

Optimierte Pilotanlage: Modular aufbaubar als Blas- (oben) oder Flachfolienanlage (unten). Die 3-Schicht-Coex-Anlage mit erhöhter Abzugsgeschwindigkeit (Blasfolienanlage bis 50 m/min, Flachfolienanlage bis 120 m/min), erreicht produktionsnahe Bedingungen (Foto: Dr. Collin GmbH)

Schnelle Analyse von Folieneigenschaften auf Pilotanlagen

Produktentwicklung. Blas- und Gießfolien müssen nicht zwingend auf Großanlagen untersucht werden: Die Übertragung von Versuchen von kleinen Pilot- auf mehr als um den Faktor zehn größeren Produktionsanlagen liefert sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Die gezielte Verwendung von Pilotanlagen eröffnet damit erhebliche Zeit- und Kostenvorteile bei der Entwicklung von Produkten und Anwendungen.

**ANDREAS MAYER
GÜNTER MÜLLERFERLI**

Vor der erfolgreichen Markteinführung einer neuen Folie steht immer die gründliche praxisorientierte und anwendungsgerechte Bewertung der neuen Rohstoffe und Folienrezepturen. Es gilt, die Effizienz jedes einzelnen Projektschrittes unter Berücksichtigung der jeweiligen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen zu optimieren. Entscheidender als die absolute Qualität

der Ergebnisse sind immer häufiger die Faktoren Zeit und Kosten.

Hohe Qualität wird im Allgemeinen mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand gleichgesetzt. Auch bei der Herstellung und Erprobung von Blas- und Gießfolien führt letztendlich kein Weg am so genannten Praxistest auf marktüblichen Produktions- und Weiterverarbeitungsanlagen unter Realbedingungen vorbei. Zu vielschichtig ist die Anzahl der zu beachtenden Produktionsparameter und Anwendungskriterien. Bis zu diesem

Schritt gilt es allerdings, Qualitäts-, Zeit- und Kostenaspekte gleichermaßen zu optimieren. Dass dieser Anspruch kein Widerspruch in sich sein muss, soll hier am Beispiel ausgewählter Blas- und Gießfolienversuche verdeutlicht werden.

Folieneigenschaften im Fokus

Nicht nur Rohstoffe und Rezepturen bestimmen die Eigenschaften einer Folie. Fast gleichermaßen wirken sich Herstellverfahren, Maschinentyp und nicht zu-

www.kunststoffe.de/Kunststoffe-Archiv Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern © 2005 Carl Hanser Verlag, München

letzt die Prozessbedingungen aus, wie etwa das Aufblasverhältnis und die Frostlinie bei Blasfolien oder die Liniengeschwindigkeiten und der Luftspalt bei Gießfolienanlagen. Fallbeispiele in der Literatur beleuchten die Zusammenhänge. Allerdings lassen sich diese Erkenntnisse und Daten nur eingeschränkt auf andere Fälle übertragen, zuweilen steht sogar die rein qualitative Übertragbarkeit in Frage.

Dieses Manko sollen andere (modell-) theoretisch begründete Ansätze durch das Aufstellen von allgemein gültigen Über-

tragungsregeln oder gar Prozessmodellen wett machen. Vor allem die Entwicklung von Prozessmodellen erfordert allerdings eine zuweilen ausgesprochen aufwändige Bestimmung der notwendigen Rohstoffkenndaten – bei Mehrkomponentensystemen ein fast aussichtsloses Unterfangen.

Die vergleichende Untersuchung als Ausweg?

Ein praxistauglicherer Ansatz zur Bewertung notwendiger Rohstoff- und Folien-

eigenschaften leitet sich aus der täglichen betrieblichen Praxis ab. So werden Folieneigenschaften zwar im Labor als objektive Absolutwerte bestimmt, eine subjektive Bewertung erfolgt dann jedoch in der Regel durch den direkten Vergleich mit einer ausgewählten Referenz. Entsprechende Ergebnisse lassen sich als Sternendiagramme präsentieren und informieren so auf schnelle Weise über die relativen Vor- und Nachteile eines anderen Ansatzes oder Lösungswegs.

