

Rund um die Plastifizierschnecke

Teil 1 der Serie

Der erste Teil dieser dreiteiligen Artikelserie diskutiert die grundlegende Auslegung einer Plastifiziereinheit und die richtige Wahl des Spritzaggregats. Es wird gezeigt, wie anhand des Schussvolumens der erforderliche Schneckendurchmesser bestimmt werden kann. Mit der Formel für die mittlere Verweilzeit werden die Auslastung und die thermische Materialbelastung abschätzbar (welche für eine hohe Produktqualität niedrig zu halten ist). Nicht zuletzt sind der maximale Spritzdruck und das verfügbare Schneckendrehmoment Schlüsselgrößen für eine erfolgreiche Spritzgießfertigung. – Grundlegende Überlegungen, welche die Basis für die Auswahl einer Schneckenzyliinderkombination sowie den Ausgangspunkt für weitere Optimierungen bilden.

Filipp Pühringer

Die Auslegung einer Spritzgießmaschine stellt eine durchaus komplexe Aufgabenstellung dar. Damit bei der Wahl der Maschine kein Fehlgriff unterläuft, müssen zuvor die unterschiedlichsten Kenngrößen ermittelt und ins Kalkül gezogen werden.

Insbesondere der Plastifiziereinheit ist großer Stellenwert beizumessen, da sie maßgeblich dazu beiträgt, die Herstellung hochqualitativer Produkte zu ermöglichen. Die Anforderungen, welche an diese Aggregate gestellt werden, sind äußerst facettenreich, aber durch sorgfältiges Ausbalancieren der unterschiedlichen Aspekte schon während der Auslegungsphase können Zielkonflikte vermieden werden. Beispielsweise steht die Forderung nach höchstmöglichem Durchsatz den Anforderungen in Bezug auf Materialhomogenität, Schmelzequalität, Förderstabilität und Verschleißbeständigkeit entgegen. Wobei die Verschleißbeständigkeit nicht ausschließlich mit der Art des Werkstoffs zusammenhängt, sondern sich vielmehr als eine Eigenschaft aus dem systemischen Zusammenspiel von Geometrie und korrekter Werkstoffwahl ergibt.

Die hier vorliegende Erörterung fokussiert auf jene Überlegungen, die bei der Grundauslegung von Plastifiziereinheit und Spritzeinheit anzustellen sind. Die Definition der grundsätzlichen Auslegung von Plastifiziereinheit und Spritzeinheit bildet die Voraussetzung dafür, in weiterer Folge die Schneckengeometrie festlegen zu können. Mit der Vorgangsweise bei der Erarbeitung einer Schneckengeometrie wird sich die nächste Ausgabe von *innovations* ausführlicher befassen. (Bei der Entwicklung von Schneckengeometrien sind die Belastungen für Material und Maschine die limitierenden Größen: Druck, Temperatur, Dosiermoment, etc.)

Verschiedene Ausformungen von Plastifizierschnecken.



Wirksame Schneckenlänge: Diejenige Teillänge, die sich von der Vorderkante des Einfülllochs bis zur Schneckenspitze im Arbeitsbereich des Zylinders erstreckt. Sie ist für Förderung und Druckaufbau maßgebend.

Grundauslegung der Plastifiziereinheit

Schussvolumen

Je nach zu verarbeitendem Material liegt der optimale Betriebsbereich einer Plastifiziereinheit bei einem Schneckenhub von etwa 1 bis 3 Schneckendurchmessern (D). Wird bei der Auslastung der Spritzeinheit ein Wert für den Dosierhub gewählt, der über $4D$ zu liegen kommt, kann höchste Prozessstabilität nicht mehr sichergestellt werden. Die möglichen Folgen wären Dosierzeitschwankungen, Lufteinzug und ein beschleunigter Verschleiß der Einheit. Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass sich durch ansteigenden Dosierhub die **wirksame Schneckenlänge** reduziert. Somit verkürzt sich die Kanallänge bis zur Kompressi-

on, wodurch dem Material weniger Zeit zur Verfügung steht, um ausreichend Wärme für die Erweichung aufzunehmen. Das Resultat sind ansteigende Drücke im Kanal, die Material und Maschine belasten. Das Schussvolumen V_{SCH} errechnet sich wie folgt:

$$V_{SCH} = \frac{m_T}{\rho_m} + f_{HK} \cdot V_{HK} + V_{MP}$$

Bei Heißkanalwerkzeugen ist die Komprimierung der Schmelze im Heißkanal zu berücksichtigen – abhängig davon, ob der Heißkanal zyklisch entlastet werden muss (etwa bei offenen Heißkanälen mit leichtfließenden Materialien). Je höher die Schmelzekompressibilität und je höher der Spritzdruck, desto höher der Faktor f_{HK} für den Heißkanal. Typische Werte für f_{HK} liegen zwischen 0,1 bis 0,3. Somit kann sich schon bei verhältnismäßig kleinen Teilengewichten m_T eine Verdoppelung des erforderlichen Hubvolumens ergeben! Für Werkzeuge mit erstarrendem Anguss ergibt sich der Faktor f_{HK} zu Null. Es ist wichtig zu beachten, dass

