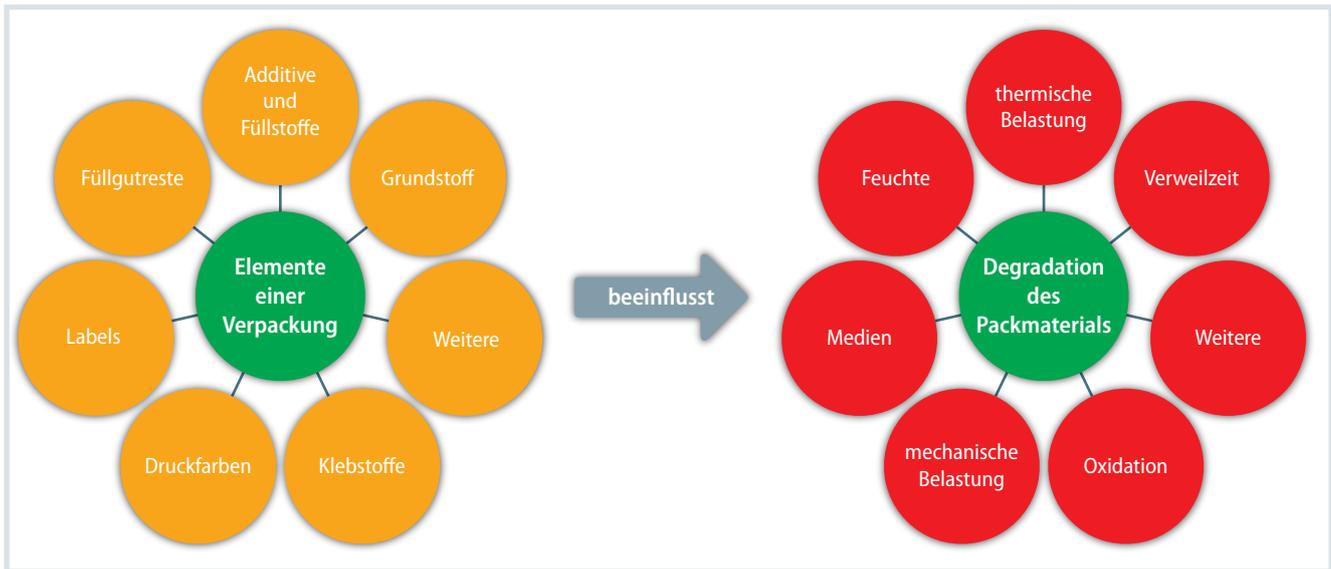
Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

kunststoffen in einer Kreislaufwirtschaft stellt folglich Anforderungen an jeden Schritt des Produktlebenszyklus.

### **PlasticBond: Nachhaltige Verpackungen gestalten und bewerten**

Wie Kunststoffverpackungen mit Hilfe von digitalen Technologien möglichst nachhaltig gestaltet werden können, wird gegenwärtig im Forschungsprojekt „PlasticBond“ – gefördert durch das

variiender Rezyklatanteile auf die Verarbeitungsprozesse und deren Einfluss auf eine ideale Prozessführung untersucht. Aufgrund des hohen werkstofflich verwertbaren Anteils in Siedlungsabfällen konzentriert sich die Betrachtung auf die Standardpolymere PE und PP. Die Untersuchungen sollen Aufschluss über Grenzen der Kunststoffverarbeitungsprozesse und die je nach Anwendung benötigten Kenn- bzw. Mindestwerte beim Rezyklateinsatz aufzeigen.

