

Auf direktem Weg zum PVC-Profil

Extrusion von Hart-PVC ohne Dryblend-Herstellung

Vor der Extrusion von Profilen aus Polyvinylchlorid (PVC) ist bisher die Herstellung eines Dryblends notwendig. Dieser Prozess ist teuer und energieintensiv und im Gegensatz zur Extrusion diskontinuierlich. Eine Verbesserung verspricht die Direktextrusion von PVC mittels Planetwalzenextrudern. Neben Weich-PVC lässt sich mit einigen Anpassungen auch Hart-PVC auf diese Art verarbeiten.



Die Direktextrusion von PVC-Profilen auf Planetwalzenextrudern kann Kosten und Energie einsparen und den Prozess vereinfachen © Entex

Polyvinylchlorid (PVC) ist einer der am meisten genutzten Kunststoffe. PVC wird vor allem im Bausektor zur Herstellung von Rohren und Fittings, Hart-Profilen bzw. Fensterprofilen, Hartfolien und Platten, Kabeln, Bodenbeläge etc. verwendet [1]. Allerdings unterscheidet sich der Verarbeitungsprozess von PVC deutlich von dem anderer thermoplastischer Kunststoffe. Vor der eigentlichen Verarbeitung muss ein Dryblend in einem diskontinuierlichen Chargenmischprozess hergestellt werden. Erst dann kann das PVC auf einem Extruder zu Halbzeugen wie Folien, Platten, Profilen oder Rohren ver-

arbeitet werden. Die Dryblend-Herstellung erfolgt im Allgemeinen in Heiz-Kühlmischern (HKM). Durch die Rotation des Mischwerkzeugs werden die pulverförmigen Bestandteile der PVC-Rezeptur gemischt und aufgeheizt und Additive können in das PVC-Korn diffundieren.

Dieser Dryblend-Herstellungsprozess ist energieintensiv und teuer. Ein weiterer Nachteil der klassischen PVC-Verarbeitung besteht in der Kombination eines diskontinuierlichen Prozesses, der Dryblend-Herstellung, und eines kontinuierlichen, der Extrusion. Aus diesem Grund ergibt sich ein großes Einsparpotenzial

durch eine Vereinfachung des Gesamtprozesses. Das Forschungsinstitut SKZ – Das Kunststoff-Zentrum und der Planetwalzenextruderhersteller Entex Rust & Mitschke GmbH haben deshalb in einem gemeinsamen Projekt das Potenzial zur Verarbeitung von Hart-PVC ohne vorherige Dryblend-Herstellung erforscht und einen direkten Extrusionsprozess entwickelt.

Einsparpotenziale durch Planetwalzenextruder

Planetwalzenextruder (PWE) bieten sich als Maschinentyp für das Ausschöpfen dieses Einsparpotenzials an. PWE kommen schon lange in der PVC-Verarbeitung zum Einsatz. Anfang der 50er-Jahre führten die immer größer werdenden Ansprüche in diesem Bereich zur Entwicklung dieses Anlagensystems, das das PVC-Dryblend schonend verarbeiten kann. Die wesentliche Idee bei der Entwicklung dieser Maschine war, das Konzept der bekannten diskontinuierlich arbeitenden Mischwalzwerke auf eine kontinuierliche Maschine zu übertragen. Bei PWE rotieren um die temperierte Zentralspindel mehrere Planetenspindeln in einem ebenfalls temperierten Zylinder (**Bild 1**). In modernen Maschinen sind mehrere solcher Module hintereinandergeschaltet. Zudem können Peripheriegeräte wie etwa zweiwellige Seitenbeschickungen, Flüssigeinspritzungen und Entgasungssysteme mit eingebunden werden (**Bild 2**). Die Modularität in Kombination mit der großen Oberfläche zur Temperierung des Materials und der guten Mischwirkung der rotierenden Planetenspindeln ermöglicht es, auf eine Dryblend-Herstellung vor der PVC-Extrusion mittels PWE zu verzichten [2, 3].

