

# Schaum aus dem Gelben Sack

## Expandierte Polyolefine aus Sekundärrohstoffen herstellen

Schaumstoffplatten aus expandiertem Polypropylen oder Polyethylen ergeben auch mit einem Regranulatanteil von 50 % eine hochwertige Qualität. Das haben jüngste Untersuchungen ergeben.

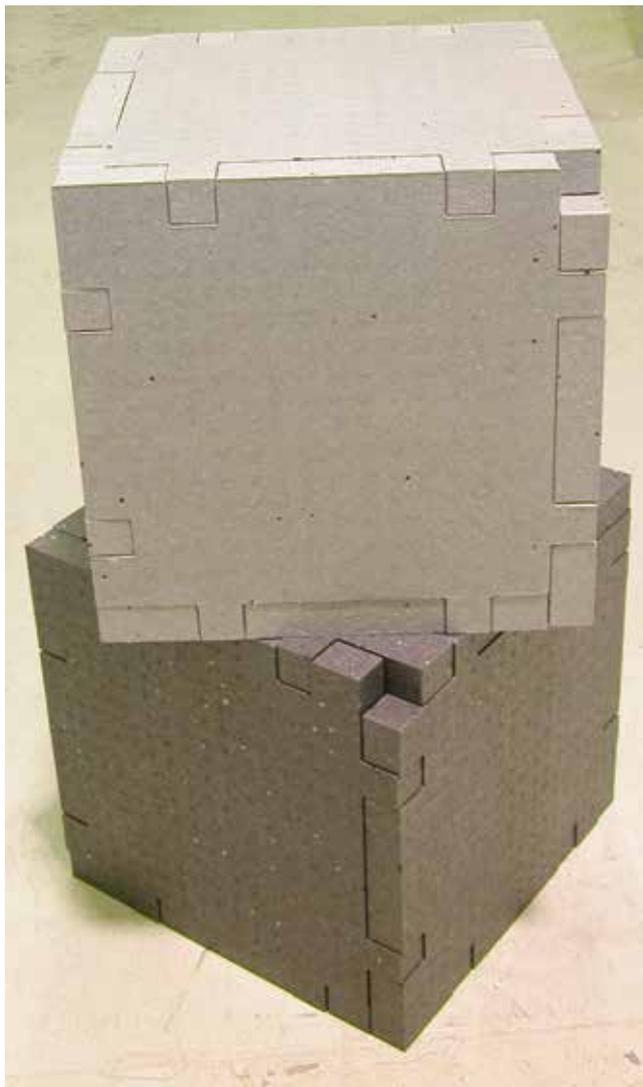
**A**nsteigende Rohmaterialpreise und zunehmende Energiekosten führen dazu, dass sich im wachsenden Bereich der Partikelschäume ein großes Potenzial zur Substitution bisher verwendeter Primärrohstoffe bietet. Im Rahmen des Forschungsprojekts „DualPart“ entwickelte

das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal, in mehrjähriger Arbeit gemeinsam mit den Industriepartnern Erlenbach GmbH, Lautert, Nordson BKG GmbH, Münster, und den assoziierten Partnern Nehlsen GmbH & Co. KG, Bremen, und Kaefer Isoliertechnik GmbH

& Co. KG, Bremen, Rezykatschaumstoffe, die auf Polypropylen und Polyethylen aus dem Post-Consumer-Bereich basieren.

