

H. Groß, Roßdorf

Wie sieht die günstigste Walzenanordnung aus?

Kühl- und Glättwerke zur Herstellung von Platten und beidseitig geglätteten Folien

In der industriellen Praxis sind die unterschiedlichsten Glättwerkskonstruktionen im Einsatz. Jeder Hersteller hat seine eigene Philosophie, nach der er seine Glättwerke gestaltet und mit der er sie betreibt. Losgelöst von diesen herstellereigenen Kriterien wird der Versuch gemacht, die unterschiedlichen Vorgehensweisen zu beschreiben und die damit verbundenen Vor- bzw. Nachteile möglichst objektiv aufzuzeigen.

Which Roll Arrangement is the Best? *Many different designs of polishing stacks are being used throughout the industry. Each manufacturer of polishing stacks has his own philosophy, which guides his design and operation. By not taking these, often hardly justifiable criteria specific to individual manufacturers into consideration, this contribution is attempting to describe and objectively evaluate the different practices and to point out their advantages and disadvantages.*

Bereits bei der Anordnung der Glättwalzen ist in der Praxis von vertikal übereinander angeordneten (Bild 1a) bis zu horizontal nebeneinander angeordneten Walzen (Bild 1c) nahezu jede Zwischenposition (Bild 1b) anzutreffen [1 bis 3]. Die verfahrenstechnischen Aspekte, die mit der Walzenanordnung zusammenhängen, lassen sich am besten anhand der Funktionen diskutieren, die das Kühl- und Glättwerk innerhalb der Produktionsanlage wahrnehmen soll. Wie schon aus dem Namen zu entnehmen ist, soll die Schmelzebahn insbesondere von den Walzen gekühlt und auf beiden Oberflächen geglättet werden. Das Glättwerk ist aber auch dafür verantwortlich, daß die Schmelzebahn aus dem Werkzeug herausgezogen und anschließend im Walzenspalt kalibriert wird. Bei der folgenden Betrachtung werden nur die beiden Grenzlagen a und c aus Bild 1 vergleichend diskutiert. Je nach Winkel W (Bild 1b) kommen dann die Verhältnisse in den jeweiligen Zwischenpositionen dem ein oder anderen Grenzfall nahe.

Die ersten Unterschiede zwischen den beiden Anordnungen ergeben sich beim Einspeisen der Schmelze in das Werkzeug.

Einspeisen der Schmelze vom Extruder in das Werkzeug

Bei den vertikal übereinander angeordneten Glättwalzen entsprechend Bild 1a wird die Schmelze mittels eines geraden Anschlußstücks vom Extruder in die Düse eingespeist. Die Haupttransport- bzw. Hauptfließrichtung der Schmelze bleibt dabei bis zum Austritt aus dem Werkzeug erhalten. Dies ist wohl auch einer der Gründe, warum man in der Anfangszeit der Extrusion diese Anordnung bevorzugt gewählt hat, und weshalb sie auch heute noch überwiegend benutzt wird. Bei den horizontal hintereinander angeordneten Glättwalzen nach Bild 1c muß der Schmelzestrang nach dem Extruder entweder im Anschlußstück oder im Werkzeug selbst um 90° aus der horizontalen in die vertikale Förderrichtung umgelenkt werden. Das führt einerseits zu einer geringfügigen Verlängerung des Fließwegs, andererseits zu einem unsymmetrischen Fließgeschwindigkeitsprofil nach der Umlenkung. Solche Schmelzumlenkungen können besonders dann Probleme bereiten, wenn Mehrschichten-

