

PET-Recycling

Modulares Konzept für Industrieabfall bietet flexible Lösungen

Bei der Herstellung von Halbzeugen wie Fasern oder Folien fallen entlang der Produktionskette immer wieder Abfälle an, die nach dem Recycling als Rohstoff eingesetzt werden können. Durch den hydrolytischen Polymerabbau stellt die Wiederaufbereitung von PET besondere Anforderungen an den Anlagenbau.

Bei der Verarbeitung von Polyolefinen ist die Recyclingaufgabe weitestgehend gelöst. Es gibt gut funktionierende Konzepte auf dem Markt, die sich dieser Aufgabenstellung wirtschaftlich annehmen und ausreichende gute Qualitäten erzeugen. Anders gestaltet sich die Situation bei der Wiederaufbereitung von PET. Hier werden oft Lösungen aus dem Polyolefinbereich adaptiert, die auf die speziellen Eigenschaften des PET nicht abgestimmt sind.

Problematisch beim Rohstoff Polyester ist die große Affinität der Moleküle zur Luftfeuchtigkeit, die sich bei der Verarbeitung im Extruder in der Verkürzung von Molekülen (Hydrolyse) bemerkbar macht, was die mechanischen Eigenschaften des Polymers deutlich herabsetzt. Beim Einsatz von Bottle Flakes hat sich hier das Multi-Rotations-System (MRS) der Gneuß Kunststofftechnik GmbH, Bad Oeynhausen, bewährt, das die angesammelte Feuchtigkeit während des Extrusionsprozesses mithilfe von sehr großen Polymeroberflächen unter Anlegung eines einfachen Vakuums entzieht und den Abbau reversiert.

Bei der Herstellung von PET-Folie zum Thermoformen gibt es etablierte Verfahren, die den Stanzabfall umgehend wieder einmahlen und dann gleich wieder dem Produktionsprozess zuführen. Der tendenziell niedrige i.V.-Wert, dieser bestimmt die physischen oder mechanischen Eigenschaften des Endprodukts, wird durch das Zuführen hochwertiger Neuware mit höherem i.V.-Wert (z.B. Bottle Flakes, Chips mit hohem i.V.-Wert etc.) kompensiert.

Werden hingegen biaxial verstreckte Folien oder Fasern aus PET hergestellt, ist die Aufarbeitung von Produktionsabfällen weitaus schwieriger zu lösen. Dies liegt vor allem an der sehr niedrigen „Schüttdichte“



Bild 1. Typische Faserrecyclingabfälle (Bild: Gneuß)

des Abfalls, die häufig unter 100g/l liegt und somit zu großen Schwierigkeiten führt, wenn dieser Abfall in den Extruder zurückgeführt werden soll (**Bild 1**).

Diese Industrieabfälle aus biaxial verstreckten PET-Folien oder Fasern lassen sich somit nicht ohne Weiteres in einem Extrusionsprozess verarbeiten.

Diese beiden Abfallarten müssen zunächst soweit zerkleinert werden, dass sie dosierfähig werden. Für diesen Prozessschritt stehen unterschiedliche Maschinenkonzepte zur Verfügung.

Vorzerkleinern mit Shredder oder Schneidmühle

Zum einen können Shredder eingesetzt werden. Diese können mit ganzen Ballen des Wertstoffs beladen werden und zer-

kleinern die Fasern oder Folien. Ein hierzu geeigneter Shredder besitzt eine rotierende Welle mit mehreren Messern, die bei der Rotation gegen stehende Messerkanten geführt werden.

Häufig ist die Maschine mit einem hydraulischen Schieber ausgerüstet, der den aufgegebenen Abfall gegen den Rotor drückt und somit den Durchsatz der Anlage reguliert (**Bild 2**). Die Rotations- und Umfangsgeschwindigkeit des Rotors ist eher gering, die thermische Belastung auf das Polymer ist daher begrenzt.

Ein weiteres Merkmal ist die Robustheit des Aggregats, das auch ein Anfahren bei vollgefüllter Maschine ermöglicht. Auch größere Abfallteile werden ohne größeren Schaden zerkleinert, somit ist auch die Verwendung von Anfahrklumpen als Aufgabematerial möglich (**Bild 3**).

