

Seminar: Lesen von Simulationsergebnissen

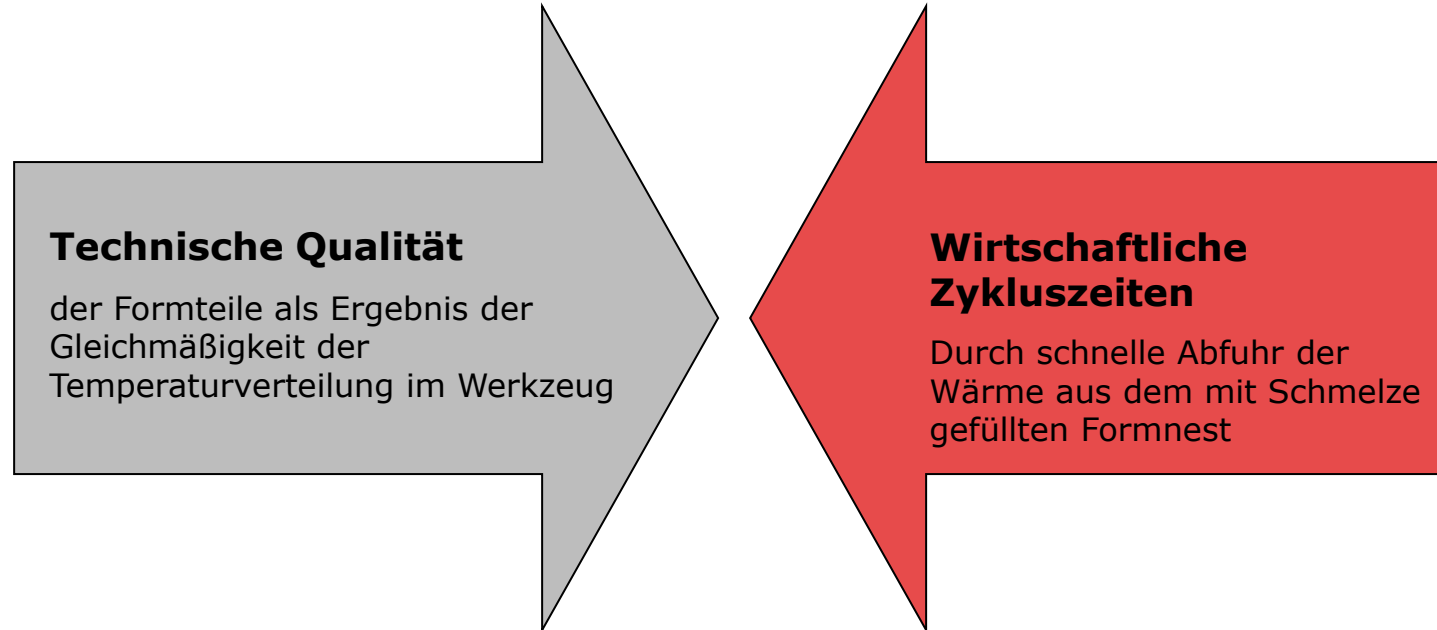
Thermik (Temperaturhaushalt)



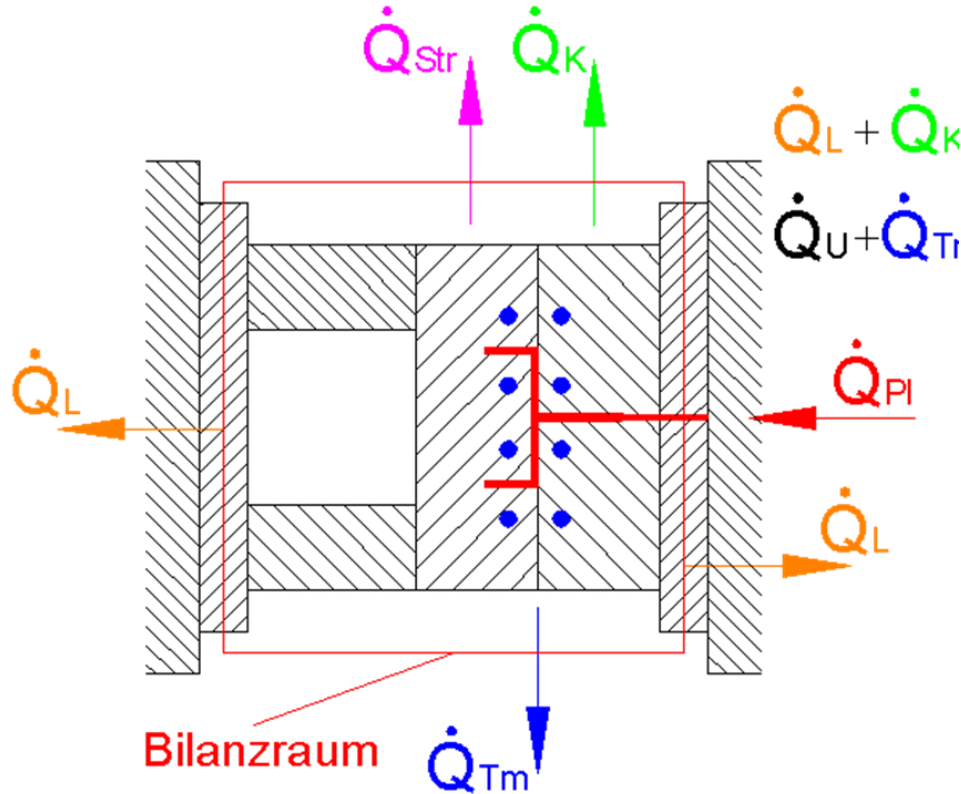
KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED



► Einflussgrößen



- ▶ Das Temperaturniveau der Werkzeugwand bzw. der Wärmestrom aus der Schmelze in das Spritzgießwerkzeug bestimmt maßgeblich die Produktqualität
- ▶ Oberflächenabformung => Erscheinungsbild / wahrgenommene Qualität
- ▶ Gefügebildung => Mechanik / optische Eigenschaften
- ▶ Orientierungen/Spannungen => Wärmeformbeständigkeit / Spannungsrissanfälligkeit
- ▶ Maßabweichungen/Geometrie => Toleranzeinhaltung / Funktion



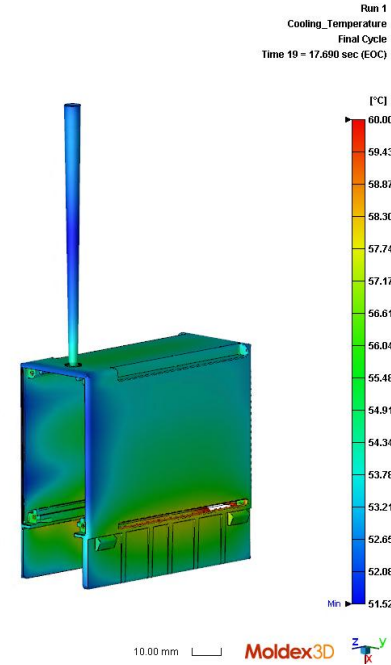
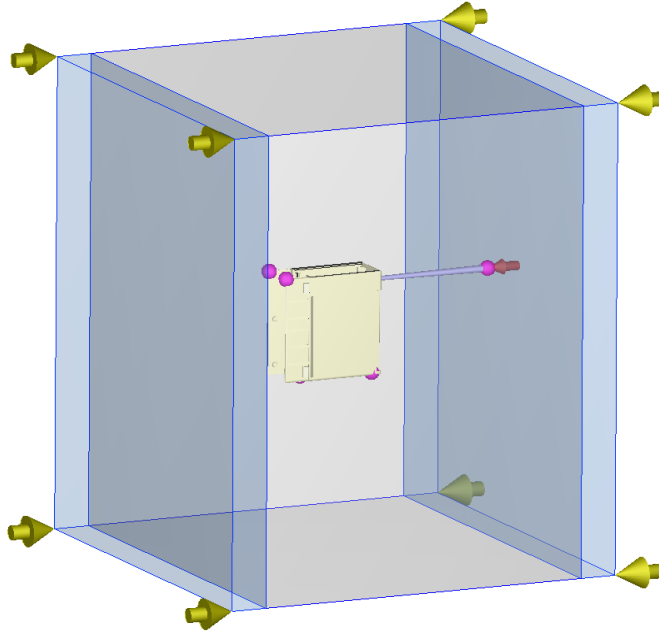
Wärmestrombilanz an einem Spritzgießwerkzeug

- ▶ Zur Simulationsberechnung können bei der Thermik 2 unterschiedliche Vorgehensweisen verwendet werden:
 - ▶ Verwendung einer gleichmäßigen, voreingestellten Werkzeugtemperatur
 - ▶ Verwendung eines Temperierlayouts
 - ▶ Bei vorhandenen Werkzeugdaten mit folgenden Inhalten:
 - ▶ Temperierbohrungen
 - ▶ Verwendung von Materialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten
 - ▶ Sonderverfahren

► Verwendung einer gleichmäßigen, voreingestellten Werkzeugtemperatur

Perspective

■ Cavity
■ Cold runner
■ Moldbase
■ Sensor node



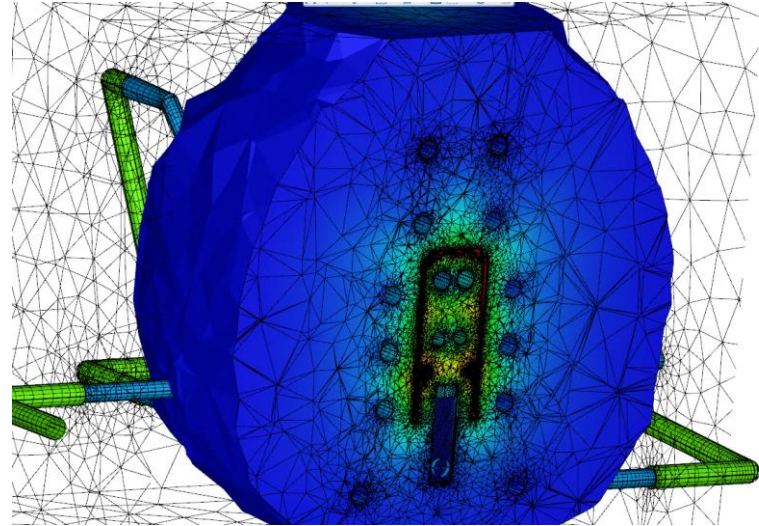
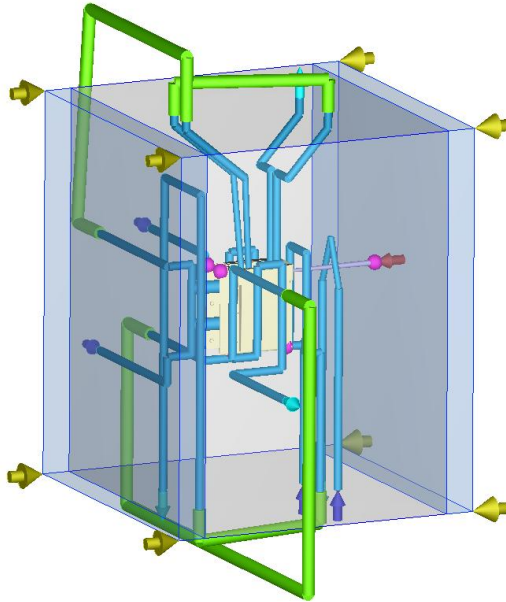
Simulationsberechnung mit gleichbleibender Werkzeugwandtemperatur ohne Temperierkanallayout.

