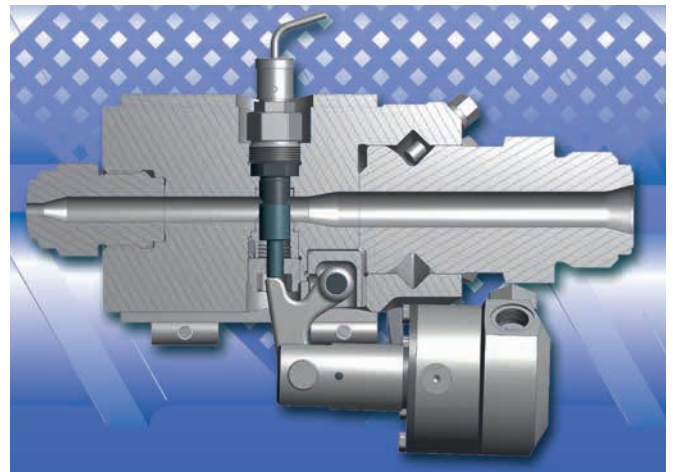
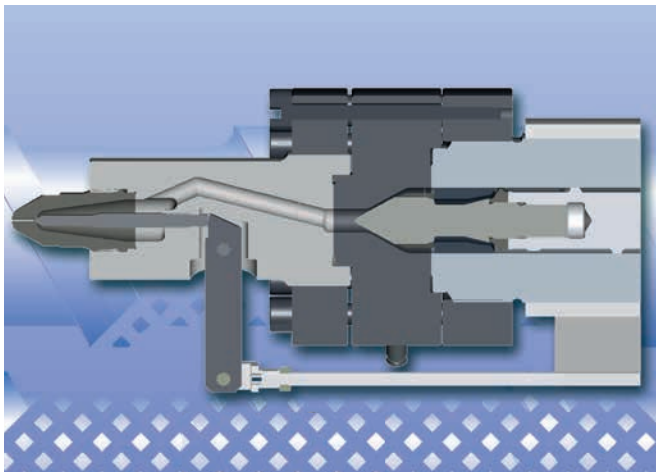


Spritzgießen von Qualitätsformteilen

Fertigungseinrichtungen / Maschinenausrüstung



Inhalt	Seite
1 Maschinenausrüstung	2
2 Screws	2
3 Düsen	7
4 Zuhaltkraft/Schließkraft	8
5 Temperiergeräte	9

1 Maschinenausrüstung

Für die Auswahl der Maschinengröße und -ausrüstung müssen bekannt sein:

- Material und Typ,
- Schussgewicht oder -volumen,
- Werkzeugaufspannmaße,
- benötigte Zuhaltkraft und
- besondere Bedingungen zum Erreichen der geforderten Qualität.

Da diese Broschüre nicht den Anspruch erhebt, ein Lehrbuch für angehende Spritzgießer zu sein, werden im Folgenden nur die Einzelpunkte behandelt, die uns für das Erreichen eines zufriedenstellenden Ergebnisses besonders wichtig

erschieden. Eines der Themen in dieser Hinsicht ist die Wahl der richtigen Schneckengröße und -geometrie.

2 Schnecken

Die heute gebräuchlichste Geometrie für eine Standardschnecke ist in den folgenden Bildern (Bild 1 bis 2) dargestellt. Sie ist charakterisiert durch eine relativ lange Einzugszone (50 bis 60 %) und eine nicht zu kurze Kompressionszone (25 bis 20 %).

Dabei hat sich herausgestellt, dass es bei größerem Schneckendurchmesser (> 80 mm) bei teilkristallinen Werkstoffen günstiger ist, eine flacher geschnittene Schnecke zu verwenden (Bild 2). Der Grund ist der höhere Energiebedarf bei der Plastifizierung (Schererwärmung).

