



# Induktionserwärmung und Kunststoffspritzguss

**22. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium**

**Stuttgart, 16. – 17. März 2011**

Institut für Konstruktion und Fertigung  
in der Feinwerktechnik IKFF

Dipl.-Ing. Till Zimmermann

Dipl.-Ing. Matthias Maier

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe



Arburg



Liventa

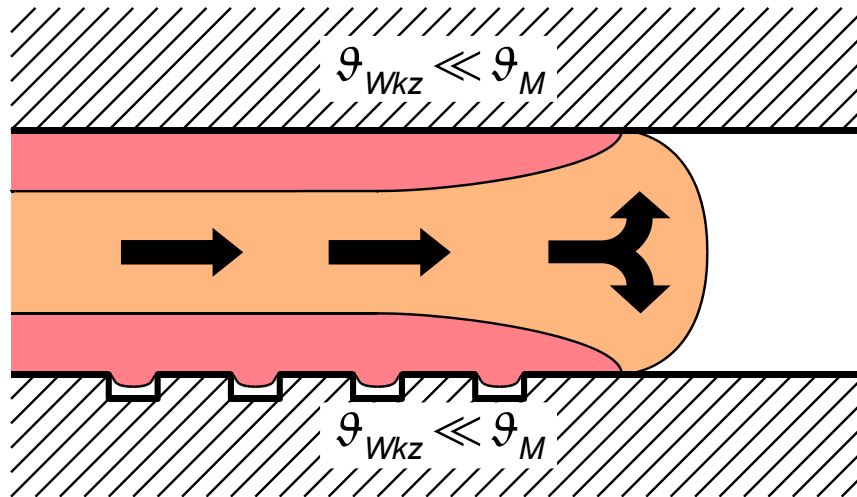




# Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen von thermoplastischen Formmassen

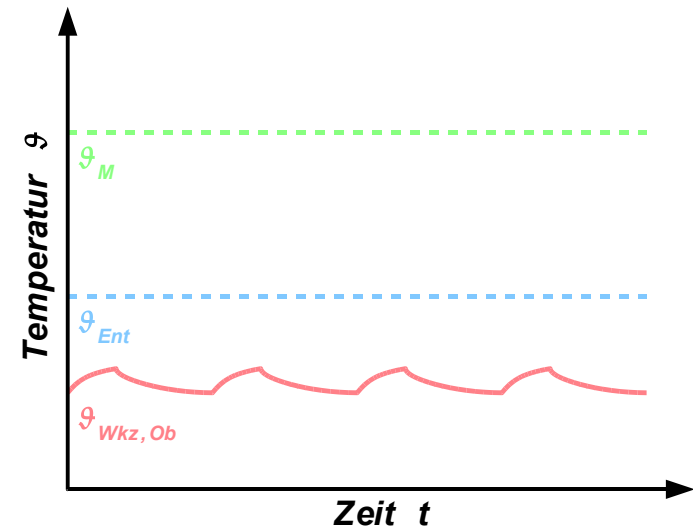
- Eine konstante Werkzeugtemperatur ist nahezu immer ein Kompromiss zwischen optimaler Formfüllung und schneller Abkühlung eines Bauteiles.
- Eine optimale Temperierung setzt also eine variotherme Prozessführung voraus, die ausreichend schnell ist, um eine hohe Produktivität zu sichern.






# Randschichterstarrung bei isothermer Werkzeugtemperierung



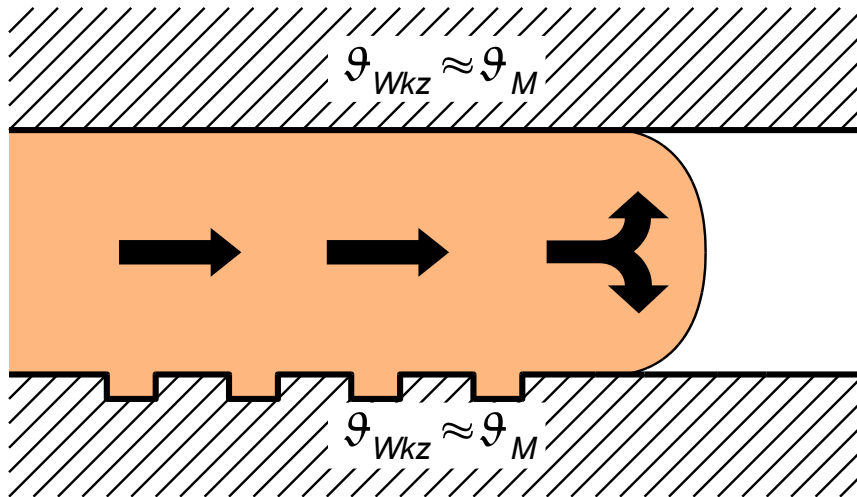
-  Polymerschmelze
-  Erstartetes Polymer