- ▶ Verwendung einer gleichmäßigen, voreingestellten Werkzeugtemperatur
- ▶ Vorteil:
 - ▶ Schnelle Berechnungszeiten
 - ▶ Erste Berechnungsvarianten des Formteils möglich
 - ▶ Wird oft zur Ermittlung der Anspritzpunkte und des Füllverhaltens (Rheologie) verwendet.
- ▶ Nachteil:
 - ▶ Keine Aussagekraft über Thermik der Kavität (z.B. Fließfronttemperatur bei der Füllung, beeinflusst durch Hotspots oder Coldspots)
 - ▶ Geringe bis keine Aussagekraft zum Verzugverhalten

► Verwendung einer gleichmäßigen, voreingestellten Werkzeugtemperatur

Perspective

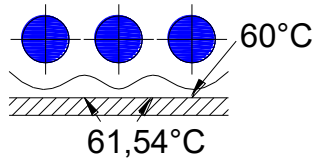
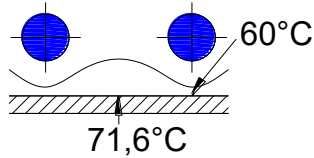
- Cavity
- Cold runner
- Cooling channel
- Baffle
- Hose
- Moldbase
- Sensor node
- Coolant entrance node
- Coolant exit node



Ggf. Einbindung von Werkzeugeinsätzen mit verbesserter Wärmeleitfähigkeit

- ▶ Verwendung eines Temperierlayouts
- ▶ Vorteil:
 - ▶ Genaue Temperaturen an Formteilwand & Werkzeug abrufbar
 - ▶ Unterschiedliche Layouts berechenbar
 - ▶ Verzugsberechnung näher an der Praxis
 - ▶ Verzugsoptimierung über verschiedene Vorlauftemperaturen möglich
 - ▶ Verwendung unterschiedlicher Werkzeugeinsätze mit höherer Wärmeleitfähigkeit
- ▶ Nachteil:
 - ▶ Längere Aufbereitungszeit für Erstellung/Übernahme des Temperierlayouts aus CAD Daten.
 - ▶ Teilweise noch fehlende Werkzeugkonstruktion

► Temperierfehler



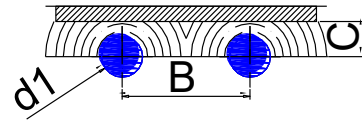
Einfluss der Kanalanordnung auf die Wärmeabfuhr

Faustformel zum Abstand der Kühlkanäle:

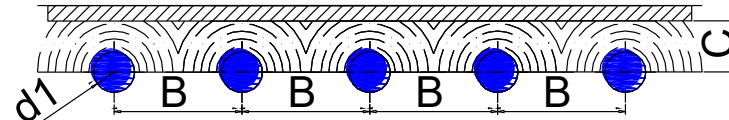
$$C = 0,8 - 1,5 \times B$$

$$B = 2,5 - 3,5 \times d1$$

Ungleichmäßige Wärmeabfuhr



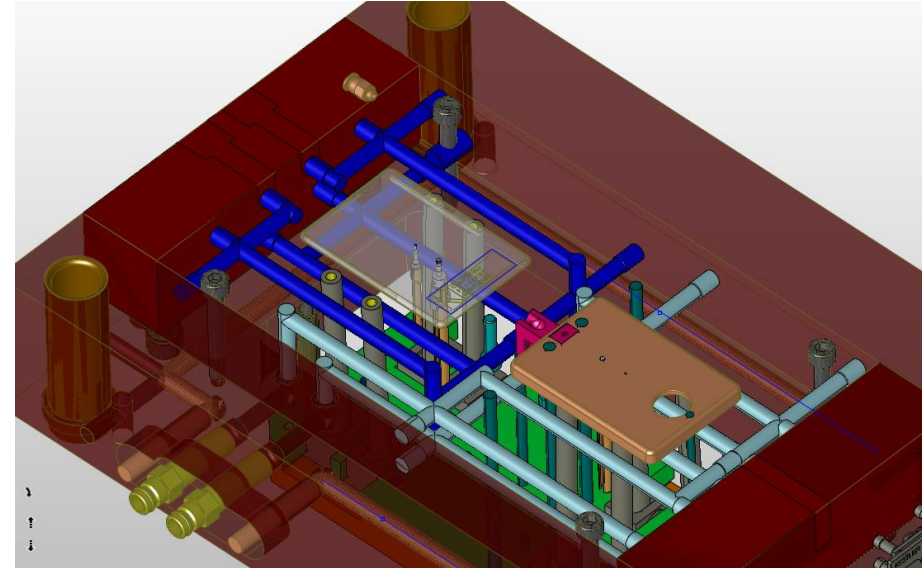
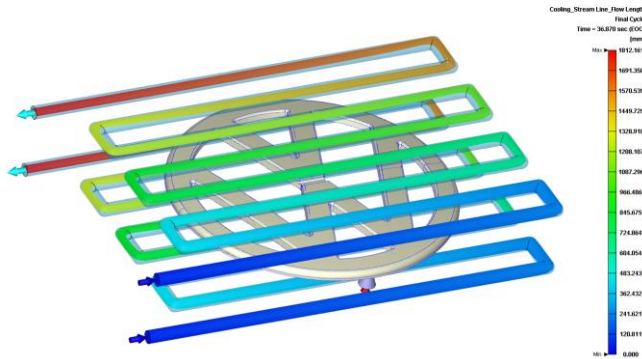
gleichmäßigere Wärmeabfuhr



Wärmeabfuhr an den Temperierkanälen

Wanddicke des Spritzgießteils [mm]	Abstand Bohrungsmitte zum Spritzgießteil [mm]	Bohrungsmittenabstand [mm]	Bohrungs-durchmesser [mm]
0,0 bis 1,0	11,3 bis 15,0	10,0 bis 13,0	4,5 bis 6,0
1,0 bis 2,0	15,0 bis 21,0	13,0 bis 19,0	6,0 bis 8,5
2,0 bis 4,0	21,0 bis 27,0	19,0 bis 23,0	8,5 bis 11,0
4,0 bis 6,0	27,0 bis 35,0	23,0 bis 30,5	11,0 bis 14,0
6,0 bis 8,0	35,0 bis 50,0	30,5 bis 40,0	14,0 bis 18,0

- ▶ Vorteile/Anwendungen gebohrter Temperierungen
 - einfachste Art der Temperierung
 - besonders geeignet für flächige Artikel
 - kostengünstig



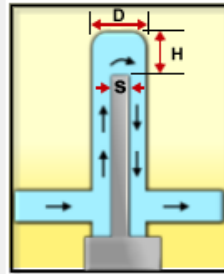
► Zusatzelemente verwendbar



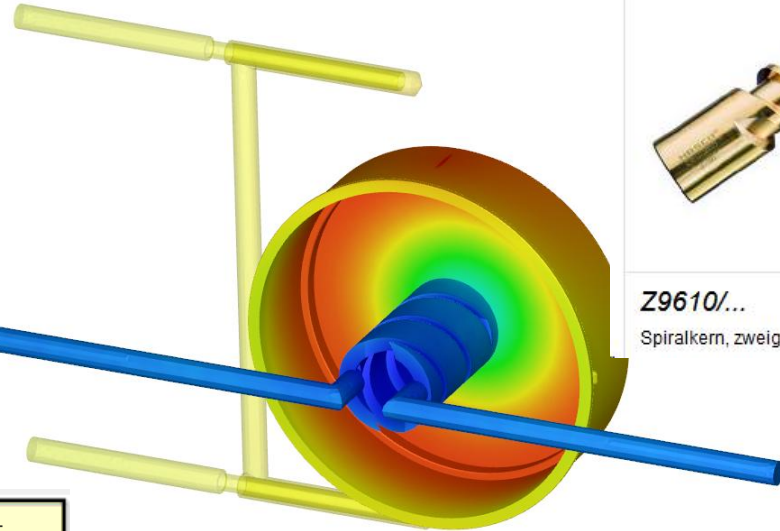
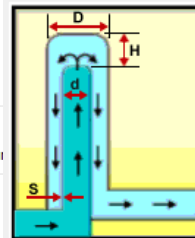
Z965/...
Umlenksteg, für Kernkü



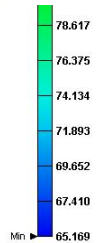
Z9662/...
Umlenksteg, spiralförmig, mit
Gewinde



