

# Starkem Druck gewachsen

Recyclinganlage in der weiterentwickelten, neuen TVEplus-Konfiguration



**Postconsumer-Abfall.** Beim Aufbereiten stark kontaminierter Kunststoffabfälle, insbesondere intensiv bedruckter Folienverpackungen, stieß die bisherige Recyclingtechnologie häufig an ihre Leistungsgrenze. Durch gezielte Weiterentwicklung ist es jetzt möglich, selbst vollflächig und mehrschichtig bedruckte Postconsumer-Abfälle in einem Arbeitsgang zu hochwertigem Rezyklat aufzubereiten.

## GEORG WEIGERSTORFER

Die Recyclingtechnologie, sortenreine saubere Produktionsabfälle bis hin zu Postconsumer-Abfällen aus Sammelsystemen erneut dem Wertschöpfungskreislauf zuzuführen, hat einen hohen Stand erreicht. Mittlerweile stellen die Abfallmaterialien allerdings auch kontinuierlich steigende Anforderungen an die Aufbereitungstechnik. Ein typisches Beispiel hierfür sind Verpackungskunststoffe, die mit einem zunehmend hohen Druckfarbenanteil in den Recyclingkreislauf gelangen. Wie die Hersteller von Recyclinganlagen sich hierauf einstellen, wird an der Anlagentechnik von Erema, Ansfelden/Österreich, aufgezeigt: an der Weiterentwicklung von der TVE zur TVEplus (**Titelbild**), die speziell für die Auf-

bereitung problematischer Kunststoffabfälle zum Einsatz kommt.

## Zugeschnitten auf die Recyclingaufgabe

Recyclinganlagen des österreichischen Maschinenbauers arbeiten mit einem sogenannten Schneidverdichter mit einem tangential angekoppelten, robusten Einschnecken-Extrusionssystem. Die Beschickung erfolgt automatisch – loses Material wird über ein Aufgabeförderband, Folie auf Rollen direkt über einen Rolleneinzug zugeführt. Der Schneidverdichter zerkleinert und mischt das Aufgabematerial mit rotierenden Schneidwerkzeugen. Gleichzeitig wird das Aufgabegut getrocknet – ausschließlich durch die im Aufbereitungsreaktor entstehende Friktionswärme – und für den Einzug in den Extruder verdichtet. Dort wird das Material aufgeschmolzen, homogenisiert und

nach dem Durchströmen eines vollautomatisch selbstreinigenden Filters granuliert. Je nach Ausgangsmaterial muss die aufbereitete Schmelze im Extruder zuvor entgast werden, um mitgeschleppte Feuchtigkeitsreste oder bei der Aufbereitung entstandene gasförmige Spaltprodukte abzutrennen. Bei konventionellen Entgasungsextrudern ist diese Entgasungsstation dem Schmelzefilter vorgelagert, so wie auch in der Recyclinganlage Typ Erema TE (**Bild 1, oben**).

Die TVE-Technologie kehrt diese Reihenfolge um (**Bild 1, Mitte**): Nach der Einzugs- und Aufschmelzzone folgt die Filtereinheit und danach erst die Schmelzentgasung. Für das Aufbereiten von Kunststoffabfällen ergeben sich dadurch mehrere Vorteile, insbesondere bei Kontamination mit Verunreinigungen, die zur Gasbildung neigen, oder wo mit der Schmelze transportierte hohe Feststoffanteile die Entgasung beeinträchtigen.

