

Überblick: Additive für Kunststoffrezyklate

# Vitamine für die Kreislaufwirtschaft

Die Anforderungen an Rezyklate und deren Qualität steigen. Verbesserung lassen sich insbesondere durch geeignete Additive erzielen. Die Anzahl der Anbieter und Produkte hat deutlich zugenommen und vielfach werden mittlerweile rezyklatoptimierte Systeme angeboten. Wichtige Typen sind Stabilisatoren, Kompatibilisatoren und Additive zur Geruchsverbesserung. Ein Überblick über die Vielfalt der Produkte und deren Anbieter.



© Adobe Stock; Digitalstock

**A**uch wenn in Europa 2021 bereits 35 % der gesammelten Altkunststoffe dem Recycling zugeführt wurden, decken diese mit 5,5 Mio. t dennoch nur 9,9 % des Gesamtbedarfs ab [1]. Trotz Investitionen in das chemische Recycling wird das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen die bevorzugte Option für die Verwertung von Altkunststoffen bleiben. Schließlich ist es aus energetischer Sicht sinnvoller und die Verfügbarkeit höher. Eine weitere Verschiebung von der

Deponierung und Energiegewinnung hin zum werkstofflichen Recycling ist in Europa unumgänglich, um die politischen Vorgaben hinsichtlich Recyclingquoten etwa bei Verpackungen zu erfüllen. Bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es einen Mangel an qualitativ hochwertigen Rezyklaten.

Selbstverständlich sind funktionierende Sammelsysteme sowie ausreichend gute Reinigungs-, Sortier- und Trennverfahren wichtige Voraussetzun-

gen für geeignete Materialströme. Notwendig sind darüber hinaus aber auch die analytische Beurteilung der Rezyklate hinsichtlich Verunreinigungen, Zusammensetzung, Alterungszustand und den jeweiligen Schwankungen der Materialströme und die anschließende entsprechende Formulierung unter Zusatz von ausgewählten Additiven. Lediglich Produktionsabfälle bilden eine Ausnahme und werden meist in untergeordneten Anteilen

unverändert in den Produktionsprozess zurückgeführt.

### Polyolefine im Fokus

Kunststoffadditive sind oft die beste Möglichkeit zur Steigerung der werkstofflichen Verwertung. Insbesondere wenn Rezyklate Neuware ersetzen sollen und deshalb ein vergleichbares Eigenschaftsprofil notwendig ist. Der Markt an Additiven für Rezyklate zielt in erster Linie auf Anwendungen von Polyolefinen, also PE-LD- und PE-LLD-Folien, PE-HD-Hohlkörper und PP, auf manche technische Kunststoffe wie PA und PET sowie auf gemischte Kunststoffe mit einem hohen Polyolefinanteil. Die Kosten der zugesetzten Additive spielen wie immer eine Rolle. In vielen Fällen liefern sie allerdings noch weitere Zusatznutzen, etwa eine erhöhte Produktivität, eine konstantere Produktion, verbesserte Materialqualitäten und ein erweitertes Anwendungspotenzial für das Rezyklat. Dadurch kompensieren sie die Kosten teilweise.

Grundsätzlich steht der Neuformulierung von Rezyklaten das gesamte Anwendungsspektrum von Kunststoffadditiven zur Verfügung. Die meistverwendeten und nachgefragten Additivklassen für Rezyklate sind unverändert über die letzten Jahre [2]:

- Stabilisatorsysteme, bestehend aus Antioxidantien, Verarbeitungsstabilisatoren, Costabilisatoren und gegebenenfalls auch Lichtstabilisatoren
- reaktive Moleküle, die beispielsweise als Kettenverlängerer oder sogenannte Repair-Systeme bezeichnet werden
- Verträglichkeitsvermittler oder Kompatibilisatoren einschließlich Schlagzähigkeitsverbesserer
- Geruchsverbesserer oder Antiodorantien

### Nachstabilisierung von Polyolefinen

Die Nachstabilisierung ist die wesentliche Methode zur Qualitätsverbesserung von Polyolefinrezyklaten. Neukunststoffe auf Polyolefinbasis sind ohne den Zusatz von Antioxidantien nicht verarbeitungs- und einsatzfähig, da diese die Polymerketten vor oxidativer und photooxidativer Schädigung schützen. Die Stabilisatoren werden allerdings bei Ausübung ihrer Schutzfunktion verbraucht. Rezyklate müssen deshalb ebenfalls mit Stabilisato-



**Bild 1.** Die Qualität von Folien aus PE-Rezyklaten lässt sich mit den Polymerstabilisatoren Baeropol T verbessern. © Baerlocher

ren beziehungsweise Antioxidantien versehen werden. Stabilisatorreste aus der Erstanwendung helfen beim Verarbeiten und dem Einsatz des Rezyklats. Die verbrauchte Stabilisatormenge aus der Erstanwendung muss allerdings mindestens ersetzt werden. Eine weitere Herausforderung stellt der Übergang von einer Kurzzeitanwendung wie Verpackungen zu einer Langzeitanwendung dar, da das Ausgangsmaterial in der Regel dafür nicht ausreichend ausgerüstet ist.

