

Seminar: Lesen von Simulationsergebnissen

Rheologie (Füllsimulation)



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED

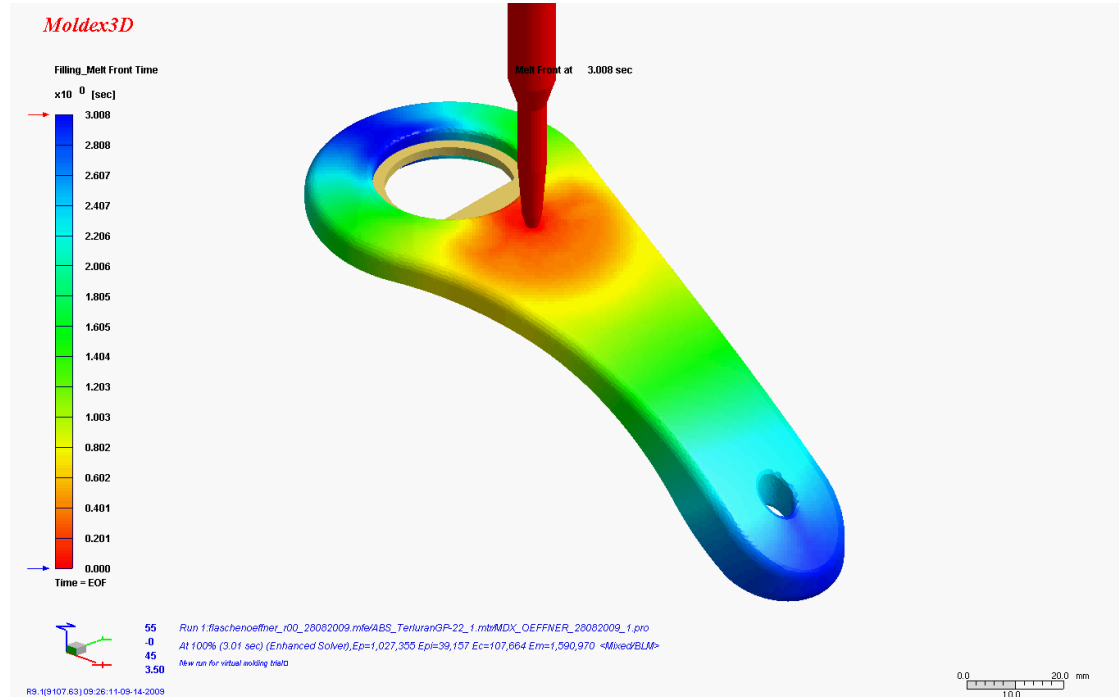


Bevor eine Füllsimulation an einem/mehreren Formteilen durchgeführt wird, sollten zunächst wichtige Randbedingungen, wie z.B. die kunststoffgerechte Formteilgestaltung festgelegt werden:

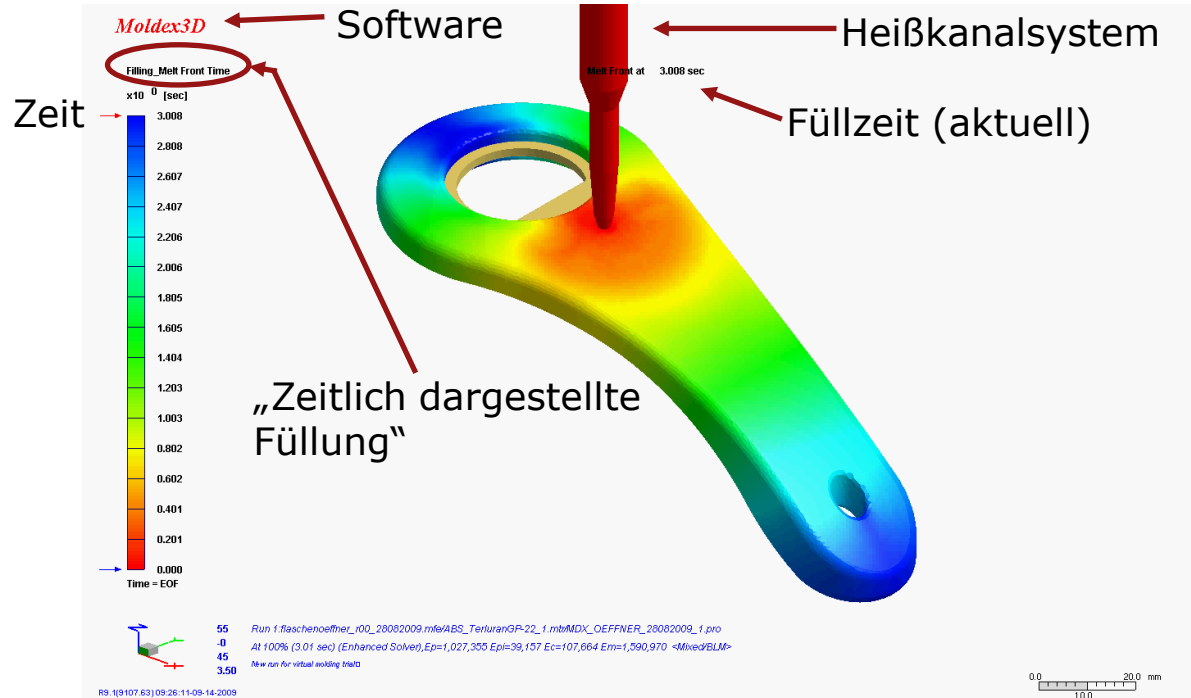
- ▶ Wanddicke so dünn wie möglich
- ▶ Masseanhäufungen vermeiden / Gleichmäßige Wanddicken
- ▶ Ecken und Kanten mit Radien versehen
- ▶ Mit Verrippungen statt mit Wanddickenerhöhungen konstruieren
- ▶ Ebene Flächen vermeiden
- ▶ Entformungsgerecht gestalten, Entformungsschrägen beachten

- ▶ Durchbrüche / Hinterschneidungen wenn möglich vermeiden
- ▶ Position des Angusses bei der Formteilgestaltung beachten
- ▶ Bindenähte in unkritische Bereiche verlegen
- ▶ Löcher, Auskernungen und Gewinde fertigungsgerecht gestalten
- ▶ Bauteile fügegerecht gestalten

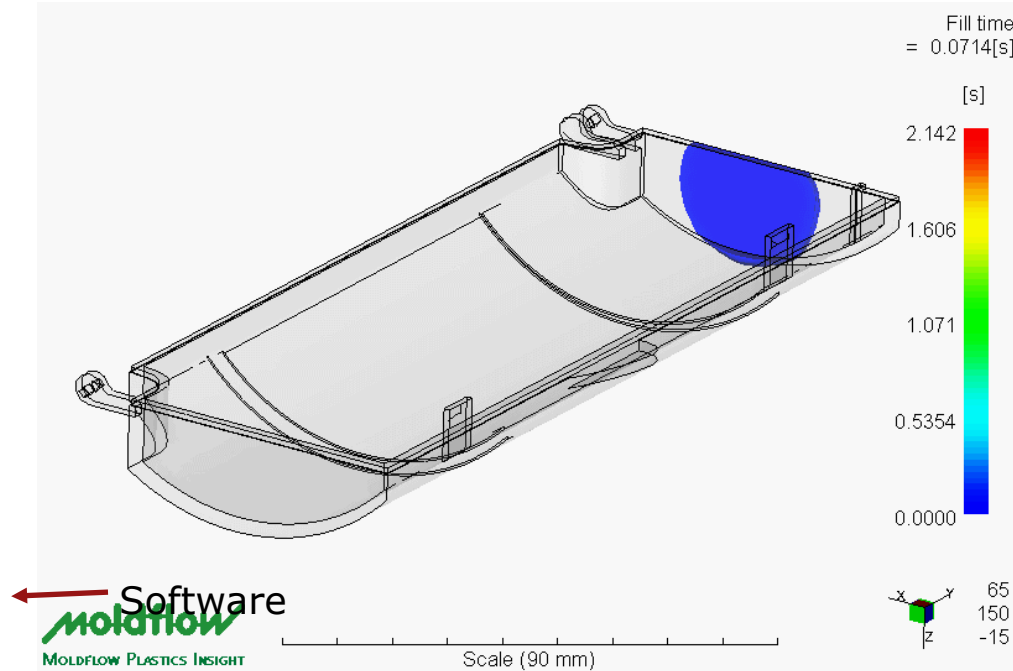
► Beispiel Füllsimulation (Simpatec Moldex 3D)



► Beispiel Füllsimulation (Simpatec Moldex 3D)



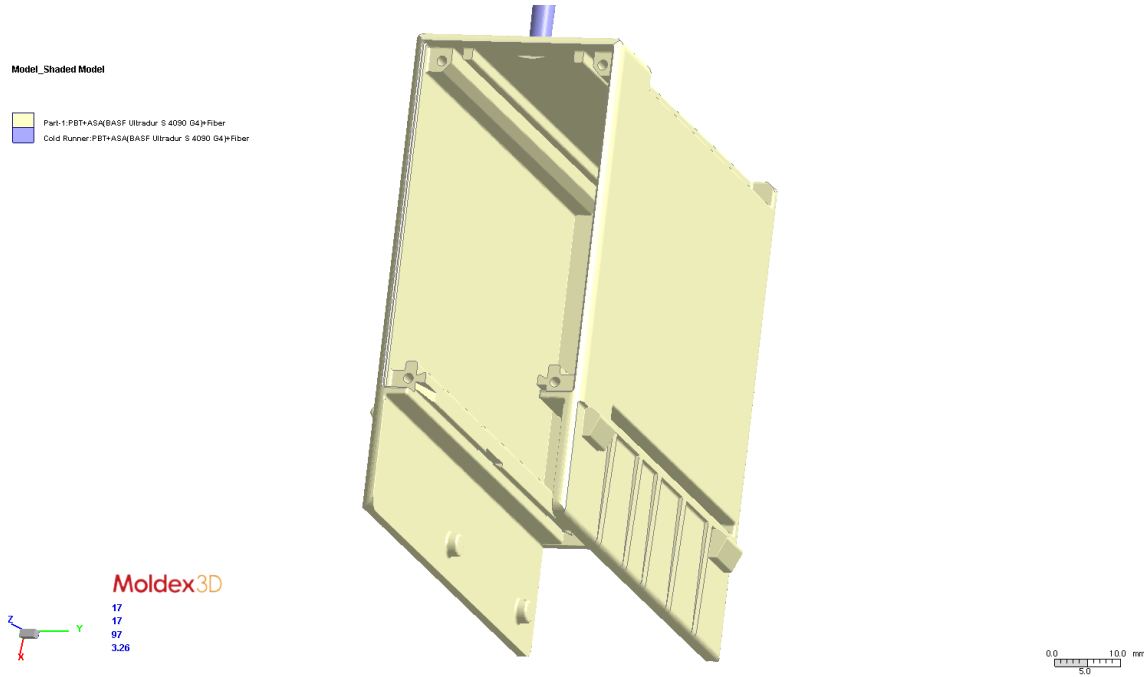
► Beispiel Füllsimulation (Autodesk Moldflow®)



