

# Leistungssteigerung bestehender Einschneckenextruder

*Dr.-Ing. Robert Michels, ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf*

## **Einleitung**

Die Extrusionstechnologie ist ständigen Weiterentwicklungen unterworfen. Neue Produkte, neue Materialien oder Materialmischungen sowie ständig steigende Leistungs-, Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsansprüche erfordern in regelmäßigen Abständen entweder Investitionen in neue Anlagen oder die Anpassung und Nachrüstung der bestehenden Maschinenteknik. Das betrifft besonders die technologischen Kernelemente der Anlagen: die Steuerungs- und Regelungstechnik, die Extrusionswerkzeuge und die Extruder. Derartige Umrüstungen und Optimierungen werden mit unterschiedlichem Umfang von den Maschinenherstellern angeboten, aber auch von einigen spezialisierten Firmen und Hochschulinstituten. Auf der Basis einer Vielzahl erfolgreich durchgeführter Projekte werden in diesem Beitrag die Möglichkeiten zur Leistungssteigerung bestehender Einschneckenextruder diskutiert sowie Trends und aktuelle Entwicklungen aufgezeigt. Leistungssteigerung heißt dabei nicht nur Durchsatzsteigerung. Die Aufgabenstellungen sind vielfältiger und umfassender.

## **Marktbedarf und Aufgabenstellungen**

Da mit Einschneckenextrudern fast alle thermoplastischen Kunststoffe verarbeitet werden können, sind die Einsatzbereiche sehr vielfältig und dementsprechend auch die Zielsetzungen für verfahrenstechnische Leistungssteigerungen und Optimierungen.

Der Marktbedarf und die typischen Aufgabenstellungen werden gut erkennbar, wenn man die Projekte analysiert, die von der ETA Kunststofftechnologie GmbH in jüngerer Zeit bearbeitet wurden. Die Auswertung umfasst insgesamt 236 Aufträge aus den letzten 5 Jahren, von Anfang 2002 bis Ende 2006, die in irgendeiner Weise die Leistungssteigerung und Optimierung von Einschneckenextrudern zum Inhalt hatten. Davon sind 131 neue Aufgabenstellungen, aus deren Erfolg sich 105 Folgelieferungen gleicher Ausführung ergeben haben.

Die Projekte betreffen Einschneckenextruder mit Durchmessern zwischen 20 und 200 mm, die sich recht gleichmäßig auf die alle Anwendungsbereiche, Produkte und Materialien verteilen (Folien, Rohre und Schläuche, Ummantelungen, Platten und Profile, Blasformteile,

jeweils in Einschicht- und bevorzugt in Mehrschicht-Ausführung). Die Kunden waren ganz überwiegend Verarbeiter, zu einem kleinen Teil aber auch Maschinenhersteller.

Die große Anzahl an Aufgabenstellungen und die breite Streuung bietet für die folgende Analyse eine gute statistische Basis. Die Auswertung ist daher sicherlich in vielen Punkten aufschlussreich, sie kann die tatsächliche Marktsituation aber natürlich nicht völlig neutral und umfassend darstellen, weil ETA nur einen räumlich begrenzten Markt bedient, nicht von jedem Bedarf erfährt und auch nicht alle Anfragen zu einem Angebot und schließlich zu einem Auftrag geführt haben. Angebote ohne Umsetzung in einem Auftrag sind nicht einbezogen worden. Eine grobe Auswertung dieser Angebote für einen kürzeren Zeitraum hat keine wesentlich abweichende Struktur der Aufgabenstellungen aufgezeigt.

Eine wichtige Verzerrung des Bildes ist jedoch durch die grundsätzliche Zurückhaltung von ETA bei Anfragen gegeben, bei denen ein Verschleißproblem besteht, das nicht ganz wesentlich mit einer verfahrenstechnischen Änderung der Schneckenengeometrie gelöst oder verbessert werden kann. Gegenüber der tatsächlichen Marktsituation sind daher Verschleißfragen stark unterrepräsentiert.

Bild 1 zeigt die Verteilung der durchgeführten Projekte auf die wichtigsten Einschneckenextruderbauarten, die hier an der Ausführung des Zylinders unterschieden werden. Das sind einerseits konventionelle Extruder mit einem 1-teiligen Zylinder, der im Einzug glatt oder auch gerillt oder leicht genutet sein kann, sowie Extruder mit mehrteiligem Zylinder und einer wärmegetrennten förderwirksamen genuteten Einzugszone. Weiterhin Entgasungsextruder mit entsprechend unterschiedlicher Ausführung des Einzugsbereichs und andere Extruderbauarten, hier z. B. schmelzebeschickte Kühlextruder für die Schaumextrusion und der von ETA in Zusammenarbeit mit dem Institut für Produkt Engineering IPE der Universität Duisburg-Essen entwickelte CoAx-Extruder, auf den in einem weiteren Beitrag dieser Fachtagung näher eingegangen wird [1].

Es ist sinnvoll, im Zusammenhang mit der Extruderbauart auch nachgeschaltete Zahnradpumpen und Statikmischer festzuhalten, weil sich dadurch für Schnecke und Extruder besondere Randbedingungen ergeben. In den hier betrachteten Fällen besaßen alle Entgasungsextruder eine Zahnradpumpe zum Druckaufbau. Ebenso einige schnelllaufende Glattrohrextruder.

