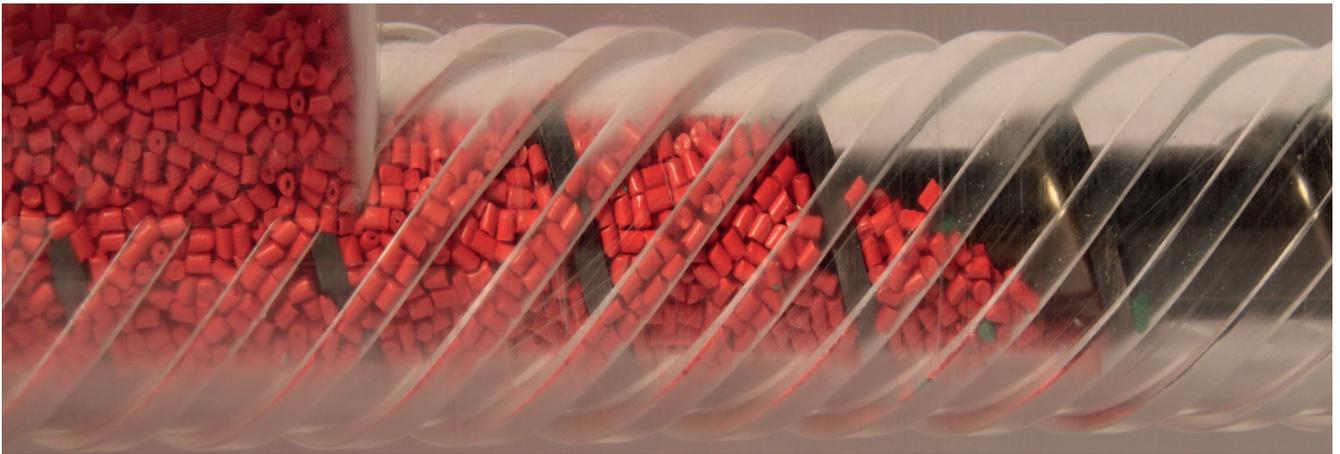


Feststoffförderung von Polyolefinen in Nutbuchsenextrudern

## Schneller als die Polizei erlaubt

Die Partikelgröße und -form von Kunststoffen spielt bei der Feststoffförderung in Einschneckenextrudern eine entscheidende Rolle. Die zunehmende Menge an unregelmäßig geformtem Rezyklat in Form von Mahlgut führt damit zu neuen Herausforderungen. In einem Forschungsprojekt ermöglicht das IKT einen Blick in die Glaskugel: Mithilfe eines transparenten Zylinders wird sichtbar, wie sich die Partikel während der Verarbeitung verhalten. Die Messung des Durchsatzes erfolgte parallel in einem baugleichen Stahlzylinder.



Rotes Granulat in einem transparenten, wendelgenuteten Zylinder aus PMMA zur optischen Beobachtung der Feststoffförderung. © IKT

Die Einschneckenextrusion ist eine der etabliertesten Verarbeitungstechniken in der Kunststoffindustrie [1]. Dennoch unterliegt das Verfahren im Laufe der Zeit stetig neuen Anforderungen. Neben der Verwendung von regelmäßig geformtem Neuware-Granulat gewinnt die Verarbeitung von rezykliertem, unregelmäßig geformtem Mahlgut (sogenannte Flakes) immer mehr an Bedeutung [2].

Da rezyklierte Ware meist eine niedrigere und schwankende Viskosität aufgrund von Werkstoff-Degradation aufweist [3], können die Verarbeitungstemperatur und das im Extruder vorliegende Druckniveau im Vergleich zur Verarbeitung von Neuware variieren. Weiterhin unterscheidet sich die geometrische Form von Flakes stark von der von Neuware, was sich insbesondere auf die Feststoffördereigenschaften in der Einzugszone auswirkt.

