

Formteilfehler Werkzeug oder Produktion

Das Werkzeug



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED



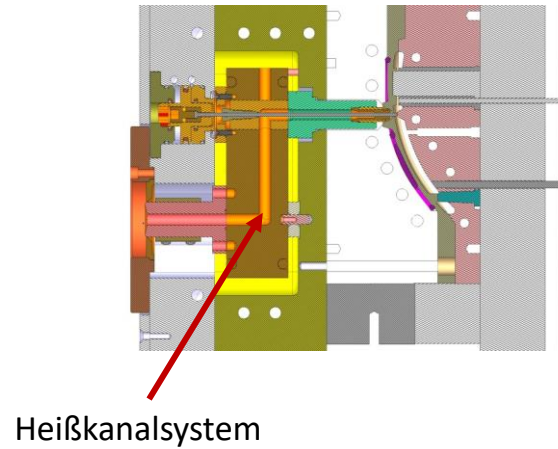
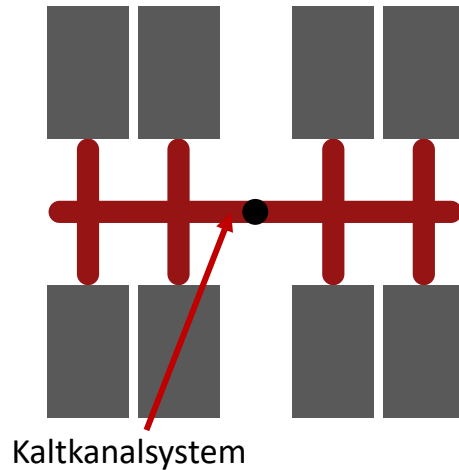
Das Werkzeug

► Inhalt

- Anguss- und Anschnittsysteme
- Fließvorgänge im Werkzeug
- Heißkanaltechnik
- Entformung
- Mechanische Werkzeugauslegung

► Grobe Unterteilung der Angussysteme

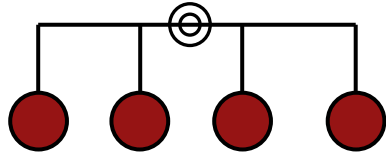
- Kaltkanal
- Heißkanal



► Angussverteilersysteme

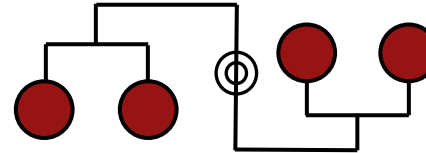
- Anordnung und Anforderungen des Angussystems
 - Kurze Fließwege, um Druckbedarf, Scherung und Angussvolumen gering zu halten
 - Kräftegleichgewicht im Werkzeug
 - die Summe der Auftriebskräfte sollte im Schwerpunkt der Maschinenplatte liegen
 - Bei Mehrfachkavitäten sind gleiche Füllzeitpunkte anzustreben
 - keine gleichmäßige Füllung = keine gleichmäßig „guten“ Teile
 - Die Zykluszeit soll nicht verlängert werden (i.a. Kaltkanal bzw. Heißkanal wenn keine Düsenkühlung vorhanden ist)

- ▶ Angussart und Anschnittlage
- ▶ Anforderungen an das Angussssystem
 - Kräftegleichgewicht im Werkzeug



ungünstig

=> Ungleichmäßige Füllung
und Werkzeugbelastung

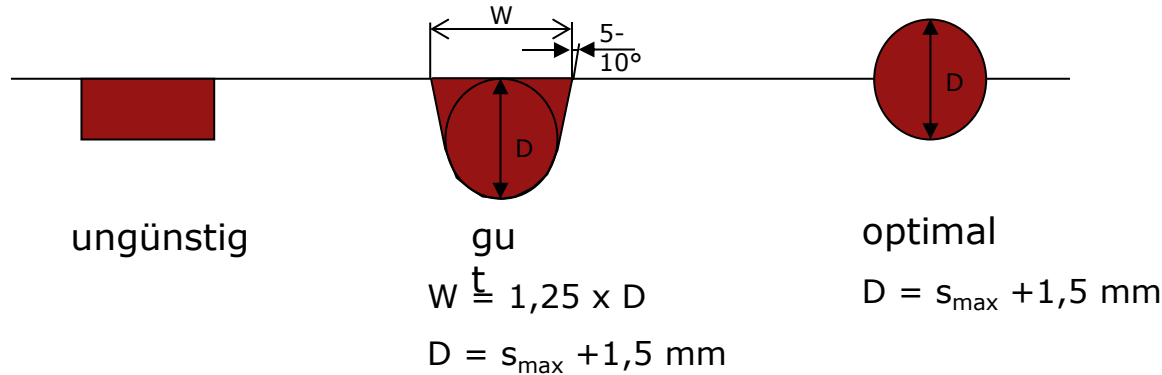


günstiger

=> Gleichmäßige Füllung

- Möglichst gleich lange Wege und Querschnitte wählen (natürliche Balancierung) um Füll- und Nachdruckphase gleichermaßen zu berücksichtigen

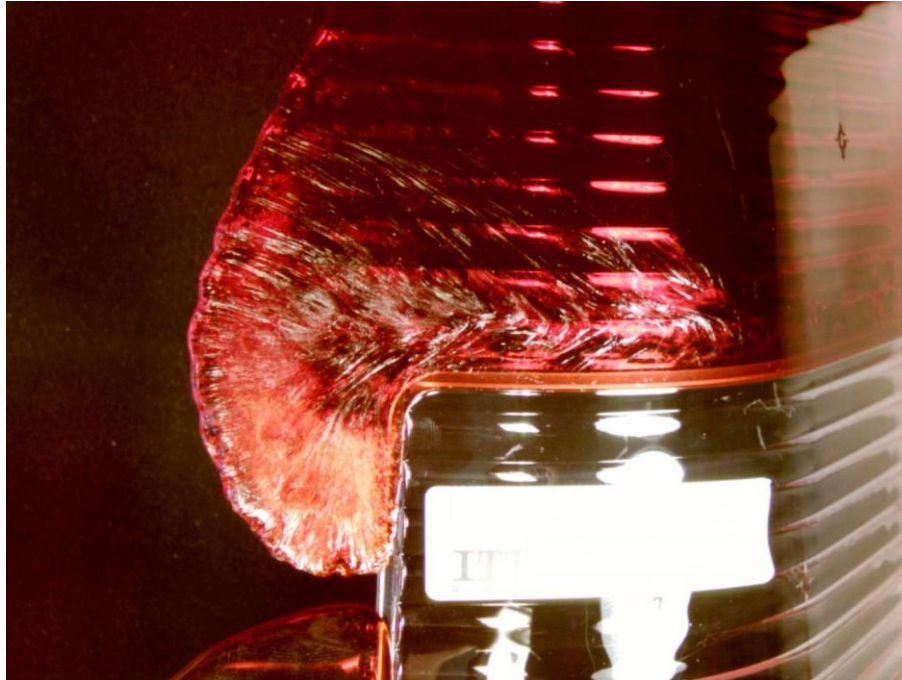
- ▶ Angussart und Anschnittlage
- ▶ Anforderungen an das Angussystem
 - Ausführung und Dimensionierung der Verteilerkanäle



D = Durchmesser Kanal

$s_{\max}$ = größte Wanddicke im Formteil

- ▶ Formteilfehler: Schlierenbildung durch Depolymerisation



Quelle:
Kunststoff-Institut Lüdenschied

- Formteilfehler: Schlierenbildung durch Depolimerisation

Dimensionierung des
Angussystems i.O.?



Quelle:
Kunststoff-Institut Lüdenschied

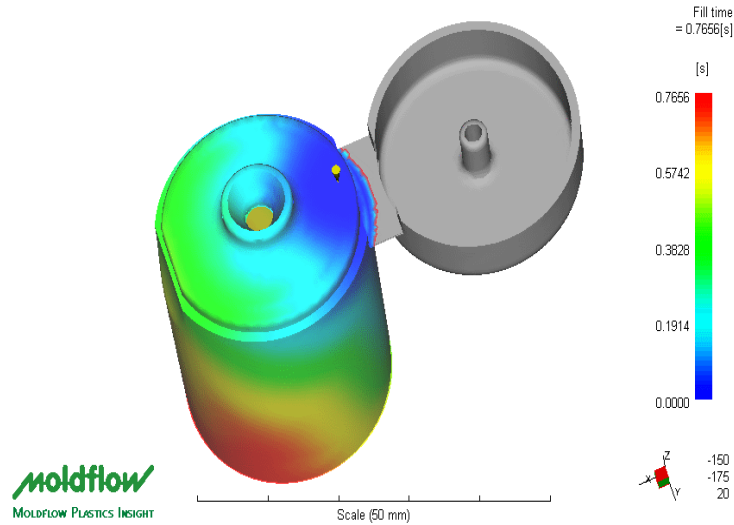
► Anschnittlage

- Die Dimensionierung und die Lage des Anschnitts beeinflussen maßgeblich die
 - Maßhaltigkeit
 - Formbeständigkeit
 - Optische Beschaffenheit
 - Spannungszustände (z.B. Anbindung auf Schnapphaken)
 - Mechanische Festigkeit (z.B. Nachdruckwirkung)
 - Teilfunktionen (z.B. Filmscharnier)

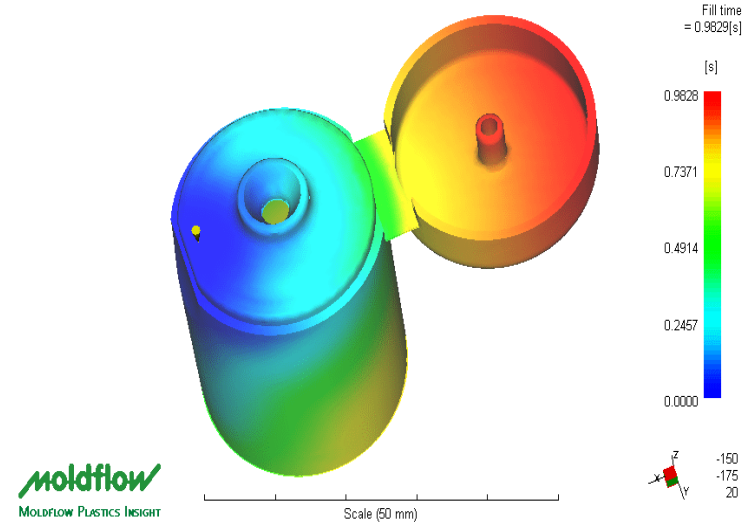
eines Artikels

► Anforderungen

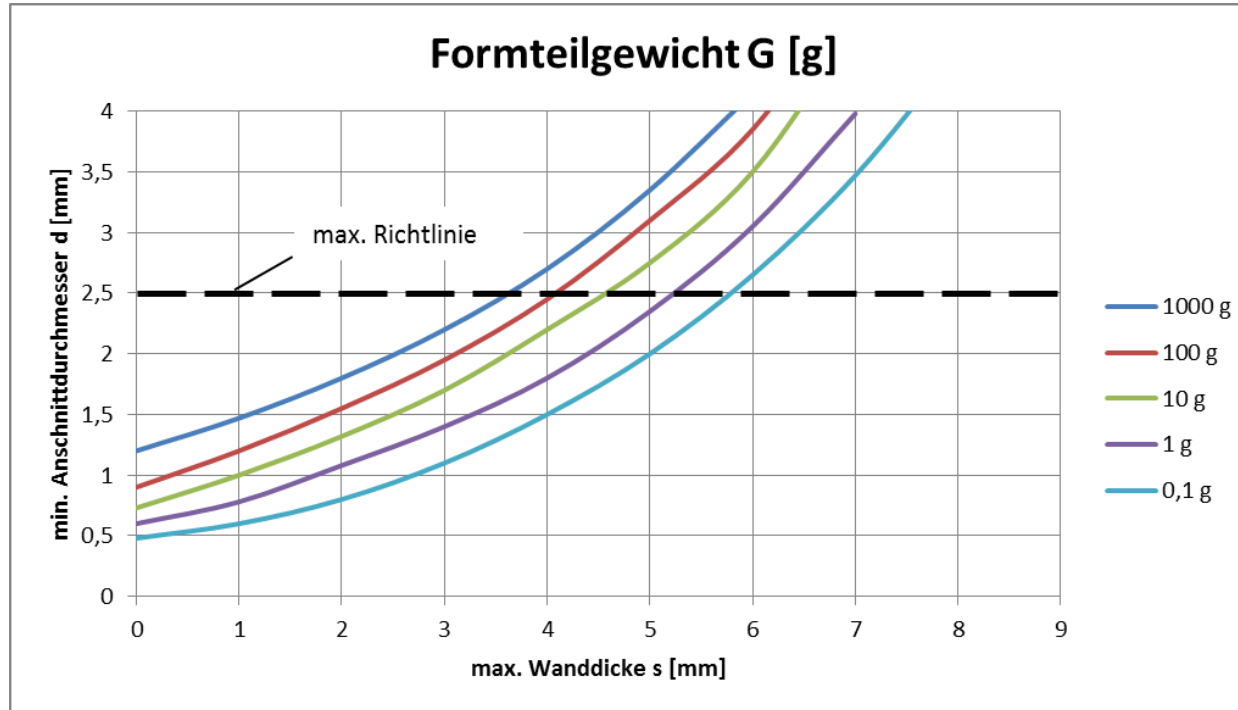
- Die Lage und Gestaltung des Anschnittes so vorsehen, dass kein Freistrahle entsteht (Wandhaftung)
- Möglichst geringen Anteil des Anguss am Gesamtspritzgewicht vorsehen
- Leichte Trennung des Anguss vom Formteil vorsehen
- Die Zykluszeit soll möglichst nicht durch den Anguss verlängert werden
- Die Anbindung möglichst an die größte Wanddicke des Formteils legen (Keilprinzip)