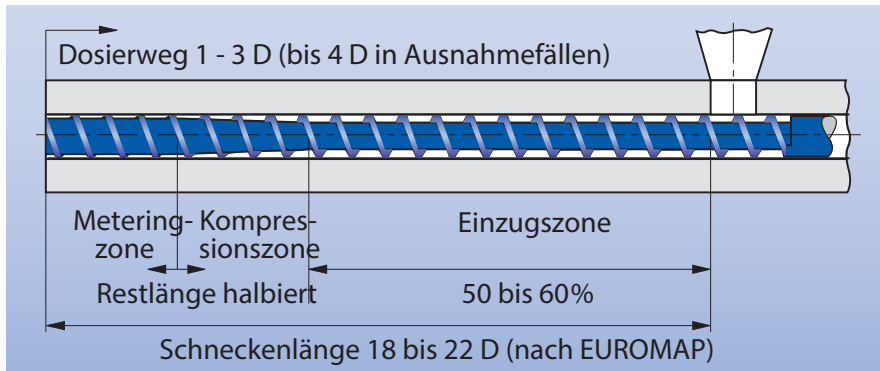


Bild 1: Standardschneckengeometrie

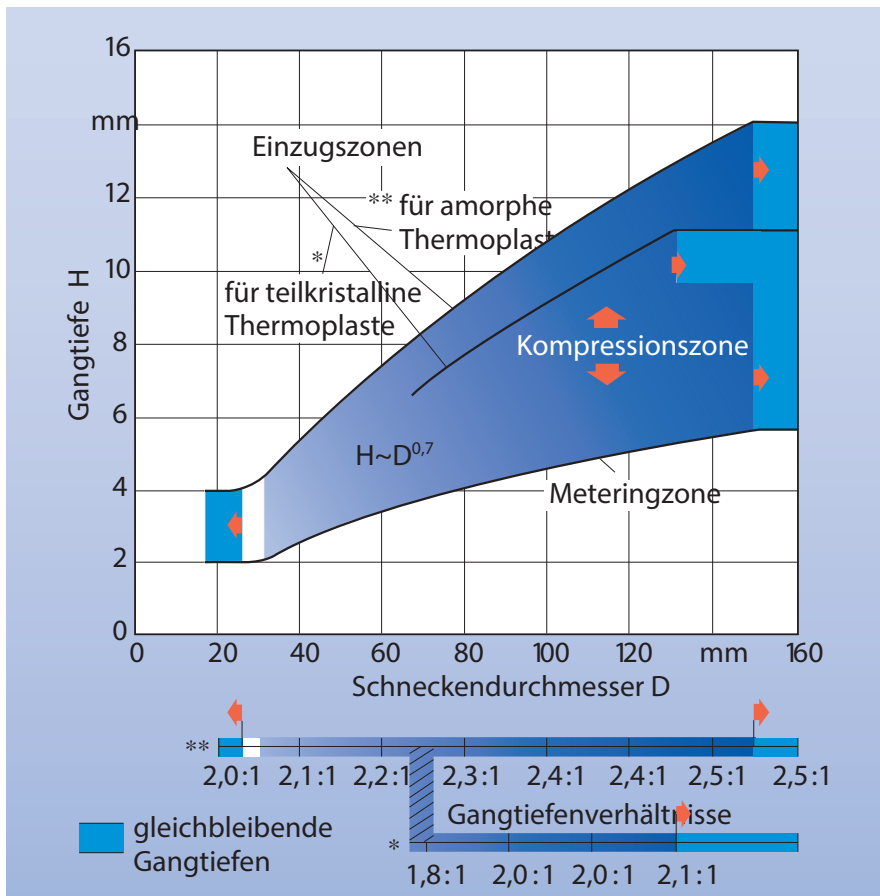


Bild 2: Zusammenhang zwischen Schneckendurchmesser und Gangtiefenverhältnis

Eine Universalschnecke setzt Kompromissbereitschaft voraus. Sind Detailzugeständnisse nicht erwünscht (z. B. Einzweckmaschine), so wird auf Tabelle 1 „Gangtiefen und Gangtiefenverhältnis“ verwiesen.

3 Schneckenlänge und Gangsteigung

Im Hinblick auf den in Menge und Qualität stets steigenden Plastifizierstrombedarf wird zum homogenen Aufschmelzen eine ausreichende Schneckenlänge benötigt (ca. 20 D). Es hat sich aber auch gezeigt, dass die Länge der

Spritzgießschnecke nicht beliebig groß sein kann. Bei Schnecken mit einem L/D-Verhältnis über 25 kann Materialschädigung durch große Verweilzeiten entstehen.

Bei der Verarbeitung unserer Thermoplaste Apec®, Bayblend®, Desmopan®, Makrolon® und Makroblend® haben sich Dreizonenschnecken mit einem L/D-Verhältnis von 20 : 1 bis 23 : 1, einem Gangtiefenverhältnis von 2 : 1 bis 2,5 : 1 und einer Steigung von 1 D bewährt. Bei einem kleineren L/D-Verhältnis wird empfohlen, durch Verringerung der Gangsteigung 20 Windungen („Gänge“) zu gewährleisten.

Schnecken- durch- messer mm	Gangtiefen mm			Gangtiefenverhältnisse	
	Meteringzone amorphe und teilkristalline Thermoplaste	Einzugszonen		amorphe	teilkristalline
		amorphe	teilkristalline		
25	2.0	4.0	4.0	2.0:1	2.0:1
30	2.1	4.3	4.3	2.0:1	2.0:1
35	2.3	4.8	4.8	2.1:1	2.1:1
40	2.6	5.4	5.4	2.1:1	2.1:1
50	3.0	6.5	6.5	2.2:1	2.2:1
60	3.4	7.4	7.4	2.2:1	2.2:1
70	3.7	8.4	6.8	2.3:1	1.8:1
80	4.0	9.1	7.6	2.3:1	1.9:1
90	4.2	10.0	8.4	2.4:1	2.0:1
100	4.6	10.8	9.1	2.4:1	2.0:1
110	4.8	11.5	9.8	2.4:1	2.0:1
120	5.0	12.0	10.4	2.4:1	2.1:1
130	5.2	12.8	11.0	2.5:1	2.1:1
140	5.4	13.4	11.0	2.5:1	2.0:1
150	5.6	14.0	11.0	2.5:1	2.0:1

Tabelle 1: Gangtiefen und Gangtiefenverhältnisse an Spritzgießmaschinen-Schnecken für die Verarbeitung von amorphen und teilkristallinen Covestro Thermoplasten

Wo (z. B. beim Selbsteinfärben oder bei der Regranulatverarbeitung) die Mischwirkung der Standardschnecke nicht ausreicht, haben sich verschiedene Sonderschneckenkonstruktionen bewährt, die u. a. mit zusätzlichen Scher- und Mischelementen in der Meteringzone ausgestattet sind (Bild 3). Diese zeigen eine deutlich verbesserte mechanische und thermische Homogenisierung der Schmelze, ohne dass Nachteile z. B. hinsichtlich der Plastifizierleistung in Kauf genommen werden müssen. Die bessere thermische Homogenisierung verringert gleichzeitig die Ausbildung von örtlichen Schwindungsunterschieden am Formteil, was vor allem für Präzisionsteile aus teilkristallinen Werkstoffen wichtig ist, aber auch generell die Verzugsneigung reduziert. Die Optimierung solcher Schnecken ist noch nicht abgeschlossen. Das Ziel ist auch hier eine möglichst universell einsetzbare Standardschnecke.

