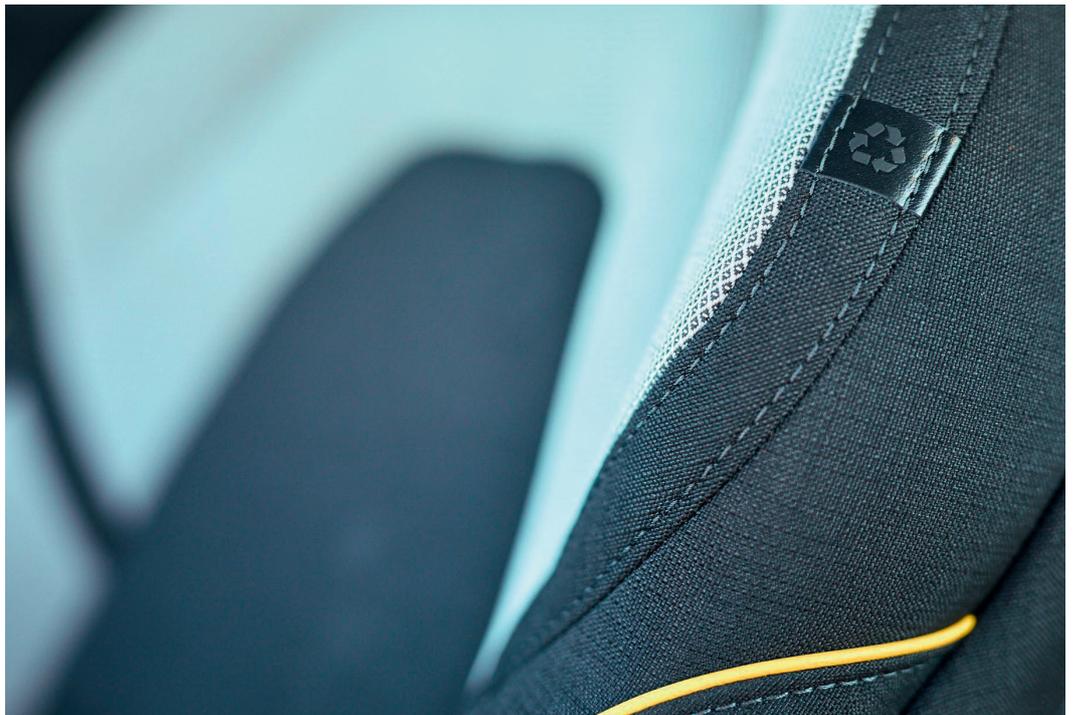


# Zweites Leben auf hohem Niveau

## Qualitätssteigerung bei Material und Verarbeitung auf dem „Praxisforum Kunststoffrezyklate“

Nicht nur Gesetzgeber wollen die Kreislaufwirtschaft fördern, auch in Gesellschaft und Industrie haben Rezyklate wieder höchste Bedeutung erlangt. Auf einer neuen, zweitägigen Tagung Anfang April tauschten sich Kunststoffexperten unter anderem über fortschrittliche Additive, Verfahrensoptimierungen und erfolgreiche Anwendungen aus, um hochwertige Rezyklate zu erreichen.

Fahrzeugsitze aus PET-Fasern von Plastikflaschen im Fahrzeug-Prototyp Volvo XC60. Recycling von Altkunststoffen zu hochwertigen Anwendungen ist erklärtes Entwicklungsziel. Das erfordert allerdings mehr als nur sammeln, sortieren und compoundieren (© Volvo)



Das werkstoffliche Recycling ist die bevorzugte Option für die Verwertung von Altkunststoffen. 2016 wurden in Europa 31 % der gesammelten Altkunststoffe auf diesem Weg rezykliert, was einer Menge von nahezu 9 Mio. t entspricht [1]. Deutschland nimmt hier eine führende Stellung ein, immerhin 1,8 Mio. t Rezyklat ersetzen hier bereits Neuware und andere Werkstoffe [2].