Quelle: K.I.M.W. GmbH



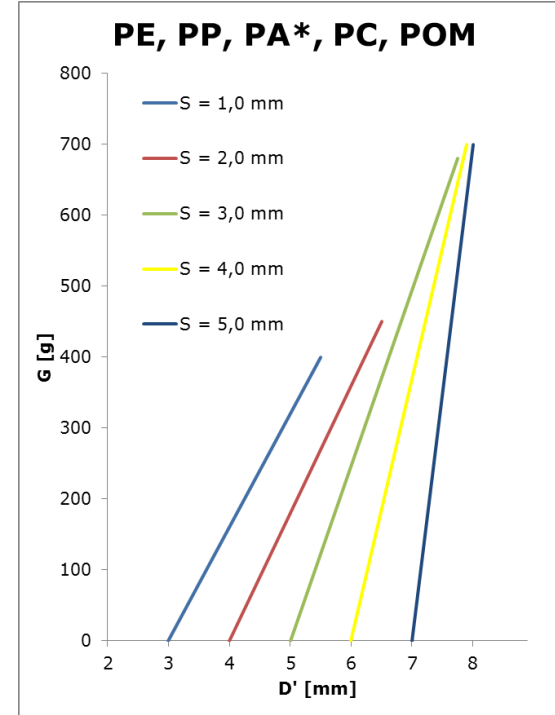
► Anschnittdurchmesser: Dimensionierungsrichtwerte für ein Kunststoffmaterial



► Dimensionierung der Verteilerkanäle

Vorgehensweise:

1. Formteilgewicht G und maximale Wanddicke s ermitteln
2. Mit diesen Werten D' aus dem rechten werkstoffspezifischen Diagramm ablesen
(Auswahl einiger teilkristalliner Thermoplaste)

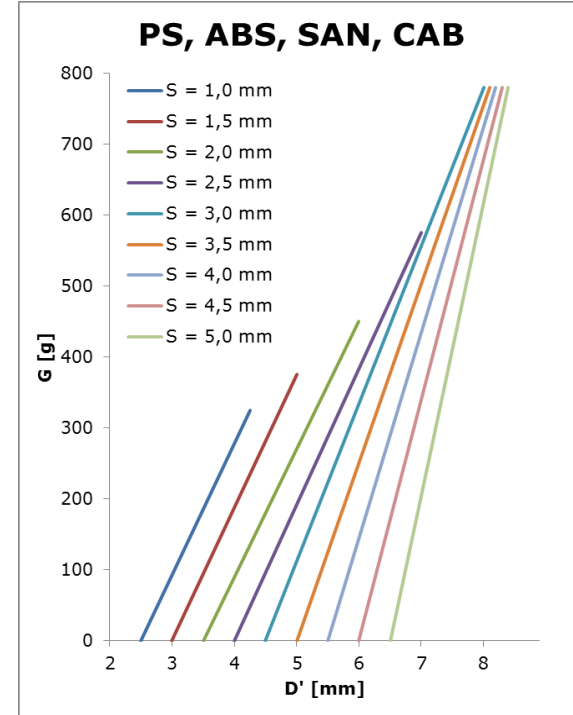


Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

► Dimensionierung der Verteilerkanäle

Vorgehensweise:

1. Formteilgewicht G und maximale Wanddicke s ermitteln
2. Mit diesen Werten D' aus dem rechten werkstoffspezifischen Diagramm ablesen (Auswahl einiger amorpher Thermoplaste)

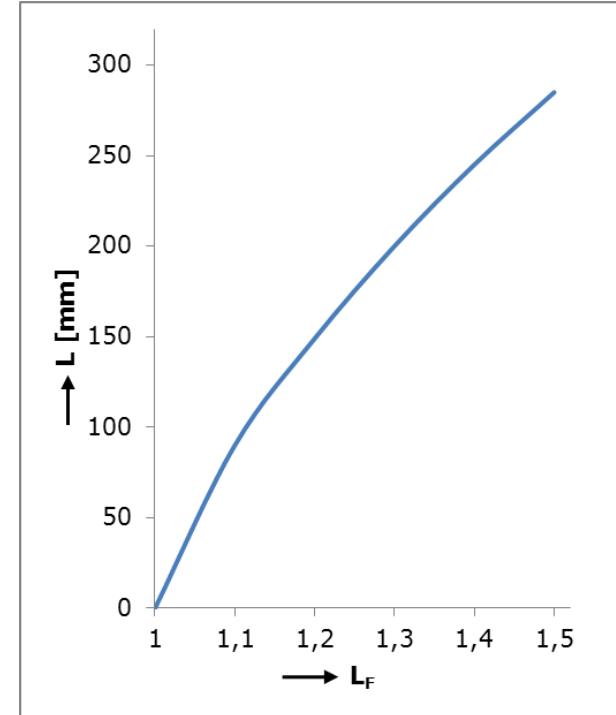


Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

► Dimensionierung der Verteilerkanäle

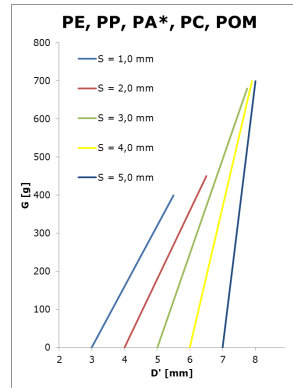
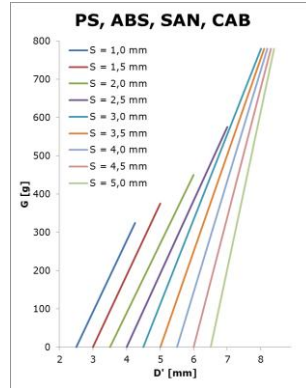
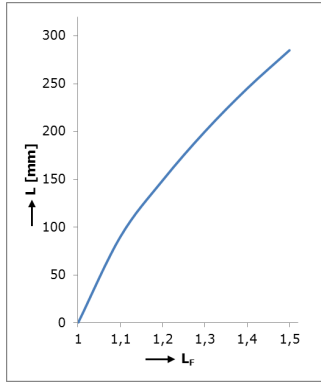
Vorgehensweise:

3. Maximalen Fließweg L ermitteln
4. Mit diesem Wert L_f aus dem Diagramm ablesen
5. Den Angussdurchmesser mit der Beziehung $D = D' * L_f$ berechnen



Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

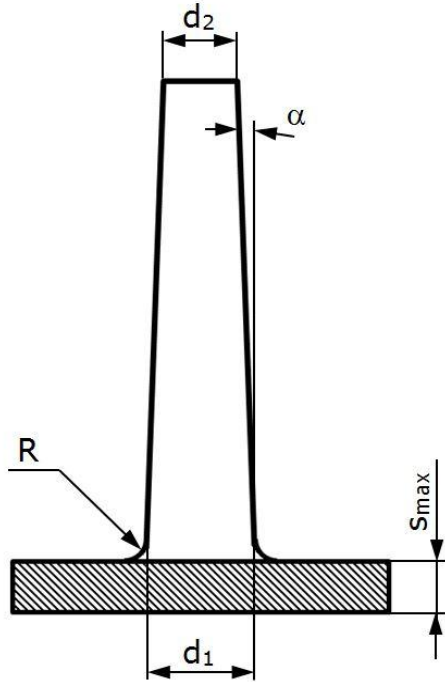
- ▶ Angussart und Anschnittlage
 - Dimensionierung der Verteilerkanäle



Vorgehensweise:

1. Formteilmgewicht G und maximale Wanddicke s ermitteln
2. Mit diesen Werten D' aus einem der rechten werkstoffspezifischen Diagramme ablesen
3. Maximalen Fließweg L ermitteln
4. Mit diesem Wert L_F aus dem linken Diagramm ablesen
5. Den Angussdurchmesser mit der Beziehung $D = D' * L_F$ berechnen

► Stangenanguss: Dimensionierung



Üblich für $s_{max} \geq 3 \text{ mm}$

$d_1 = s_{max} + 1 \dots 2 \text{ mm}$ (allgemein)

$d_2 \geq d_D + 0,5 \text{ mm}$

d_D : Düsenbohrung

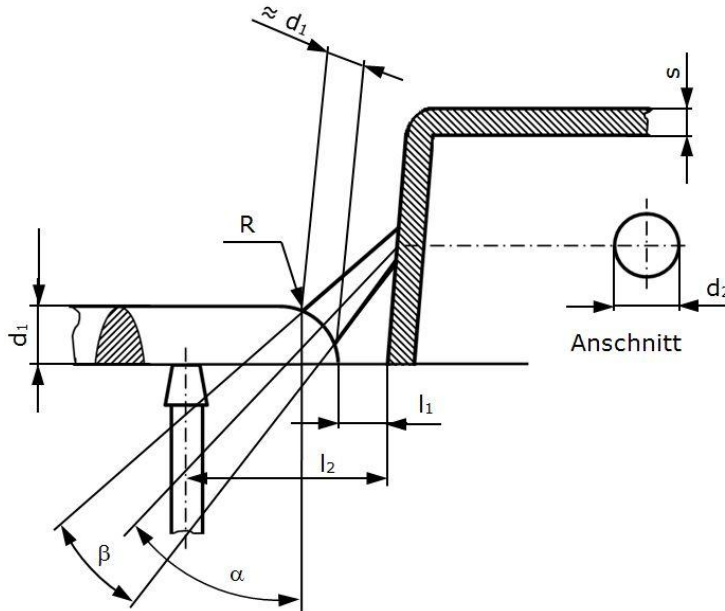
$d_D \geq 2,0 \text{ mm}$

$R \geq 0,5 \text{ mm}$

$\alpha \geq 1,0^\circ$

Werte nach U. Lappe

- Tunnelanguss: Dimensionierung
 - Mit gerader Tunnelbohrung



Üblich für $s \leq 4\text{ mm}$

$$d_2 = 0,5 \dots 0,8 * s$$

$$d_1 = 1,5 * s + K$$

$$l_1 \geq 1,0 \text{ mm}$$

$$l_2 = 10 \dots 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30 \dots 50^\circ$$