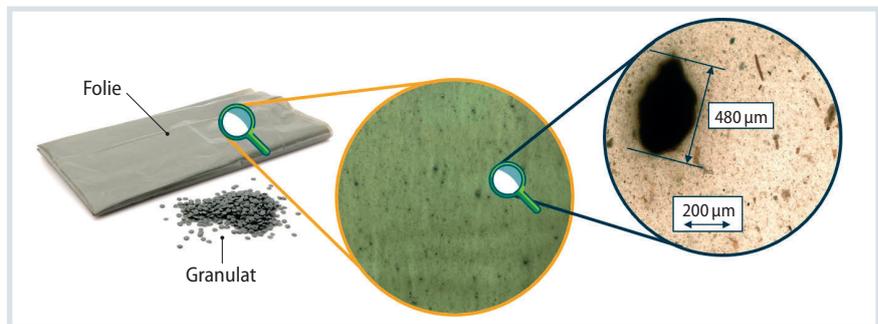


**Bild 2.** Die verschiedenen Elemente, aus denen moderne Kunststoffverpackungen bestehen, beeinflussen gleichzeitig auch die Degradation des Materials. Da die Faktoren so zahlreich sind, ist eine Vorhersage sehr komplex. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Infolge der zahlreichen möglichen Einflussfaktoren auf die Materialeigenschaften eines Rezyklats und aufgrund der großen Menge an benötigten technischen Daten (z. B. Energie- und Stoffbedarfe) zur Erstellung einer Ökobilanz ist ein partnerschaftliches Kooperationsnetzwerk zum sicheren Austausch relevanter Informationen erforderlich. Flankierend werden daher Kooperationsmodelle ausgearbeitet, da solche Informationen aktuell nicht digital entlang der Wertschöpfungskette verfügbar sind. In diesem Zusammenhang wird eine Datenplattform entwickelt, die die Aufgabe hat, den allgemeinen Informationsaustausch zu steigern, Wertstoffströme nachzuverfolgen und Nachhaltigkeitsdaten über Rohstoffe beziehungsweise Produkte zu hinterlegen.

**Wie beeinflussen Verunreinigungen die Rezyklateigenschaften?**

Verunreinigungen haben je nach Größe und Menge einen unterschiedlichen Einfluss auf den Aufbereitungsprozess und damit auf das Materialverhalten (Bild 2). Beispielsweise lassen sich Rückstände der meisten Barrierschichten sowie Haftvermittler und teilweise organische Verunreinigungen mit den gängigen Recyclingverfahren nicht wirtschaftlich entfernen. Darüber hinaus enthalten Folienprodukte neben den Basismaterialien auch Etiketten, Klebstoffe und Farbpigmente (z. B. Druckfarben) sowie Additive (z. B. Verarbeitungshilfsmittel) und



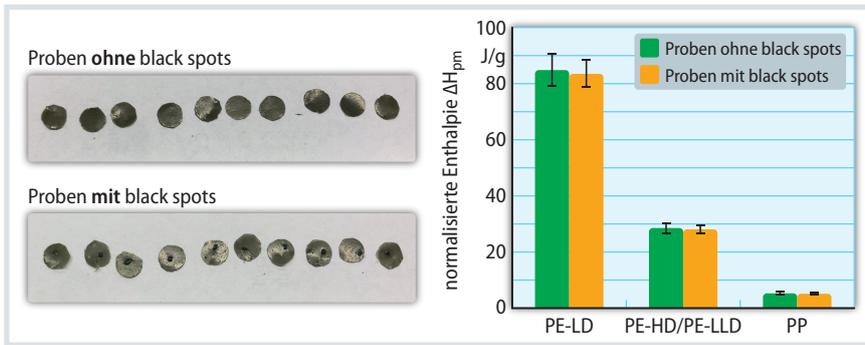
**Bild 3.** Aus Rezyklaten hergestellte Produkte wie Folien weisen in der Regel zahlreiche Verunreinigungen auf. Vor allem sogenannte black spots treten häufig auf. © IKV

Füllstoffe (z. B. Mineralien). Insgesamt verändern die verschiedenen Verunreinigungen je nach Art und Konzentration die Materialeigenschaften in unbekanntem Ausmaß. Neben dem direkten Einfluss der Verunreinigungen auf die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften wird auch der Abbau der Polyolefine durch sie beeinflusst. Zum Beispiel können metallische Verunreinigungen oder Pigmente zur Einfärbung von Kunststoffen den thermooxidativen Abbau beschleunigen.

Der Einfluss von Verunreinigungen in Kombination mit dem Abbau von Kunststoffen ist noch nicht ausreichend verstanden und Untersuchungen an Neuware können nicht direkt auf Rezyklate übertragen werden. Das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen analysiert deshalb im Rahmen des PlasticBond-Projekts die in handelsüblichen Rezyklaten enthaltenen Verunreinigungen und den Material- »

**Projektbeteiligte PlasticBond**

- Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG
- Interzero Circular Solutions Germany GmbH
- Reifenhäuser Blown Film GmbH
- Arburg GmbH + Co. KG
- Henkel AG & Co. KGaA
- Pöppelmann GmbH & Co. KG Kunststoff-Werkzeugbau
- Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen
- Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen
- Carbon Minds GmbH
- Reifenhäuser GmbH & Co. KG Maschinenfabrik



**Bild 4.** Die Untersuchungen zeigen, dass sich die black spots nur in sehr geringem Umfang auf die Schmelzenthalpie auswirken. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

abbau. Dabei liegt der Fokus auf nicht-flüchtige Verunreinigungen. Eine Analyse der Zusammensetzung flüchtiger Bestandteile findet bereits in anderen Projekten am IKV statt (z.B. „RezyPlas“). Die gewonnenen Ergebnisse sollen eine Grundlage für die Erforschung des Abbauzustands von rezyklierten Polyolefin-Mischungen bilden und zur Optimierung der Polyolefin-Verarbeitungsbedingungen bei der Herstellung dienen. Damit wird langfristig die Erstellung einer Material- und Prozessspezifikation möglich, bei deren Einhaltung der Polymerabbau in vorhersagbaren und kompensierbaren Bereichen bleibt.