Auch bei der Herstellung und Analyse von Musterfolien ist dieser Ansatz Erfolg versprechend. Es gilt, im Rahmen des gleichen Projekts eine Referenzqualität zu bestimmen – egal, ob es um einzelne Rohstoffe oder um vollständige Folienrezepturen geht. Bei entsprechenden verfahrenstechnischen Kenntnissen und Anwendungserfahrungen lässt sich die Qualität einer solchen Referenz mit ausreichend hoher Aussagekraft auch auf kleineren Pilotanlagen darstellen. Der Vergleich mit den zu analysierenden Rohstoffen und Folienrezepturen sollte funktionieren, wenn in allen Fällen gleiche Anlagenkonfigurationen und Betriebsparameter vorgegeben werden. Selbstverständlich kommt der richtigen Auswahl eines geeigneten Betriebspunktes entsprechend große Bedeutung zu. Dabei sind eine Reihe wichtiger Aspekte zu beachten, etwa das praxisgerechte Aufschmelzen und Homogenisieren der Rohstoffschmelzen sowie eine entsprechende Berücksichtigung von Orientierungs- und Relaxationseffekten beim Ausformverhalten der Folien.

Im Folienlabor bei Dow Chemical Iberica in Tarragona wurde anhand von ausgewählten Blas- und Gießfolienversuchen überprüft, ob die beschriebene Vorgehensweise geeignete Resultate liefert. In Reihenuntersuchungen auf kleineren Pilot- und größeren Produktionsanlagen ermittelte Folieneigenschaften wurden zu diesem Zweck vergleichend analysiert.

Die Pilotanlagen arbeiteten dabei jeweils mit den gleichen Extrudern. Lediglich die Nachfolgeeinheiten wurden modifiziert. Das modulare Konzept des verwendeten Pilotanlagentyps der Dr. Collin GmbH, Ebersberg, erlaubt es, schnell sehr verschiedene Extrusionslinien zusammenzustellen, und ist vornehmlich für die flexible Untersuchung kleiner Rohstoffmengen konzipiert. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich dieser An-

Merkmal	Pilotanlage (Dr. Collin GmbH)	Großanlage (Hosokawa Alpine AG)
Schichtanzahl	Bis 5 Schichten	3 Schichten
Extruder	A. 25 mm × 25 D B. 30 mm × 25 D	A. 50 mm × 30 D B. 65 mm × 30 D
Maximaler Durchsatz	A. 6 kg/h B. 10 kg/h	A. 120 kg/h B. 220 kg/h
Blasdüse	Ø 60 mm × 1,8 mm Radialwendelverteiler	Ø 200 mm × 1,8 mm Axialwendelverteiler mit horizontaler Vorverteilung
Kühlung	Monokührling	Automatischer Kührling* mit Innenkühlung
Maximale Liniengeschwindigkeit	30 m/min	130 m/min
Trichter	Gravimetrische Dosierung	Gravimetrische Mehrkomponentendosierung

*manueller Betrieb während der Versuche

Tabelle 1. Gegenüberstellung der verwendeten Blasfolienanlagen

Merkmal	Pilotanlage (Dr. Collin GmbH)	Großanlage (Primplast s.r.l.)
Schichtanzahl	Bis 5 Schichten	3 Schichten
Verwendete Extrudertypen	A. 25 mm × 25 D B. 30 mm × 25 D	A. 55 mm × 35 D B. 75 mm × 35 D
Durchsatz	A. 6 kg/h B. 10 kg/h	A. 150 kg/h B. 300 kg/h
Mehrschichtadapter	Dr. Collin	Davis Standard
Flachdüse	300 mm	712 mm Monoautomatikwerkzeug
Schmelzestabilisierung/-fixierung	Luftmesser	Vakuum-Box
Walzendurchmesser (Hauptwalze)	Ø 144 mm	Ø 1000 mm
Maximale Liniengeschwindigkeit	60 m/min	450 m/min
Trichter	Gravimetrische Dosierung	Gravimetrische Mehrkomponentendosierung