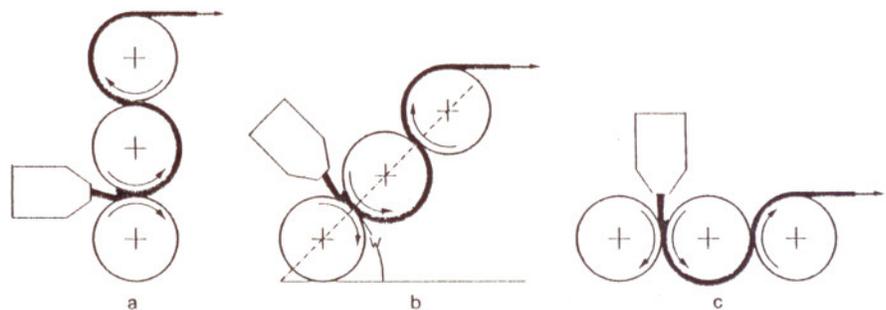


Bild 1. In der industriellen Praxis gebräuchliche Walzenanordnungen

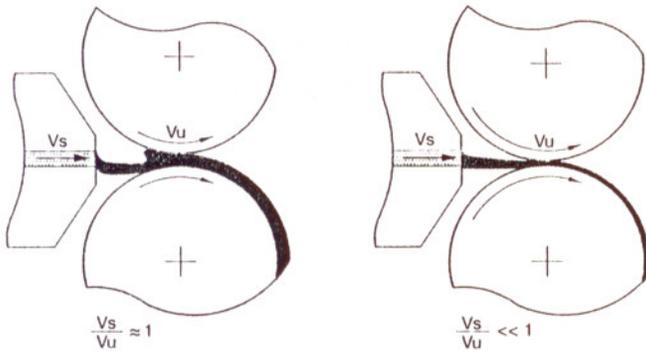


Bild 2. Zustände beim Herausziehen einer Schmelze aus einem horizontal angeordneten Werkzeug

Vs - Geschwindigkeit der Schmelze am Werkzeugaustritt
Vu - Umfangsgeschwindigkeit der Glättwälze

strömungen umgelenkt werden müssen. Deshalb ist es z. B. bei der Coextrusion mit Hilfe eines Coextrusionsadapters ratsam, die Umlenkung vor den Adapter zu legen.

Herausziehen der Schmelze aus dem Werkzeug

Auch beim Herausziehen der Schmelze aus dem Werkzeug ergeben sich grundlegende Unterschiede der verfahrenstechnischen Randbedingungen. Im Fall der vertikalen Walzenanordnung, die – wie bereits kurz erwähnt – auch heute noch in der industriellen Praxis am weitesten verbreitet ist [4 bis 7], muß die Schmelze aus dem horizontal angeordneten Werkzeug herausgezogen werden. Dies führt in der Praxis zu einer Reihe von Problemen. Das geringste Problem besteht darin, daß dadurch das Ablöseverhalten der beiden Oberflächen der Schmelze an den Lippenaustrittskanten des Werkzeugs immer unterschiedlich ist. Die Schmelze wird am Werkzeugende in mehr oder minder starkem Maß über die untere Werkzeuglippe gezogen. Nur in Sonderfällen werden aber unterschiedliche Oberflächeneigenschaften in den herzustellenden Platten bzw. Folien gewünscht. Beim Anfahren hat man zusätzlich das Problem, daß die Stirnseite der Unterlippe des Werkzeugs sehr schnell mit Schmelze verschmutzt. Ein symmetrisches Herausziehen der Schmelze aus dem Werkzeug ist bei dieser Fahrweise wegen der grundsätzlich senkrecht zur Abzugsrichtung wirkenden Erdanziehungskraft nicht möglich. In Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen der Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze am Werkzeugende und der Umfangsgeschwindigkeit der Glättwalzen wird die Schmelze das Werkzeug in unterschiedlicher Form verlassen und in den nachfolgenden Glättspalt einlaufen (Bild 2).

Bei der horizontalen Walzenanordnung wird die Schmelze aus dem vertikal angeordneten Werkzeug herausgezogen. Nun wirkt unter der Voraussetzung, daß das Werkzeug exakt mittig über dem Glättspalt angeordnet ist, die Gravitationskraft genau in Richtung der Abzugskraft. Dadurch ergibt sich am Lippenende unabhängig vom Verhältnis der relevanten Geschwindigkeiten immer ein ähnliches symmetrisches Ablöseverhalten der Schmelze vom Werkzeug. Das Problem, daß die Unterlippe des Werkzeugs beim Anfahren verschmutzen kann, entfällt bei dieser Fahrweise.