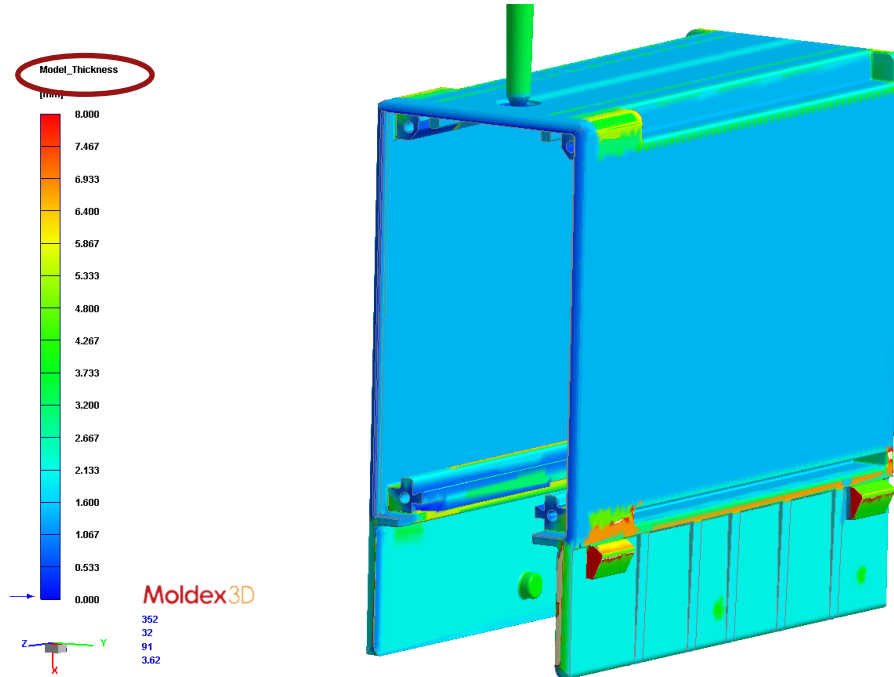
Füllzeit (aktuell)

Gesamtfüllzeit

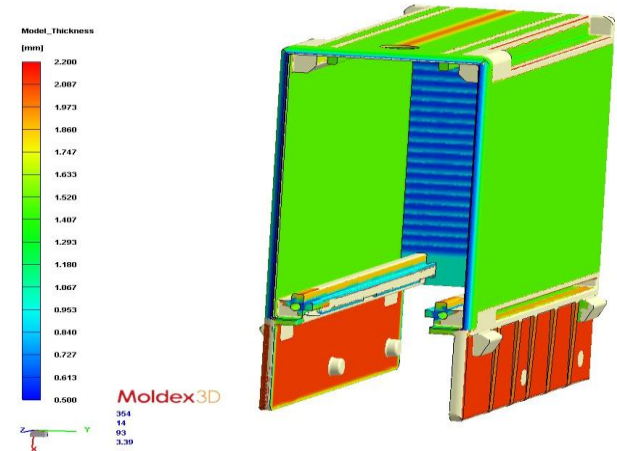
► Beispiel Füllsimulation Anhand eines Relaisgehäuses



► Beispiel Füllsimulation Anhand eines Relaisgehäuses



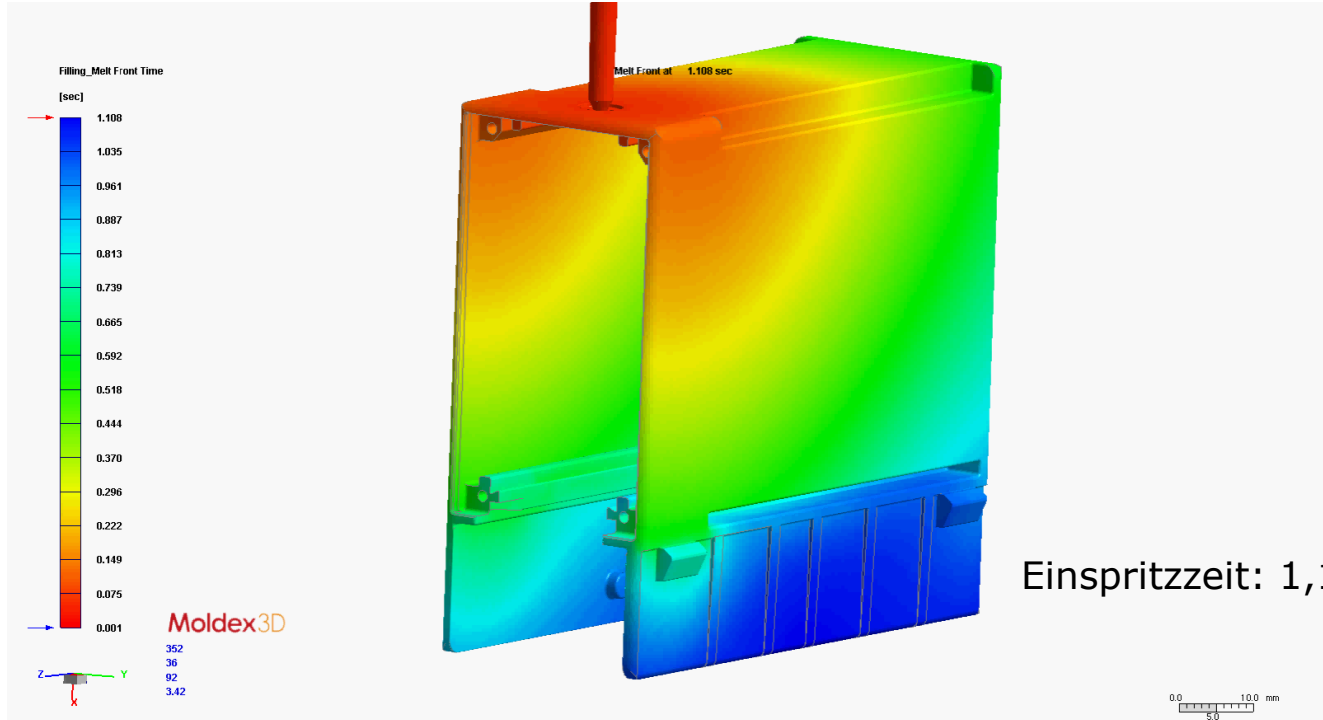
Automatische Skalierung der Wanddickenverteilung von „blau“ (0 mm) nach „rot“ (8 mm)



Individuelle Skalierung möglich (hier 2,2 mm)

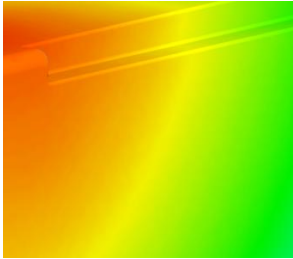
0.0 5.0 10.0 mm

► Beispiel Füllsimulation Anhand eines Relaisgehäuses (animiert)

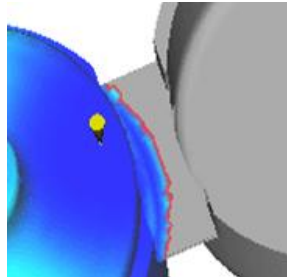
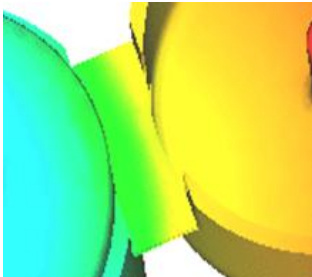


Einspritzzeit: 1,1 Sekunden

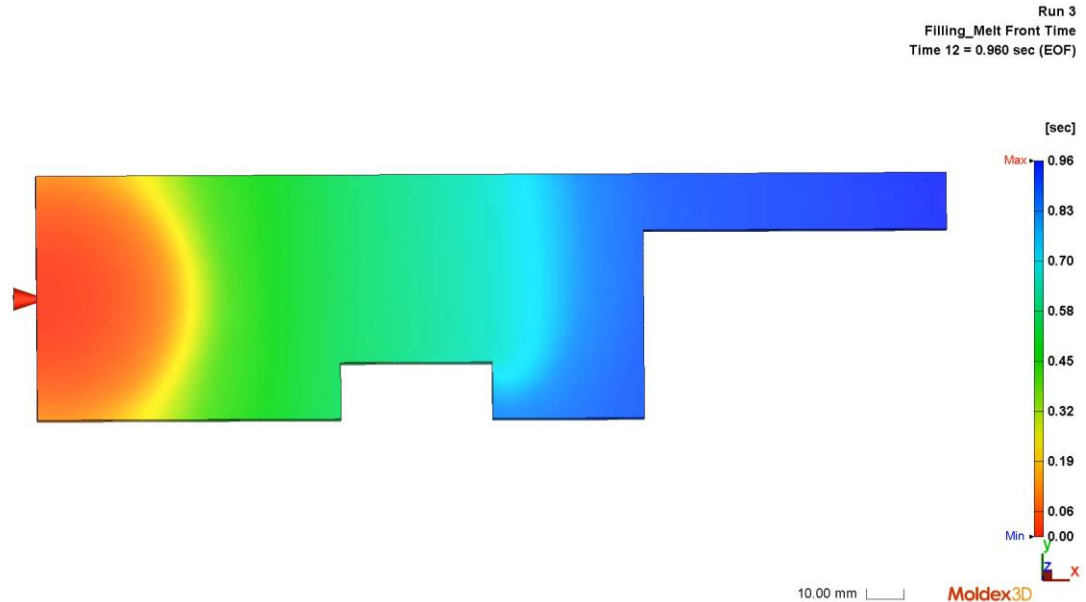
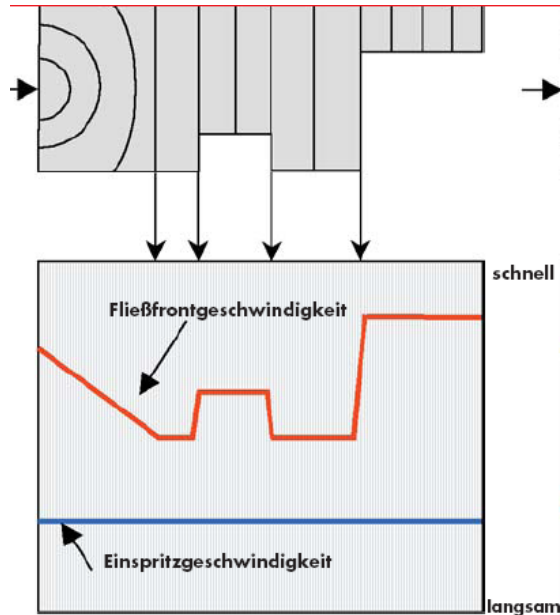
- ▶ Gleichmäßige Farbübergänge zeigen eine zeitlich gleichmäßig fortlaufende Füllung am Formteil an.