### Rezyklatfolie zeigt die Komplexität

Wie komplex die Zusammensetzung der Rezyklate ist, verdeutlicht sehr gut eine Blasfolie aus einem rezyklierten PE-LD (**Bild 3**). Das Rezyklat entstammt dem Leichtverpackungsabfall, der im Rahmen der dualen Systeme gesammelt und werkstofflich verwertet wurde. Mikroskopische Aufnahmen geben einen qualitativen Überblick über die Art der Verunreinigungen, die sich in Farbe, Größe und Form stark unterscheiden. Unabhängig von der Vielfalt der Partikel dominieren dunkle Flecken, sogenannte black spots, bzw. größere Materialanhäufungen, die deutlich größere Dimensionen als die spezifizierte Porengröße des verwendeten Schmelzfilters aufweisen. Grundsätzlich können Stippen unterschiedliche Ursachen haben wie Fremdkörper, Fremdkunststoffe, Agglomeratbildung von Füllstoffen, Vernetzung von Polymeren und der Abbau von Kunststoffen. Auf Basis aktueller Analysen wird davon ausgegangen, dass diese Partikel bei Extrusionstemperatur

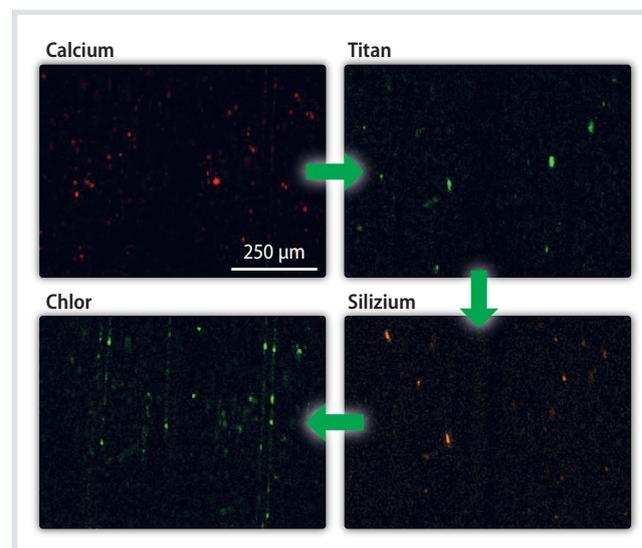
eine gelartige Konsistenz besitzen und deshalb unter Verformung den Filter passieren können. Dieses Verhalten deutet auf hochmolekulare oder vernetzte Strukturen aus PE hin.

Der Einfluss der black spots auf die thermischen Eigenschaften wurde mittels der dynamischen Differenzkalorimetrie (DSC) analysiert. In **Bild 4** dargestellt sind die präparierten Proben jeweils ohne und mit black spots, wobei die black spots ca. 10 bis 15 % des Gesamtgewichts ausmachen. Es wurde zunächst der Einfluss der Präsenz eines Partikels in jeweils einer Probe auf die Schmelzenthalpie (im zweiten Aufheizprozess, bei 10 K/min) betrachtet. Unter der Voraussetzung gleicher Abkühlbedingungen und gleicher Probenmenge (ca. 1,5 mg) würde sich im Falle größerer Füllstoffagglomerate die Schmelzenthalpie verringern. Es wurden Messungen an zehn Proben mit und ohne black spots durchgeführt. Das Ergebnis für die Schmelzenthalpien von PE-LD, PE-HD

bzw. PE-LLD und PP mit und ohne black spots zeigt keine signifikanten Unterschiede (**Bild 4**). Vernetzungen würden die Kristallinität von PE-LD und PE-HD verringern, da Vernetzungen einerseits die Menge des kristallisierbaren Materials reduzieren und andererseits die Mobilität der Ketten behindern. Die Abkühlung aller Proben zeigte einen ähnlichen Kristallisationstemperaturbereich und eine vergleichbare Endkristallinität. Es konnten daher auch hier keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