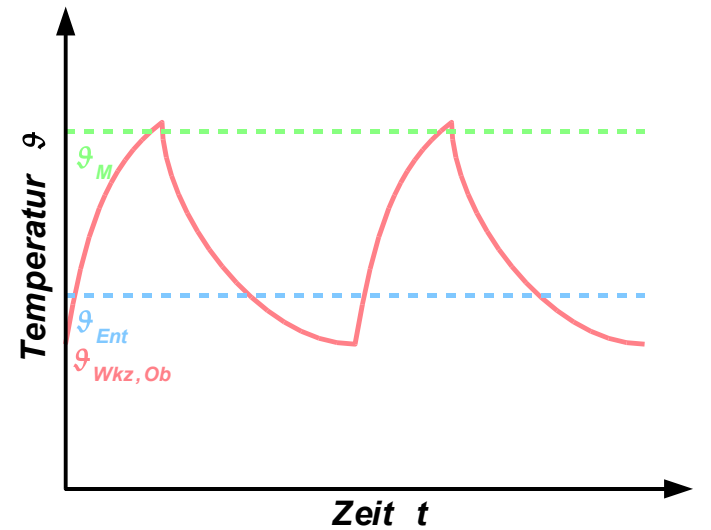
-  Formmassentemperatur  $\vartheta_M$
-  Entformungstemperatur  $\vartheta_{Ent}$
-  Werkzeugoberflächentemperatur  $\vartheta_{Wkz, Ob}$

Diss. Zülch

# Variotherme Werkzeugtemperierung



Polymerschmelze



Formmassentemperatur  $\vartheta_M$

Entformungstemperatur  $\vartheta_{Ent}$

Werkzeugoberflächentemperatur  $\vartheta_{Wkz, Ob}$

Diss. Zülch



# Vergleich unterschiedlicher Erwärmungsarten

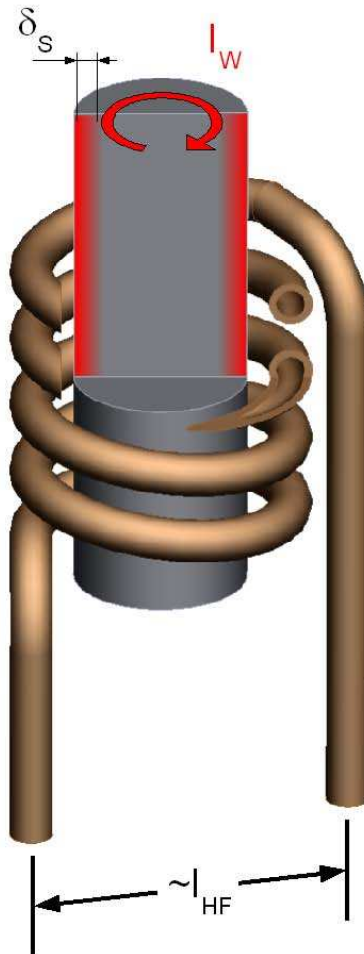
Erwärmungsart	Wärmestromdichte in W/m <sup>2</sup>
Konvektion	0,5
Strahlung (Elektroofen)	8
Wärmeleitung	20
Infrarot-Punktstrahler	200
Flamme (Brenner)	1.000
Dielektrische Erwärmung	ca. 25.000
Mikrowelle	ca. 35.000
<b>Induktionserwärmung</b>	<b>ca. 30.000</b>
Laser (CO <sub>2</sub> )	10 <sup>8</sup>
Elektronenstrahl	10 <sup>10</sup>

Die induktive Erwärmung bietet den Vorteil hoher erreichbarer Wärmeübertragungsraten.

# Prinzip der Induktionserwärmung

## Prinzip

- Hochfrequentes Wechselfeld durch Wechselstrom
- Induktion eines Wirbelstroms im Werkstück
- Stromverdrängung an die Randschicht durch Selbstinduktion



$$\delta_s = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \kappa \cdot \mu}}$$