Bild 2. Shredder
(Einwellen-Zerkleinerer WLK 1500)
zum Zerkleinern
von Ballen
(Bild: Weima)



Bild 3. Shredderrotor F-Rotor mit aufgeschweißtem Vautid-Verschleißschutz (Bild: Weima)

Üblicherweise werden nach dem Zerkleinern Siebe eingesetzt, die die Verweilzeit und somit die Größe des Ausgabeguts definieren. Bei einer Korngröße von etwa 40 mm und größer entstehen so Gewölle, die mäßig gut gefördert werden können.

Einen saubereren Schnitt erreichen Schneidmühlen. Auch hier arbeitet ein Rotor, allerdings mit wesentlich höherer Rotations- und Umfangsgeschwindigkeit, und schneidet das Aufgabegut gegen feststehende Messer (**Bilder 4 und 5**). Diese Maschinen sind selbsteinziehend, sodass endlose Fasern oder Folien auf jeden Fall vor der Aufgabe portioniert werden müssen. Auch ist ein Start mit gefülltem Schneidraum nicht möglich, die Aufgabe von Anfahrklumpen führt sehr schnell zur Zerstörung der Messer. Der feine Schnitt ermöglicht hingegen einen besser dosierbaren Stoffstrom, der dann bei der Weiterverarbeitung Vorteile bietet. Auch hier entstehen

lose Gewölle, allerdings mit definierten Abmessungen.

Der so vorbereitete Gewöllstrom kann nun entweder direkt dem Extruder zugeführt werden oder aber mithilfe eines weiteren Prozessschritts noch kompakter gemacht werden. Hier bieten sich wiederum zwei verschiedene Verfahren an.

Zuführen von Agglomerat oder Pellets

Beim Agglomerieren wird das Gewöll mithilfe einer Stopfschnecke in einen Spalt zwischen einer rotierenden und einer stehenden Scheibe eingebracht. Durch die Friktionswärme wird das Material angeschmolzen und verdichtet. Nachteilig ist hierbei, dass es teilweise zu hohen thermischen Belastungen kommt, die das Molekulargewicht und damit die mechanischen Eigenschaften des PET negativ beeinflussen können.

Grundsätzlich verhält sich das Gewöll in großen Behältern mit Scherrühr- »



Bild 4. Schneidmühle zum Vorzerkleinern

(Bild: Herbold Meckesheim)

werken genauso, die thermische Belastung für das Polymer kann zur Erhöhung des Gelbwerts und zur Reduktion des Molekulargewichts (IV) führen. Agglomeratoren werden deshalb überwiegend im Polyolefinbereich eingesetzt, da sie die speziellen Eigenschaften des PET meist nicht ausreichend berücksichtigen.

Weitaus schonender geschieht das Pelletieren in Kollermühlen. Hier wird das Aufgabegut durch speziell gestaltete Matrizen mit Löchern gedrückt und dabei verdichtet. Aus den schlecht dosierfähigen Gewöllen entstehen in diesem Prozessschritt Pellets, die sich sehr einfach und genau dosieren und weiterverarbeiten lassen.



Bild 5. Schneidmühlenrotor (Bild: Herbold Meckesheim)

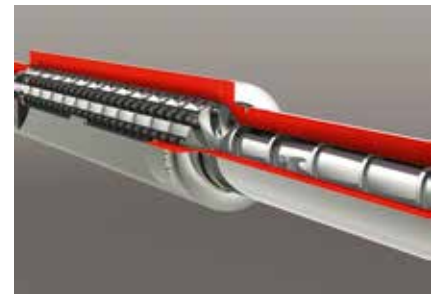


Bild 6. Der Multirotationsbereich (links) und der Übergang Multirotationsbereich/Austragschnecke (rechts) (Bild: Gneuß)

Dieser Prozessschritt bietet sich daher an, wenn man zu den Faser- oder Folienabfällen andere Komponenten wie Bottle Flakes, Neuware, Additive oder ähnliches in der nachfolgenden Extrusion einmischen möchte.