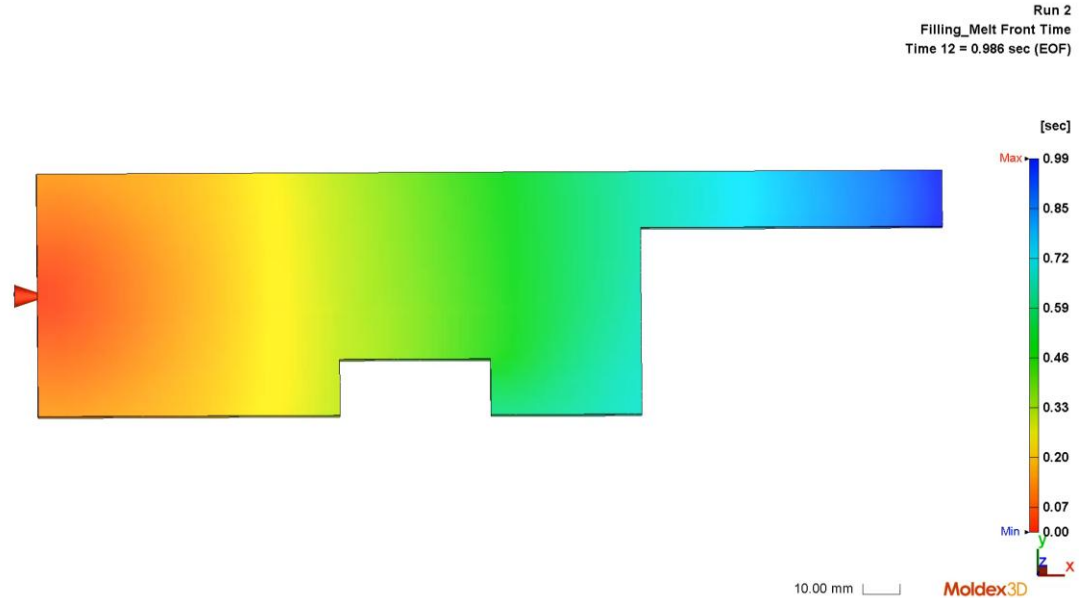
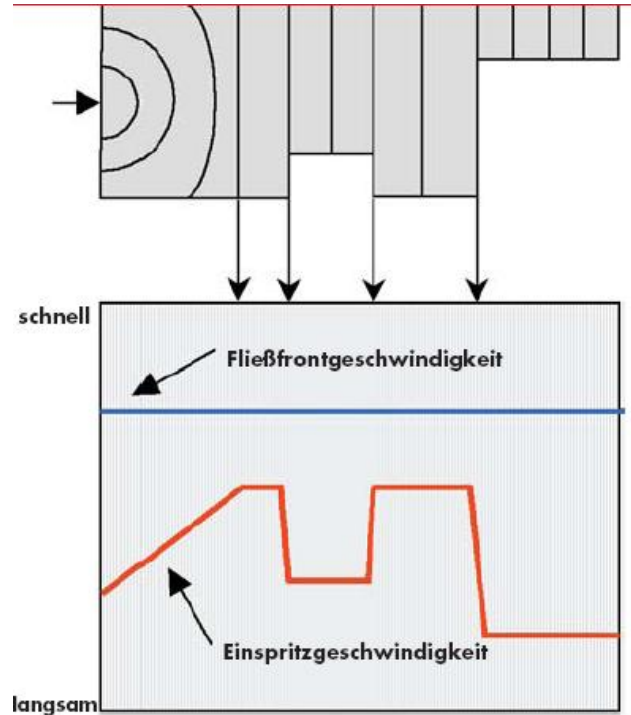
- ▶ Schlagartige Farbübergänge können Differenzen bei der Schmelzfrontgeschwindigkeit darstellen.



► Fließfrontgeschwindigkeit – Eine Einspritzgeschwindigkeit



► Fließfrontgeschwindigkeit – Eine Einspritzgeschwindigkeit

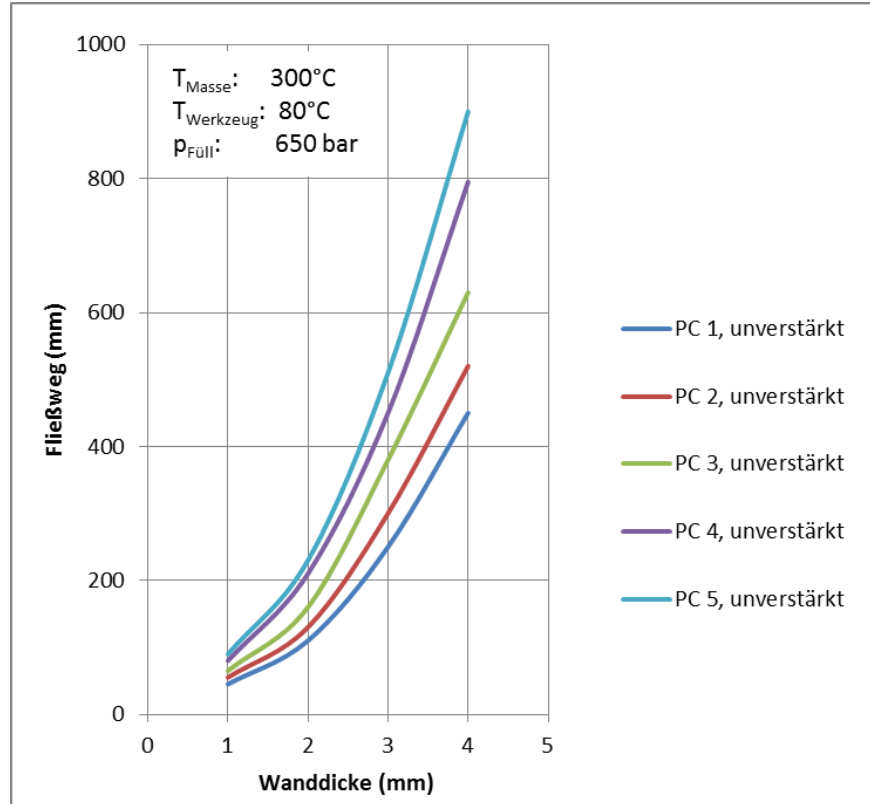


Mit Hilfe des Fließweg/Wanddicken-Verhältnisses kann die Füllbarkeit eines Bauteiles abgeschätzt werden

- ▶ Einflussgrößen auf das erreichbare Fließweg/Wanddicken-Verhältnis sind
 - Die Maschine (verfügbarer Spritzdruck)
 - Formteilgeometrie (Fließwiderstand)
 - Verarbeitungsparameter (Viskosität)
 - Material (Viskosität)

Material	Fließweg bei $s = 2 \text{ mm}$ [mm]
HDPE	200-600
LDPE	550-600
EVA	320
PP	250-700
PP GF20	500
PC	300-800
PVC hart	160-250
PVC weich	150-500
PVDF	200-500
PS	200-500
ABS	320
ABS GF30	300
SB	200-500

Fließweg/Wanddicken-Verhältnis



Beispiel: Unvollständig gefülltes Bauteil



Fließwegend
e

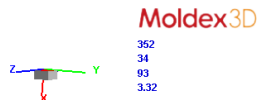
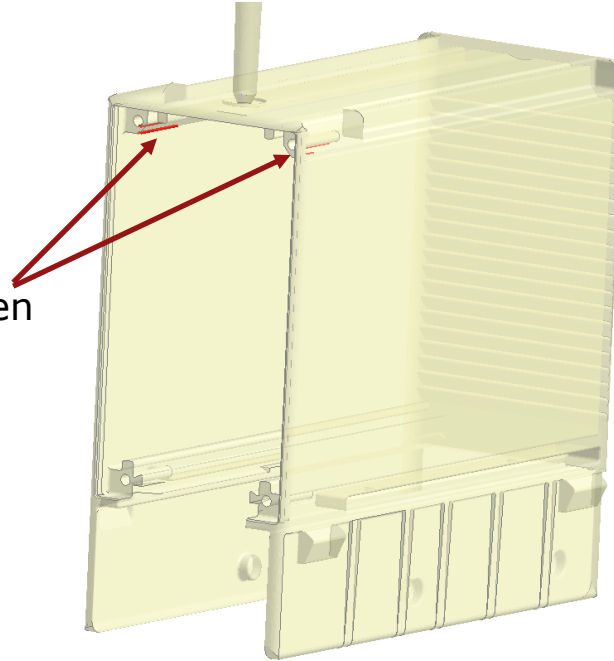


Dünnwandig - anspritznah

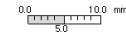
► Bindenahtlage(n)



