

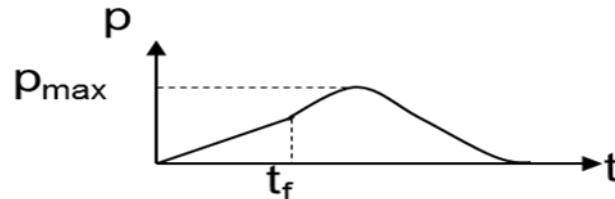
Einstieg in die Spritzgießtechnik

Parameterberechnung



- die Zuhaltkraft der Schließeinheit (> Auftriebskraft)

$$F_s = A_{\text{proj}} \times p^* / 100$$



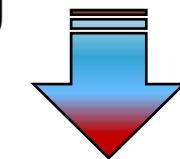
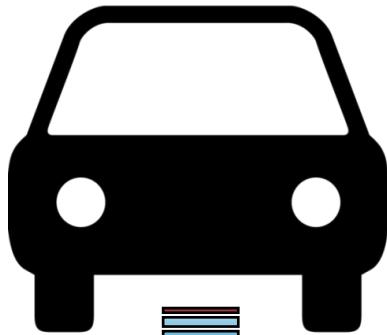
F_s = max. **Zuhaltkraft** der Schließeinheit (Schließkraft) in **kN**

A_{proj} = **projizierte Formteilfläche** der oder des Formteils und des Angussystems in **cm²**

p^* = mittlerer bzw. maximaler **Werkzeuginnendruck** in **bar** (spezifisch)

p^* : materialspezifische Fließfähigkeits-, Wanddicken und Fließweglänge beachten

Welche Kraft wirkt beim Spritzgießen auf der Fläche einer 1-Cent Münze, wenn ein mittlerer Spritzdruck von 500 bar vorliegt? Ø Münze = 16 mm (z.B. Werkzeugkern)



$$F = p * A$$

$$\begin{aligned}F_Z &= p_{Wi} * A_{proj} \\F_Z &= 500 \text{ bar} * 2 \text{ cm}^2 \\&= 5.000 \text{ N/cm}^2 * 2 \text{ cm}^2 \\&= 10.000 \text{ N} \\&= 10 \text{ kN} \\&= 1 \text{ t}\end{aligned}$$

Gewichtskraft von 1 Tonne
(1 t entspricht ca. der Gewichtskraft eines Kleinwagens)

Einheiten:

$$1 \text{ bar} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$10^5 \text{ Pa} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ bar}$$

$$10^5 = 100.000$$

Formel zur Berechnung des Dosievolumens

$$\text{Dosievolumen } [cm^3] = \text{Massepolstervolumen } [cm^3] + \text{Einspritzvolumen } [cm^3]$$

Berechnung des Einspritzvolumens mit Hilfe der Dichte bei Raumtemperatur

$$\text{Einspritzvolumen } [cm^3] = \frac{\text{Schußgewicht } [g]}{\text{Dichte bei Verarbeitungstemperatur } \left[\frac{g}{cm^3} \right]}$$

Berechnung des Einspritzvolumens mit Hilfe der Dichte bei Verarbeitungstemperatur

$$\text{Einspritzvolumen } [cm^3] = \frac{\text{Schußgewicht } [g]}{\text{Dichte bei Raumtemperatur } \left[\frac{g}{cm^3} \right]} * 1,25$$

Schmelzedichte / Ausbringungsfaktor			
Material	Dichte bei Raumtemp. g/cm ³	Dichte bei Verarbeitungs temp. g/cm ³	Ausbringungsfaktor
ABS	1,05	0,88	1,19
PA 6	1,13	0,91	1,24
PA 66	1,14	0,91	1,25
PC	1,20	0,97	1,24
PE-LD	0,92 – 0,94	0,72	1,29
PE-HD	0,94 – 0,96	0,71	1,33
PMMA	1,19	0,94	1,27
POM	1,42	1,15	1,23
PP	0,91	0,73	1,25
PS	1,05	0,91	1,15
PCV-U	1,40	1,12	1,25
PVC-P	1,35	1,02	1,32
SAN	1,08	0,88	1,23

Bei der Berechnung des Einspritzvolumens muss man berücksichtigen, dass die Schmelze im Plastifizierzylinder bei Verarbeitungstemperatur eine andere Dichte hat, als das Material bei Raumtemperatur.