EU-Vorgaben erfordern jedoch eine weitere Steigerung der werkstofflichen Verwertung, wobei das Thema Qualität mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Moderne Aufbereitungsverfahren und Recycling-Additive spielen dabei eine

wichtige Rolle – vor allem, wenn Rezyklate Neukunststoffe mit einem vergleichbaren Eigenschaftsprofil ersetzen sollen. Vor diesem Hintergrund fand am 9. und 10. April 2019 in Frankfurt zum ersten Mal die Fachtagung „Praxisforum Kunststoffrezyklate“ statt, organisiert vom Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München. In 18 Vorträgen wurde der Stand der Technik zur Qualitätssteigerung erläutert und im Kreis von Experten diskutiert.

### Additive für Kunststoff-Rezyklate

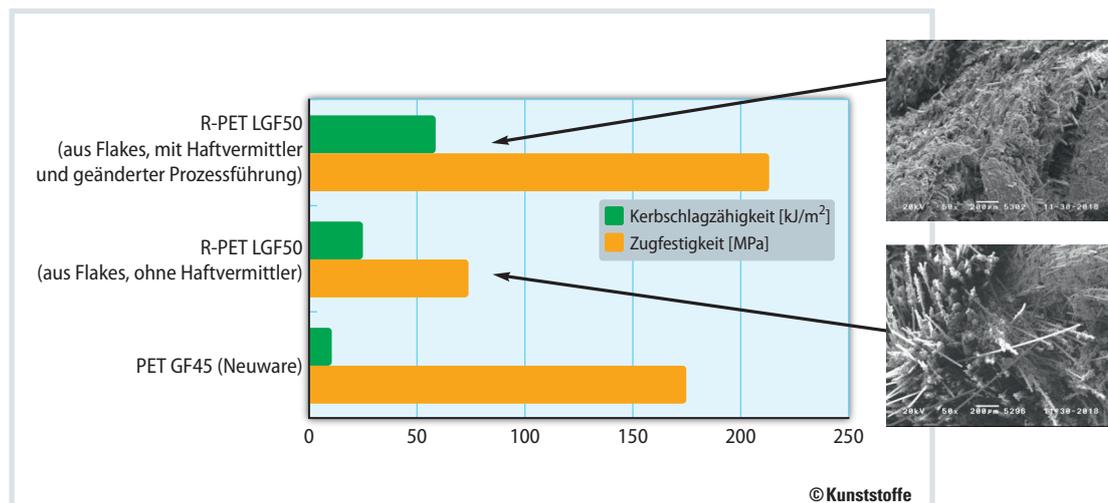
Mit der Ausnahme von wenig geschädigten Produktionsabfällen kann ein Alt-

kunststoff nicht in der Form eingesetzt werden wie er anfällt oder gesammelt wird. Üblicherweise wird dieser, wenn notwendig, sortiert, gereinigt und mit Additiven compoundiert, um ein verkaufsfähiges Granulat zu erhalten. Die meistverwendeten Additive in Rezyklaten sind nach wie vor [3]:

- Stabilisatoren, wie Antioxidantien und Lichtstabilisatoren
- Reaktive Moleküle, die z.B. als Kettenverlängerer oder „Repair“-Systeme beschrieben werden
- Verträglichkeitsvermittler oder Kompatibilisatoren
- Geruchsverbesserer

**Bild 1.** Mit dem richtigen Additivpaket lassen sich PET-Flaschen-Rezyklate für technische Einsatzzwecke aufbereiten

(Quelle: Fraunhofer LBF)