30° : spröde Kunststoffe

45° : zäh- elastische Kunststoffe

$$\beta = 20 \dots 30^\circ$$

$$R \geq 3 \text{ mm}$$

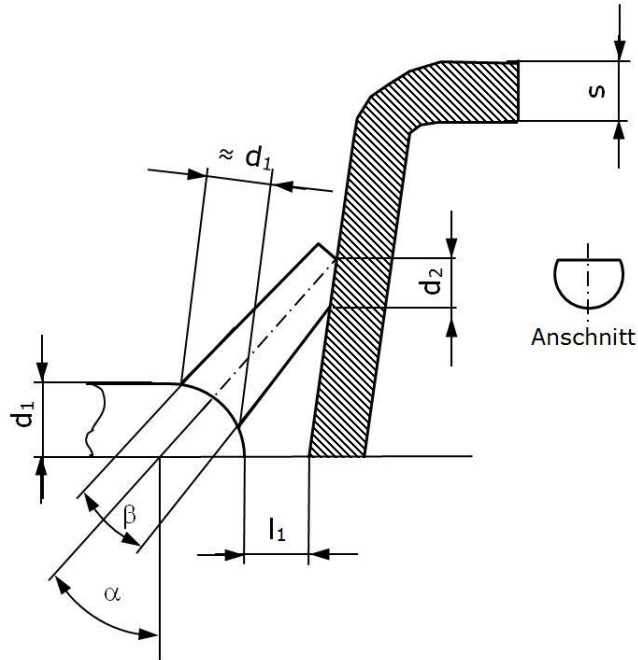
$$K = 0 \dots 3$$

Werte nach U. Lappe

- ▶ Beispiel: Matte Stelle (Hof) im Anschnittbereich



- ▶ Tunnelanguss: Dimensionierung
 - Mit gerader Tunnelbohrung mit Stauboden



Üblich für $s \leq 4\text{ mm}$

$$d_2 = 0,5 \dots 0,8 * s$$

$$d_1 = 1,5 * s + K$$

$$l_1 \geq 1,0 \text{ mm}$$

$$l_2 = 10 \dots 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30 \dots 50^\circ$$

30° : spröde Kunststoffe

45° : zäh- elastische Kunststoffe

$$\beta = 20 \dots 30^\circ$$

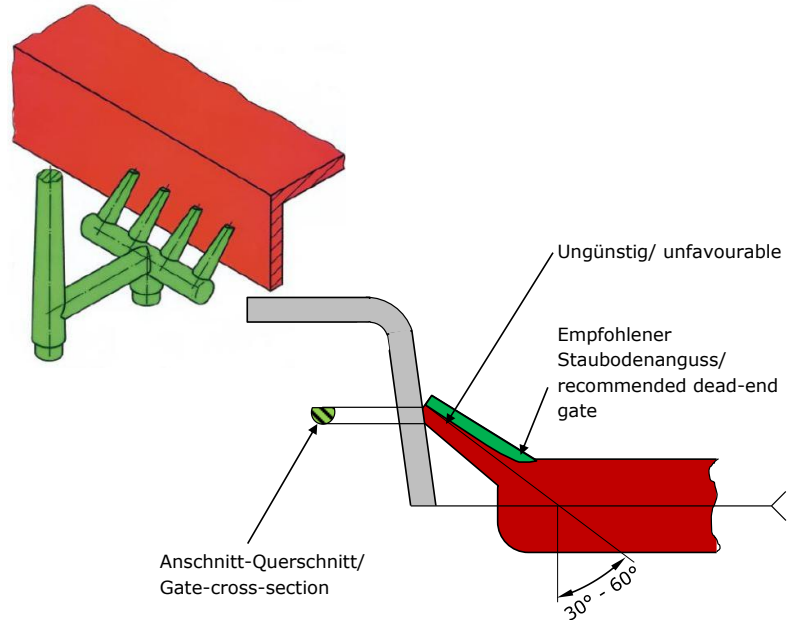
$$R \geq 3 \text{ mm}$$

$$K = 0 \dots 3$$

Werte nach U. Lappe

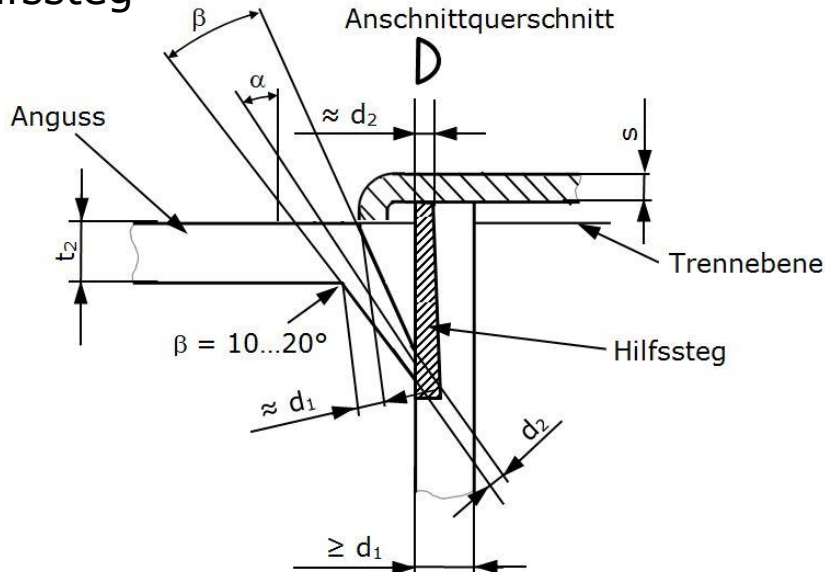
► Matte Stellen im Anschnittbereich

- Abhilfemöglichkeiten: Reduzierung der Scherung im Anschnitt
- Mehrfachtunnelanschnitt
- Tunnelanschnitt mit Stauboden
- Tunnelanschnitt mit Vorverteiler



► Tunnelanguss: Dimensionierung

- Mit Hilfssteg



Üblich für $s \leq 4$ mm

$$d_1 = 1,5 * s + K$$

$$d_2 = 0,5 \dots 0,8 * s$$

$$l_1 \geq 1,0 \text{ mm}$$

$$l_2 = 10 \dots 20 \text{ mm}$$

$\alpha = 40 \dots 50^\circ$

30° : spröde Kunststoffe

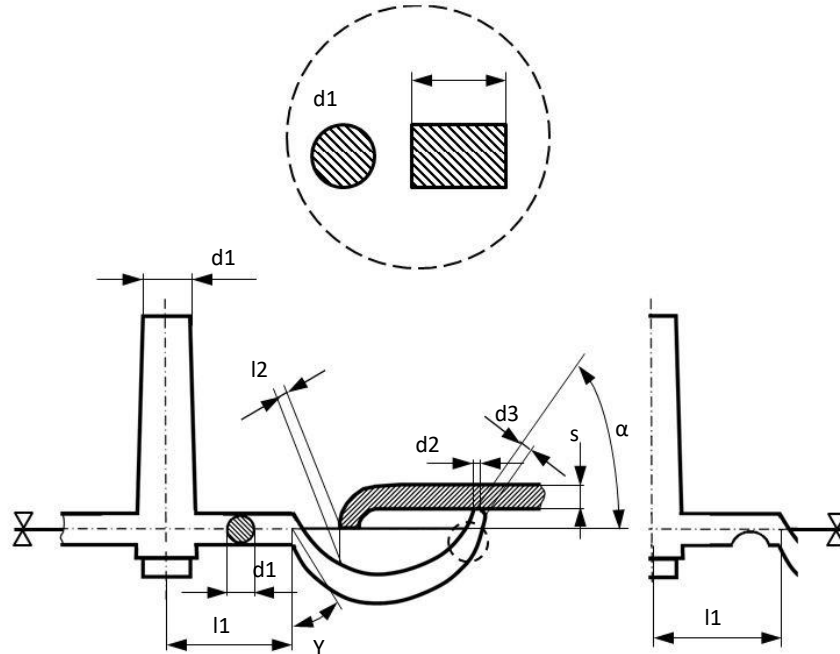
45° : zäh- elastische
Kunststoffe

$$\beta = 10 \dots 20^\circ$$

$$K = 0 \dots 3$$

Werte nach U. Lappe

- Tunnelanguss: Dimensionierung
 - Gebogener Tunnelanguss



Üblich für $s \leq 4 \text{ mm}$
(nur für zäh-elastische
Kunststoffe)