Tabelle 2. Gegenüberstellung der verwendeten Foliengießanlagen

Folie	%	Programm D			%	Programm P	
		D1	D2	D3		P1	P2
Schicht A	25	LDPE 400L	LDPE 400L	LDPE 400L	20	Affinity* PL 188G	Elite* 5400G
Schicht B	50	LDPE 400L	Dowlex* 2045S	Inspire* 112	60	Dowlex NG 5056.01G	Dowlex NG 5056.01G
Schicht C	25	LDPE 400L	LDPE 400L	LDPE 400L	20	Dowlex NG 5056.01G	Dowlex NG 5056.01G

* Schutzmarke – The Dow Chemical Company

Tabelle 3. Untersuchte Blasfolienstrukturen

lage liegt im raschen Abfragen (Screening) einzelner Parameter und kostengünstigen Umsetzen von Reihenuntersuchungen.

Als Produktionsanlagen stand für die Blasfolienherstellung eine 3-Schicht-Coextrusionsanlage der Hosokawa Alpine AG, Augsburg, und für die Gießfolienherstellung eine 3-Schicht-Coextrusionsanlage der Primplast, Melzo/Italien, zur Verfügung. In den Tabellen 1 und 2 sind die charakteristischen Anlagengrößen gegenübergestellt.

Alle Versuche wurden mit jeweils identischen Anlagenparametern und Rohstoffen aus der gleichen Charge durchgeführt. So lassen sich material- und prozessbedingte Einflüsse weitgehend ausschließen.

Blasfolien im Vergleich

Mit einem Aufblasverhältnis von 2,5 wurden an beiden Anlagen 50 µm dicke Blasfolien mit den in Tabelle 3 zusammengefassten Strukturen hergestellt. Die hierbei verwendeten Rohstoffe (Tabelle 4) wurden ausgewählt, um ein möglichst großes Spektrum verschiedenartiger Polyolefinpolymere zu untersuchen.

Die jeweils wichtigsten Anlagenparameter sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Eine Bewertung der extrudierten Folien durch Offline-Dickenmessungen im Labor zeigt, dass sich auch bei der Pilotanlage trotz des kleineren und damit sensibler einzustellenden Düsenrings recht praxisnahe Dickentoleranzen erzielen lassen. Bei längeren Versuchsläufen als unter den gewählten Laboranforderungen sonst üblich sind in beiden Fällen bessere Werte zu erzielen.

Zur Analyse der Folienqualitäten wurden folgende Kennwerte herangezogen:

- Kurzzeitzugprüfung nach ISO 527-3,
- Durchstoßfestigkeit nach ISO 7765-1,
- Elmendorf-Weiterreißfestigkeit nach ASTM 1922-94A.

Bei diesen nach Norm-Verfahren ermittelten Kennwerten muss grundsätzlich berücksichtigt werden, dass einzelne Mittelwerte durchaus statistische Standardabweichungen im Bereich von 5 bis 10 % aufweisen können.

Ausgehend von der Hypothese, dass sich Pilot- und Produktionsanlage grundsätzlich ähnlich verhalten und deshalb Folien mit ähnlichen Eigenschaften produzieren, ergibt sich ein direkt messbares Qualitätskriterium für die Bewertung der beiden Versuchsreihen. Für den Vergleich von entsprechenden Foliendaten gilt es zu überprüfen, inwieweit eine

lineare Korrelation mit entsprechend qualifizierten Koeffizienten vorliegt.

Einen Vergleich der Reißfestigkeiten von Testfolien in Längs- und Querrichtung zeigt Bild 1. Die ermittelten Korre-

lationskoeffizienten liegen bei 93,4 bzw. 89,9 %. Unter Berücksichtigung der zuvor diskutierten Randbedingungen kann man dieses Ergebnis als durchaus gut bezeichnen.