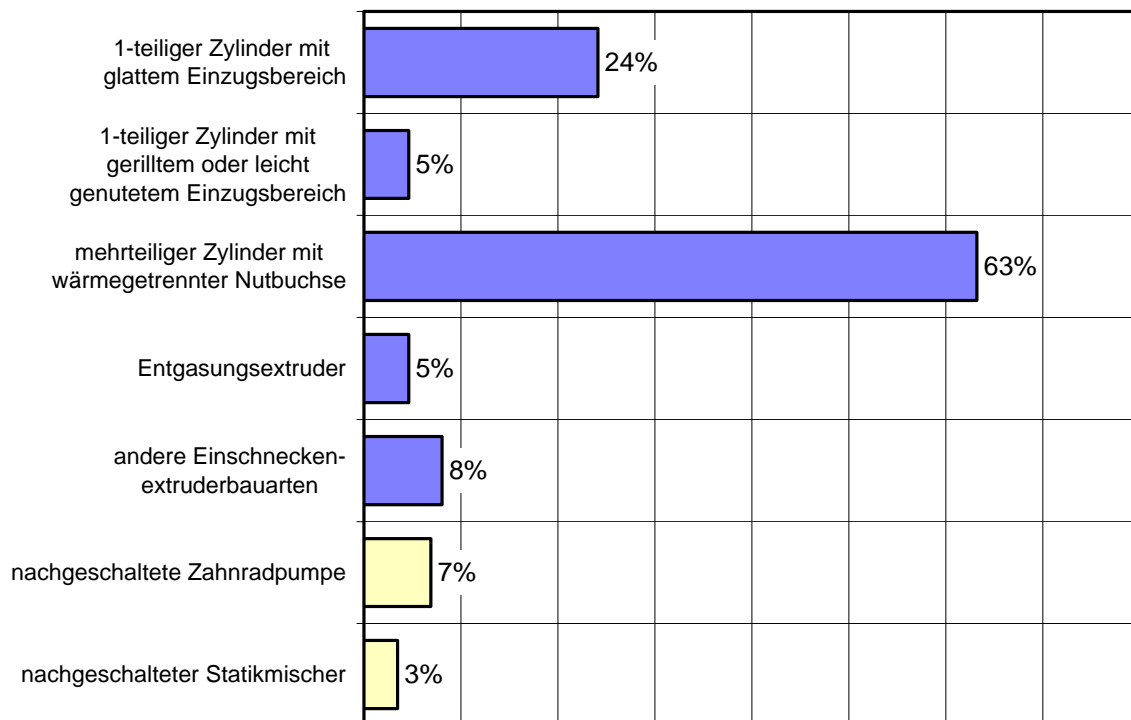


Bild 1: Häufigkeit der Extruderbauarten bei den von ETA in den Jahren von 2002 bis 2006 durchgeführten Projekten zur Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern

Im Vergleich zur Verteilung der Extruderbauarten im Markt ist festzustellen, dass bei Glattrohretrudern offenbar ein größerer Bedarf für Leistungssteigerungen und Optimierungen besteht als bei ihren nahen Verwandten mit gerilltem oder leicht genutetem Einzugsbereich. Das ist durchaus verständlich, besitzen Glattrohretruder doch bauartbedingt die geringsten Durchsätze und Förderraten sowie weitere verfahrenstechnische Nachteile, z. B. durch das gedruckabhängige Förderverhalten.

Die Aufgabenstellungen und Zielsetzungen der Auftraggeber bei diesen Projekten waren sehr vielfältig. Es lassen sich 12 verschiedene Zielsetzungen identifizieren, deren Häufigkeit in den Diagrammen 2 und 3 dargestellt ist.

Bei den einzelnen Projekten gab es in der Regel mehrere Ziele. Auf eine Gewichtung wurde bei der Auswertung verzichtet. Es ist hierbei wichtig, den Einfluss der Ausgangssituation auf die Zielsetzungen zu verstehen: Bei zwei am Ende völlig gleichen Lösungen für eine gleiche oder ähnliche Anwendung können die spezifizierten Zielsetzungen sehr verschieden sein, wenn sich die vorhandenen Extruder- und Schneckenausführungen stark unterscheiden. Die hier genannten Punkte beschreiben daher nicht vollständig die gewünschten Eigenschaften

der Lösung, sondern die Differenzen zwischen den gewünschten Eigenschaften und der Ausgangssituation.

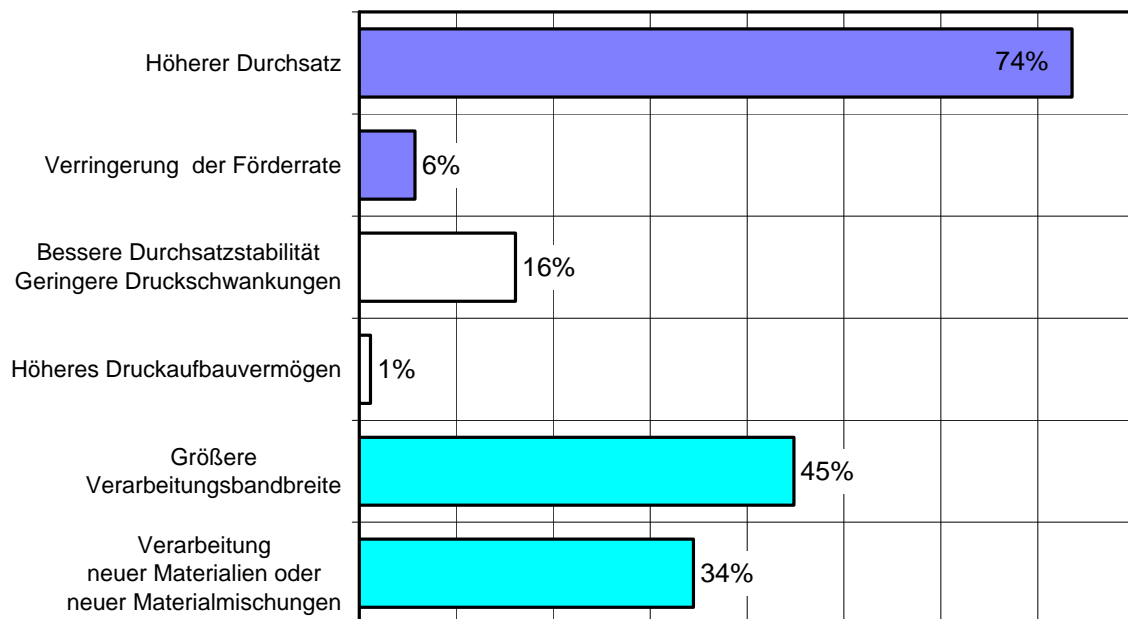


Bild 2: Häufigkeit der Zielsetzungen 1 bei den von ETA in den Jahren von 2002 bis 2006 durchgeführten Projekten zur Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern

Oftmals sind einzelne Zielsetzungen miteinander verknüpft. So sind z. B. höhere Durchsätze im Gesamtblick auf Anlage und Produkt häufig erst möglich durch eine bessere Homogenisierung der Schmelze und/oder eine niedrigere Schmelztemperatur. Auch diese Verknüpfungen können von der jeweiligen Ausgangssituation und den dadurch gegebenen Randbedingungen abhängen.

Eines der wichtigsten Ziele ist in fast drei Viertel der Fälle die Erzielung einer höheren Durchsatzleistung. Das heißt aber auch, dass in allen anderen Fällen eigentlich genügend Durchsatz vorhanden wäre und andere Probleme den Verarbeitungsprozess einschränken. Leistungssteigerung ist daher nicht per se mit einer Durchsatzsteigerung des Extruders gleichzusetzen.

Das am häufigsten genannte Ziel noch knapp vor der Durchsatzsteigerung ist die Verringerung der Schmelztemperatur. Danach folgt an dritter Stelle die Verbesserung der Schmelzeshomogenisierung. Dieser Begriff fasst hier sehr verschiedene Aufgabenstellungen zusammen, die unterschiedliche Maßnahmen erfordern, z. B. die thermische Schmelzeshomo-

genität, die Einmischung von Farben und Additiven, die generelle stoffliche Homogenisierung bei Materialmischungen, die Vermeidung von Stippen, etc.