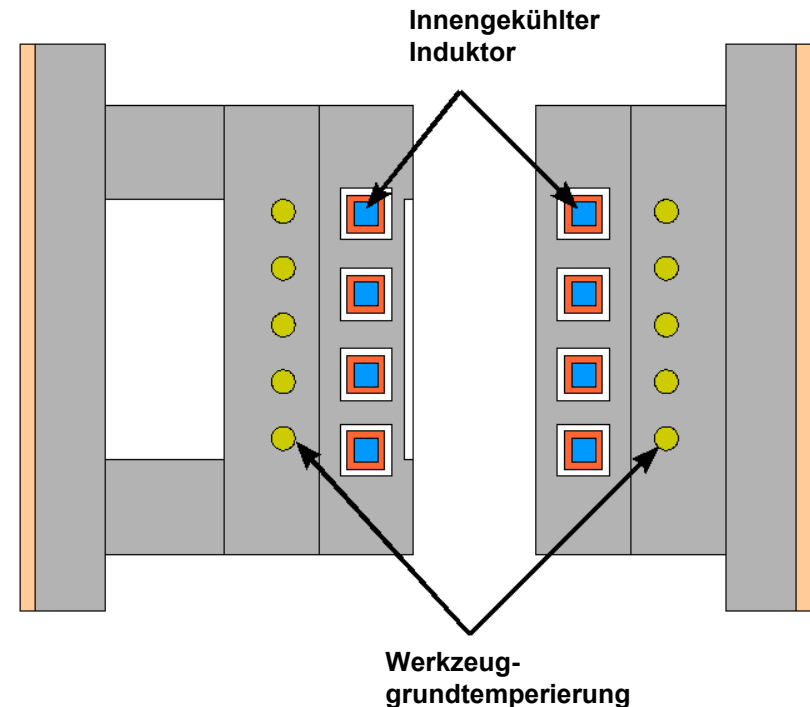
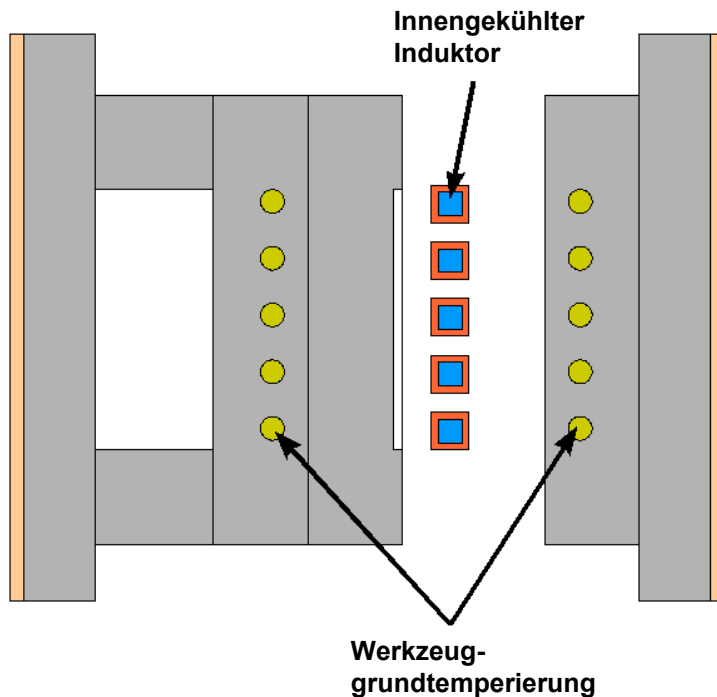
## Vorteile

- Hohe erreichbare Wärmeübertragungsraten
- direkte Erwärmung der Kavität möglich
- keine heißen Öl- oder Wasserkreisläufe