Z962/...
Verteilerrohr, für Kernkühlung



Z9610/...
Spiralkern, zweigängig



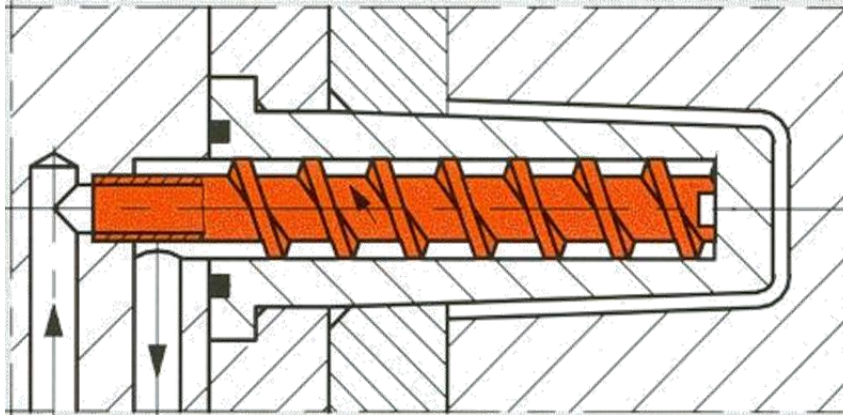
10.00 mm

Moldex3D

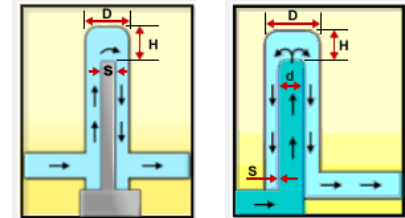
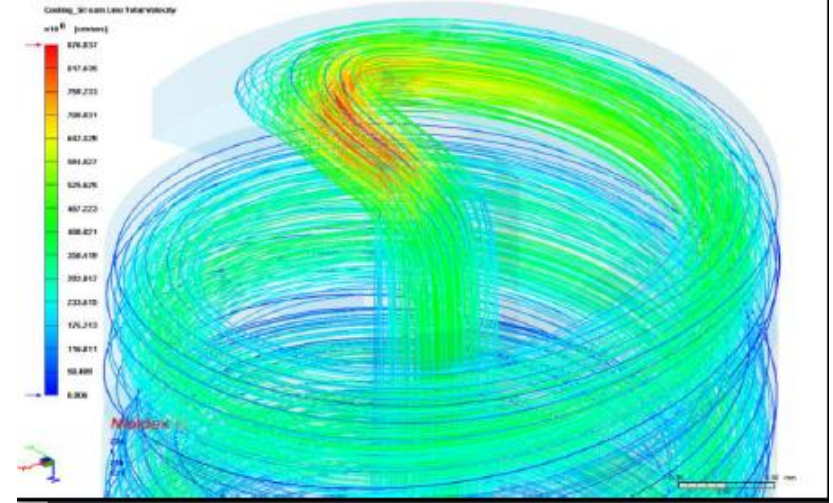
245
358
65

Geradlinige Rohrkühlbohrung

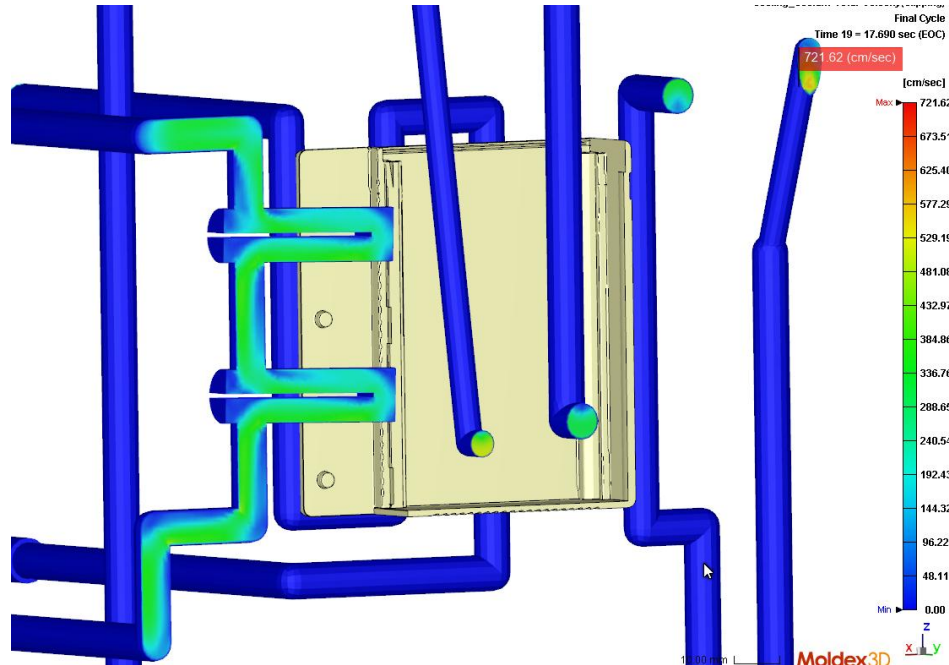
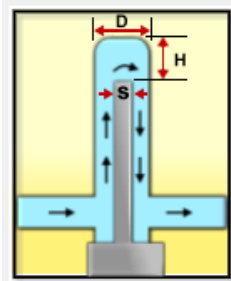
- ▶ einfache Bohrung
- ▶ begrenzter geometrischer Freiheitsgrad
- ▶ Zusatzelemente verwendbar (Bild 5)



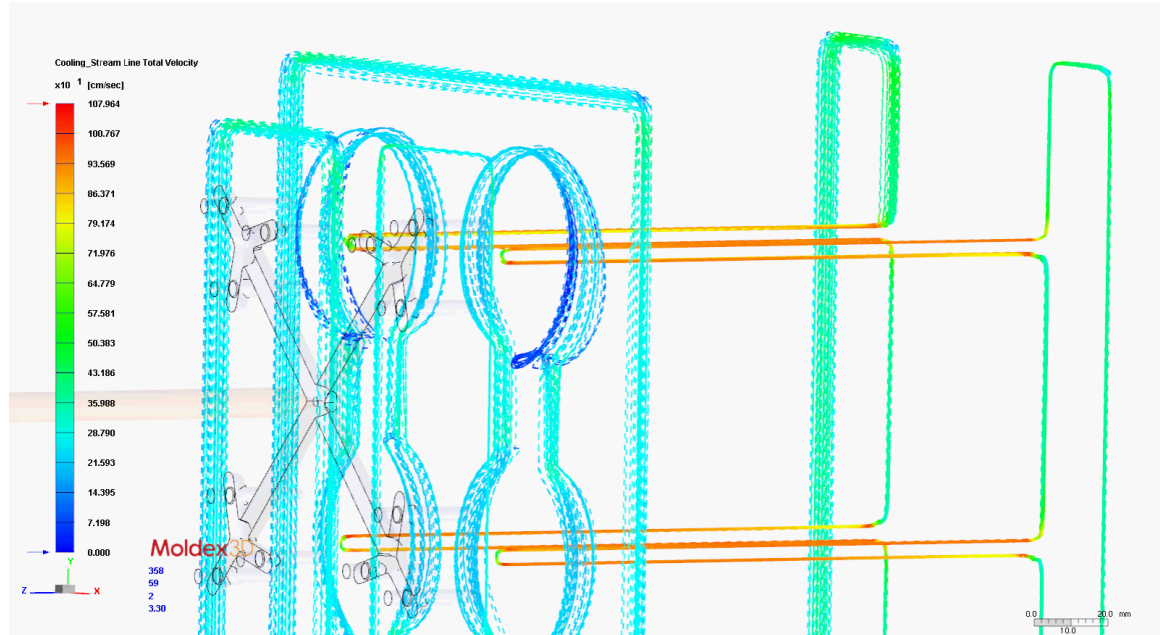
Quelle: HASCO-Normalien



- Zusatzelemente verwendbar – Fließgeschwindigkeit im Temperierkanal



- Simulationsergebnis
 - Fließgeschwindigkeit



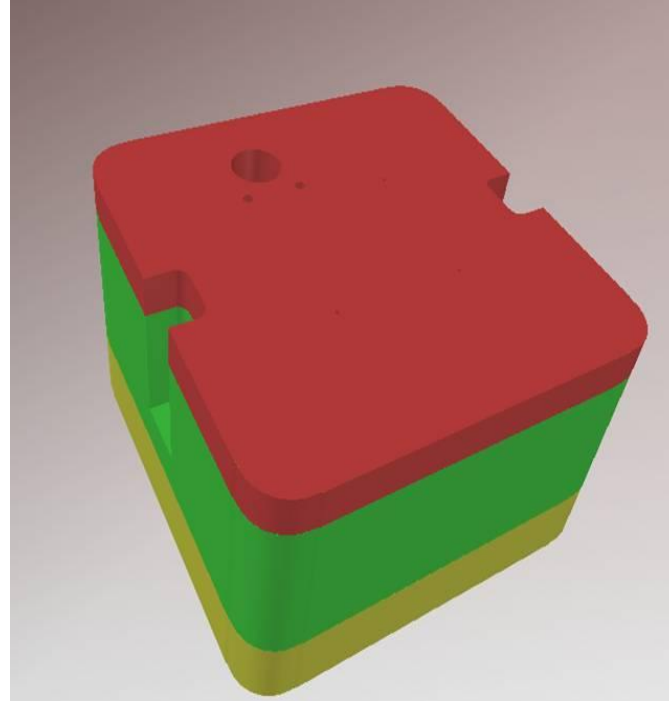
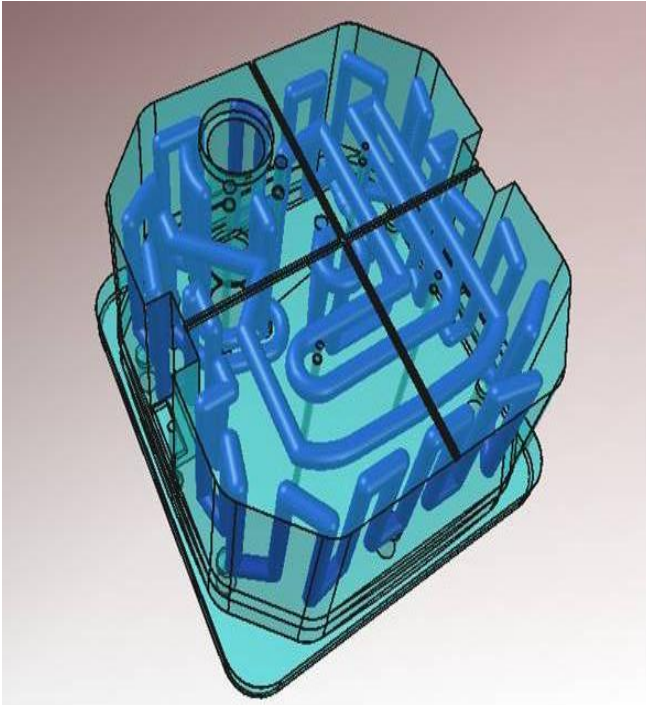
- ▶ Möglichkeiten
 - ▶ Geradlinige Rohrkühlbohrung
 - ▶ Konturangepasste Temperierkanäle
 - ▶ Materialien unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit

- ▶ Temperierkanäle folgen der Kontur der Kavität
- ▶ optimale Temperierung -> optimale Kühlzeit und Formteilqualität
 - Vakuumlöttechnik
 - Diffusionsschweißen
 - Lasertechnik (Lasercusing)