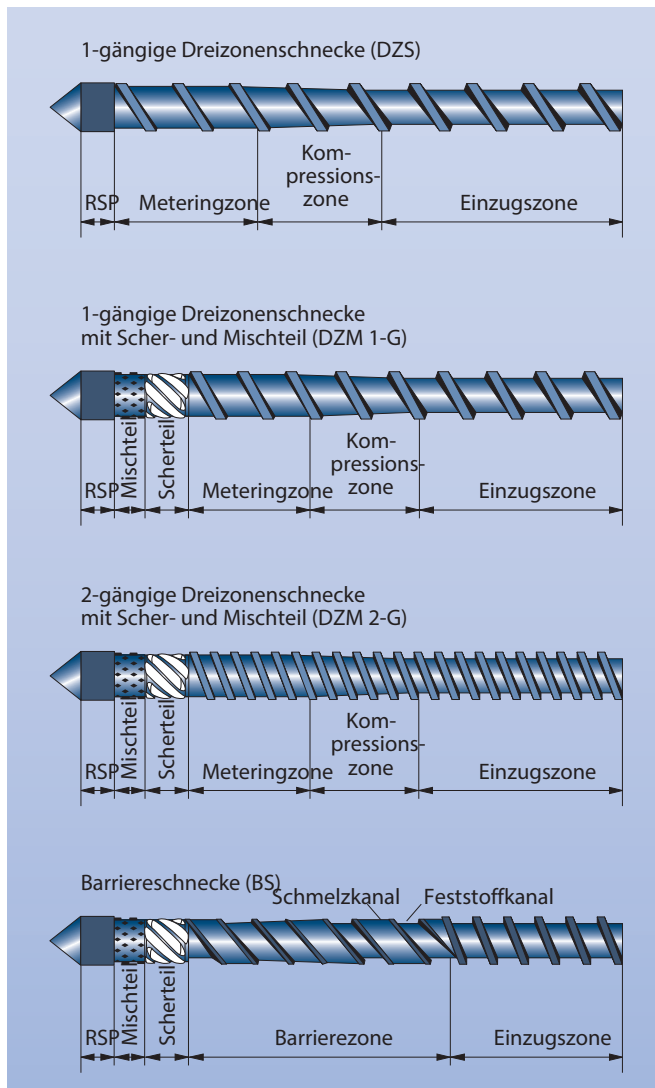


Bild 3: Beispiele von Sonderschnecken mit Scher- und Mischelementen in der Meteringzone

Für Standard- und Sonderschnecken richtet sich die Auswahl des Schneckendurchmessers nach dem für die Werkzeugfüllung benötigten Schussgewicht bzw. Schussvolumen. Dabei müssen sowohl der Dosierweg als auch die Verweilzeit berücksichtigt werden.

Nach umfangreichen Erfahrungen liegt der nutzbare Dosierweg zwischen 1 D und 3 D (D = Schnecken- oder Zylinderdurchmesser). In Ausnahmefällen kann er bis zu 4 D betragen. Abweichungen von diesem Bereich können zu Fehlern am Formteil führen.

In den 80er Jahren zeichnete sich von Seiten der Maschinenindustrie die Tendenz ab, das Schussvolumen kostengünstig durch Vergrößerung des Dosierweges zu erhöhen (> 4 D). Die Folge war das vermehrte Auftreten von großflächigen Luftsclieren. Vereinzelt wurden auch Luftblasen (Bild 5) beobachtet, die nicht immer auf der Oberfläche als Beule sichtbar waren. Die große Blase in Bild 5 entstand allerdings unter extrem ungünstigen Bedingungen.

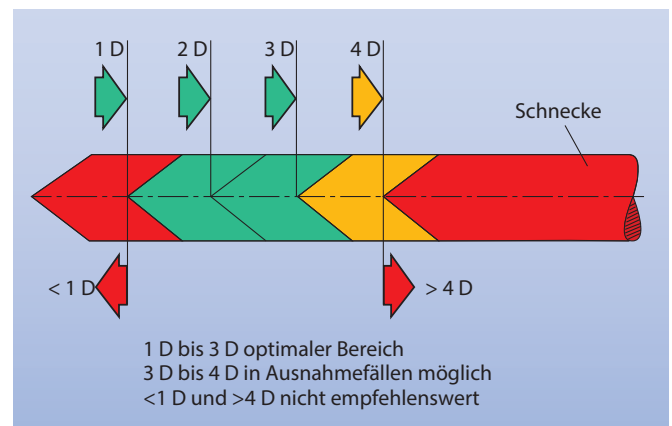


Bild 4: Nutzbare und mögliche Dosierwege beim Spritzgießen

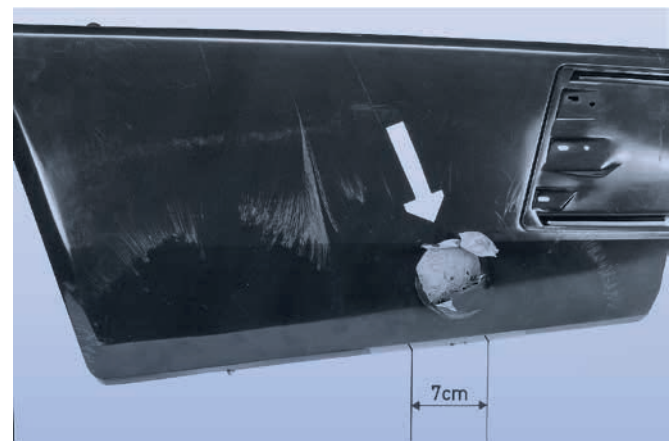


Bild 5: Luftsclieren und -blase bei großem Spritzgussteil infolge eines zu großen Dosierweges

Die Schemaskizze zeigt die Ursache. Durch die weit zurücklaufende Schnecke entsteht im Zylinder ein Bereich mit eingeschlossener Luft. Diese erzeugt am Formteil, ein Stück entfernt vom Anschnitt, die oben gezeigten Oberflächenfehler.

Umgekehrt besteht bei einem zu kleinen Dosierweg (im Allgemeinen $< 1 D$) die Gefahr der Materialschädigung oder des Farbumschlags durch zu lange Verweilzeit.