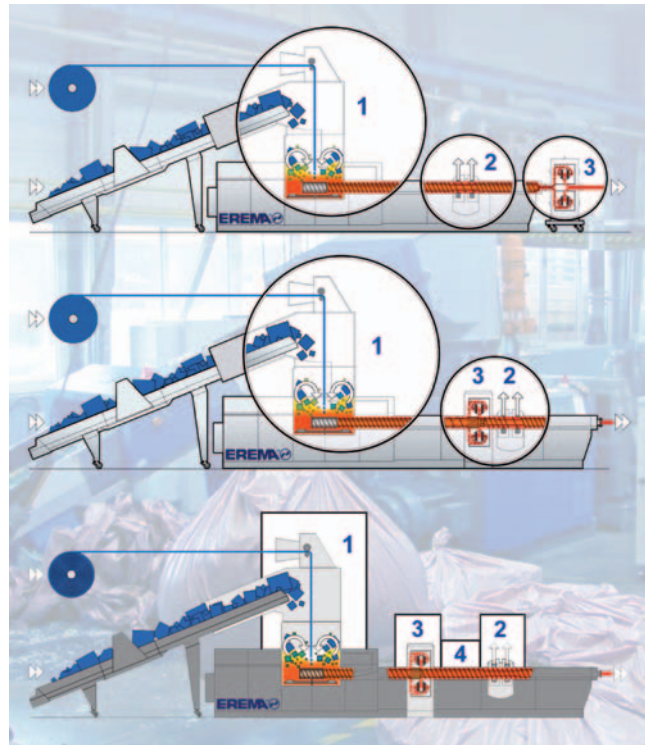
**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110499

Durch das frühzeitige Abtrennen dieser Partikelverunreinigungen gelangen mit der Schmelze nur die gasförmigen Bestandteile in die Entgasungszone des Extruders. Zudem besteht keine Gefahr, dass bei einer eventuellen Siebverstopfung, hervorgerufen durch plötzlich auftretende größere Schmutzanteile (Schwallverschmutzung), Schmelze an den Entgasungsöffnungen austritt. Dadurch hat der Extruder auch eine weitgehend unbeeinflusste, konstant hohe Entgasungsleistung.

Seit der Einführung der TVE-Recyclinganlage Mitte der 1990er-Jahre haben inzwischen gut 600 Anlagen die Wirksamkeit dieser Technologie in der Praxis bestätigt. Aufbereitet werden damit in der Mehrzahl Polyolefinabfälle mit meist hoher Belastung – die Spanne reicht von gebrauchten Agrarfolien bis hin zu bedruckten Verpackungsfolien, nicht selten sogar noch mit Klebeetiketten behaftet.

### Von der TVE- zur TVEplus-Technologie

Die Farbenvielfalt und die Intensität im Verpackungsdruck haben in den letzten Jahren stetig zugenommen. So werden Folienverpackungen heute häufig vollflächig und sogar noch mehrschichtig bedruckt. Solche hohen Farbanteile erschweren das Recycling dieser Abfallstoffe. Probleme bereiten insbesondere die in den Druckfarben stets enthaltenden Bindemittel und sonstigen Hilfsstoffe, die sich bei den Verarbeitungstemperaturen der Kunststoffmatrix teilweise zersetzen und dabei „ausgasen“. Verbleiben beim



**Bild 1. Prinzip der Recyclinganlagen Erema TE (oben), TVE (Mitte) und TVEplus (unten); 1: Schneidverdichter mit tangential angeordnetem Einzschneckenextruder, 2: Doppelentgasungsstation, 3: Schmelzefilter, 4: spezielle Homogenisierzone (Bilder und Grafiken: Erema)**

Aufbereiten noch nennenswerte Anteile davon im Rezyklat, eignet es sich u. U. nicht mehr für den geplanten Einsatz. Um dennoch ein brauchbares Rezyklat zu erhalten, blieb häufig nur die Möglichkeit, dieses problematische Ausgangsmaterial vor dem Recyceln mit deutlich weniger belastetem Abfallmaterial zu mischen.