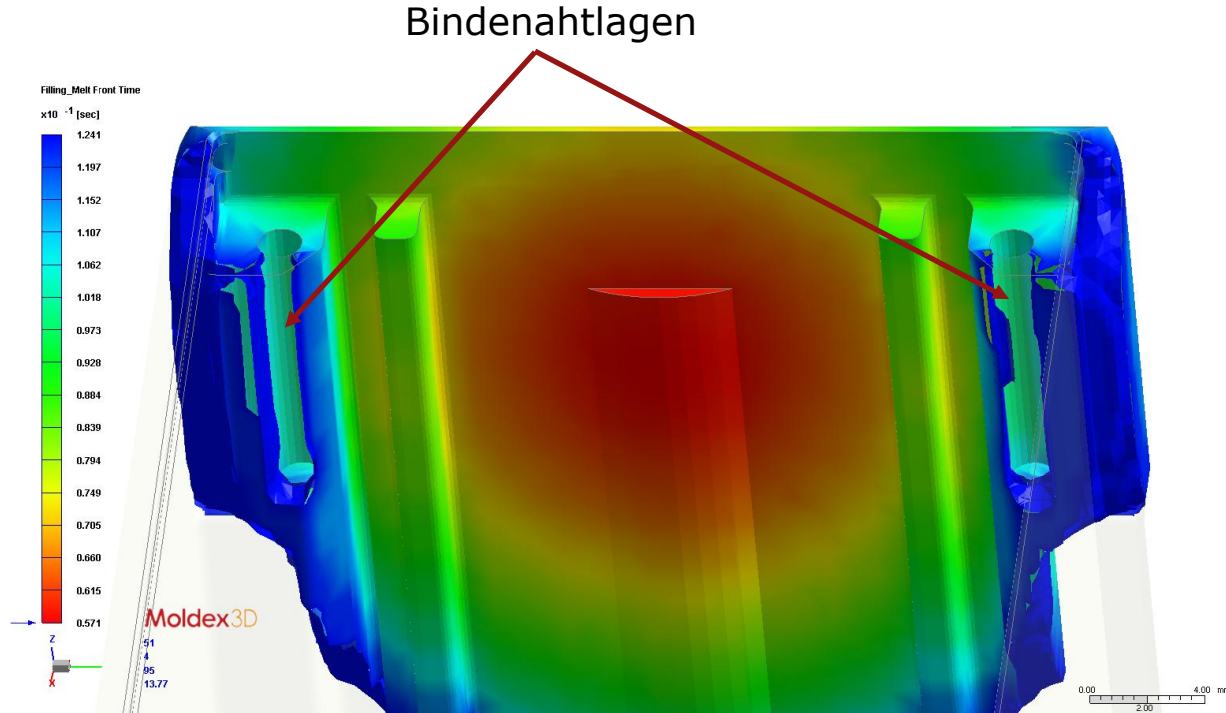
Bindenahtlagen



— Bindenaht



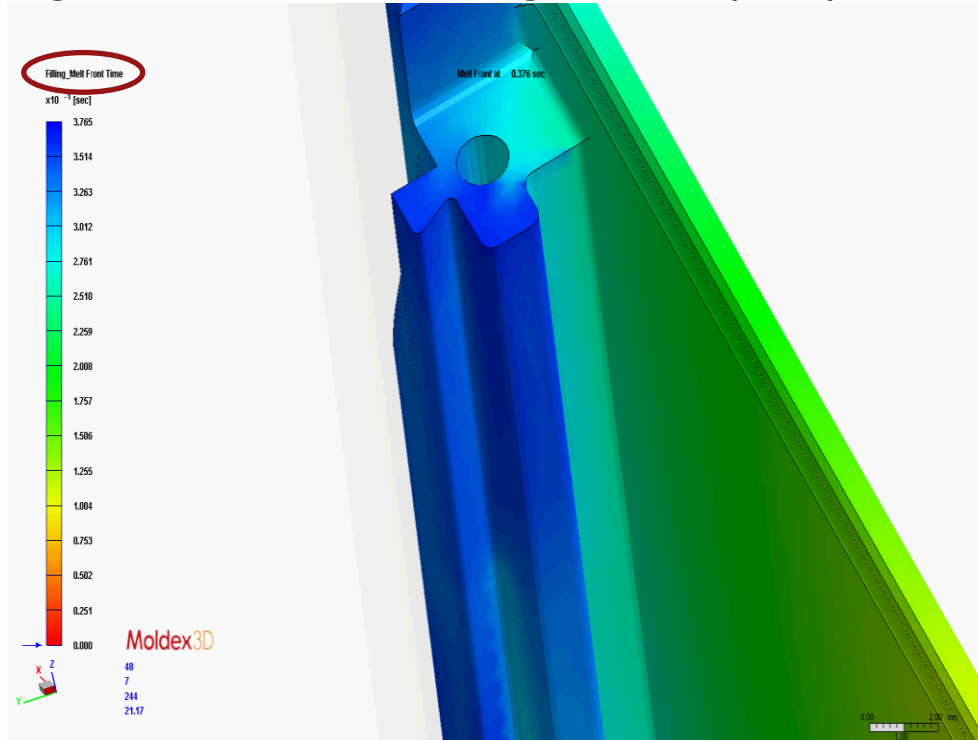
► Bindenahtlage(n)



Bindenahtlagen

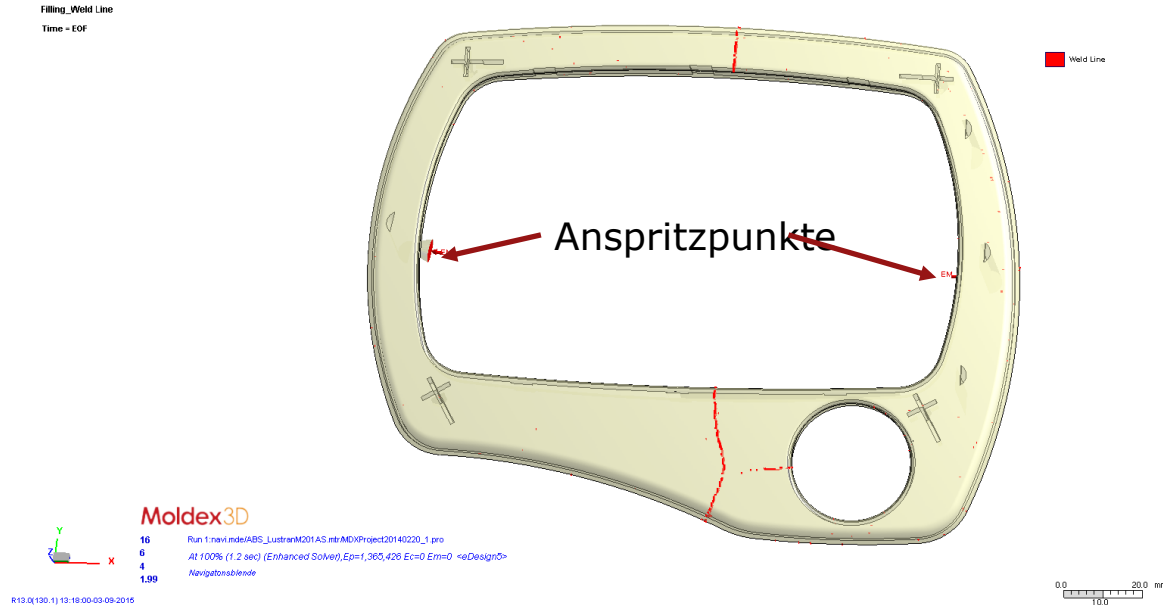


- Optimierungsmöglichkeit: Verschiebung des Anspritzpunktes



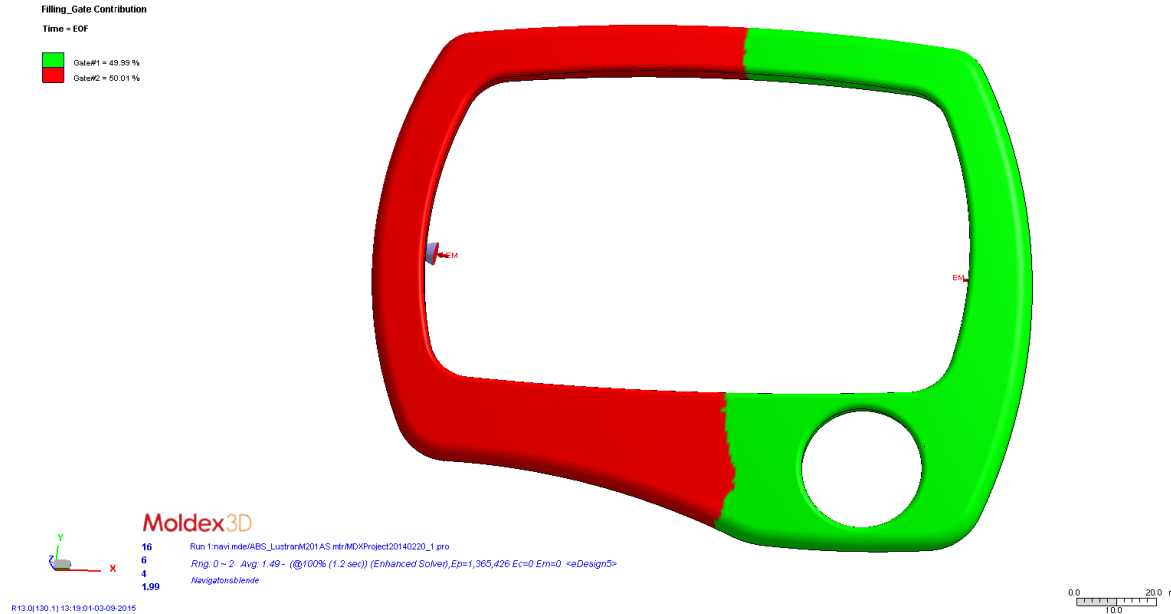
Achtung: Skalierung beachten $3.785 \times 10^{-1} = 0,378$ Sekunden!
Füllverhalten nun von „unten nach oben“ im Schraubdombereich

► Bindenaht: Zusammenfluss durch mehrere Anspritzpunkte



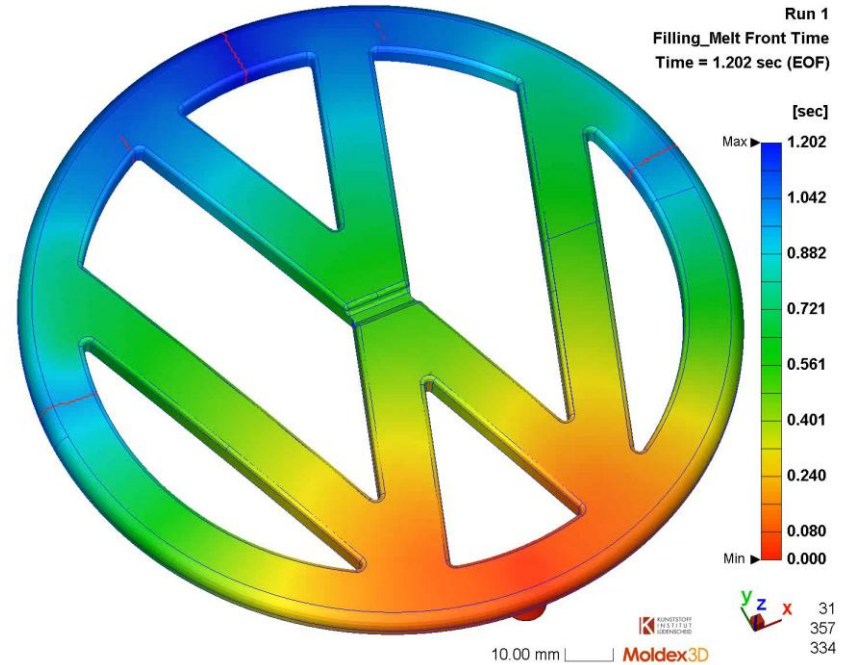
Bindahtpositionen, unter anderem hervorgerufen durch unterschiedliche Anspritzpunkte

► Darstellung der auf die Anspritzpunkte verteilten Schmelzevolumen

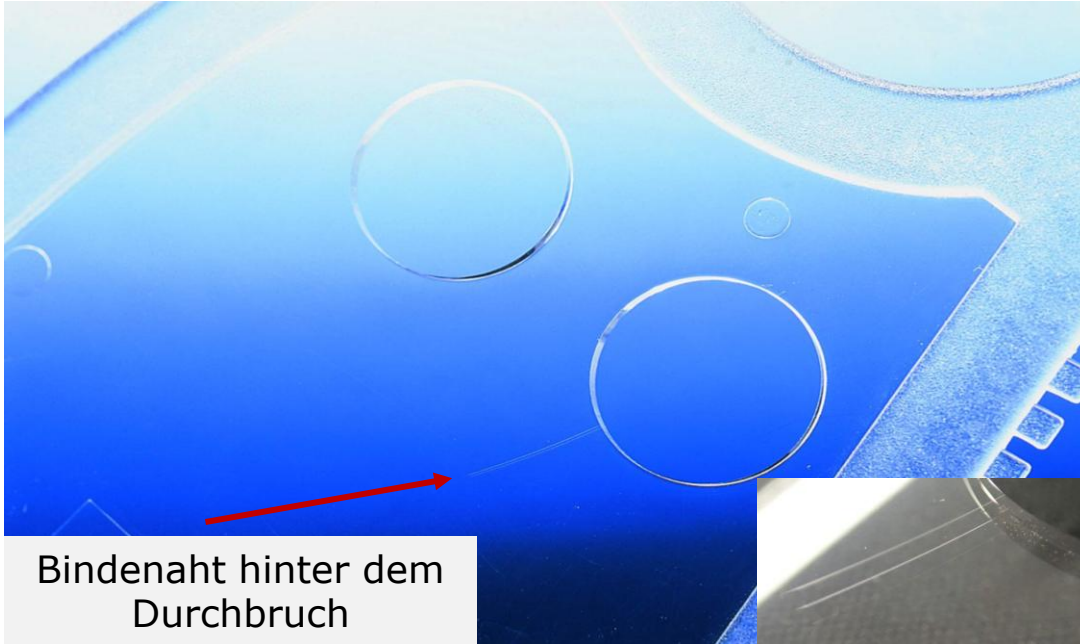


Heißkanal- oder Kaltkanalsysteme beeinflussen auch durch Ihre Querschnitte (3D – Berechnung) die Verteilung des Massevolumens auf die einzelnen Anschnitte.