In einem Vorgängerprojekt hat Entex bereits die Eignung des PWE für die Direktverarbeitung von Weich-PVC untersucht. Dafür wurde eine zweimodulige Anlage aufgebaut und getestet (Bild 3). Im ersten Modul wird die Oberfläche des PVC-Korns bei moderater Wärme durch Überrollen aufgebrochen und somit die Diffusion der Additive ermöglicht. Dabei werden Stabilisatoren und Additive mechanisch in das Korn hineingepresst. Das verkürzt die Diffusionswege. Infolgedessen tritt eine schnelle Wirksamkeit von Stabilisatoren ein. Außerdem wird die initiale Degradation von PVC-Material durch eine enge Temperaturführung unterbunden.

Das Aufschmelzen bzw. Gelieren und Homogenisieren geschieht in beiden Modulen. Der erste Abschnitt des Extruders ist dafür jedoch entscheidend. Der mechanische und thermische Energieeintrag muss sorgfältig gewählt werden, um eine Schädigung des noch unzureichend stabilisierten PVC zu verhindern. Dafür ist die Wahl einer passenden Planetenspindelkonfiguration erforderlich. Typ und Anzahl der Planetenspindeln beeinflussen sowohl den mechanischen Energieeintrag als auch dispersive und distributive Mischefekte. Auch das Temperaturprofil spielt eine wichtige Rolle, denn zwischen ausreichender Diffusionsgeschwindigkeit und thermischer Schädigung liegt ein schmaler Grat. Weitere wichtige Einflussfaktoren sind die Drehzahl und der Durchmesser des Dispergierrings. Im zweiten Modul ist es zudem möglich, die Schmelze zu entgasen. Die Technologie konnte bereits erfolgreich für die Granulierung von Weich-PVC (PVC-P, plasticized) und die Kalenderbeschickung etabliert werden.

Herausforderungen beim Aufbauen der Direktextrusionsanlage

Basierend auf der erfolgreichen Realisierung der Direktverarbeitung von Weich-PVC auf dem PWE wurde in dem gemeinsamen Projekt mit dem SKZ überprüft, ob die gewonnenen Erkenntnisse auf Hart-PVC (PVC-U, unplasticized) übertragbar sind. Ziel des Projekts war es, Hart-PVC ohne vorherige Dryblend-Herstellung in gleichbleibender Wärme direkt auf dem PWE zu extrudieren. Die Umsetzung bei Hart-PVC ist deutlich komplexer als bei Weich-PVC. Bei Hart-PVC ist kein Weichmacher in der Rezeptur vorhanden, weshalb zu Beginn reiner Feststoff transportiert wird. Außerdem muss eine noch exaktere Temperaturkontrolle im Prozess als bei Weich-PVC erfolgen. Gleichzeitig muss eine gute Dispergierung aller Komponenten sichergestellt werden, um die