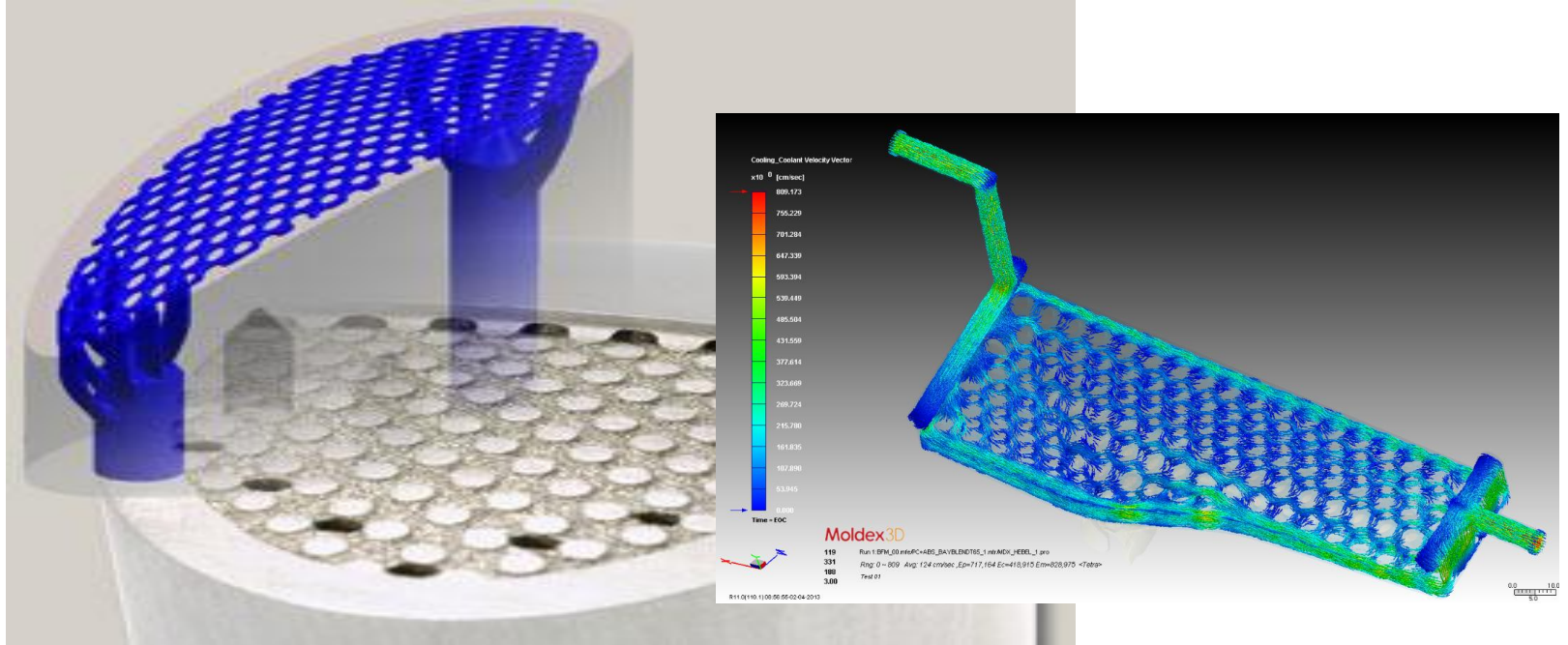


Quelle: Concept Laser GmbH

► Konturangepasste Temperierkanäle - Vakuumfließtechnik

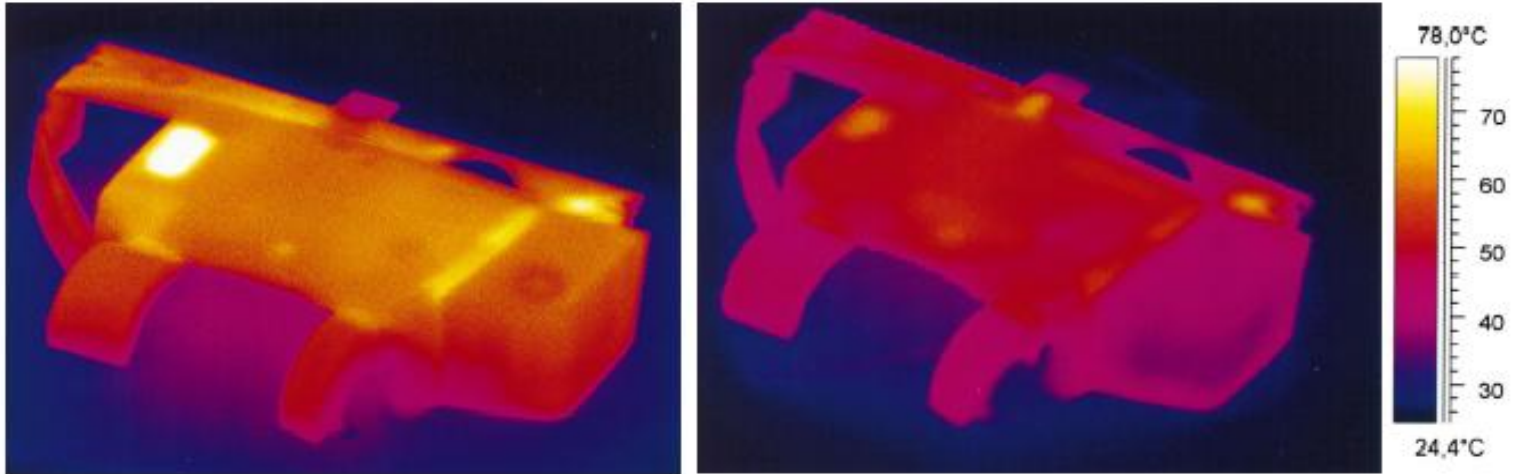


► Temperierlayout für ein Brillenglas



Flächenkühlung durch eine mit dem Lasersinterverfahren hergestellte Netzstruktur (Quelle: CONCEPT Laser GmbH)

- ▶ Vorteile / Anwendungen
 - ▶ Verringerung der Kühlzeit
 - ▶ geeignet für Artikel mit hohen Anforderungen an Oberfläche, Maßhaltigkeit und Verzug



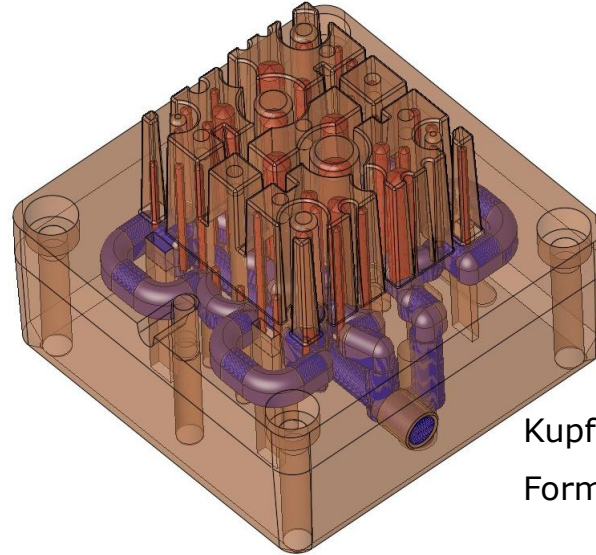
Aufnahmen mit einer Infrarotkamera direkt nach dem Auswerfen der Formteile (Staubsauger) mit herkömmlicher (links) und konturgerechter (rechts) Temperierung, System CONTURA®

- ▶ Materialien unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit
 - ▶ schnelle Wärmeabführung von Kavitätsoberfläche zum Temperiermedium
 - ▶ geeignet für Teilbereiche und unzugängliche Bereiche im Werkzeug