$$d_1 = 1,5 \cdot s + K$$

$$d_2 = 0,8 \dots 2,0 \text{ mm}$$

$$d_3 \geq d_2 + 0,5 \text{ mm}$$

$$l_1 \geq 30 \text{ mm}$$

$$l_2 \geq 2 \text{ mm}$$

$$\beta = 30 \dots 50^\circ$$

$$\alpha = 30 \dots 50^\circ$$

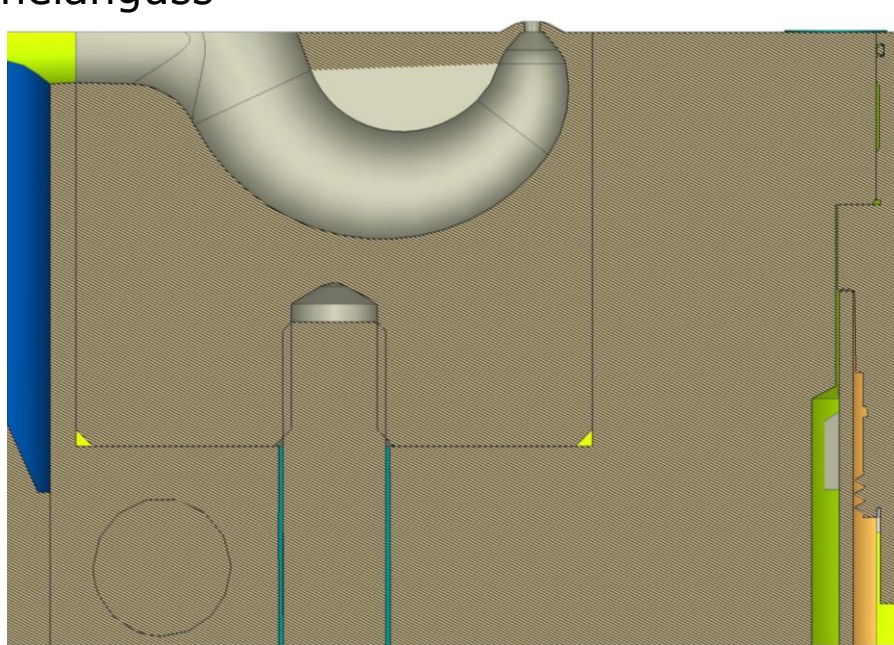
$$K = 0 \dots 3 \text{ mm}$$

oder

$$\gamma > 50^\circ$$

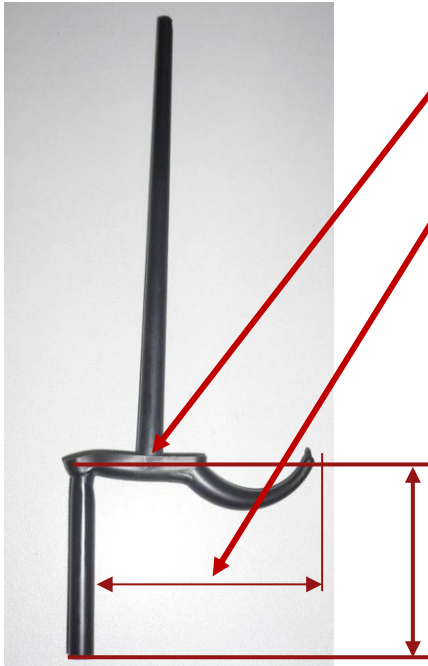
Werte nach U. Lappe

- ▶ Tunnelanguss: Werkzeugnormalie
 - Gebogener Tunnelanguss



► Angussausführung: Gebogener Tunnelanguss

- Position und Länge des Führungzapfens



kalter Pfropfen sollte aufgenommen werden

„Biegelänge“ sollte ausreichend lang sein

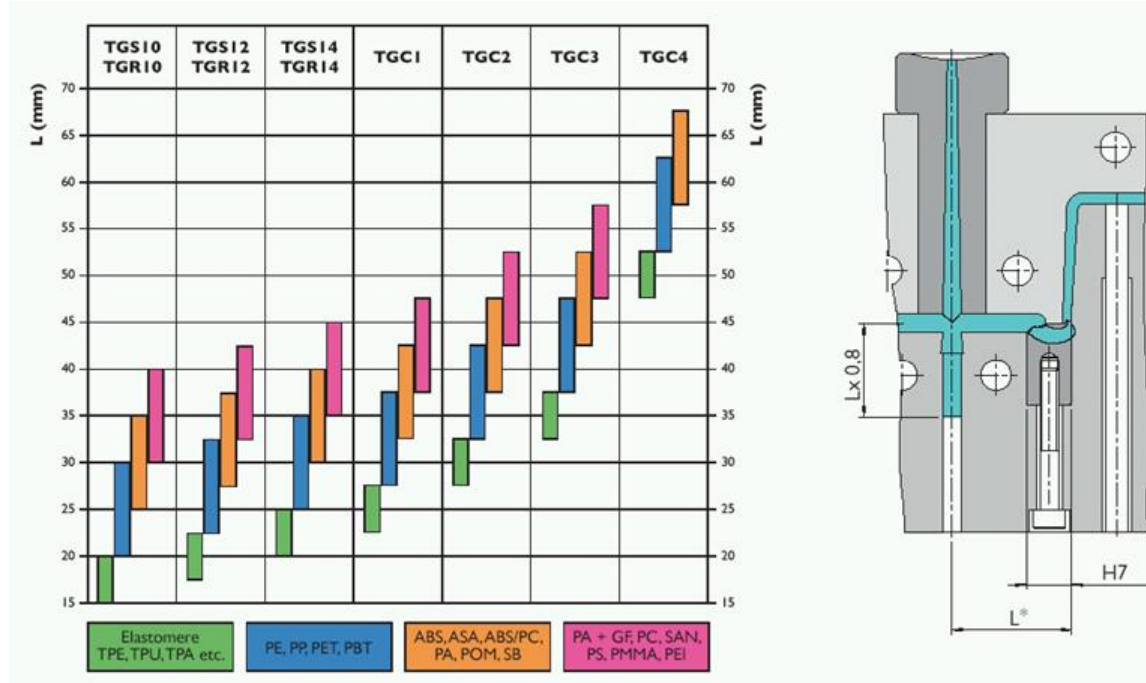
Falls Biegelänge nicht erreicht wird

=> Sollbiegestelle  oder Masseanhäufung anbringen

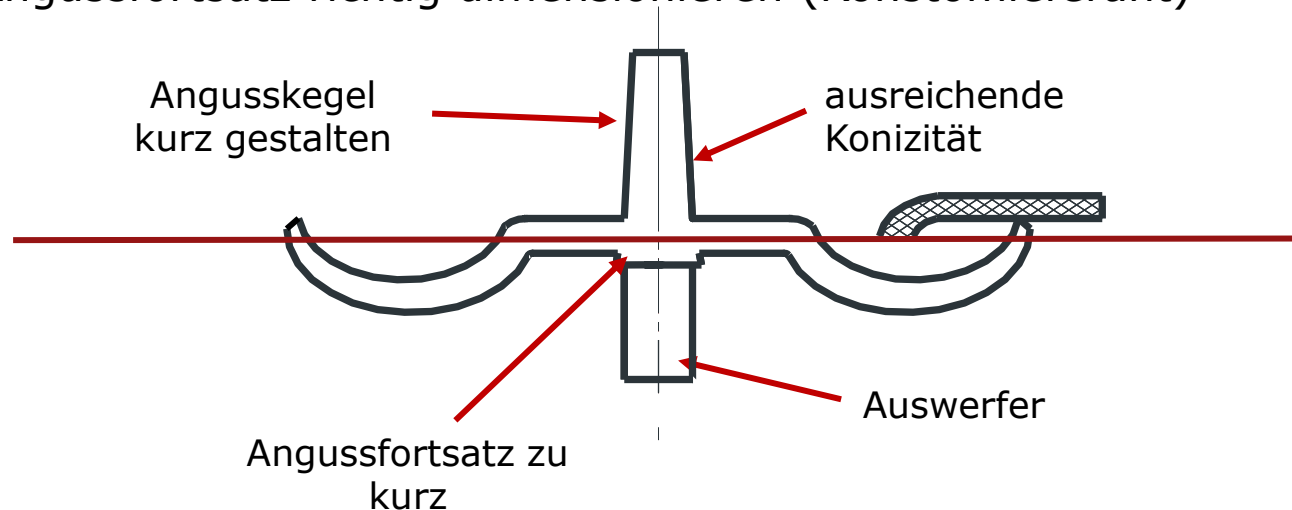
(Achtung: Zykluszeitabhängigkeit)

Länge des Führungzapfens zur Erzielung einer definierten Entformung des Angusses

► Ausführungsbeispiel („Biegelänge“, Länge Angussfortsatz)



- Ausführungsbeispiel (gebogener Tunnelanguss) für TPE
 - Relativ „flach“ ausführen
 - Oberflächenstruktur (nicht polieren)
 - Evtl. Widerlager vorsehen
 - Angussfortsatz richtig dimensionieren (Rohstofflieferant)

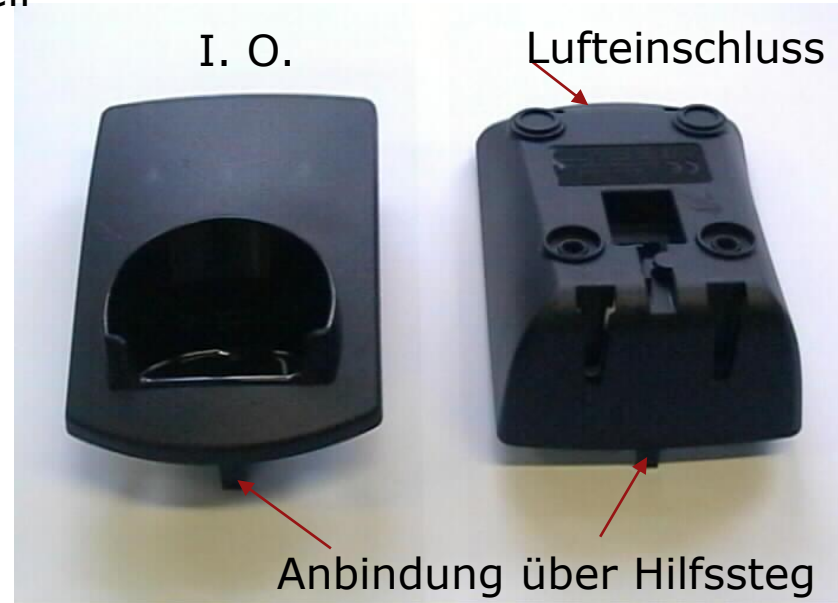


„Ungewöhnliche“ Fließvorgänge

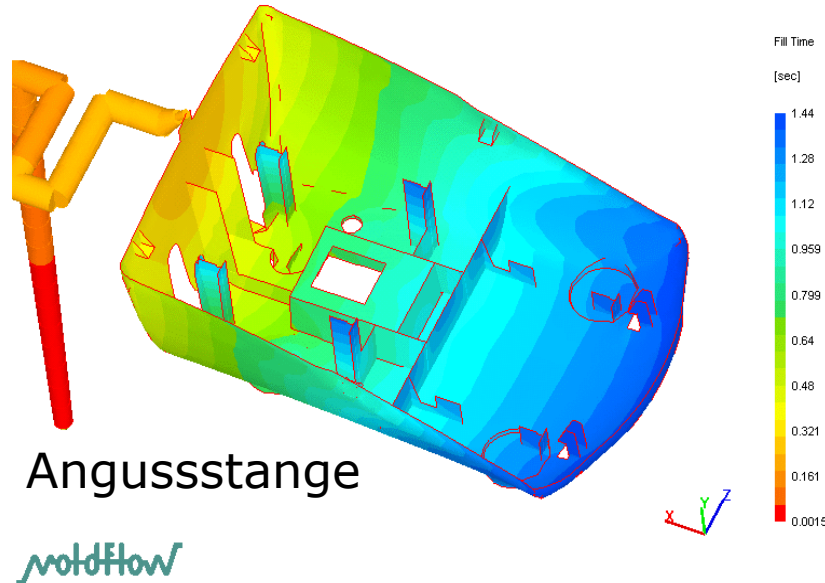
Was sind ungewöhnliche Fließvorgänge?

- ▶ Ungleichmäßige Formteilstückfüllung bei symmetrischer Anordnung des Verteilersystems (Mehrfach-Werkzeuge)
- ▶ Lokale Entmischung von Farbpigmenten
- ▶ Nur partiell auftretende thermische Materialschädigung
- ▶ Partielles Voreilen der Schmelzefront
- ▶ Gebräuchliche Erklärung:
 - „Das ist der Unterschied zwischen Theorie und Praxis“

- Formteilfehler:
 - zusätzliche Bindenähte
 - Lufteinschluss am Gehäuseunterteil



Simulationsergebnis: kein Lufteinschluss am Gehäuseunterteil



Abhängigkeit des Fließfrontverlaufes von den Verarbeitungsparametern

- ▶ Serienmaterial: ABS
- ▶ Massetemperatur: 220 °C
- ▶ Einspritzzeit: 1,5 Sekunden
- ▶ Abmusterungsergebnis:
Voreilen der Schmelzefront
im Randbereich