Die **Verweilzeit** lässt sich mithilfe eines Indikators (z. B. Farbkonzentrat) empirisch feststellen. Für bekannte Plastifiziereinheiten kann man sie berechnen oder mithilfe von Nomogrammen ermitteln. In der Praxis muss die jeweilige thermische Empfindlichkeit des zu verarbeitenden Werkstoffs berücksichtigt werden. Es gelten für eine mittlere zulässige Verweilzeit die folgenden Bereiche:

- 4 bis 6 min für (PC+ABS)- und (PC+PBT; PC+PET)-Blends sowie FR-Typen
- 4 bis 8 min für PC, PC-HT

Diese Bereiche beginnen bei 4 Minuten, weil Erfahrungen gezeigt haben, dass es (vor allem bei teilkristallinen Materialien) bei Betriebsbedingungen, die zu Verweilzeiten unter 4 Minuten

führen, mangelhafte Schmelzaufbereitung geben kann. Je breiter der Verweilzeitbereich eines Materials ist, umso größer ist sein Verarbeitungsfenster.

Unter Berücksichtigung des optimalen Dosierwegbereiches lassen sich mit Hilfe des Nomogramms (Bild 7) dem jeweiligen Schussgewicht geeignete Plastifiziereinheiten und damit Maschinengrößen zuordnen. Eine umgekehrte Zuordnung ist natürlich ebenso möglich.

Bei dem im Nomogramm eingetragenen **Beispiel A** wird der mögliche Schussgewichtsbereich für einen vorhandenen Schneckendurchmesser von 25 mm gesucht. Er liegt bei Schmelzen mit niedriger Dichte bei 12 bis 35 g und bei hoher Dichte (z. B. hoch gefüllten Einstellungen) bei 20 bis 66 g (entsprechend dem Schussgewicht, das sich bei gleichem Schussvolumen dichteabhängig ändert).

Beim **Beispiel B** soll der günstige Schneckendurchmesserbereich für ein Schussgewicht von 2500 g ermittelt werden. Für den optimalen Dosierwegbereich liegt dieser zwischen 100 und 150 mm. Er verschiebt sich mit zunehmender Schmelzedichte zu entsprechend kleineren Abmessungen.

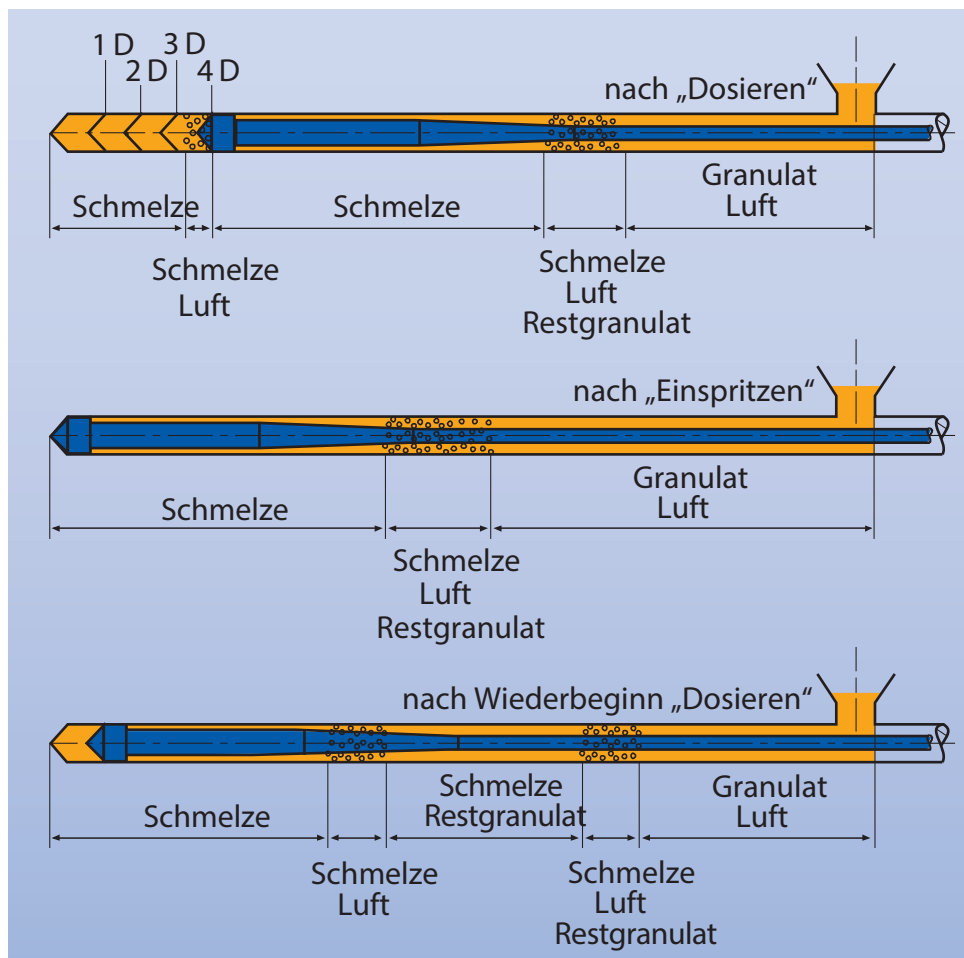


Bild 6: Zonen mit eingeschlossener Luft bei einem Dosierweg $> 4 D$

4 Düsen

Die Verarbeitung erfolgt im Allgemeinen mit offenen Düsen. Bei leicht fließenden Materialien finden auch Verschlussdüsen Anwendung. Hier besteht jedoch die Gefahr der Materialzersetzung durch Scherung oder Verweilen in toten Ecken. Außerdem ist bei ungünstiger Gestaltung mit langen Farbwechselzeiten zu rechnen.

Bei technischen Thermoplasten werden in der Regel Nadelverschluss- und Bolzenverschlussdüsen eingesetzt. Bei federbelasteten Systemen wird zum Öffnen und Offenhalten Druck verbraucht, der als Spritz- und Fülldruck verloren geht,

und es kommt zu einer kurzzeitigen hohen Scherbelastung der Schmelze. Pneumatisch oder hydraulisch öffnende Systeme haben diese Nachteile nicht.