# Varianten der induktiven Erwärmung von Werkzeugen

**extern**, Abkühlung in den grundtemperierten Werkzeugrahmen

**vollständig integriert** mit Impulskühlung





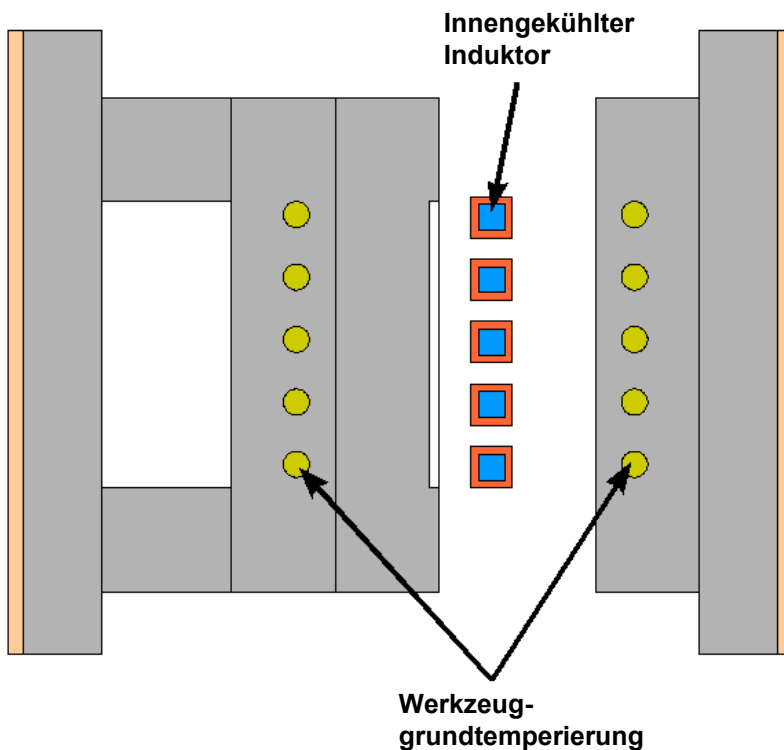
# Externer Induktor

## Vorteile

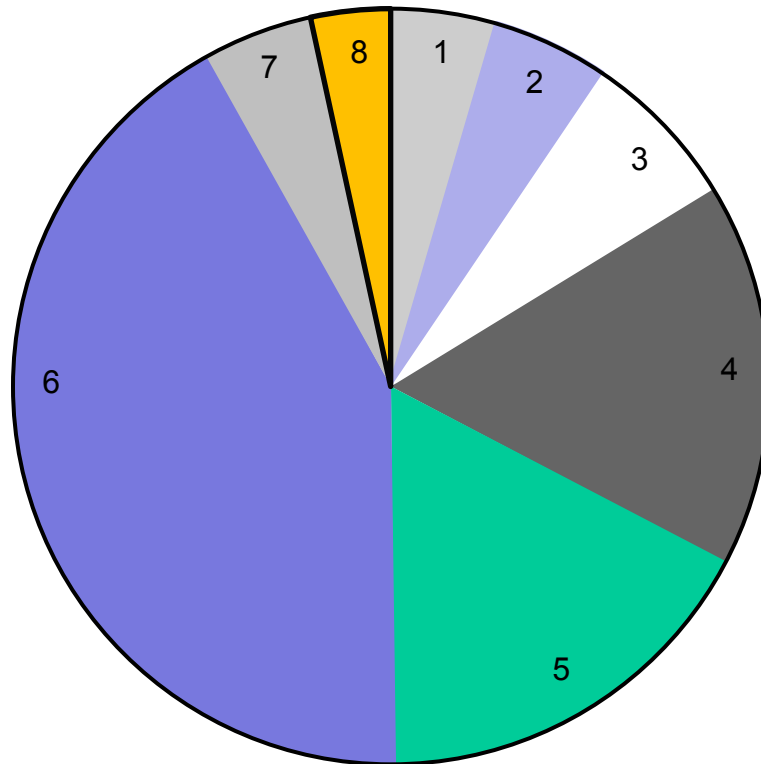
- Wärmegenerierung unmittelbar im Kavitätsbereich
- keine Wärmeleitung notwendig, dadurch hohe Heizraten bis zu 60K/sec möglich
- kaum konstruktive Änderungen am Werkzeug
- gezielte Wärmeeinbringung

## Nachteile

- Handhabungseinheit für die Induktorbewegung erforderlich
- inhomogene Temperaturverteilung an der Oberfläche
- Abkühlprozess beginnt bereits vor dem Einspritzvorgang
- nur für flächige Kavitäten mit geringer Topologie geeignet