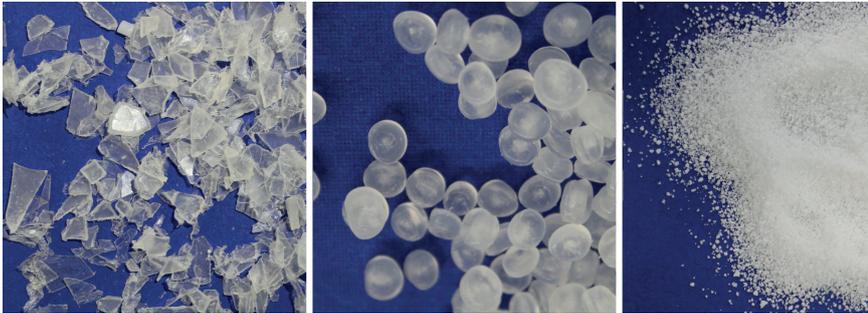
### *Höher, weiter, schneller*

Neben der steigenden Relevanz von Mahlgut lässt sich in der Einschneckenextrusion auch ein Trend zu höheren Drehzahlen beziehungsweise sogenannten schnelllaufenden Extrudern feststellen. Generell wird erwartet, dass der schnelllaufende Betrieb zu hohen Durchsätzen bei kleiner Maschinengröße und einer geringeren Motorleistung führt [4, 5]. Hohe Schneckendrehzahlen wirken sich zudem auf das Einzugsverhalten aus und führen beispielsweise durch eine Wirbelbildung im Trichter zu einer effektiv kürzeren Einrieselöffnungslänge [6]. Dadurch kommt es zu einer Abnahme des spezifischen Durchsatzes, sodass die Durchsätze hinter den Erwartungen zurückbleiben. Daher forscht das Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) an dem Feststoffförderverhalten von genuteten Einschnecken-

extrudern. Dabei ist das Ziel, mithilfe eines möglichst einfachen Modells, den Massedurchsatz als Funktion der Drehzahl sowohl bei niedrigen als auch hohen Drehzahlen für verschiedene Systeme in der Praxis vorhersagen zu können.

### *Mahlgut, Neuware und Pulver*

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden drei geometrisch unterschiedliche Polyolefin-Schüttgüter ausgewählt (**Bild 1**). Bei dem Mahlgut handelt es sich um ein Polypropylen (PP), welches zuvor in einem industriellen Flachfolienextrusionsprozess verwendet wurde. Daher ist die genaue Werkstoff-Type nicht bekannt. Das eingesetzte linsenförmige Neuware-Granulat ist ein PP-Copolymer (Moplen EP440G, LyondellBasell Industries). Als pulverförmiger Kunststoff wurde ein Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) mit einer mittleren Partikelgröße



**Bild 1.** Die drei verwendeten Werkstoffe von links nach rechts: PP-Mahlgut, PP-Neuware und PE-Pulver. © IKT

von etwa 725  $\mu\text{m}$  verwendet (Lupolen 5461 B Q471, LyondellBasell Industries). Das Mahlgut besitzt im Vergleich zur Neuware eine breite Partikelgrößenverteilung und eine ungleichmäßige Partikelform. Zur Auswertung der Partikelgröße wurden mit einem Flachbettscanner Aufnahmen der Schüttgüter angefertigt. Diese Aufnahmen wurden anschließend quantitativ mit der Open Source Software ImageJ ausgewertet, um die projizierte Fläche zu bestimmen (**Bild 2**). Die mittlere projizierte Fläche der Neuware beträgt 12,4  $\text{mm}^2$  mit einer relativen Standardabweichung von 8 %. Im Gegensatz dazu ist die mittlere projizierte Fläche des Mahlguts 42,3  $\text{mm}^2$ . Die relative Standardabweichung ist dort mit 54 % deutlich höher. Auch die Mahlgut-Dicke zeigt mit 0,46  $\text{mm} \pm 0,37 \text{ mm}$  eine große Verteilungsbreite, wohingegen die Neuwaren eine engere Dickenverteilung von 1,98  $\text{mm} \pm 0,18 \text{ mm}$  besitzt. Bei einer Schütthöhe von 5,5 mm hat die PP-Neuware die höchste Schüttdichte mit 0,52  $\text{g/cm}^3$ , gefolgt von dem PE-Pulver mit einer Schüttdichte von 0,46  $\text{g/cm}^3$ . Das PP-Mahlgut weist mit 0,22  $\text{g/cm}^3$  die geringste Schüttdichte auf.