Will man die aus der Düse austretende Schmelzefahne zwischen dem Düsenmund und dem Glättspalt möglichst nicht verstrecken, um zu kleinen Schrumpfwerten in der Platte bzw. Folie zu kommen, so bietet das liegend angeordnete Glättwerk zweifelsfrei Vorteile. Während man bei der vertikalen Walzenanordnung immer stark an der Schmelzefahne ziehen muß, um ihren Durchhang in vertretbaren Grenzen zu halten, besteht diese Restriktion beim liegenden Glättwerk nicht. Sieht man einmal von den minimalen Kräften ab, die auf Grund des Eigengewichts der Schmelzefahne an dieser ziehen, so genügt es bei einem liegenden Glättwerk, die Walzenumfangsgeschwindigkeit auch nur geringfügig schneller einzustellen als die Schmelzefahngeschwindigkeit am Werkzeugaustritt. Damit vermeidet man einerseits störende Molekülverstreckungen zwischen Düse und Glättspalt, andererseits minimiert man aber auch die nach der Düse auftretende unerwünschte Breitenreduktion (neck-in) der Schmelzefahne. Bei einem kleineren Breitenreduktion entstehen an den beiden Rändern der Schmelzefahne aber auch geringere Randverdickungen, was sich besonders bei der Herstellung dünner Folien sehr vorteilhaft bemerkbar macht.

Einziehen der Schmelzefahne in den Glättspalt

Beim Durchlaufen der Schmelzefahne durch das Glättwerk ergeben sich ebenfalls verfahrenstechnische Unterschiede. Es lassen sich dabei unabhängig von der jeweiligen Lage der Glättwalzen grundsätzlich keine symmetrischen Verhältnisse erreichen, denn schon beim Einlaufen in den Glättspalt bildet sich auf der Seite, auf der die Schmelzefahne später Kontakt mit der Walzenoberfläche bekommt, ein Schmelzewulst.

Bei vertikal angeordneten Glättwalzen ist es auch bei einem extrem kleinen Verhältnis zwischen der Schmelzefahngeschwindigkeit am Werkzeugaustritt und der Walzenumfangsgeschwindigkeit unmöglich, die Schmelzefahne ohne jeden Durchhang im mittleren Bereich der Bahn in das Glättwerk einzuziehen. Je größer dieses Verhältnis ist, desto größer ist auch das Durchhangproblem. Wenn die Fahne aber in der Mitte durchhängt, kommt sie dort auch zuerst mit der gekühlten Walzenoberfläche in Berührung. Es ist bei dieser Fahrweise somit unmöglich, die Schmelzefahne über ihre gesamte spätere Nutzbreite gleichzeitig in Kontakt mit der Kühlwalze zu bringen. Die Schmelzefahne wird folglich in ihrem mittleren Bereich länger abkühlen als in den Randbereichen, die zu einem späteren Zeitpunkt die kühle Walzenoberfläche berühren.

Ein zeitlich versetzter Kühlungsbeginn bzw. unterschiedlich lange Kühlzeiten führen aber zu unterschiedlichen Viskositäten über der Breite der in den Glättspalt einlaufenden Schmelzefahne. In Bereichen niedrigerer Viskosität resultieren dadurch niedrigere Spaltkräfte und niedrigere Schubspannungen im Glättspalt als in Bereichen höherer Viskosität [8]. Das heißt, die für die Folie