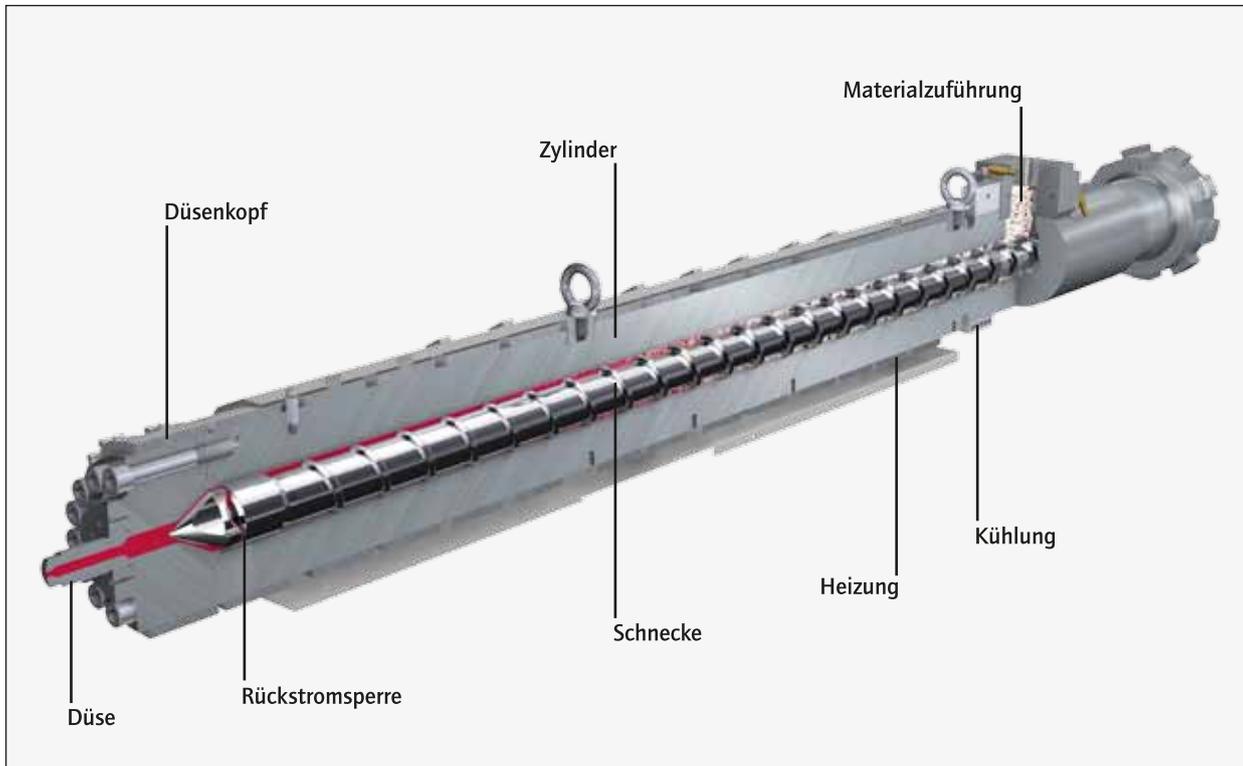
ge von 1 bis 3 Schneckendurchmessern entspricht. Somit ergeben sich für die Schnecke folgende Grenzdurchmesser:

$$D_{min} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{SCH}}{\pi \cdot 3}} \quad \text{und} \quad D_{max} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{SCH}}{\pi \cdot 1}}$$

Bei der letztendlichen Wahl des Schneckendurchmessers werden die Charakteristika aller zu fertigenden Produkte berücksichtigt. Nach entsprechender Abwägung der berechneten Durchmesserbereiche wird schließlich der endgültige Schneckendurchmesser gewählt.

Verweilzeit

Als Verweilzeit wird jene Zeitspanne bezeichnet, die ein Kunststoffpartikel im Zylinderrohr verbringt. Durch die komplexen Strömungsvorgänge im Zylinder ergibt sich allerdings keine exakt definierte Zeitspanne, die für alle Schmelzanteile gleichermaßen gilt, sondern eine ge-



Schematische Darstellung des Plastifiziersystems.

das erstarrende Angussystem dann im Betrag des Teilgewichts m_T enthalten ist, was entsprechend berücksichtigt werden muss.

