

Seminar
Spritzgießen für Mitarbeiter der Qualitätsstelle



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED

Temperierung



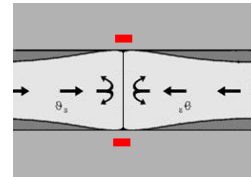
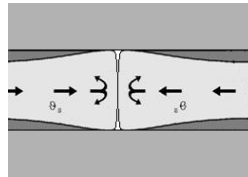
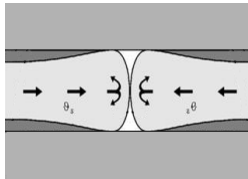
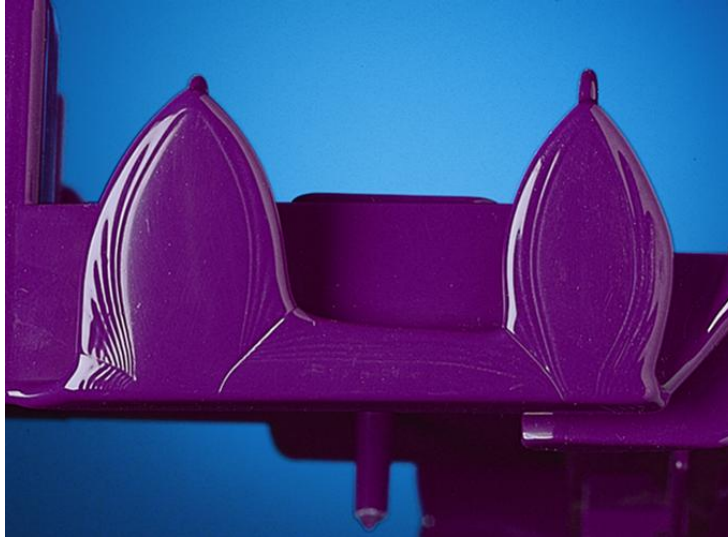
- ▶ Einleitung
- ▶ Grundsätzliche Überlegungen
- ▶ Berechnungsmöglichkeiten
- ▶ Temperierkonzepte / Sonderlösungen
- ▶ Beispiel CO₂ Temperierung
- ▶ IR Thermographie

Temperierung: Warum?

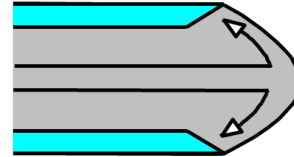


- ▶ **Bindenaht**
- ▶ Deseleffekt
- ▶ **Matte Stellen**
- ▶ **Einfallstellen**
- ▶ Freistrah
- ▶ **Schallplatteneffekt**
- ▶ **Schlieren**
- ▶ **Glasfaserschlieren**
- ▶ Farbschlieren
- ▶ **Feuchtigkeitsschlieren**
- ▶ Verbrennungsschlieren
- ▶ **Luftschlieren**
- ▶ **Tigerfell**
- ▶ Grat
- ▶ **Glanzabweichungen**
- ▶ **Spannungsrisse**
- ▶ Verunreinigungen
- ▶ Blasen
- ▶ **Auswerferabdruck**
- ▶ **Unterfüllung**
- ▶ **Abblätterungen**
- ▶ **Kalter Propfen**
- ▶ **Lunker**
- ▶ Kratzer
- ▶ **Schwindung und Verzug**
- ▶ **Gefügeunterschiede**

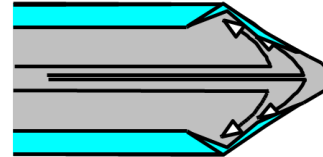
Beispiel: Bindenaht



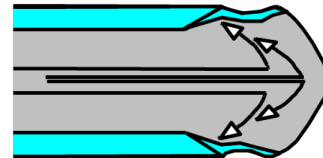
Beispiel: Schallplatteneffekt



Stillstand und schnelle
Abkühlung der
wandhaftenden Fließfront



Unterbindung der
Quellströmung durch
eingefrorene Fließfront

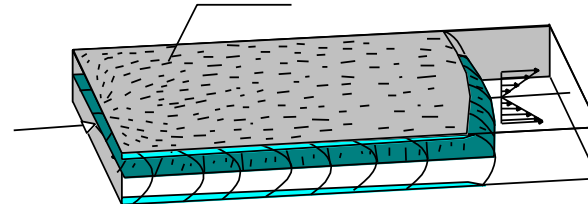


Entstehung einer Rille
durch erneute Berührung
der erkalteten Fließfront
mit der Werkzeugwand,
bedingt durch nachfolgende
heiße Schmelze

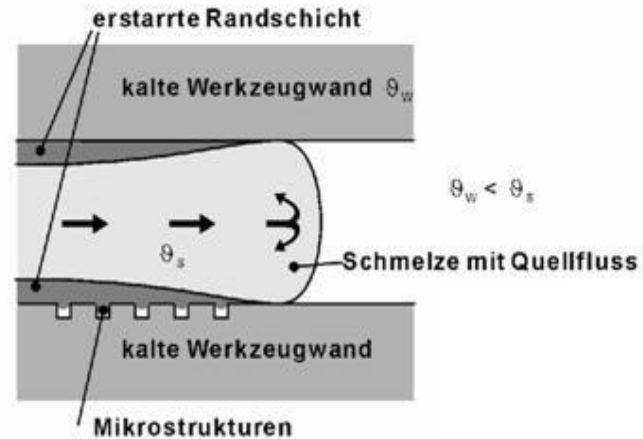
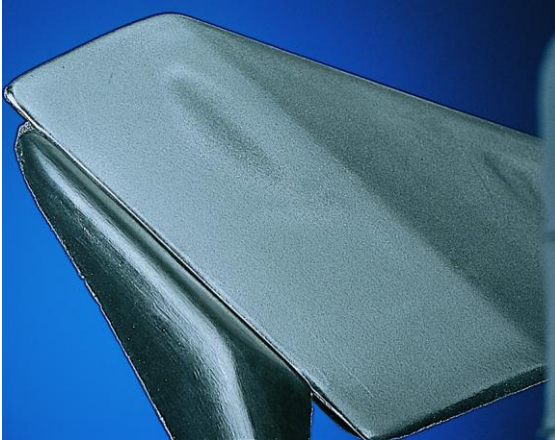
Beispiel: Glasfaserschlieren



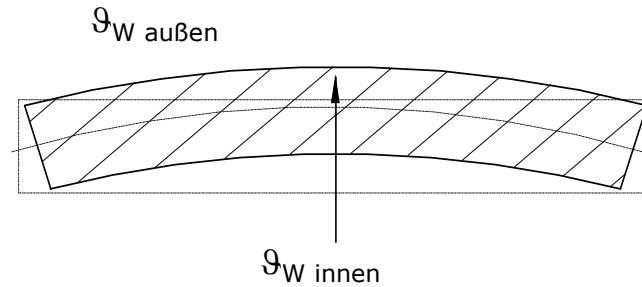
Füllstoffe sind
ungenügend von der
Schmelze umhüllt



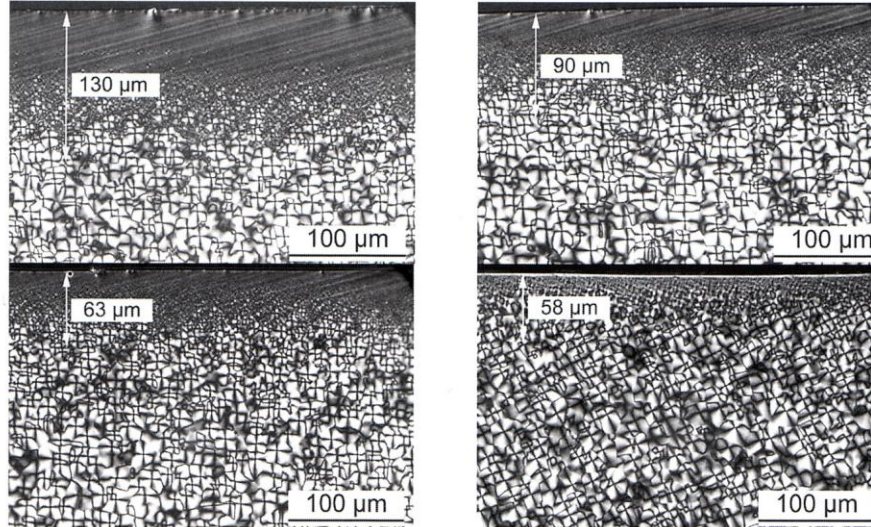
Beispiel: Glanzabweichungen



Beispiel: Verzug



Beispiel: Gefügeunterschiede



Gefüge PA6.6 Werkzeugtemperatur 40°C, 60°C, 80°C und 100°C

Technische Qualität

der Formteile als Ergebnis der Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung im Werkzeug

Wirtschaftliche Zykluszeiten

Durch schnelle Abfuhr der Wärme aus dem mit Schmelze gefüllten Formnest

• Formteilwanddicke s

- Werkzeugwandtemperatur ϑ_W
- Entformungstemperatur ϑ_E
- Schmelztemperatur ϑ_M
- Material a_{eff}
- Nebenzeiten t_N

$$t_Z = t_K + t_N$$

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 * a_{\text{eff}}} * \ln \left\langle \frac{8}{\pi^2} * \frac{\vartheta_M - \overline{\vartheta}_W}{\overline{\vartheta}_E - \overline{\vartheta}_W} \right\rangle$$

t_K = Zeit von der volumetrischen
Formfüllung bis zum Entformen

Zur überschlägigen Berechnung der Kühlzeit reicht auch die vereinfachte Formel:

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

s = Wanddicke (mm)

a_{eff} = effektive Temperaturleitfähigkeit (mm²/s)