Die Nachstabilisierung ist eine wesentliche Methode zur Qualitätsverbesserung von Rezyklaten. Die eingesetzten Stabilisatoren schützen das Rezyklat vor weiterer oxidativer und/oder photooxidativer Schädigung analog zum Neumaterial. Stabilisatorreste aus der Erstanwendung helfen beim Rezyklieren und bei der weiteren Rezyklatstabilisierung. Zusätzlich muss die verbrauchte Stabilisatormenge aus der Erstanwendung zumindest ersetzt werden. Die Reststabilisatormenge ist auch in der Regel nicht ausreichend, vor allem wenn der Übergang von einer Kurzzeit-Erstanwendung z.B. bei Verpackungen in eine Langzeitanwendung beabsichtigt wird. Mittlerweile hat sich bei vielen Untersuchungen gezeigt, dass sich hinsichtlich Preis/Leistung die beste Stabilisierung für ein Rezyklat von der Stabilisierung für Neuware unterscheidet. Heutige Stabilisatorsysteme für Rezyklate werden daher häufig auf die jeweilige Rezyklatquelle unter Berücksichtigung von Alterung und etwaigen Verunreinigungen sowie den Anforderungen der Zielanwendung maßgeschneidert (**Titelbild**).

Stabilisatoren für die Nachstabilisierung von Rezyklaten (mit Ausnahme von Polyvinylchlorid, PVC), für die Verarbeitung und Langzeit-Wärmestabilität sind vorwiegend auf der Basis von phenolischen Antioxidantien, Phosphiten oder Phosphoniten in Kombination mit Costabilisatoren wie z.B. mit Säurefängern. Gehinderte Amine (HA(L)S) und UV-Absorber verbessern die Lichtstabilität. Stabilisatoren für Rezyklate wurden etwa mit der Recyclostab-, Recyclossorb-, Recycloblend- und der Advance-Reihe (Herstel-

ler: BYK Chemie GmbH, Wesel) und von der BASF SE, Ludwigshafen, vorgestellt. Notwendige Konzentrationen zur Nachstabilisierung liegen in der Regel und in Abhängigkeit von der Anwendung zwischen 0,1 und 0,5%.

### Upcycling von Polymeren

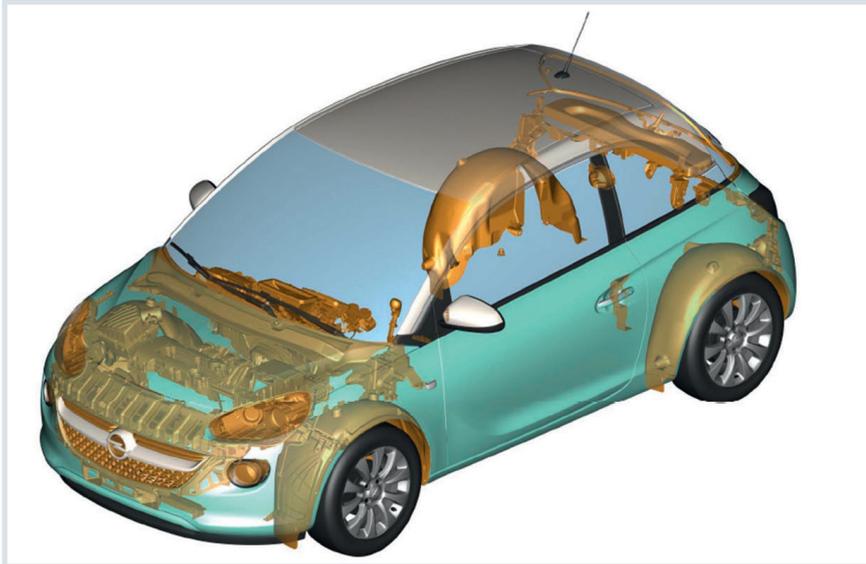
Stabilisatoren können im Allgemeinen nur die vorhandenen Eigenschaften über einen gewissen, aber durchaus ausgedehnten Zeitraum erhalten. Es ist damit nicht möglich, ein vorgeschädigtes Polymer, das etwa eine Erniedrigung des Molekulargewichts erlitten hat, wieder zu heilen. Bei Polykondensationspolymeren wie etwa Polyestern oder Polyamiden sind jedoch chemische Endgruppen (-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>) vorhanden, die mit geeigneten Partnern zur Reaktion gebracht werden können, wodurch ein Molekulargewichtsaufbau stattfindet. Da die ursprünglich vorhandenen Eigenschaften auch durch das Molekulargewicht definiert werden, können so Vorschädigungen gleichsam repariert werden. Für diese Zusätze haben sich Begriffe wie Repair-Additive oder Repair-Systeme etabliert, sie werden häufig auch als Kettenverlängerer bezeichnet. Produkte zur Anpassung des Molekulargewichts bzw. der Schmelzviskosität von Polyamiden wurden von der L. Brüggemann GmbH & Co. KG, Heilbronn, unter dem Handelsnamen Bruggolen vorgestellt. Mechanische Eigenschaften und Verarbeitungseigenschaften wie bei Neuware können damit erreicht werden.