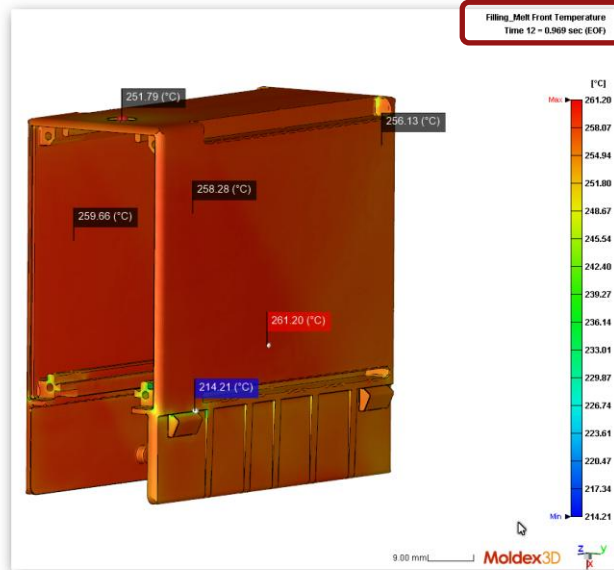
Legierung: AMPCOLOY® 940

Quelle: Ampco Metalle



Kupferkerne innerhalb des
Formeinsatzes

► Schmelzefront-Temperatur

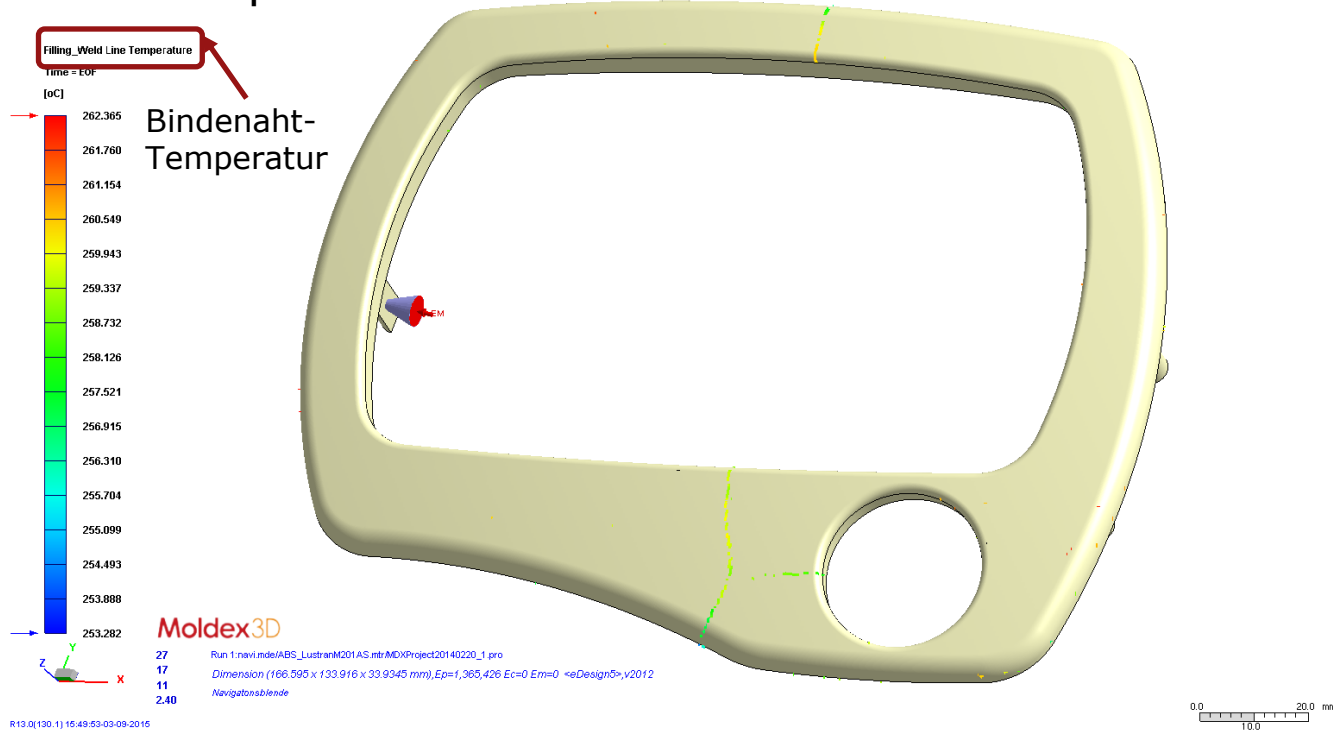


Schmelzefronttemperatur

Schmelzefronttemperatur sollte nicht kleiner oder größer sein als vorgegebene Verarbeitungstemperaturen (hier: 261°C – 214°C).
Massetemperatur des Spritzgießzylinders: 250°C

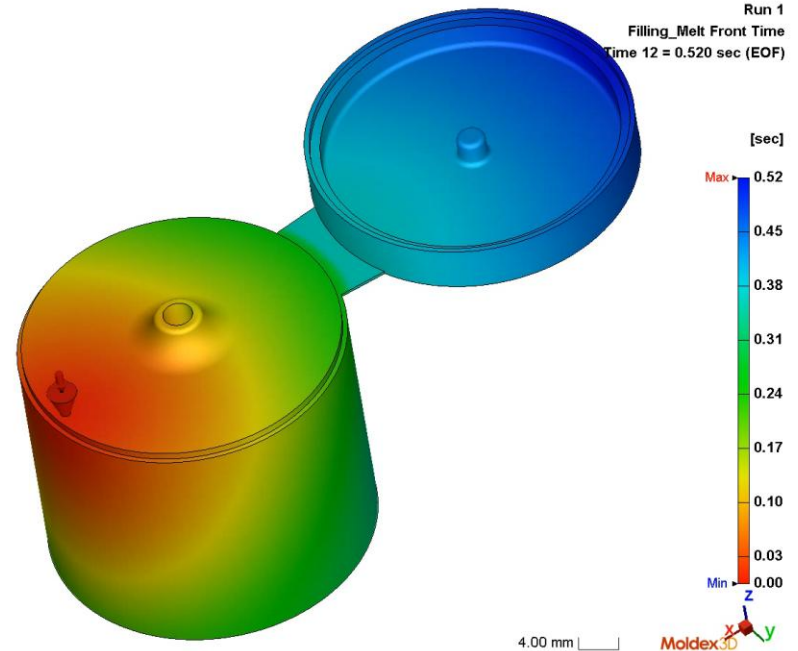
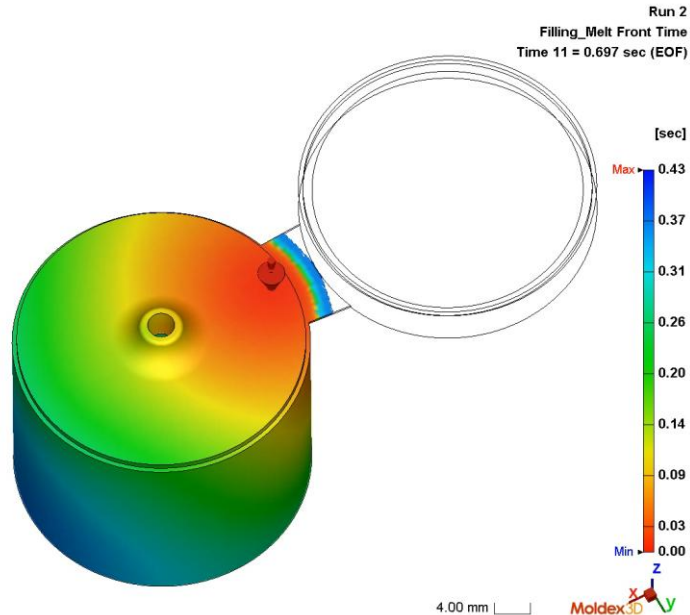
- ▶ Schmelzefronttemperaturen
- ▶ Die Schmelzefronttemperaturen zeigen, ob das Material in typischen, vom Materialhersteller vorgegebenen Temperaturbereichen verarbeitet wird. Die Temperatur sollte das Verarbeitungsfenster nicht überschreiten (Materialdegradation / Verbrennungsschlieren). Auch das unterschreiten der typischen Verarbeitungstemperaturen hat erhebliche Nachteile bei den mechanischen Eigenschaften, z.B. bei Bindenähten.
- ▶ Die Bindenahttemperaturen können zusätzlich in einer weiteren Darstellung angezeigt werden. Temperaturen unterhalb des unteren Grenzwertes von 10-15 Kelvin zeigen erhebliche mechanische Schwächungen des Formteils, so dass es hier eher zum Bruch des Formteils führen kann.

► Schmelzefronttemperatur im Bindenahtbereich am Ende der Füllzeit

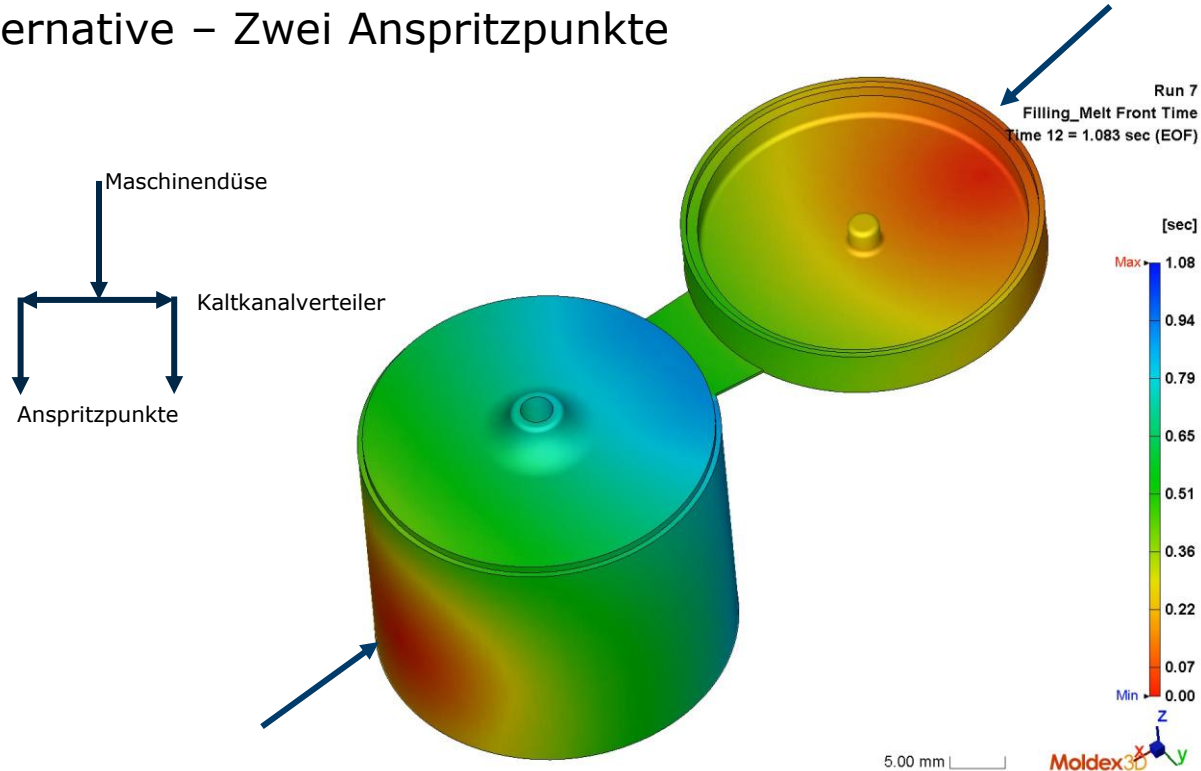


Verarbeitungstemperaturen (hier: 220°C – 280°C).
Massetemperatur des Spritzgießzylinders: 250°C

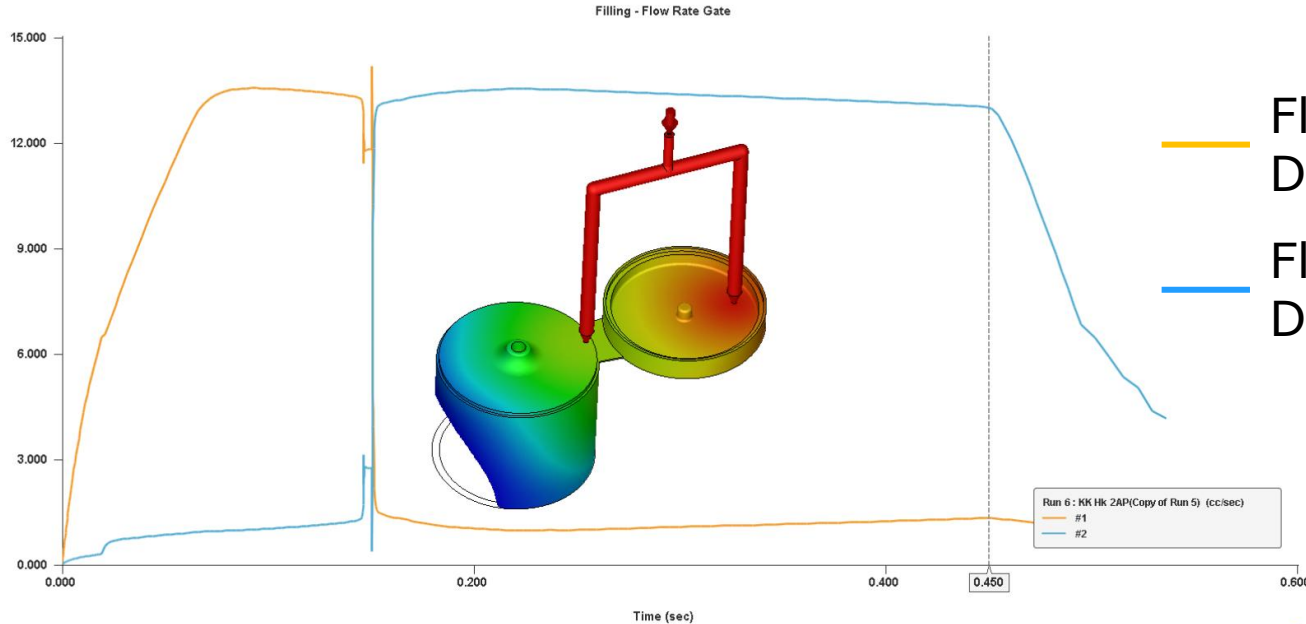
► Einfriereffekte (Füllbild)