a_{eff} → amorph ~ 0,08 - 0,1 mm²/s

→ teilkristallin ~ 0,06 - 0,08 mm²/s

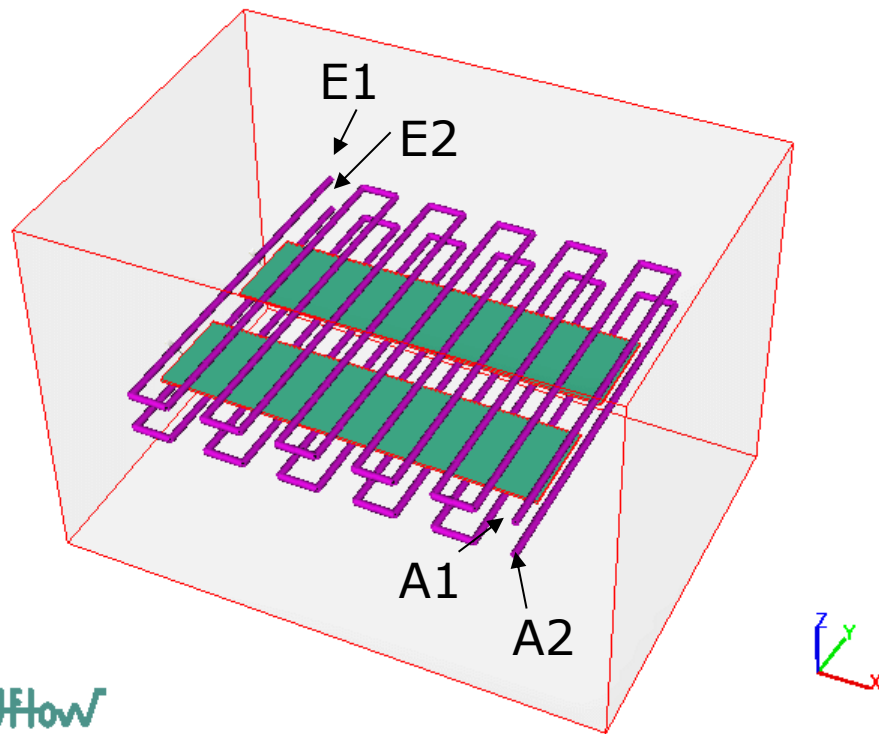
Berechnungsbeispiel Temperierung

Material PP

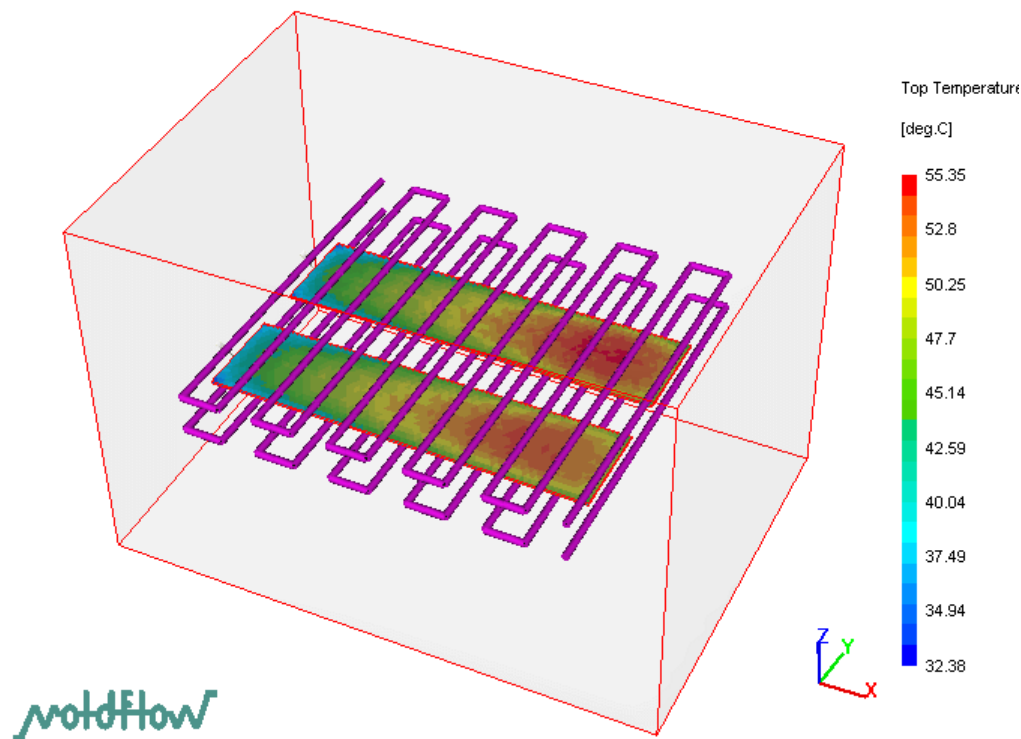
Zykluszeit 20 s

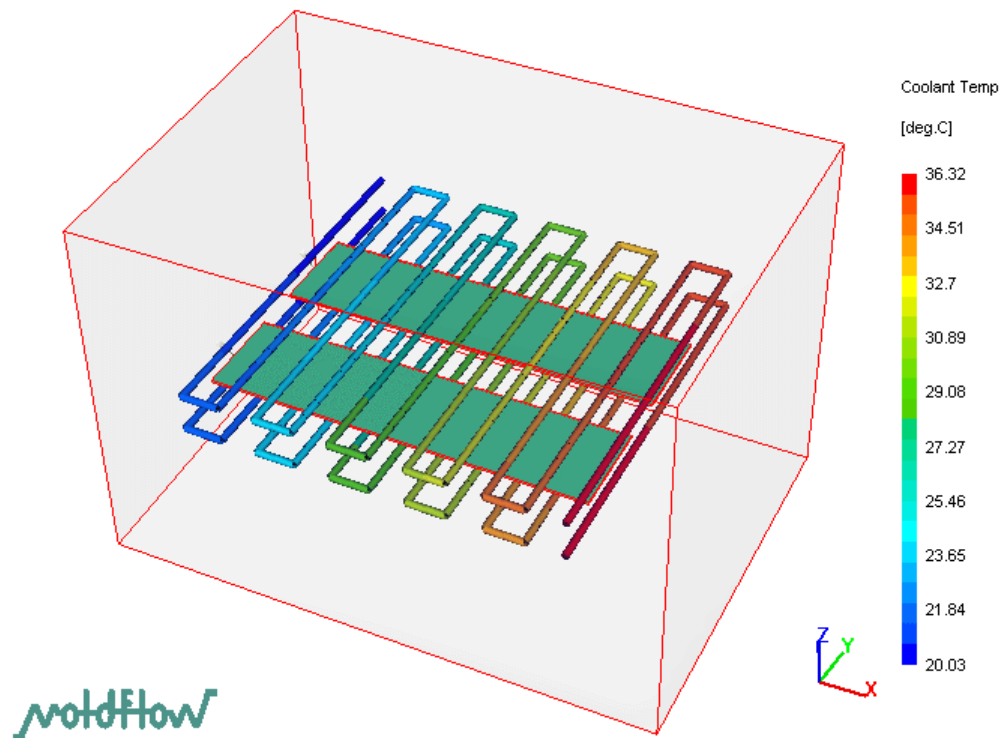
Platte 400 x 100 x 2,5

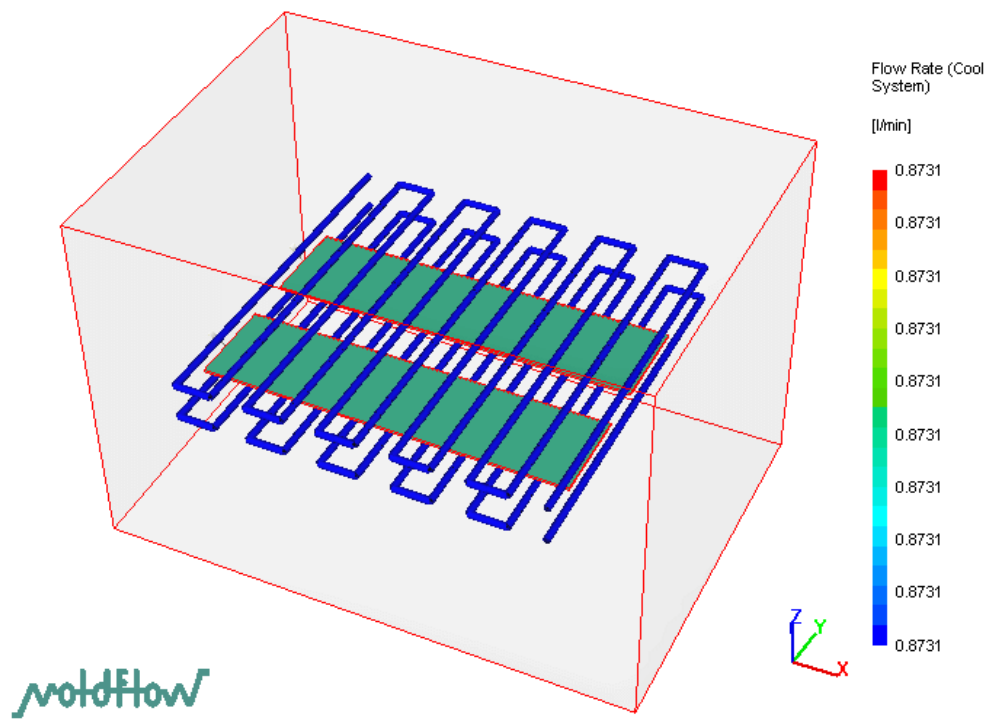
Kühlkanaldurchmesser



voldflow





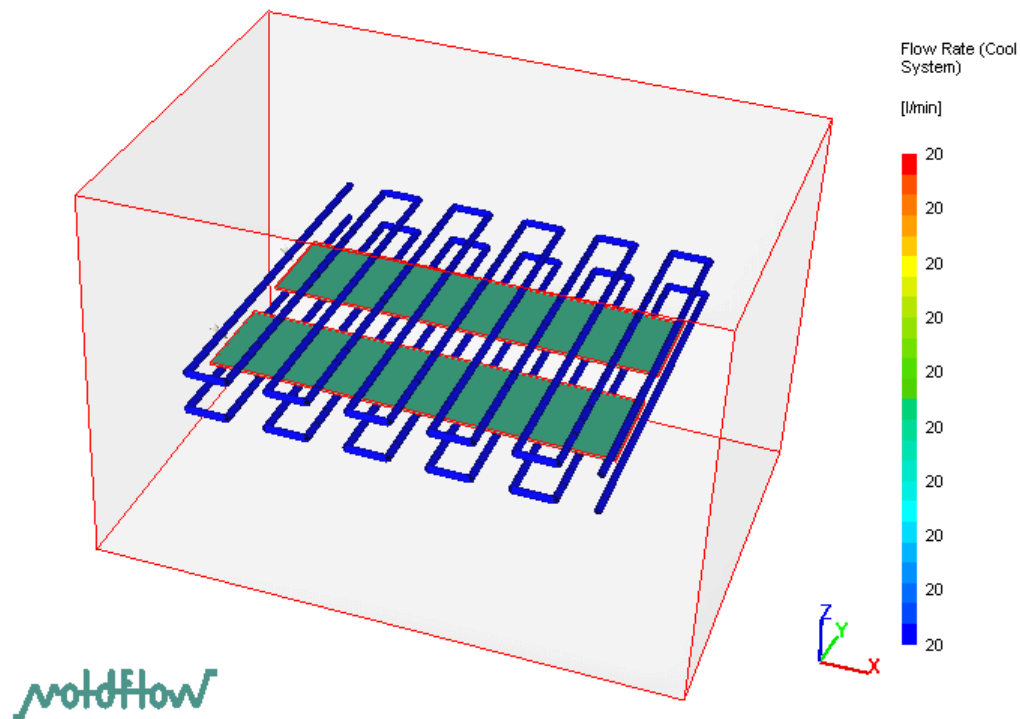


Woher kommt der reduzierte Durchfluss?

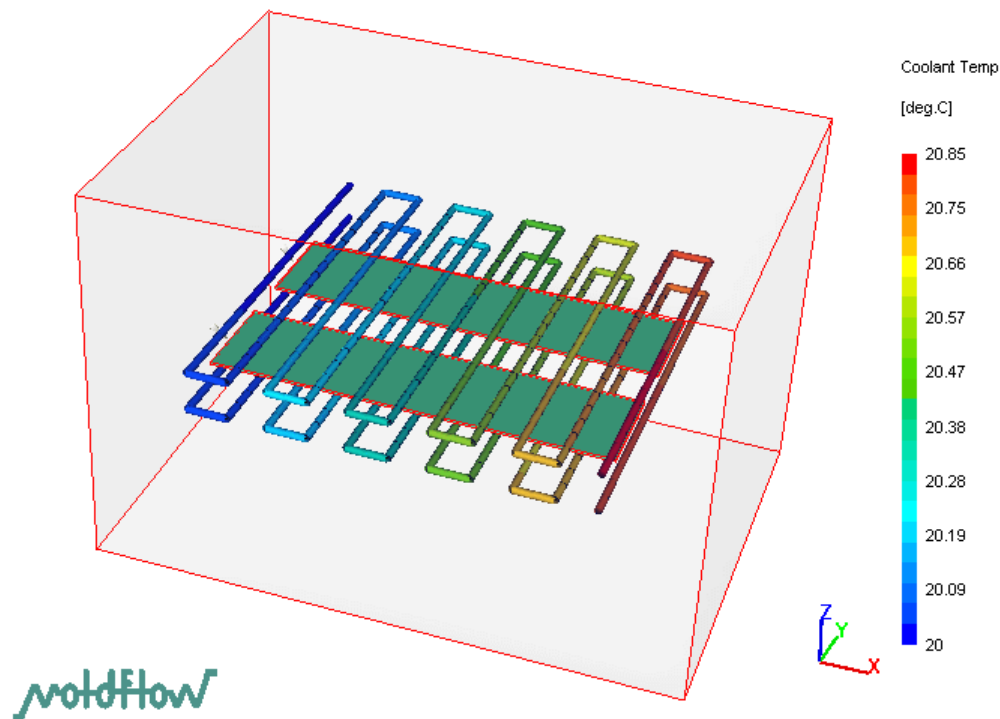
Berechnungsbeispiel Temperierung

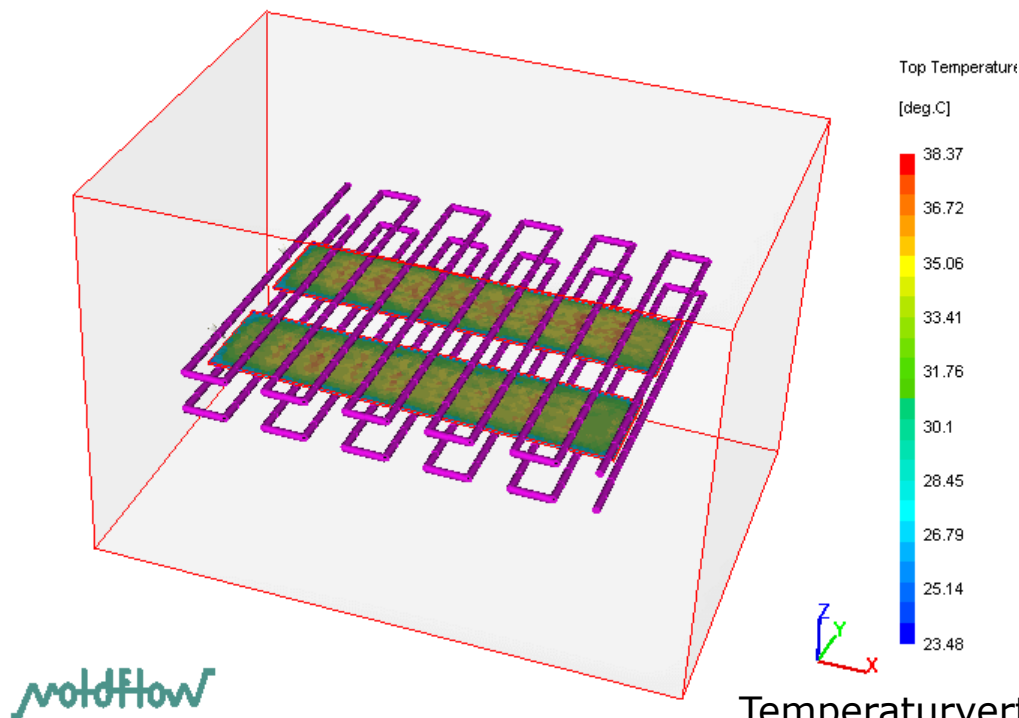
Anschlußdurchmesser 13	Mittelwert für ξ [-]
	0,68
	3,30
	1,79
	4,09
	4,79
	6,46
	6,00
	7,29





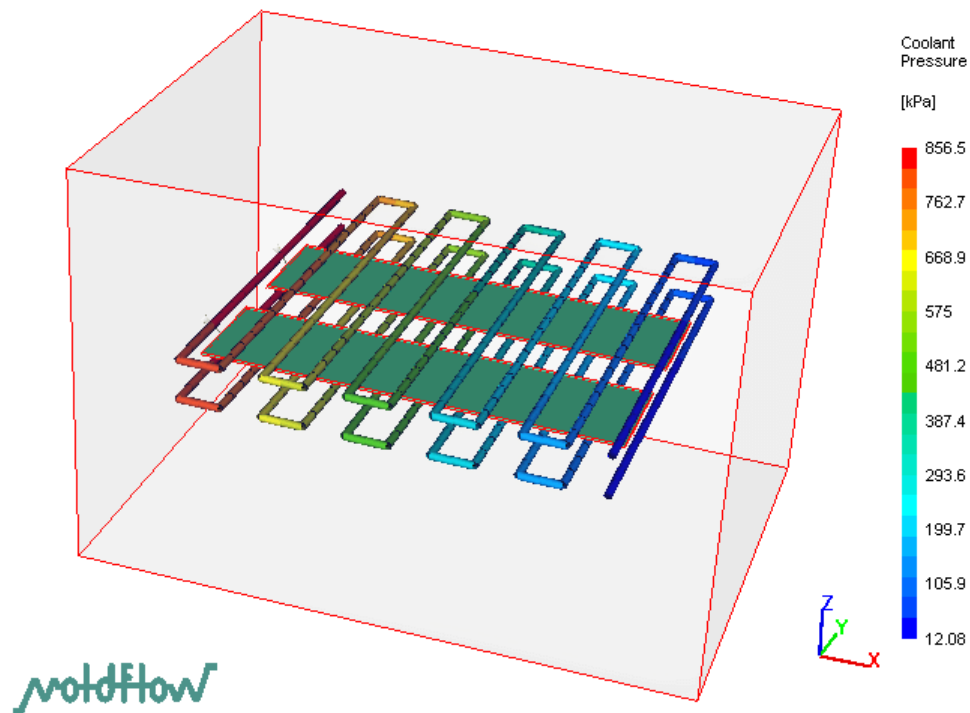
Wie groß ist die Erwärmung des Temperiermediums?