### Kombination von Analysemethoden entscheidend

Als weitere Methode zur Charakterisierung der Stippen wurden die Folien mittels eines Rasterelektronenmikroskops (REM) und der energiedispersiven Röntgenstrukturanalyse (EDX) untersucht. Diese Kombination ermöglicht eine ortsaufgelöste Darstellung sowie eine halbquantitative Analyse in Form von relativen Elementanteilen. **Bild 5** zeigt beispielhaft die Elementverteilungsbilder eines Probenausschnitts, wobei Calcium am stärksten vertreten ist. Die Verteilungsbilder zeigen, dass alle dargestellten Partikel deutlich kleiner als die Filterporenweite sind. Das deutet darauf hin, dass die black spots organischer Natur sind. Bei nachfolgenden Untersuchungen am Granulat wurden darüber hinaus nur wesentlich kleinere Fremdstoffe als die im **Bild 3** gezeigten black spots gefunden. Das Auffinden größerer Fremdkörper in der Folie könnte daher ein Indiz



**Bild 5.** Eine Analyse der relativen Elementanteile ermöglicht Rückschlüsse, ob die Rezyklate organische Verunreinigungen enthalten. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

dafür sein, dass Rezyklate möglicherweise stärker zur Gelbfärbung neigen als Neuware.

Das Beispiel der Folienanalyse zeigt, dass eine Materialcharakterisierung immer anhand einer Kombination unterschiedlicher Analysemethoden erfolgen muss und sich Methoden unterschiedlich gut für die jeweilige Analyseaufgabe eignen. Zukünftig sollen weitere Möglichkeiten eruiert werden, solche Stippen näher zu analysieren (z. B. mittels FT-IR-Spektroskopie) und auch zu reduzieren (z. B. mittels Flächenfiltration).

### Fazit

Gegenwärtig führen Defizite in der Rezyklatencharakterisierung und bei der ökologischen Bewertung dazu, dass in der Industrie bevorzugt individuell und bilateral vereinbarte Qualitätsparameter und Lieferbedingungen zur Anwendung kommen. Vor dem Hintergrund der Vielfalt derartiger Insellösungen stellt sich die Frage, inwieweit branchenspezi-

fisch übergeordnete Reglementierungen einer zunehmenden Werkstoff- und Prozessdiversität überhaupt gerecht werden können und nach welchen Maßstäben sie angesetzt werden müssten. Primär gilt es, durch Standardisierungen Vergleichbarkeiten zu schaffen, um beispielsweise ein werkstoffliches Qualifizierungsniveau zu erreichen. Das bietet dem Verarbeiter eine hinreichende Handhabungssicherheit und Gewissheit über relevante Eigenschaften.

Für das PlasticBond-Konsortium sind eine zielgerichtet eingesetzte Kunststoffanalyse und -prüfung zentraler Bestandteile bei der Beantwortung dieser Fragestellungen. Diese steht zugleich in der Verantwortung, Möglichkeiten und Grenzen von Rezyklaten anwendungsbezogen zu identifizieren, um deren Akzeptanz und Verbreitung zu steigern. Darüber hinaus wird eine die komplette Prozesskette erfassende Nachhaltigkeitsbewertung Aussagen über die bestmöglichen Einsatzorte solcher Rezyklate erlauben. ■

## Info

### Text

**Elena Berg, M.Sc.**, ist Gruppenleiterin Verfahrenstechnik Extrusion am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) der RWTH Aachen; elena.berg@ikv.rwth-aachen.de  
**Prof. Dr. Rainer Dahlmann** ist außerplanmäßiger Professor am Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung und wissenschaftlicher Direktor Kreislaufwirtschaft am IKV.  
**Malte Schön, M.Sc.**, leitet die Abteilung Extrusion und Kautschuktechnologie am IKV; malte.schoen@ikv.rwth-aachen.de

### Dank

Das Vorhaben PlasticBond wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02J20E540 gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

HANSER

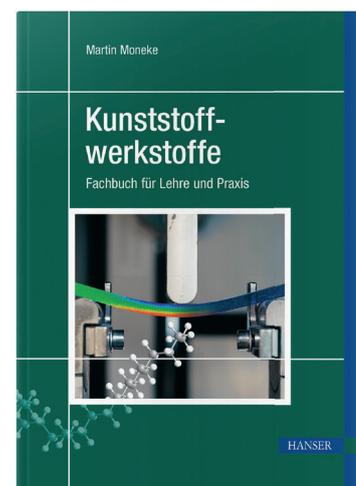
# Werkstoffe besser verstehen



Kesmarszky  
**Lacke und Beschichtungen für die Verpackungsindustrie**  
 € 179,99 | ISBN 978-3-446-47018-7

Erklärt, wie die eingesetzten Bindemittel und Additive miteinander unter thermischen Einflüssen wirken und welche Effekte sie bei der richtigen Zusammensetzung und Anwendung hervorrufen.

Das Buch bietet einen schnellen Überblick über Kennwerte und deren Ermittlung als auch über die Hintergründe für das Verhalten von Kunststoffen erlangen möchten.



Moneke  
**Kunststoffwerkstoffe**  
 € 39,99 | ISBN 978-3-446-47016-3