Wenn keine Additive zugemischt werden müssen, lassen sich Gewölle oder Schnipsel durchaus auch dem Extruder direkt mithilfe von Verdichtungsaggregaten

wie Stopfschnecken zuführen. Hier wird durch eine vorgeschaltete Schnecke das hohe Volumen der Gewölle verdichtet, die Luft kann entweichen und dem Extruder werden ausreichende Schüttdichten zur Verarbeitung zur Verfügung gestellt.

Die Verarbeitung von Faserabfällen auf dem MRS-Extruder hat nicht nur den Vorteil, dass aufgenommene Feuchtigkeit entfernt wird und somit kein großer molekularer Abbau erfolgt, sondern es werden im Entgasungsbereich auch Spinnöle und andere Hilfsmittel, die bei der Spinnerei eingesetzt werden, entfernt. Die so erzeugte Schmelze kann im Extrusionsprozess danach bis auf $12\mu\text{m}$ filtriert werden, sodass das hergestellte Granulat wieder direkt im Spinnereiprozess eingesetzt werden kann.

MRS-Extrusionskonzept

Mit dem MRS-Extruder lässt sich unkrystallisiertes Polyestergranulat ohne Vortrocknung direkt verarbeiten. Dabei wird die Polymeroberfläche während der Extrusion um ein Vielfaches vergrößert und schnell ausgetauscht. So wird immer

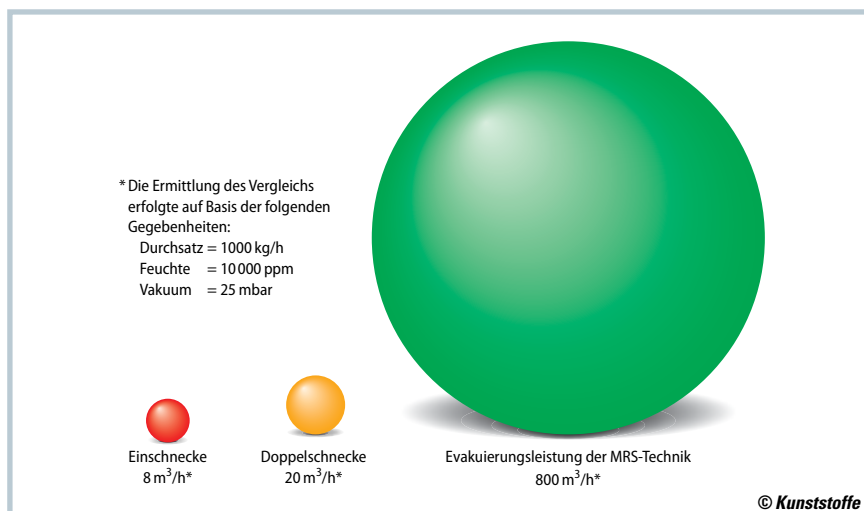


Bild 7. Evakuierungsleistung (Bild: Gneuß)

neue Oberfläche zur Abgabe von Flüchtigen zur Verfügung gestellt.

Der MRS Extruder ist grundsätzlich ein Einschneckenextruder mit einer speziellen Entgasungszone. Der polymere Schmelzestrom gelangt auf eine sich drehende große Einschnecken trommel (Bild 6). In der Trommel befinden sich längs der Drehachse acht Zylinderbohrungen mit eingelassenen Förderschnecken.

Diese Schnecken werden über einen Zahnkranz angetrieben. Sie drehen sich auf ihrer rotierenden Kreisbahn entgegengesetzt zur Extrudertrommel. Dadurch verstärkt sich der Effekt des Oberflächenaustauschs der Schmelze überproportional.

Die in der Trommel des Multi-Rotations-Systems befindlichen Zylinder sind im äußeren Bereich etwa 30% geöffnet, sodass der Zugang zur Schmelze optimal gewährleistet ist und eine Entgasung ungehindert erfolgen kann. Darüber hinaus ist eine gezielt kontrollierte Temperaturführung der Schmelze möglich, da sämtliche schmelzeberührenden Flächen gut temperiert werden können.