# Spritzgusszyklus mit externer induktiver Zusatztemperierung



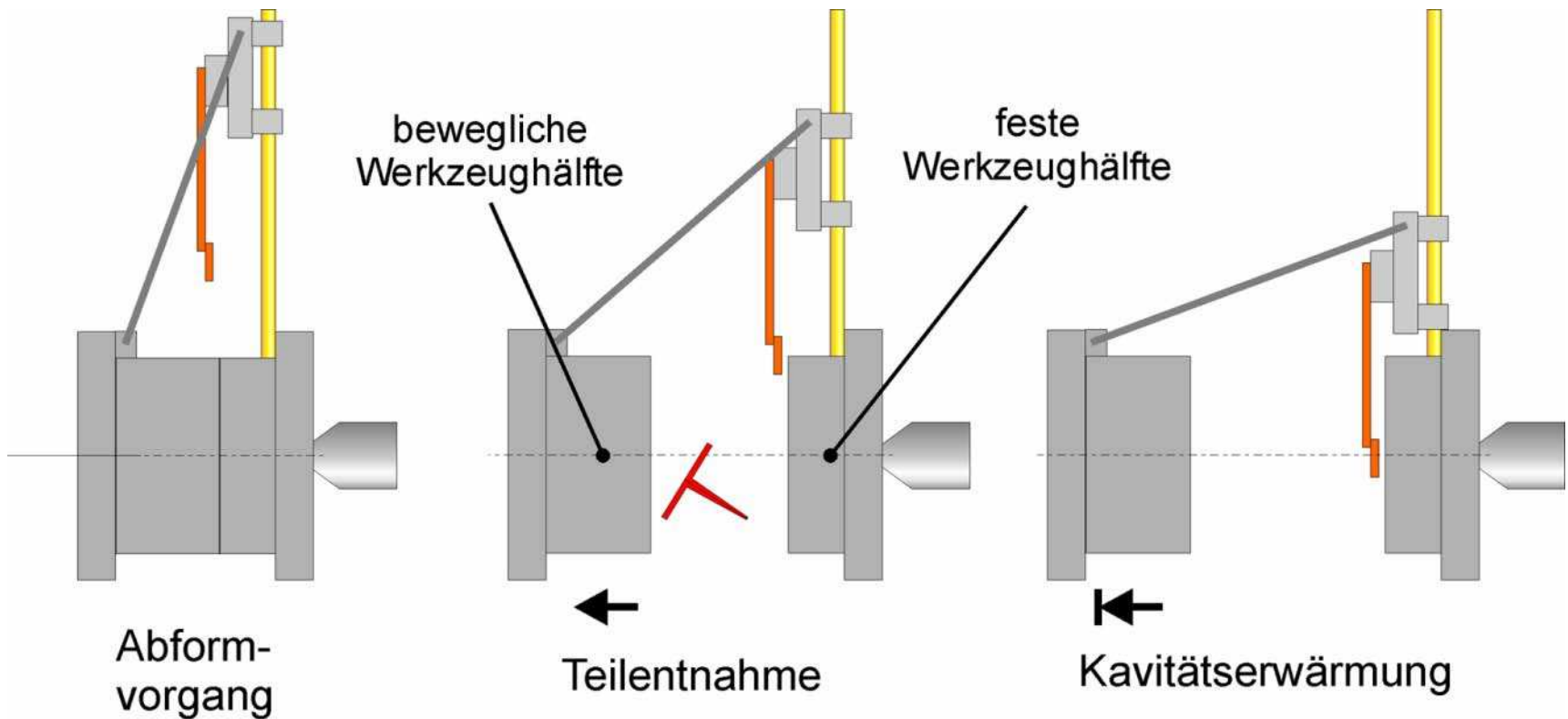
**Mit externer induktiver Temperierung:**

1. Schließen des Werkzeugs
2. Vorfahren des Aggregats
3. Einspritzen
4. Nachdruckphase
5. Dosieren
6. Kühlzeit
7. Öffnen des Werkzeugs
- 8. Induktor in Betrieb**

**Vorteil:** Schnelle, direkte Erwärmung der Zieloberfläche.

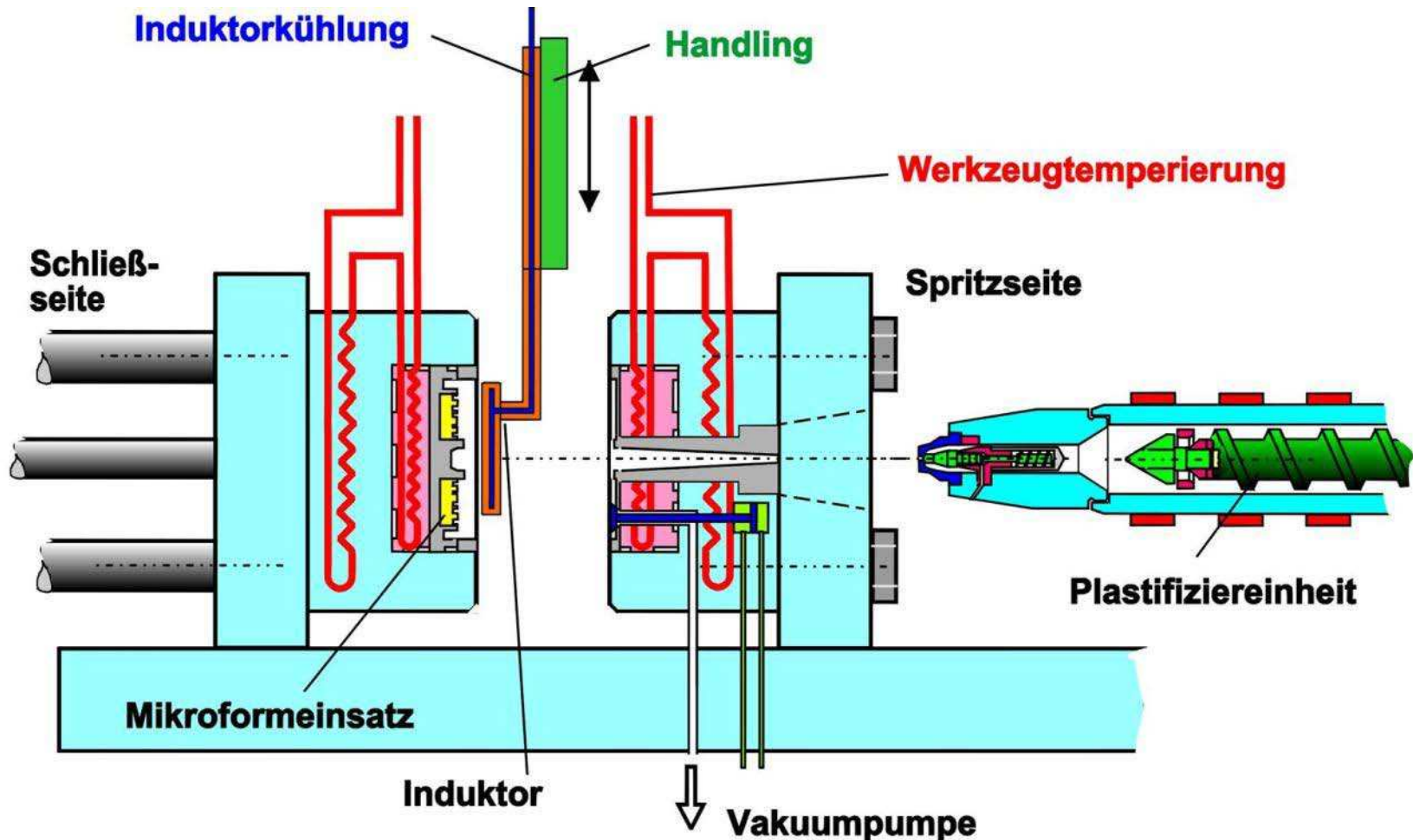
**Nachteil:** Verlängerung der Zykluszeiten durch zusätzlichen Prozessschritt.