Stabilisatoren für die Nachstabilisierung von Rezyklaten (mit Ausnahme von PVC) für die Verarbeitung und Langzeitwärmestabilität werden vorwiegend auf

der Basis von phenolischen Antioxidantien, Phosphiten oder Phosphoniten hergestellt in Kombination mit Costabilisatoren wie Säurefängern. Gehinderte Amine (engl. Hindered Amine Light Stabilizers, HALS), zum Beispiel nieder- oder hochmolekulare sterisch gehinderte Piperidine, oder UV-Absorber auf Benzophenon- oder Benzotriazolbasis werden für eine Verbesserung der Lichtstabilität verwendet.

### Maßgeschneiderte Stabilisatorsysteme

Nahezu alle Additivhersteller und Lieferanten von Masterbatches haben »



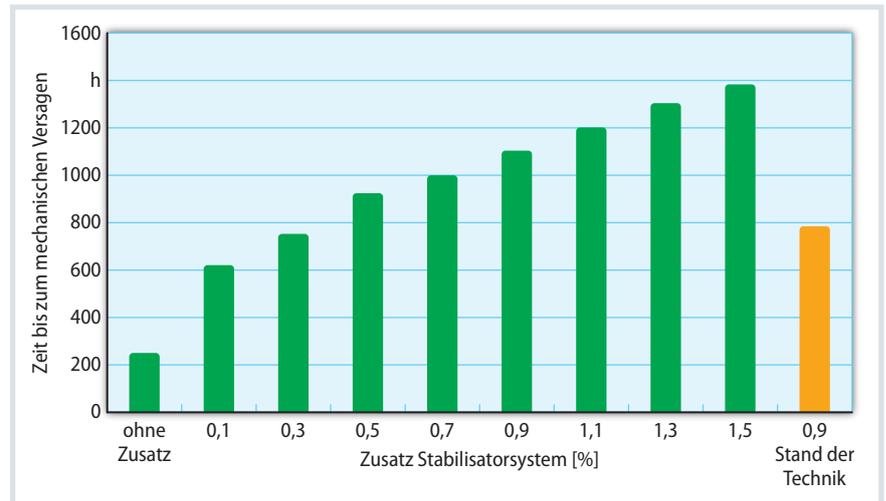
**Bild 2.** Mit der Irga-Cycle-Reihe von BASF können Rezyklate nachstabilisiert, deren Verarbeitungseigenschaften verbessert und der Einfluss von Verunreinigungen verringert werden. © BASF

mittlerweile das Potenzial von rezyklat-angepassten Stabilisatorsystemen erkannt und bieten maßgeschneiderte Produkte für Polyolefine an. Im einfachsten Fall sind das Varianten, die analog zu Neuware zusammengesetzt und aus handelsüblichen phenolischen Antioxidantien und Phosphiten bestehen. Beispielsweise bietet Songwon Produkte unter dem Handelsnamen Songnox an, etwa Songnox 21B für das Recycling von Polyolefinen. Doverphos LGP-12 von der Dover Chemical Corporation ist ein polymeres Phosphit, das sowohl für PE-Neuware als auch für PE-Folienrezyklate zum Einsatz kommt. Baerlocher setzt wie bei Neuware auf Baeropol T-Blends (**Bild 1**).

Die meisten Additivhersteller verfolgen jedoch eigene Produktlinien für die Nachstabilisierung von Rezyklaten. Beispielsweise hat BASF entsprechende Produkte unter dem Handelsnamen Irgacycle, die SI Group mit Evercycle, BYK mit der Recyclobyk-Reihe und Adeka Polymer Additives Europe unter dem Namen ADK Cycloaid eingeführt. Sie umfassen jeweils rezyklatangepasste Stabilisierungssysteme. Die optimierten Stabilisatorsysteme für Rezyklate unterscheiden sich dabei von Stabilisatorsystemen für Neukunststoffe.