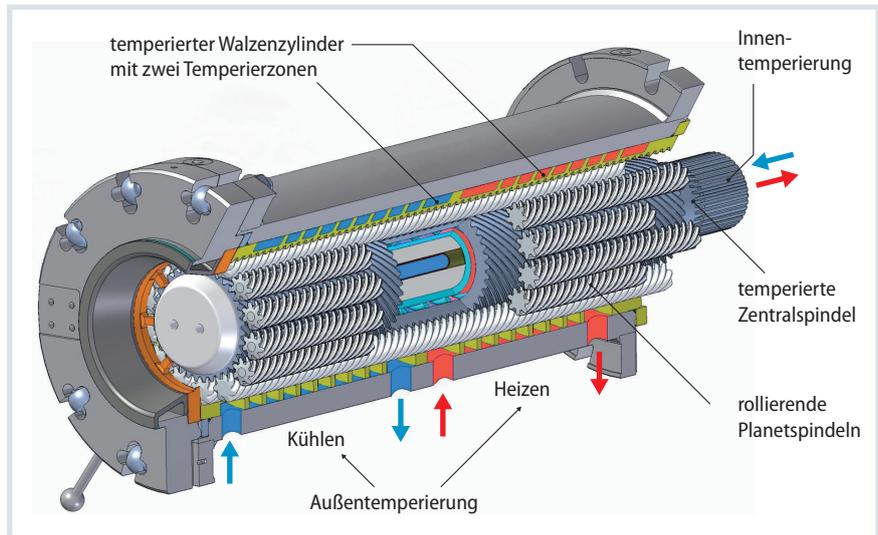


Bild 1. Schematische Darstellung eines Verfahrensmoduls des PWE: Um die temperierte Zentralspindel rotieren mehrere Planetenspindeln in einem temperierten Zylinder Quelle: Entex; Grafik: © Hanser

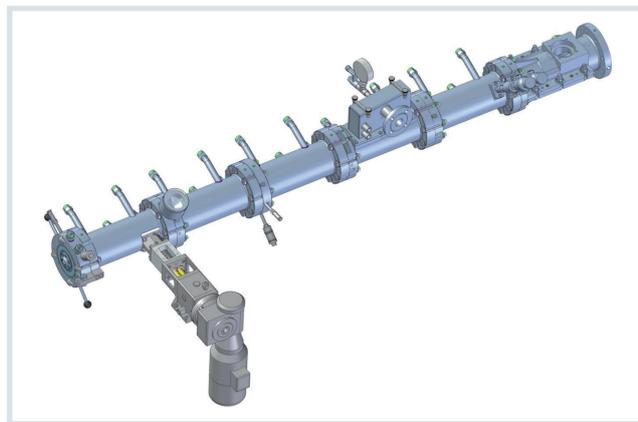


Bild 2. Bei aktuellen PWE-Modellen werden mehrere Verfahrensmodule hintereinandergeschaltet. Außerdem können noch zusätzliche Systeme zur Prozessverbesserung eingebunden werden © Entex

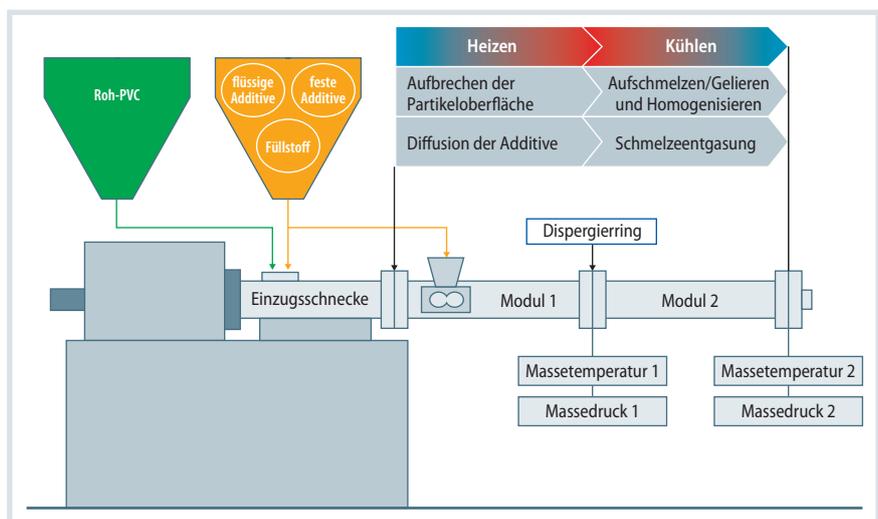
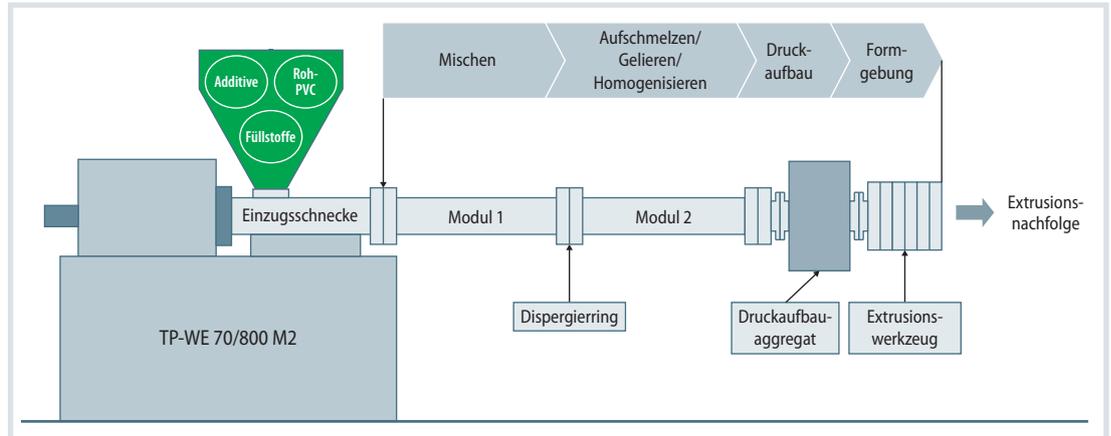