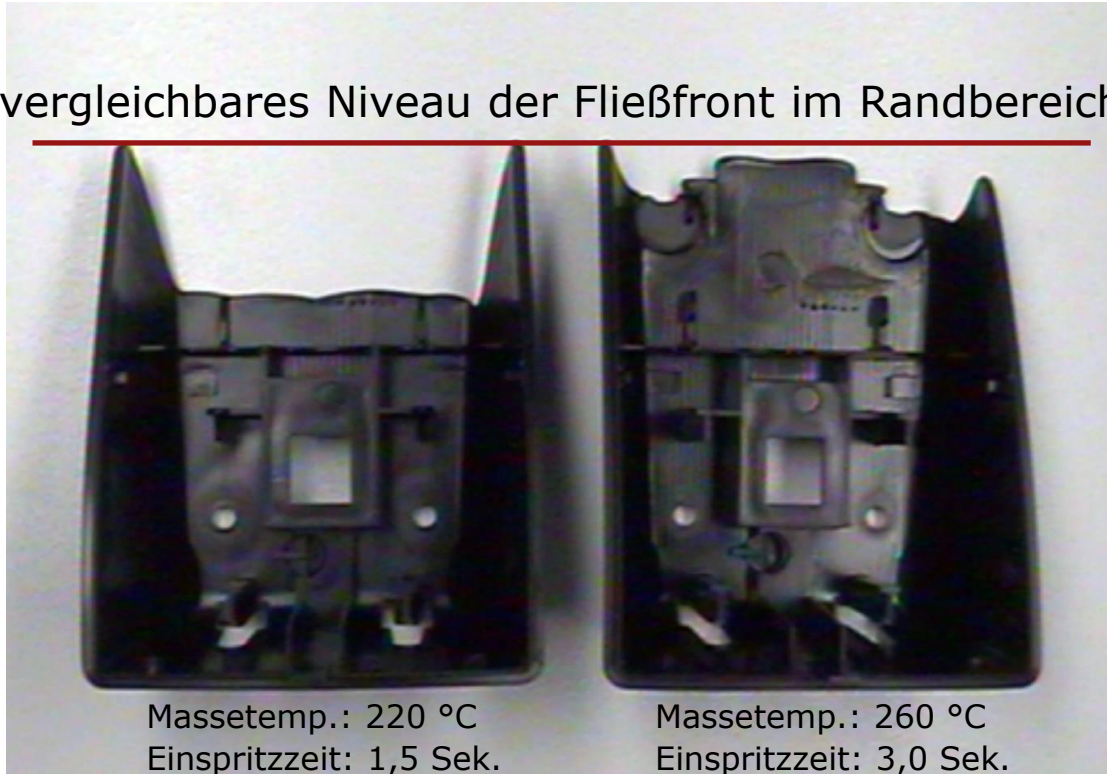


Abhängigkeit des Fließfrontverlaufes von den Verarbeitungsparametern

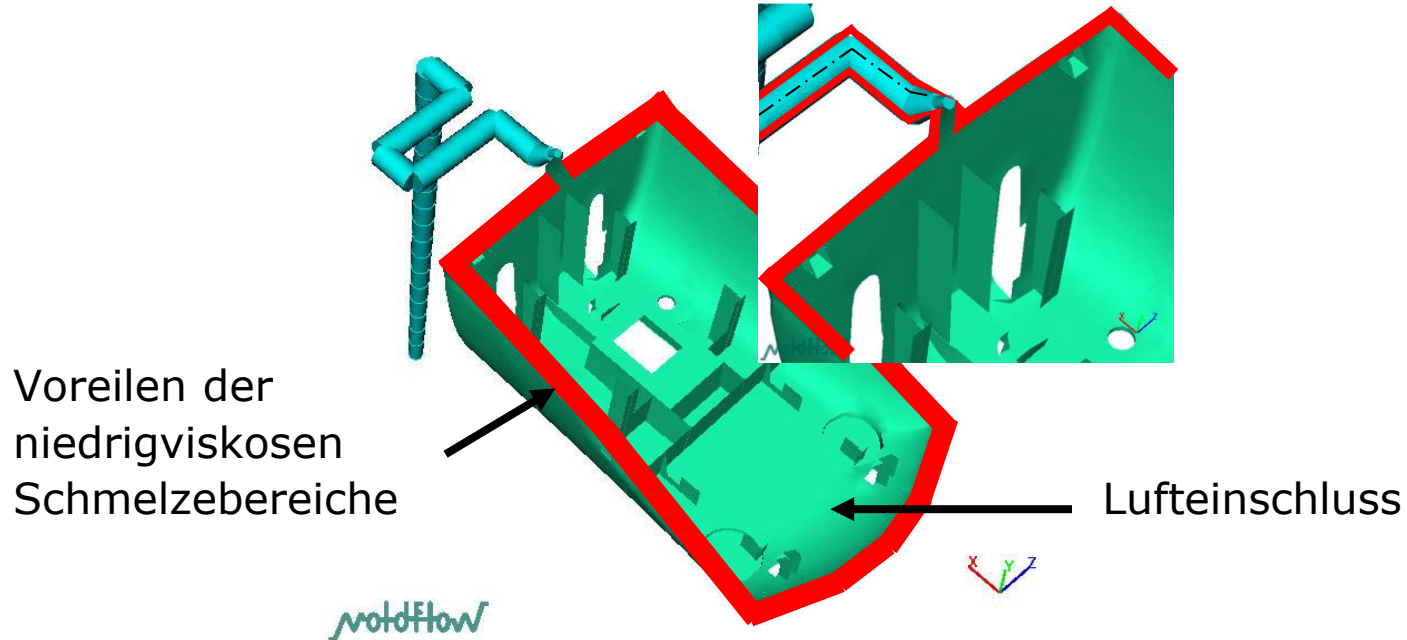
- ▶ Serienmaterial: ABS
- ▶ Masstemperatur:
260 °C (+ 40°C)
- ▶ Einspritzzeit:
3,0 Sekunden (+ 1,5 Sek.)
- ▶ Abmusterungsergebnis:
Kein Voreilen der Schmelzefront



vergleichbares Niveau der Fließfront im Randbereich



Die niedrigviskosen Schmelzebereiche aus dem Angussystem fließen konzentriert in den Randbereich



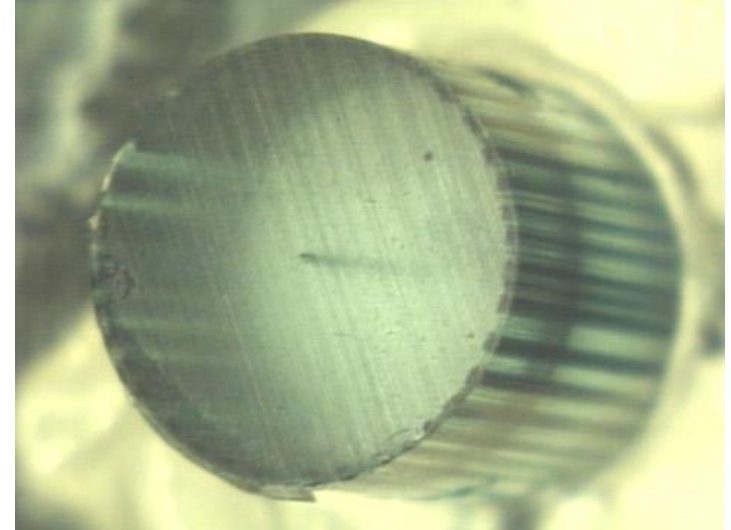
Werden zwei Schmelzen mit unterschiedlicher Viskosität einem Strömungsprozess ausgesetzt, so hat die niedrigviskose Schmelze immer das Bestreben, in der Nähe der Werkzeugwand (**Ort hoher Scherung**) zu fließen, um den Strömungswiderstand so gering wie möglich zu halten

schwarzes ABS

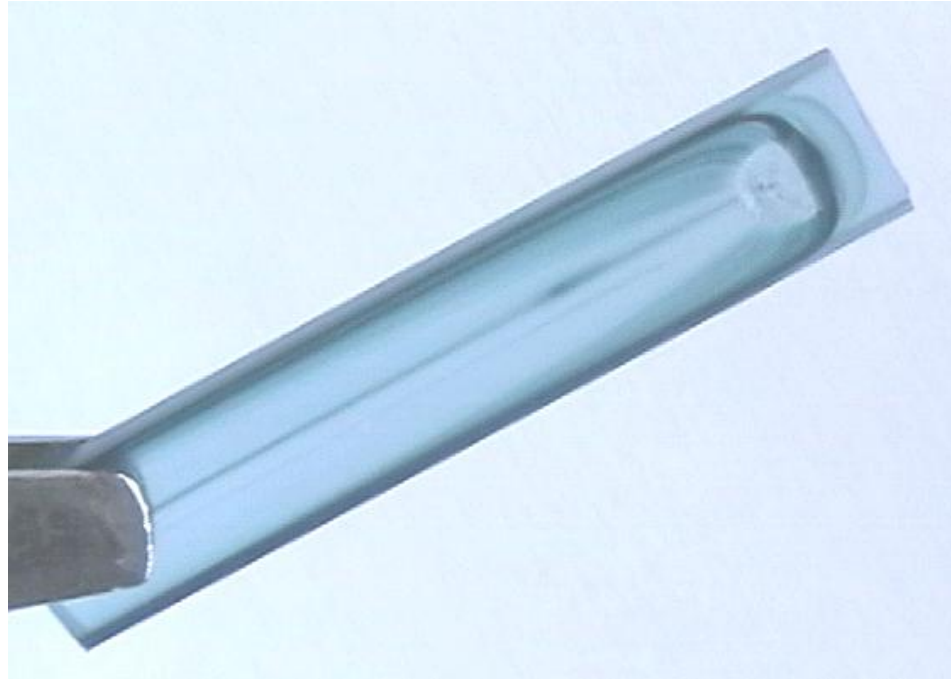
MVR 27 cm³/10 min (niedrigviskos)

transparentes MABS

MVR 8 cm³/10 min (hochviskos)



- ▶ Das niedrigviskose stark gescherte schwarze ABS fließt Überwiegend entlang der schmalen Stirnfläche



- ▶ Das niedrigviskose stark gescherte schwarze ABS fließt bevorzugt in den Randbereich

➡ die Fließfront im Randbereich eilt vor



- ▶ Wie können solche Effekte reduziert bzw. beseitigt werden?
 - Materialscherung reduzieren
 - Einspritzgeschwindigkeit verringern
 - Masse- und Heißkanaltemperatur erhöhen
 - Werkzeugwandtemperatur erhöhen (bei dünnwandigen Teilen)
 - Günstige Querschnittgeometrie wählen (kreisrund)
 - Günstige Anbindungsposition wählen
 - Homogene Temperaturführung im Heißkanalsystem
 - Verteilerkanäle sollten einen 90° Winkel zueinander aufweisen

Heißkanaltechnik

- ▶ Bei Einsatz eines HK-Systems sollte unbedingt vermieden werden:
 - Eine **thermische Schädigung** des zu verarbeitenden Kunststoffs
 - Negative Beeinflussung der **WZ-Stabilität**
 - Erhöhter **Druckverlust** im HK-System, der kritisch für die Prozess-Sicherheit ist
 - Negative Beeinflussung der **WZ-Temperierung**
 - Diese aufgeführten Kriterien haben alle unmittelbaren Einfluss auf den Spritzvorgang und somit auf die Artikelqualität!
- ▶ Mögliche Fehler beim Einbau eines Heißkanalsystems im Werkzeug können sein:
 - Heißkanalbelegung entspricht nicht der Angabe der Belegung von last bzw. Fühler (z.B. HASCO, Strack, Inceo)
 - Kabel sind beim Zusammenbau abgeklemmt / eingeklemmt worden

Fehler

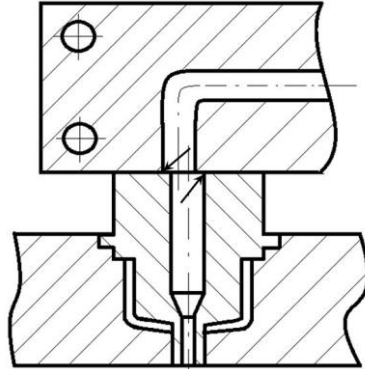
- ▶ Heißkanalbelegung entspricht nicht der Angabe der Belegung von Last bzw. Fühler (z.B. HASCO, Strack, Incoe)
- ▶ Kabel sind beim Zusammenbau abgeklemmt / eingeklemmt worden



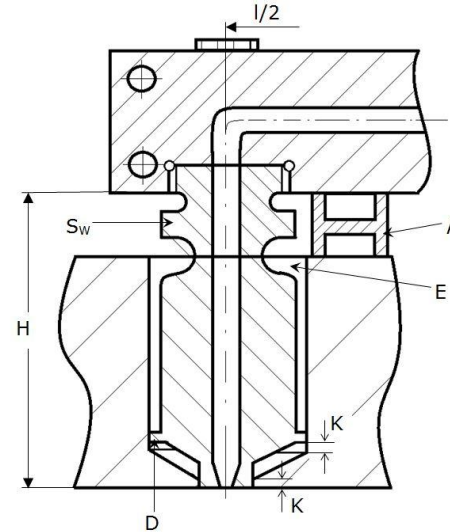
- ▶ Da das Heißkanalsystem im Regelfall eine höhere Temperatur erfährt, als die restlichen Werkzeugkomponenten muss die thermische Dehnung beachtet werden
 - Formel für die thermische Dehnung
 - **$\Delta l = l * a * (\Delta T)$**
 - **$a = 11 \text{ bis } 15 * 10^{-6} [1/K]$**
- ▶ Als „Faustformel“ kann gelten:
 - Länge ~ 100mm Temperaturerhöhung ~ 10°C => min. 0,01 mm
- ▶ Beispiel:
 - Länge ~ 400mm Temperaturerhöhung ~ 200°C => min. 0,8 mm
- ▶ Kompensation der Wärmedehnung kann erfolgen durch:
 - Tellerfedern
 - Schmelzeleitleitrohre
 - ...