Materialtyp	MFI-Typ	MFI-Wert [g/10min]	Dichte [g/cm ³]	Bemerkungen
Dow LDPE 400L	190/2.16	1,0	0,925	Standard-PE-LD
Dowlex 2045S	190/2.16	1,0	0,920	basisstabilisiertes PE-LLD
Dowlex NG 5056.01G	190/2.16	1,05	0,919	hochstabilisiertes PE-LLD mit Gleit- und Antiblockmittelausrüstung
Affinity PL 1880G	190/2.16	1,0	0,902	hochstabilisiertes Polyolefin-Plastomer
Elite 5400G	190/2.16	1,0	0,916	hochstabilisiertes Hochleistungspolymer
Inspire* 112	230/2.16	0,4	0,900	für Blasfolienanwendungen konzipiertes Polymer auf Propylen-Basis

* Schutzmarke – The Dow Chemical Company

Tabelle 4. Charakterisierung der für die Blasfolien verwendeten Materialien

Programm	D		P	
	Pilotanlage (Collin)	Großanlage (Alpine)	Pilotanlage (Collin)	Großanlage (Alpine)
Anlage				
Ausstoß [kg/h]	8,4	160	7,3	106
Blasendurchmesser [mm]	235	785	235	785
Umfangstoleranzen [%]	3,6–9,4	5,6–6,1	7,7–9,1	6,3–8,5
Menge pro Muster [kg]	10	400	10	400
Manpower pro Muster [h]	0,5	1,5–3	0,5	1,5–3

Tabelle 5. Anlagenparameter der Blasfolienversuche

Messwert	Korrelationskoeffizient R ²	Steigungsmaß
Zugwerte in Längsrichtung		
– Streckdehnung	0,565	0,89
– Streckspannung	0,963	0,81
– Reißdehnung	0,896	1,01
– Reißspannung	0,934	0,93
– Zähigkeit	0,836	0,9
Zugwerte in Querrichtung		
– Streckdehnung	0,729	0,93
– Streckspannung	0,99	0,93
– Reißdehnung	0,936	0,98
– Reißspannung	0,9	1,04
– Zähigkeit	0,939	1,01
Durchstoßfestigkeit	0,974	1,36
Weiterreißfestigkeit		
– Elmendorf längs	0,893	0,99
– Elmendorf quer	0,912	0,82

Tabelle 6. Datenvergleich aller Blasfolienversuche

Rohstoff	Ladene/TM 318B	Flexirene/TM CL 10	Dow LLDPE 1221	Dowlex SC 2216	Dowlex SC 2107
Hersteller	Sabic	Polimeri	Dow Pacific	Dow Europe	Dow Europe
Schmelzindex [g/10min]	2,8	2,6	2	3,3	2,3
Dichte [g/cm ³]	0,918	0,917	0,918	0,919	0,917

Tabelle 7. Für die Gießfolien verwendete PE-LLD-Rohmaterialien

Eine genauere Analyse der beiden Diagramme zeigt weitere Übereinstimmungen:

- die einzelnen Werte weichen nur um 5 bis etwa 10 % von der Korrelationsgeraden ab – dies liegt im Bereich der Standardabweichungen der jeweiligen Mittelwerte;
- die Steigungsmaße weichen nur relativ geringfügig vom Wert 1 ab und zeigen so eine direkte Vergleichbarkeit aller korrelierenden einzelnen Folien

über einen recht großen Messwertbereich.

Die Reißkraftmessungen weisen auf eine ähnliche Orientierung aller zu vergleichenden Folien in Längs- und Querrichtung hin. Diese Aussage wird durch einen Vergleich der dynamischen Durchstoßfestigkeiten in Bild 2 bestätigt. Für die Bewertung der Korrelation und Abweichung der einzelnen Werte ergeben sich ähnliche Aussagen wie oben für die Reißfestigkeiten.

Ein größerer Unterschied ist dagegen im Niveau der beiden Datenreihen zu verzeichnen. Hierbei muss man jedoch den deutlich niedrigeren spezifischen Durchsatz der Pilotanlage berücksichtigen. Als Folge ergibt sich eine schnellere Abkühlung mit entsprechend niedrigerer Frostlinie. Dies mag die doch recht deutliche Differenz erklären.