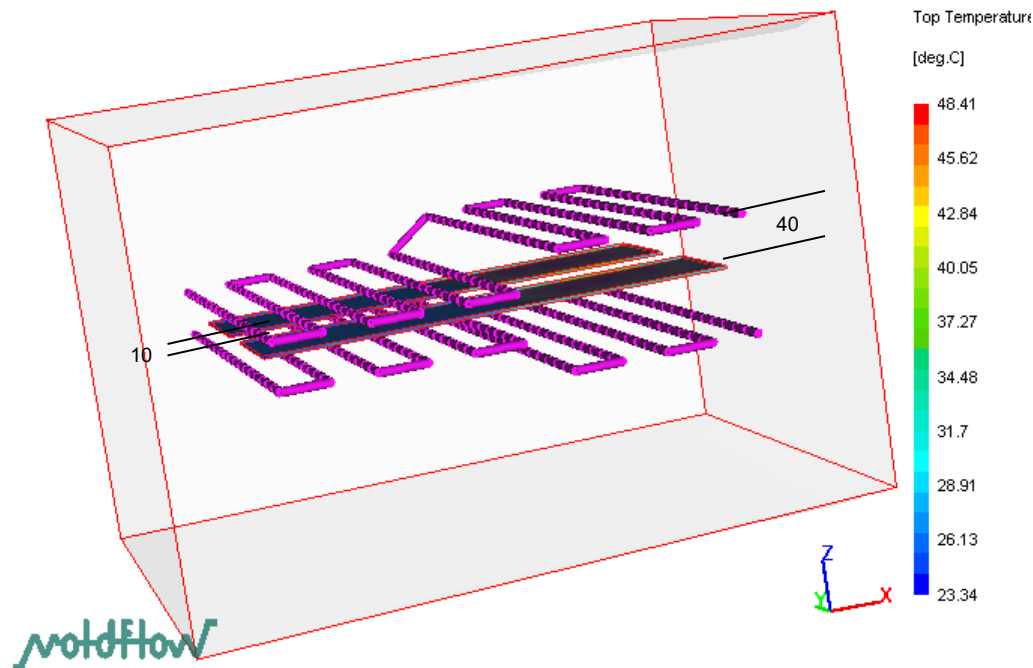


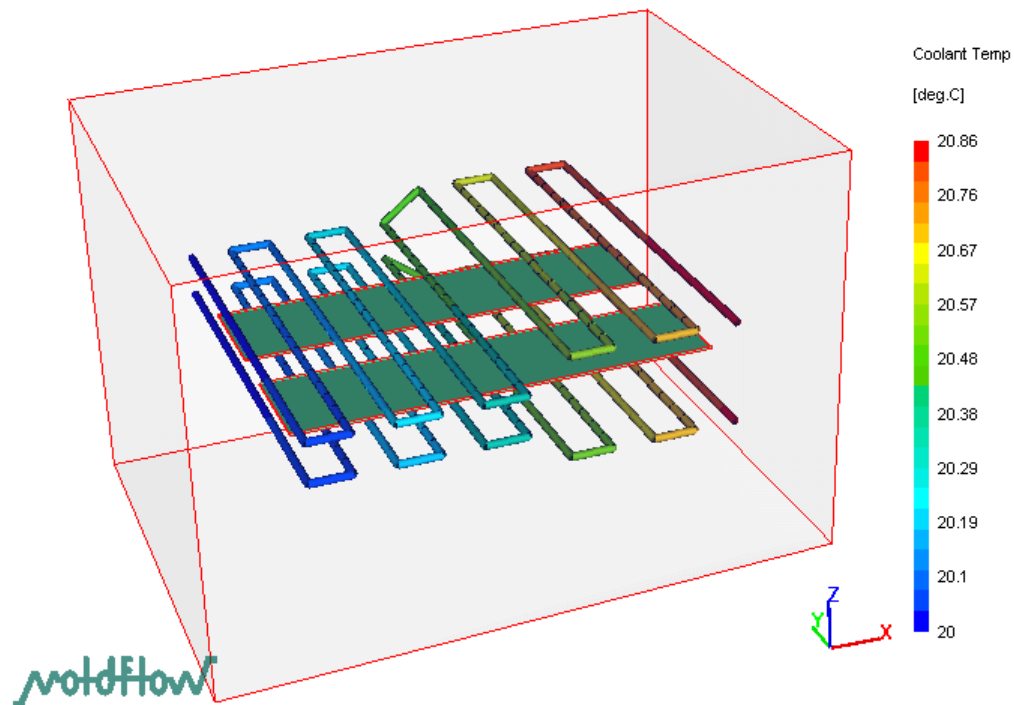


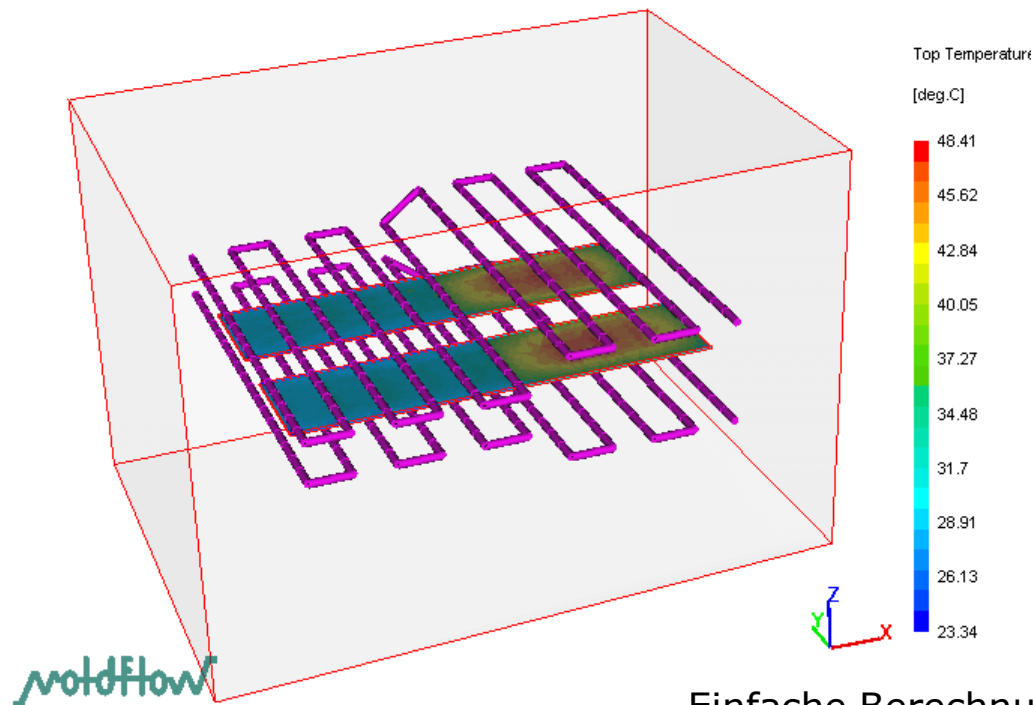
Temperaturverteilung?

20 l/ min ohne Probleme möglich? 21

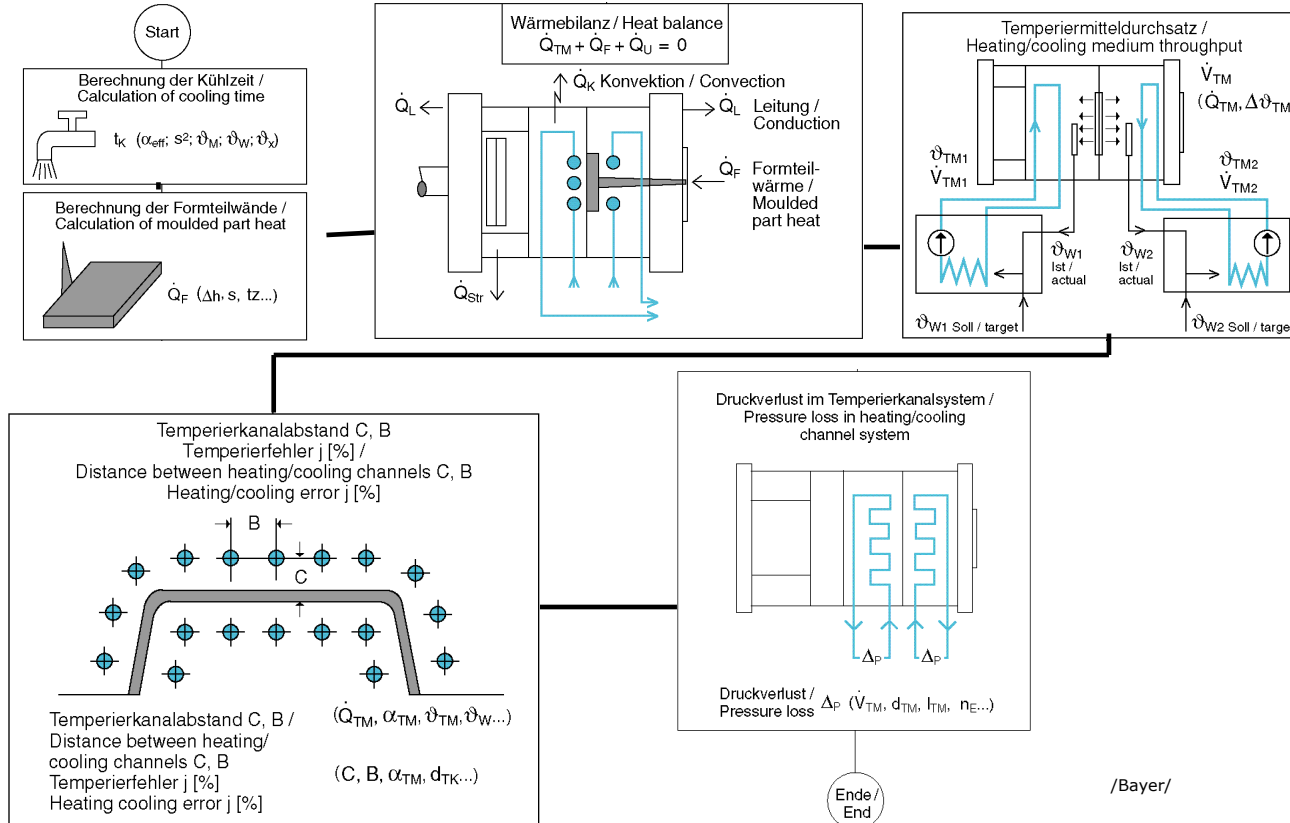






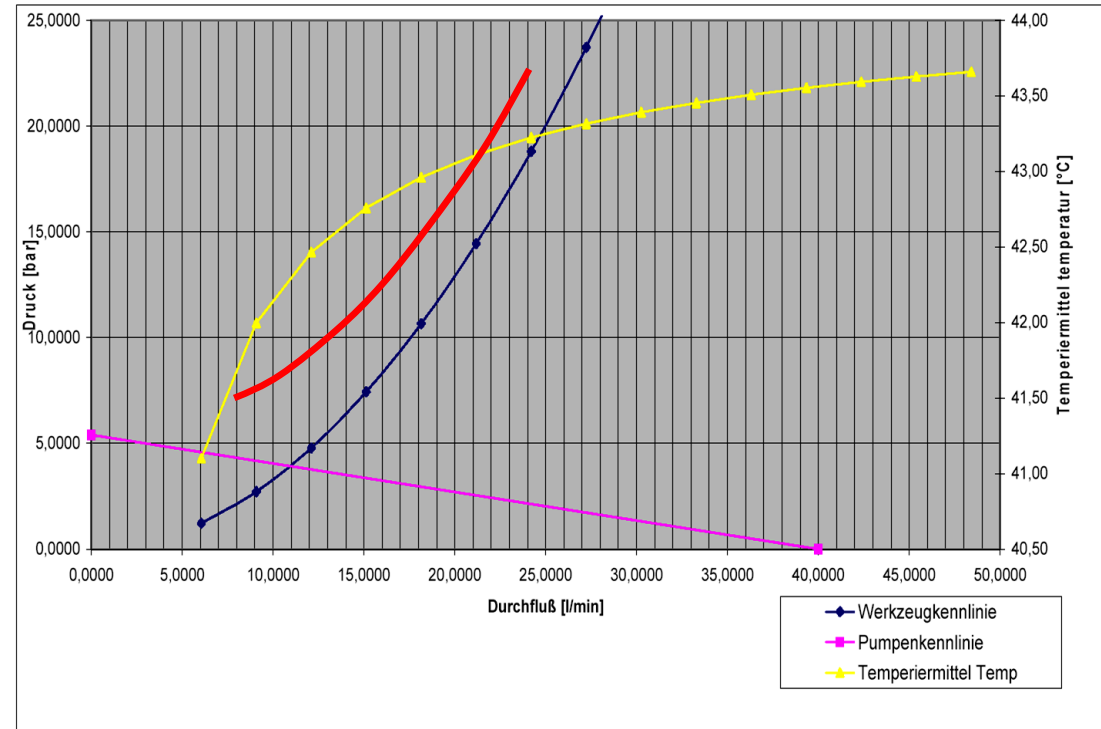


Einfache Berechnungsmöglichkeiten?



Pumpenkennlinie

Pumpenkennlinie Beispiel AS 1		
Temperiergerät 01.12.2004		
max. Druck	[bar]	5,4
max. Durchfluss	l/min	40



Temperaturfühler

1. Abstand von der Formnestoberfläche bei berechn. Abstand und einer Amplitude von 3 bis 4°C.

2. Die zweckmäßige Lage des Fühlers ist u. a. von der Geometrie und dem Aufbau des Werkzeuges sowie von der Anordnung der Temperierkanäle abhängig.

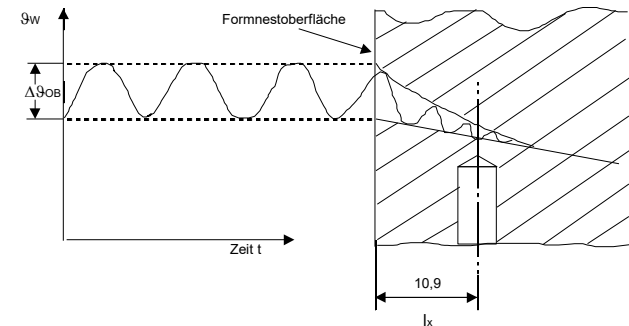
3. Der Fühler soll sich an der Stelle befinden, wo die Temperatur eine ausschlaggebende Rolle spielt (Qualitäts- und Funktionsbereiche des Formteils), z.B. Maße mit engen Toleranzen, Bereiche mit hoher Verzugsneigung oder hohen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften.