### Stark geschädigte Rezyklate stabilisieren

Die IrgaCycle-Reihe (**Bild 2**) umfasst gegenwärtig fünf Produkte, die alle den Polyolefinrezyklatmarkt bedienen: IrgaCycle PS 030 G ist für formstabile Anwendungen aus Rezyklaten für die Verbesse-



**Bild 4.** Alterungsstabilität von PP-Rezyklat aus Batteriekästen bei 150 °C mit zunehmender Stabilisatorkonzentration: Gut zu sehen ist, dass die Stabilität kontinuierlich mit der Zugabe des Stabilisators ansteigt. Quelle: Fraunhofer LBF; Grafik: © Hanser

rung der Verarbeitungs- und Langzeitstabilität konzipiert, Irgacycle PS 031 G für PE-LD- und PE-LLD-Folien. IrgaCycle PS 032 G zielt vor allem auf stark geschädigte PE-HD- und PP-Rezyklate, ebenso wie IrgaCycle XT 034 DD, das auch Verunreinigungen wie Lackrückstände neutralisiert [3].

Das Recyclobyk-Portfolio, das aus der Übernahme der PolyAdd Services von BASF entstand, umfasst die Nachstabilisierung von PP und von Polyolefinmischungen (Recyclobyk 4371, **Bild 3**), von Polyolefinen mit polaren Verunreinigungen (Recyclobyk 4374 und 4373) und ein Produkt für erhöhte Verarbeitungstemperaturen und die Langzeitstabilität (Recyclobyk 4375). [4] Recyclobyk 4372 und Irgacycle UV 033 D

enthalten zusätzlich zu Antioxidantien und Costabilisatoren auch Lichtstabilisatoren für Außenanwendungen aus Polyolefinen wie Getränkekästen, Behälter, Mülltonnen, Paletten aber auch Folien.

Mit Evercycle lassen sich formstabile Verpackungsprodukte aus PE-HD und PP (EverCycle PP-101S), und flexible Verpackungen aus PE-LD (EverCycle LD-101S) stabilisieren und die mechanischen Eigenschaften von PE-LD-Folien verbessern (EverCycle LD-104P) [5]. Die ADK-Cycloaid-Familie umfasst mit UPR-001 ein Produkt zur Erhöhung der Langzeitstabilität etwa von Rezyklatmischungen mit Neuware. UPR-011 weist zusätzlich ein Nukleierungsmittel zur Erhöhung der mechanischen Eigenschaften von PP auf [6].



**Bild 3.** Mit Recyclobyk 4371 lassen sich auch für Batteriegehäuse eingesetzte Polyolefine wieder ausreichend nachstabilisieren.

© BYK

### Vorschädigung durch Oxidation

Rezyklate, insbesondere Post Consumer Rezyklate (PCR) aus Polyolefinen, weisen in der Regel eine Vorschädigung durch Oxidation auf. Chemisch gesehen findet sich in den Polymerketten eine erhöhte Konzentration von Ketongruppen, Hydroperoxiden und Säuregruppen. Diese Gruppen sind Initiatorstellen für eine weitere beschleunigte Schädigung des Rezyklats [7]. Mit dieser Erkenntnis hat das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Zusammenarbeit mit der Firma Brüggemann einen besonderen Ansatz zur Nachstabilisierung verfolgt.

Es wurden Rezyklatstabilisatoren entwickelt, die zusätzlich zu den Verarbeitungs- und Wärmestabilisatoren Komponenten beinhalten, die diese Vorschädigung neutralisieren und die angegriffenen Polymerketten somit reparieren können. Zusätzlich sind diese Costabilisatoren in der Lage, Verunreinigungen durch Übergangsmetalle zu komplexieren und deren prooxidative Wirkung zu entkräften.

Diese neuen Stabilisierungskonzepte führen zu einer erstaunlichen Verarbeitungsstabilität von PP-Rezyklaten und zeigen eine nahezu lineare Zunahme der Langzeitwärmestabilität mit der Konzentration (**Bild 4**). Sie sind in diesem Punkt anderen kommerziellen Rezyklatstabilisatoren deutlich überlegen. Bei PE-LD- und PE-LLD-Folienrezyklaten ergeben sich neben einer konstanten Verarbeitung, eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (**Bild 5**) sowie eine substanzielle Reduzierung der Fehlstellen und somit etwa der Gelbildung. Die auf dieser Basis eingeführten Produkte (Bruggolen-R-Serie) stehen für PP-Rezy-

klate (Bruggolen TP-R2090), für PP-Batteriekästen (Bruggolen R8895) und für PE-Folien (Bruggolen TP-R2162) zur Verfü-