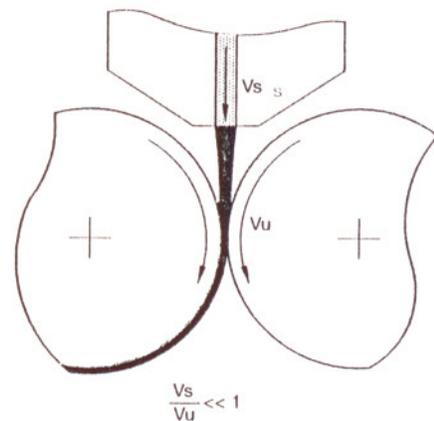


Bild 3. Verhältnisse beim Herausziehen der Schmelze aus einem vertikal angeordneten Werkzeug

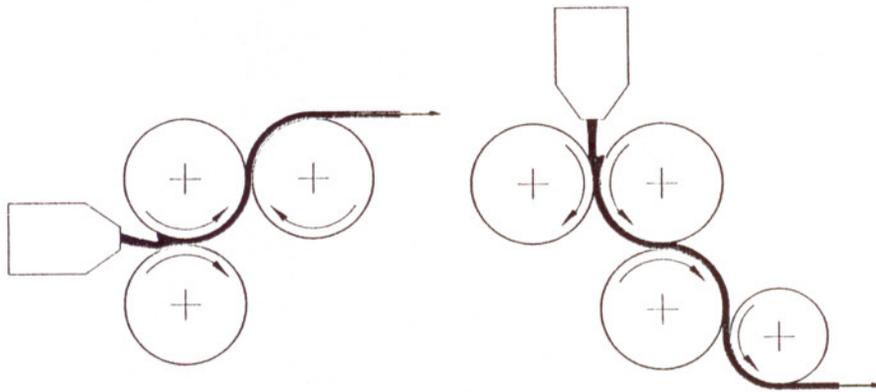


Bild 4. Glättwerksanordnungen, die bessere Ausgangsvoraussetzungen zum Glätten der zweiten Bahnoberfläche bieten

bzw. Platte so kritischen Glättbedingungen schwanken über der Breite der Bahn. Nach dem Verlassen des Glättspalts besitzt sie in der Mitte eine geringere mittlere Temperatur als in den beiden Randbereichen. Aufgrund dieser vorhandenen Temperaturdifferenz ergibt sich eine unterschiedliche Schwindung zwischen der Bahnmitte und ihren Rändern. Die Folge sind unerwünschte Spannungen in der Bahn, die zu leichten Verwerfungen im Bereich hinter dem Glättwerk führen. In der Praxis kompensiert man dies durch einen unnötig hohen Bahnzug. Damit handelt man sich aber zusätzliche Orientierungen im Endprodukt ein, die zu einem nicht gewünschten erhöhten Schrumpfung führen. Besonders bei Platten, bei denen es ohnehin aufgrund der unterschiedlichen Abkühlverläufe zwischen der Ober- und der Unterseite schwierig ist, ein planes Produkt herzustellen, werden diese Probleme durch die unterschiedlichen Abkühlbedingungen über der Breite der Bahn weiter verstärkt.

Das Glättwerk mit horizontal hintereinander angeordneten Walzen bietet als einzige Anordnung die Möglichkeit, die Oberflächen der Schmelzbahn auf jeweils zum Glättspalt parallelen Linien in Kontakt mit den gekühlten Walzenoberflächen zu bringen. In diese Betrachtung nicht einbezogen sind die beiden wegen des schon angesprochenen unvermeidlichen Breiteneinsprungs meist leicht verdickten Randbereiche der Schmelzbahn. Sie werden allerdings später in der Anlage ohnehin abgeschnitten. Man erreicht damit unter der Voraussetzung, daß die aus der Düse austretende Schmelzbahn eine homogene Temperatur besitzt, über der gesamten Breite des Glättspalts gleiche Temperaturen und damit auch gleiche Viskositäten in der Schmelze. Folglich hat man über der späteren Nutzbreite einheitliche Glätt- und Kühlbedingungen. Mit allen ande-

ren Glättwerksanordnungen ist diese zentrale Forderung nach gleichen Glätt- und Kühlbedingungen über die gesamte Nutzbreite der Bahn, die für die Herstellung von Folien oder Platten mit isotropen Eigenschaften unabdingbar ist, nicht zu realisieren.