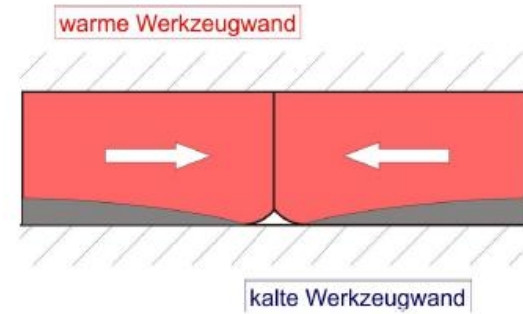
► Beispiel: Bindenaht



► Beispiel: Bindenaht bzw. Fließlinie

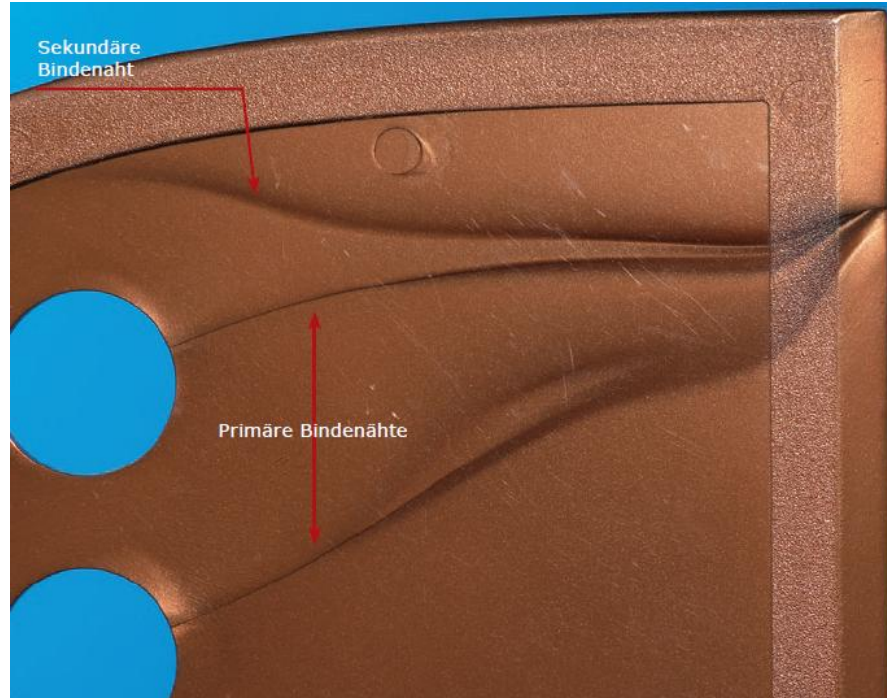


Bindenahtkerben
beidseitig sichtbar



Bindenahtkerbe
Unterseitig sichtbar

- ▶ Beispiel: Farbschliere durch Fließfrontverlauf (sek. Bindenaht)



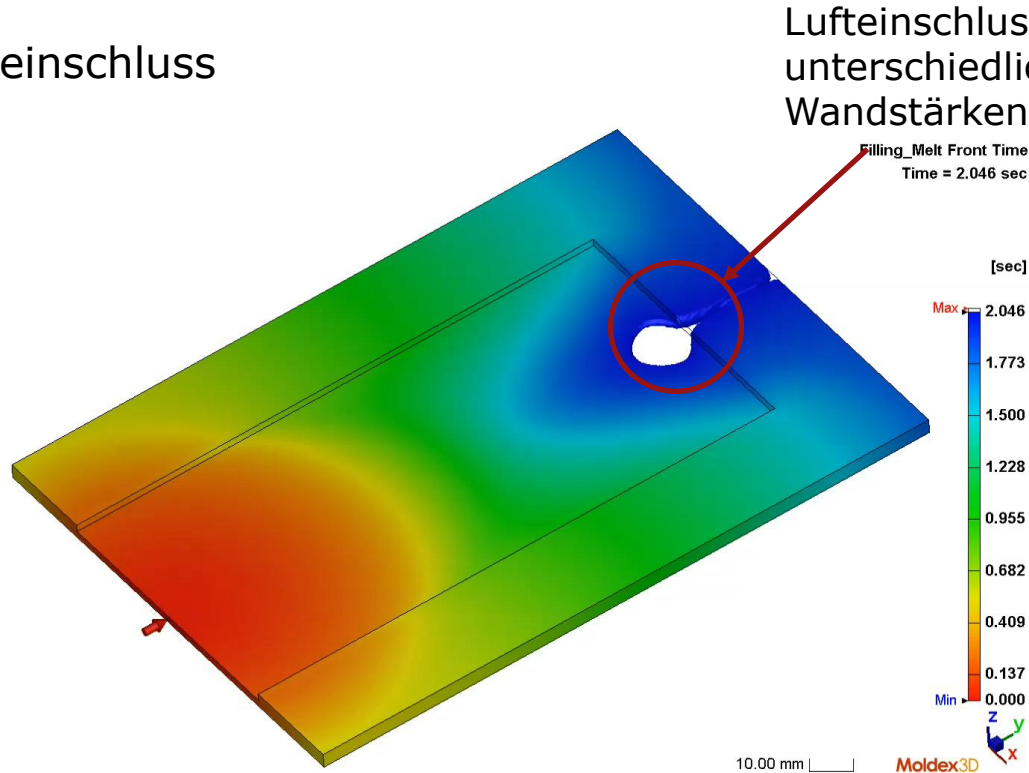
Entlüftungsmöglichkeiten und Konstruktionshinweise zur Werkzeugentlüftung

- ▶ Einsätze (Auswerfer, Kerne, Schieber, etc.)
- ▶ Gestaltungshinweise von Entlüftungsgeometrien (Spalthöhe, -breite, -länge)
- ▶ Flächenpressung, Oberflächenrauheit (erodiert, geätzt)
- ▶ Lamelleneinsätze, Vakuumtechnik
- ▶ Normalien, Laser Entlüftung, Poröse Sintermetalle
- ▶ (Entlüftung über Trennebene / Schließkraftreduzierung)

► Beispiel: Lufteinschluss

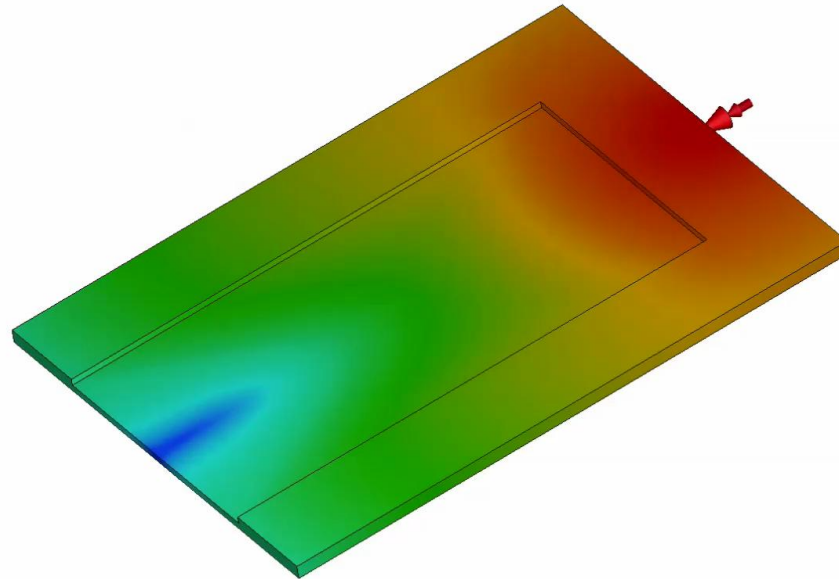


► Beispiel: Lufteinschluss

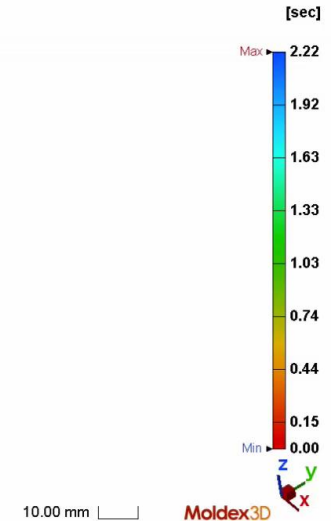


Vermeidung ggf. über Anpassung der Wandstärken.

► Beispiel: Lufteinschluss



Run 2
Filling_Melt Front Time
Time 12 = 2.218 sec (EOF)



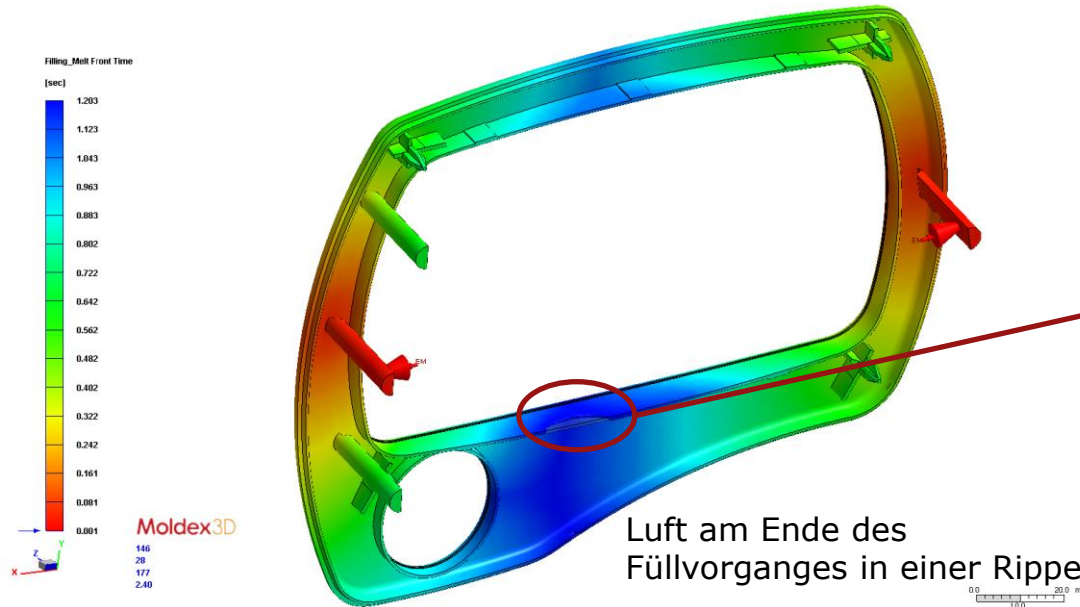
- ▶ Zuletzt gefüllte Formteilbereiche
- ▶ Nicht nur Lufteinschlüsse bilden die Gefahr eines „Diseleffektes“, sondern auch zuletzt gefüllte Formteilbereiche. Diese sollten ebenfalls mit den zuvor beschriebenen Entlüftungsmöglichkeiten versehen werden, um Artikel- und Werkzeugschäden zu vermeiden.