### **Stabilisatoren und Repair-Systeme für Polyester und PA**

Bei Polykondensationspolymeren wie PA und Polyester, aber auch bei PC und deren Blends, führt eine Vorschädigung während des Gebrauchs weniger zu einer Oxidation der Ketten als zu einem Molekulargewichtsabbau vor allem durch Hydrolyse. Das sorgt für eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften. Trotzdem sind auch bei diesen Kunststoffen Stabilisatoren für die Verarbeitung von Rezyklaten von Bedeutung. Die SI Group bietet dafür EverCycle PET-102D (Pellets) und PET-103D (flüssig) für PET-Rezyklate an. Sie sollen die Verarbeitungsstabilität und die Farbe verbessern und den Acetaldehydgehalt von PET-Rezyklaten reduzieren. Recyclobyk 4376 von BYK sorgt darüber hinaus für eine Erhöhung der Schmelzviskosität

und -festigkeit von PET und entfaltet diese Wirkung auch bei PA.

Polykondensationspolymere weisen funktionelle Endgruppen auf, bei Polyester -COOH und -OH, bei PA -COOH und -NH<sub>2</sub>. Diese lassen sich mit geeigneten Partnern in Reaktion bringen. Es ist damit möglich, ein vorgeschädigtes Polymer, das eine Erniedrigung des Molekulargewichts erlitten hat, wieder zu heilen. Da die ursprünglich vorhandenen Eigenschaften wie die mechanischen Charakteristika und das Verarbeitungsverhalten auch durch das Molekulargewicht definiert werden, können auf diese Weise Vorschädigungen gleichsam repariert werden. Für diese Zusätze haben sich Begriffe wie Repair-Additive oder Repair-Systeme eingebürgert. Sie werden häufig auch einfach als Kettenverlängerer (engl. Chain Extender) bezeichnet. Diese reaktiven Moleküle sind in der Regel difunktionell. Höhere Funktionalitäten führen zu Verzweigungen und zu gegebenenfalls unerwünschten Vernetzungsreaktionen. »

**CABOT** 

## **BLACK PEARLS® 1180HD Spezialruß**

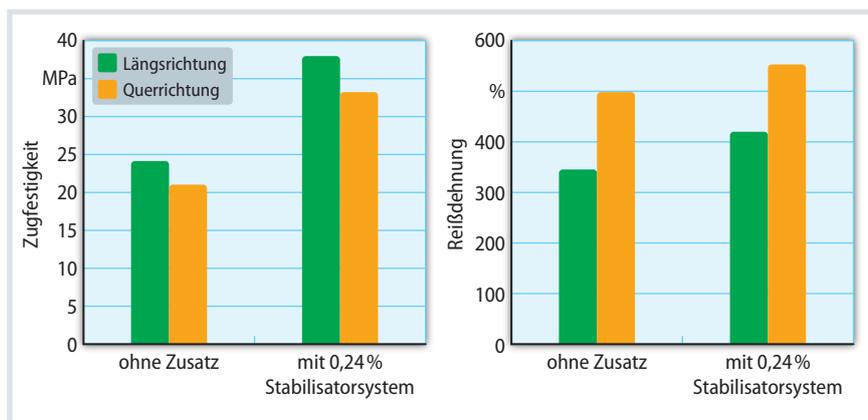
### **Ermöglicht Polymer-Substitution für**

- ◆ Höhere Recycling-Raten
- ◆ Kosteneinsparungen

**Niedrigere Beladungen und bessere Dispergierung verbessern die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffcompounds, speziell in polaren Polymeren.**



Entsprechende Produkte sind beispielsweise Stabilisator 9000 von der Raschig GmbH auf Basis eines polymeren Carbodiimids und Stabaxol P von Rheinchemie. Weitere Zusätze zur Kettenverlängerung sind außerdem Dianhydride oder Bisoxazoline. Für den Zweck einer linearen Kettenverlängerung hat Nexam Chemical die beiden Produkte Nexamite A94 und A99 im Programm. Insbesondere zur linearen Kettenverlängerung von PA produziert Brüggemann schon seit einiger Zeit die Produkte Brüggolen M1251 und M1253 auf der Basis von modifizierten PA-Strukturen. Mit 2 % Zusatz an Brüggolen M1251 wird beispielsweise ein faserverstärktes PA von einer Viskosität von 2,365 auf 2,930 angehoben [8]. Gleichzeitig kann die Schlagzähigkeit verbessert werden.