### Feststoffförderung in Nutbuchsen

Zur qualitativen und quantitativen Untersuchung der Feststofffördereigenschaften wurden drei verschiedene Einzugszonen verwendet. Dabei konnte das jeweilige Schüttgut nach dem Passieren der gekühlten Einzugszone ohne Aufschmelzen wieder frei ausrieseln. Der erste Zylinder ist ein glatter Referenz-Zylinder, der zweite Zylinder besitzt sechs Wendelnuten (Nutwinkel: 41,19°) und der dritte Zylinder zehn Axialnuten (Nutwinkel: 90°). Zur optischen Analyse des Feststoffförderverhaltens wurden drei transparente PMMA-Zylinder (Polymethylmethacrylat, PMMA) genutzt (**Titelbild**). Die Messung des Durchsatzes als Funktion der Drehzahl erfolgte hingegen mit baugleichen Stahl-Zylindern, um realitätsgetreue Reibverhältnisse zwischen Schüttgut und Zylinder sicherzustellen.

### Analytische Durchsatzvorhersage

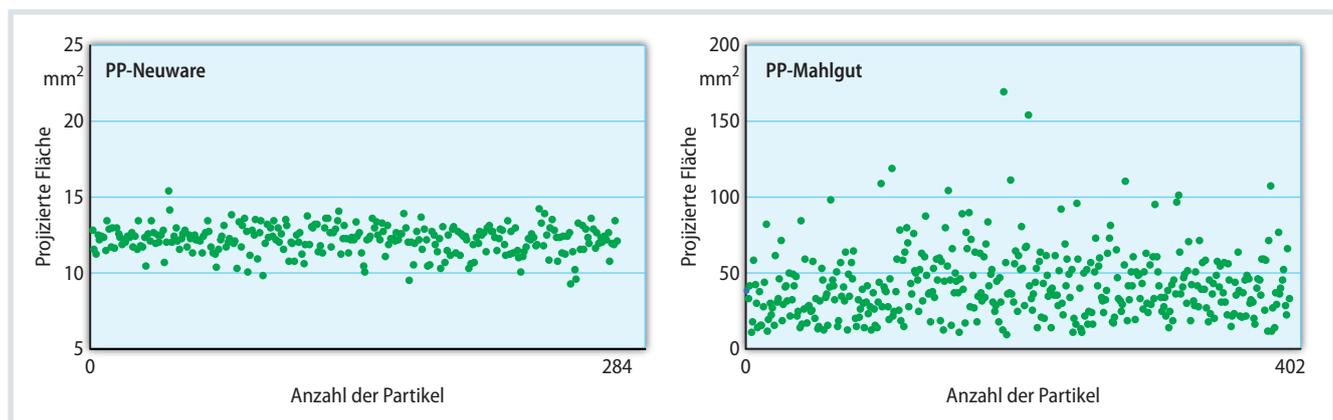
Die experimentell ermittelten Durchsätze wurden mit den Vorhersagen eines etablierten analytischen Modells vergli-

chen (siehe [7]). Damit kann der Massedurchsatz als Produkt der freien Querschnittsfläche in der Einzugszone, der vorliegenden Schüttdichte und der axialen Fördergeschwindigkeit des Granulats berechnet werden. Da im glatten Zylinder die Kenntnis der genauen Druck- und Reibungskräfte erforderlich ist, um die axiale Fördergeschwindigkeit zu berechnen, wurde auf diese Vorhersage verzichtet. Die Berechnung der axialen Fördergeschwindigkeit für die beiden genutzten Zylinder lässt sich hingegen einfacher bewerkstelligen, wenn eine sogenannte Mutter-Schraube-Förderung angenommen wird.