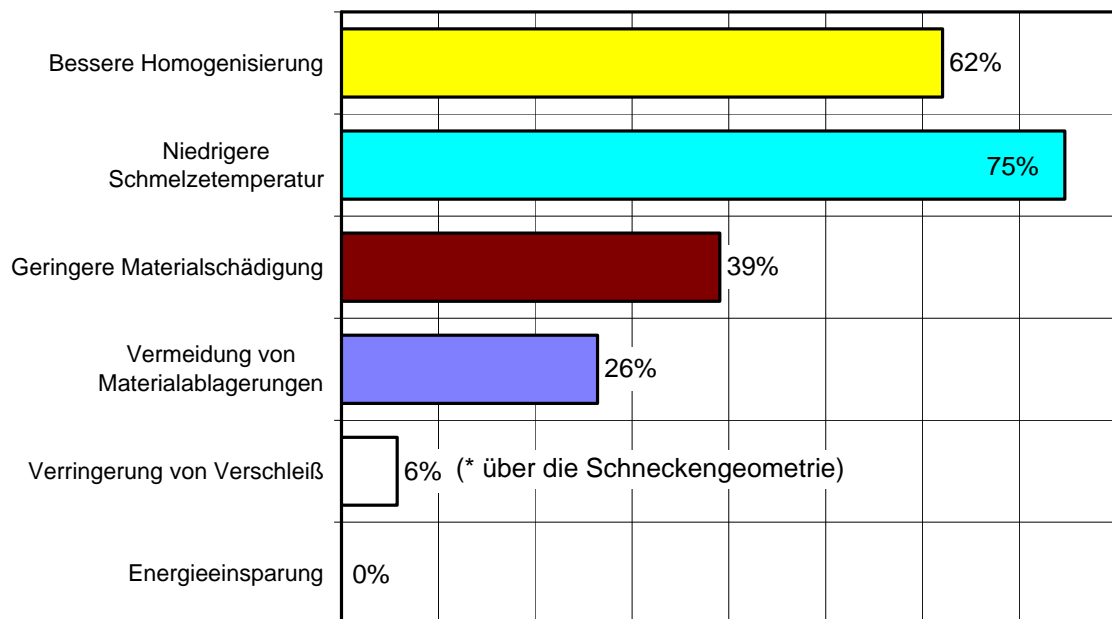


Bild 3: Häufigkeit der Zielsetzungen 2 bei den von ETA in den Jahren von 2002 bis 2006 durchgeführten Projekten zur Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern

In einem Drittel bis fast der Hälfte der Fälle besteht Bedarf für eine größere Verarbeitungsbreite oder eine Verarbeitung neuer Materialien und Materialmischungen.

Ein weiteres häufiges Ziel ist eine geringere Materialschädigung. Diese wird in der Regel über messbare Produkteigenschaften definiert, deren Abhängigkeit von den Phänomenen im Extruder jedoch oft sehr komplex und schwer zu klären ist. Grundsätzlich ist eine Materialschädigung oft die Folge einer zu hohen Schmelztemperatur. Insofern besteht ein Zusammenhang mit anderen Zielen. Außerdem hilfreich ist ein gutes Spül- bzw. Verweilzeitverhalten des Extruders.

In diesem Zusammenhang ist eine häufige Forderung auch die Vermeidung von Materialablagerungen auf der Schnecke, die dort verbrennen und eventuell als im Produkt störende Partikel ausgespült werden können.

Geringere Druckschwankungen und eine bessere Durchsatzstabilität sind nur in einem Sechstel der Fälle von Bedeutung. Eine Vergrößerung des Druckaufbauvermögens wird äußerst selten gefordert.

Es gibt jedoch in einer geringen, aber nicht unbedeutenden Anzahl von Fällen auch das Ziel einer Durchsatzverringerung bzw. einer Verringerung der Förderrate. Hinter dieser im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit von Extrudern zunächst ungewöhnlich erscheinenden Aufgabenstellung stehen in der Regel Probleme mit einem zu hohen Schneckendrehmoment aufgrund einer unzureichenden Abstimmung von Schneckenauslegung und Antrieb auf das zu verarbeitende Material oder die Notwendigkeit, bei sehr geringen Durchsätzen in einzelnen Schichten von Coextrusionsanlagen eine feinfühligere Drehzahl- und Durchsatzregelung in einem höheren Drehzahlbereich zu realisieren.

Die Verringerung von Verschleiß ist in dieser Auswertung im Vergleich zur Praxis eine sehr seltenes Kriterium, weil dies – wie eingangs schon erwähnt – für ETA nur dann eine Aufgabenstellung ist, wenn wesentliche Verbesserungen über die Schneckengeometrie erreicht werden können.

Obwohl bei allen durchgeführten Projekten nie seitens eines Kunden spezifiziert, ist schließlich die Energieeinsparung hier ebenfalls als Ziel genannt, weil sie im Gesamtblick auf die Wirtschaftlichkeit von Extrudern und Extrusionsanlagen häufig diskutiert wird. Ein geringerer Energieverbrauch ist zudem mit anderen der genannten Zielsetzungen verknüpft, weil er die direkte Folge einer Schneckenauslegung mit niedrigerer Schmelztemperatur und geringen Energieverlusten über den Zylinder (Kühlung im Einzug oder anderen Zylinderzonen) ist.

### **Lösungskonzepte**

Von ETA wird für die Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern ein Stufenkonzept angeboten, das unterschiedliche Umrüstungs- und Leistungsstufen umfasst, abhängig von der Ausgangssituation und den Zielsetzungen:

1. ETA-Barriere-Misch-Schnecke  
für vorhandene Glattröhren-, Nutbuchsen- und Entgasungsextruder
2. ETA-Barriere-Misch-Schnecke plus ETA-Nutbuchse  
für vorhandene Nutbuchsenextruder
3. ETA-Plastifiziereinheit (Schnecke, Zylinder und optional Heiz-/Kühl-Einheiten)  
mit glattem oder genutetem Einzugsbereich für eine vorhandene Antriebseinheit  
Dabei kann eine Veränderung von wirksamer Länge  $L/D$  und/oder Durchmesser  $D$  vorgenommen werden.

4. ETA-Plastifizieraggregat / ETA-Extruder (Plastifiziereinheit mit Antrieb / und Steuerung) mit kompromissloser anwendungsspezifischer Auslegung, wenn eine vorhandene Antriebseinheit unzureichend und nicht umrüstbar ist

Eine Option bei 1. und insb. 2. ist eine Zylinderverlängerung zur Durchsatzsteigerung, sofern die Antriebsleistung ausreicht. Optionen bei 1. bis 3. sind Antriebsänderungen, z. B. der Umtersetzung (einfach bei einem Riementrieb), des Getriebes oder des Antriebsmotors.