4. Der Fühler sollte nicht hinter einem Kühlkanal liegen. Alle übrigen Bereiche zwischen Kühlkanälen und der Formnestwand und neben den Kühlkanälen sind geeignet.

Abstand Temperaturfühler Thermoplast

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit	Vorschlag	Eingabe
	Kunststoffformmasse (Typ)			PC
	Kunststoffformmasse (Handelsname)			Makrolon
Temperaturen				
ϑ_M	Massetemperatur (Verarbeitungstemperatur)	(°C)	Hersteller	320
ϑ_w	mittlere Werkzeugtemperatur (Formnest)	(°C)		90
Zeiten				
t_{zyklus}	Zykluszeit	(s)		17
Temperaturfühler				
b_w	Wärmeindringkoeffizient Werkzeug	(W ^{1/2} s / K*s ²)		11080
b_M	Wärmeindringkoeffizient Formmasse	(W ^{1/2} s / K*s ²)		900
a_{eff}	Temperaturleitfähigkeit Werkzeug	(mm ² /s)		9,42
$\Delta\vartheta_{zu}$	zulässige Temperatur-Amplitude	(°C)		3

Ergebnis			
Temperaturfühler			
$\Delta\vartheta_{OB}$	Temperaturschwankungen an der Oberfläche	(°C)	17,3
l_x	Abstand Temperaturfühler - Formnest	(mm)	10,9



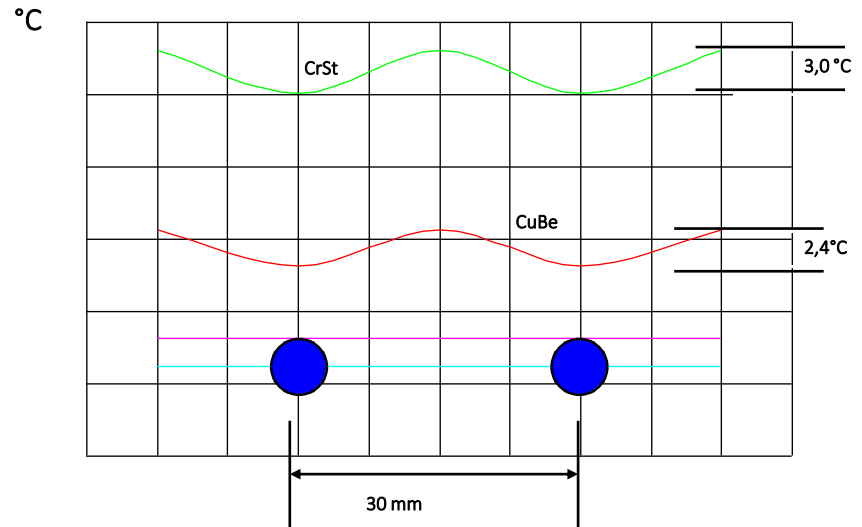
Abstand: Kühlkanal - Kühlkanal

Je kleiner der Abstand zwischen den Kühlkanälen und umso höher die Wärmeleitfähigkeit λ des Werkzeugs, desto gleichmäßiger ist die Temperatur an der Kavitätsoberfläche.

Wärmeleitfähigkeit λ [W/m K]:

niedrig leg. Stähle	ca. 50
hochlegierte Stähle	ca. 15 - 30
CuBe	ca. 80 - 150
Aluminium	ca. 220
Isolierplatten	ca. 0,7

Temperierfehler bei einem Abstand
Kavität - Kühlkanal von 26 mm



Durch die Lage der Temperierkanäle zueinander und zur Werkzeugwand ergibt sich an der Formnestwand ein wellenförmiges Temperaturprofil mit einer mehr oder weniger großen Temperaturdifferenz an der Werkzeugwand /5/.

Der Temperierfehler hat nichts mit der physikalisch bedingten Temperaturschwankung an der Formnestoberfläche während des Zyklus zu tun.

Die Formteilebereiche die zwischen den Temperierkanälen liegen, werden schlechter gekühlt als die Bereiche, die dem Temperierkanal gegenüber liegen.

Der Temperierfehler sollte aus Homogenitätsgründen für

teilkristalline Thermoplaste 2,5 bis 5 %

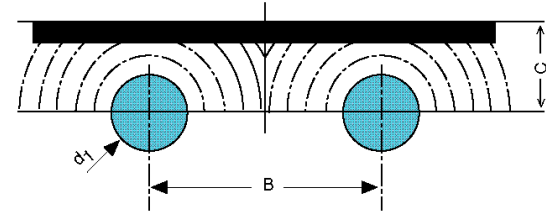
und für

amorphe Thermoplaste 5 bis 10 %

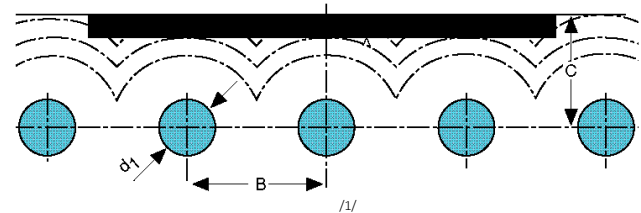
nicht überschreiten.

Die rechts aufgeführten Maße haben sich für eine gleichmäßige Werkzeugtemperierung von flächigen Formteilen als zweckmäßig erwiesen.

① Ungleichmäßige Wärmeabfuhr / Uneven heat removal



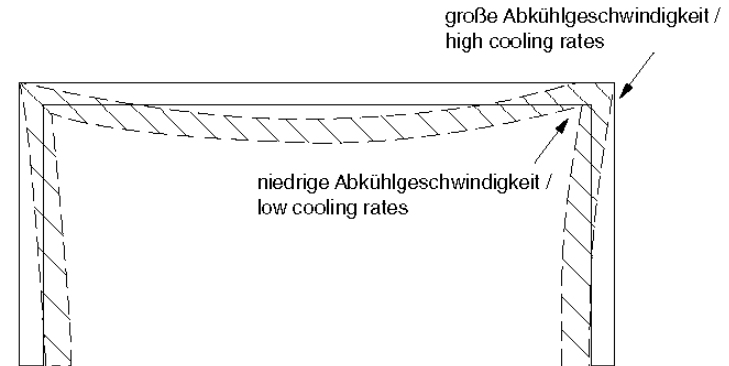
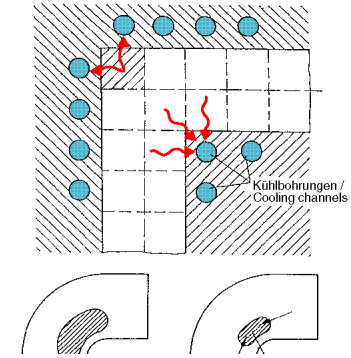
② Weitgehend gleichmäßige Wärmeabfuhr / Largely uniform heat removal



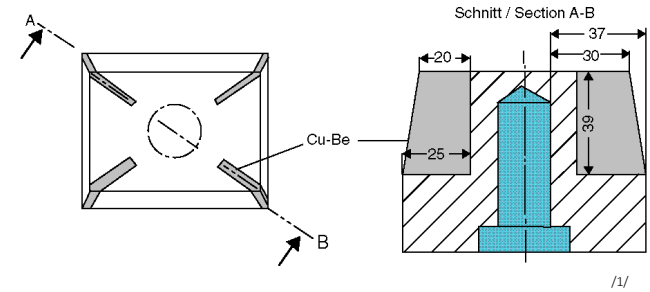
Wanddicke des Spritzgießteils (mm)	Abstand Bohrermitte zum Spritzgießteil (mm)	Bohrermittenabstand (mm)	Bohrerdurchmesser (mm)
0,0 bis 1,0	11 bis 15	10 bis 13	4 bis 6
1,0 bis 2,0	15 bis 21	13 bis 19	6 bis 8
2,0 bis 4,0	21 bis 27	19 bis 23	8 bis 11
4,0 bis 6,0	27 bis 35	23 bis 30	11 bis 14
6,0 bis 8,0	35 bis 50	30 bis 40	14 bis 18

Im Bild kann man erkennen, daß dem äußeren, schraffierten Rechteckbereich an der Konkavseite zwei Kühlbohrungen zugeordnet werden können. In der Konkavseite lassen sich drei Rechteckbereiche der einen Bohrung zuordnen. Dementsprechend verschiebt sich die heiße Seele zur Konkavseite. Beim Erstarren kommt es zu Schwindungsunterschieden, die nach der Entformung zu Winkelverzug führen können.

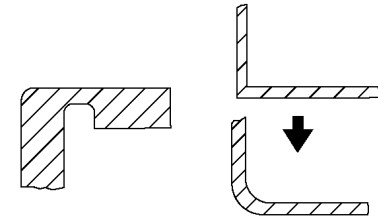
Wenn der Kern nur Konkavbereiche enthält, kann durch eine niedrigere Kerntemperatur (kalter Kern - warmes Nest) die Kernseite so schnell abgekühlt werden, daß sich die Restschmelze in das Zentrum der Ecke verschiebt.



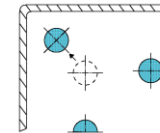
Durch Materialien mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit in der Konkavseite der Ecken (Cu-Be - Einsätze) kann hier die Wärme schneller entzogen werden.



Falls Funktion und Design des Artikels es zulassen kann die Eckengeometrie abgeändert werden. Dadurch wird die Fläche für den Wärmeaustausch vergrößert.

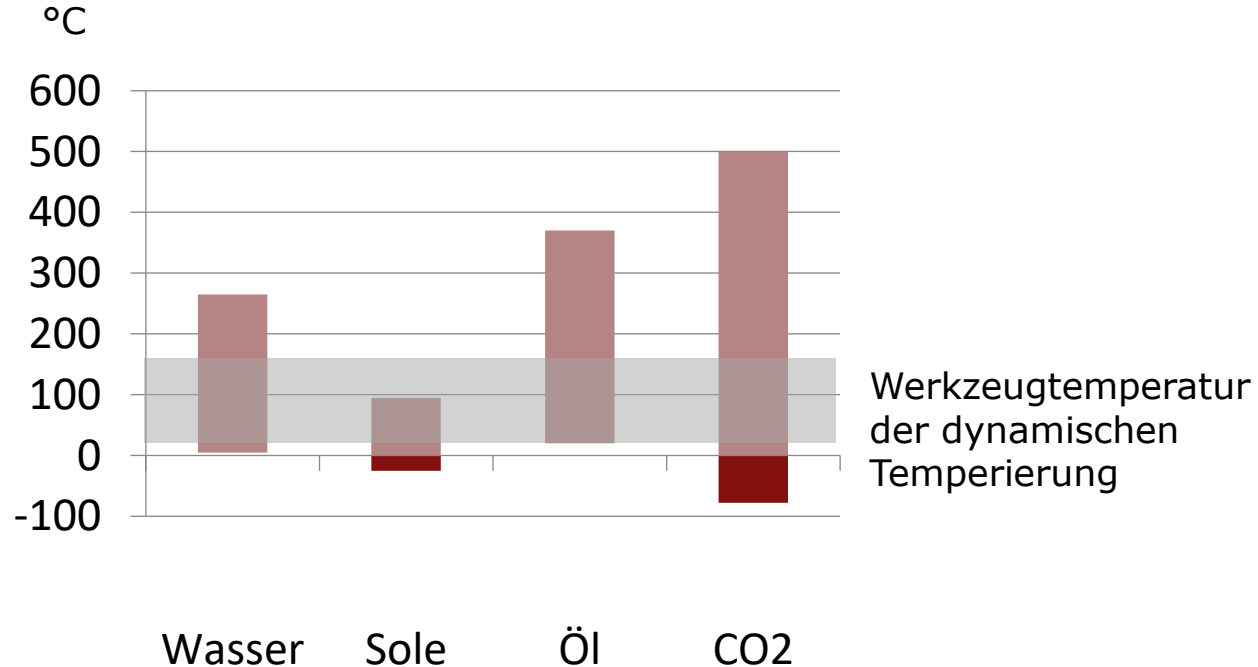


Nach Möglichkeit sollte einer Ecke ein eigener Kühlkanal zugeordnet werden. Für einen guten Wirkungsgrad muß der Abstand gering sein.



Bezeichnung	Wst. Nr.	Wärmeleitfähigkeit λ $\frac{W}{m \cdot K}$	spez. Wärme c_p $\frac{J}{kg \cdot K}$	Dichte ρ $\frac{kg}{m^3}$	Wärmeeindringfähigkeit b $\frac{W \cdot \sqrt{s}}{K \cdot m^2}$	Temperaturleitfähigkeit a $\frac{mm^2}{s}$
Stahl	1730	41	460	7850	12168	11,35
Stahl	2083	23	460	7700	9026	6,49
Stahl	2162	41	460	7850	12168	11,35
Stahl	2311	34	460	7850	11080	9,42
Stahl	2312	34	460	7850	11080	9,42
Stahl	2343	23	460	7800	9084	6,41
Stahl	2764	36	460	7850	11402	9,97
Stahl	2767	31	460	7850	10580	8,58
Kupfer		372	419	8300	35968	106,97
Aluminium		155	945	2700	19887	60,75
CuBe2		105	427	8200	19174	29,99
AMPCO 18		62	333	7450	12400	25,00
AMPCO 21		44	382	7200	11000	16,00
AMPCO 22		43	381	7060	10750	16,00
AMPCO 25		33	366	6930	9153	13,00
AMPCOLOY 972		333	387	8870	33811	97,00
AMPCOLOY 940		217	415	8710	28015	60,00
AMPCOLOY 95		208	396	8750	26853	60,00
AMPCOLOY 88		230	751	8750	38877	35,00
AMPCOLOY 83		106	428	8260	19353	30,00

Theoretische Vorlauftemperaturen für Wärmeträger:



Vergleicht man die Wärmeübergangsbedingungen zwischen Wasser und Wärmeträgeröl,

- ▶ bei einer Temperiermitteltemperatur $\vartheta_{TM} = 80 \text{ °C}$
- ▶ bei einem Kanaldurchmesser von $D_{KK} = 8 \text{ mm}$
- ▶ bei einem Temperiermitteldurchsatz von $m_{TM} = 5 \text{ kg/min}$

so erhält man für den Wärmeübergangskoeffizienten

- ▶ Wasser: $\alpha_{TM} = 10900 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
 - ▶ Öl: $\alpha_{TM} = 696 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Faktor 15!