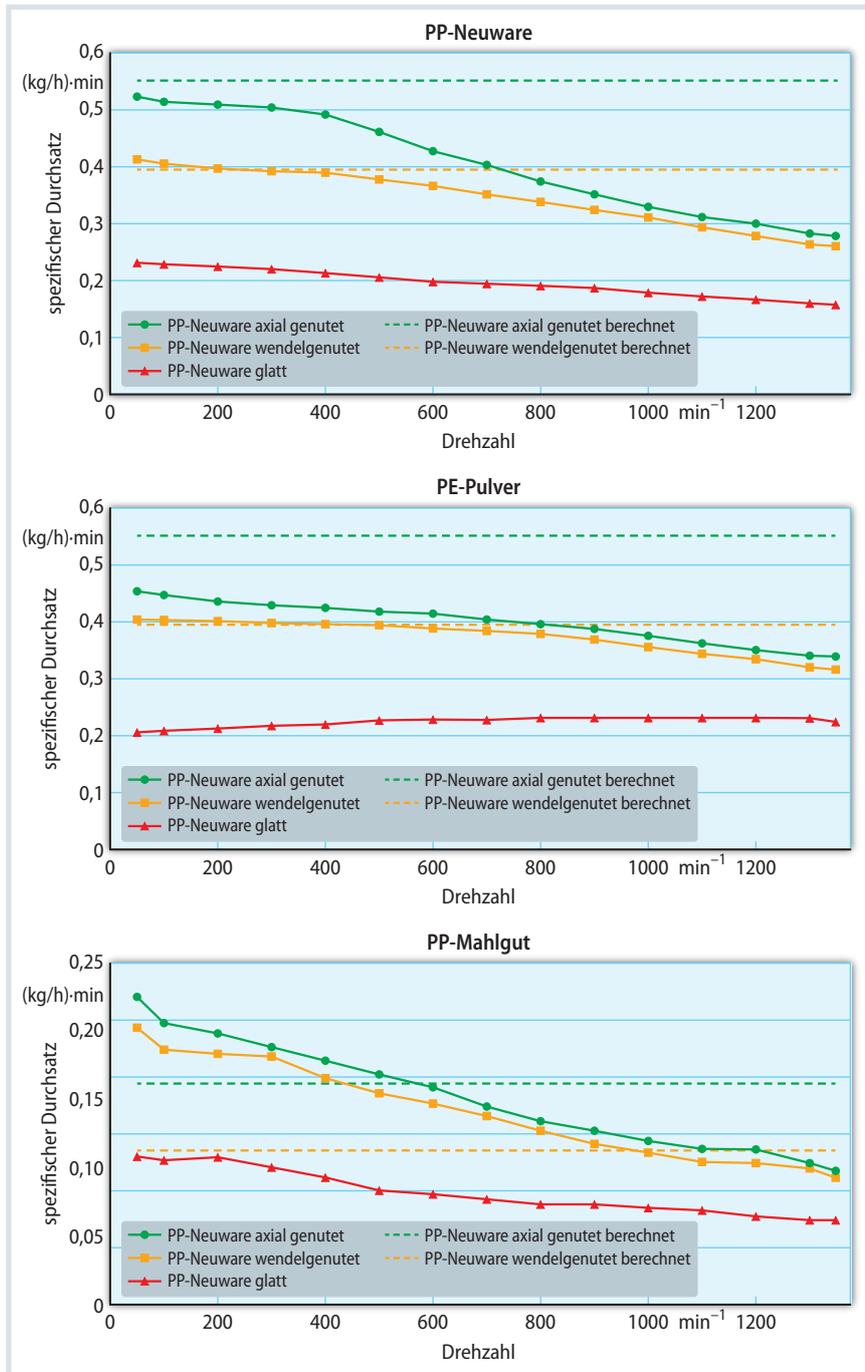
### Versuchsergebnisse bei hohen Drehzahlen

Die experimentell ermittelten Massedurchsätze (in  $\text{kg/h}$ ) werden durch die jeweilige Drehzahl (in  $\text{min}^{-1}$ ) dividiert, sodass der spezifische Massedurchsatz erhalten wird.

Für alle drei Schüttgüter zeigt sich ab einer gewissen Grenzdrehzahl eine Abweichung vom linearen Durchsatzverhalten beziehungsweise vom horizontalen Verlauf des spezifischen Durchsatzes (**Bild 3**). Lediglich das Pulver, welches in einer glatten Einzugszone untersucht wurde, zeigt keine Abnahme des spezifischen Massedurchsatzes bei höheren Drehzahlen. Auch für den axial- und wendelgenutzten Fall weist das Pulver bis zu einer Drehzahl von etwa 600  $\text{min}^{-1}$  einen annähernd konstanten spezifischen Massedurchsatz auf. Die Pulverform erweist sich somit als vorteilhaft bezüglich des Einrieselverhaltens bei hohen Drehzahlen. Im Vergleich dazu sinkt der spezifische Massedurchsatz »



**Bild 2.** Projizierte Partikelfläche für Neuware und Mahlgut: Die Neuware (links) zeigt eine deutlich engere Größenverteilung. Quelle: IKT; Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Spezifischer Massedurchsatz als Funktion der Schneckendrehzahl für drei verschiedene Zylindertypen und Vergleich mit analytischer Vorhersage: Mit steigender Drehzahl zeigt sich eine Abnahme des spezifischen Durchsatzes. Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

des Mahlguts bereits bei sehr niedrigen Drehzahlen.