Kernelemente der von ETA angebotenen Lösungen sind sogenannte Barriere-Misch-Schnecken, die über eine Barriere-Plastifizierzone und spezielle mehrstufige Scher- und Mischzonen verfügen, die vielfältiger aussehen können als in Bild 4 gezeigt. Grundsätzlich könnte man einige Aufgabenstellungen zwar auch mit einfacheren Mehrzonenschnecken und einem einfachen Mischelement lösen. Die Vorteile von Barriere-Misch-Schnecken liegen in der großen Verarbeitungsbandbreite und den großen Leistungsreserven, die insbesondere durch eine niedrige Schmelztemperatur bei hohen Schneckendrehzahlen und eine gute Schmelzeshomogenität gekennzeichnet sind [2, 3, 4, 5]. Diese Eigenschaften ermöglichen auch eine schnelle Anpassung des Konzepts an die unterschiedlichsten Materialien und Randbedingungen, wodurch eine sichere Lösung auch in anspruchsvollen Einzelfällen gewährleistet ist.

Die Auslegung der Schnecken erfolgt grundsätzlich anwendungsspezifisch mit Unterstützung durch leistungsfähige Software (REX [6] und eigene Programme für genutete Einzugszonen [7] und Mischteile). Insbesondere beim Einsatz neuer Schnecken in unveränderten, vorhandenen Extruderzylindern spielt eine präzise, zuverlässige Durchsatzberechnung eine entscheidende Rolle, weil es in der Regel keine Möglichkeiten für Versuche gibt und weil bei Leistungssteigerungen die Ausreizung der installierten Antriebsleistungen und Schneckendrehzahlen keine großen Spielräume lässt.

ETA-Barriere-Misch-Schnecken können mit 1-teiligen, glatten oder im Einzug leicht genuteten Extruderzylindern kombiniert werden. Ebenso mit Extrudern, die einen mehrteiligen Zylinder mit wärmegetrennter Nutbuchse oder wärmegetrenntem Einzugssegment besitzen. Die Schnecke, insbesondere der Einzugsbereich, muss dabei natürlich an die jeweilige Zylinderausführung angepasst werden.

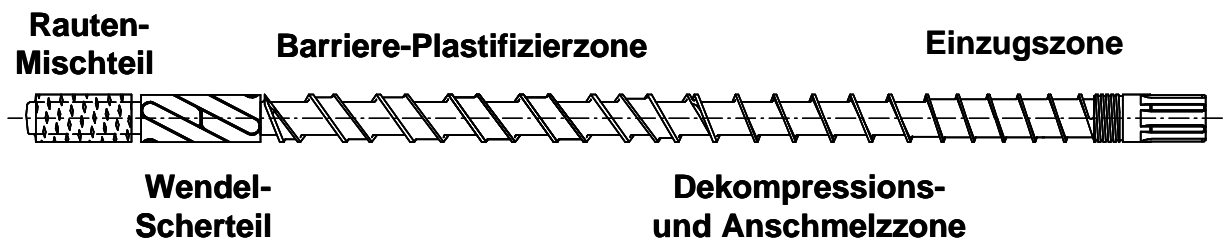


Bild 4: ETA-Barriere-Misch-Schnecke – Aufbau und Eigenschaften

Genutete Einzugszonen sind notwendig, wenn eine gute, gegendruckunabhängige Durchsatzstabilität und hohe spezifische Durchsätze bzw. hohe Gesamtdurchsätze gefordert sind. Nur bei Mischungen mit stark schwankenden oder hohen Anteilen an Mahlgut sehr geringer Schüttdichte hat diese Extruderausführung Nachteile aufgrund ihrer praktisch linear von der effektiven Schüttdichte der Mischung abhängigen Förderrate.

Im Markt finden sich bei älteren wie neueren Extrudern häufig wassergekühlte, vom Plastifizierzylinder wärmegetrennte Nutbuchsen mit einer zu geringen Anzahl an zu tiefen oder zu kurzen Rechtecknuten oder flachen Halbrund- oder Sichelnuten. Der Nachteil dieser Nutgeometrien ist ein zu weiches Verhalten bei hohen Drehzahlen und hohen Gegendrücken. Dadurch sinkt die Förderrate ab. Die Folge ist eine Zunahme der Schmelztemperatur, die den nutzbaren Durchsatz zusätzlich einschränkt. Manchmal bricht der Durchsatz sogar ein. Mit einer großen Anzahl an scharfkantigen Rechtecknuten, deren Breite und Tiefe auf die Granulatgeometrie optimal abgestimmt ist, und einem nach neuesten Erkenntnissen gestaltetem Einfüllbereich ist dagegen eine konstante Förderrate auch bei sehr hohen Schneckendrehzahlen gewährleistet [7, 8].

Die konsequente Auslegung der ETA-Barriere-Misch-Schnecken auf ein leicht zunehmendes bis konstantes Druckprofil über der Schneckenlänge führt zu einem sehr geringem Gegendruck nach der genuteten Einzugszone und reduziert dadurch den Kühlbedarf und die Verschleißgefahr in der genuteten Einzugszone drastisch. Dadurch können bei den oben genannten Plastifiziereinheiten elektrisch beheizbare und nur moderat mit Luft kühlbare, genutete Einzugssegmente eingesetzt werden [4]. Bild 5 zeigt den konstruktiven Aufbau einer solchen Lösung.