Bild 3. Für Weich-PVC hat sich der zweimodulige PWE bereits bewährt. Für die Verarbeitung von Hart-PVC waren ein paar Anpassungen notwendig Quelle: Entex, SKZ; Grafik: © Hanser

tiert wird. Außerdem muss eine noch exaktere Temperaturkontrolle im Prozess als bei Weich-PVC erfolgen. Gleichzeitig muss eine gute Dispergierung aller Komponenten sichergestellt werden, um die

Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften gewährleisten zu können. Des Weiteren sind die Drücke bei der Verarbeitung von Hart-PVC meist deutlich höher als bei Weich-PVC. »

Bild 4. Schematische Darstellung der Direktextrusionsanlage für Hart-PVC: Für den für die Extrusion notwendigen Druck sorgt ein angeschlossenes Druckaufbauaggregat



Die Autoren

Dipl.-Ing. Serhiy Yatsenko ist seit 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Compoundieren und Extrudieren am SKZ; s.yatsenko@skz.de

Dipl.-Ing. Johannes Rudloff leitet seit 2016 die Gruppe Compoundieren und Extrudieren am SKZ.

M.Sc. Marc Waffenschmidt ist stellvertretender Leiter der verfahrenstechnischen Entwicklung bei Entex.

Dr. Marieluise Lang leitet seit 2015 den Bereich Materialien, Compoundieren, Extrudieren am SKZ.

Dr. Thomas Hochrein ist seit 2017 Geschäftsführer der Bildung und Forschung am SKZ.

Prof. Dr. Martin Bastian ist seit 2006 Institutsdirektor des SKZ.

Dank

Das gemeinsame Projekt „Entwicklung eines Druckaufbauaggregats für Dryblend-Planetwalzenextruder und einer Profilextrusionsdemonstratorlinie“ des SKZ und von Entex wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des ZIM-Programms gefördert (Förderkennzeichen ZF4026625EB7). Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

Bild 5. Ergebnisse der gelpermeationschromatographischen Untersuchung beim zweimoduligen PWE-Aufbau: Die mittlere Molmasse der drei Proben ist weitestgehend identisch

Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

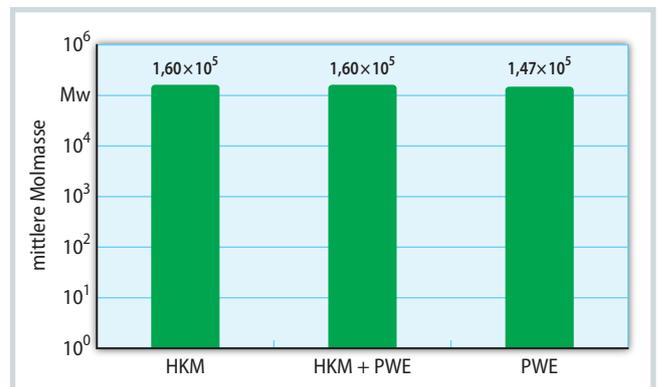
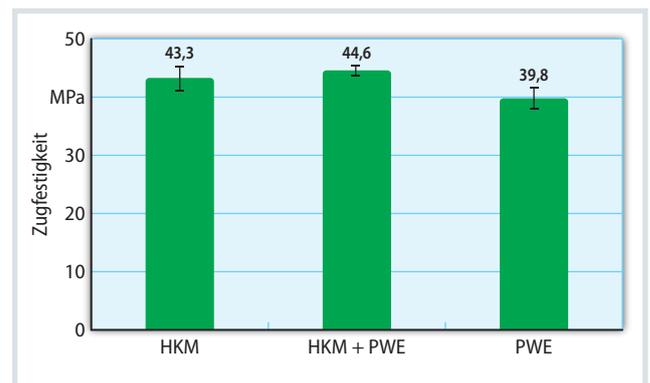


Bild 6. Die Probe PWE weist eine etwas geringere Zugfestigkeit auf, als die in den beiden anderen Verfahren verarbeiteten Proben

Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser



Als Basis für die Direktextrusionsanlage diente der zweimodulige PWE-Aufbau. Da mit dem Planetwalzenextruder nicht genügend Druck für die Profilextrusion aufgebaut werden kann, musste zudem ein für Hart-PVC geeignetes Druckaufbauaggregat ermittelt und getestet werden (Bild 4).

PVC-Granulate als Alternativen zu Dryblends

Inwieweit der PWE für eine kontinuierliche Aufbereitung von Hart-PVC geeignet ist, wurde zu Beginn des Projektes untersucht. Dafür wurden drei PVC-Mischungen unterschiedlich aufbereitet und ge-

testet. Die erste Mischung wurde entsprechend dem klassischen Batch-Verfahren mittels eines HKM hergestellt und lag als Dryblend vor. Die zweite Mischung (HKM+PWE) wurde ebenfalls mittels eines HKM hergestellt und zusätzlich auf dem PWE granuliert. Bei der dritten Mischung (PWE) wurden die einzelnen Rezepturbestandteile kalt vorgemischt (Kaltmischung) und auf dem PWE aufbereitet und granuliert. Für die Untersuchungen wurde eine am SKZ übliche Standard-PVC-Rezeptur für Fensterprofile ausgewählt. Anschließend wurden die drei Mischungen auf einem gegenlaufenden Doppelschneckenextruder (DSE) zu Profilen verarbeitet. Aus den extrudierten Pro-

filen wurden entsprechende Probekörper entnommen und auf deren thermische Stabilität und mechanische Eigenschaften geprüft.

Zur Überprüfung der PVC-Stabilität wurde u.a. die mittlere molare Masse durch eine Gelpermeationschromatographie ermittelt. Die mittlere molare Masse der drei Proben lag jeweils auf gleichem Niveau (Bild 5). Es fand somit bei keiner der Proben ein Abbau der Polymerketten statt.

Zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften wurden Zugprüfungen und die Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit durchgeführt. Die Zugfestigkeit der PWE-Probe war geringfügig niedriger im Vergleich zu den anderen beiden Proben (Bild 6). Eine deutliche Abnahme der mechanischen Eigenschaften wurde jedoch bei der Bestimmung der Schlagzähigkeit festgestellt (Bild 7). Während die Proben HKM und HKM+PWE auf gleichem Niveau lagen, kam es bei der Probe PWE zu einem deutlich Abfall der Schlagzähigkeit. Das ist vermutlich auf eine unzureichende Dispergierung der Füllstoffe zurückzuführen. Durch eine Erweiterung des PWE auf drei Module lässt sich dem entgegenwirken. Somit können mit diesem Verfahren PVC-Granulate hergestellt werden, ohne das Material vorher zu einem Dryblend zu mischen.