Diseleffekt an zuletzt gefüllten Formteilbereichen

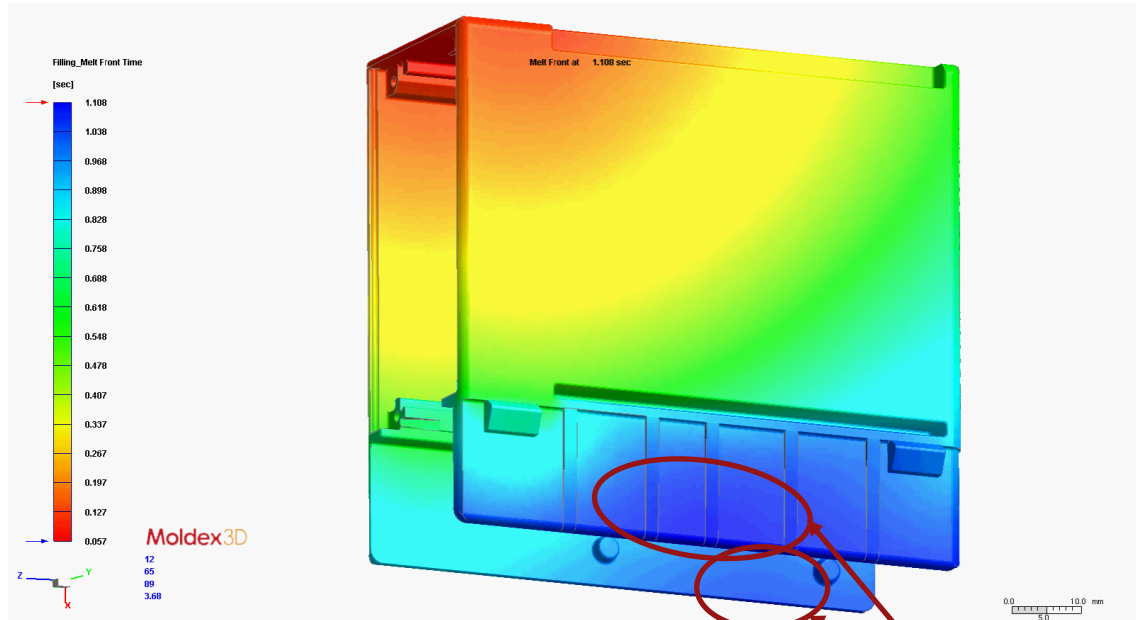
- ▶ Entlüftungsmöglichkeiten und Konstruktionshinweise zur Werkzeugentlüftung
 - ▶ Einsätze (Auswerfer, Kerne, Schieber, etc.)
 - ▶ Gestaltungshinweise von Entlüftungsgeometrien (Spalthöhe, -breite, -länge)
 - ▶ Flächenpressung, Oberflächenrauheit (erodiert, geätzt)
 - ▶ Lamelleneinsätze, Vakuumtechnik
 - ▶ Normalien, Laser Entlüftung, Poröse Sintermetalle
 - ▶ (Entlüftung über Trennebene / Schließkraftreduzierung)

- ▶ Entlüftungsmöglichkeiten und Konstruktionshinweise zur Werkzeugentlüftung
 - ▶ Entlüftung über Trennebene / Schließkraftreduzierung hier nicht möglich!



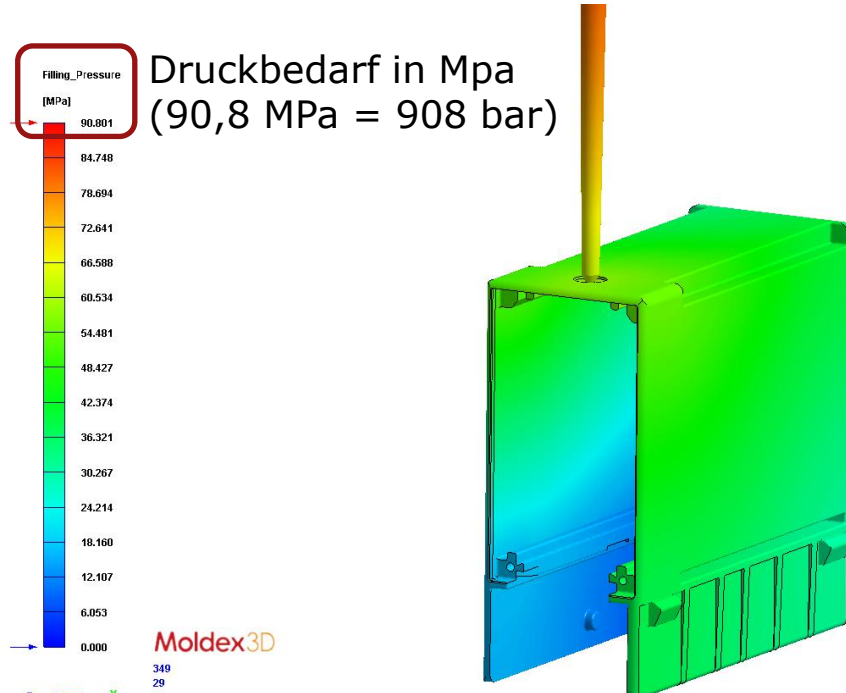
Werkzeugtechnische Entlüftung wegen auswerferseitigem Kühlkanal nachträglich nicht mehr möglich.

► Zuletzt gefüllte Formteilbereiche



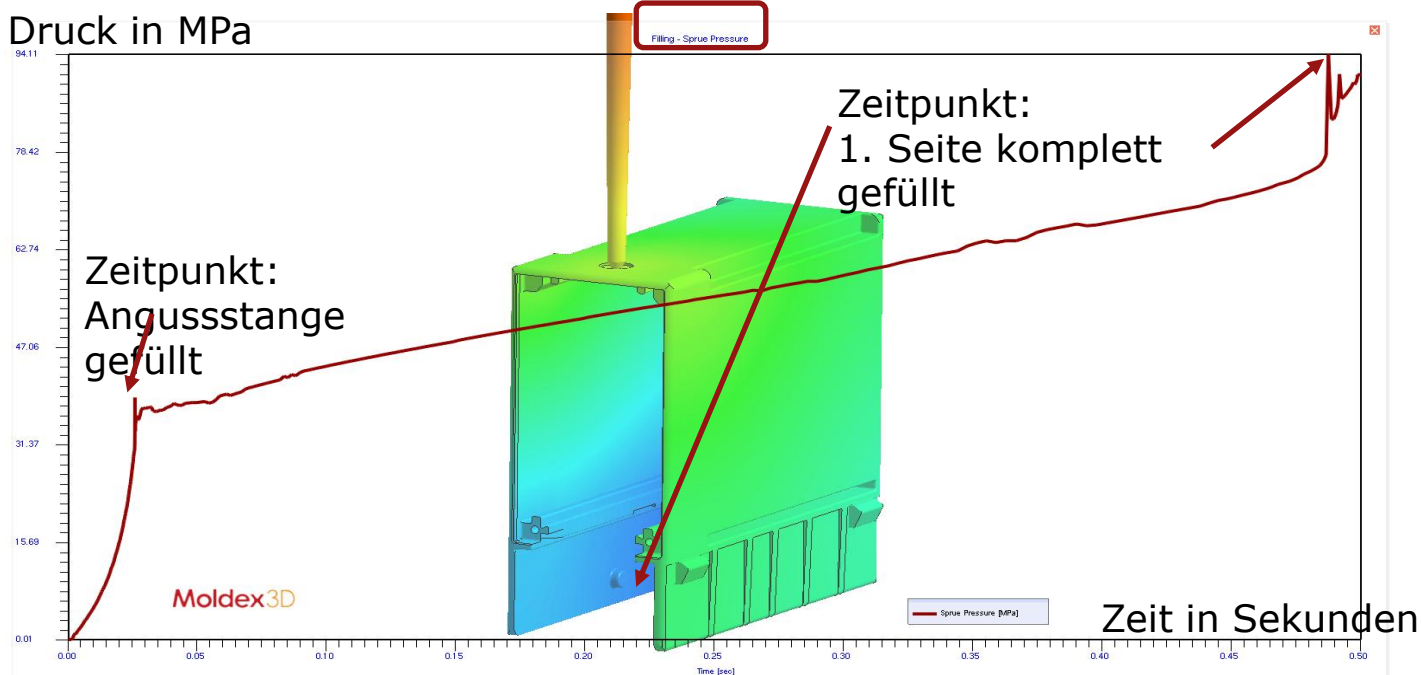
Zuletzt gefüllte
Formteilbereiche

► Druckbedarf am Ende der Füllphase



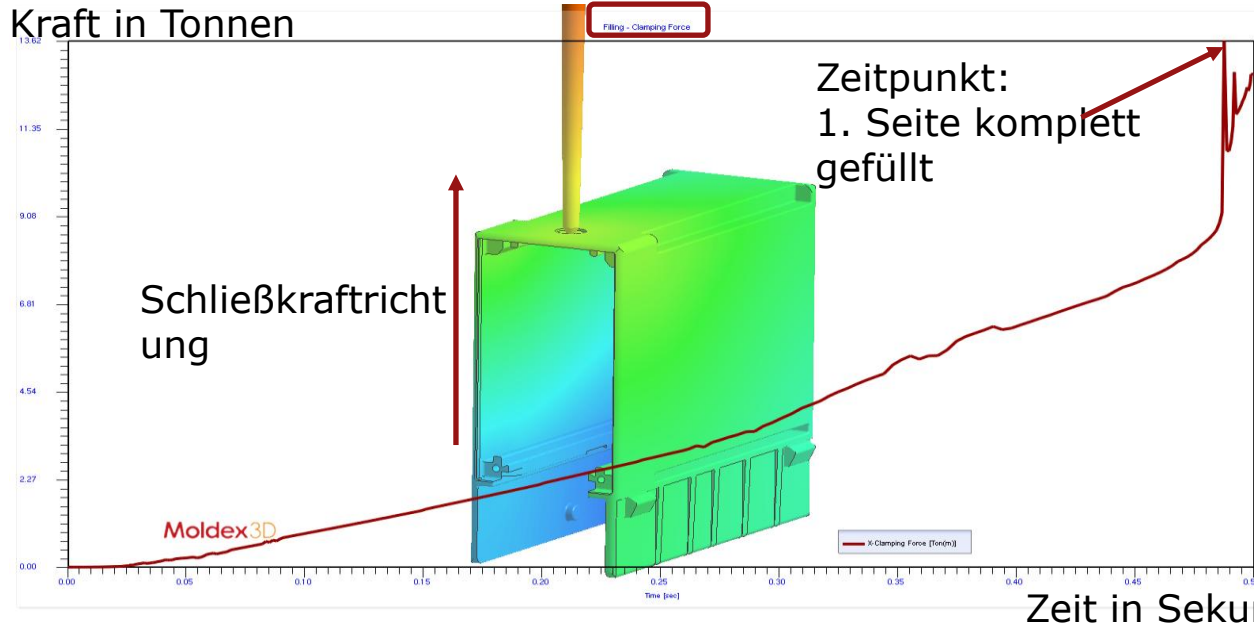
Ungleichmäßige Druckverteilung am Ende des Füllvorganges. Dies ist zum Teil geometriebedingt (Wandstärken), aber auch durch das unterschiedliche Füllverhalten der beiden Formteilseiten.