Dank des patentierten Multiwellenteils stellt die Extrusionstrommel eine sehr große Polymeroberfläche zur Verfügung und ermöglicht dadurch eine unübertroffene Entgasungsleistung, schon bei einem moderaten Vakuum von 20 bis 40 mbar. Dadurch ist die Extrusion von ungetrockneten Flakes oder Granulat mit bis zu 1% Feuchtigkeit möglich.

Der grundsätzliche Aufbau dieser Entgasungstechnologie basiert auf dem robusten und praxisbewährten Konzept der Einschnecke. Im Multiwellenteil befinden sich acht ringförmig angeordnete Einschneckenextruder. Damit umgeht der MRS-Extruder die Probleme alternativer Mehrwellenkonzepte, die aufgrund enger, tangierender Spalten im Wellenbereich erheblich sensibler sind.

Weitere positive Effekte der MRS-Technik zeigen sich in der hundertprozentigen Entfeuchtung des Polyesters sowie der Realisierung einer sehr konstanten intrinsischen Viskosität.

Aufgrund des Multi-Rotations-Elements ist die für die Entgasung zur Verfügung stehende Oberfläche um ein Vielfaches größer als bei den am Markt üblichen Extrusionssystemen. So ist beispielsweise die mittels MRS-Technik erzeugte Schmelze austauschfläche gegenüber einer gleichlaufenden Doppelschnecke ca. 25-mal größer (Bild 7).

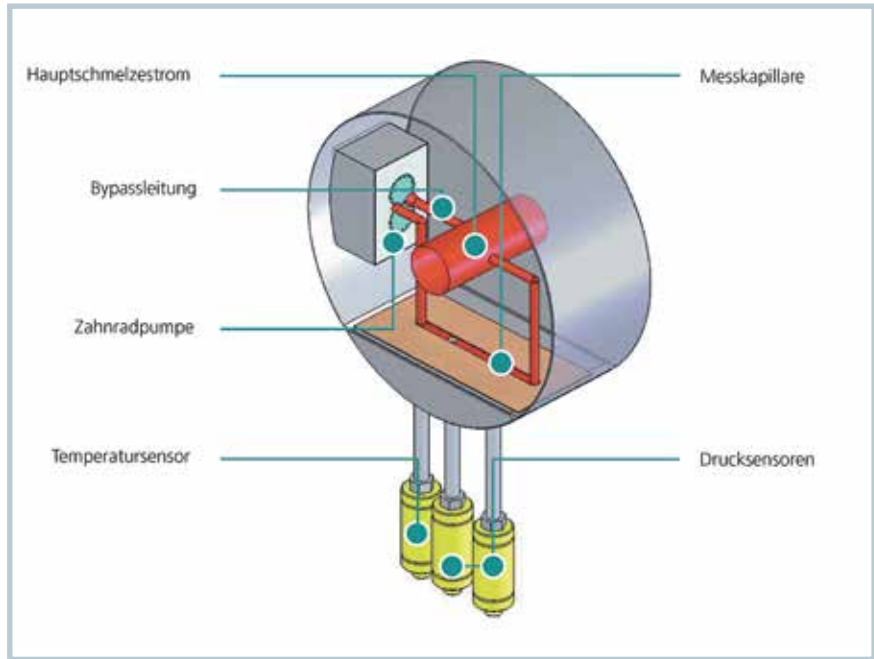


Bild 8. Technischer Aufbau des Online-Viscometer VIS (Bild: Gneuß)

Das Material wird äußerst schonend verarbeitet, sodass das Endprodukt eine besonders hohe Qualität z. B. in Bezug auf den Gelbwert aufweist.

Im Vergleich zu anderen Mehrwellentechnologien zeichnet sich der MRS-Extruder u.a. durch seinen kompakten und robusten Aufbau aus. Die rotierenden Schnecken sind einzeln gelagert und gleichen somit einer Trommel mit einer Vielzahl von Einschnecken.

Die Entgasungstechnologie ist modular aufgebaut und kann aufgrund ihrer außergewöhnlichen Leistungsfähigkeit

den jeweiligen Anforderungen entsprechend angepasst werden. Es besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Module des MRS in ihrer Länge und Ausführung zu variieren.