Zur Berechnung des Einspritzvolumen kann man entweder das Schussgewicht durch die Dichte bei Raumtemperatur dividieren und das Ergebnis mit einem Faktor multiplizieren, oder das Schussgewicht durch die Dichte bei Verarbeitungstemperatur dividieren. Hierbei hat sich die Verwendung des

Faktors 1,25 für die meisten Thermoplaste am praktikabelsten erwiesen.

- ▶ Die Einspritzzeit aus einer - verfahrenstechnisch geprüften - Simulationsberechnung übernehmen
- ▶ Liegen keine Daten aus Simulationsberechnungen vor, wird die Abschätzung der Einspritzzeit über die Fließweglänge und eine materialspezifische Fließfrontgeschwindigkeit ermittelt.

$$te = \frac{\text{Fließweglänge}}{\text{Fließfrontgeschwindigkeit}} = \frac{mm}{mm/s} = s$$

- Die „Fließfrontgeschwindigkeit“ liegt – je nach Kunststoff – zwischen 50 mm/s und 300 mm/s.
 - Siehe hierzu die „Probekörperherstellbedingungen“ auf dem Materialdatenblatt

Berechnung des Einspritzvolumenstromes:

$$\text{Einspritzvolumenstrom} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Einspritzvolumen} [\text{cm}^3]}{\text{Einspritzzeit} [\text{s}]}$$

Die Einspritzzeitmessung der Maschine startet bei Ende Dekompression und endet beim Umschalten auf den Nachdruck. Das errechnete Einspritzvolumen beinhaltet auch das Nachdruckvolumen.

Man müsste eigentlich dem Einspritzvolumen das Dekompressionsvolumen hinzurechnen und das Nachdruckvolumen vom Einspritzvolumen abziehen. Man kann jedoch annähernd davon ausgehen, dass beide Volumina vergleichbar groß sind.

Daher kann man bei der Berechnung des Einspritzvolumenstromes das Einspritzvolumen ohne Zu- und Abschläge verwenden.

- ▶ Der Öffnungswege ist der Weg, den das Werkzeug mindestens auffahren soll, damit eine Entformung des Teils/ der Teile möglich ist.
 - Ein genereller Richtwert für den erforderlichen Öffnungswege ist:

$$\text{Öffnungswege} = 2,5 \times \text{Artikelhöhe}$$

- ❖ Bsp. Artikel 150mm
- ❖ $2,5 * 150\text{mm} = 375\text{mm}$ Öffnungswege

- ▶ Weg kann >oder< sein wenn Entnahme durch Handling
- ▶ Ausfallschacht muss groß genug sein

- ▶ „Abschätzung“ der Kühlzeit mittels der Bauteilwanddicke s
 - Bei Werkzeugwandtemperaturen unterhalb 60°C:

$$t_K = s * (1 + 2 * s)$$

- Bei Werkzeugwandtemperaturen oberhalb 60°C:

$$t_K = 1,3 * s * (1 + 2 * s)$$

t_K = Kühlzeit [s]

s = dickste Wanddicke des Bauteils [mm]

- ▶ „Abschätzung“ der Kühlzeit mittels effektiver Temperaturleitfähigkeit des Thermoplastes

$$t_K \text{ [s]} = \frac{0,165 \cdot s^2}{a_{\text{eff}}}$$

t_K = Kühlzeit [s]

s = dickste Wanddicke des Bauteils [mm]

a_{eff} = effektive Temperaturleitfähigkeit [mm^2/s]

- Amorphe Thermoplaste $\sim 0,08 - 0,1 \text{ mm}^2/\text{s}$
- Teilkristalline Thermoplaste $\sim 0,06 - 0,08 \text{ mm}^2/\text{s}$