### Vorhersage von Durchsatz gut möglich

Bezüglich des Vergleichs von experimentellem Massedurchsatz zur analytischen Berechnung ist zu erkennen, dass der Durchsatz sowohl für die Neuware als auch für das Pulver im Falle von Wendelnuten bei niedrigen Drehzahlen sehr gut

vorhergesagt werden kann. Die Berechnung im Fall von Axialnuten überschätzt in beiden Fällen hingegen den erzielbaren Massedurchsatz.

Dieses Verhalten kann mithilfe der Beobachtungen an den transparenten PMMA-Zylindern erklärt werden. So wurde beobachtet, dass das Pulver sowie die Neuware im niedrigen Drehzahlbereich für Wendelnuten eine Mutter-Schraube-Förderung aufweisen. Bei den

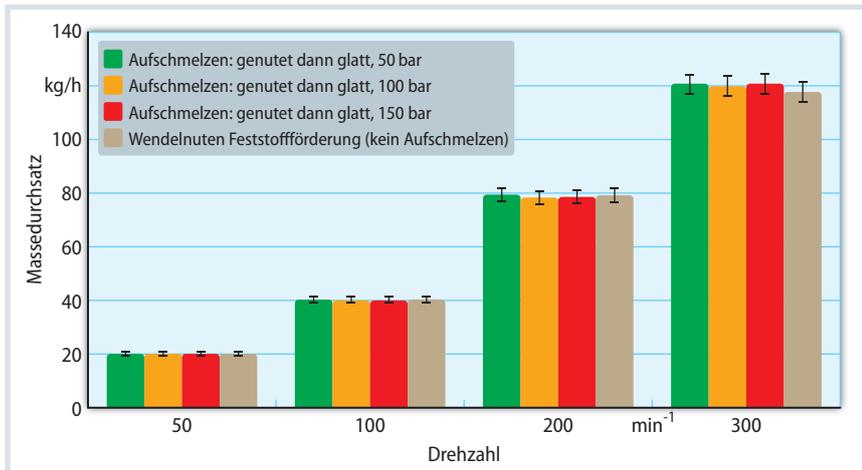
Axialnuten zeigte sich hingegen, dass der tatsächliche Förderwinkel im Schneckenkanal kleiner ist als die angenommenen 90°. Außerdem wurde beobachtet, dass in diesem Fall die Annahme der Blockströmung bereits bei niedrigen Drehzahlen ungültig ist. Diese Abweichung von der Blockströmungs-Annahme konnte auch bereits simulativ mithilfe der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) für andere Systeme gezeigt werden [8]. Für das Mahlgut unterschätzt die herkömmliche analytische Berechnung den erzielten spezifischen Massedurchsatz hingegen in beiden Fällen. Diese große Abweichung ist vermutlich in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die Schüttdichte des Mahlguts in der Einzugszone aufgrund von Kompressions- sowie Orientierungseffekten deutlich höher ist als die experimentell ermittelte Schüttdichte, welche für die Berechnungen verwendet wurde. Zur korrekten Durchsatzvorhersage von Mahlgut muss daher zukünftig noch die Kompressibilität beziehungsweise Druckabhängigkeit der Schüttdichte (siehe [9]) in die Berechnungen miteinfließen.

### Vergleich mit Aufschmelzversuchen

Weiterhin wurden die Massedurchsätze der wendelgenuteten Einzugszone für die Neuware mit Extrusionsversuchen verglichen, bei welchen an die jeweils gekühlte Einzugszone eine beheizte Aufschmelz- und Meteringzone (ca. 230 °C) mit glattem Zylinder folgte (Bild 4). Es zeigt sich, dass der Massedurchsatz trotz steigendem Werkzeuggedruck konstant bleibt, wobei diese Gegendruckunabhängigkeit ein klassisches Charakteristikum von Nutbuchsenextrudern darstellt. Außerdem ist zu erkennen, dass die Massedurchsätze der reinen Einzugszonenversuche um maximal 2,6 % von den Durchsätzen der Aufschmelzversuche abweichen und somit sehr gut übereinstimmen.