**Bild 5.** Mechanische Eigenschaften von PE-LD- und PE-LLD-Rezyklatfolien: Durch die Zugabe der Stabilisatoren verbessern sich die mechanischen Eigenschaften deutlich.

Quelle: Fraunhofer LBF; Grafik: © Hanser

Kettenverlängerer für Polyester sind häufig in Form von Masterbatches verfügbar, beispielsweise ColorMatrix rePrize IV Builder von Avient und Nexamite MO 992000 von Nexam Chemical. Ein nicht-linearer Molekulargewichtsaufbau oder eine Langkettenverzweigung wird vor allem durch reaktive Copolymere erreicht, die Glycidyl- oder MAH-Gruppen beinhalten [9]. Anbieter dieser Copolymere sind unter anderem Vertellus mit ZeMac und BTC Europe mit Joncryl ADR. Aber auch gepfropfte Polymere mit MAH oder Glycidylmethacrylat können dafür Verwendung finden.

### **Ketten verlängern oder verkürzen?**

Statt eines Aufbaus kann auch ein gewünschter Abbau in bestimmten An-

wendungsfällen erreicht werden, um etwa eine Verarbeitung eines Rezyklats zu erleichtern oder bestimmte Verarbeitungsbedingungen einzustellen. Bei PA besteht beispielsweise der Bedarf aus hochmolekularen Faser- und Folienmaterialien Spritzgießqualitäten herzustellen. Dafür kann beispielsweise Brüggolen M 1417 von Brüggemann genutzt werden. Ein gezielter Abbau funktioniert auch bei PP. Neben dem Zusatz von Peroxiden findet auch der Hydroxylaminester Irgatec CR 76 IC von BASF Verwendung.

### **Kompatibilisatoren für gemischte Rezyklate**

Polymere unterschiedlicher Struktur sind in der Regel nicht mischbar, bilden da-

heraus, stabilisieren die disperse Phase gegen eine Agglomeration in der Matrix und beugen damit einer Delamination im Festkörper vor. Im Endeffekt ergeben sich dadurch eine feinere Morphologie, eine homogenere Mischung und substanziiell verbesserte mechanische Eigenschaften.

Um als Kompatibilisator zu wirken, ist in der Regel ein Polymer notwendig, das Strukturelemente der jeweiligen zu kompatibilisierenden Polymeren enthält. In weitaus selteneren Fällen gelingt die Kompatibilisierung durch den Zusatz anorganischer Stoffe wie Schichtsilikaten oder in Form von reaktiven niedermolekularen Verbindungen in situ bei der Verarbeitung. Materialströme, deren Eigenschaften durch den Zusatz von Kompatibilisatoren verbessert werden, sind vor allem Polyolefinmischungen und Polyolefine in Abmischung oder mit Verunreinigungen durch polare Polymere wie PA oder Polyester.

### **Kompatibilisatoren für Polyolefine und polare Kunststoffe**

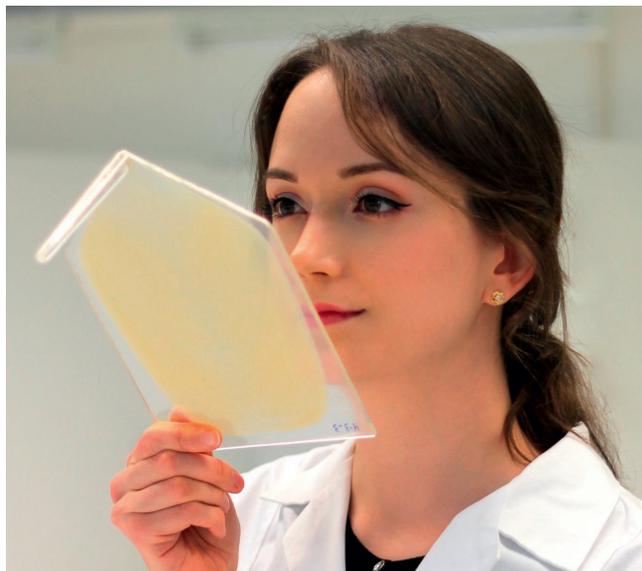
Als Kompatibilisatoren für Polyolefinmischungen bieten sich in erster Linie Polyolefin-Elastomere oder Blockcopolymere an, die vor allem von den Polyolefinherstellern für Rezyklate im Programm sind. Beispiele dafür sind Vista-maxx von ExxonMobil Chemical Europe und Intune von Dow Europe. Weitere Polymerstrukturen stehen von Kraton Polymers in Form von Styrol-Ethylen-Butylen-Styrol-Blockcopolymeren unter dem Handelsnamen Circular+ und als modifizierte Polysiloxane von Evonik Industries unter der Bezeichnung Tego XP 21024 und 21025 zur Verfügung. Eine Alternative zur Kompatibilisierung von Polymermischungen sind die Kenreact-Produkte der Firma Kenrich. Sie werden auf Basis von Titanaten und Zirkonaten hergestellt und wirken auf der molekularen Ebene katalytisch und als Haftvermittler. Zusätzlich können sie die Verarbeitungstemperaturen der Kunststoffe senken [10].