Die Viskositätszunahme in der Evakuierungszone kann durch unterschiedliche Vakuen beeinflusst und kontrolliert werden; der Einfluss des absoluten Drucks auf die erreichte Viskosität ist erheblich. Deutlich zu erkennen, ist die Zunahme der Viskosität der austretenden Schmelze vor der Formgebung mit sinkendem absolutem Druck. »

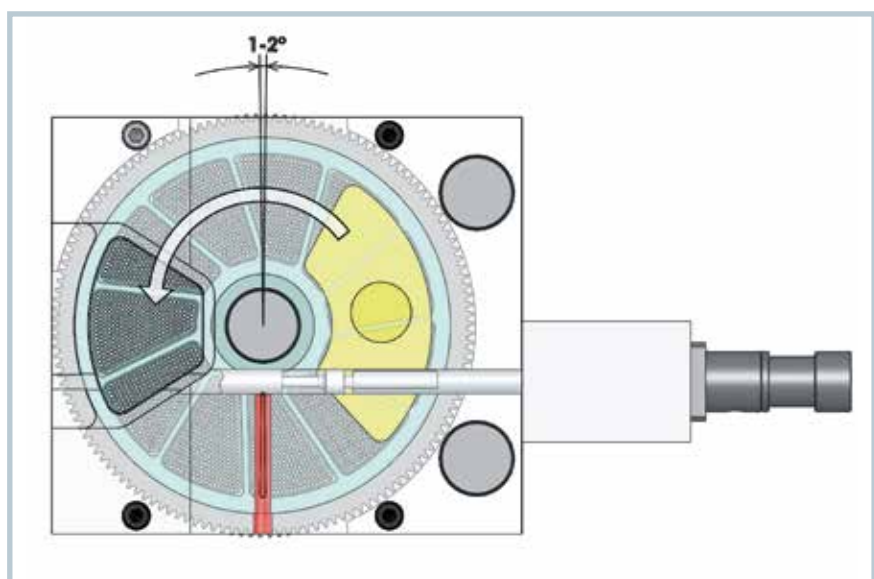


Bild 9. Technischer Aufbau des Rotary-Filterationssystem RSFgenius (Bild: Gneuß)

Viskositätsmessung Online

Durch geschicktes Zusammenschalten von Schmelzedruck- und Temperaturempfängern kann bei bekanntem Durchfluss und bekannter Geometrie zusätzlich der Fließwiderstand einer Flüssigkeit bestimmt werden, und hieraus die dynamische Viskosität des Materials. Diese ist ein Maß für das mittlere Molekulargewicht des Polymers und kennzeichnet daher mechanische Eigenschaften wie Elastizität und Dehnung.

Für die Online-Messung der Schmelzeviskosität wurde das Online-Viscometer VIS entwickelt. Mithilfe einer hochpräzisen, fördersteifen Zahnradpumpe wird ein kleiner Teilstrom der Polymerschmelze aus dem Hauptschmelzekanal abgezweigt. Dieser wird dann durch eine äußerst genau gefertigte Schlitzkapillare gedrückt. Sowohl die Schmelzetemperatur als auch der Schmelzedruck (Messung an zwei Orten) werden erfasst. Basierend auf internen Berechnungen erfasst das Online-Viscometer einen Wert für die repräsentative Schergeschwindigkeit und die entsprechende repräsentative Viskosität.

Der Schmelzekanal kann gemäß der Kundenspezifikation zwischen 0,5 und 2 mm ausgeführt werden. Die Einheit wird komplett mit Pumpenantrieb, Pumpe, Druckaufnehmer, Temperatursensoren und Steuerung ausgeliefert. Die Einstellung der Prozessparameter, die Auswertung und die Anzeige werden auf einem leicht zu bedienendem Touch-Screen-Panel vorgenommen, können aber selbstverständlich auch in eine vorhandene Steuerung integriert werden.

Der Autor

Dr. Axel Hannemann ist Manager Technical Sales bei der Gneuß Kunststofftechnik GmbH, Bad Oeynhausen.