Kreisfläche

$$A = d^2 * \frac{\pi}{4} \quad \text{oder} \quad A = r^2 * \pi$$

Zylindervolumen

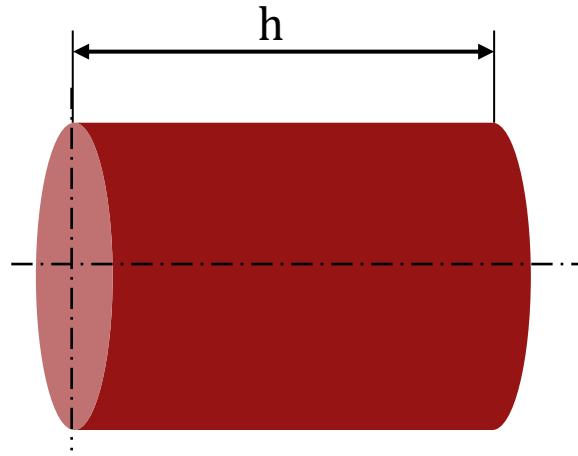
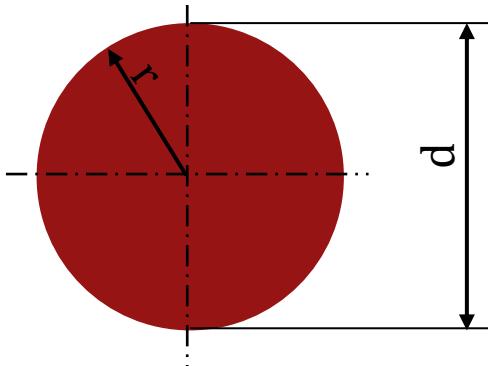
$$V = d^2 * \frac{\pi}{4} * h \quad \text{oder} \quad V = r^2 * \pi * h$$

Kreisumfang

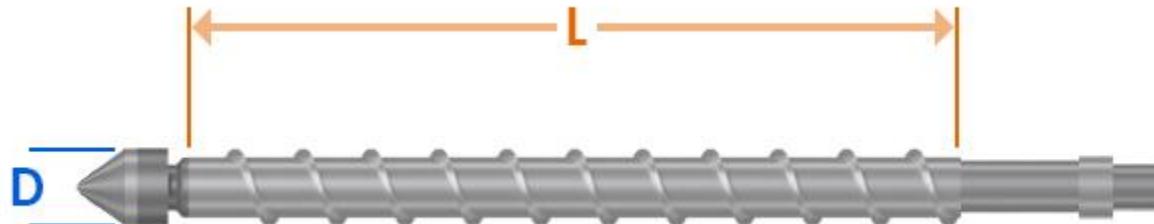
$$U = d * \pi \quad \text{oder} \quad A = 2r * \pi$$

Zylinderhöhe

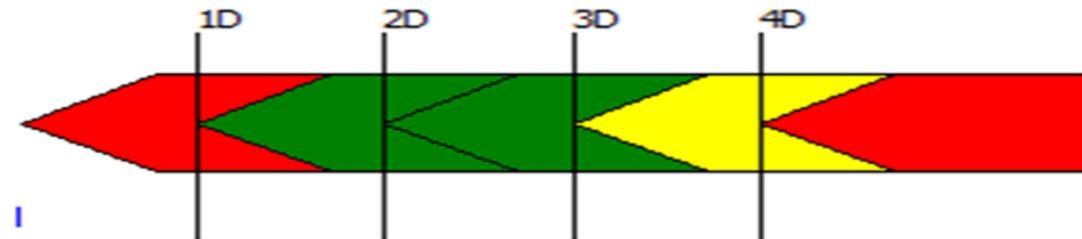
$$h \text{ [cm]} = \frac{4 * V \text{ [cm}^3\text{]}}{d^2 \text{ [cm}^2\text{]} * \pi}$$



- Die Schneckenauslastung sollte aus folgenden Gründen zwischen 1D* und 3D* liegen:
 - Bei Dosierungen >3D kann die Schmelzehomogenität nicht gewährleistet werden.
 - **andere Werte sind möglich und sind beim Materialhersteller zu erfragen*



- Die Schneckenauslastung sollte aus folgenden Gründen zwischen 1D* und 3D* liegen:
 - bei Dosierung <1D kann die Schmelze thermisch geschädigt werden
-Verweilzeit der Schmelze in der Schnecke zu lang.
 - Reproduzierbarkeit des Einspritzvorgangs schlechter
 - durch den kleinen Hub reicht oft die Auflösung keine ausreichende Genauigkeit sowohl beim Dosieren als auch beim Einspritzen.