Welches Druckaufbauaggregat ist geeignet?

Bei der durchgeführten Stranggranulierung ist ein Druck von ca. 30 bar notwendig. Dieser Druck konnte problemlos mit dem PWE aufgebaut werden. Für die Halbzeugextrusion werden deutlich höhere Drücke benötigt. Um den PWE als reinen kontinuierlichen Aufbereitungsmischer bei der Direktextrusion zu verwenden, sollte dieser vom Druckaufbau entkoppelt werden. Deshalb wird für die Verarbeitung in gleichbleibender Wärme zusätzlich ein Druckaufbauaggregat benötigt.

Grundsätzlich könnte zum Druckaufbau eine Zahnradpumpe, ein Einschne-

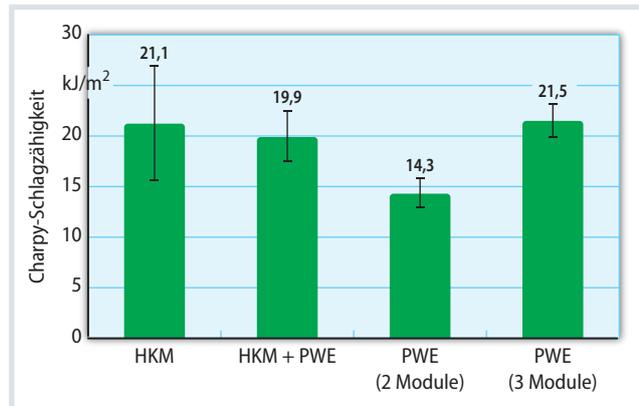


Bild 7. Bei den Prüfungen der Charpy-Schlagzähigkeit fiel die im PWE verarbeitete Probe deutlich gegenüber den anderen beiden ab. Werden statt zwei allerdings drei Module verwendet, erreicht sie sogar bessere Werte

Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

ckenextruder (ESE) oder ein kurzer gegenlaufender DSE eingesetzt werden. Nach Rücksprache mit verschiedenen Zahnradpumpenherstellern sind diese für die Direktextrusion von Hart-PVC nicht geeignet, denn die Gefahr einer PVC-Degradation in den Lagern ist im Dauerbetrieb zu hoch. Prüfungen mit am SKZ vorhandenen gegenlaufenden DSE zeigten, dass bei einer drucklosen Übergabe kein ausreichendes Einziehen der Schmelze gewährleistet ist. Eine Übergabe über eine Schmelzeleitung scheiterte am benötigten Druck zum Überwinden der Leitung. Ein direktes Anflanschen eines Gegenläufers war im Projekt aus Zeit- und Kostengründen nicht umsetzbar. Auch wenn diese Variante aus verfahrenstechnischer Sicht interessant ist, wurde der Fokus deshalb auf den Druckaufbau mit einem ESE gerichtet.

Die Projektpartner entschieden sich dabei für einen ESE 120 von Entex mit einem L/D-Verhältnis (L=Länge des Fließkanals, D= Schneckendurchmesser) von 5,5, der auch für den Druckaufbau bei der Extrusion von Weich-PVC oder holzfasergefüllten Kunststoffen eingesetzt wird. Im Gegensatz zu konventionellen Plastifizierextrudern verfügt dieser schmelzebeschickte Extruder über eine Flüssigtemperaturkontrolle, wodurch eine gute Massetemperaturkontrolle gewährleistet werden kann.