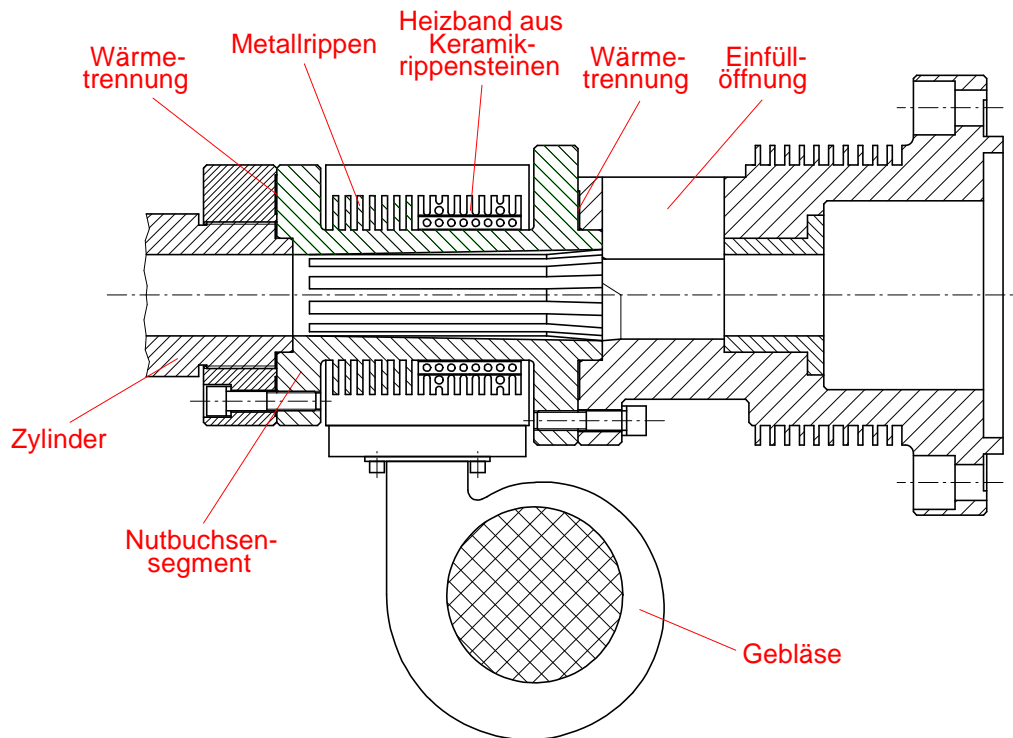


Bild 5: Luftgekühltes und elektrisch beheizbares genutetes Einzugssegment

### Grenzen

Bei der Umrüstung eines Einschneckenextruders sind Grenzen nur dann vorhanden, wenn ungenügend leistungsfähige Teile des vorhandenen Systems beibehalten werden sollen. Das betrifft in der Praxis vor allem den Antrieb (Leistung und maximale Schneckendrehzahl von Motor und Getriebe) und zylinderseitig die Ausführung des Einzugsystems. In einigen Fällen aber auch die Zylindertemperierung (Leistungsfähigkeit der Heiz-/Kühl-Einheiten und der Einzugskühlung).

Die maximal erreichbare Durchsatzleistung für ein bestimmtes Material ist einerseits vom spezifischen Antriebsenergiebedarf des Schneckenkonzepts und der vorhandenen Antriebsleistung abhängig, andererseits von der maximal möglichen Schneckendrehzahl.

Ein Schneckenkonzept mit einer geringen Antriebsenergieaufnahme bietet für diese Aufgabe die besten Voraussetzungen. Notwendig für eine günstige Energiebilanz sind ein geringer Kühlbedarf (Energieverlust) in der Einzugszone von Nutbuchsenextrudern, eine niedrige Schmelztemperatur sowie eine geringe Dissipation und ein guter Wärmeaustausch mit dem Zylinder in den einzelnen Schnecken-zonen (höherer Heizleistungs- und geringerer Antriebsleistungsanteil in der Energiebilanz). Nur ein Schneckenkonzept mit geringerer Antriebsener-

gieaufnahme ermöglicht letztendlich eine Steigerung der Durchsatzleistung, wenn keine Reserven bestehen und die Antriebsleistung nicht vergrößert werden kann oder soll.

Dafür bieten ETA-Barriere-Misch-Schnecken günstige Voraussetzungen. Bild 6 zeigt die um ca. 8 % niedrigere Stromaufnahme einer ETA-Barriere-Misch-Schnecke in einem Nutbuchsenextruder im Vergleich zu einer modernen Mehr-Zonen-Schnecke mit Mischteilen bei der Verarbeitung des gleichen Materials mit gleicher Förderrate und identischer Zylindertemperatureinstellung. Zusätzlich ist der Schmelzetemperaturverlauf günstiger, d. h. niedriger bei hohen Drehzahlen. Der Vergleich belegt die günstigere Energiebilanz der ETA-Barriere-Misch-Schnecke (geringerer Kühlbedarf bzw. Energieverlust in der genuteten Einzugszone, höhere Heizleistungsaufnahme über den Zylinder). Verglichen mit älteren Schneckenkonzepten kann der spezifische Energievorteil sogar 20 - 30 % betragen.

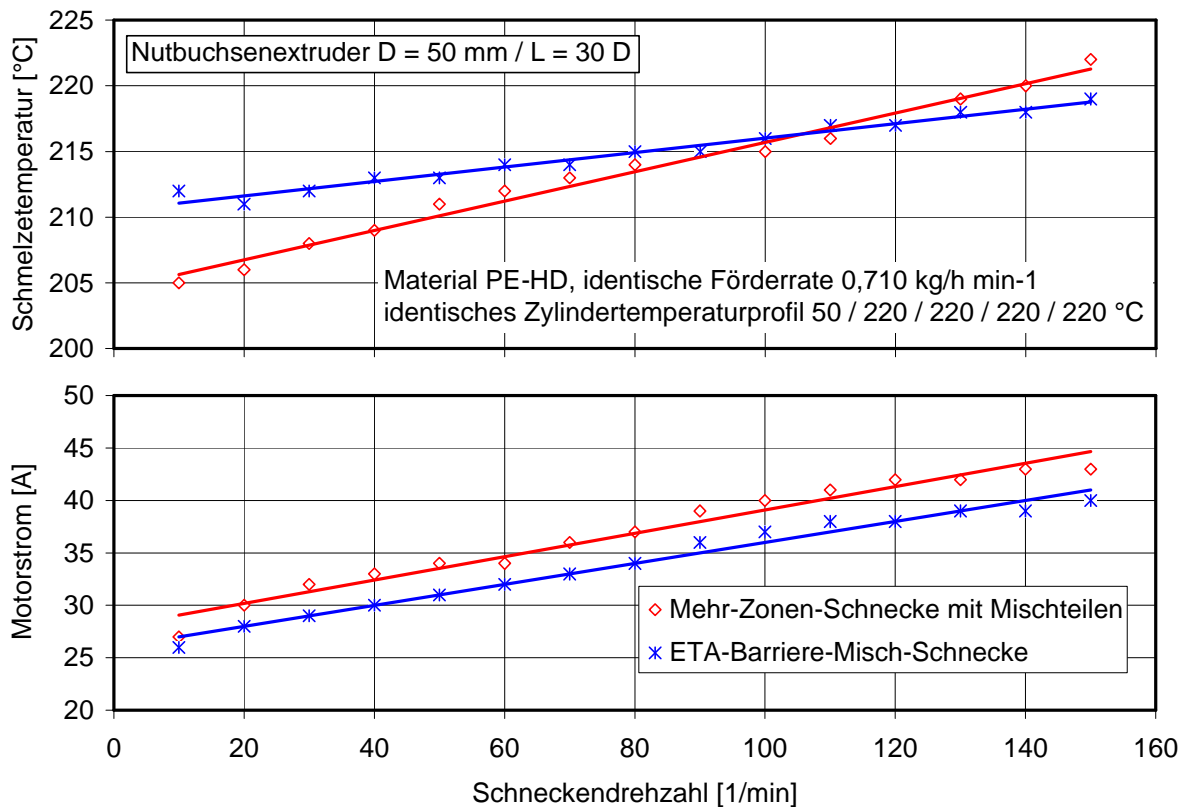


Bild 6: Spezifische Antriebsenergieaufnahme verschiedener Schneckenkonzepte

Der Umbau eines Glattrohrextruders in einen leistungsfähigeren Nutbuchsenextruder ist ebenfalls nur möglich, wenn Antriebsmotor und Getriebe genügend Reserven besitzen und das höhere Drehmoment bewältigen können.