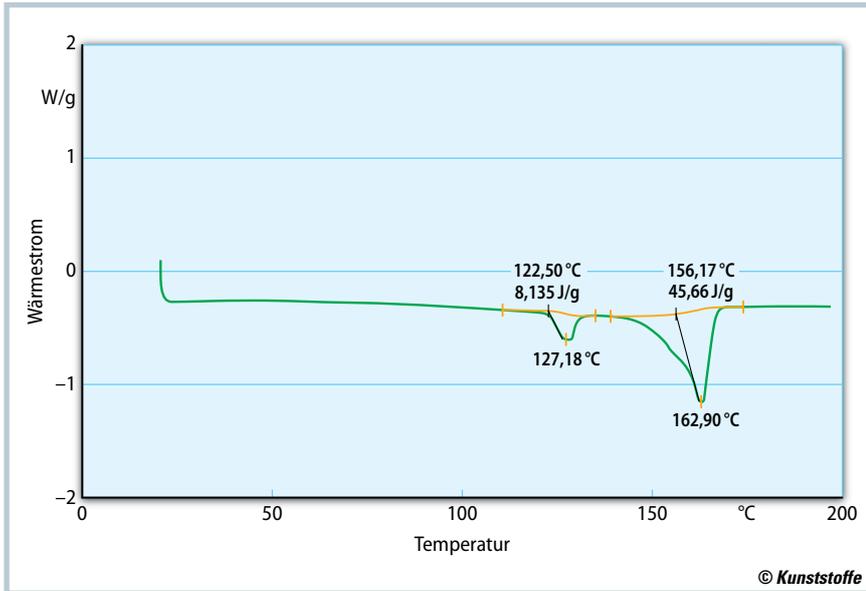
Neuwaren-Polypropylen kommt derzeit in expandierter Form (EPP) in vielen Anwendungen, z. B. dem Bauwesen, der Verpackungsindustrie und der Automobilindustrie, zum Einsatz. Die Vorteile des Partikelschaums liegen dabei, neben dem geringen Raumgewicht und dem damit verbundenen niedrigen Materialeinsatz, in der homogenen Dichteverteilung im Bauteil, der möglichen Abbildung von komplexen Bauteilgeometrien und der hohen Energieabsorption des Schaums. Ziel des Vorhabens war es, den Stand der Technik in der Partikelschaumherstellung und -verarbeitung von EPP auf PP- und PE-Regranulate zu erweitern und damit einen neuen Bereich in der Verwendung von Sekundärrohstoffen zu erschließen. Die Herausforderung lag darin, die Eigenschaftsschwankungen, die Recyclingmaterialien insbesondere hinsichtlich Sortenreinheit, Viskosität und Schmelzfestigkeit mit sich bringen, durch Prozessführung und Materialmodifizierungen auszugleichen.

Demonstratorbausteine aus regranulathaltigem expandiertem Polypropylenschaum (Bilder: ICT)



### Das Vorgehen im Projekt

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die kontinuierliche Prozessroute der Herstellung von geschäumtem Polypropylen und Polyethylen im Extrusionsprozess mit anschließender Unterwassergranulierung verfolgt. Die so im ersten Prozessschritt hergestellten Schaumperlen wurden anschließend zur Dichtereduzierung druckbeladen, vorgeschäumt und in einem Formteilautomaten zu Bauteilen versintert. Zur Untersuchung der Verarbeitbarkeit und Schäumbarkeit von Regranu-



**Bild 1.** DSC-Analyse der Regranulats PP 580S (2. Aufheizkurve)

Anbieter	Bezeichnung	Polymertyp
Borealis AG, Wien/Österreich	Daploy WB 140 HMS	PP - Neuware
Borealis AG, Wien/Österreich	Daploy WB 260 HMS	PP - Neuware
Vogt-Plastic GmbH, Rickenbach	PP 580S	PP - Rezyklat
Vogt-Plastic GmbH, Rickenbach	PP 500S	PP - Rezyklat
Vogt-Plastic GmbH, Rickenbach	PE-LD-400S	PE-LD - Rezyklat
mtm plastics GmbH, Niedergerbra	Dipolen M	PE-HD/PE-LD - Rezyklat

**Tabelle 1.** Übersicht der untersuchten Granulat- und Regranulattypen sowie deren Hersteller

laten wurden vier verschiedene Rezyklate ausgewählt (**Tabelle 1**).

Die Charakterisierung der Polymere erfolgte mit der Dynamischen Differenzkalorimetrie-Analyse (DSC) und dem Rheotens-Test. Die DSC lieferte dabei Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Regranulate. Dabei wurde deutlich, dass die Regranulate nicht sortenrein

sind. Dies zeigt sich beispielsweise in **Bild 1** an zwei Peaks, die die Auflösung von Kristallstrukturen des Regranulatmaterials PP 580S anzeigen. Da die Schmelztemperatur, bei der sich die Kristalle auflösen, von PP bei 160 bis 165°C liegt, ist zu vermuten, dass im Material noch ein gewisser Anteil an PE-HD (Polyethylen mit hoher Dichte; Schmelztemperatur: 125 bis 135°C) vor-

liegt. Auch die drei anderen Regranulattypen zeigten Verunreinigungen durch sortenfremde Polymere. Diese führen dabei zu Inhomogenitäten, die einen negativen Einfluss auf die Schäumbarkeit des Materials haben können.