Bei Nadelverschlussdüsen (Bild 8) besteht die Gefahr des Festsetzens der Nadel durch eindringende Schmelze. Die Bolzenverschlussdüsen (Bild 9) erzeugen keine größeren Druckverluste, wenn die Kanäle ausreichend dimensioniert und strömungsgünstig ausgelegt sind. Bei den Bolzenverschlussdüsen ist besonders auf eine Fluchtung der Kanäle (im geöffneten Zustand) zu achten.

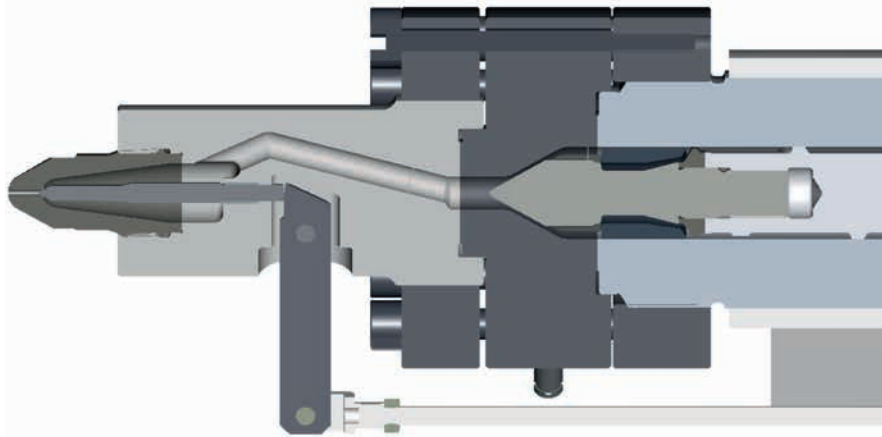


Bild 8: Nadelverschlussdüsen; Bauart KraussMaffei Technologies GmbH, München

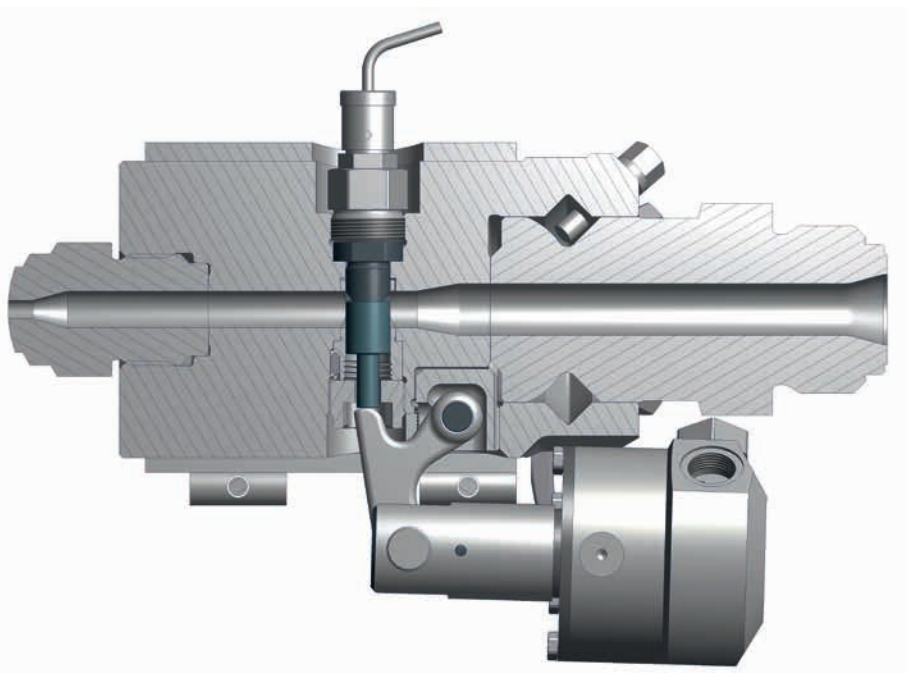


Bild 9: Bolzenverschluss-Düse; wird mittels pneumatischer oder hydraulischer Ansteuerung betätigt; System Herzog Systems AG, Flawil, Schweiz

Alle Düsen sollten separat beheizt und geregelt werden.

Um eine gute Abdichtung zwischen Düse und Angussbuchse zu erreichen, sollte der Düsenradius um 0,5 bis 1 mm kleiner sein als der Radius der Anlagefläche an der Angussbuchse.

Auch die Düsenbohrung ist der Angussbuchse anzupassen und 0,5 bis 1 mm kleiner auszuführen als der Durchmesser der Angussbohrung (siehe Bild 10).

Außerdem ist auf eine ausreichende Fluchtung der Bohrungen von Angussbuchse und Düse zu achten.

Zuhaltekraft / Schließkraft

Eine ausreichende Zuhaltekraft ist ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium für die zu wählende Maschine. Durch das Aufgehen des Werkzeugs entstehende Gratbildung muss von vornherein vermieden werden. Vor allem bei größeren, oberflächengehärteten Werkzeugen prägt sich der Spritzgrat in die Trennebene ein. Durch Deformation der Trennkanten kann die anschließende Gratbildung dann nur durch Nacharbeiten der Trennebenen wieder beseitigt werden. Das wiederum ist bei Formteilen, die hinsichtlich des Werkzeugfüllvorgangs auf die geringstmögliche Wanddicke ausgelegt wurden, sehr schwierig und aufwendig. Stattdessen wird häufig jedes Teil nachträglich entgratet.

Die benötigte Mindestzuhaltekraft wird bestimmt durch Multiplikation der in die Trennebene projizierten Formteillfläche mit dem mittleren Fülldruck im Werkzeug.