► Druckbedarf am Ende der Füllphase



Anhand der Druckverlaufskurve kann zusätzlich zum maximalen Fülldruck (941 bar) auch Der Druckbedarf des Kaltkanals und unterschiedlicher Füllzeitpunkte (Druckpeak) betrachtet werden.

► Schließkraftverlauf

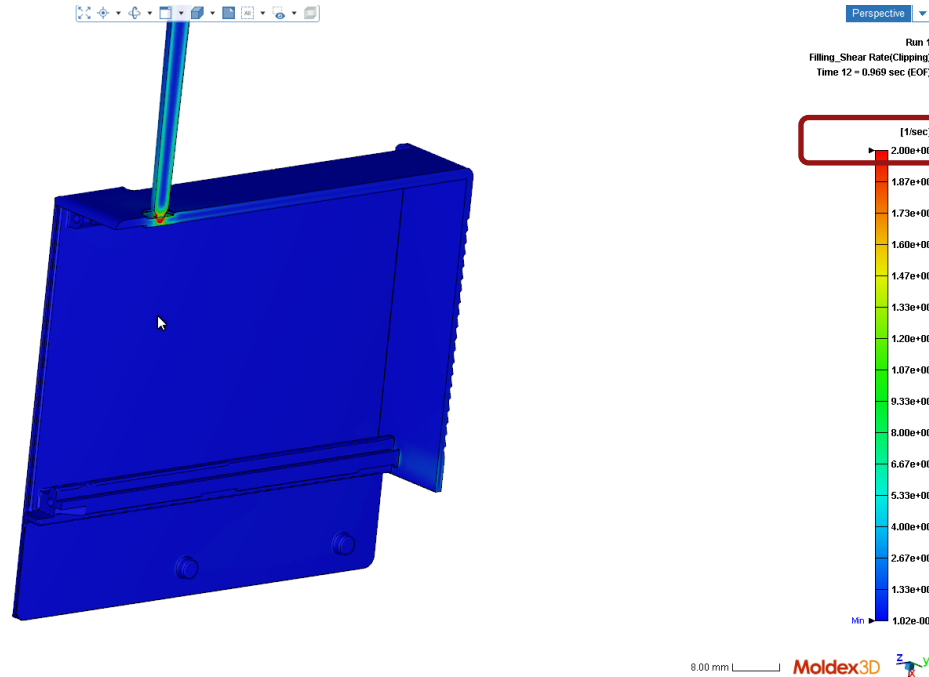


Die Schließkraft resultiert auf Basis des zuvor berechneten Druckverlaufes. Generell liegen die Berechnungsergebnisse leider entfernt von der Praxis. Aus unserer Erfahrung liegen diese höher als in der Praxis.

► Scherung

- Die Scherrate zeigt die Scherung jedes Netzelementes während der Füllphase an. Die max. Scherung zeigt die max. Scherung während der Füllphase an, jedoch nicht zum selben Zeitpunkt innerhalb der Füllphase. Werte können dem Materialhersteller oder z.B. Simulationsdatenbanken entnommen werden.
- Typische, max. Werte sind 50.000 (ABS Terluran GP-22) oder 40.000 (PC Makrolon 2405)
- Die Werte können Aufschluss über möglichen Materialabbau liefern und sind im Einzelfall zu prüfen. Eine „schwarz-weiß“ Aussage kann hier nicht getroffen werden.

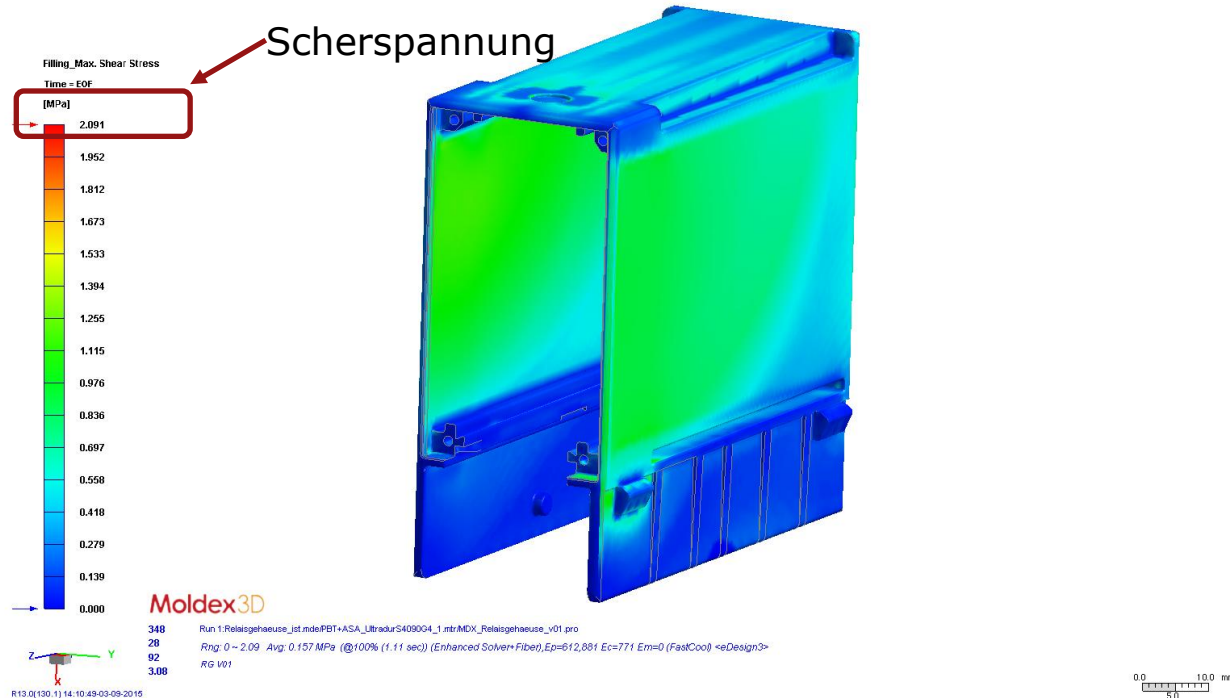
► Scherung



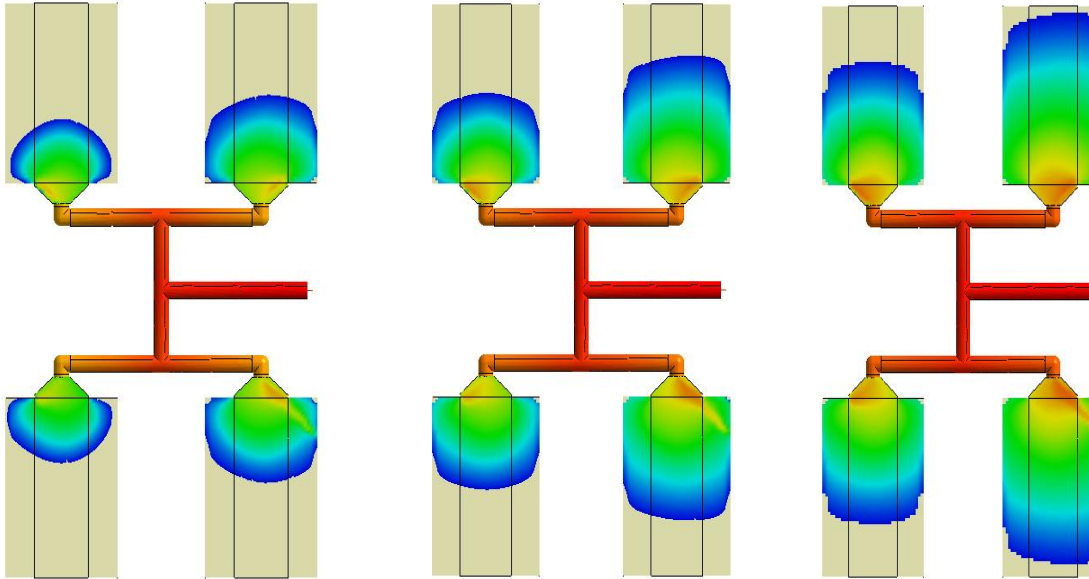
! Darstellung des Skala: $\times 10^4 = 20.000$ 1/sec.

- ▶ Scherung
- ▶ Die max. Spannung zeigt die durch den Füllvorgang resultierende Scherung der Schmelze in Mpa an.
- ▶ Auch hier werden max. kritische Werte vom Rohstofflieferanten angegeben. (Typische Werte zwischen 0,3 und 0,5 Mpa)
- ▶ Ungleichmäßiger Stress kann zu Verzugsneigung führen.