In der Praxis finden sich auch häufig Extruderantriebe, bei denen zwar Leistungsreserven bestehen, jedoch die maximale Schneckendrehzahl zu gering ist. Die einzigen praktikablen Lösungen für diese Problematik sind die Änderung der Untersetzung eines eventuell vorhandenen Riementriebs oder die Nutzung eines eventuell vorhandenen Feldschwächebereichs des Antriebsmotors. Die Umrüstung einer Getriebeuntersetzung ist meistens zu aufwändig.

### Ausgeführte Lösungen

Bei den eingangs erläuterten Projekten waren Art und Umfang der schließlich ausgeführten Umrüstungen nicht nur eine Frage der damit erzielbaren Leistung, Qualität und Wirtschaftlichkeit. Von Verarbeitern werden häufig Lösungen mit geringem Umbauaufwand, also z. B. nur ein Schneckenaustausch bevorzugt, auch wenn damit die Ziele nicht vollständig erreicht werden können. Ein Systemwechsel (z. B. der Umbau eines Glattrohretruders in einen Nutbuchsenextruder) wird leider häufig gescheut. Auch die Möglichkeit zum einfachen Rückbau auf das alte System wird oft geschätzt. In vielen Fällen existieren zudem sehr spezifische Probleme, für die ganz individuelle Lösungen abweichend von der oben erläuterten Struktur des ETA-Stufenkonzepts für Umrüstungen gefunden werden müssen. Die Bilder 7 bis 9 zeigen die Häufigkeit der verschiedenen Lösungen und Umrüstungsumfänge bei den von ETA durchgeführten Projekten.

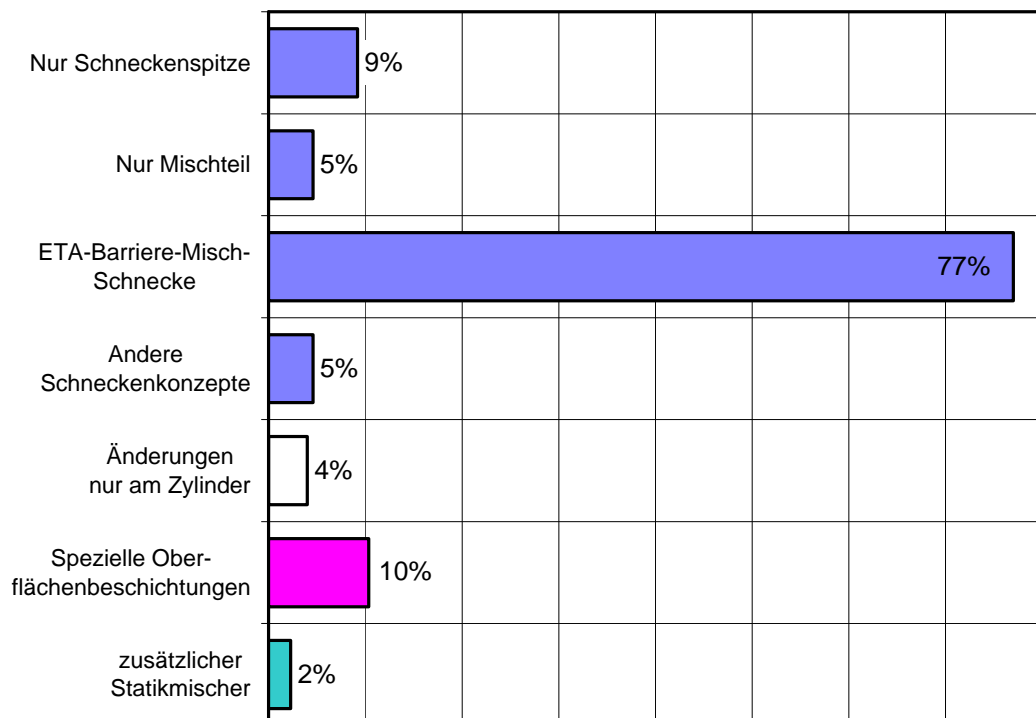


Bild 7: Häufigkeit verschiedener, die Schnecke betreffende Umrüstungen bei den von ETA durchgeführten Projekten zur Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern

Unabhängig von eventuellen zusätzlichen Änderungen an Extruderzylinder und Antrieb wurden bei drei Viertel aller Projekte ETA-Barriere-Misch-Schnecken eingesetzt, in jeweils 5 % aller Fälle andere Schneckenkonzepte oder nur ein neues Mischteil. Mit 9 % überraschend hoch ist der Anteil der Fälle, bei denen lediglich die Schneckenspitze geändert wurde, um eine Verbesserung zu erreichen. Hierbei bestanden in der Regel Probleme mit Ablagerungen im Adapterbereich bei verweilzeitkritischen Materialien. Bei 4 % aller Projekte wurden ausschließlich Änderungen am Zylinder durchgeführt, z. B. der Einbau einer ETA-Nutbuchse oder die Ausstattung eines glatten Extruders mit Rillennuten im Einzug.

Bei 10 % aller Anwendungen kamen Schnecken mit speziellen Oberflächenbeschichtungen zum Einsatz. Dazu zählt hier auch die Hartverchromung. In den meisten Fällen waren es jedoch verschiedene PVD-Beschichtungen zur Verringerung oder Vermeidung von Materialablagerungen und deren Folgen.

Schließlich wurde bei 2 % der Projekte zusätzlich zu einer neuen Schnecke ein Statikmischer installiert. Für die weitere Verbesserung der Schmelzeshomogenität ist das eine bewährte Lösung, die jedoch verbunden ist mit höherem Aufwand und größerem Platzbedarf sowie zusätzlichem Druckverlust, Schmelztemperaturzunahme und längerer Verweilzeit.

Änderungen am Zylinder werden aus Kostengründen nicht immer gleichzeitig durchgeführt. Die häufigsten Maßnahmen sind die Änderung der Nutbuchse, die Zylinderverlängerung sowie neue, leistungsfähigere Heiz-/Kühl-Einheiten zur besseren Beeinflussung der Schmelztemperatur über das Zylindertemperaturprofil (Bild 8).