### Ausblick

Um den abnehmenden Verlauf des Massedurchsatzes bei hohen Drehzahlen besser vorherzusagen zu können, wird am IKT aktuell ein Berechnungsansatz entwickelt, bei dem die Geradengleichung (siehe [7]) mit einer Funktion begrenzten Wachstums gekoppelt wird.



**Bild 4.** Vergleich der Einzugszonenversuche mit Aufschmelzversuchen bei unterschiedlichen Werkzeuggegendrücken: Die ermittelten Massedurchsätze stimmen sehr gut überein. Weiterhin ist das gegen druckunabhängige Förderverhalten des Nutbuchsenextruders zu erkennen.

Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

Neben den hier geschilderten Effekten ist der geringere spezifische Durchsatz von Mahlgut im Vergleich zu Neuware ein generelles Problem. Um den spezifischen Durchsatz von Mahlgut und

Neuware anzugleichen, ist die Verwendung speziell designter Kompressionszonen in der Einzugszone möglich, welche auch am IKT erforscht werden [10, 11]. ■

## Info

### Text

**Kai Johann, M. Sc.**, ist seit 2020 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Verarbeitungstechnik des Instituts für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT); Kai.Johann@ikt.uni-stuttgart.de  
**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten** ist seit 2010 Leiter des Instituts für Kunststofftechnik (IKT).

### Dank

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts (Projektnummer: 423276016). Darüber hinaus danken die Autoren dem Studenten Adrian Reißing, B. Sc., für seine Unterstützung bei der Versuchsdurchführung.

### Literatur & Digitalversion

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

## Premiere auf der K 2022

# Recyclinganlage in neuem, kompaktem Design

Das italienische Unternehmen Gamma Meccanica S.p.A. steht seit 1987 für die Entwicklung und Herstellung von Recyclinganlagen. Dazu zählen die Technologien Tandem und Tandem Plus. Erstere ermöglicht das Recycling schwer zu verarbeitender Materialien, die sehr feucht und stark verschmutzt sind.

Die Tandem-Plus-Technologie kombiniert einen Einschnecken-, einen Doppelschneckenextruder, eine spezielle Entgasungsstation und zwei Filtersysteme miteinander. Mit dem System soll sich hochwertiges Granulat gewinnen lassen. Ein Upcycling-Prozess verleiht dem recycelten Material die vom Kunden gewünschten technischen Eigenschaften, so der Hersteller. Zur K 2022 präsentierte Gamma Anlagen im neuen Design. Die Linien zeichnen sich laut Hersteller durch einen geringen Energieverbrauch und ein platzsparendes Layout aus.

Am Messestand war eine GM100 Compac- zu sehen, die mit einer Isolierung für geringere Wärmeabstrahlung und eine bessere Temperaturkontrolle der verschiedenen Zonen sorgt. Die Produktionskapazität der GM100 Compac liegt bei etwa 500 kg/h, abhängig von der Art des zu recycelnden Materials und den Verarbeitungsbedingungen. Der Aufbau ist ähnlich wie bei anderen Anlagen aus der Compac-Modellreihe: Das Material kann über ein Förderband oder einen Rollenabwickler zugeführt werden. Die Druckschnecke ist zwischen der Zuführung und dem Extruder positioniert. Ein Extruder (oder zwei im



Verarbeitet bis zu 500 kg/h: Neue Anlage GM100 Compac von Gamma Meccanica. © Gamma Meccanica

Falle von Tandem-Modellen) ist mit einer oder mehreren Entgasungskammern ausgestattet. Am Ende des Extruders ist der Filterwechsler installiert. Die Pelletierung und Kühlung des Materials erfolgt mit dem Schneidmesser TDA, das für eine hohe Qualität des Granulats steht und eine schnelle und einfache Reinigung und Wartung ermöglichen soll.

Die am Stand präsentierte Anlage wurde nach der Messe im neuen hauseigenen Laborzentrum aufgebaut. Dort testet Gamma Meccanica von Kunden gelieferte Materialien.

[www.gamma-meccanica.it](http://www.gamma-meccanica.it)