Die Analyse der anderen ermittelten Daten führt zu ähnlichen Aussagen wie die beiden oben diskutierten Messgrößen, auf sie soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Ergebnisse dieser Datenvergleiche sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Gießfolien im Vergleich

Im Rahmen eines Stretchfolienprojekts wurden 17 µm dünne Monofolien aus handelsüblichen PE-LLD-Rohmaterialien

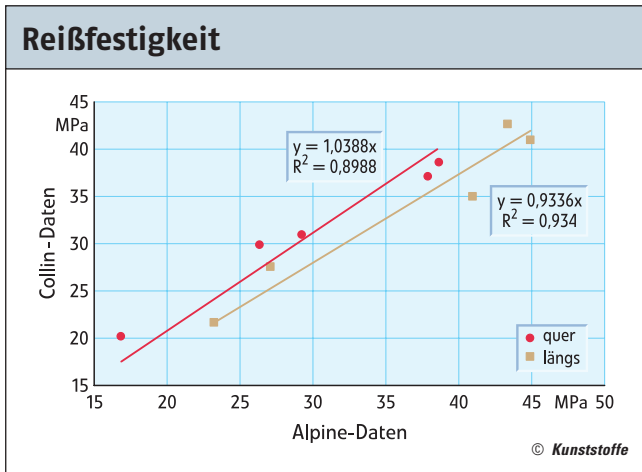


Bild 1. Ein Vergleich der Reißfestigkeiten von Blasfolien in Längs- und in Querrichtung zeigt eine gute Übereinstimmung der auf der Pilotanlage (Collin) und auf der Großanlage (Alpine) ermittelten Werte

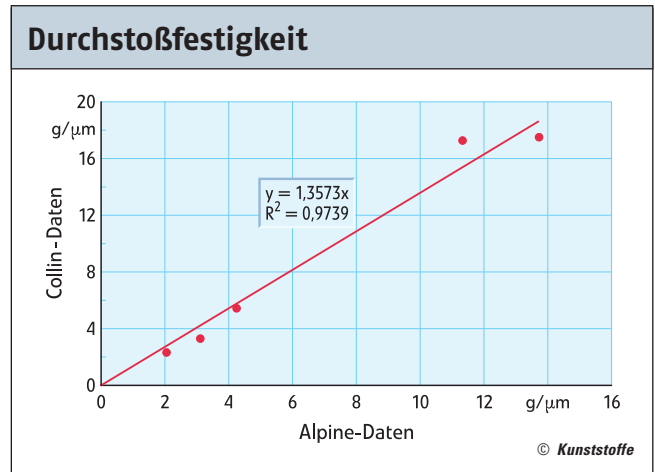


Bild 2. Der Vergleich der Durchstoßfestigkeiten von Blasfolien, die auf der Pilotanlage (Collin) und auf der Großanlage (Alpine) hergestellt wurden, zeigt eine gute Korrelation

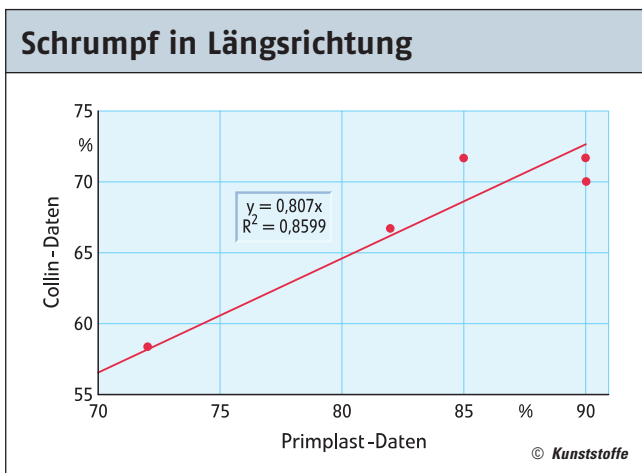


Bild 3. Vergleich des Orientierungs- bzw. Schrumpfverhaltens von Blasfolien: Die Pilotanlage (Collin) verstreckt die Schmelzen etwas weniger als die Großanlage (Primplast)