Die umfangreiche Umrüstung mit einer kompletten ETA-Plastifiziereinheit mit wärmegetrennter, wassergekühlter Nutbuchse oder luftgekühltem genutetem Einzugssegment wurde in 6 % der Fälle gewählt. Durchmesseränderungen wurden in einzelnen Fällen nach oben vorgenommen bei großen Antriebsreserven oder nach unten, um eine kostengünstigere kleinere Baugröße zusammen mit einer Leistungssteigerung zu realisieren.

Die Änderung des Einzugsbereichs eines 1-teiligen Zylinders, z. B. die Einbringung von Rillennuten in einen glatten Zylinder, ist äußerst selten. In der Regel waren das Kompromisslösungen in Sonderfällen, bei denen eine Umrüstung auf die bessere aber auch teurere Lösung mit einem mehrteiligen Zylinder mit wärmegetrenntem genutetem Einzugsbereich nicht in Frage kam.

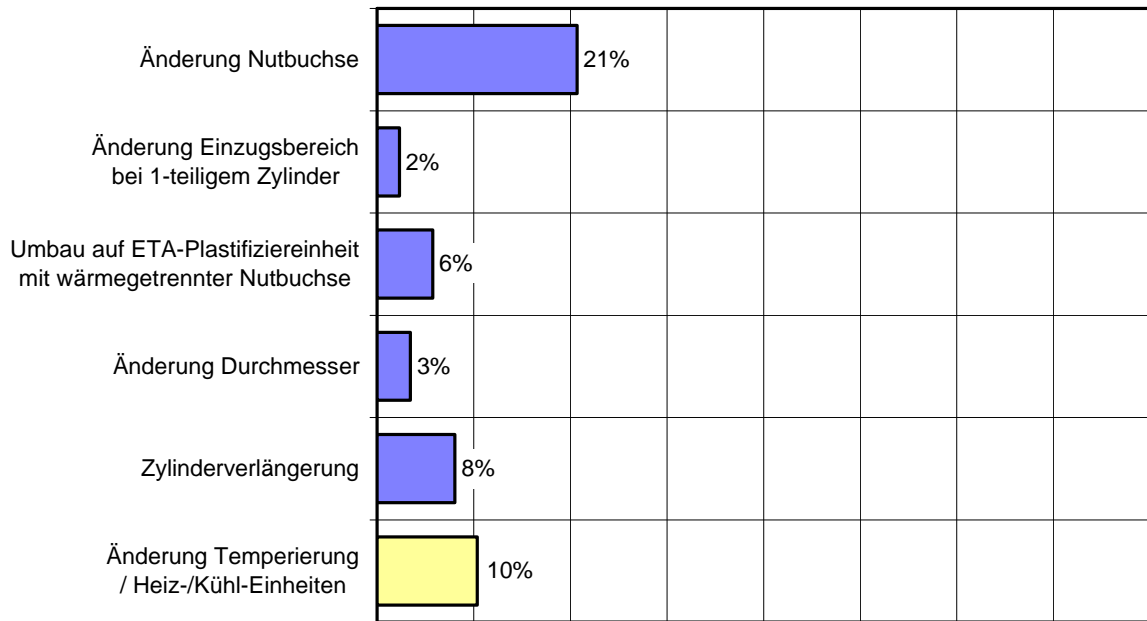


Bild 8: Häufigkeit verschiedener Änderungen und Umrüstungen des Extruderzylinders

Stärkere Getriebe und Antriebsmotoren wurden häufig bei Leistungssteigerungen zusammen mit Zylinderverlängerungen oder Umrüstungen auf ETA-Plastifiziereinheiten eingebaut.

Die Änderung der Untersetzung eines Riementriebs ist selten vorgekommen, war dann aber eine einfache Maßnahme, ohne die das Projekt nicht erfolgreich zu realisieren gewesen wäre. Eine Änderung einer Getriebeuntersetzung hat es aufgrund des hohen Aufwandes in keinem Fall gegeben (Bild 9).

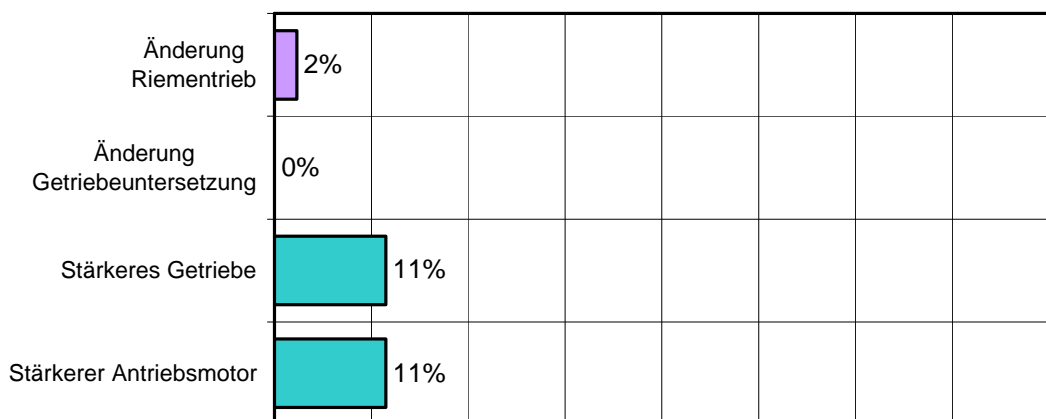


Bild 9: Häufigkeit verschiedener Antriebsänderungen

## **Trends und aktuelle Entwicklungen**

Die Hochgeschwindigkeitsextrusion – das Hauptthema dieser Fachtagung – ist bei der Leistungssteigerung vorhandener Extruder (noch?) keine brennende Fragestellung, da dazu erhebliche Antriebsänderungen notwendig wären. Trotzdem folgen die für Umrüstungen eingesetzten Technologien diesem Trend wie auch allen anderen Entwicklungstrends der Branche. Es besteht schließlich kein Grund, bei Umrüstungen nicht die gleichen Technologien einzusetzen wie bei neuen Extrudern.