# Zwangläufige Induktorpositionierung mittels Koppelgetriebe



Quelle: Diss. Walther

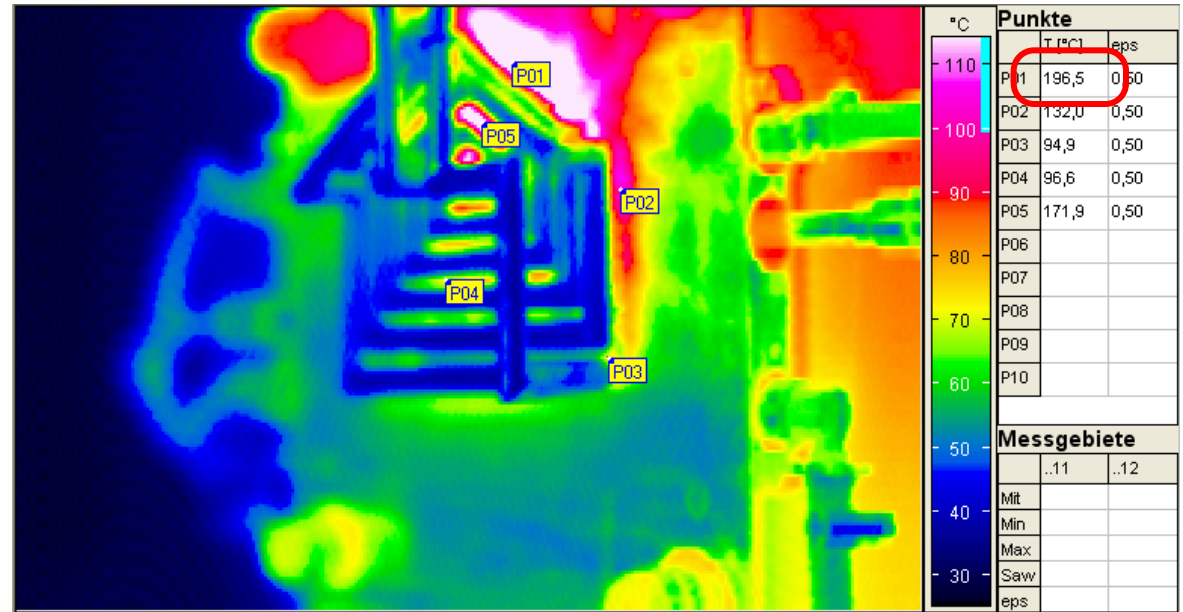
# Induktive Werkzeugtemperierung mit externem Induktor



Quelle: IKFF/IMM



# Anordnung eines externen Induktors zur spritzgusstechnischen Herstellung von Bipolarplatten



# Hochgefüllte Polymere

## Herausforderung:

- Verarbeitung eines extrem hochgefüllten Kunststoffes (Füllstoffanteil > 80%, Graphit und Ruß) mit hoher Wärmeleitfähigkeit (11-19 J/mK) bei weitgehender Beibehaltung der Zykluszeiten