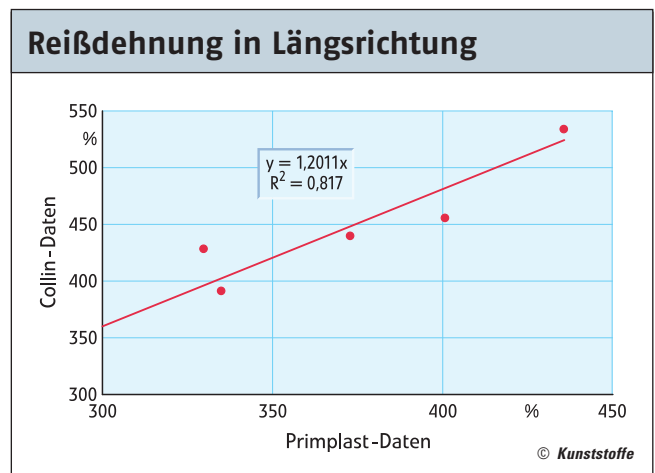


Bild 4. Vergleich der Reißdehnungen in Maschinenrichtung von Blasfolien, die auf der Pilotanlage (Collin) und auf der Großanlage (Primplast) hergestellt wurden: Unterschiede in den Orientierungen der Folien machen sich hier bemerkbar

en verschiedener Hersteller untersucht (Tabelle 7). Die gewählten Liniengeschwindigkeiten lagen bei 30 bzw. 250 m/min. Zusätzlich zu den bei den Blasfolienuntersuchungen verwendeten Messverfahren wurden Durchdrückfähigkeitswerte nach ASTM 5748 gemessen.

Die stark unterschiedliche Betriebsweise der beiden Anlagen muss zu entsprechenden Unterschieden im Orientierungsverhalten in Maschinenrichtung führen. Bild 3 bestätigt anhand der kleineren Schrumpfwerte, dass die Pilotanlage die Schmelzen nicht so stark verstreckt. Diese Unterschiede in den Orientierungen der Folien machen sich folgerichtig auch in unterschiedlichen Reißdehnungen in Maschinenrichtung bemerkbar (Bild 4).

Im Vergleich zu den zuvor diskutierten Blasfolienversuchen liegen die Korrelationskoeffizienten bei den Gießfolienvergleichen grundsätzlich auf niedrigerem Niveau. Dies bestätigt sich auch bei einer Zusammenfassung aller Ergebnisse (Tabelle 8).

Die Ausbildung der Schmelzefahne zwischen Düsenaustritt und Erkalten auf der Kühlwalze ist maßgeblich für die Mehrzahl mechanischer Folieneigenschaften verantwortlich. Kleinere Abweichungen in diesem engen Bereich führen zu teilweise recht deutlichen Veränderungen der jeweiligen Eigenschaften. Unter Berücksichtigung dieses Aspekts erscheint auch die Qualität des hier vorgenommenen Vergleichs recht akzeptabel.

Die Kosten im Vergleich

Ein allgemein gültiger Kostenvergleich zwischen Pilot- und Produktionsanlagen ist aufgrund der Vielzahl von möglichen Anlagenausführungen nicht möglich. Anhand der beschriebenen Gießfolienversuche soll zumindest eine Gegenüberstellung einiger wichtiger Kosten (teilweise abgeschätzt) betrachtet werden, die bei der Herstellung der Muster anfielen (Tabelle 9).

Dieser nur vereinfachte Vergleich zeigt, dass im betrachteten Fall durch den Einsatz einer Pilotanlage innerhalb von sechs Stunden je Musterherstellung Kosten in Höhe von ca. 7300 EUR eingespart werden können. Bei Anschaffungskosten von circa 290 000 EUR für eine Drei-Schicht-Pilotanlage hat sich somit eine derartige Anlage schon nach etwa 239 Betriebsstunden (<30 Arbeitstage) amortisiert. Positionen wie Hallenmiete, Wasserkosten oder der nicht unerhebliche Gewinn-

Messwert	Korrelationskoeffizient R ²	Steigungsmaß
Zugwerte in Längsrichtung		
– Reißdehnung	0,817	1,2
– Reißspannung	0,695	0,86
Durchdrückverhalten		
– Kraft	0,88	1,07
– Dehnung	0,82	1,05
Durchstoßfestigkeit		
– Elmendorf quer	0,88	0,89