► Auswirkung der Wärmedehnung bei:

- N.i.O. Heißkanalauslegung
- N.i.O. Werkzeugfertigung
- Falscher Temperaturwahl

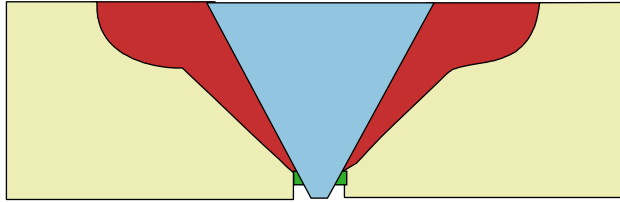


- Bei schiebedichtsitzten können tote Ecken entstehen, die Farbwechsel erschweren oder thermische Schädigung verursachen

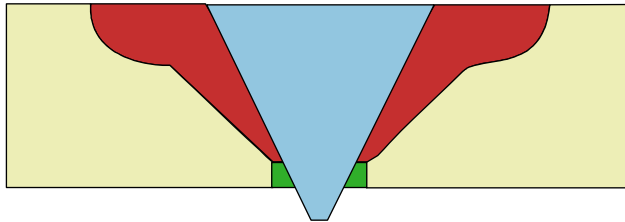


- Bei Kraft- und formschlüssigen Systemen können hohe Biegemomente entstehen („biegeweiche“ Düsen = lange Düsen)

► Fehlerursachen beim Punktanschnitt



Anschnitt zu klein

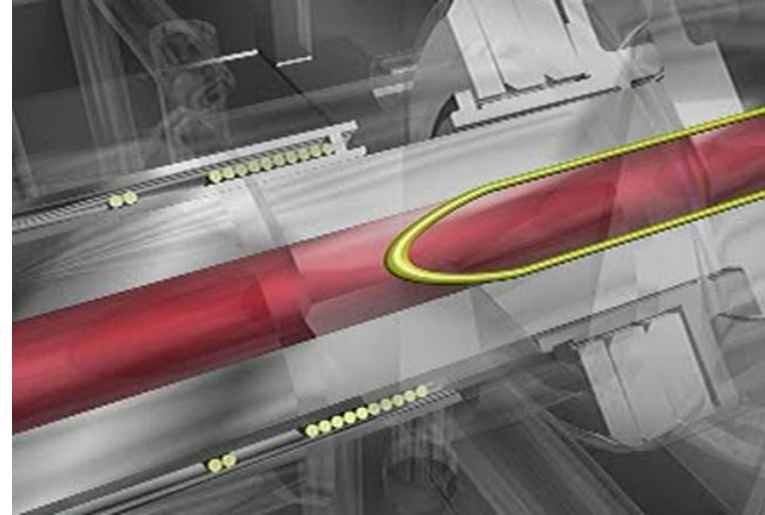


Düsen spitze steht vor, Anschnitt zu klein

► Düse friert ein

► Düsenspitze steht vor, Anschnitt zu klein

- ▶ Dimensionierung der Massekanäle
 - Geringe Scherung
 - Geringe Geschwindigkeit
 - Geringer Druckverlust
 - Lange Verweilzeit

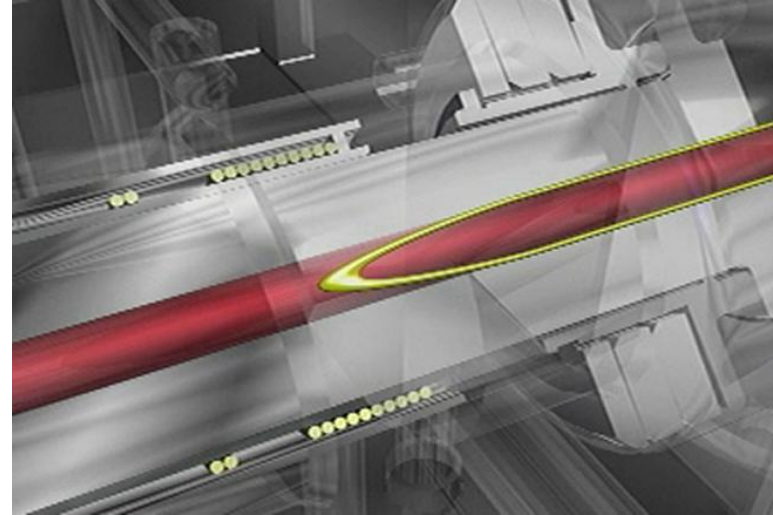


Großer Massekanal

Quelle: Husky

► Dimensionierung der Massekanäle

- Hohe Scherung
- Hohe Geschwindigkeit
- Hoher Druckverlust
- Kurze Verweilzeit
- Schneller Farbwechsel



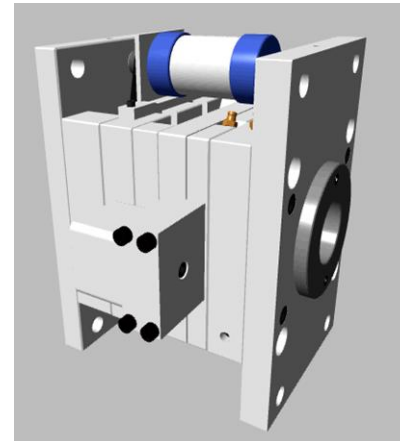
Kleiner Massekanal

Quelle: Husky

Entformungssysteme

► Anforderungen an die Entformung

- Durch die Entformung soll keine optische und geometrische Veränderung am Formteil entstehen
- Möglichst schnell und sicher

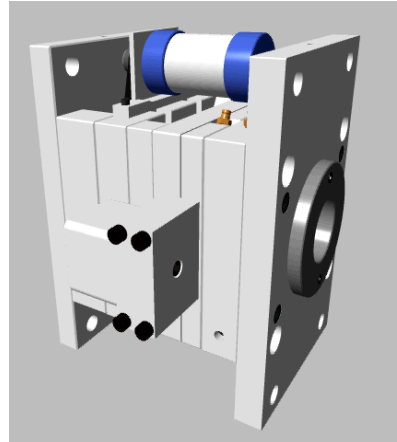


Quelle: IMTEC

Mechanische
Dimensionierung

Entformungsablauf

Werkzeugbelüftung



Entformungs-
schrägen

Werkzeugtemperierung

Kaltkanalgestaltung

Quelle: IMTEC

Konstruktive
Gestaltung



Fließweg-
Wanddicken
Verhältnis

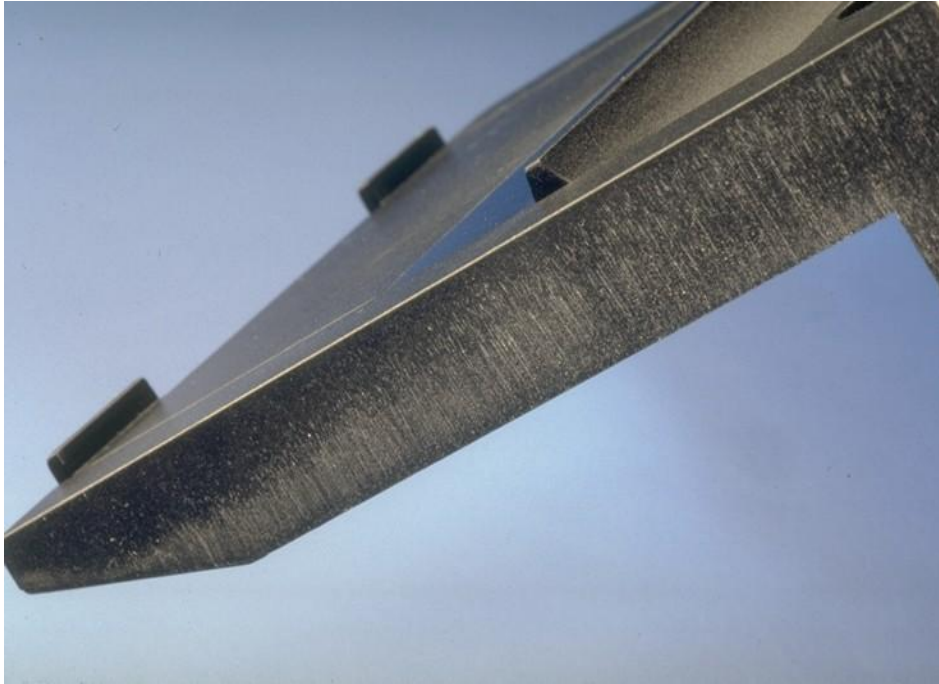
dünnwandige
Rippen angussnah

Oberflächenqualität

► Einflussgrößen auf die Entformung

- Wanddicke
- Oberflächenstruktur
- Formteilgeometrie
- Haftung auf dem Werkzeugkern
- Materialverhalten der Formmasse (Schwindung, Verzug)
- Werkzeugsteifigkeit
- Oberfläche des Werkzeuges in Abhängigkeit vom Kunststoff (Werkzeugbeschichtung)

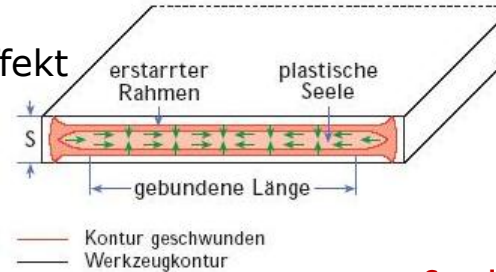
- ▶ Beispiel: Riefen durch zu geringe Entformungsschrägen



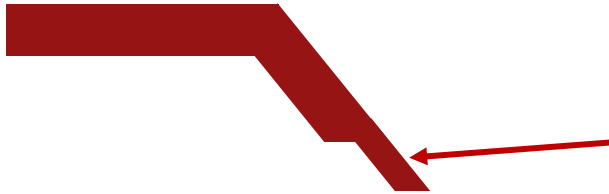
- ▶ Entformungsschrägen strukturloser Werkzeugoberflächen
 - Allgemein zwischen $0,5^\circ$ und 2° bei Formteilhöhen bis ~ 30 mm
 - Bei verstärkten oder gefüllten Formmassen nicht unter $0,75^\circ$
 - Komplizierte Formteilgestaltung oder tiefer Aushub erfordert größere Konizitäten
 - Allgemein können kleinere Schrägen bei teilkristallinen Form-massen im Vergleich zu amorphen Thermoplasten verwendet werden
 - TPE`s erfordern häufig größere Entformungsschrägen
 - Literaturangaben: Formteil bis 5° , Anguss bis 10°

- ▶ Beispiel: Riefen durch zu geringe Entformungsschrägen im Bereich der Trennebene durch Wanddickensprung
 - Wanddickensprünge, z.B. bedingt durch Fügekante
 - Hundeknocheneffekt
 - Zu geringe Entformungsschrägen

Hundeknocheneffekt



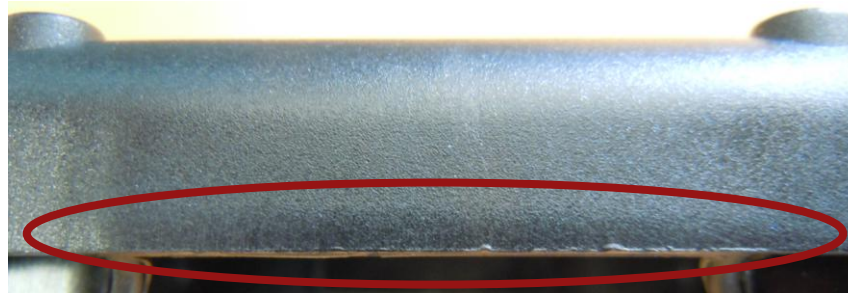
Copyright Bayer
MaterialScience AG



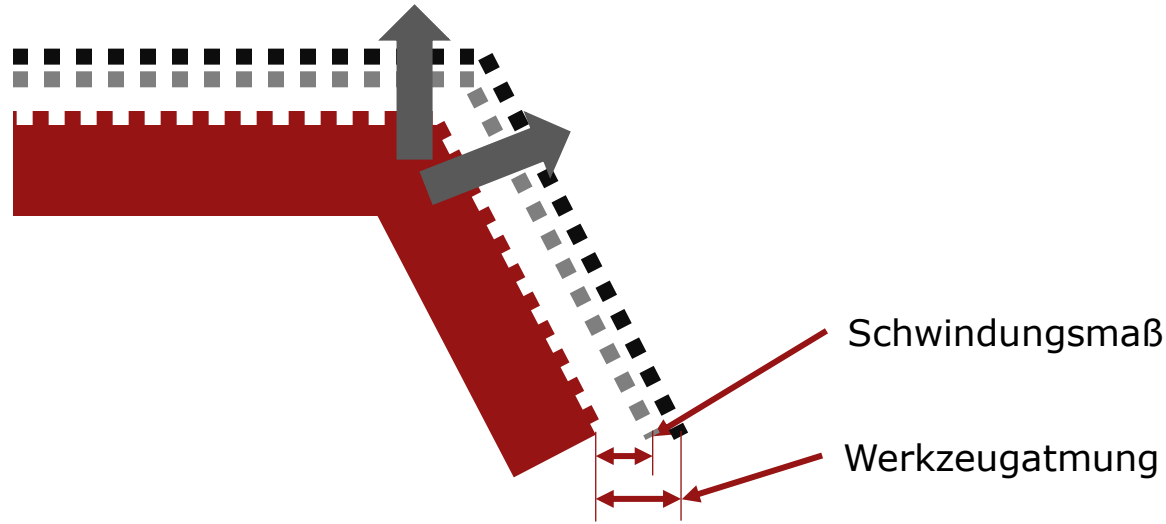
Auszugsmarkierungen im
dünnwandigen Bereich

Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

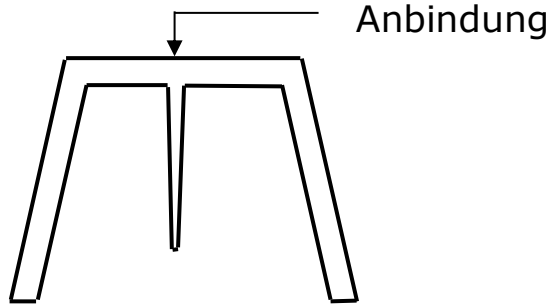
- ▶ Beispiel: Riefen durch zu geringe Entformungsschrägen im Bereich der Trennebene



- ▶ Beispiel: Entformungsriefen durch seitliche Gesenkaufweitung
 - Seitliche Verformung ist größer als die Materialschwundung in Richtung der Wanddicke ($f > SD$)
=> Formteil wird eingeklemmt



- ▶ Beispiel: Weißbruch im Bereich der Auswerfer
 - Zu frühe bzw. zu späte Entformung

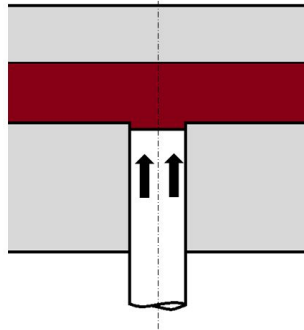


- Zu hohe Entformungskräfte
- Zu geringe Auswerferflächen
- Werkzeugsteifigkeit zu gering (zu große Durchbiegung)

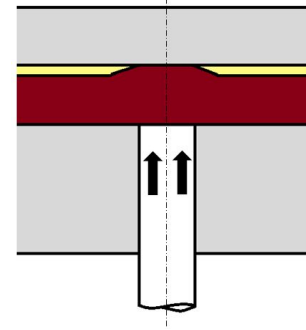
- ▶ Beispiel: Weißbruch im Bereich der Auswerfer



- ▶ Beispiel: Glanzunterschiede im Bereich von Auswerfern und Schiebern
 - Schlecht eingepasste Auswerfer (Auswerfer stehen vor oder zurück => Wanddickensprünge)
 - Stauchung der Auswerfer / Schieber (-abstützung, -auflage)
 - Werkzeugsteifigkeit zu gering (zu große Durchbiegung)
 - Thermische Ursachen



Auswerfer gestaucht durch
den Forminnendruck p_i



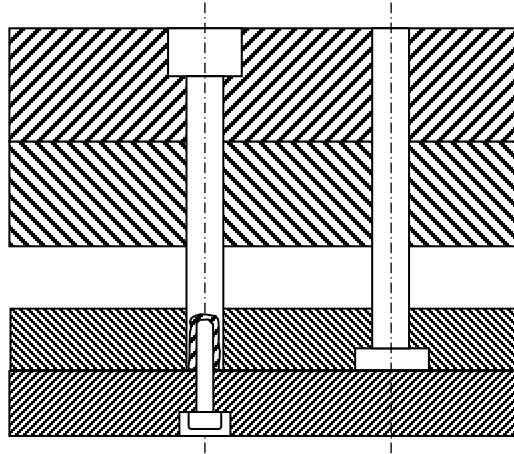
Auswerfer entlastet bei $p_i = 0$

- ▶ Beispiel: Glanzunterschiede im Bereich von Auswerfern



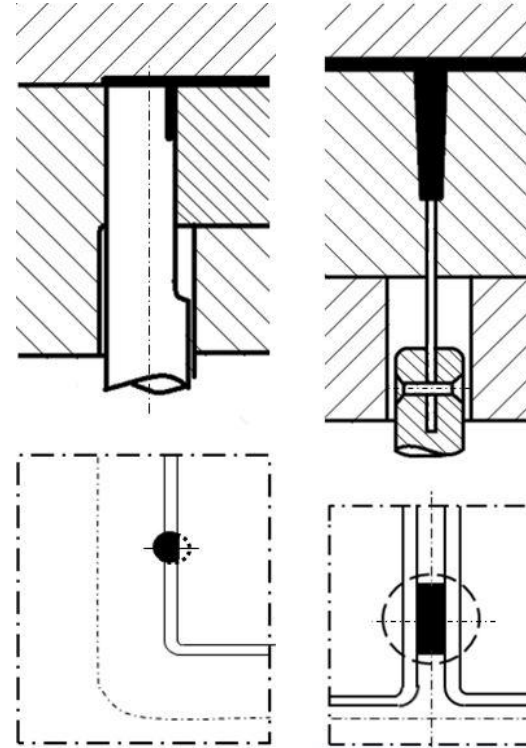
► Abhilfe

- Reduzierung der stauchbaren Auswerfer- und Schieberlänge
- Bessere Abstützung von Schiebern und exaktes Anpassen von Kontaktflächen (Tuschierbild)

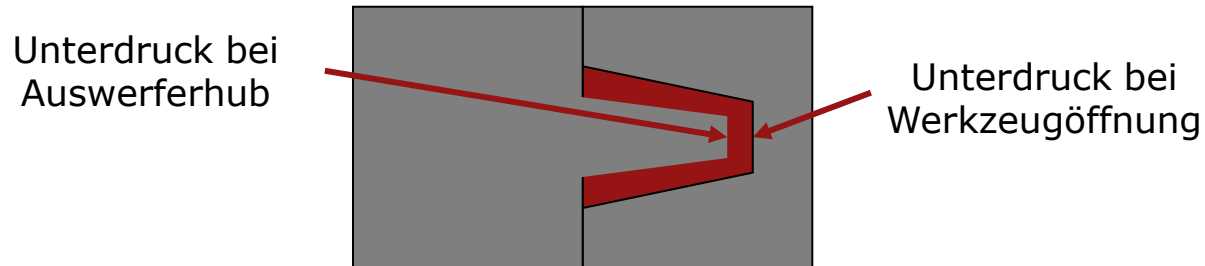


Rechts: Lange Stauchlänge des Auswerfers
Links: Reduzierung der Stauchlänge

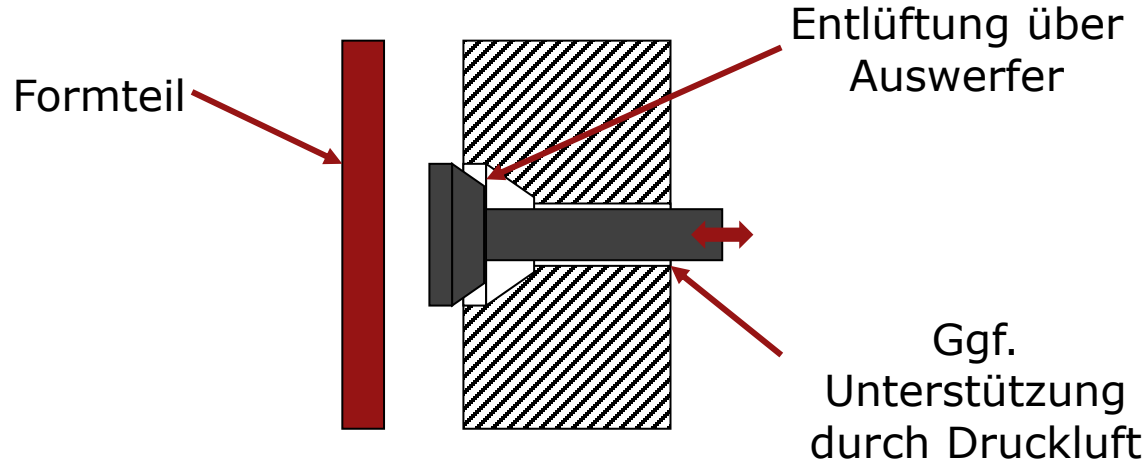
- ▶ Auswerfergestaltung im Bereich von Rippen
 - Aufgrund der Längsschwindung der Rippe (Bsp. d) kann evtl. nur die Grundfläche die Kraft aufnehmen
 - Im Beispiel rechts wird die Kraft in die Rippe eingeleitet



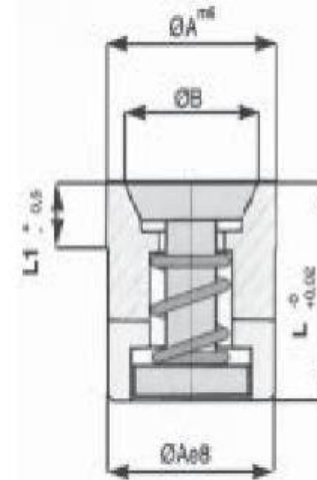
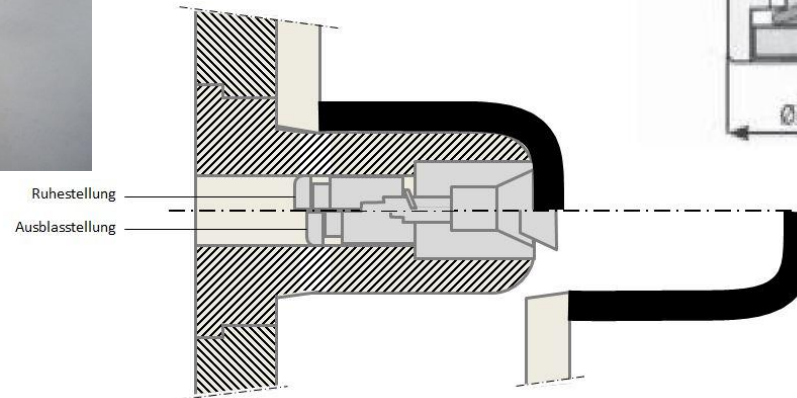
- ▶ Beispiel: Schlechte Entformung bei becherförmigen Artikeln
 - Bei der Werkzeugöffnungsbewegung kann ein Vakuum im Gesenk entstehen (besonders bei polierten Oberflächen)
 - Beim Auswerfen kann ein Vakuum auf der Kernseite entstehen
 - 1 bar Druckdifferenz entspricht 10 N/cm^2



- ▶ Ent- bzw. Belüftung
 - Luftstifte für Vakuum-Druckluftventile

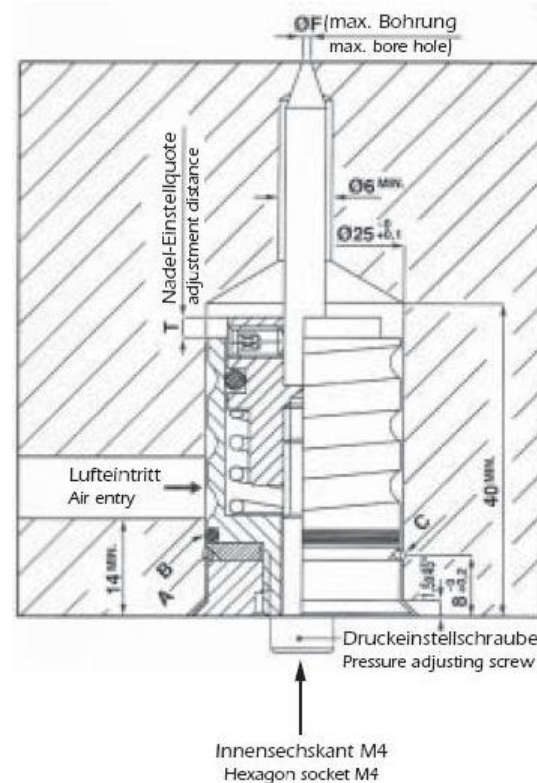
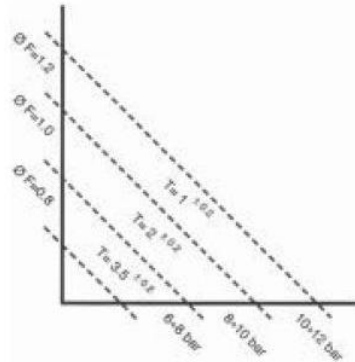