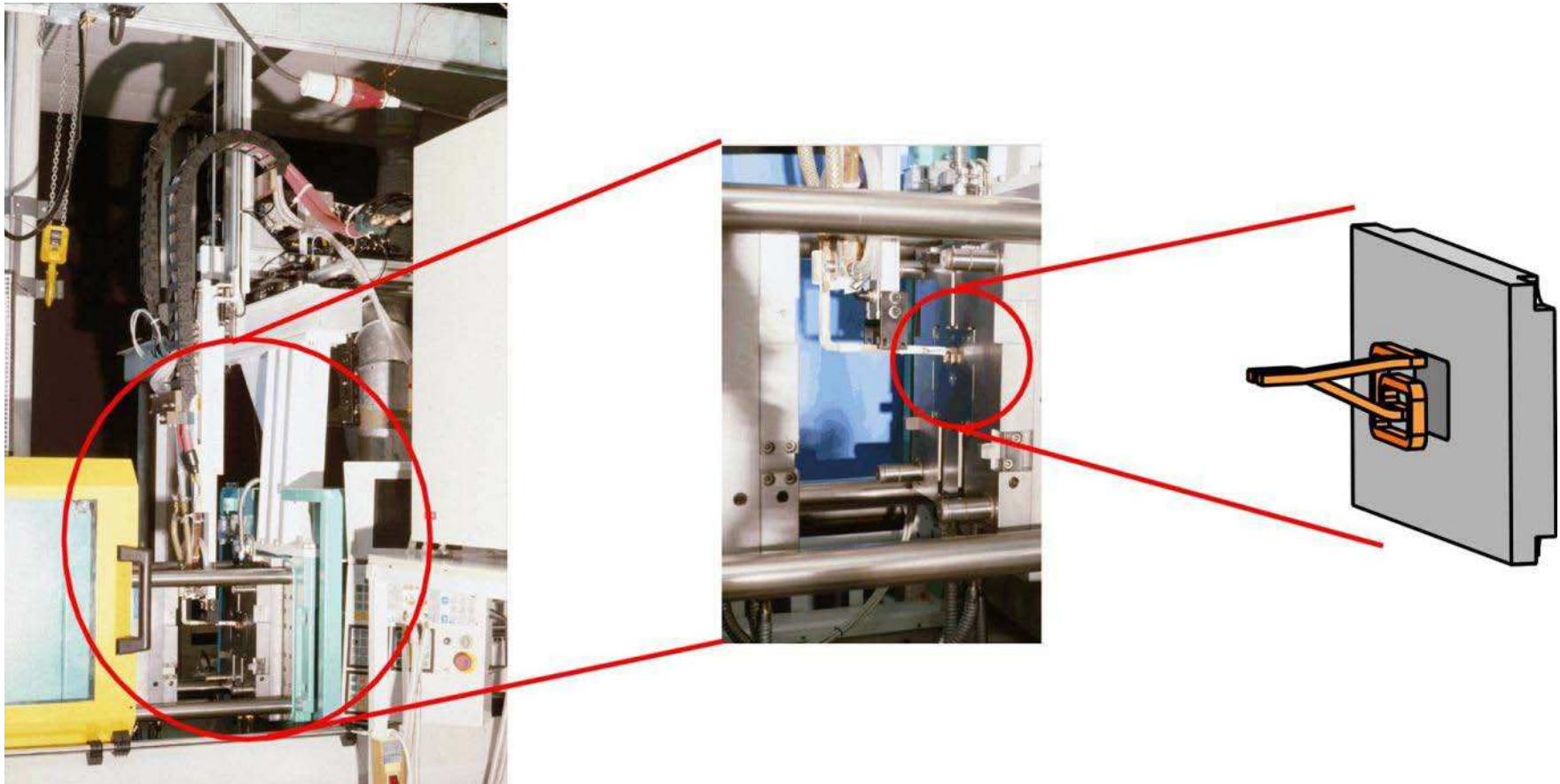
## Lösung:

Verbesserte Formfüllung durch induktiv variotherme Prozessführung. Sowie Reduzierung des maximalen Einspritzdrucks, womit eine Verarbeitung auf Standardmaschinen und die Verwendung von Mehrfachkavitäten möglich ist.