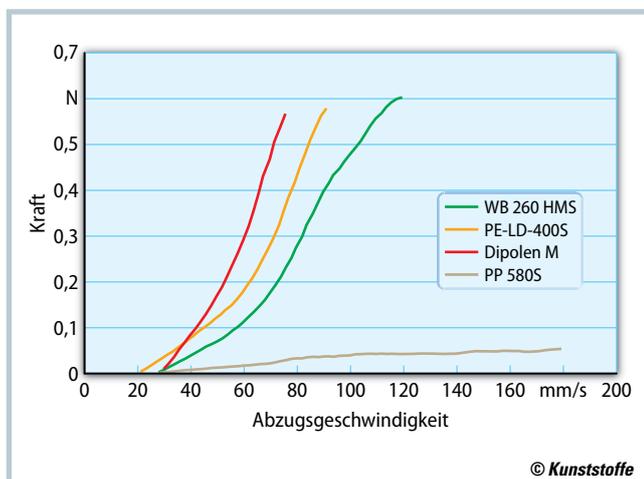
Die durchgeführten rheologischen Untersuchungen zeigten, dass sich bezüglich der Schmelzfestigkeit die Materialien PE-LD-400S und Dipolen M ähnlich wie ein kommerzielles, für Schäume geeignetes Schaummaterial, z. B. Daploy WB 260 HMS, verhalten und wurden deshalb für Schäumversuche ausgewählt (**Bild 2**). Das Material PP 580S eignete sich aufgrund seiner zu geringen Schmelzfestigkeit nicht für weitere Versuchsreihen. Die Schmelzfestigkeit von PP 580S ist signifikant geringer als die des Standardmaterials, weswegen dieses Material modifiziert wurde, um die Schmelzfestigkeit zu erhöhen.

**Die Materialmodifikation**

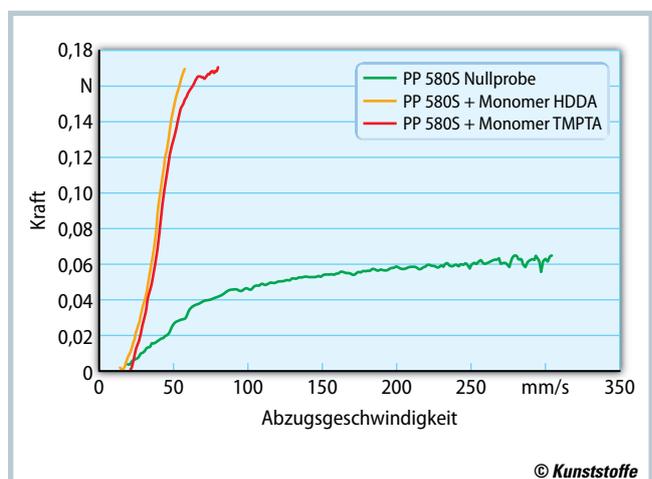
Um die rheologischen Eigenschaften der Rezyklate für den Schaumprozess zu optimieren, wurden folgende zwei Verfahren angewandt:

- Einbringen von Langkettenverzweigungen in die Hauptkette durch reaktive Extrusion sowie
- Blenden der linearen Polyolefine mit verzweigten Polymeren oder Compoundieren mit Additiven.

Dabei wurden die vielversprechendsten Ergebnisse, um die Nachteile der Sekundärrohstoffe zu überwinden, mittels reaktiver Extrusion erzielt. Das in **Bild 3** dargestellte Diagramm zeigt die Schmelz-



**Bild 2.** Vergleich der Schmelzfestigkeiten von PP WB 260 HMS, Regranulat Dipolen M, PE-LD-400S und Regranulat PP 580S bei 160°C



**Bild 3.** Vergleich der Schmelzfestigkeiten einer Standardprobe des Regranulats PP 580S mit zwei unterschiedlich modifizierten Proben bei 180°C



**Bild 4.** Modell einer Anlage für Unterwassergranulierung

festigkeitskurven von PP 580S mit aufgepfropftem HDDA (Hexamethylendi-acrylat) und TMPTA (Arylsäureester) im Vergleich zu reinem PP 580S. Die Reaktion wurde initiiert durch ein Peroxid. Dabei wurde deutlich, dass sich die Kombination von Monomer und Peroxid hervorragend eignet, um die Schmelzfestigkeit des Polymers zu erhöhen.

Auch durch Blenden der Regranulate mit verzweigten Polymeren sowie durch Additivierung der Regranulate konnte eine Steigerung der Schmelzfestigkeit erzielt werden. Allerdings nicht in so sig-

nifikantem Maße, wie dies durch die reaktive Extrusion möglich war.