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/877897

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

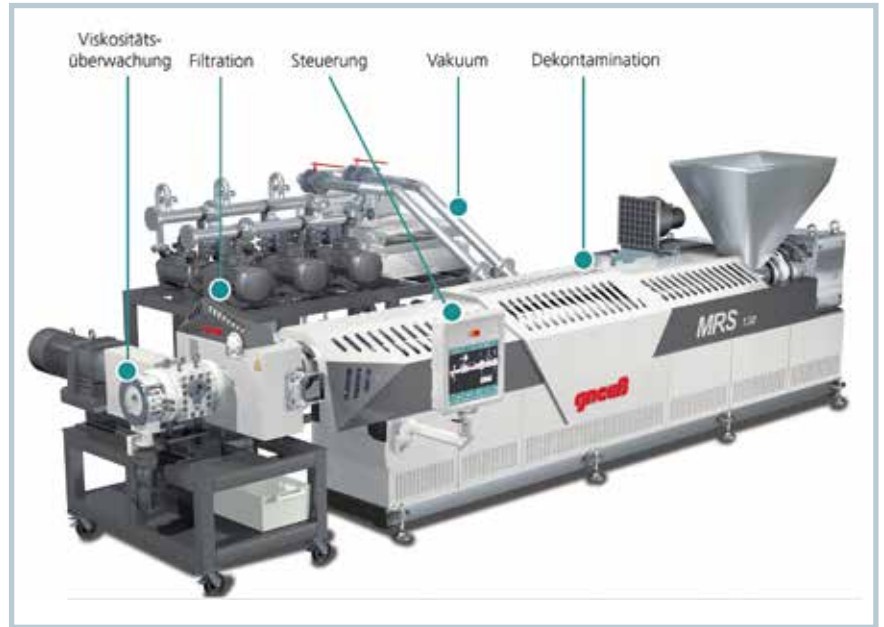


Bild 10. MRS-Extrusionsanlage mit Multi-Rotations-Extruder, Rotary-Filtrationssystem RSFgenius und Online-Viscometer VIS (Bild: Gneuß)

Durch den Online-Viscometer VIS ist es nun möglich, beim Verarbeiten von Polyester bei schwankenden Eingangsbedingungen (Feuchte) die Schmelzequalität in einem sehr engen Toleranzband zu halten. Nach Erfassung der Viskosität mithilfe von Druck- und Temperatursensoren wird das anliegende Vakuum an der Evakuierungszone so geregelt, dass die Eigenschaften des Endprodukts (Viskosität, Molekulargewicht und dadurch die mechanische Eigenschaften) gehalten werden können (Bild 8).

Schmelzefiltration

Bei der Verarbeitung von Rezyklaten ist die Filtration ein wesentliches Element zur Sicherstellung von Qualität und Wirtschaftlichkeit. Die Gneuß Rotary-Filtrationssysteme arbeiten vollautomatisch, druck- und prozesskonstant und garantieren eine reine und hochwertige Schmelze.

Die Rotary-Filtriersysteme bestehen im Wesentlichen aus drei Teilen, einem Einlauf-, einem Auslaufblock und einer dazwischen rotierenden Siebscheibe. Die Dichtung ist eine Metall-auf-Metall-Dichtung mit sehr harten sowie absolut ebenen Metalloberflächen. Sämtliche schmelzeberührenden Bauteile sind vollständig von Umwelteinflüssen wie z. B. Sauerstoff abgekapselt.

Auf der Siebscheibe sind ringförmig Siebelemente angeordnet, die sich durch den Schmelzekanal bewegen. Beim Durchströmen der Siebfläche mit Kunststoffschmelze lagern sich darauf die Verschmutzungspartikel ab; der Differenzdruck steigt leicht an. Die Steuerung reagiert auf diesen Druckanstieg und lässt die Siebscheibe bei Bedarf um etwa 1° weiterrücken. Dadurch wird kontinuierlich verschmutzte Siebfläche aus dem Schmelzekanal heraus und frische Siebfläche in den Kanal hineinbewegt, ohne dass sich die aktive Siebfläche ändert. Durch diese Betriebsweise arbeitet das Filtriersystem prozess- und druckkonstant. Die Variation der Druckdifferenz über dem Filter (Δp) beträgt max. 2 bar (Bild 9).