► Keine Alternative – Zwei Anspritzpunkte



► Alternative – 2 Anspritzpunkte mittels Kaskade



Fließgeschwindigkeit
Düse 1 (rechts)

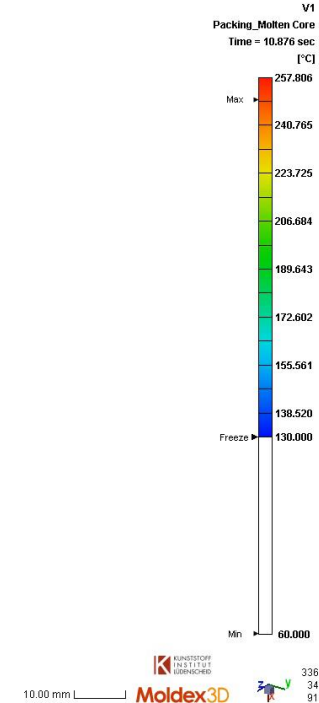
Fließgeschwindigkeit
Düse 2 (links)

- ▶ Einfriereffekte
- ▶ Die Schmelzefronttemperatur kann durch fließtechnische Hindernisse der Formteilgeometrie während der Füllung zeitweise stagnieren, so dass die Schmelzefront während der Füllphase partiell einfriert.
- ▶ Gründe können sein:
 - ▶ Zu geringe Einspritzgeschwindigkeit
 - ▶ Falsche Temperaturregelung
 - ▶ Falsche Anschnittposition
- ▶ Anhand der Füllsimulation und an der Schmelzefronttemperatur kann dies erkannt und über unterschiedliche Abhilfemaßnahmen vermeidbar:
 - ▶ Verlegung der Anbindungsposition
 - ▶ Erhöhung der Schmelzetemperatur (begrenzt)
 - ▶ Erhöhung der Massetemperatur
 - ▶ Verbesserung der Entlüftung

► Schmelzekerndarstellung nach Restkühlzeit

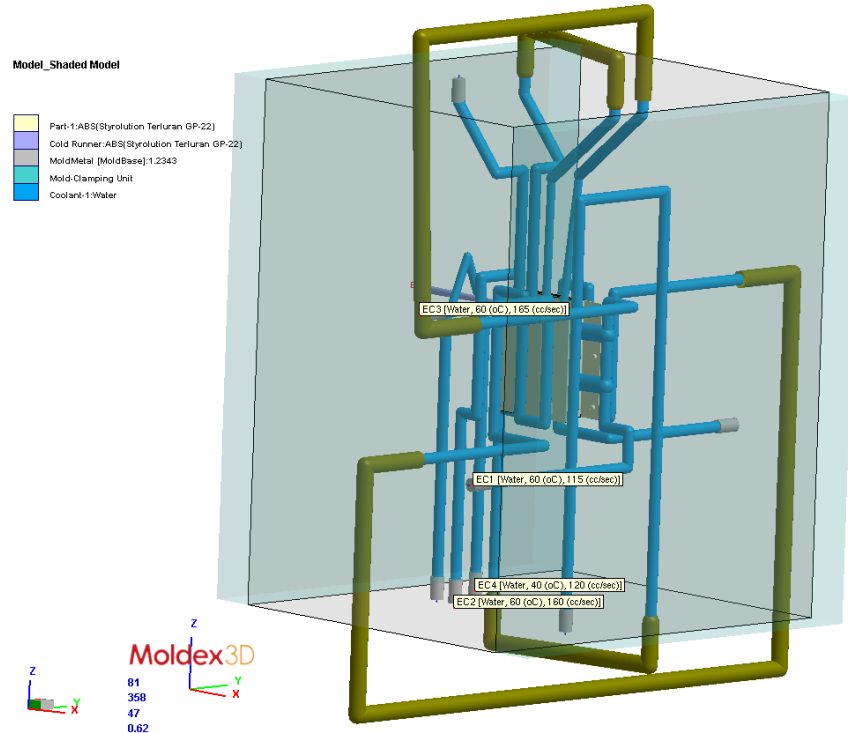


Material: ABS Terluran GP-22
Einfriertemperatur: 130°C

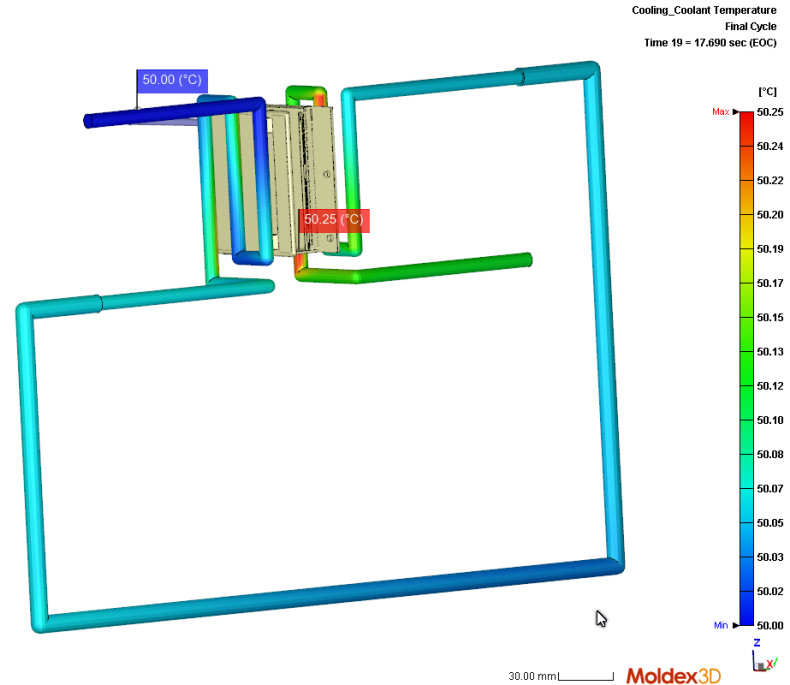
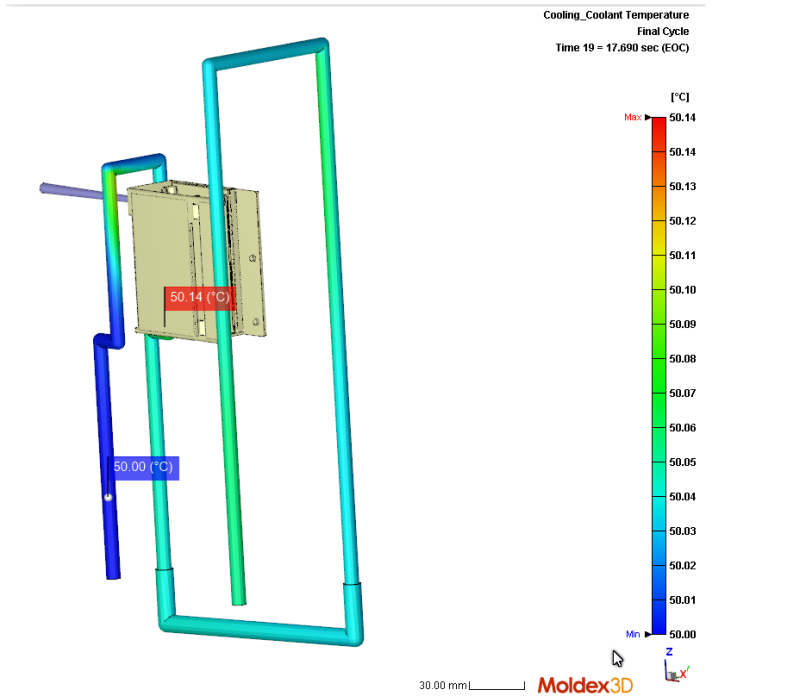


- ▶ Schmelzekerndarstellung
- ▶ Die Darstellung des Schmelzekerns beinhaltet die Materialbereiche, die noch nicht erstarrt sind. Dies bedeutet nicht, dass das Formteil nicht schon zuvor entformt werden kann. Da das Formteil eine erstarrte Randschicht aufweist, ist eine frühere Entformung denkbar.
- ▶ Die Schmelzekerndarstellung zeigt jedoch besonders Masseanhäufungen am Formteil auf, die kühlzeitbestimmend sind.
- ▶ Somit können spätestens hier Masseanhäufungen aufgedeckt werden, falls die Waddickenbetrachtung nicht eindeutig ist.
- ▶ Besonderes Augenmerk sollte bei Kaltkanalsystemen auf den Schmelzekern gelegt werden, um eine zykluszeitbestimmenden Kaltkanal zu optimieren.