Nur bei horizontal hintereinander angeordneten Walzen besitzt man die Möglichkeit, den Wulst, der sich vor dem Walzenspalt bildet, wahlweise auf eine der beiden Walzen zu legen. Das erreicht man, indem das Werkzeug geringfügig außerhalb der Mitte des Walzenspalts angeordnet wird. Speziell zum Glätten bzw. Kaschieren von Oberflächen ist das sehr vorteilhaft.

Glätten der zweiten Bahnoberfläche

Die Qualität der beiden Bahnoberflächen ist aufgrund der unsymmetrischen Glättbedingungen, die beim Durchlaufen des Glättwerks herrschen, immer unterschiedlich. Auf der Oberfläche, die nach Durchlauf des ersten Glättspalts auf der Walze verbleibt, ist eine bessere Qualität zu erzeugen als auf der gegenüberliegenden. Will man auch die Qualität der Bahnoberfläche, die im ersten Glättspalt nur kurzzeitig in

Kontakt mit der Walzenoberfläche tritt, verbessern, so muß man erreichen, daß auch im zweiten Glättspalt noch eine Oberflächenglättung möglich ist. Verläßt man die konventionelle Walzenanordnung, bei der alle Walzenachsen auf einer Ebene angeordnet sind, und wählt Anordnungen, wie sie in Bild 4 dargestellt sind, so erreicht man, daß die kritische Oberfläche mit einer für eine Glättung günstigeren höheren Temperatur in den zweiten Glättspalt einläuft. Diese Vorteile erkaufte man sich natürlich mit einer geringeren Kühlleistung im Glättwerk, die im Einzelfall durch nachgeschaltete Kühleinrichtungen kompensiert werden muß.

Reinigen der Walzenoberflächen

Es gibt zahlreiche Kunststoffrezepturen, bei denen flüchtige Substanzen an die Oberfläche der Schmelzbahn diffundieren und mit der Zeit die Walzenoberflächen verschmutzen. In diesen Fällen müssen speziell die beiden den Glättspalt bildenden Walzenoberflächen von Zeit zu Zeit gereinigt werden. Dies geht in aller Regel bei vertikal übereinander angeordneten Walzen recht gut, da die jeweils nicht mit der Schmelzbahn belegten Hälften der Walzen relativ gut zugänglich sind. Ähnliches gilt aber auch für ein Glättwerk mit horizontal nebeneinander angeordneten Walzen, wenn die dritte Walze wie in Bild 5 angeordnet ist. Sind alle drei Walzen horizontal nebeneinander angeordnet, dann ist die mittlere Walze nur sehr schwer zu reinigen.

Herstellung extrem dicker Platten

Häufig hört man das Argument, dicke Platten ließen sich nicht mit einem Glättwerk herstellen, in dem das erste Walzenpaar horizontal angeordnet ist,