Die Wärmeübergangsbedingungen sind also bei Wasser mehr als zehn mal so gut!

Aufgrund seiner geringen Zähigkeit und guten Wärmeleitfähigkeit ist Wasser das ideale Temperiermedium für Standardtemperierungen!

So stellt man sich sauberes Wasser vor!





Sieht so typisches Kühlwasser aus?

In vielen Fällen bedauerlicherweise ja!

Drei sichtbare Auswirkungen von schmutzigem Kühlwasser auf ein Kühl- und Temperiersystem



Mineralische Ablagerungen
(Wasser- oder Kesselstein)

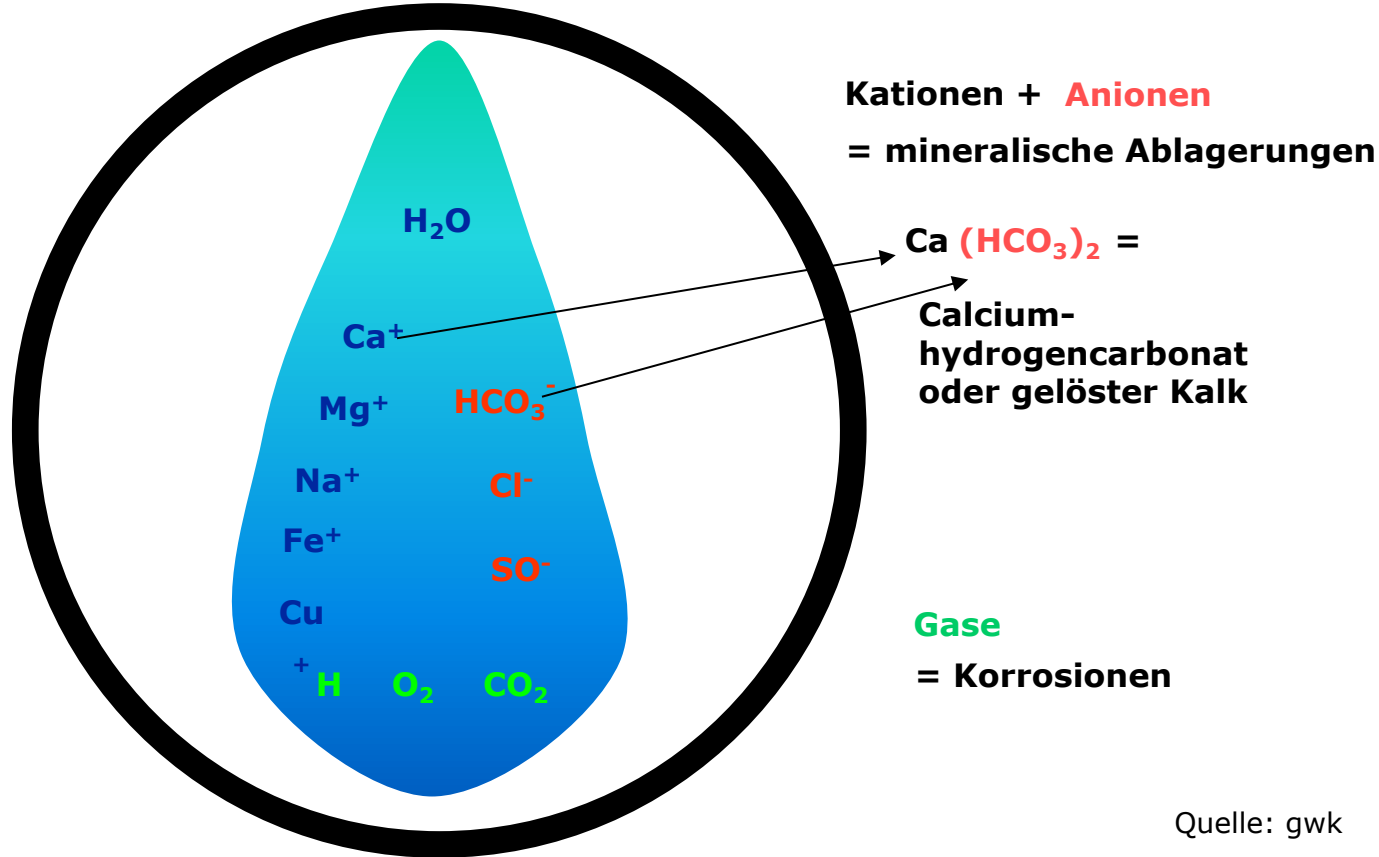


Korrosionen



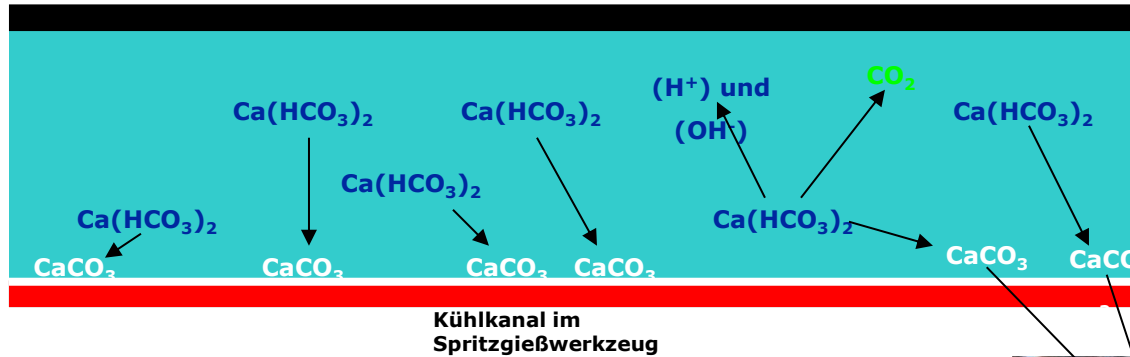
Biologische Beläge
(Algen, Schleim-
bakterien)

Quelle: gwk



Quelle: gwk

Wassertemperatur erhöhen auf $> 40^\circ \text{C}$



H^+ u. OH^-

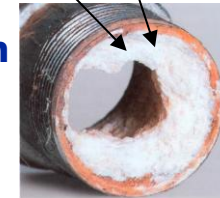
= Wasserstoff- u. Hydroxylionen

CO_2

= Kohlensäure

CaCO_3

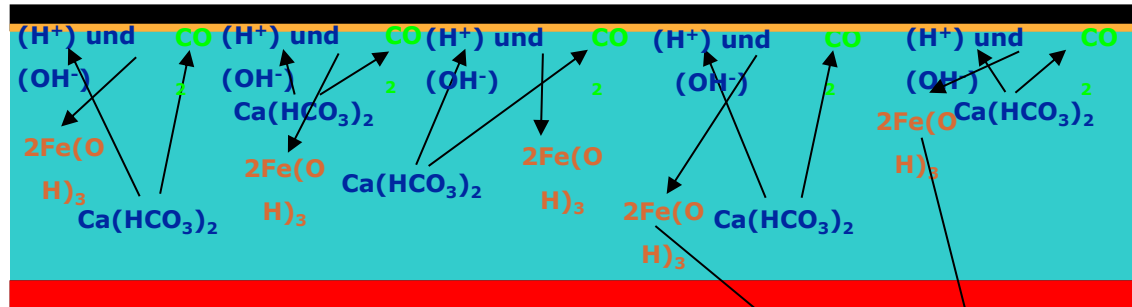
= Calciumcarbonat



Problem: Wasser- oder Kesselsteinablagerungen

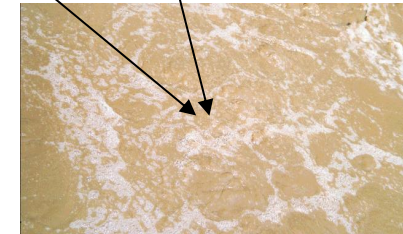
Quelle: gwk

Wassertemperatur erhöhen auf $> 40^\circ \text{C}$



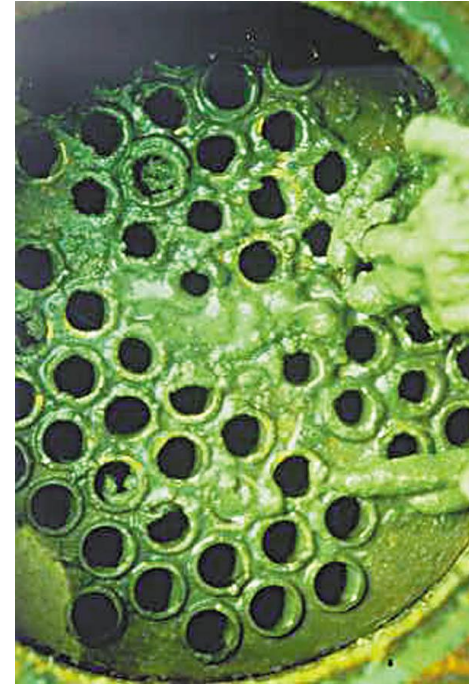
H^+ u. OH^- = Wasserstoff- u. Hydroxylionen
 CO_2 = Kohlensäure

$2\text{Fe}(\text{OH})_3$ =
Eisenhydroxid
Problem: Korrosionen



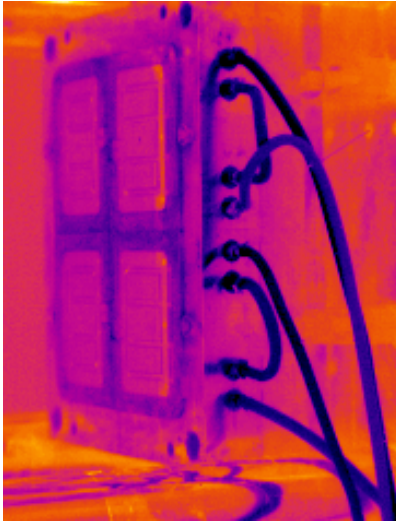
Quelle: gwk

- ▶ Offene Kühlkreisläufe – Algen und Bakterien
- ▶ Ablagerungen innerhalb des Systems
- ▶ Behinderung der Wärmeübertragung
- ▶ Anstieg der Wassertemperatur
- ▶ Beschleunigung der Ablagerungsprozesse
- ▶ Biologisch bedingte Korrosion

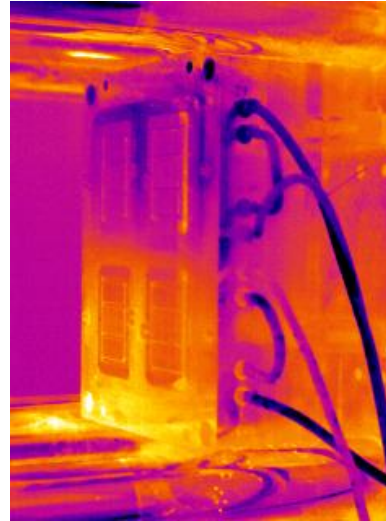


Quelle: gwk

- ▶ Sauberes Werkzeug
- ▶ 530 Teile / Stunde



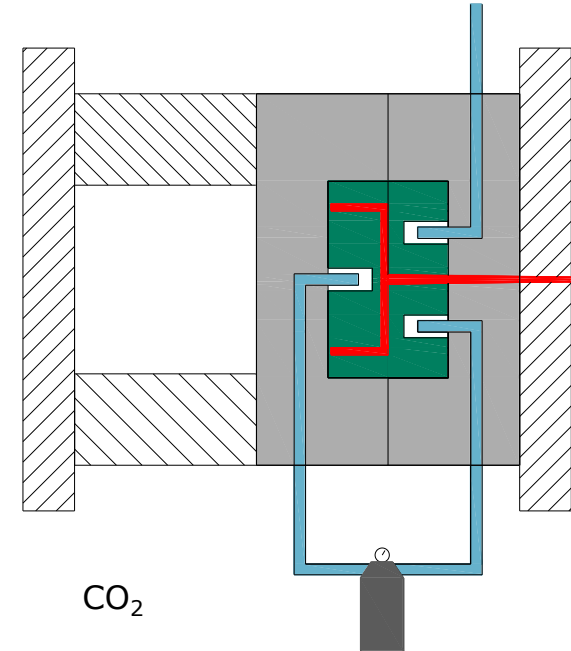
- ▶ Verschmutztes Werkzeug
- ▶ 390 Teile / Stunde



Rückgang der produzierten Stückzahl um ca. 26 %

Quelle: gwk

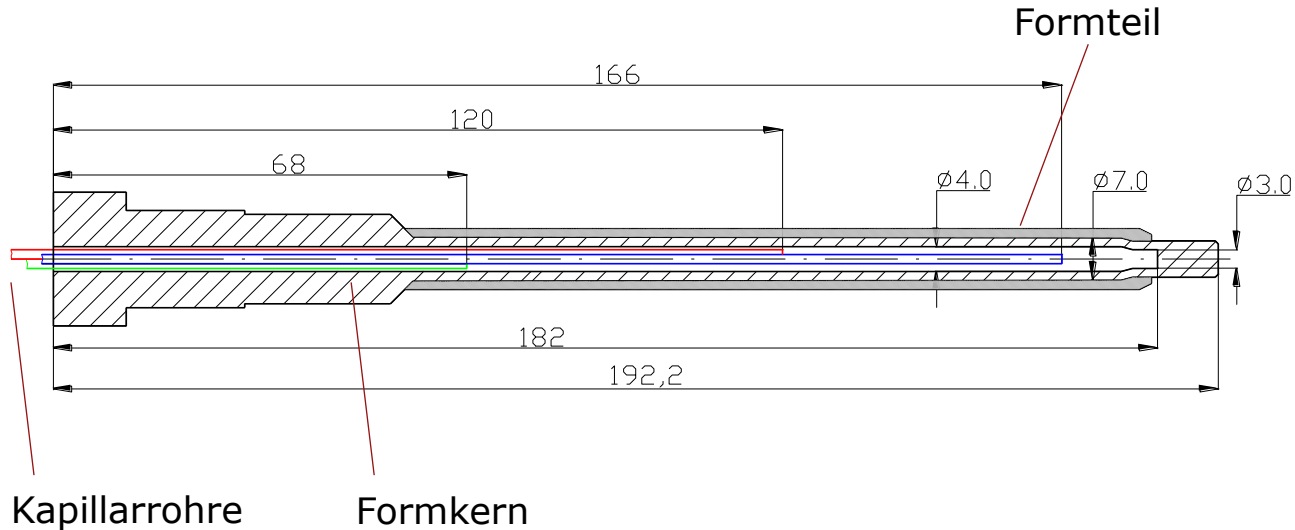
- ▶ Variotherme Prozessführung
- ▶ Temperierung von unzugänglichen Bereichen
- ▶ Temperierung gleichmäßiger
- ▶ Wärmeentzug durch Verdampfen von CO₂