Die Kompatibilisierung von Polyolefinen mit polaren Kunststoffen erfordert Polymere mit reaktiven Gruppen wie Anhydrid- oder Epoxidgruppen. Diese werden durch Pfropfreaktionen, in den meisten Fällen mit Maleinsäureanhydrid (MAH), auf unterschiedliche PE, PP oder

Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymerer via Extrusion, Festphase oder Lösung synthetisiert. Alternativ können sie auch durch Copolymerisation hergestellt werden. Die über Pfropfreaktionen erhaltenen, modifizierten Polyolefine bieten neben den Polymerherstellern insbesondere spezialisierte klein- und mittelständische Unternehmen an. Deshalb gibt es eine Vielzahl an Produkten.

### Gepfropft oder nicht gepfropft?

Beispielsweise nutzt die Nordic Grafting Company die Vistamaxx-Produkte von ExxonMobil Chemical als Basismaterial zum Pfropfen (Handelsname: Acti-Tech). Thecompoundcompany verwendet hingegen die Exxelor-Produkte von ExxonMobil (Handelsnamen: Exxelor, Yparex, EcoForte). Weitere Anbieter mit einem umfangreichen Programm an MAH-gepfropften Polymeren sind Graft Polymer mit Graftabond, Auserpolimeri mit Compoline und BYK mit Scona. Die Produkte unterscheiden sich im MAH-Gehalt, in den unreaktierten MAH-Rückständen, beim Basispolyolefin sowie in Molekulargewicht und Rheologie. Auch Polyolefinhersteller sind in diesem Markt mit MAH-gepfropften Polyolefinen vertreten, zum Beispiel LyondellBasell mit den Integrate-Produkten und Dow mit den Fusabond-, Retain- und Elvaloy-Produktreihen. Während Fusabond M 603 und E 226 auf MAH basieren, ist Elvaloy ein Copolymer mit Acrylaten. Elvaloy AC 4327, ein Butylacrylat-Ethylen-



**Bild 7.** Die äußere Schicht aus Neuware wurde mit geruchsreduzierenden Additiven versetzt. Sie verhindern, dass Gerüche aus der inneren Rezyklat-schicht nach außen wandern.

© Fraunhofer LBF

Copolymer, wird etwa zur Einbindung von Polyester in PE verwendet, Retain kommt hingegen insbesondere zur Verbesserung der Eigenschaften von Rezyklatfilmen zum Einsatz.

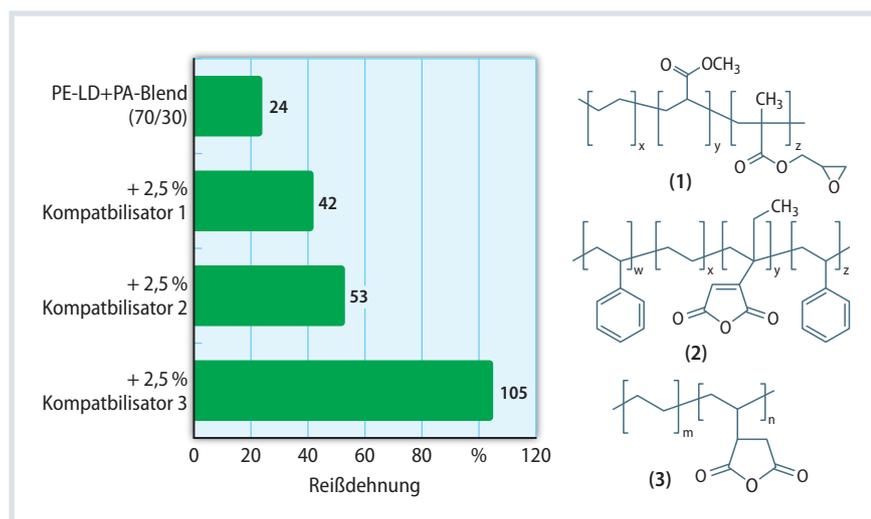
Kompatibilisatorvarianten mit weiteren polaren Gruppen reaktiver Art sind Ethylen-Acrylat-Maleinsäureanhydrid-Terpolymere, beispielsweise Lotader von SK Functional Polymer (ehemals Produkte von Arkema), Ethylen-Acrylat-Glycidylmethacrylat-Terpolymere (etwa ebenfalls aus der Lotader-Reihe) sowie Ethylen-Vinylacetat-Maleinsäureanhydrid-Terpolymere (Produktbeispiel: Orevac T von SK Functiona Polymer). Lotader AX 8840 und AX 8900 enthalten beispielsweise 8 % Glycidylacrylat und erreichen da-