► Temperierkanallayout

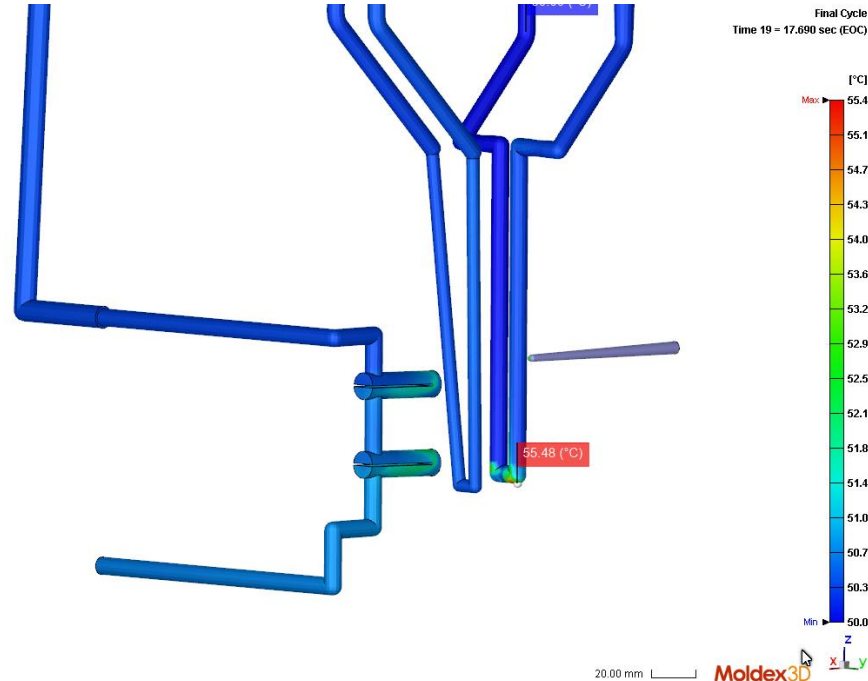
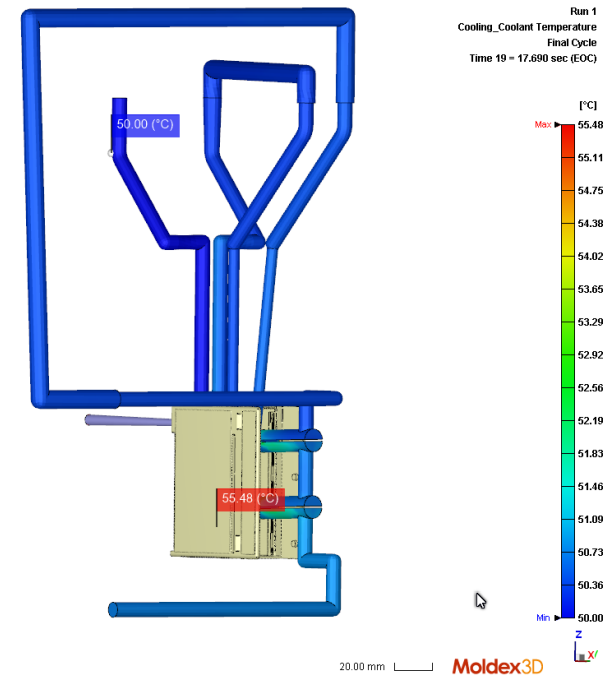


► Temperierkanallayout (Kreis 1 & 2)



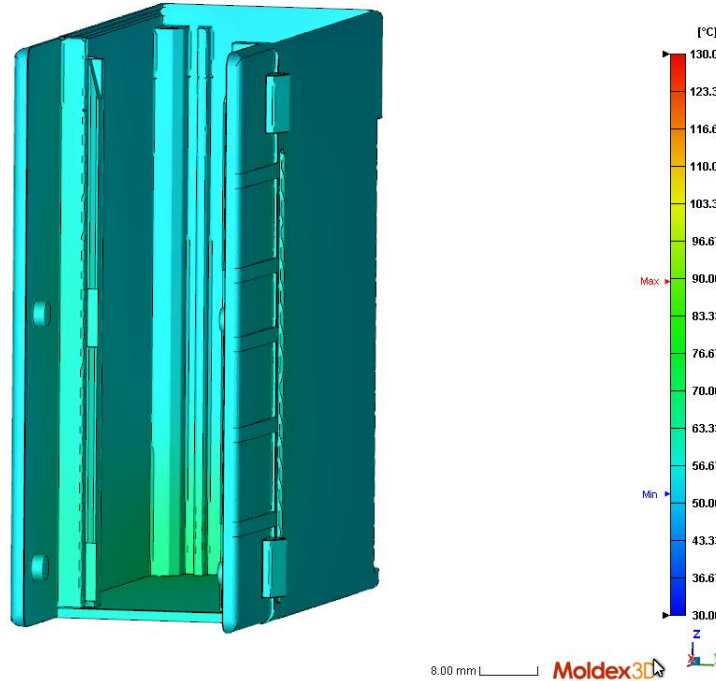
Kreisläufe 1 & 2 bestehend aus 2 Werkzeugkreisen und einer „Brücke“. Vorlauftemperatur: 50°C.
Geringe Temperaturdifferenz zwischen Einlass und Auslauf - **Differenz sollte <2 Kelvin betragen.**

► Temperierkanallayout (Kreis 3)



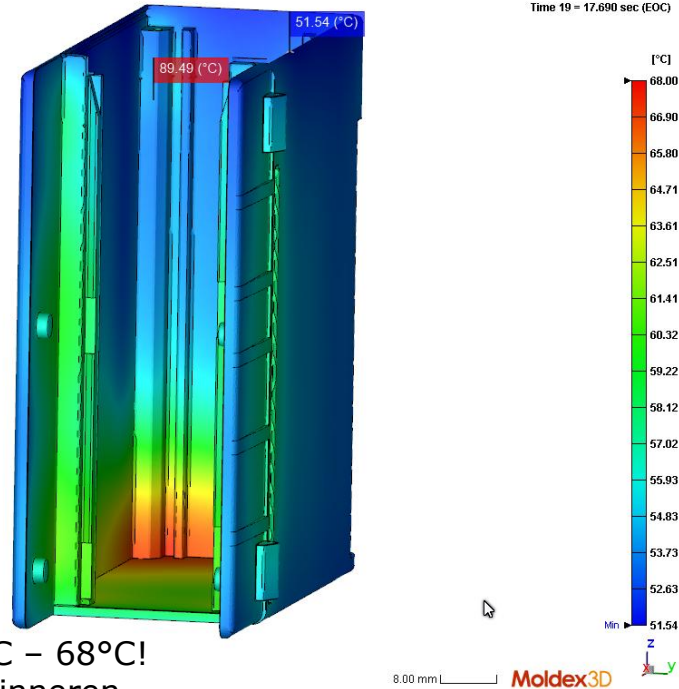
Kreislauf 3 bestehend aus 3 Werkzeugkreisen und zwei „Brücken“. Vorlauftemperatur: 50°C

► Formteilwandtemperatur am Ende der Kühlzeit



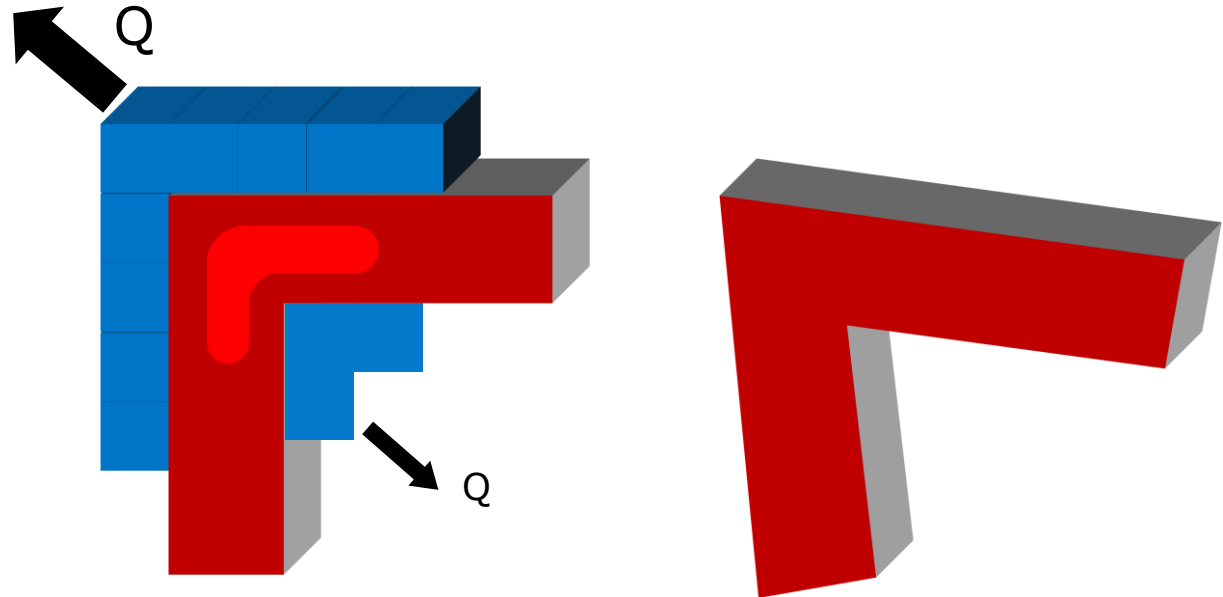
Temperaturskala von 30°C – 130°C!

► Formteilwandtemperatur am Ende der Kühlzeit

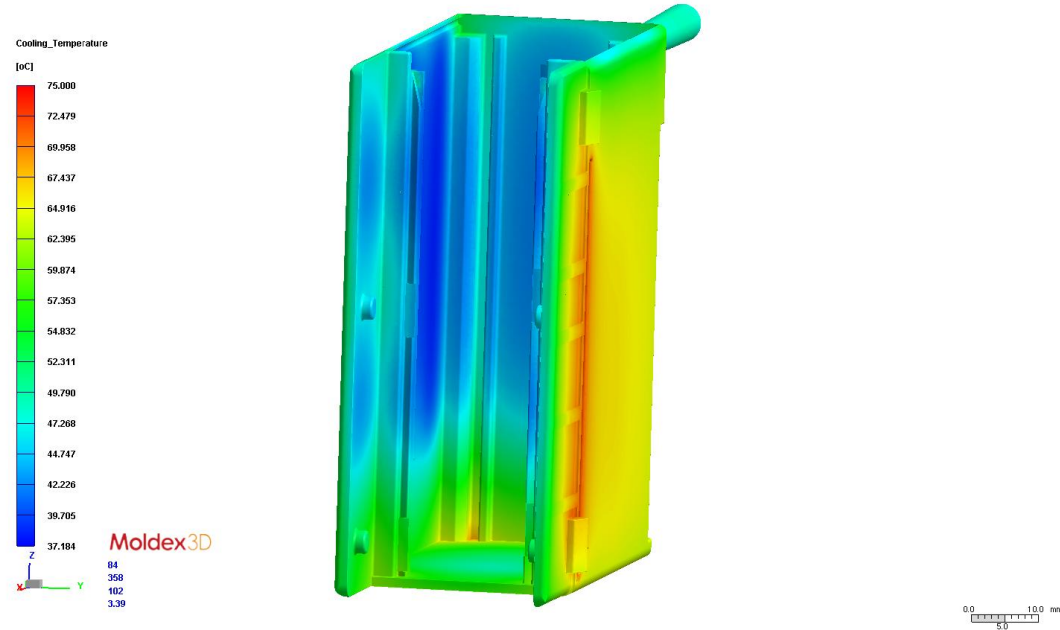


Verbesserte Darstellung.
Temperaturskala angepasst auf 51°C – 68°C!
Hohe Temperaturdifferenzen an der inneren
Formteiloberfläche