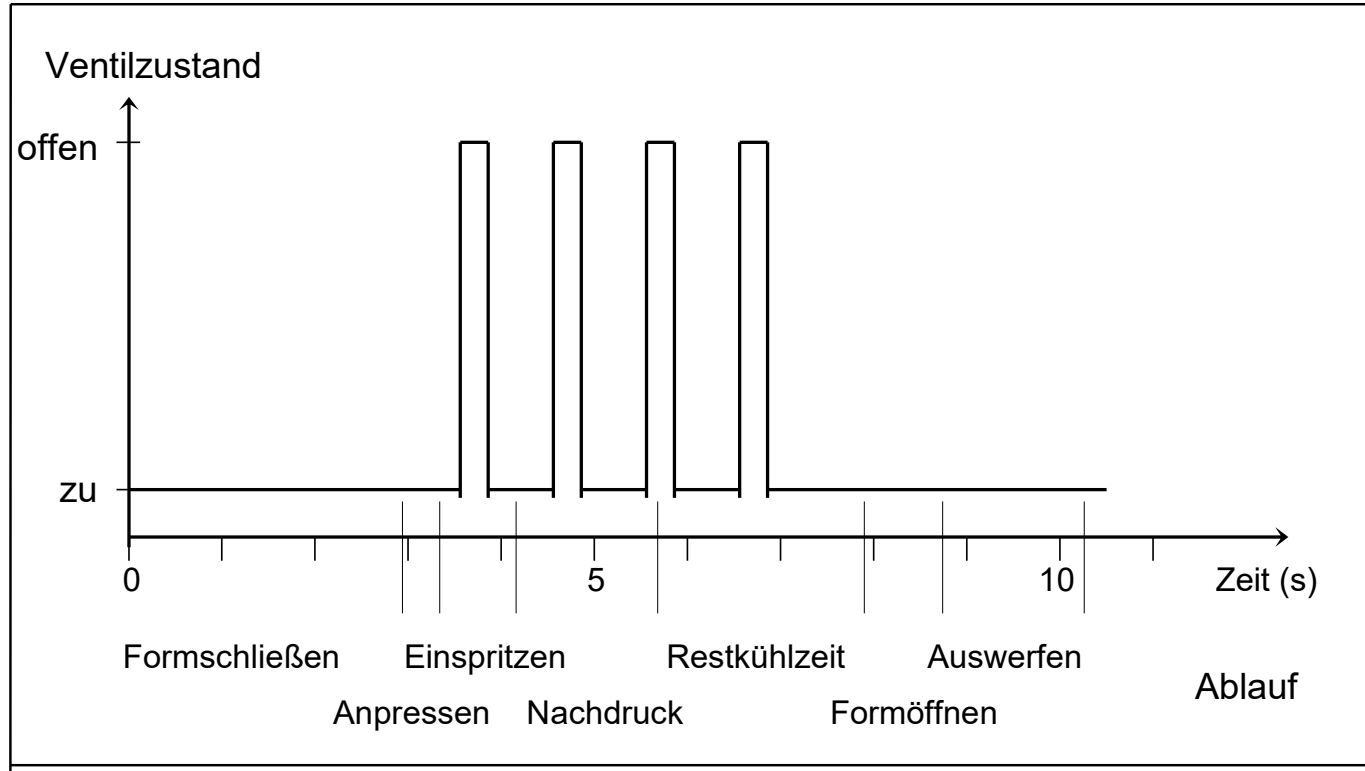


Werkzeugtemperierung mit CO₂

Außendurchmesser 7 mm

Innendurchmesser 4 auf 3 mm



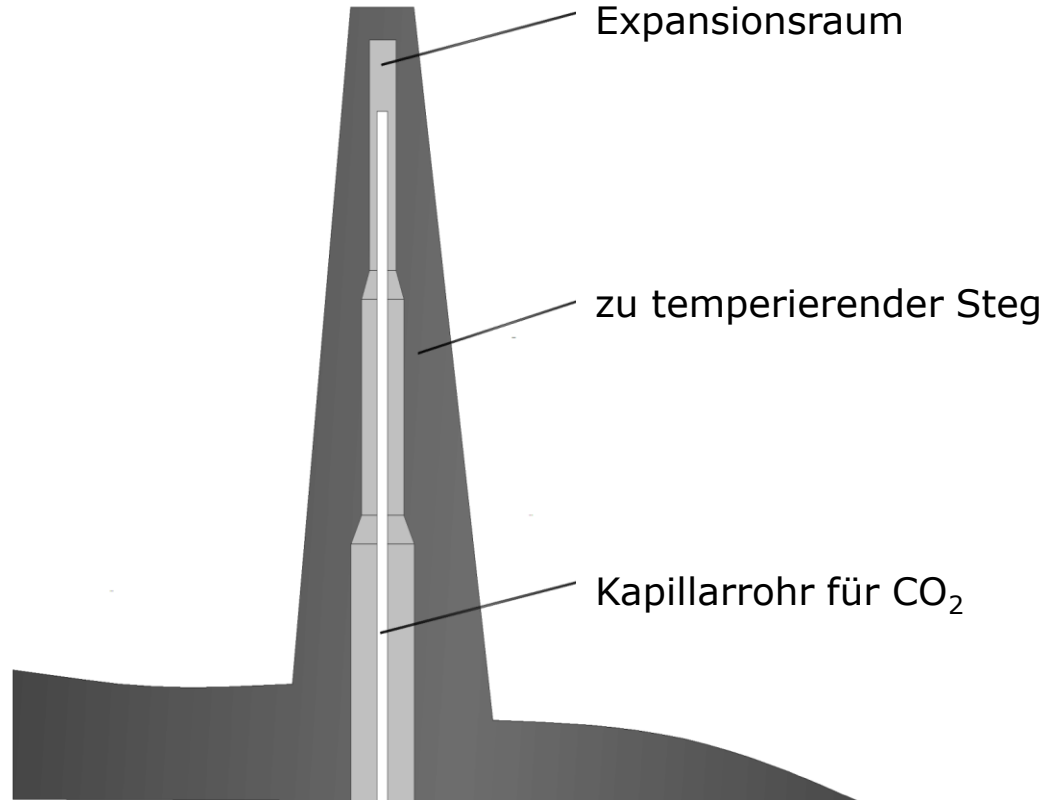


	Konventionelle Kühlung	zusätzliche CO ₂ -Kühlung
Formschließen	2,80 s	2,80 s
Anpressen	0,40 s	0,40 s
Einspritzen	0,84 s	0,84 s
Nachdruck	1,52 s	1,52 s
Kühlzeit	8,02 s	2,22 s
Restkühlzeit	8,02 s	2,22 s
Formöffnen	0,84 s	0,84 s
Auswerfen	1,50 s	1,50 s
Gesamtzeit	15,92 s	10,12 s

Temperierung eines Scheinwerfergehäuses



Zykluszeit bestimmender Bereich



lange, dünne
Stege

Bild 31: Schnitt durch den
Steg; Bohrung und Kapillarrohr

Anordnung der Scheinwerfergehäuse



Beispiel Praxiswerkzeug

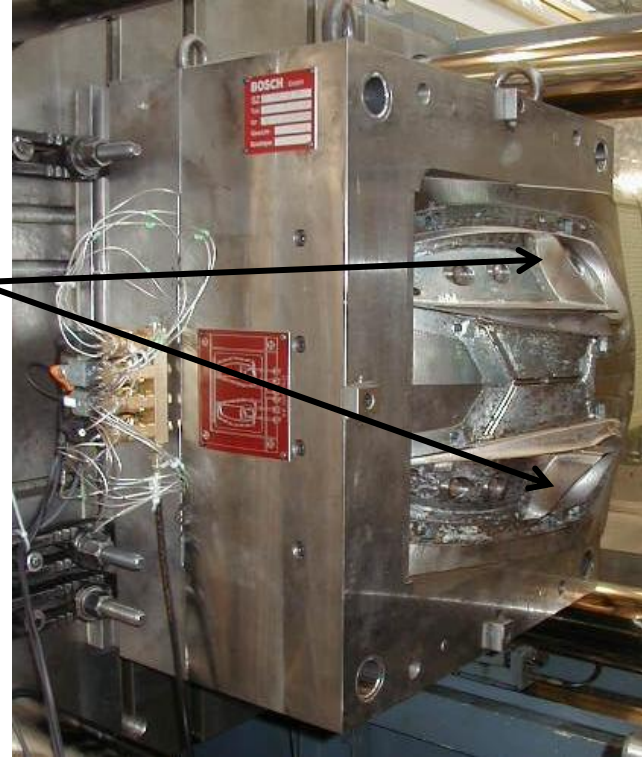
Problem ist der mittlere Steg, der konventionell nicht zu temperieren ist.

Es wurden nachträglich 6 Kapillarrohre pro Steg eingebracht.

Temperaturen:

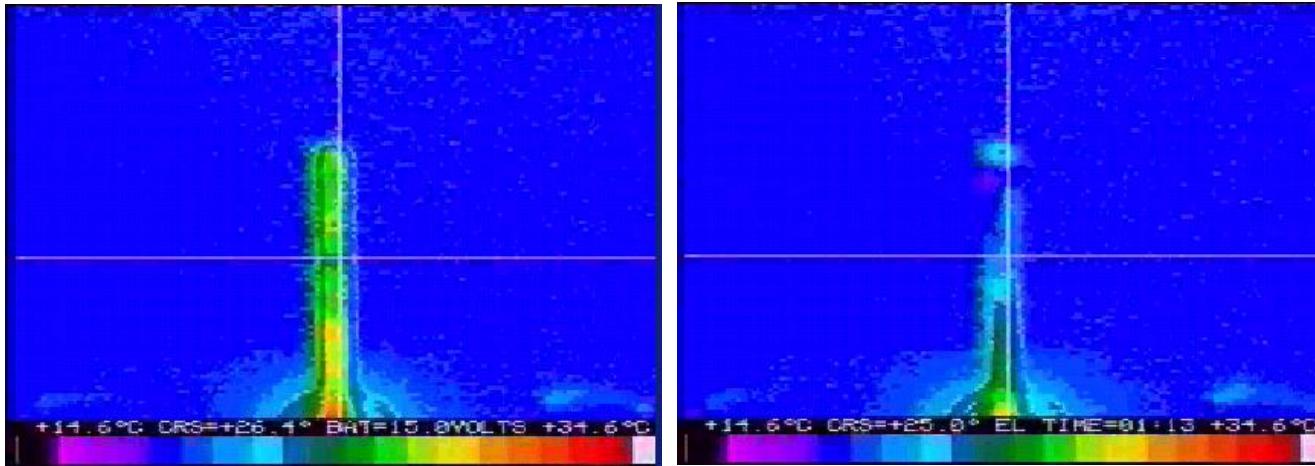
ohne die CO₂ -Temperierung ca. 140°C.

Mit der CO₂ -Temperierung gleiche Temperaturen wie im übrigen Werkzeug (ca. 40°C).

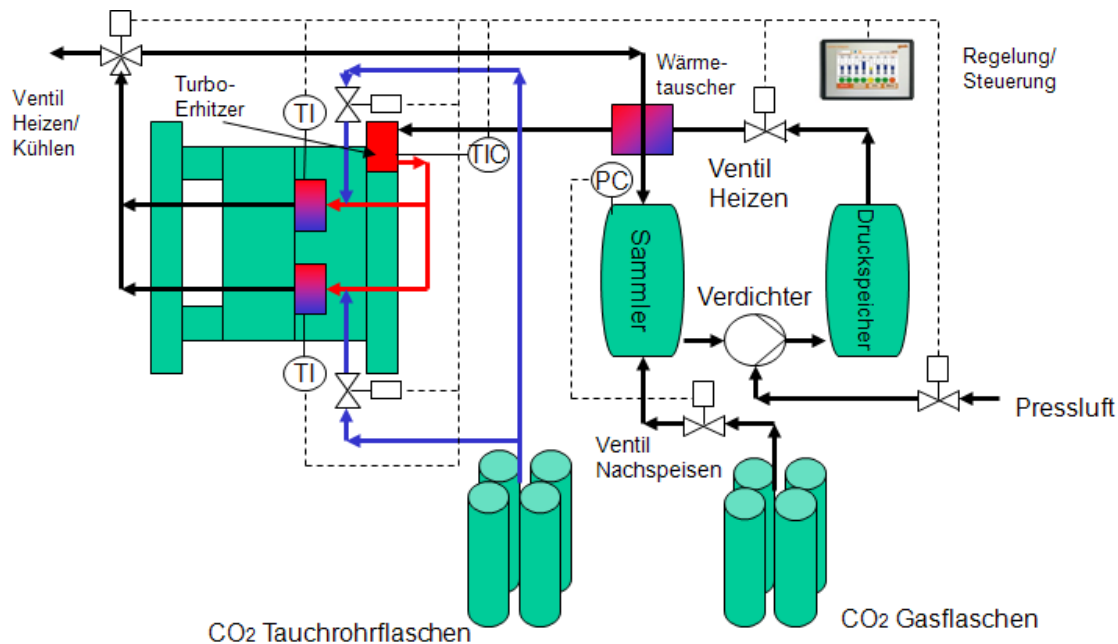


Kühlzeiteinsparung

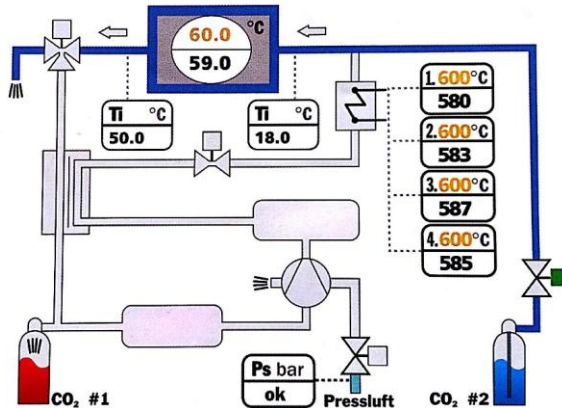
Alte Kühlzeiten, ohne CO ₂ - Temperierung:	100 %
Kühlzeiten mit CO ₂ - Temperierung:	55 %
Kühlzeiteinsparung:	45 %