### Die Schaumherstellung

Die Schaumextrusionsversuche wurden gemeinsam mit dem Partner Nordson BKG an einem Doppelschneckenextruder (Typ: Leistritz 27 HP 52D, Hersteller: Leistritz AG, Nürnberg) mit einer angeschlossenen Schmelzpumpe (Typ: GPE 28/28-02, Hersteller: Nordson PPS GmbH, Münster) und einer Unterwassergranulierung (Typ: BKG Compact 120 und BKG Master-System, Hersteller: Nordson BKG) durchgeführt (**Bild 4**). Dabei wird das Polymer im Extruder plastifiziert, mit Treibmittel versetzt und das homogene Polymer-Gas-Gemisch durch eine Lochplatte ausgetragen. Die so entstehenden Polymerstränge werden von einem rotierenden Messer in einem Wasserstrom granuliert.

Die Komponenten der Nordson BKG wurden speziell auf diesen Prozess angepasst. Hier galt es, Lochplatte, Temperatur, Druck des Wassers und anschließende Trocknung auf die Herstellung des Produkts abzustimmen. Die Erfahrungen der Nordson BKG mit expandiertem (EPS) konnten hier für die Produktion und Weiterentwicklung der Komponenten genutzt werden.

Als Treibmittel wurden Butan, Stickstoff und Kohlenstoffdioxid untersucht. Zur Nukleierung wurde ein endothermes

## Die Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Anja Schneider** forscht in der Gruppe Schäumtechnologien am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal.

**Dipl.-Ing. Christoph Mack** forscht in der gleichen Gruppe.

**Florian Rapp, M. Sc.**, ist Teamleiter der Gruppe Schäumtechnologien.

### Dank

Der Dank der Autoren gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Projektträger Karlsruhe (PTKA-PFT) für die Förderung des Projekts.

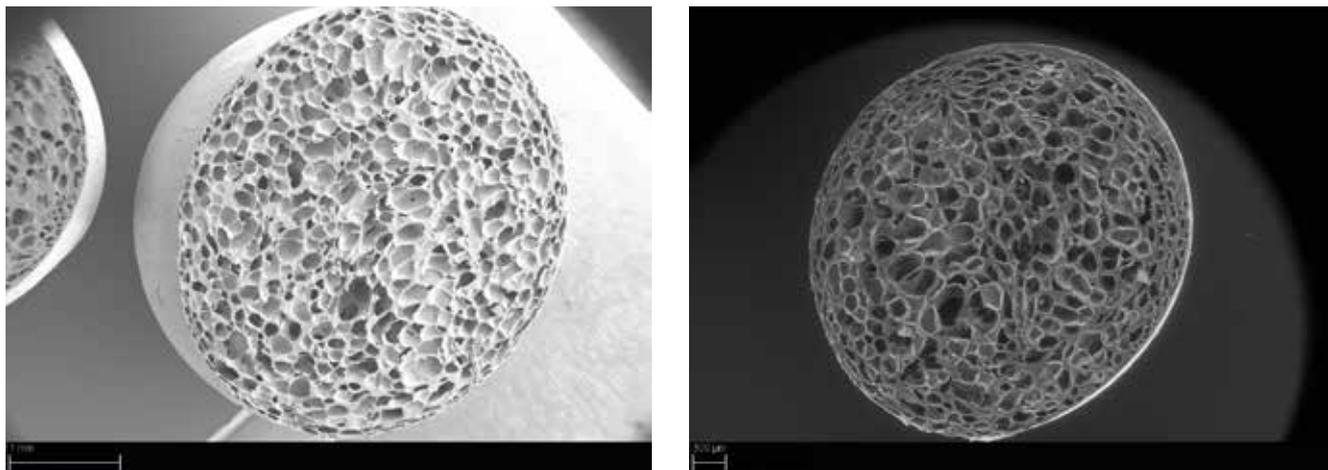
## Service

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/1011438](http://www.kunststoffe.de/1011438)



**Bild 6.** Modell des Vorschäumers ED2-HP mit gravimetrischer Einwaage



**Bild 5.** REM-Aufnahme einer geschäumten Perle von PE-LD-400S/WB 260 (links) und von Dipolen M/WB 260 (rechts)

aktives und passives mineralisches Nukleierungsmittel verwendet.

Aufgrund der hohen Schmelzefestigkeit und gleichzeitig geringen Dehnbarkeit der Rezyklate wurden Versuchsreihen mit anteiligen Gehalten von Neuware durchgeführt. Außerdem wurde in zahlreichen Versuchsreihen der Prozess optimiert. Relevante Anlagenparameter wurden gezielt verändert, um den Einfluss dieser Parameter auf die Qualität der Schaumperlen zu untersuchen. Die besten Ergebnisse konnten mit einem Rezyklatanteil von 50 Gew-% erzielt werden. Dazu wurde als Treibmittel  $\text{CO}_2$  und als Nukleierungsmittel Talkum verwendet. Die Schaumstrukturen sind in **Bild 5** dargestellt. Zu erkennen ist ein homogenes gemischtzelliges Schaumbild, das zum Außenrand hin im Durchmesser kleiner wird. Die erreichten Schüttdichten lagen bei PE-LD-400S/WB 260 bei  $155 \text{ kg/m}^3$  und bei Dipolen M/WB 260 bei  $150 \text{ kg/m}^3$ . Im Vergleich dazu wies das Neuwarematerial eine Schüttdichte von  $110 \text{ kg/m}^3$  auf.