Empfehlungen (für Stangenanguss):

- Düsenradius um 0,5 bis 1 mm kleiner als Angussbuchsenradius
- Bohrung an der Düsen Spitze um 0,5 bis 1 mm kleiner als anliegende kleinste Bohrung der Angussbuchse (Vermeidung von Nietkopfbildung)

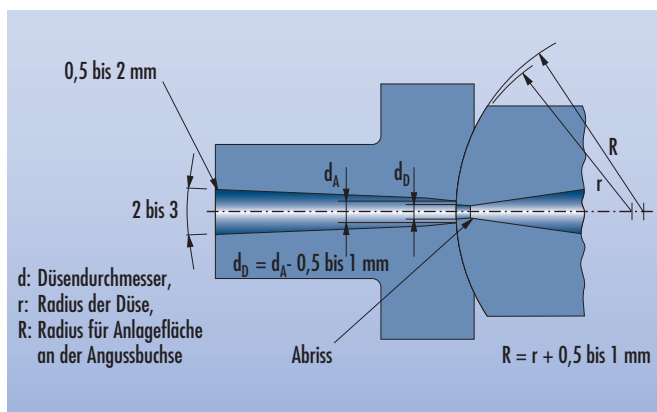


Bild 10: Düsenanlage an der Angussbuchse

a) Abschätzmethode

Die tatsächlich benötigte Zuhaltekraft kann größer sein als die mit Hilfe der o. a. Formel ermittelte Mindestzuhaltekraft.

Weitere Faktoren wie

- die Steifigkeit von Maschine und Werkzeug,
- die zulässige Atmung des Werkzeugs,
- die Verarbeitungsparameter
- die Formmasse und
- die Formteilgestaltung

müssen mitberücksichtigt werden. Die folgenden Erfahrungswerte zur Abschätzung der Zuhaltekraft (Tabelle 2) können deshalb nur als Richtwerte gelten.

$$\text{Zuhaltekraft} \geq \text{Werkzeugaufreibkraft [kN]} = \frac{\text{projizierte Fläche [cm}^2\text{]} \times \text{mittlerer Werkzeuginnendruck [bar]}}{100}$$

projizierte Fläche = Summe aller auf die Ebene der Aufspannplatten projizierten druckbeaufschlagten Formteillflächen (siehe Beispiel, Bild 11)

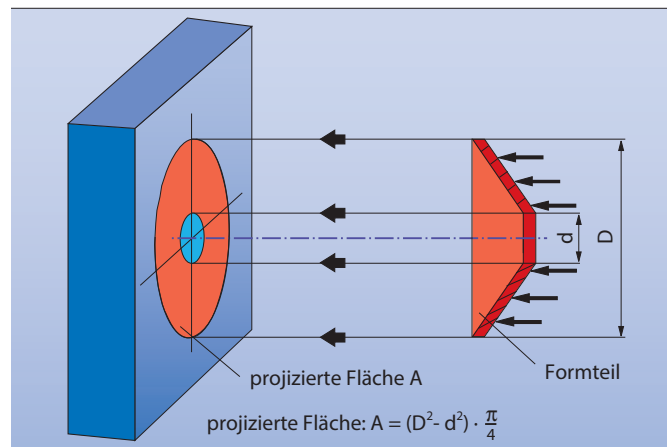


Bild 11: Kegelstumpfförmige Scheibe als Beispiel für die in die Trennebene projizierte, Werkzeugauftrieb erzeugende Fläche

Apec®	PC-HT	300 bis 500 bar
Bayblend®	(PC+ABS)	250 bis 400 bar
Desmopan®	TPU	300 bis 700 bar*
Makrolon®	PC	300 bis 500 bar
Makroblend®	PC/PBT, PC/PET	250 bis 400 bar

* Bei sehr leicht fließenden Materialtypen können zur Vermeidung von Schwimmhäuten die höheren Drücke notwendig sein.

Tabelle 2: Mittlere Werkzeuginnendrucke (Auftriebdrücke) zur rechnerischen Ermittlung der Zuhaltekraft

b) Aus rheologischen Berechnungen

Bei rheologischen Berechnungen des Werkzeugfüllvorgangs ergibt sich der Druckverlauf über dem Füllweg in Abhängigkeit vom Werkstoff, von den Verarbeitungsparametern und von der Formteilgeometrie. In Verbindung mit den projizierten Abmessungen des Formteils lässt sich damit die benötigte Zuhaltekraft genauer berechnen.

Allerdings berechnen einige Programme den Fülldruckbedarf so, dass am Fließwegende der Fülldruck gerade 0 bar ist. In der Praxis muss man dann sowohl für die Einstellung des Umschaltpunktes beim Spritzgießen (Druckmesspunkt in Anschnittnähe) als auch für die Berechnung der Zuhaltekraft einen höheren Druck wählen. Die Druckerhöhung richtet sich nach dem Restdruck, den man am Fließwegende haben muss (siehe Grafik, Bild 12).

Bei langen Fließwegen benötigt man u. U. einen hohen Anfangsnachdruckimpuls (gestufter Nachdruck). Dieser verteilt sich verzögert und mit Verlusten über das gesamte Formteil und muss bei der Festlegung der Zuhaltekraft berücksichtigt werden.

Moderne Rechnerprogramme für die Simulation des Werkzeugfüllvorgangs (3-DFEM) berücksichtigen auch den Nachdruckverlauf und ermitteln u. a. die Gesamtauftriebkraft als Basis für die zu wählende Mindestzuhaltekraft.