Tabelle 8. Datenvergleich aller Gießfolienversuche

Position	Produktionsanlage	Pilotanlage
Einsatzzeit der Anlage für die Versuche [h]	20	6
Investitionskosten		
Anschaffungskosten [EUR]	500 000	290 000
Abschreibungszeitraum [a]	5	5
Produktionsstunden/Jahr [h]	7200**/2000*	2000
Abschreibungskosten/Stunde (10% Kapitalzins) [EUR/h]	16,67**/62,50	36,25
Abschreibungskosten für die Musterherstellung [EUR]	1250**/333,35*	217,50
Personal		
Personalbedarf [Men]	2	1
Bedarf an Personalstunden [h]	40	6
Personalkosten/Stunde [EUR/h]	30	30
Gesamte Personalkosten für Musterherstellung [EUR]	1200	180
Energie		
Energiekosten [EUR/kWh]	0,1	0,1
Benötigte Leistung [kW]	100	3,5
Benötigte Energie [kWh]	2000	27
Gesamte Energiekosten [EUR]	200	2,7
Materialkosten		
Materialbedarf für die Musterherstellung [kg/h]	300	10
Materialpreis/kg [EUR/kg]	1	1
Materialkosten [EUR]	6000	60
Gesamtaufwand [EUR]	8650**/7733,35*	460,20
Ersparnis durch Pilotanlage [EUR]	8189,80**/7273,15*	

* bei 24h-Betrieb als Produktionsanlage
 ** bei 8h-Betrieb als Laboranlage

Tabelle 9. Kostenvergleich der Musterherstellung einer Gießfolie

ausfall an der Produktionsanlage durch die Musterherstellung wurden bei dieser Abschätzung noch nicht einmal berücksichtigt.

Bei dem betrachteten Beispiel stellte sich eine relativ kleine Produktionsanlage mit einer Düsenbreite von 712 mm dem Kostenvergleich mit der Pilotanlage. Je größer die betrachtete Produktionsanlage ist, um so günstiger fällt der Kostenvergleich zu Gunsten der Pilotanlage

aus. Ferner handelte es sich um relativ preiswerte Testmaterialien (etwa 1 EUR/kg). Beim Arbeiten mit teuren, neu entwickelten Materialien sprechen die Zahlen noch deutlicher für eine Pilotanlage. Oft ist die zur Verfügung stehende Menge eines neuen Produkts auch zu gering, um Muster auf einer Produktionsanlage überhaupt herzustellen, aber ausreichend, um erste wichtige Aussagen auf einer Pilotanlage zu erhalten.

Neben den nicht unerheblichen Kosteneinsparungen ist ein wesentlicher Vorteil einer Pilotanlage, dass sie für die Entwicklungsarbeit immer zur Verfügung steht, während eine Produktionsanlage meist nur in Ausnahmefällen und nach längerer Wartezeit als Entwicklungsplattform genutzt werden kann. Somit trägt die Pilotanlage zu einer deutlichen Beschleunigung der Entwicklung bei – in unserer schnelllebigen Zeit ein nicht zu vernachlässigender Wettbewerbsvorteil. ■

DIE AUTOREN

DR.-ING. ANDREAS MAYER, geb. 1954, ist Projektleiter im Bereich Plastics bei Dow Europe GmbH, Horgen/Schweiz.

DR.-ING. GÜNTER MÜLLERFERLI, geb. 1960, ist bei der Dr. Collin GmbH, Ebersberg, im Bereich F & E tätig.
Kontakt: pilot-lines@drcollin.de

SUMMARY PLAST EUROPE

Rapid Analysis of Film Properties on Pilot Systems

PRODUCT DEVELOPMENT. *Blown and cast film must not necessarily be tested on large-scale systems: The extrapolation of tests conducted on pilot systems to production systems that are more than ten times the size provides very satisfactory results. Careful use of pilot systems thus offers considerable time and cost benefits when developing products and applications.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103314** on our website at www.kunststoffe.de/pe