durch eine deutlich höhere Funktionalität als übliche MAH-gepfropfte Kompatibilisatoren.

Um die Wirkung unterschiedlicher Kompatibilisatoren zu vergleichen, wurde am Fraunhofer LBF in einer Versuchsreihe eine Modellmischung aus 30 % PA6 und 70 % PE-LD, deren Zusammensetzung einer coextrudierten Verpackungsfolie entspricht, mit verschiedenen Kompatibilisatoren verarbeitet und die resultierenden mechanischen Eigenschaften untersucht. Die Polymermischung ohne Zusatz weist bei der Reißdehnung im Vergleich zu den Elternpolymeren erwartungsgemäß nur niedrige Werte auf (**Bild 6**). Ein Kompatibilisatorzusatz von lediglich 2,5 % führt in allen Fällen zu einer signifikanten Erhöhung der Reißdehnung. Ein MAH modifiziertes PE schneidet in diesem Fall am besten ab und lässt die anderen Strukturen weit hinter sich.

### Geruchsverbesserer: kein one size fits all

Ein häufiges Rezyklatproblem ist auch das Vorhandensein unangenehmer Gerüche. Sie entstehen als Folge von Verunreinigungen aus der vorhergehenden Anwendung etwa als Lebensmittelverpackung und den Abbau dieser Verunreinigungen bei den üblichen Verarbeitungstemperaturen von Kunststoffen. Ursachen für Gerüche sind aber auch Geruchs- und Aromastoffe wie Parfümstoffe und Tenside aus Kosmetik oder Waschmittelverpackungen, die in den Kunststoff eindiffundieren. Wasch- ➤

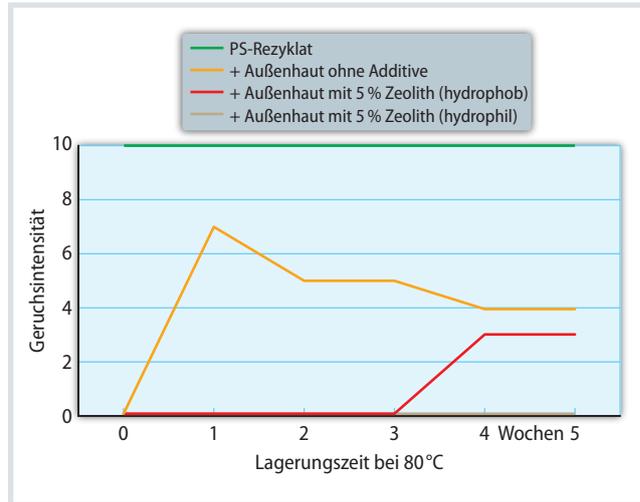


**Bild 6.** Die Reißdehnung verbessert sich je nach gewähltem Kompatibilisator sehr unterschiedlich. Alle verwendeten Additive führen jedoch zu einer deutlichen Steigerung.

Quelle: Fraunhofer LBF; Grafik: © Hanser

prozesse sind nur bedingt in der Lage, diese Stoffe zu entfernen [11]. Die nicht tolerierbaren Gerüche schränken mögliche Anwendungsfelder zum Beispiel in Innenräumen stark ein. Gerüche, die durch Waschprozesse oder durch angepasste Verarbeitungsprozesse wie über Schleppmittel nicht entfernt werden können, sind ein Fall für Additive. Grundsätzlich werden zwei Konzepte verfolgt, um Gerüche durch Additive zu beherrschen: Zusätze von reaktiven Verbindungen und von Geruchsabsorbentien. Es gibt jedoch für alle denkbaren Gerüche kein Additiv im Sinne von „one size fits all“. Es ist deshalb eine Einzelfallentscheidung, welches Additiv bei welchem Rezyklat am besten wirkt. Eine Reduktion der Geruchsintensität ist aber unabhängig vom jeweils eingesetzten Additiv in den meisten Fällen festzustellen.