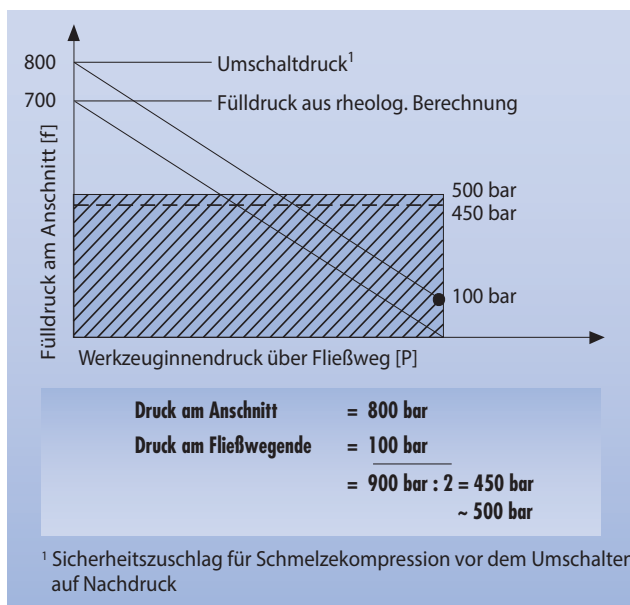


Bild 12: Ermittlung des mittleren Werkzeuginnendrucks (Auftriebdrucks) für Wanddicken bis ca. 3 mm

5 Temperiergeräte

Die Werkzeugwandtemperatur hat wesentlichen Einfluss auf den Füllvorgang und die Eigenschaften des Formteils. Deshalb hat die richtige Werkzeugtemperierung einen hohen Stellenwert im Rahmen der Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Neben einer geeigneten Temperierkanalanlage im Werkzeug ist die Auswahl des richtigen Temperiergerätes wichtig.

Eine wesentliche Voraussetzung für ein zügiges Erreichen und sicheres Beherrschen der Werkzeugtemperatur ist eine **ausreichende Heiz- und Kühlleistung** der eingesetzten Temperiergeräte. Das Diagramm (Bild 13) enthält Anhaltswerte für eine von der Werkzeuggröße und -temperatur abhängige Heizleistung.

Eine weitere Forderung ist eine ausreichende Förderleistung der Gerätepumpen (Mengendurchsatz des Temperiermittels 10 bis 15 l/min). Dabei ist zu beachten, dass sich abhängig von der Temperierkanallänge, dem Temperierkanalquerschnitt und der Anzahl der Umlenkungen sehr schnell ein Fließwiderstand aufbauen kann, für den die Pumpe eventuell nicht mehr den erforderlichen Druck liefert (Bild 14).

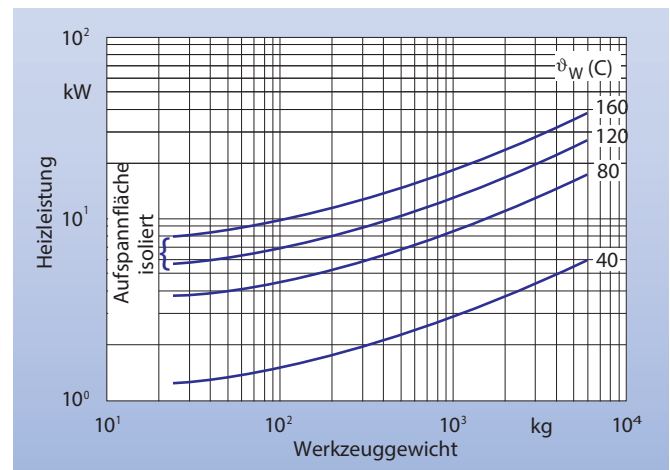


Bild 13: Anhaltswerte für die erforderliche Heizleistung f (Werkzeuggewicht und q_W)

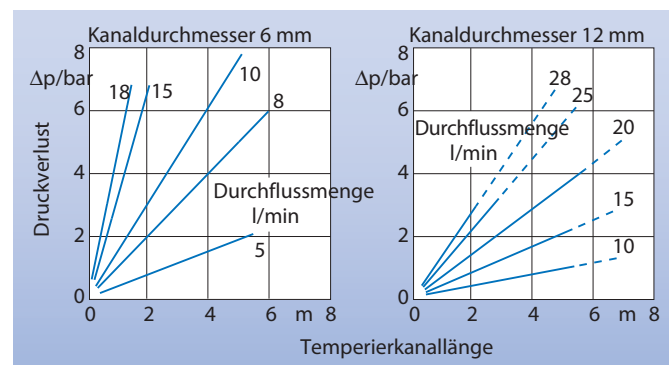


Bild 14: Druckverlust in Abhängigkeit von der Temperierkanalgeometrie und der Durchflussmenge

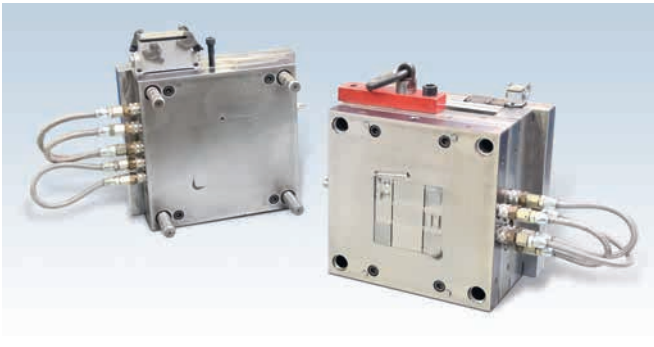


Bild 15: Werkzeug mit über externe Schlauchstücke verbundenen Temperierkreisläufen

Eine Hilfslösung kann der Einsatz mehrerer Temperiergeräte, z. B. als getrennte Temperierung für die beiden Werkzeughälften, sein. Gegebenenfalls ist eine weitere **Aufteilung der Temperierkanäle** in Abschnitte notwendig. Das lässt sich auch nachträglich noch einfach realisieren, wenn, wie bei Großwerkzeugen häufig zu beobachten, Temperierkreisläufe durch außen liegende Schlauch- oder Rohrverbindungen hintereinander geschaltet sind (Bild 15).

Gelegentlich sind auch gezielt konstruierte, **getrennte Kreisläufe** erforderlich, um durch eine (auf den örtlichen Wärmemengenanfall im Werkzeug) abgestimmte Temperierung Verzugserscheinungen entgegenzuwirken.

Ein Hinweis auf eine zu geringe Durchflussmenge ist eine zu **große Temperaturdifferenz** zwischen Vor- und Rücklauf des Temperiermediums. Sie sollte bei normalen Qualitätsanforderungen $\leq 4 \text{ K}$ und bei Präzisionsteilen $\leq 1 \text{ K}$ sein.