Eine Prototypenlinie wurde im Technikum von Entex aufgebaut. Um den Druckaufbau zu untersuchen, wurden Direktextrusionsversuche mit einem einfachen Profilwerkzeug mit variabler Austrittsgeometrie ohne Kalibrierung durchgeführt. Für die Direktextrusion wurden drei verschiedene Mischungsszenarien vorbereitet. Die erste Mischung war die Fertigmischung (Warmmischung), die im HKM hergestellt wurde. Bei der zweiten Mischung handelte es sich um die ohne Energieeintrag vorgemischte Mischung (Kaltmischung). Die dritte Mischung wurde auf drei Dosierer aufgeteilt, um die Zugabe von Einzelkomponenten abzubilden.

Erfolgreiche Tests der Prototypenlinie

Mittels Warmmischung wurde das Druckaufbauvermögen der unterschiedlichen Düsen untersucht. Der höchste Druck von ca. 180 bar konnte mit einer ovalen Düse, deren Abmessung 32 mm x 4 mm betrug, aufgebaut werden. Mit dieser Düse ließ sich somit ein Druck erreichen, der einem Profilwerkzeug sehr nah kommt. Im nächsten Schritt wurde die Kaltmischung auf der Anlage getestet. Bei gleichem Durchsatz sah die PVC-Kaltmischung sowohl nach dem PWE als auch nach ESE genauso homogen aus, wie bei dem Referenzversuch mit der Warmmischung. Bei diesem »

Kunststoffe

www.kunststoffe.de/umfrage

Sagen Sie uns Ihre Meinung!



Unter allen Teilnehmern
verlosen wir 10 E-Books



Versuch konnte ebenfalls ein Druck von ca. 180 bar aufgebaut werden. Abschließend wurde der Versuch mit Einzelkomponenten durchgeführt. Auch bei diesem Versuch konnte bei gleichem Durchsatz eine homogene PVC-Mischung realisiert werden (**Bild 8**). Damit ließ sich ein Druck von ca. 170 bar erreichen. Die Ergebnisse zeigen, dass der PWE für eine PVC-Aufbereitung ohne vorherige Dryblend-Herstellung sehr gut geeignet ist. Außerdem demonstrieren die Versuche, dass mit einem geeigneten Druckaufbaugerät eine Direktextrusion von PVC möglich ist.

Entex und das SKZ haben mit dem Verfahren eine Möglichkeit zur kontinuierlichen PVC-Granulatherstellung ohne vorherige Dryblend-Herstellung entwickelt. Im Verfahren hergestellte Compounds weisen vergleichbare mechanische und thermische Eigenschaften auf wie ein diskontinuierlich hergestellter Dryblend. Des Weiteren konnte eine Prototypenanlage zur PVC-Direktextrusion erfolgreich im Entex-Technikum aufgebaut und getestet werden. Die Ergebnisse der Konzeptionierungsarbeiten werden zukünftig genutzt, um eine Direktextrusionslinie zur Herstellung von Hart-PVC-Profilen umzusetzen. ■