Reaktive funktionelle Verbindungen sind in der Lage mit den Geruchskomponenten zu reagieren. Sie überführen damit eine flüchtige Substanz in ein weniger oder nicht flüchtiges Reaktionsprodukt, das im Polymeren verbleibt. Ein Beispiel dafür ist Zinkricinoleat das als Tego sorb PY 88 und als Masterbatch von Evonik Industries angeboten wird. Es kann mit Schwefelwasserstoff, Mercaptanen, Thioethern und Aminen reagieren. Aber auch andere Additive mit reaktiven Gruppen wie Epoxide oder Anhydride entfalten eine entsprechende



**Bild 8.** Geruchsverbesserung durch Additive im Co-Spritzgießverfahren (Lagerung der Proben bei 80 °C): Gut zu sehen ist die Wirkung der Außenhaut. Hydrophile Zeolith-Additive reduzieren den Geruch mit Abstand am besten.

Quelle: Fraunhofer LBF;

Grafik: © Hanser

Wirkung. Weitere kommerzielle geruchshemmende Additive sind etwa Struktol RP 17, RP 53 und RP 59 von der Struktol Company of America sowie Addisperse ON 106 und ON 108 von Aromatic Fusion.

### **Additivierte Außenhaut reduziert den Geruch deutlich**

Alternativen zu organischen reaktiven Verbindungen sind mit Ausnahme von Cyclodextrinen Geruchsabsorber auf anorganischer Basis wie Zeolithe und Hydrotalcite. Sie lagern aufgrund ihrer Käfig- oder Schichtstruktur Moleküle ein und können diese durch Wechselwirkungen binden. Viele Hersteller bieten mittlerweile solche Produkte an, zum Beispiel HPF – The Mineral Engineers, Tosaf etwa mit OD7904LL EU und Ampacet mit OdorClear. Über die tatsächlich zugrundeliegenden Mechanismen der Geruchsreduzierung ist jedoch bisher nur wenig bekannt.

Eine besonders effektive Kombination von Additiv und Herstellungsverfahren zur Geruchsminimierung wurde von einem Fraunhofer-Konsortium entwickelt (**Bild 7**) [12]. Untersucht wurden dabei unter anderem geruchsintensive rezyklierte Fischkisten aus PS. Dabei zeigte sich, dass in einem Co-Spritzgießverfahren eine additivierte Außenhaut aus Neumaterial gefertigt werden konnte, die den Geruch im Test vollständig unterdrückte (**Bild 8**; siehe auch **Kunststoffe** 8/22, S. 44-47). Besonders wirksam ist dabei ein hydrophiles Zeolith als Additiv. Das Additiv ausschließlich in der Außenhaut ist dabei interessanterweise

einem rein additivierten Formteil überlegen. Der Vorteil des Verfahrens liegt nicht nur in der Geruchselimination bei vergleichsweise niedrigen Zusatzstoffkonzentrationen, da das Additiv nur in die Außenhaut eingebracht wird. Zusätzlich ist durch die Außenhaut aus Neumaterial eine hohe Oberflächengüte gegeben. Außerdem besteht die Möglichkeit weitere Additive, in über das Gesamtteil gerechnet niedrigen Konzentrationen, wirksam einzubringen.

### **Ausblick**

Um rezyklierte Kunststoffe als Alternative für Neumaterial im geschlossenen Kreislauf oder in hochwertigen Anwendungen einzusetzen, ist der Einsatz von Additiven unabdingbar. Insbesondere für Rezyklate maßgeschneiderte Stabilisatorsysteme und polymere Zusätze in Form von reaktiven oder nicht-reaktiven Kompatibilisatoren tragen dazu entscheidend bei. Additivhersteller bauen mehr und mehr eigene Produktlinien für die wichtigen Rezyklatströme PP, PE-HD, PE-LD, PE-LLD, Polyolefinmischungen und PET auf. Mögliche Lösungen für das Erreichen des jeweiligen Anforderungsprofils durch Rezyklate auch in neuen Anwendungen nehmen damit zu. Neben der analytischen Unterstützung hinsichtlich der Rezyklatqualitäten kann das Fraunhofer LBF mit seinem Bereich Kunststoffe als ein neutraler Entwicklungspartner für das gewünschte Eigenschaftsprofil die technisch und kostenmäßig beste Additivlösung entwickeln. ■

## Info

### Text

**Prof. Dr. Rudolf Pfaendner** ist nach 25 Jahren in der Kunststoff- und Additivindustrie Leiter des Bereichs Kunststoffe am Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt; [rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de](mailto:rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de)

### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine **Kunststoffe international** or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)