Ein **weiteres Auswahlkriterium** für ein brauchbares Temperiergerät ist eine ausreichend genaue **Temperaturregelung**. Die Temperatur im Vorlauf sollte möglichst konstant und die Regelschwankungen sollten möglichst klein sein. Zu große Regelschwankungen lassen sich im Allgemeinen durch Änderung der Reglercharakteristik, richtige Platzierung des Temperaturfühlers und eine ausreichende Temperiermittelreserve im System vermeiden.

Durch den Wärmeeintrag über die heiße Schmelze stellt sich an der Werkzeugoberfläche in der Regel eine mittlere Gleichgewichtstemperatur ein, die bis zu 30 K über der Temperatur des Temperiermediums liegen kann (Bild 16). Diese Isttemperatur kann mit einem Temperaturfühler im Werkzeug erfasst und durch entsprechende **Korrektur der Vorlauftemperatur** auf Solltemperatur abgesenkt werden.

Die sägezahnartigen Schwankungen der Werkzeugwandtemperatur laufen im Rhythmus der Zykluszeit. Sie entstehen durch das kurzzeitige Aufheizen beim Kontakt der heißen Schmelze mit der Werkzeugwand. Die Höhe des Temperaturanstiegs wird bestimmt durch die Temperaturdifferenz zwischen Schmelze und Werkzeug und durch die Wärmeableitgeschwindigkeit aus der Werkzeugkavität.

Bei gleich bleibender Zykluszeit, Schmelzetemperatur und Vorlauftemperatur des Mediums ist eine Veränderung des Kurvenverlaufs der Werkzeugwandtemperatur ein Hinweis auf einen geänderten Mengendurchsatz des Temperiermediums (Pumpencharakteristik eines anderen Temperiergeräts oder Verkalkung der Temperierkanäle bei Temperierung mit Wasser).

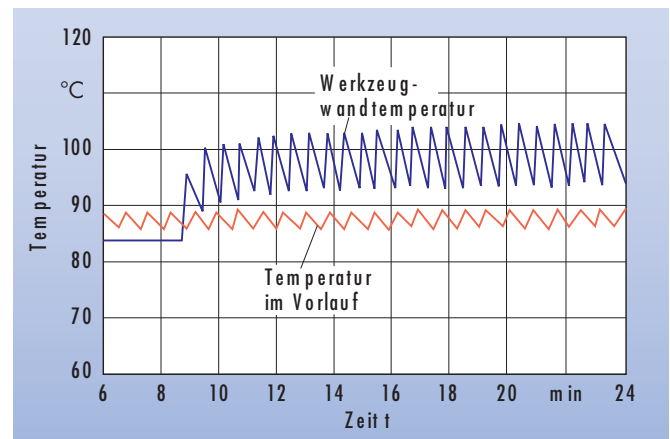


Bild 16: Zeitlicher Verlauf der Werkzeug- und Vorlauftemperatur

Typische Werte

Die angegebenen Werte sind typische Werte. Sofern nicht ausdrücklich schriftlich mit uns vereinbart, stellen sie keine garantierten Werte oder Produktspezifikation im Sinne einer vereinbarten Beschaffenheit dar. Die angegebenen Werte können durch Werkzeuggestaltung, die Verarbeitungsbedingungen oder durch die Einfärbung des Produkts beeinflusst werden. Die angegebenen Eigenschaftswerte wurden, soweit nicht anders angegeben, an genormten Prüfkörpern bei Raumtemperatur ermittelt.

Es liegt außerhalb unserer Kontroll- und Einflussmöglichkeiten, in welcher Art und Weise und zu welchem Zweck Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen sowie Informationen (unabhängig ob mündlich, schriftlich oder anhand von Produktionsbewertungen erhalten), einschließlich vorgeschlagener Formulierungen und Empfehlungen, anwenden und/oder einsetzen. Daher ist es unerlässlich, dass Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen und Informationen sowie Formulierungen und Empfehlungen eigenverantwortlich daraufhin überprüfen, ob sie für die von Ihnen beabsichtigten Zwecke und Anwendungen auch tatsächlich geeignet sind. Eine anwendungsspezifische Untersuchung muss mindestens eine Überprüfung auf Eignung in technischer Hinsicht sowie hinsichtlich Gesundheit, Sicherheit und Umwelt umfassen. Derartige Untersuchungen wurden nicht notwendigerweise von Covestro durchgeführt.

Der Verkauf aller Produkte erfolgt – sofern nicht schriftlich anders mit uns vereinbart – ausschließlich nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen, die wir Ihnen auf Wunsch gerne zusenden. Alle Informationen und sämtliche technische Unterstützung erfolgen ohne Gewähr (jederzeitige Änderungen vorbehalten). Es wird ausdrücklich vereinbart, dass Sie jegliche Haftung (Verschuldenshaftung, Vertragshaftung und anderweitig) für Folgen aus der Anwendung unserer Produkte, unserer technischen Unterstützung und unserer Informationen selbst übernehmen und uns von aller diesbezüglichen Haftung freistellen. Hierin nicht enthaltene Aussagen oder Empfehlungen sind nicht autorisiert und verpflichten uns nicht. Keine hierin gemachte Aussage darf als Empfehlung verstanden werden, bei der Nutzung eines Produkts etwaige Patentansprüche in Bezug auf Werkstoffe oder deren Verwendung zu verletzen. Es wird keine konkludente oder tatsächliche Lizenz aufgrund irgendwelcher Patentansprüche gewährt.

Zum Schutz von Gesundheit, Sicherheit und Umwelt beachten Sie bitte vor Verarbeitung unserer Produkte das betreffende Sicherheitsdatenblatt (MSDS) und sonstige Produktkennzeichnungen.



Covestro Deutschland AG
Business Unit Polycarbonates
D-51365 Leverkusen

plastics@covestro.com
www.plastics.covestro.com