Die Methode des Molekulargewichtsaufbaus und der Anpassung der Eigen-

schaften mittels Additiven ist bei Rezyklaten besonders interessant, da damit einfache Rezyklate z.B. aus Flaschenanwendungen für technische Anwendungen aufgebessert werden können (Upcycling). Beispielsweise kann mit dem richtigen Additivpaket, mit Haftvermittlern, einer angepassten Prozessführung und Langglasfaserverstärkung von PET-Flaschen-Rezyklat Polyamid-Neuware in Automobilanwendungen ersetzt werden, wie vom Fraunhofer LBF auf der Tagung vorgestellt wurde (**Bild 1**).

### Kompatibilisatoren und Geruchsverbesserer

Polymere unterschiedlicher Struktur sind thermodynamisch nicht mischbar, bilden dadurch keine homogenen Blends aus, haben unzureichende mechanische Eigenschaften und neigen zum Delaminieren. Das Polymer in höherer Konzentration bildet in der Regel eine kontinuierliche Phase aus, in der das andere Polymer mit der niedrigeren Konzentration verteilt vorliegt. Die Haftung zwischen der kontinuierlichen und der dispersen Phase ist verhältnismäßig gering. Hier kommen Kompatibilisatoren (Verträglichkeitsvermittler) ins Spiel. Ein Kompatibilisator ist gemäß den Molekülstrukturen der zu mischenden Polymere auszuwählen und enthält üblicherweise Strukturelemente der Blendkomponenten. Ein universeller Kompatibilisator für alle denkbaren Polymermischungen ist dadurch kaum möglich. Entsprechend werden für spezifische Rezyklatmischungen geeignete Kompatibilisatoren in angepassten Zusammensetzungen und Einsatzmengen be- »



**Bild 2.** Freigegebene Rezyklatanwendungen (orange) im Opel Adam (© Opel)

schrieben. Die notwendigen Einsatzkonzentrationen von Kompatibilisatoren, um einen signifikanten Effekt zu erzielen, liegen üblicherweise oberhalb von 5 %.

Kompatibilisatoren, die für Rezyklate angeboten werden, adressieren vor allem die folgenden Fragestellungen: Polyolefin-Mischungen aus PE und PP, Polyolefine mit geringen Verunreinigungen an polaren Polymeren wie PA oder EVOH (z.B. aus Fo-

lien) und Polyamide bzw. Polyester, die mit (geringen) Mengen von Polyolefinen verunreinigt sind. Kompatibilisatoren sind im Normalfall Polymere und damit die Domäne der Polymerhersteller wie der Dow Chemical Company, Horgen/Schweiz, mit Engage, Infuse, Retain, Fusabond, Entira u.a. oder auch Exxon Mobil Corporation Irving/Texas/USA, mit Vistamaxx, aber werden auch von Additivherstellern mit z.B. entsprechenden Pfropfcopolymeren offeriert (z.B. BYK Chemie, Wesel, unter dem Handelsnamen Scona).