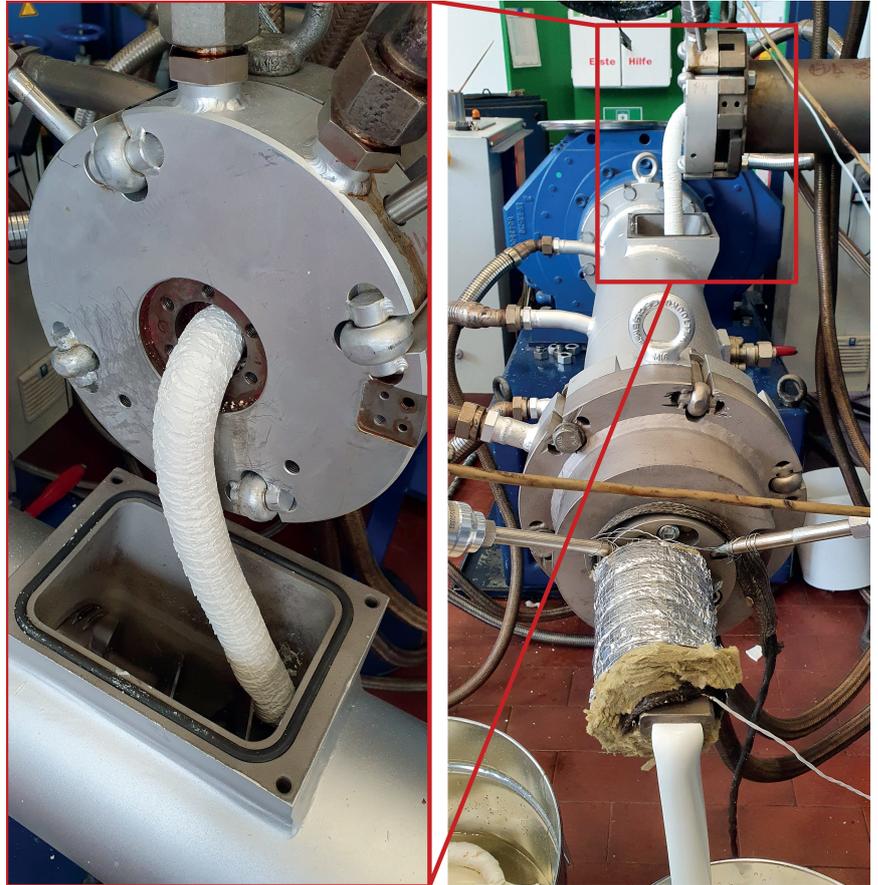


Bild 8. Mit der aufgebauten Anlage ist eine Direktextrusion von Hart-PVC mittels Planetwalzenextrudern möglich © SKZ

Nachhaltige Verpackungen

Geschäumte Leichtgewichte



Eco-rPET-Schale, hergestellt mithilfe der Promix-Technologie © Promix Solutions

Für leicht zu öffnende, stabile, flexible und vor allem recyclingfähige Verpackungen hat die **Promix Solutions AG** eine

mikrozelluläre Technologie vorgestellt, bei der im Polymer durch schadstofffreie Gase wie CO₂ und N₂ eine Schaumstruktur erzeugt wird. Damit wird laut Hersteller die Reduktion des Verpackungsgewichts um bis zu 30% möglich. Die Investition in die prozesssichere Technologie soll sich innerhalb weniger Monate rechnen. Mithilfe der Promix-Schaumextrusionssysteme ließen sich z.B. bei einer üblichen Extrusions-Verpackungslinie mit einem Durchsatz von 500 Kilogramm Kunststoff pro Stunde pro Tag bis zu 3,6 Tonnen Kunststoff und somit 3600 EUR/Tag oder fast 80000 EUR/Monat einsparen, so der Hersteller weiter.

Da es sich um umweltneutrale Gase handelt und keine umweltbelastenden Additive eingesetzt werden müssen, gel-

te diese Technologie als eine grüne Lösung für Handelsverpackungen, Boxen, Trays und vieles mehr. Recycling der fertigen Verpackung und von Schnittresten aus der Produktion, wie sie z.B. beim Tiefziehen anfallen, ist problemlos möglich. Rolf Heuser, CEO bei Promix Solutions: „Man kann die Technologie für nahezu alle Kunststoffe einsetzen. Mit Polyolefinen, Polystyrol und Polyestern liegen die meisten Erfahrungen vor, jedoch wurden auch schon Biopolymere mit sehr guten Ergebnissen modifiziert.“

Bei den biologisch abbaubaren Kunststoffen kommt durch die Gewichtsreduzierung noch ein Nebeneffekt hinzu. Weniger Gewicht führt zu kürzeren Abbauezeiten in der Natur und in industriellen Kompostanlagen.