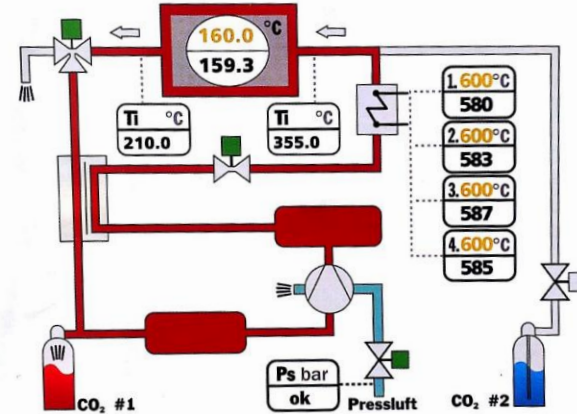
Heizen und Kühlen mit CO₂



Dynamische CO₂ Temperierung



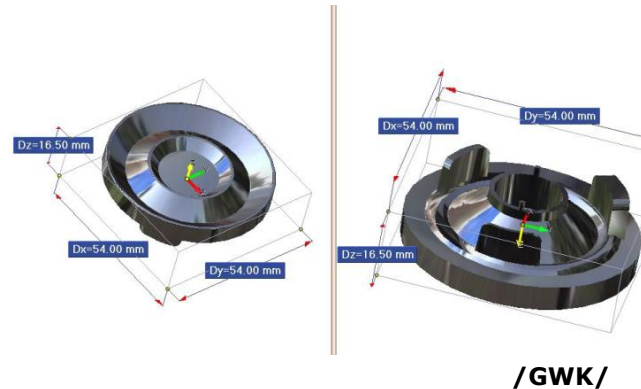
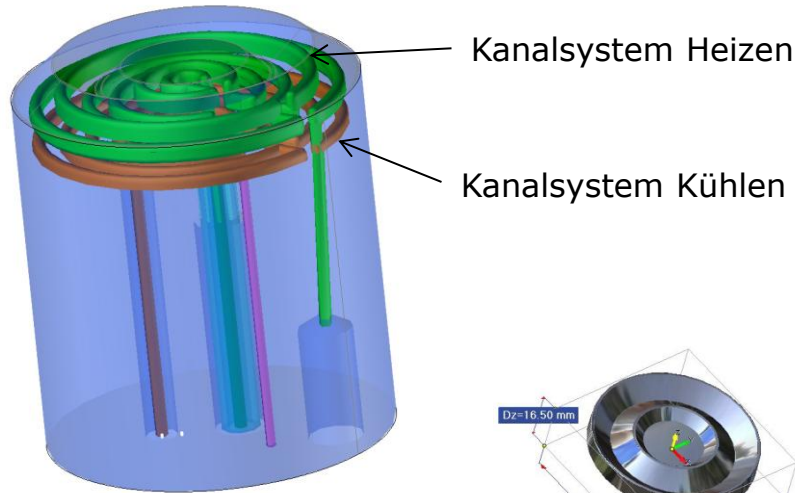
Cooling process

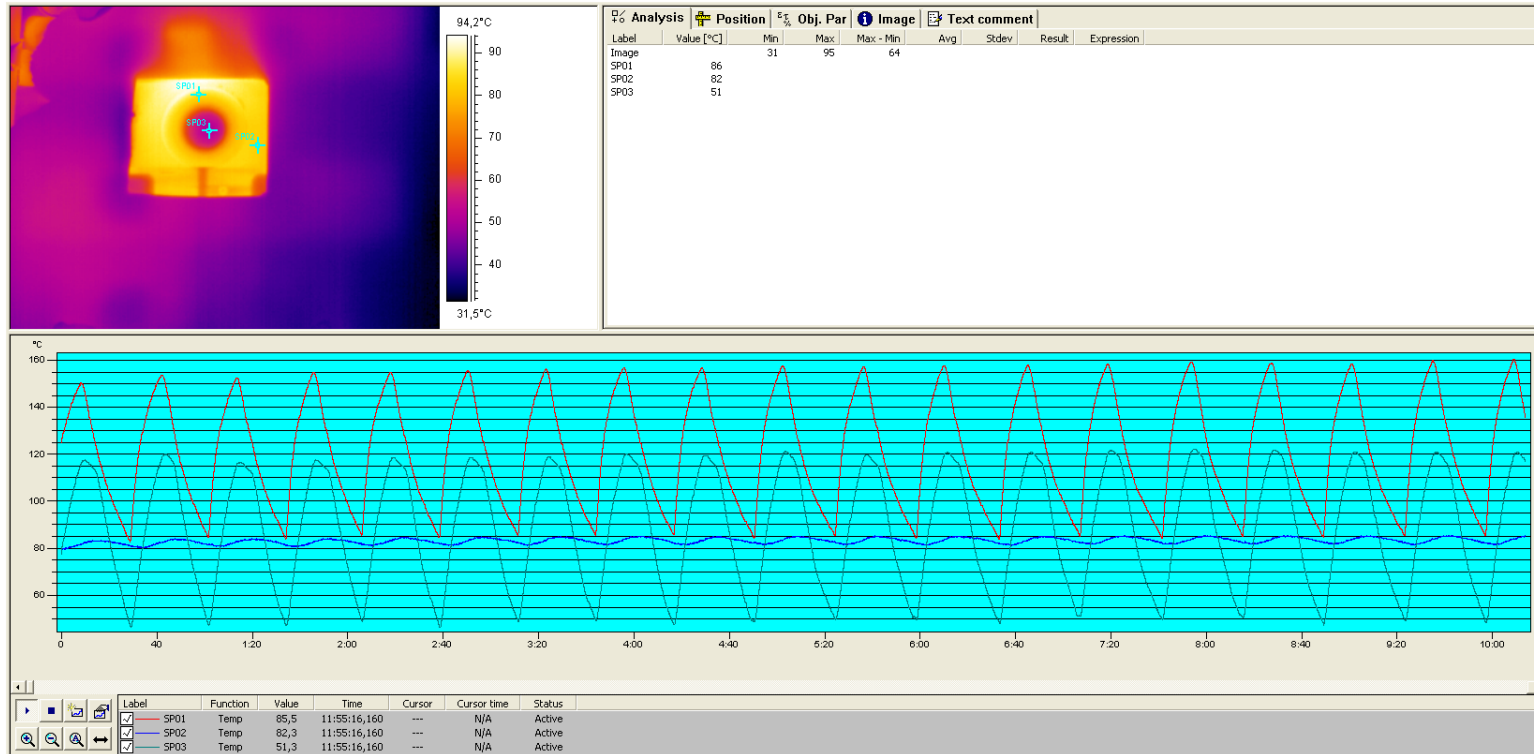


Heating process

/GWK/

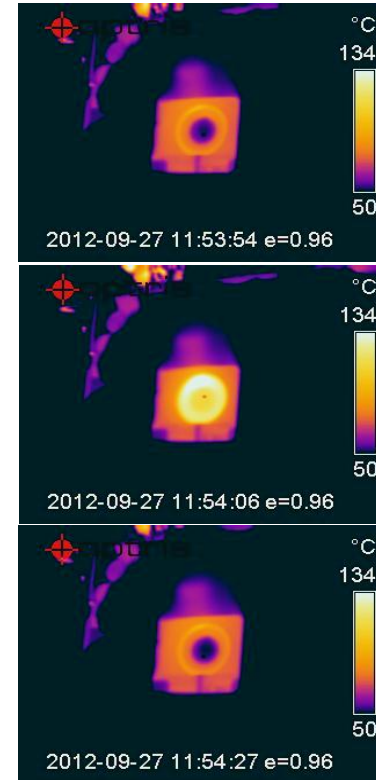
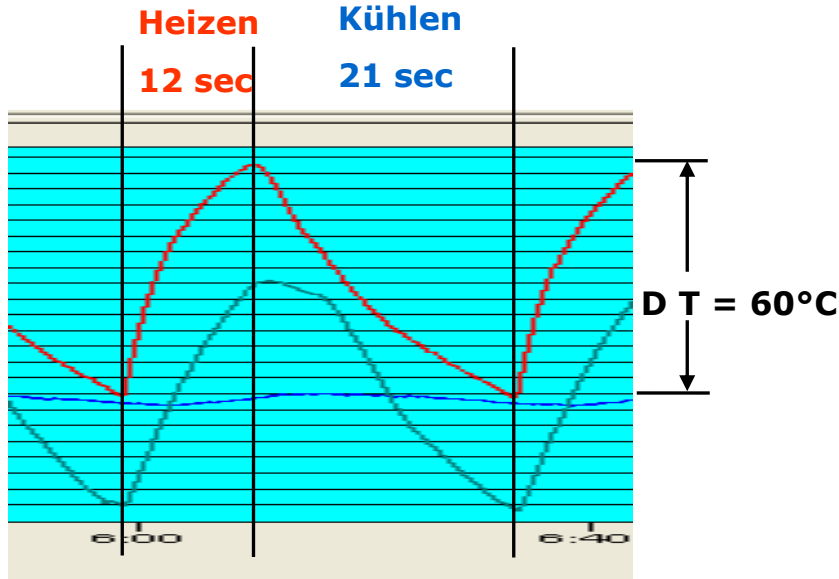
Heizen mit Versuchseinsatz CO₂ Temperierung



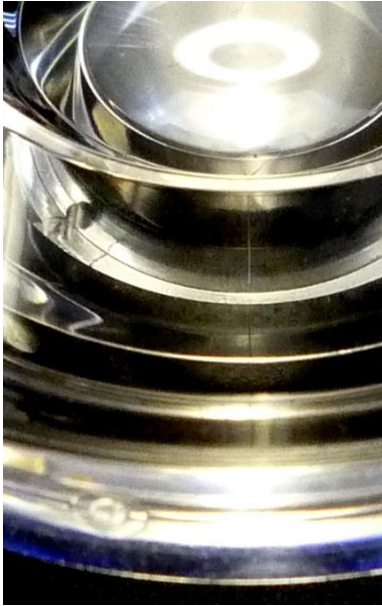


/GWK/

Vorlauftemperatur CO₂ = 300°C

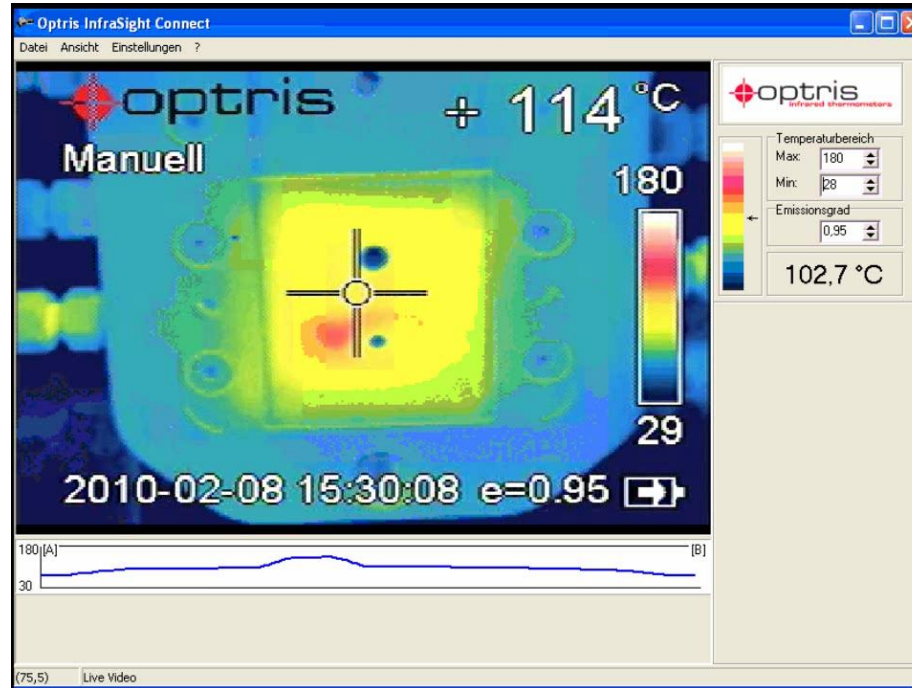


LED Vorsatzoptik
mit dynamischer Temperierung



ohne dynamische Temperierung





Einsatzbereiche und Grenzen

- ▶ Sehr kurze Zykluszeiten durch schnelles Heizen und Kühlen
- ▶ Heizen sehr komplexer Geometrien
- ▶ Verwendung des gleichen Mediums für Heizen und Kühlen
- ▶ Enge und schwer zugängliche Werkzeugbereiche können geheizt / gekühlt werden, abgerundungsfrei
- ▶ Wasserfreies Werkzeug – Reinraumtaugliche Temperierung
- ▶ Nicht geeignet für großflächige Temperierungen (z.Zt. max ca. 60 x 60 mm)

Umweltaspekte / Relationen:

- ▶ Bei der CO₂ Temperierung wird CO₂ genutzt, nicht erzeugt
- ▶ Das verwendete CO₂ wird aus den Abgasen der Ammoniakherstellung gewonnen
- ▶ In Praxis üblicher Verbrauch zwischen 30 – 60 kg CO₂ pro Tag und Werkzeug im 3-Schichtbetrieb
- ▶ Ein moderner Mittelklasse PKW erzeugt pro km ca. 150 g CO₂; d.h. 60 kg

Wo sind Temperaturen prozessrelevant?