Die Weiterentwicklung der TVE-Baureihe zielte daher speziell auf dieses Problemfeld. Konstruktiv und verfahrenstechnisch umgesetzte Maßnahmen in der aktuellen TVEplus-Konfiguration führen zu einem jetzt nochmals intensiveren Entgasen. Das beginnt bereits vor dem Eintritt des aufbereiteten Materials in den Schmelzefilter. Einzugs- und Umwandlungszone des Extruders sind

konstruktiv so geändert worden, dass jetzt ein sehr steiler Druckgradient im Schneckenkanal die sogenannte Rückwärtsentgasung in Richtung Extrudereinzug und Schneidverdichter intensiviert.

Ein weiteres, bereits optisch wahrnehmbares Unterscheidungsmerkmal zur bisherigen TVE ist der vergrößerte Abstand zwischen Schmelzefilter und Entgasungsstation bei der TVEplus (Bilder 1 und 2). In diesem Schneckenabschnitt wird die von partikulären Verschmutzungen befreite Schmelze intensiv homogenisiert, bevor sie in die Entgasungszone eintritt.

Die im Folgenden beschriebenen systematischen Untersuchungen zeigen die Unterschiede in der Wirksamkeit der bisherigen TVE- und der neuen TVEplus-Generation beim Aufbereiten stark bedruckter Verpackungsfolien auf. Als Vergleich für einen Entgasungsextruder in konventioneller Bauweise wurde auch die Recyclinganlage in TE-Konfiguration in diese Untersuchungen mit einbezogen.

### Anlagenkonfigurationen im Leistungsvergleich

Um Störungen durch nicht beeinflussbare und zudem noch schwankende Fremdkontamination auszuschließen, kam bei den vergleichenden Untersuchungen sauberer Produktionsabfall einer vollflächig und sogar mehrschichtig bedruckten PE-LD-Folie zum Einsatz (Bild 3). Zur Beurteilung der erzielten Regranulatqualität



**Bild 2. Bei der TVEplus dient der Schneckenabschnitt zwischen vollautomatischem Siebwechsler (1) und Entgasung (2) zur intensiven Schmelzeshomogenisierung**

wurde ein pragmatisches, vergleichsweise einfach zu ermittelndes Kriterium gewählt: das Auftreten, die Anzahl und die Größe von sogenannten Fischaugen auf der aus dem jeweiligen Rezyklat geblasenen Folie. Die Ergebnisse, ermittelt für die Recyclinganlagen Erema TE, TVE und TVEplus sind in **Bild 4** visualisiert und in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Die Beurteilung der Blasfolien ergibt folgendes Bild: Erwartungsgemäß liefert die TE-Konfiguration das schlechteste Rezyklat – sie wäre für diese Aufbereitungsaufgabe ohnehin nicht in Erwägung gezogen worden und diente in der Untersuchung lediglich als „Schlecht-Vergleich“. Obwohl das Granulat blasenfrei gewonnen werden konnte, ist die daraus geblasene Folie komplett durchzogen von nahezu durchgängig sehr großen Fischaugen und sogar übersät mit Blasen an der Oberfläche (**Fall 1 in Bild 4**). Dieses Rezyklat enthält demnach noch hohe Anteile an mitgeschleppten, beim weiteren Verarbeiten stark zur Gasbildung neigenden Druckfarbenbestandteilen.

Wie für die Produktion von PE-LD-Blasfolien üblich, betrug die Verarbeitungstemperatur 200 °C. Mit dieser Temperatureinstellung am Folienblaskopf zeigten alle anderen, mit der TVE und den TVEplus-Konfigurationen gewonnenen Rezyklate allerdings durchgängig keine Fischaugen (**Tabelle 1**). Daher wurde die