Die so hergestellten Schaumperlen wurden bei Erlenbach druckbeladen und vorgeschäumt. Durch diesen Prozess soll die Schüttdichte des Materials weiter gesenkt werden. Aus diesem Grund wurden die im ersten Prozessschritt hergestellten Schaumperlen in einem druckfesten Behälter mit Gas (Luft,  $\text{CO}_2$ ) beladen und anschließend in einem Vorschäumer (Typ: ED2-HP, Hersteller: Erlenbach) vorgeschäumt (**Bild 6**).

### Die gravimetrische Vordosierung

Besondere Entwicklungsarbeit im Rahmen des Projekts bestand darin, eine

gravimetrische Vordosierung für diese Anlage zu entwickeln und zu fertigen. Die Durchsatzleistung einer Vorschäumanlage mit einer volumetrischen Dosierung wird durch die Rohdichte des EPP und durch das Druckfüllervolumen bestimmt. Mit einer standardmäßig verwendeten volumetrischen Dosierung kann die mögliche Schüttdichtentoleranz des Rohmaterials weitergegeben werden, d.h. die Schüttdichtentoleranz des vorgeschäumten EPP wird vergleichbar mit der des Rohmaterials oder sogar höher sein. Um diese zu senken und um die Vorschäumanlage mit deren maximalem Durchsatz betreiben zu können, wurde eine gravimetrische Vordosierung entwickelt.

Die Schüttdichte der Schaumperlen aus Neuwarematerial ließ sich durch die Druckbeladung und anschließende Nachexpansion von  $110$  auf  $60 \text{ kg/m}^3$  senken. Die Dichte der Schaumperlen aus Dipolen M/WB 260 ließ sich von ca.  $150$  auf ca.  $115 \text{ kg/m}^3$  reduzieren. Die Schaumperlen aus PE-LD-400S/WB 260 wiesen nach dem Vorschäumprozess eine Schüttdichte von ca.  $100 \text{ kg/m}^3$  auf. Damit konnte eine signifikante Dichtereduzierung um bis zu 35% beim Rezyklatmaterial durch diesen Prozessschritt nachgewiesen werden.

### Die Bauteilherstellung

Mittels eines Formteilautomaten (Typ: EHVGE-PP 1070/870, Hersteller: Erlenbach) wurden Schaumformteile aus den produzierten Materialkombinationen hergestellt (**Titelbild**). Diese wurden hinsichtlich der Druckfestigkeit und

Wärmeleitfähigkeit untersucht. Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung zeigen, dass die spezifische Druckspannung durch Verwendung von Regranulaten im Vergleich zum Neuwarematerial um bis zu 40% gesteigert werden konnten. Damit sind Anwendungsfelder, in denen hohe Anforderungen an die Druckfestigkeit von Schäumen, z.B. bei Bodendämmelementen, gestellt werden, für Rezyklat-schäume denkbar. Die Ergebnisse der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ergeben eine Abhängigkeit von der Temperatur. Wie erwartet, besitzt das geschäumte Neuwarematerial die geringste Wärmeleitfähigkeit, die durch die geringere Schüttdichte zu erklären ist. Die geschäumten Platten mit Regranulatanteil besitzen eine höhere Wärmeleitfähigkeit, wobei sich die Platten aus Dipolen M/WB 260 HMS und PE-LD-400S/WB 260 HMS nicht signifikant unterscheiden.

### Fazit

Im Projekt konnte festgestellt werden, dass sich mit Schaumperlen aus PP- bzw. PE-Neuwarematerial, die einen Regranulatanteil von 50% enthalten und ein Schüttgewicht von ca.  $100 \text{ kg/m}^3$  aufweisen, hochwertige Schaumplatten mit einer hohen spezifischen Druckspannung von bis zu  $10,5 \text{ kPa/g}$  herstellen lassen. Ebenso konnte eine Wärmeleitfähigkeit von  $55,5 \text{ mW/mK}$  bei einer Prüfplattentemperatur von  $10^\circ\text{C}$  erreicht werden. Der optimierte Prozess läuft dabei mit einem Produktionsdurchsatz von  $20 \text{ kg/h}$  stabil. ■