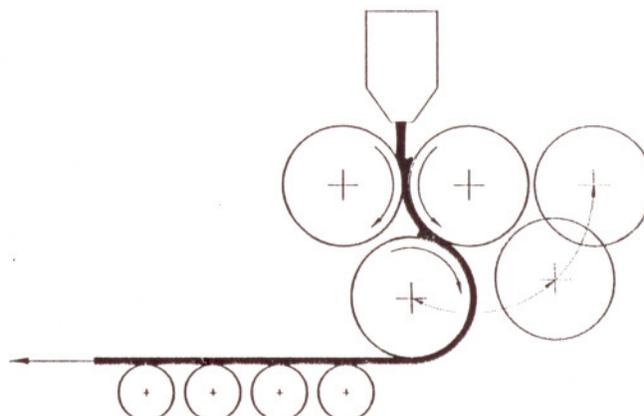


Bild 5. Anlagenkonfiguration zur Herstellung dicker Platten

weil die Gefahr bestehe, daß Schmelze abläuft. Dabei bezieht man sich in der Regel wiederum auf ein Glättwerk mit drei in einer Ebene angeordneten Glättwalzen. Nun gibt es aber, wie bereits erläutert, auch andere Möglichkeiten der Positionierung der dritten Glättwalze. Die flexibelste ist sicherlich die Konstruktion, bei der die dritte Walze in ihrer Position um die zweite Walze herumgeschwenkt werden kann (Bild 5). Bringt man die Walze möglichst nahe an den ersten Walzenspalt heran, dann kann man auch bei sehr dicken Schmelzebahnen ein Abfließen der Schmelze von der freien Oberfläche verhindern. Gleichzeitig hat man die Möglichkeit, auch im zweiten Walzenspalt mit einem kleinen Wulst zu fahren, und somit die Chance, auch die zweite Oberfläche der dicken Schmelzebahn in idealer Weise zu glätten. Diese spezielle Glättwerksanordnung gestattet zudem ein sehr einfaches Anfahren der Anlage.

Herstellung planer Platten

Es erfordert besonders viel Erfahrung, mit einem Glättwerk plane Platten herzustellen. Auch dabei spielt zweifellos die Walzenanordnung eine wichtige Rolle. Noch bedeutender für die Planlage ist aber die Temperaturführung der einzelnen Walzen und die Verweilzeit der Bahn auf den jeweiligen Walzenoberflächen. Somit haben die Walzendurchmesser und die Bahngeschwindigkeit eine größere Bedeutung als die spezielle Lage des Glättspalts, zumal man – wie in Bild 5 gezeigt – nicht notwendigerweise die dritte Walzenachse in einer Ebene mit den Achsen der beiden den Glättspalt bildenden Walzen anordnen muß. Je kürzer die Kühlstrecke zwischen dem ersten und dem zweiten Walzenspalt ist, desto geringer ist auch die im Glättwerk auftretende maximale Temperaturdifferenz zwischen den beiden Bahnoberflächen. Dadurch werden Probleme mit der Planlage gemindert.

Anfahren der Extrusionslinie

Der Aspekt des Anfahrens bei den unterschiedlichen Anordnungen wird in der Praxis sehr kontrovers diskutiert. Dies liegt wohl vornehmlich daran, daß das Anfahren von vielen speziellen individuellen Detaillösungen der Gesamtanlage abhängt, und daß kaum eine Anlage mit einer zweiten vergleichbar ist. Deshalb soll dieser Aspekt hier

nicht weiter vertieft werden. Unzweifelhaft ist allerdings, daß das Anfahren eines hängenden Werkzeugs (Einspeisung der Schmelzebahn von oben und Schmelzeaustritt vertikal nach unten) unproblematischer ist. Die bereits angesprochene Gefahr der Verschmutzung der Austrittslippen am Werkzeug ist im Gegensatz zur konventionellen Lösung minimal. Sollten die Lippen dennoch einmal mit Schmelze verschmutzt sein, so lassen sie sich bei laufender Anlage sehr gut reinigen, da die Schmelze senkrecht nach unten abfällt und beide Lippen sehr gut zugänglich sind.

Fazit

Versucht man alle Kriterien bezüglich ihrer verfahrenstechnischen Bedeutung zu bewerten, so kommt man zu dem Schluß, daß das senkrechte Einspeisen der Schmelzebahn in horizontal nebeneinander angeordnete Glättwalzen gegenüber der schrägen bzw. gar der horizontalen Schmelzeinspeisung vorzuziehen ist. Bei der Anordnung der erforderlichen weiteren Kühlwalzen ist es in vielen Fällen empfehlenswert, die konventionelle Anordnung, bei der alle Walzenachsen in einer Ebene liegen, zu verlassen und über Alternativen nachzudenken.