**Bild 3. Diese rundum intensiv bedruckte PE-LD-Schrumpffolie kam für die Vergleichsuntersuchungen mit den Recyclinganlagen Erema TE, TVE und TVEplus in unterschiedlicher Schneckenkonfiguration zum Einsatz**



weise große Fischaugen auf (**Fall 2 in Bild 4**). Deren Anzahl ist jedoch erheblich geringer als beim TE-Ergebnis. Fischaugen, allerdings viel kleinere und in nochmals geringerer Anzahl, sind auch in **Fall 3 in Bild 4** sichtbar: bei dem Versuchsaufbau TVE mit Dreifach-Entgasung. Hierzu hatte der Extruderzylinder nach dem Filter zwei Entgasungspositionen: Dem in der Normal-Konfiguration eingebauten Doppel-Entgasungsdom war zusätzlich eine Einfach-Entgasung vorgeschaltet. Schneckenengeometrie und Abstand der beiden Entgasungsstellen waren so gewählt, dass ein komplett mit Schmelze ge-

füllter Schneckenabschnitt beide Entgasungsstellen voneinander trennte.

Die **Fälle 4 und 5 in Bild 4** zeigen schließlich das Rezyklatergebnis der TVEplus, wobei sich die Anlagenkonfigurationen in der Ausprägung der vor der Entgasungszone eingesetzten Mischteile unterscheiden. Beide aus dem jeweiligen Rezyklat bei 250 °C gewonnenen Blasfolien sind komplett fischaugenfrei.

**Entgasen allein reicht nicht aus, ...**

Die Ergebnisse dieser Vergleichsreihe zeigen Mehreres auf. Zum einen, dass beim Aufbereiten stark bedruckter Polyolefinabfälle die Farbbestandteile in erheblichem Anteil den Filter (Siebmaschenweite üblicherweise zwischen 100 und 150 µm) passieren können. Eine Filteranordnung erst unmittelbar vor der Granulierung ist mit dieser Aufbereitungsaufgabe völlig überfordert – hieran kann auch eine Schmelzeentgasung vor dem Filter wenig retten (siehe TE-Ergebnis). Das TVE-Konzept mit dem frühzeitigen Abtrennen von Partikeln mit einer nachgeschalteten Entgasungsstufe erfüllt diese Aufgabe schon deutlich besser.

Konfiguration der Recyclinganlage	Folie geblasen bei	Anzahl der Fischaugen/dm <sup>2</sup>	Größe der Fischaugen
(1) TE mit Standardschnecke	200 °C	ca. 300	sehr groß
(2) TVE mit Standardschnecke	200 °C 250 °C	keine ca. 40	– relativ groß
(3) TVE mit Dreifach-Entgasung (Versuchsaufbau)	200 °C 250 °C	keine ca. 20	– klein
(4) TVEplus mit Mischteil 1	200 °C 250 °C	keine keine	– –
(5) TVEplus mit Mischteil 2	200 °C 250 °C	keine keine	– –

**Tabelle 1. Anzahl und Größe der Fischaugen, ermittelt im Blasfolientest**

Verarbeitungstemperatur an der Blasfolienanlage auf 250 °C erhöht, um eventuell im Rezyklat noch vorhandene Fremdmaterialien zur Gasbildung zu bringen. Mit dieser überhöhten Temperaturführung zeigen sich schließlich weitere Unterschiede in der Dekontaminationsleistung.

So weist die Blasfolie aus dem mit der TVE-Anlage in der bisherigen (alten) Filter-Entgasungs-Kombination gewonnenen Rezyklat noch deutliche, vergleichs-

Konfiguration der Recyclinganlage	MFR (190 °C/2,16 kg) [g/10 min]
(1) TE mit Standardschnecke	0,49
(2) TVE mit Standardschnecke	0,44
(3) TVE mit Dreifach-Entgasung (Versuchsaufbau)	0,43
(4) TVEplus mit Mischteil 1	0,43
(5) TVEplus mit Mischteil 2	0,42
Folie, unbedruckt	0,42