► Scherung

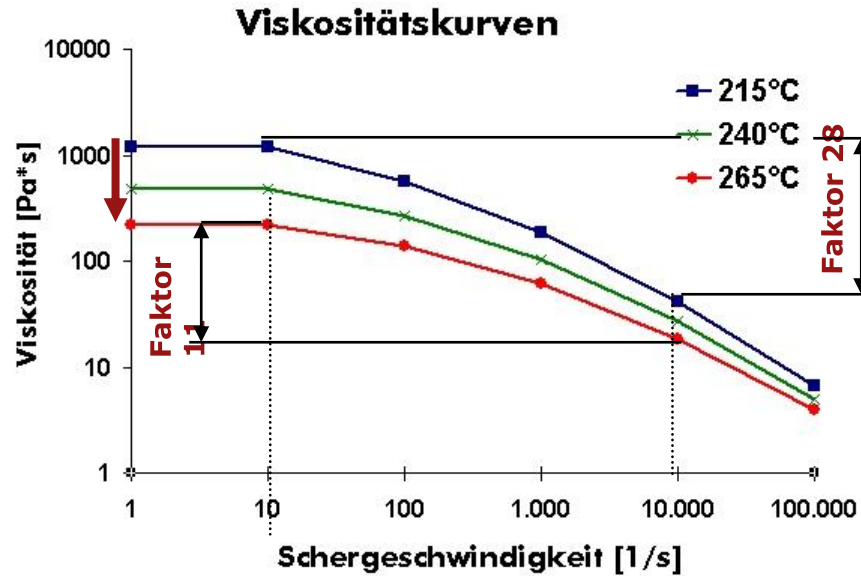


► Praxisbeispiel: „Voreileffekt“

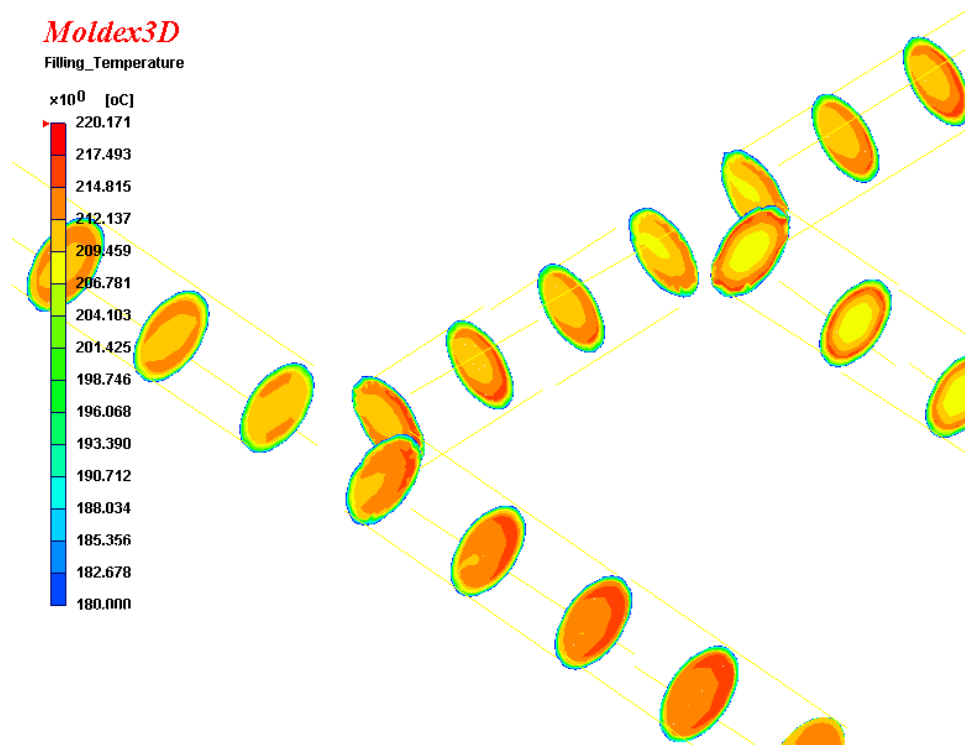


Strukturviskosität

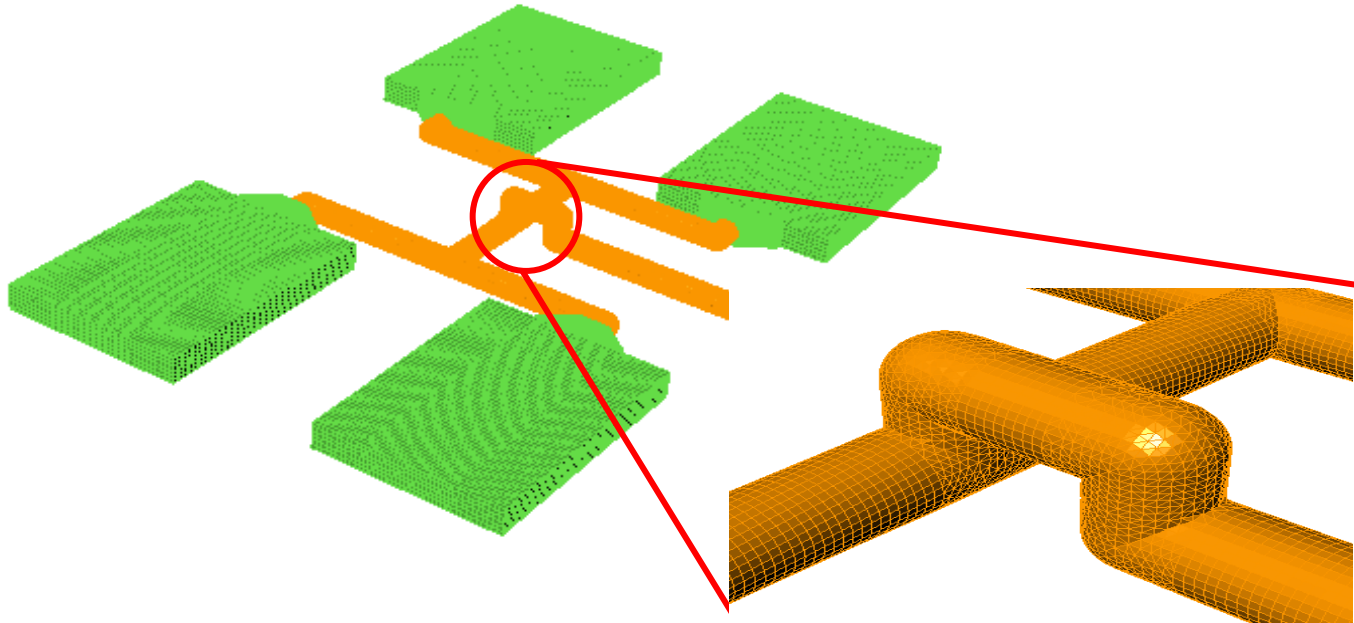
- Fließfähigkeit in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit und der Temperatur



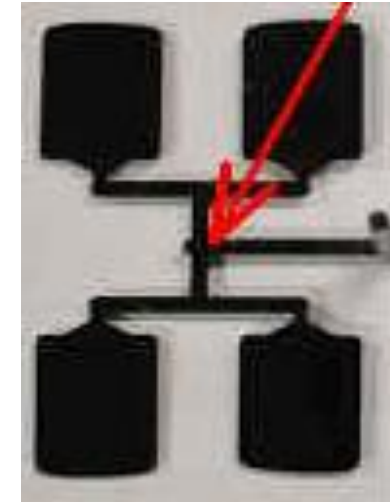
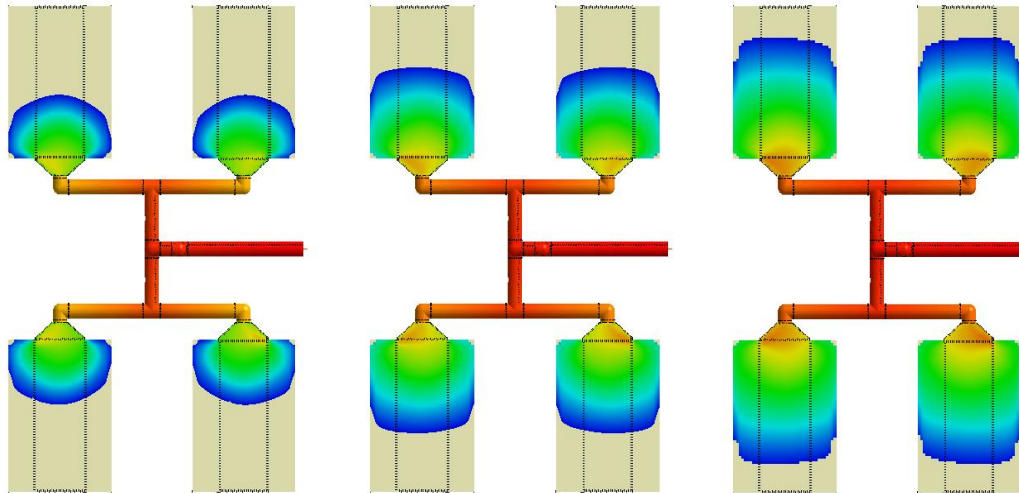
► Praxisbeispiel: „Voreileffekt“



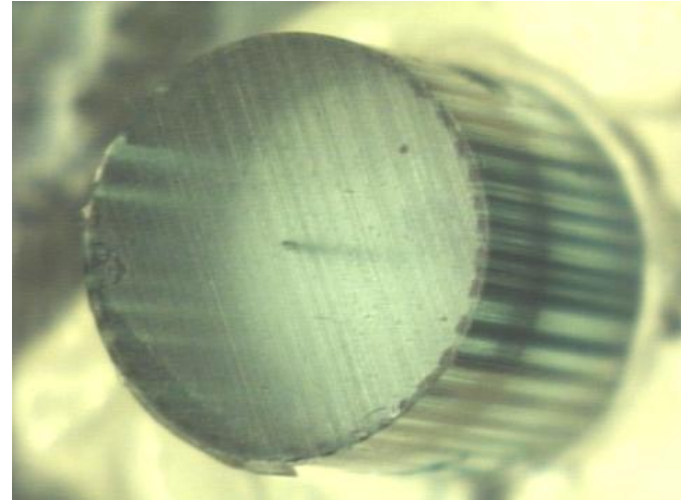
- Praxisbeispiel: „Voreileffekt“ – Sonderlösung Software: „MeltFlipper®“



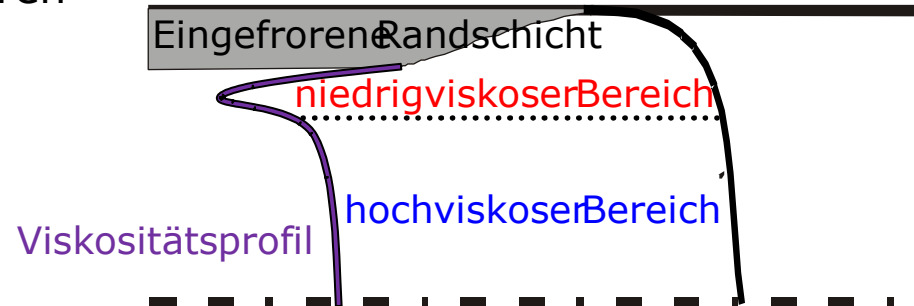
► Praxisbeispiel: „Voreileffekt“



- ▶ Mehrschichtströmung
- ▶ 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)



- ▶ Viskositätsverteilung über dem Querschnitt
- ▶ Hohe Schergeschwindigkeit
 - => Hohe Friktionswärme (Reibungswärme)
 - => Große Abnahme der Viskosität in der Scherzone
- ▶ Viskositätsunterschiede können den Faktor 100 überschreiten
- ▶ Die Viskositätsunterschiede über dem Querschnitt werden verstärkt durch
- ▶ Hohe Einspritzgeschwindigkeiten
- ▶ Niedrige Massetemperaturen



- ▶ Abschließende Betrachtungen
 - ▶ Zur Betrachtung und Bewertung von Simulationsergebnissen werden Artikel-, aber auch besonders verfahrenstechnische Informationen in der Dokumentation benötigt.
 - ▶ Somit sollten folgende Artikelinformationen zur Verfügung stehen:
 - ▶ Lage und Position der Anspritzpunkte
 - ▶ Durchmesser der Anspritzpunkte
 - ▶ Formteilvolumen
 - ▶ Stand der Artikeldaten (Datum, Rev.-Nr.)
 - ▶ Folgende verfahrenstechnische Aspekte sollten ersichtlich sein:
 - ▶ Material (sollte identisch mit dem zu verwendenden Werkstoff sein)
 - ▶ Materialspezifische Kennwerte (soll und ist) wie:
 - ▶ Einspritzzeit
 - ▶ Einspritzprofil
 - ▶ Massetemperatur
 - ▶ Werkzeugtemperatur
 - ▶ Umschaltpunkteinstellung (99% der Füllung o.ä.)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Sebastian Daute
+49 (0) 23 51.10 64-171
daute@kimw.de

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