Das Volumen des Restmassepolsters V_{MP} sollte sich in Abhängigkeit vom Schneckendurchmesser D verändern. Die Faustformel lautet, nach der Nachdruckphase einen Schneckenhub mit einem Wert von 0,1 bis 0,3 D im Zylinder vorzufinden. Somit errechnet sich das Volumen V_{MP} wie folgt:

$$V_{MP} = 0,3 \cdot \frac{D^3}{4} \cdot \pi$$

Aus dem berechneten Schussvolumen lässt sich der Schneckendurchmesser ableiten. Wie schon ausgeführt, lässt sich der Dosierhub als Strecke definieren, die der Län-

wisse Verweilzeitverteilung. Diese ist u. a. abhängig vom Kanalvolumen, von der Gesamtzykluszeit, der Materialschüttgutedichte, der Schmelzedichte und von Prozessparametern wie Staudruck und Drehzahl.

Die Verweilzeitverteilung gibt Aufschluss über die Materialqualität hinsichtlich Durchmischung und ausreichender Plastifizierung. Je breiter die Verweilzeitverteilung, desto höher die Mischwirkung. Die Berechnung der Verweilzeitverteilung ist eine komplexe mathematische Aufgabe.

Für die Abschätzung in der Praxis ist jedoch oftmals eine vereinfachte Formel für die mittlere Verweilzeit t_V ausreichend. Die mittlere Verweilzeit bezeichnet jene Zeitspanne, während welcher sich ein Kunststoffpartikel im Durchschnitt im Zylinderrohr aufhält. Die mitt- >>

- V_{SCH} Schussvolumen
- m_T Teilgewicht
- ρ_m Schmelzedichte
- f_{HK} Faktor Heißkanal
- V_{HK} Heißkanalvolumen
- V_{MP} Volumen Restmassepolster
- D Schneckendurchmesser
- D_{min} kleinster empfohlener Schneckendurchmesser
- D_{max} größter empfohlener Schneckendurchmesser
- t_V mittlere Verweilzeit
- t_{zykl} Gesamtzykluszeit
- V_K Schneckenkanalvolumen
- f_{MAT} Dichtekorrekturfaktor

lere Verweilzeit dient als erster Indikator für thermische Schädigung des Materials.

$$\bar{t}_V = f_{MAT} \cdot \frac{V_K}{V_{SCH}} \cdot t_{zykl}$$

Der Faktor f_{MAT} berücksichtigt die unterschiedlichen Werkstoffdichten. So ist die Feststoffdichte an sich größer als die Schmelzedichte, die wiederum größer ist als die Materialschüttgutdichte, die ein granulatförmiger Ausgangsstoff erzielen kann. Versuche haben gezeigt, dass dieser Faktor typischerweise zwischen 0,8 und 0,9 zu liegen kommt. Somit reduziert sich die errechnete Verweilzeit dadurch, dass das Leervolumen zwischen den Granulatkörnern im Einzug der Schnecke berücksichtigt wird.

Für die gebräuchlichen Kunststofftypen ist von einem optimalen Zeitfenster von 2 bis etwa 8 min Dauer auszugehen. Eine Verweilzeit von zumindest 1 min sollte nicht unterschritten werden. Erwähnt sei, dass es je nach Additivierung und Grundpolymer große Unterschiede bezüglich der Hitzestabilität von Kunststoffen gibt. So können spezielle Materialtypen – beispielsweise für die Linsenfertigung – durchaus Verweilzeiten von über 30 min problemlos überstehen, wohingegen bei Kunststoffen mit medizinischen Wirkstoffen unter Umständen bereits nach 2 min Schädigungsprozesse beginnen.

Während der Entwicklungsphase einer Schneckengeometrie ist selbstverständlich das exakte Kanalvolumen noch nicht bekannt. Hier kann zur ersten Orientierung das Volumen der bestehenden Standard-3-Zonenschnecke herangezogen werden. Bei Schnecken mit gleichem Funktionsprinzip weichen die Volumina zumeist nur geringfügig voneinander ab.

Grundsätzlich kann die Berechnung der Verweilzeit einen ersten Richtwert für die Gesamtschneckenlänge bei steuern. Bei extrem kurzen Verweilzeiten werden Schnecken verlängert, bei extrem langen Verweilzeiten werden Schnecken verkürzt ausgeführt.