Die Reinigung der verschmutzten Siebe erfolgt kurz vor dem Wiedereintritt in den Schmelzekanal. Dabei wird der Schmutzkuchen durch eine Hochdruck-Segmentrückspülung entfernt. Hierzu wird bereits gefilterte Schmelze langsam aus dem Auslaufkanal des Filtriersystems in einen hydraulisch angetriebenen Schusstopf „geladen“ und danach unter hohem Druck von hinten durch das Sieb in den Einlaufblock mit ca. 30 bis 80 bar geschossen, von wo sie definiert abgeführt wird. Es wird jeweils nur ein kleines Segment (ca. 1% der Siebfläche) freigeschossen, so dass jedes Mal ein definiert hoher Impuls zur Reinigung zur Verfügung steht.

Durch diese Arbeitsweise werden die Siebe vollständig gereinigt und können je nach Filterfeinheit bis zu 400-mal wieder verwendet werden, was eine vollautomatische Filtration ohne jeglichen Personaleinsatz von bis zu einem Monat bedeutet (Bild 10).

Industrieabfallrecycling

Wesentlicher Bestandteil des Industrieabfallrecyclings von Gneuß ist der modulare Aufbau der einzelnen Komponenten in Kombination mit dem MRS-Extruder (Bild 11). Hier werden auf einer Plattform die verschiedenen Module aufgebaut, die die bestmögliche Komponentenkonstellation zusammenführt. Je nach Aufgabeprodukt und Anforderungsprofil werden die Segmente „Zerkleinern“, „Kompaktieren“ und „Extrudieren“ zu einer Anlage zusammengeführt, um die jeweils geeignetste Anlagenlösung für den Anwender zu erzielen.

Nach der Extrusion kann die Schmelze zu Granulat verarbeitet werden, je nach Durchsatz als einfache Strang-, als Unterwasserstrang- oder auch als Unterwassergranulation. Die direkte Herstellung von Folie mit der zusätzlichen Option der Zugabe von Randstreifenabfällen, anderen Mahlgütern, Additiven oder Masterbatches ist ebenfalls möglich. Angeboten werden sowohl die Granulierung als auch komplette Folienlinien hierzu als „Turnkey“-Lösung. Bei der Verarbeitung der Schmelze zu Fasern (Nonwovens, BCF, Stapelfasern, etc.) arbeitet Gneuß seit Jahren mit namhaften Anlagenbauern zusammen. Auch nachträgliche Installationen von Rezyklat-Extrusionsanlagen in bestehende Faserproduk-