**Tabelle 2. Schmelzindices MFR (Melt Flow Rate) der mit den Recyclinganlagen gewonnenen Rezyklate**

Die Annahme liegt daher nahe, dass eine Intensivierung der Entgasung das Dekontaminationsergebnis der TVE weiter verbessern könnte. Das bestätigt auf den ersten Blick das Blasfolienergebnis aus dem Versuchsaufbau TVE mit Dreifach-Entgasung (Fall 3 in Bild 4). Die Verbesserung von Fall 2 (TVE) zu Fall 3 ist zweifellos auf intensiveres Entgasen zurückzuführen, aber nicht ausschließlich auf die Entgasung nach dem Schmelzefilter. Wie eingangs angeführt, müssen durch die verbesserte Rückwärtsentgasung der TVEplus-Auslegung nicht alle im Aufschmelzprozess entstehenden gasförmigen Anteile ausschließlich mit der Doppelentgasungsstation abgezogen werden. Dieser Anteil ist daher von vornherein kleiner als bei der bisherigen TVE. Somit

distributiven, rein räumlich verteilenden Aufgabe zusätzlich auch dispergierend wirken, d.h. durch Einleiten von Scherkräften in die Schmelze mitgetragene Partikelaggregate zerteilen. Auf diese Weise können die den Schmelzefilter passierenden Bestandteile der Druckfarben abgeschlossen (zum Verdampfen gebracht) und anschließend in der Entgasungszone des Extruders abgezogen werden.

Der Unterschied in den beiden Mischteilen bei den Untersuchungen besteht darin, dass Mischteil 2 (Ergebnis 5 in Bild 4) „schärfer“, d.h. stärker dispergierend wirkt. Mit dem „Blasfolientest“ ist allerdings kein Unterschied zum Ergebnis mit dem etwas schwächer dispergierend wirkenden Mischteil 1 festzustellen. Allenfalls spiegelt sich die mit Mischteil 2 er-

aus dem Produktionsalltag vor. So kommt die Baugröße 1514 (Durchmesser des Schneidverdichters 1500 mm, Schnecken-durchmesser 140 mm) mittlerweile zur routinemäßigen Aufbereitung sowohl von stark bedruckter PE-Folie als auch von transparenten PE-Folienschnitzeln zum Einsatz. Das Rezyklat der farbhaltigen PE-Folie ergab nach dem beschriebenen Blasfolientest bis 250°C Folienmuster in sehr guter Qualität – ohne das Aufgabematerial, wie in der Vergangenheit, zuvor mit unbedrucktem Abfallmaterial „verdünnen“ zu müssen. Und bei den transparenten Folienschnitzeln von Bau-, Agrar- und Verpackungsfolien zeigt das Rezyklat keinerlei Verfärbung. Im Vordergrund stand hier die materialschonende Aufbereitung, um thermisch instabile Bestandteile wie EVOH und PE-LLD thermisch nicht zu überlasten.

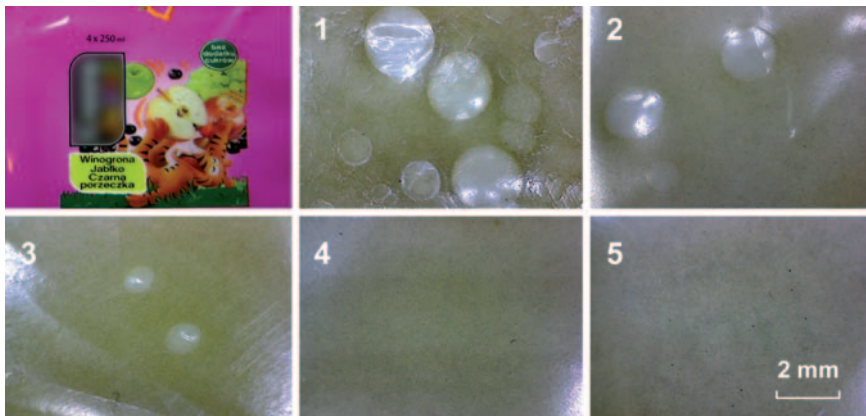
Laut Rückmeldungen der Verarbeiter hat man mit der TVEplus die beste mit einer Recyclinganlage bislang gewonnene Rezyklatqualität erzielt. Gleichzeitig konnten dabei in der Regel höhere Durchsätze erreicht werden, im Einzelfall sogar deutlich höhere. Beispielsweise erreichte eine TVEplus, Schneckendurchmesser 70 mm und ausgelegt für die Aufbereitung von BOPP-Folien, einen gut 20 % höheren Durchsatz als der baugrößengleiche TVE-Vorgänger.