- Die Plastifizierleistung entspricht der Menge des homogen geschmolzenen Kunststoffes pro Zeiteinheit (h)

$$\text{Plastifizierleistung in } \text{cm}^3/\text{h} = \text{Schussvolumen in } \text{cm}^3 \times \frac{\text{Zyklen}}{\text{Stunde in h}}$$

Beispiel: ABS Schussvolumen = 45cm³ ; 60 Zyklen/h

Rechnung: 45cm³ * 60 (Zyklen) = 2700cm³

$$\text{Umrechnung in Kg/h} \quad V = \frac{m}{\rho} \quad m = V * \rho = 2700\text{cm}^3 * 1,25\text{g/cm}^3 = 3375\text{g} = \underline{\underline{3,375\text{Kg/h}}}$$

- ▶ Nachdruck/Siegelpunkt ermitteln (Variante 1)
 - mit einer für das Spritzteil überzogenen Nachdruckzeit beginnen
 - Nachdruck Schrittweise erhöhen und das jeweilige Spritzteilgewicht ermitteln
 - Nachdruck erhöhen bis Spritzteilgewicht konstant bleibt (ohne Anguss)
 - Nach jeder Nachdruckerhöhung Spritzteil auf Grat überprüfen
 - Entformung ständig kontrollieren
 - Nachdruckzeit verringern bis Spritzteilgewicht sich verändert
 - Massepolster beobachten
 - Sollten Formteilmaße in Kombination mit den übrigen Verarbeitungsparametern hierbei nicht erreicht werden, so ist das Werkzeug zu korrigieren.

- ▶ Nachdruck/Siegelpunkt ermitteln ([Variante 2](#))
 - Soweit möglich, 50-60% vom Umschalt spritzdruck einstellen
 - Nachdruckzeit Schrittweise erhöhen und das jeweilige Spritzteilgewicht ermitteln (Zeitanpassung hängt vom Bauteil ab)
 - Nachdruckzeit erhöhen bis Spritzteilgewicht konstant bleibt (ohne Anguss)
 - Bei jeder Wertveränderung, Spritzteil auf Grat überprüfen
 - Entformung ständig kontrollieren
 - Nachdruck verringern bis Spritzteilgewicht sich verändert
 - Massepolster beobachten
 - Sollten Formteilmaße in Kombination mit den übrigen Verarbeitungsparametern hierbei nicht erreicht werden, so ist das Werkzeug zu korrigieren.

Das empfohlene minimale Massepolster sollte einem Schneckenweg von 3 bis 7 mm entsprechen

Im Optimalfall beträgt der Schneckenweg des minimalen Massepolster 5 mm

Schneckendurchmesser	mm	15	18	20	22	25	30	35	40	45	50
Massepolster min.	cm ³	0,5	0,8	0,9	1,1	1,5	2,5	2,9	3,8	4,8	5,9
Massepolster max.	cm ³	1,2	1,8	2,2	2,7	3,4	4,9	6,7	8,8	11,1	13,7
Massepolster optimal	cm ³	0,9	1,3	1,6	1,9	2,5	3,5	4,8	6,3	8,0	9,8

- Bei thermisch empfindlichen Materialien sind kleinere Schneckenwege/-volumina empfehlenswert.
- Bei größeren Schneckendurchmessern können größere Schneckenwege/-volumina erforderlich werden.

Zyklusabschätzung

Zykluszeit							
Kühlzeit							
Werkzeug schließen	Aggregat vor	Einspritzen	Nachdrücken	Restkühlzeit	Werkzeug öffnen	Auswerfer vor / zurück	Pausenzeit
1,0-4,0 Sek. bis 400 mm Öffnungsweg	0,5-1,5 Sek.	0,2-9,5 Sek. Einspritz- Volumen Von 1 cm ³ Bis 550 cm ³	Nachdruckzeit 2-5 Sek. pro mm Wand- Stärke Ausnahme POM 8-10 Sek.	Restkühlzeit beinhaltet Dosierzeit, Dekompression und Aggregat zurück	1,0-4,0 Sek. bis 400 mm Öffnungsweg	1,0-4,0 Sek. bis 100 mm Auswerferweg	0,2-1,0 Sek.
Kernzug einfahren (Bei serieller Bewegung verlängert sich die Schließezeit) + 1,0-2,0 Sek.		Fließfront Geschwindig- keit	Siegelpunkt- Bestimmung		Kernzug Ausfahren (Bei serieller Bewegung verlängert sich die Öffnungszeit) + 1,0-2,0 Sek.		

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Thomas Fischer
+49 (0) 23 51.10 64-173
fischer@kimw.de

Kunststoff-Institut Lüdenscheid
Karolinenstraße 8
58507 Lüdenscheid
www.kimw.de