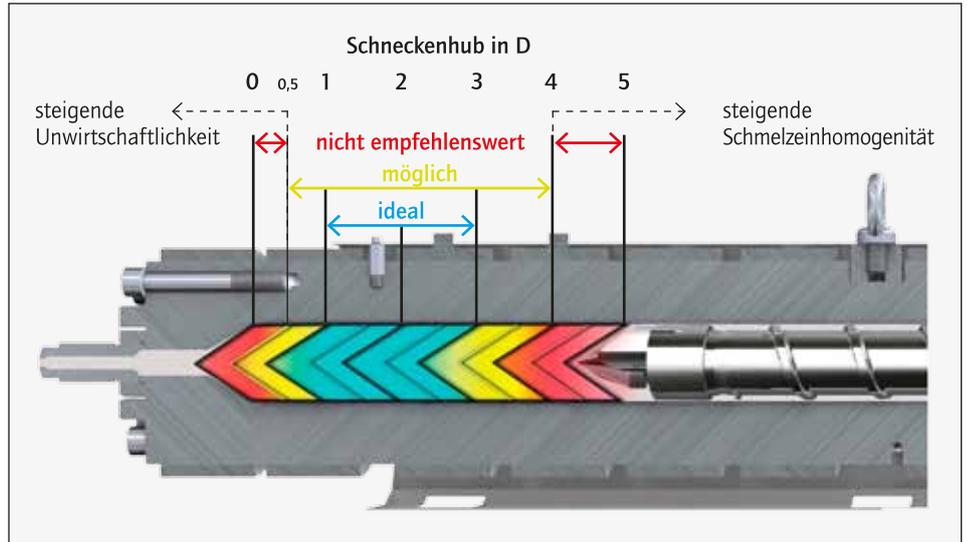
Maximales Schneckendrehmoment

Jede Spritzeinheit verfügt über ein maximales Schneckenantriebsmoment. Dieses ist durch die verbauten Antriebe definiert. An WITTMANN BATTENFELD Maschinen sind unterschiedliche Ausstattungsvarianten verfügbar, die eine Erhöhung des Antriebsmoments ermöglichen.

In diesem Zusammenhang muss auch die mechanische Festigkeit der angetriebenen Schnecke berücksichtigt werden. Dabei ist der dünnste Querschnitt der limitierende Faktor.

Daher wird das Antriebsdrehmoment entsprechend an die jeweilige Schnecke angepasst, um einen Schneckenbruch zu vermeiden.

Für die Ermittlung des Drehmoments sind die zuvor definierten Größen wie Hubauslastung und Verweilzeit, aber auch die Viskosität des zu verarbeitenden Materials maßgebend. Neben der Nutzung präziser Berechnungstools kann WITTMANN BATTENFELD auf einen umfassenden Erfahrungsschatz aus unzähligen realisierten Anlagen zurückgreifen, um die für den jeweiligen Fall korrekte Wahl zu treffen.



Schematische Darstellung: empfohlene Hubauslastung.

Maximaler Spritzdruck

Auf jeden Fall abzuklären ist der maximal verfügbare Spritzdruck. Je Spritzeinheitgröße stehen unterschiedlich dimensionierte Schneckenzyylinder zur Verfügung. Speziell bei größeren Schneckenzyindern gilt es, den maximalen Einspritzdruck zu beachten. Aufgrund der dann größeren Querschnittsfläche der Schnecke ist – bei dennoch gleicher Einspritzkraft – ein niedrigerer, spezifischer Einspritzdruck verfügbar!

Genauso gilt es zu beachten, dass – je kleiner der Schneckendurchmesser wird – das Übersetzungsverhältnis von spezifischem Einspritzdruck zu Einspritzkraft immer weiter anwächst, was die Regelgenauigkeit beeinflusst. Dies stellt letztlich den Grund dar, warum nicht beliebig kleine Schneckenzyylinder in beliebig große Aggregate verbaut werden können.

Die erforderlichen Spritzdrücke werden in der Praxis aus Erfahrungswerten abgeleitet oder durch Berechnung ermittelt (beispielsweise durch Füllsimulationen). Eine ausreichende Reserve sollte im Sinne der maschinenbaulichen Auslegung dennoch berücksichtigt werden.

Entscheidungsgrundlage

Schussvolumen, Verweilzeit, maximales Schneckendrehmoment und maximaler Spritzdruck: Die Abklärung dieser zentralen Parameter sollte es bereits ermöglichen, die Schneckengröße festzulegen und die passende Spritzeinheit zu wählen – bzw. den Spielraum für beide Entscheidungen stark einzugrenzen. ♦

Filipp Pühringer leitet die Abteilung Verfahrenstechnische Entwicklung bei WITTMANN BATTENFELD in Kottlingbrunn, Niederösterreich.