Bei der Leistungssteigerung vorhandener Extruder lassen sich zurzeit die folgenden aktuellen Fragestellungen und Entwicklungsrichtungen benennen:

1. Schneckengeometrien für höhere Förderraten und höhere Schneckendrehzahlen
2. Leistungsfähige Mischzonen zur Schmelzehomogenisierung
3. Oberflächenbeschichtungen zur Vermeidung von Materialablagerungen
4. Strategien und Hilfsmittel zur schnellen und zuverlässigen Entwicklung und Fertigung individueller Lösungen

Entsprechend der allgemeinen Entwicklung werden auch bei Leistungssteigerungen immer höhere Förderraten und Schneckendrehzahlen realisiert. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen an die einzelnen Schneckenzone. Für genutete Einzugszonen existieren für diese neuen Anforderungen genügend gute Auslegungsregeln [z. B. 7, 8]. Noch nicht vollständig verstanden und berechenbar sind jedoch die Auswirkungen auf den Aufschmelzvorgang in Barriere-Plastifizierungszonen. Dort führen höhere Förderraten und Schneckendrehzahlen zu einem Übertritt von nicht vollständig aufgeschmolzenem Material in den Schmelzkanal, was aufgrund der großen Plastizität dieser Materialbestandteile mit einem hohen Druckverlust beim Passieren des Barrierestegs verbunden ist. Dieser Fördervorgang und der Druckverlust lassen sich nicht mit den klassischen Modellen für Schmelzen berechnen. Ein weiteres, in der klassischen Theorie für Barrierezone nicht beschriebenes Phänomen ist das dispersive Aufschmelzen der nicht vollständig plastifizierten Materialbestandteile im Schmelzkanal. Dieser Effekt kühlt die Schmelze und trägt daher zu einer niedrigen Schmelzetemperatur bei.

Die bisher gezogenen Konsequenzen sind deutlich größere Barrierspaltweiten zur Verringerung der Druckverluste. Weitere sinnvolle oder notwendige Änderungen der Barrierezonegeometrie (Gangtiefen-, Steigungs- und Gangbreitenverläufe) sind aber noch nicht erkenn-

bar. Vielleicht werden durch diese Phänomene auch systembedingte Grenzen von Barriere-Plastifizierungszonen erreicht, die einen Übergang zu neuen Schneckenkonzepten erfordern.

Die unaufgeschmolzenen Materialbestandteile müssen spätestens in den nachgeschalteten Mischzonen vollständig aufgeschmolzen werden, sonst sind eine gute Schmelzehomogenität und die gleichmäßige Einmischung von Farben und Additiven nicht erreichbar. Dieses Restplastifiziervermögen ist eine zusätzliche neue Aufgabenstellung für die Mischzonen. Neben den aufgrund höherer Qualitätsanforderungen, höherer Förderraten und Drehzahlen ohnehin angestiegenen klassischen Anforderungen an das dispersive und distributive Mischvermögen bei geringem Druckverlust, geringer Schmelzetemperaturzunahme, gutem Wärmeaustausch mit dem Zylinder und gutem Spülverhalten.

Ein weiteres aktuelles Entwicklungsthema sind Schneckenbeschichtungen zur Vermeidung von Materialablagerungen, die auf der Schneckenoberfläche verbrennen und Fehler im Produkt hervorrufen können, wenn sie sich ablösen und ausgespült werden. Die Schneckengeometrie hat auf dieses Phänomen keinen Einfluss, sofern keine Stagnationszonen oder lokale Überhitzungen vorhanden sind. Der Schlüssel zur Vermeidung solcher Ablagerungen sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand dichte, reaktionsträge Beschichtungen, die katalytische Reaktionen zwischen der Schmelze und dem Schneckenwerkstoff verhindern und die zusätzlich antiadhäsive Eigenschaften aufgrund einer niedrigen Oberflächenenergie besitzen [9, 10]. Bei Schnecken müssen diese Beschichtungen außerdem genügend hart und abriebfest sein. Im Mittelpunkt der aktuellen Entwicklung stehen PVD- und CVD-Beschichtungen, deren Eigenschaften sich in einem großen Bereich maßschneidern lassen [11]. TiN und CrN können bereits als Standard bezeichnet werden. Darüber hinaus gibt es eine fast schon unüberschaubare Anzahl anderer Beschichtungstypen und potentieller Weiterentwicklungen. Das Zusammenspiel dieser Beschichtungen mit der Vielzahl an Kunststoffen, Additiven und Verarbeitungsverfahren ist bei weitem noch nicht vollständig verstanden und gelöst. Hier besteht noch viel Raum und Bedarf für weitere Untersuchungen und Entwicklungen.

Bei der Leistungssteigerung von Einschneckenextrudern durch Änderungen und Umrüstungen in der in diesem Beitrag beschriebenen Weise handelt es sich in der Regel um anspruchsvolle individuelle Projekte und Einzelanfertigungen, die unter Zeitdruck durchgeführt werden. Für einen Zwischenversuch besteht oft keine Möglichkeit. Daher müssen leistungsfähige Strategien und Hilfsmittel zur schnellen und zuverlässigen Entwicklung und fertigungstechnischen Umsetzung vorhanden sein. Der Einsatz von CAD-Systemen und Software zur

Schneckenauslegung, Datenbanken und Checklisten ist heute Stand der Technik. Trotzdem gibt es in diesem Bereich noch viele Möglichkeiten für Weiterentwicklungen, auch aufgrund der sich ständig verändernden Anforderungen durch neue Produkte, neue Materialien und steigender Leistungs-, Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsansprüche. Entscheidend für den Erfolg einer Umrüstung zur Leistungssteigerung ist außerdem eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Firmen bei der Klärung der Zielsetzungen und der Schnittstellen des Lieferumfangs.

### **Literaturhinweise**

- [1] Wortberg, J., Rahal, H.: Innovative Ideen für den Extruderbau, in: Extrusionstechnik 2006 - Der Einschneckenextruder von Morgen, Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, Baden-Baden, 2006
- [2] Fischer, P., Wortberg, J.: Übersicht über die Extruder- und Schneckenentwicklung, in: Der Einschneckenextruder - Grundlagen und Systemoptimierung, Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, Baden-Baden, 1997
- [3] Wortberg, J., Michels, R.: Innovative Entwicklungen in der Einschneckenextrusion, in: Der Einschneckenextruder - Grundlagen und Systemoptimierung, Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, Baden-Baden, 1997
- [4] Michels, R.: Barrierschnecken, in: 6. Fachtagung 'Neuigkeiten in der Extrusion', Süddeutsches Kunststoff-Zentrum SKZ, Würzburg, 2001
- [5] Fischer, P.: Qualitäts- und Leistungssteigerung mit Barrierschnecken, Extrusion 12/2002
- [6] N.N.: REX- Rechnergestützte Extruderauslegung, Software und Handbuch, Institut für Kunststofftechnik (KTP), Universität Paderborn, 1993-2006
- [7] Michels, R.: Verbesserung der Verarbeitungsbandbreite und der Leistungsfähigkeit von Einschneckenextrudern, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2005
- [8] Kaczmarek, D.: Feststoffförderung und alternative Plastifizierung bei der Extrusion, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2004
- [9] van der Sluis, W.: Effekte und Implementierung der Lunac-Schichten in kunststoffverarbeitenden Maschinen, Firmenschrift, WMV B.V., Rijsen / Niederlande, 2005
- [10] N.N.: Firmenschriften zu PVD-Hartstoffbeschichtungen, Metaplas Ionon GmbH, Bergisch-Gladbach, 1999-2005