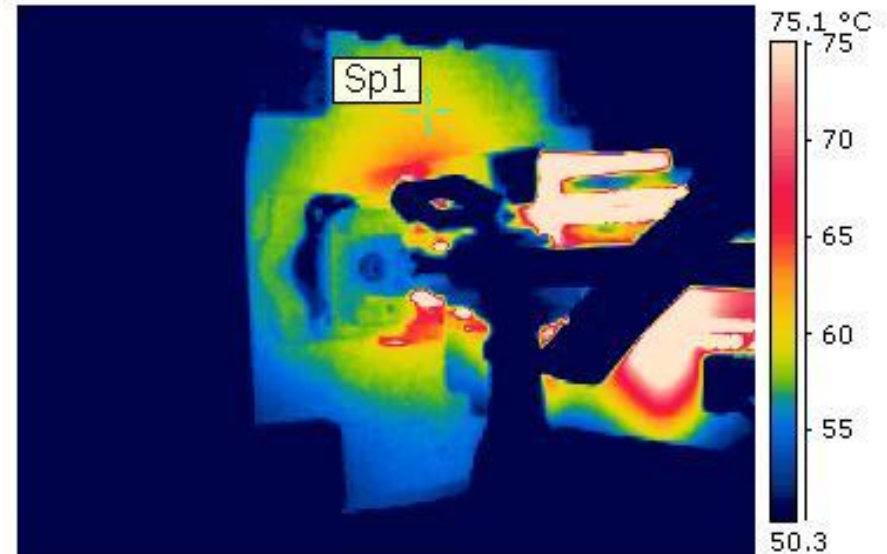
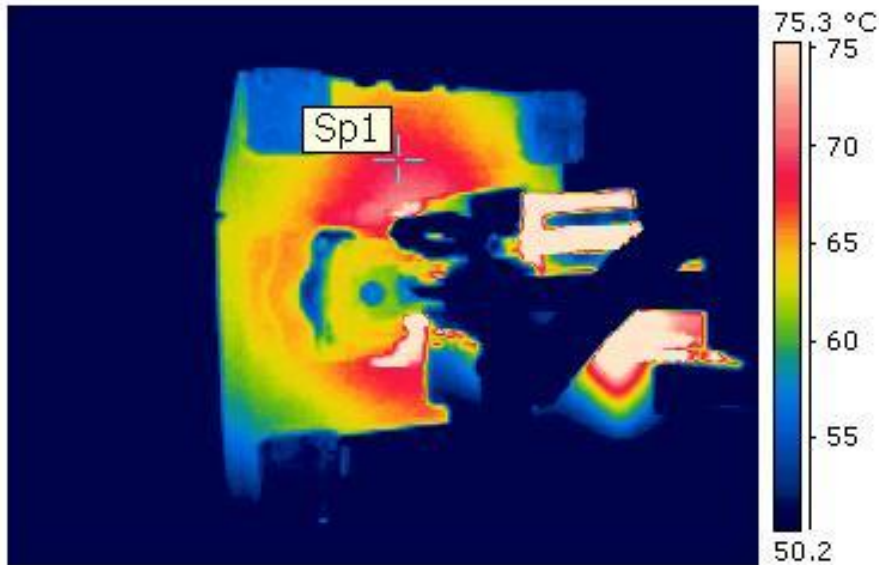
- ▶ Trockner
- ▶ Förderluft
- ▶ Trichter
- ▶ Plastifiziereinheit
- ▶ Werkzeug
- ▶ Temperiermedium
- ▶ Umlauftemperierung
- ▶ Maschine
- ▶ Öltemperatur
- ▶ Umgebungsluft
- ▶ Abkühlstrecke
- ▶ Lager
- ▶ Transport
- ▶ etc.



Bild : Spritzgießmaschine der Firma Krauss – Maffei vom
Typ KM – Duroset 200 – 1400.

Beispiel: Maschinenaufspannplatte

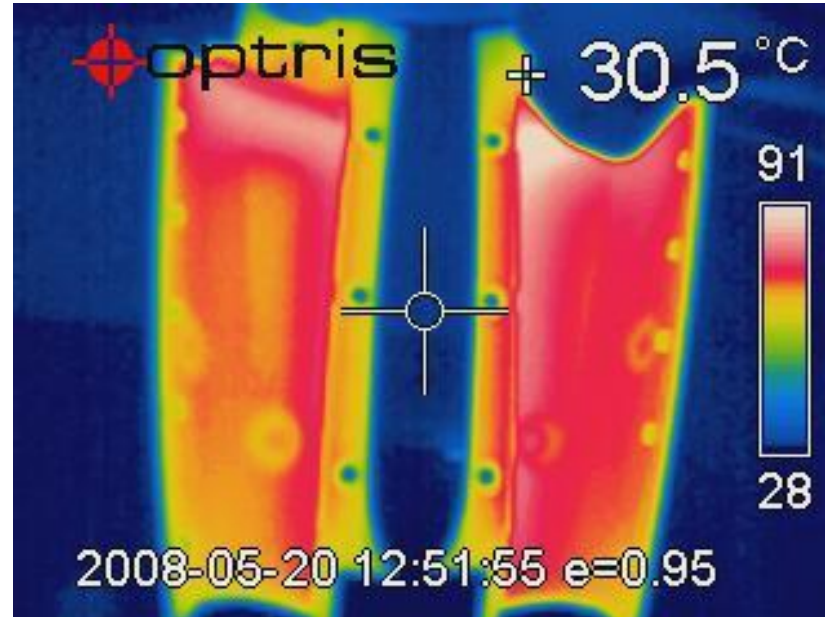
Lackierte Maschinenaufspannplatte: PC Werkzeug im 3-Schichtbetrieb
Links ohne Isolierung der Aufspannplatte, rechts mit



Beispiel: Abdeckung

Beispiel 2: Bauteilverzug durch unterschiedliche Kerntemperaturen, durch eine falsch angeschlossene Temperierung

2-fach Werkzeug; rechtes Bauteil verzogen



Beispiel: Reflektor

Beurteilung:

Die Nester sind nicht gleichmäßig temperiert.

$T_{\max} = \text{ca. } 185^{\circ}\text{C}$

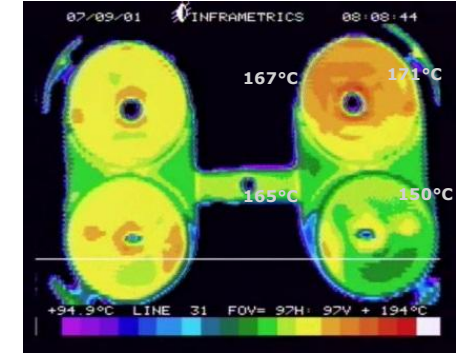
$Dt = 21^{\circ}\text{C}$

Versuche die Temperaturen durch unterschiedliche Heizleistungen gezielt zu verändern brachten kein nachvollziehbares Ergebnis.

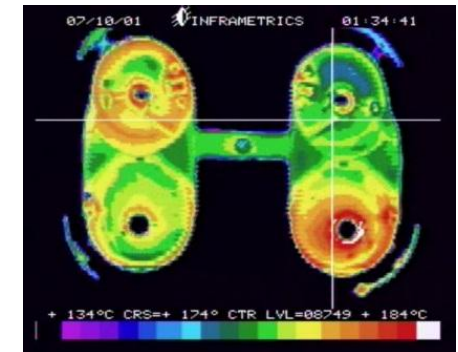
Ursache:

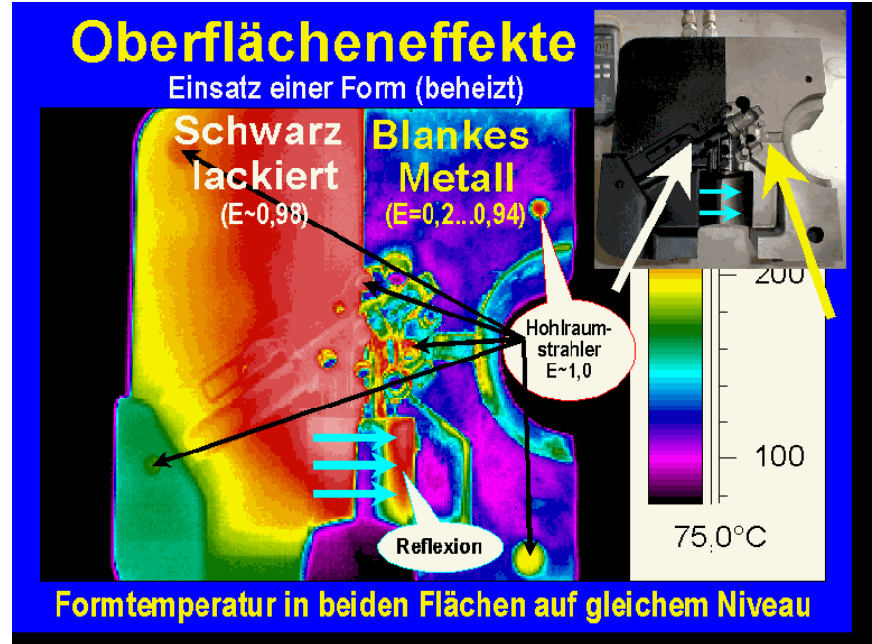
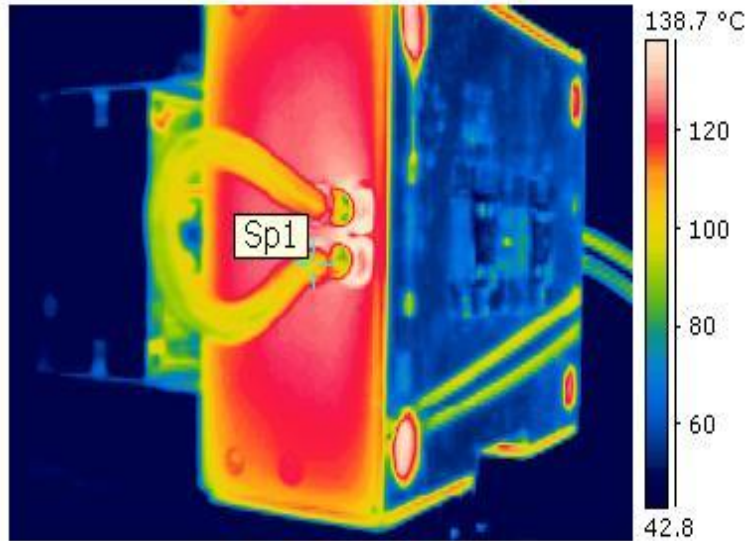
Die Temperatursensoren im Werkzeug über kreuz angeschlossen worden.

Vorderansicht

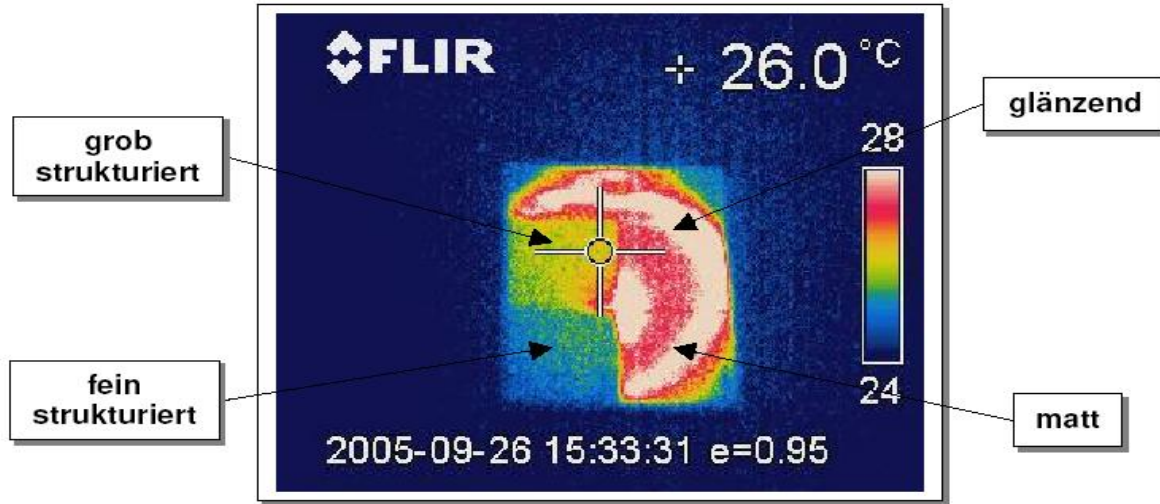


Rückansicht





Reflektionen und somit der Emissionsgrad sind von der Oberflächenbeschaffenheit (poliert, rau, oxidiert, sandgestrahlt) abhängig.



- ▶ Kurze Übertragungsstrecke realisieren
- ▶ Hohe Luftfeuchtigkeit, Dampf, Rauch, Staub, elektromagnetische Felder, mechanische Vibrationen und fremde Strahlungsquellen (Reflektionen) ermitteln und vermeiden
- ▶ Umgebungsstrahlungstemperatur bestimmen
- ▶ Hohe Temperaturschwankungen im Messbereich vermeiden
- ▶ Geeignete Messunterlage wählen
- ▶ Richtige Einstellung und Fokussierung des Sichtfeldes
- ▶ Emissionsfaktor bestimmen
- ▶ Transmission überprüfen und geeignete Wellenlänge aussuchen
- ▶ Emissionsgrad bei metallischen Oberflächen erhöhen (z.B. durch „SCHWÄRZEN“ oder „BEKLEBEN MIT FOLIE“)

- ▶ Räumlichkeiten begutachten / Störfaktoren vermeiden
- ▶ Transmissionsfähigkeit des Artikels bzw. Folie überprüfen
- ▶ Artikel unter Fertigungsbedingungen entnehmen
- ▶ Sichtfeld und Fokussierung überprüfen
- ▶ Messentfernung als Korrekturwert in die Kamera eingeben
- ▶ Temperaturmessbereich und den Spanbereich festlegen
- ▶ Sichtwinkel und eventuelle Reflektionen am Messobjekt überprüfen
- ▶ Fotos vom Messobjekt, Messaufbau und der Messumgebung erstellen
- ▶ Anhand einer „frischen“ Messprobe den Emissionswert ermitteln und als Korrekturwert in die Kamera eingeben
- ▶ Ermittelte Korrekturwerte erneut auf richtige Eingabe überprüfen
- ▶ Informationen schriftlich in einem Protokoll festhalten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Andreas Kürten
+49 (0) 23 51.10 64-101
A.Kuerten@kimw.de

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