Wesentlichen Anteil an diesen Verbesserungen hat die Mischzone zwischen Filter und Entgasung des TVEplus-Extruders. Je nach Aufgabenstellung kann sie von überwiegend distributiv bis hin zu intensiv dispergierend ausgelegt werden. In Kombination mit der neu gestalteten Einzugs- und Übergangszone lässt sich, im Vergleich zur bisherigen TVE-Generation, gleichzeitig die Verarbeitungstemperatur um bis zu 20°C absenken, was thermisch sensiblen Materialien zugute kommt.

In der Summe erschließt die neue TVEplus-Konfiguration dem Recycling ein sehr breites Prozessfenster, Kunststoffabfälle von materialschonend bis intensiv dispergierend zu hochwertigem Rezyklat aufzubereiten. Die Baureihe dieser Recyclinganlage umfasst abgestufte Baugrößen für Durchsätze von 250 bis rund 2500 kg/h. ■

**DER AUTOR**

GEORG WEIGERSTORFER, geb. 1965, ist Leiter Prozessentwicklung bei der Erema Engineering Recycling Maschinen und Anlagen Ges.m.b.H., Ansfelden/Österreich; g.weigerstorfer@erema.at



**Bild 4. Blasfolientest mit Rezyklaten, gewonnen aus vollflächig bedruckter PE-LD-Folie (oben links) mit den Recyclinganlagen TE (1), TVE (2), TVE mit Dreifach-Entgasung (Versuchsaufbau) (3), TVEplus mit Mischteil 1 (4) und TVEplus mit Mischteil 2 (5)**

ist das verbesserte Blasfolienergebnis für die Anlagenkonfiguration 3 kein eindeutiger Nachweis für eine bessere Entgasungsleistung der nach dem Schmelzefilter angeordneten „Dreifach-Entgasung“.

**... dispersives Aufschließen ist zusätzlich gefordert**

Aber auch ein intensiviertes Entgasen hat Grenzen in Bezug auf die Dekontamination: Die Blasfolie aus dem Rezyklat der TVE mit Dreifach-Entgasung weist immer noch Gasbläschen auf. Erst der Einsatz von Mischteilen, eingesetzt im Schneckenabschnitt zwischen Filter- und Entgasungsposition, führt zu einem Rezyklat, das eine komplett gasblasenfreie Blasfolie ergibt (Fall 4 und 5 in Bild 4). Zur Entgasung diente hierbei stets nur der bei der Anlage serienmäßig eingesetzte Doppelentgasungsdom.

Die eingesetzten Mischteile sind konstruktiv so beschaffen, dass sie neben der

zielbare, eventuell noch bessere Dekontamination der PE-LD-Schmelze im Schmelzindex des Rezyklats wider (vgl. Tabelle 2). Die MFR-Werte, die bei den Untersuchungen begleitend ermittelt wurden, lassen zwar keinen direkten Rückschluss auf die mit den Aufbereitungsanlagen jeweils erzielte Qualität der Rezyklate zu, aber eine Tendenz ist erkennbar: Je näher der MFR-Wert des Rezyklats dem der unbedruckten Folie kommt, umso besser hat die Schmelzaufbereitung und damit das Ausgasen der Farbbestandteile in der Recyclinganlage stattgefunden.

**Prozessfenster für die Recyclingpraxis verbreitert**

Seit Anfang dieses Jahres serienmäßig verfügbar, liegen neben einer Vielzahl von Erprobungen mit den unterschiedlichsten Abfallmaterialien auf der neuen TVEplus inzwischen auch Erfahrungen