- Ent- bzw. Belüftung
 - Vakuum-Druckluftventile

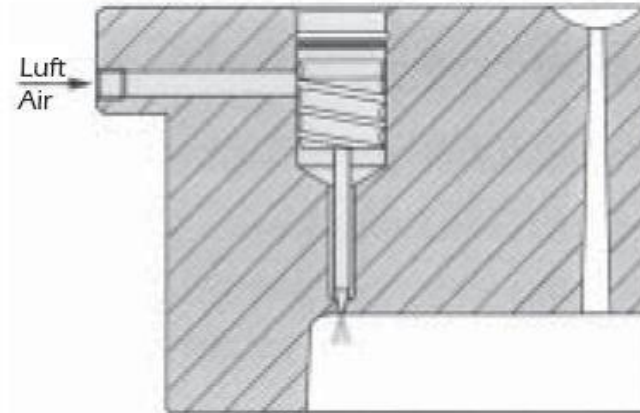


► Ent- bzw. Belüftung

- Ventil mit Nadel
 - Bohrungsdurchmesser ca. 0,8 bis 1,2 mm
 - Bohrungsdurchmesser wird in Abhängigkeit vom Luftdruck ausgewählt



- ▶ Ent- bzw. Belüftung
 - Ventil mit Nadel
 - Ideal für ästhetische Oberflächen



► Zulässige Hinterschneidungen bei Zwangsentformung

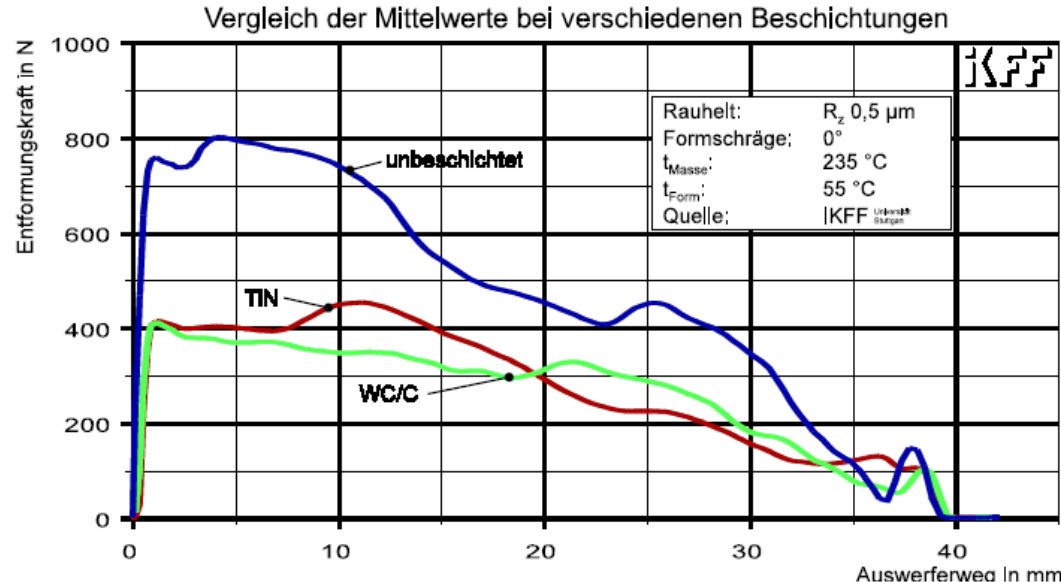
- Kleine Hinterschneidungen können im Bereich der elastischen Dehnung zwangsentformt werden
- Hinterschneidungen verrunden oder abschrägen, um einem Abscheren des Werkstoffes entgegenzuwirken
- Bei sehr schneller Entformung kann die mögliche Hinterschneidung bis zum 10fachen über den genannten Werten liegen

Werkstoff	Dehnung [%]
ABS	< 1,5
PA	< 2
PC	< 1
PE	< 3
PE-HD	< 3
PE-LD	< 5
POM	< 2
PP	< 2
PS	< 0,5
PS schlagzäh	< 1
PVC hart	< 1
PVC weich	< 10

Quelle: Kunststoff-Institut Lüdenschied

► Verringerung der Adhäsionskraft durch „geeignete“ Beschichtung

- Einfluss der Werkzeugbeschichtung bei PP
(hülsenförmiges Teil, D = 20mm, Länge = 40 mm)

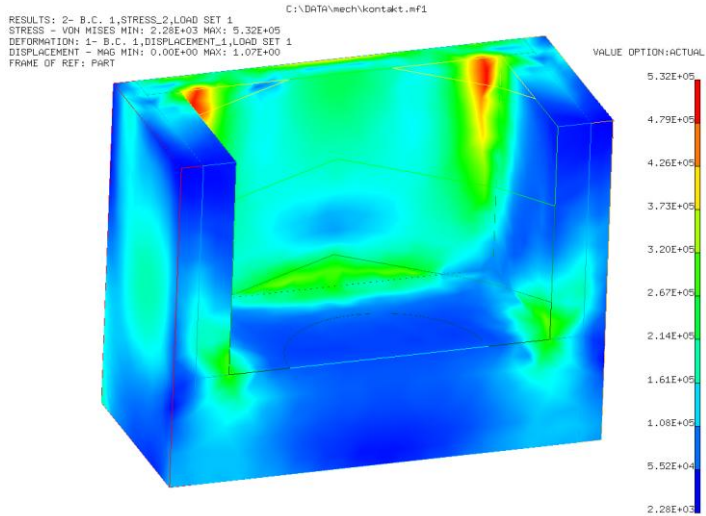


Quelle: IKFF Stuttgart

Mechanische Werkzeugauslegung

Notwendigkeit

- ▶ Steigende Ansprüche an die Oberflächenqualität von Formteilen (keine Einfallstellen etc.)
- ▶ Kostenreduzierung durch Waddickenverringern und somit steigendem Spritzdruck bzw. Werkzeugbelastung
- ▶ Werkzeugeinbaumaße sind durch die Produktionsmaschinen eingeschränkt
- ▶ Großer Maschinendurchbruch
- ▶ Weiche Maschinenaufspannplatten
- ▶ Zu große schwellende Belastung kann zu Rissen führen

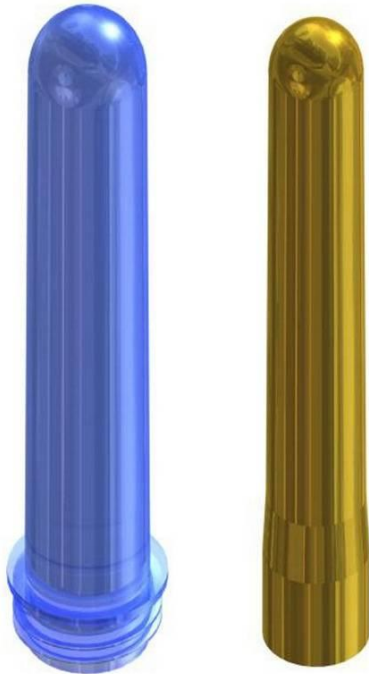


- Finite-Elemente-Berechnung
 - Nastran
 - Abaqus



- Zweidimensionale Berechnung
 - Moldmech

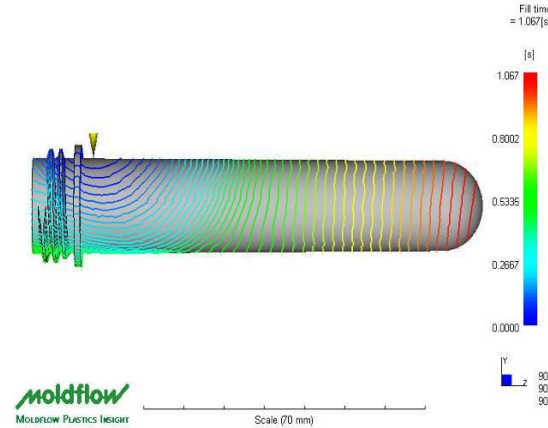
- ▶ Simulation und Berechnung des Kernversatzes mit MOLDFLOW® MPI 6.0.



- ▶ Material: PC Lexan 4701R
- ▶ Wanddicke: $s = 2\text{mm}$
- ▶ Massetemperatur: $T_M = 360^\circ\text{C}$
- ▶ Wandtemperatur: $T_W = 100^\circ\text{C}$
- ▶ Einspritzzeit: $t_E = 1,0\text{ s}$
- ▶ Kühlzeit: $t_K = 25\text{ s}$
- ▶ Nachdruck: $P_N = 80\% \text{ Fülldruck}$
- ▶ Nachdruckzeit: $t_N = 10\text{ s}$

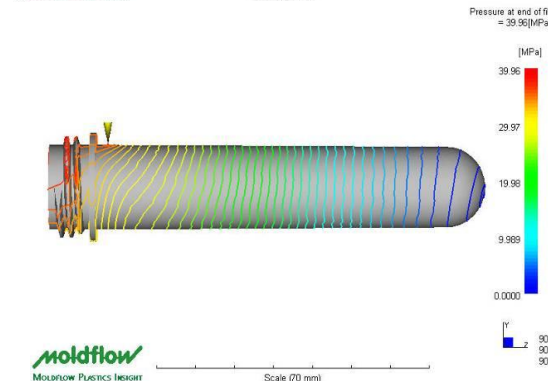
► Aus der Simulationsrechnung
berechneter Füllverlauf

- Füllzeit: 1,07 Sekunden



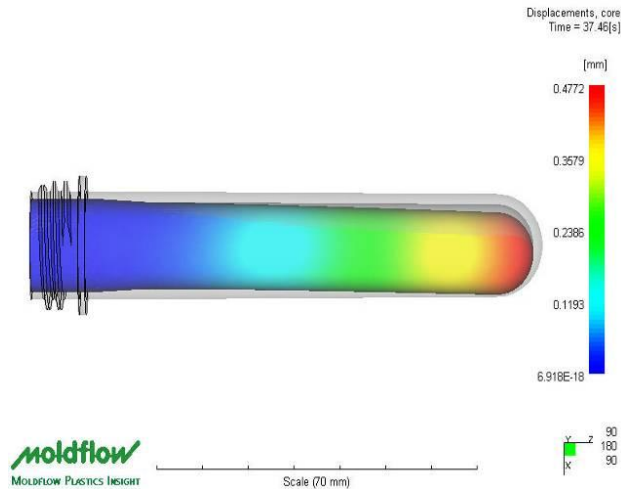
► Aus der Simulationsrechnung
berechneter Druckverlauf

- Druck: 400 bar



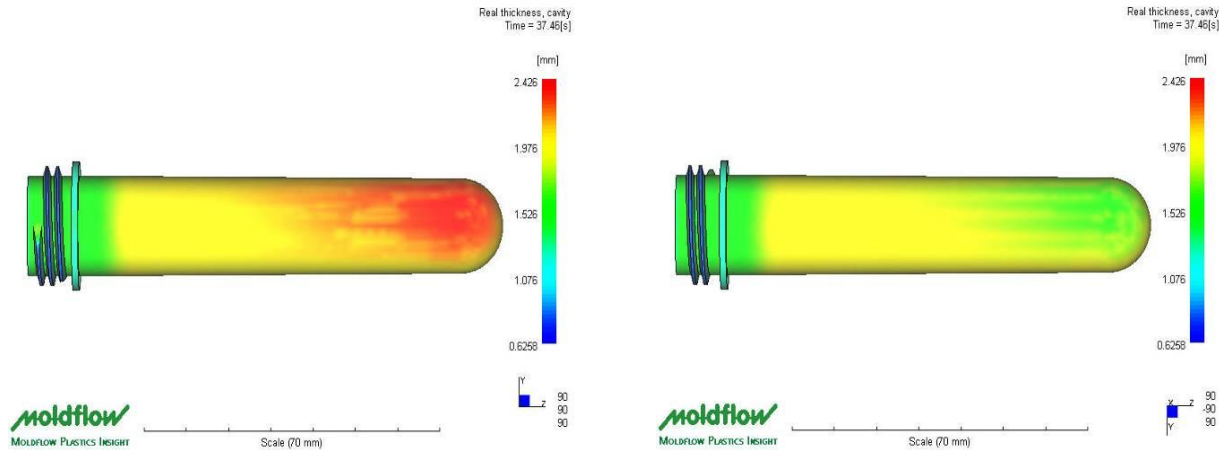
► Aus der Simulationsrechnung berechneter maximaler Kernversatz

• **0,4772 mm**



► Aus der Simulationsrechnung berechnete reale Wanddickenverteilung

- Unterseite= 1,6 mm
- Oberseite= 2,4 mm



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Matthias Korres, B.Eng.
+49 (0) 23 51.10 64 - 174
korres@kimw.de

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