- ▶ Unterschiedliche Wärmeabfuhr führt zu
 - ▶ Unterschiedlichem Schwindungsverhalten
 - ▶ Verzugsgefahr



► Formteilwandtemperatur am Ende der Kühlzeit

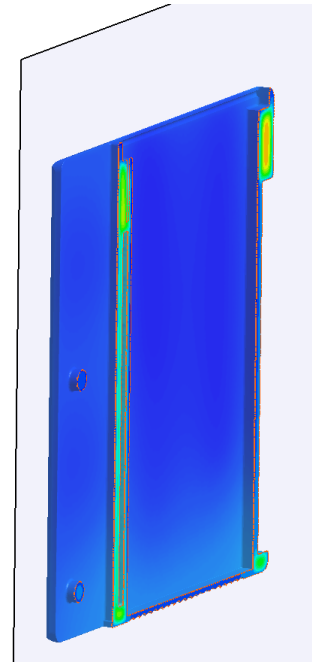
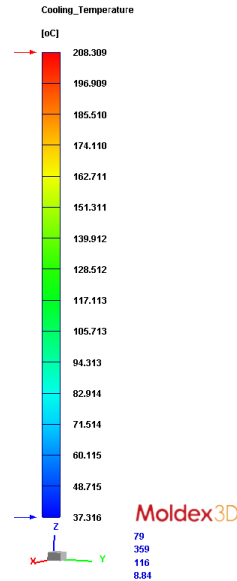


Kreislauf 3: Vorlauftemperatur: 40°C

Temperaturskala angepasst auf 37°C – 75°C!

Hohe Temperaturdifferenzen, jedoch geringeres Temperaturniveau

► Schnittbild am Ende der Kühlzeit



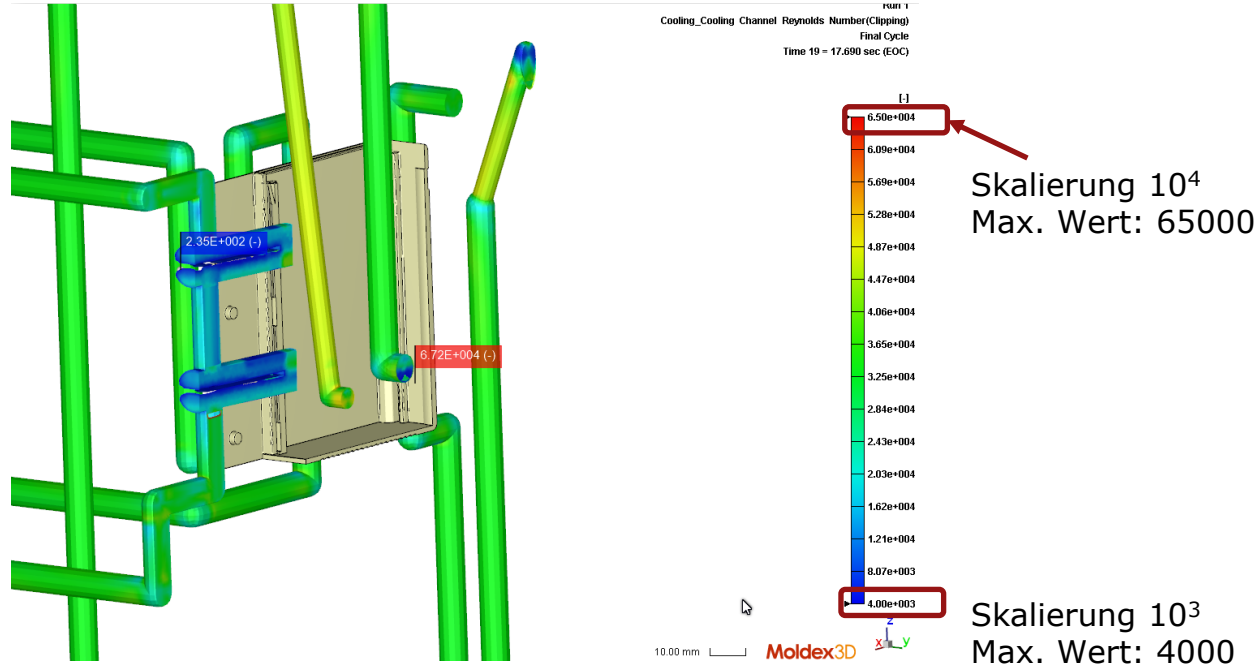
0.0 10.0 mm

Kreislauf 3: Vorlaufttempera

Temperaturskala angepasst auf 37°C – 75°C!

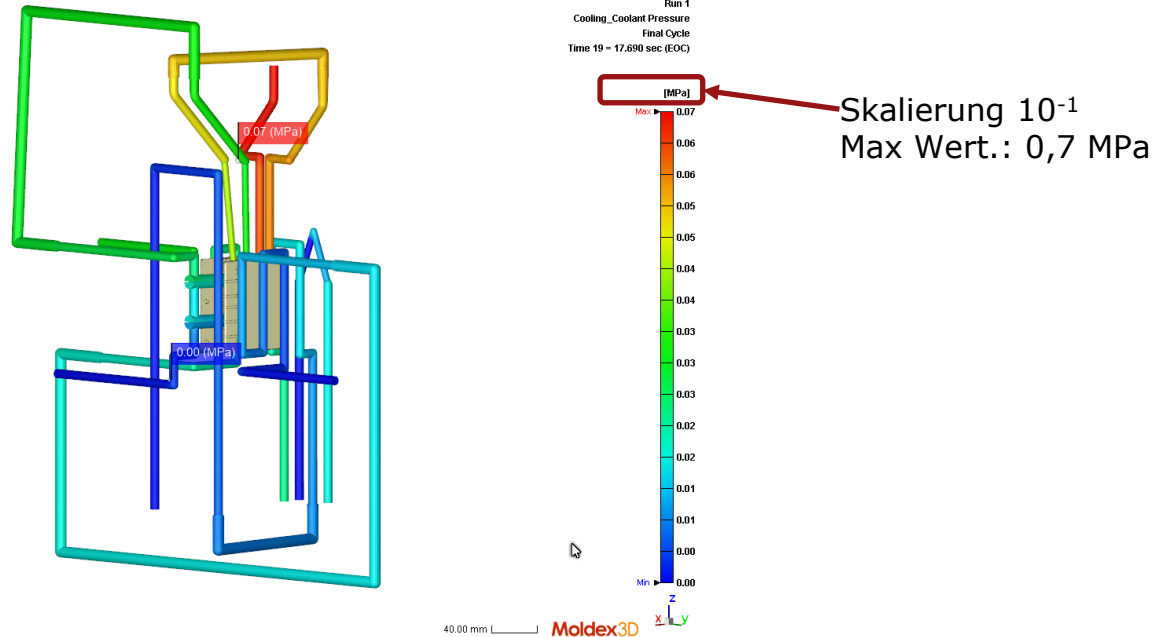
Hohe Temperaturdifferenzen, jedoch geringeres Temperaturniveau

► Reynoldszahl im Temperierkreislauf



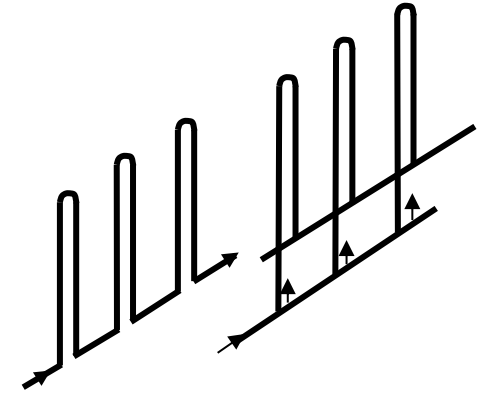
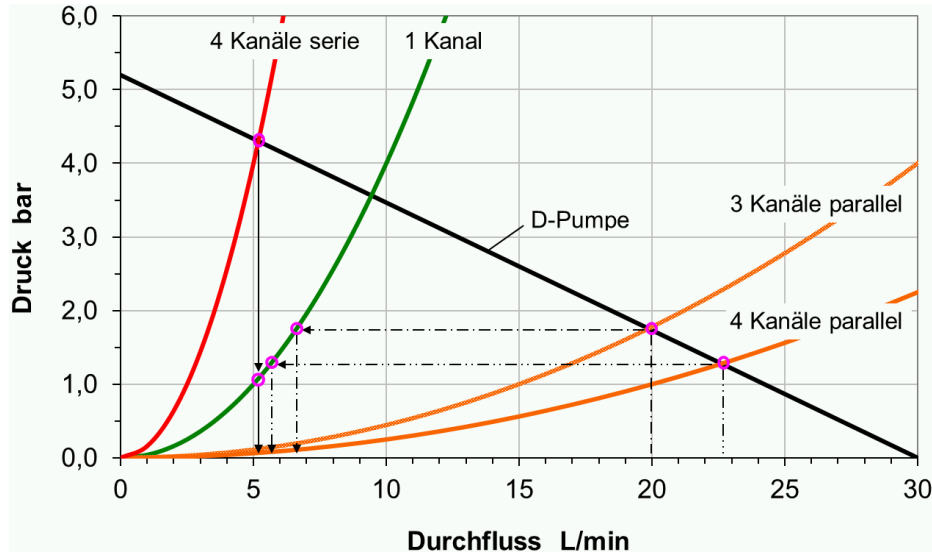
Die Reynoldszahl gibt an, ob eine Strömung turbulent oder laminar fließt. Re_{krit} liegt bei 2200 bis 2300. Im Spritzgießprozess ist eine turbulente Strömung für erhöhte Wärmeübergänge zu erzielen. $Re > 4000$ für sicheren Prozess.

► Druckverlust im Temperierkreislauf



Druckverbrauch im Temperierkreislauf

- ▶ Durchflusstemperierung geregelt / ungeregelt
 - ▶ Parallel - oder Reihenschaltung
 - ▶ Ein - oder Mehrkreistemperierung (Formteileigenschaften, Zykluszeit)



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