Manche Rezyklate weisen aufgrund vorhergehender Einsatzzwecke, z.B. als Lebensmittelverpackungen, aber auch als Folge des Abbaus Verunreinigungen auf, die sogar nur in Spuren bei der Verarbeitung und in der Folgeanwendung einen unangenehmen, nicht tolerierbaren Geruch bewirken. Der Markt bietet daher verschiedene Additive an, die diese unerwünschten Gerüche überdecken, beseitigen oder zumindest reduzieren. Geruchsabsorber wie z.B. Zeolithe, die aufgrund ihrer Käfigstruktur Moleküle einlagern können, können Gerüche beseitigen. Eine nachhaltigere Wirkung bieten reaktive Zusätze, die mit funktionellen Gruppen der Geruchsverursacher (oft schwefelhaltige Komponenten oder Amine) eine chemische Reaktion eingehen und diese dann in nichtflüchtige und damit nicht mehr riechende Verbindungen umwandeln. Auf dieser Basis wirkt z.B. Zinkricinoleat (Typ: Tego sorb PY 88, Hersteller: Evonik Industries AG, Essen), wobei eine Komplexbildung mit Schwe-

felwasserstoff, Merkaptanen, Thioethern und Aminen erfolgen kann. Häufig ist es jedoch schwierig, einzelne Geruchskomponenten zu identifizieren, wodurch nur der Versuch und die Nase eine Wirksamkeit beweisen können.

### Anwendungen von Qualitätsrezyklaten und Umdenken

In einem eigenen Tagungsblock wurden erfolgreiche Rezyklatanwendungen vorgestellt, die über die ganze Bandbreite von Kunststoffen mittlerweile zugänglich sind. Beispielhaft zu nennen sind Folien für Schwerlastsäcke (Norec-Verfahren der RPC bpi Nordfolien GmbH), PET/PBT-Compounds für Automobilanwendungen (A. Schulman, Inc.), PVC-Fensterprofile (Rewindo Fenster-Recycling-Service GmbH) bis hin zu kohlefaserverstärkten Rezyklaten (Albis GmbH mit Altech Eco) und PET für Lebensmittelanwendungen (Erema Engineering Recycling Maschinen und Anlagen Ges.m.b.H.). Auch Rezyklate aus dem gelben Sack können mit der entsprechenden Sortier- und Aufbereitungstechnik wertvolle Produkte ergeben (mtm plastics GmbH), z.B. auf PE- und PP-Basis. Seitens der Anwender werden auch zunehmend Rezyklate zur Anwendung freigegeben, wie etwa von Opel Automobile GmbH beispielhaft dargestellt (**Bild 2**).

Die Kreislaufwirtschaft erfordert ein Umdenken auf verschiedenen Ebenen. Kunststoffe können generell besser stabilisiert werden, um eine verlängerte Lebensdauer sicherzustellen, auch eine Ausrüstung mit Additiven im ersten Leben, um das Rezyklieren zu erleichtern, kann ein Ansatz sein. Toleranzen und Akzeptanz im Markt sowie stabile Stoffströme sind weitere Elemente wie auch das Design für Recycling, z.B. sind Papierreste von Verbundstoffen oder schwer entfernbare Klebstoffe von Etiketten ein häufig genanntes Problem. Die Steigerung des werkstofflichen Recyclings mit qualitativ überzeugenden Rezyklaten wird nicht die einzige Lösung für Kunststoffe nach dem Einsatz sein, aber einen wesentlichen Beitrag für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft liefern. Additive wie z.B. maßgeschneiderte Stabilisatorsysteme und polymere Zusätze in Form von Kompatibilisatoren tragen entscheidend dazu bei, das werkstoffliche Recycling weiter zu steigern. ■

## Der Autor

**Prof. Dr. Rudolf Pfaendner** ist nach 25 Jahren in der Kunststoff- und Additivindustrie heute Bereichsleiter Kunststoffe im Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF Darmstadt, Honorarprofessor an der TU Darmstadt und Tagungsleiter des „Praxisforums Rezyklate“; [rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de](mailto:rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de)

## Fortsetzung folgt

Nach einem erfolgreichen Auftakt wird die Veranstaltung auch 2020 weitergeführt. Merken Sie sich hierfür schon den Termin 24./25. März 2020 vor.

## Service

### Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2019-06](http://www.kunststoffe.de/2019-06)