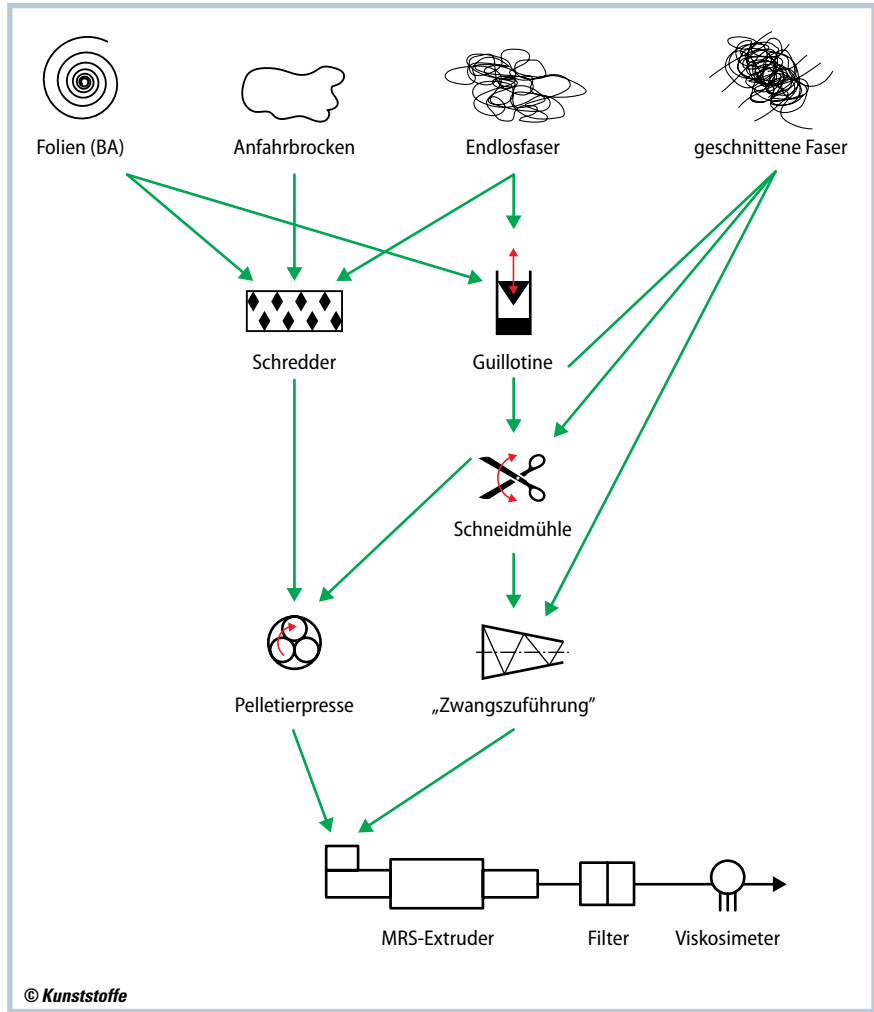


Bild 11. Modulares Industrieabfallrecycling-Konzept (Bild: Gneuß)

tionsanlagen werden schlüsselfertig angeboten.

Die Vorteile der modularen Bauweise liegen auf der Hand: Für jede Form des anfallenden Abfalls wird der optimale Prozess der Zuführung in den Extruder ausgewählt. Das MRS entfernt Feuchtig-

keit, Spinnöle oder andere anhaftende flüchtige Bestandteile, in der anschließenden Filtration (oder Kaskadenfiltration) werden feste Störstoffe bis auf etwa 10µm entfernt. Die so entstehende Schmelze reicht dadurch an die Eigenschaften von Neuware heran (Bild 12). ■

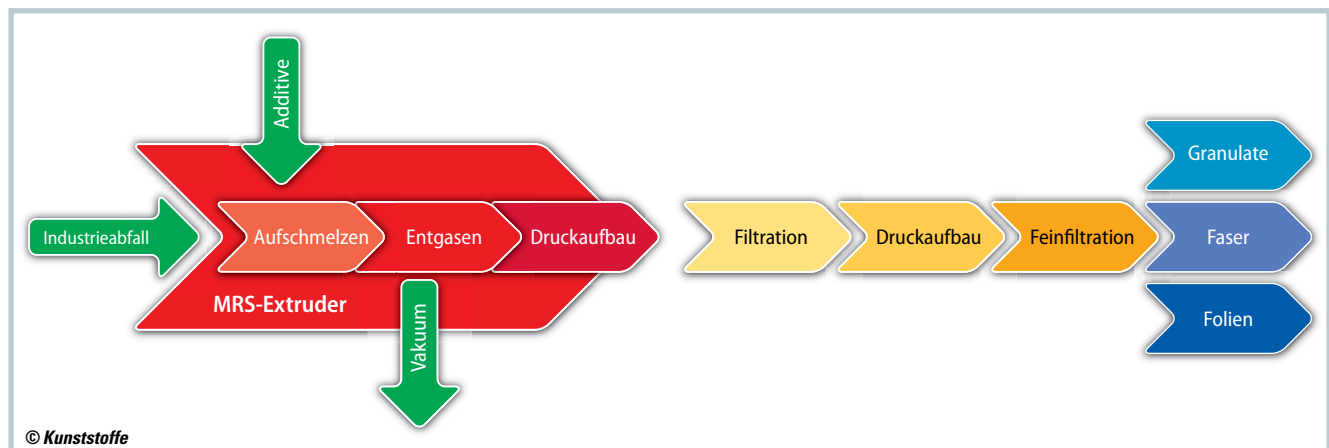


Bild 12. Extrusions-Prozesskette für Industrieabfälle (Bild: Gneuß)