Literatur

- 1 Schäfer, B.: Extrusion von Flachfolien, Platten, Profilen und Rohren. *Kunststoffe* 85 (1995) 12, S. 2111–2116
- 2 Glättwerksanlagen für Folien hoher Qualität. *Kunststoffe* 86 (1996) 12, S. 1777
- 3 Hanson, D.: New developments minimize run out, speed processing, raise quality. *Modern Plastics Encyclopedia '97*, S. D–26
- 4 Tiefziehfolienanlagen erweitern das Programm. *PI 1* (1995) 1, S. 26–29
- 5 Hohe Anpreßkräfte im Glättspalt. *Kunststoffe* 84 (1994) 7, S. 866
- 6 BEX-Demonstration: Hochleistungsanlage für Tiefziehfolien aus PP und PS. *P Special 2* (1996) 10, S. 12
- 7 Interplas 96. *P Special 2* (1996) 10, S. 26–27
- 8 Gruber, U.; Mewes, D.: Theoretische Untersuchungen des Kalandrierens von Polymeren. *Rheologie* (1991) 10, S. 152–158

Der Autor dieses Beitrags

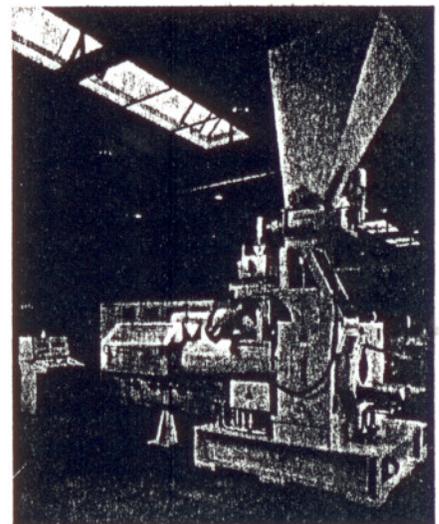
Dr.-Ing. Heinz Groß, geb. 1950, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen und promovierte 1983 am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen. Nach seiner Tätigkeit als Leiter der Forschung, Entwicklung und Anwendungstechnik der Sparte Technische Kunststoffe bei der Röhm GmbH in Darmstadt gründete er 1992 nebenberuflich ein Ingenieurbüro für Kunststoffverfahrenstechnik in Roßdorf.

Seit seinem Ausscheiden bei Röhm konzentriert er sich auf die Entwicklung neuer Technologien und die Markteinführung seiner meist patentrechtlich geschützten Konstruktionen und Verfahren. (100742)

Planetwalzenextruder

Mit dem Planetwalzenextruder vom Typ PWE 350 bietet die Battenfeld Extrusionstechnik GmbH, Bad Oeynhausen, jetzt die Möglichkeit, eine noch breitere Rezepturpalette zu verarbeiten. Der PWE 350 weist eine Antriebsleistung von 350 kW, ein Walzenteil mit neuer Geometrie und eine Ausstoßleistung bis zu 3500 kg/h abhängig von Rezeptur und Endprodukt auf.

Die ständige Entwicklung neuer PVC-Rezepturen für die Kalandrierherstellung hat den Einsatz des Planetwalzenextruders als Aufbereitungsmaschine bestätigt. Auch die Rezepturen anderer kalandrierfähiger Thermoplaste wie PP oder ABS und PVC/ABS-Blends wurden optimiert. Das geteilte, mit neuer Geometrie versehene Walzenteil mit Dispergierung in Segmentbauweise wurde auf 2 m verlängert. Durch Teilung und Segmentierung der Verfahreseinheit läßt sich in Verbindung mit der Rohstoffdosierung eine Beeinflussung der Verweilzeit und der Plastifizierungsleistung mit hohem Maß an Homogenisie-



Höhere Durchsatzleistungen und die Verarbeitung größerer Regeneratanteile sind mit Planetwalzenextrudern möglich

rung und Dispergierungsleistung erreichen, was insbesondere bei Nicht-PVC-Rohstoffen eine entscheidende Verbesserung darstellt. (300725)