Zentrum für Brennstoffzellentechnologie  
AIF Projekt (IGF 15955N)

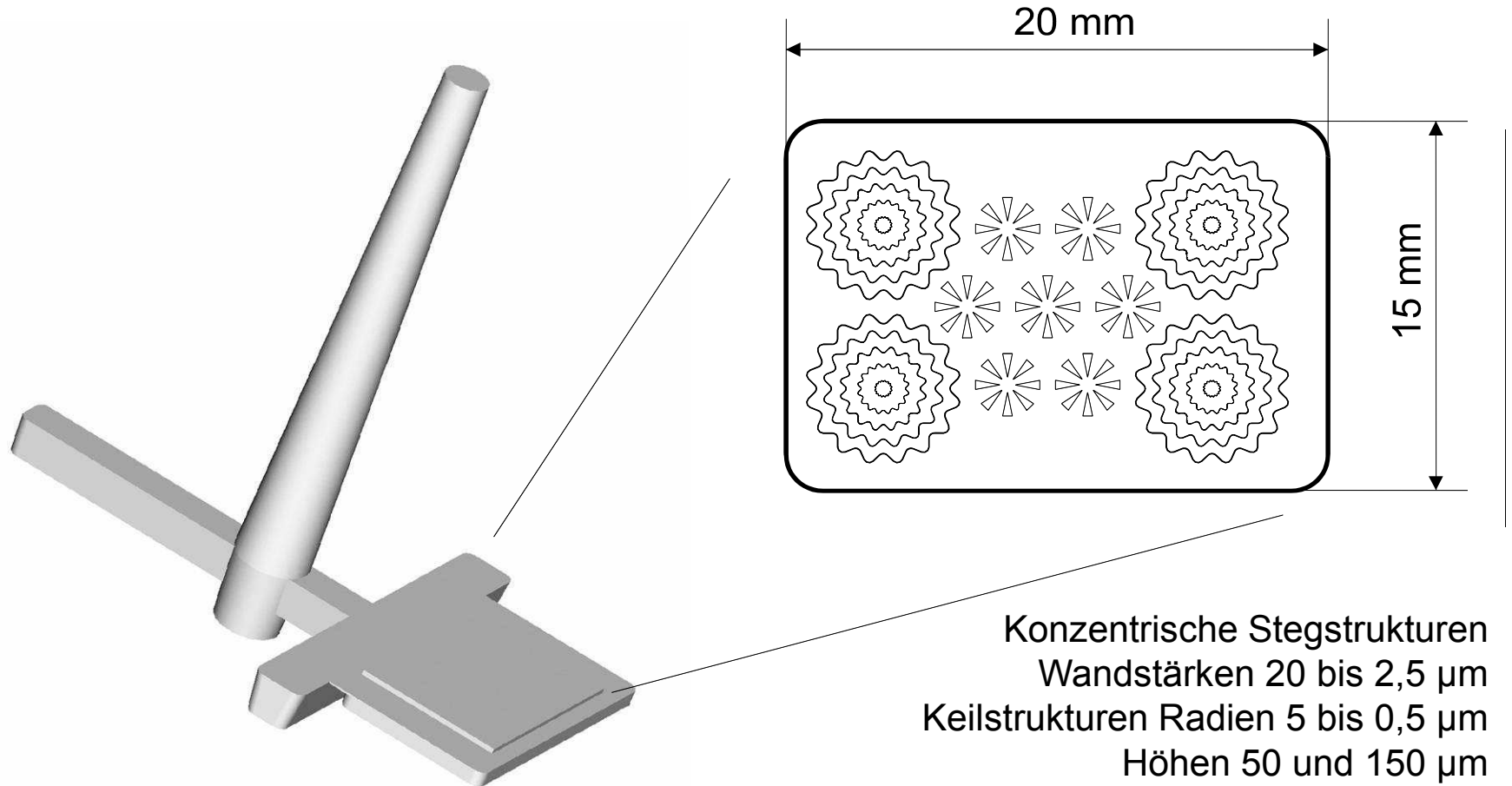
# Externer Induktor zur Abformung von Mikrostrukturen



Quelle: IKFF



# Versuchsbauteil

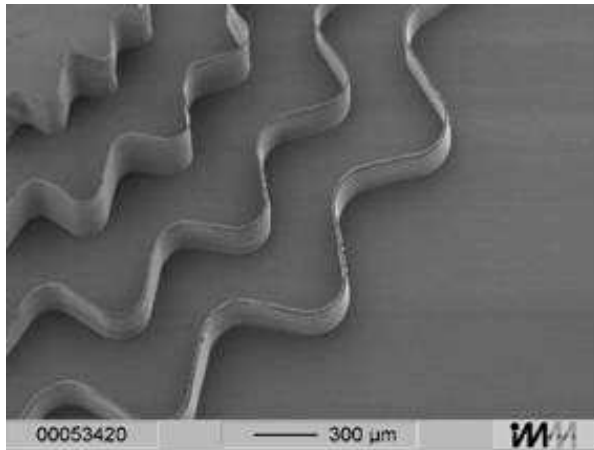


Konzentrische Stegstrukturen  
Wandstärken 20 bis 2,5  $\mu\text{m}$   
Keilstrukturen Radien 5 bis 0,5  $\mu\text{m}$   
Höhen 50 und 150  $\mu\text{m}$   
4 g POM

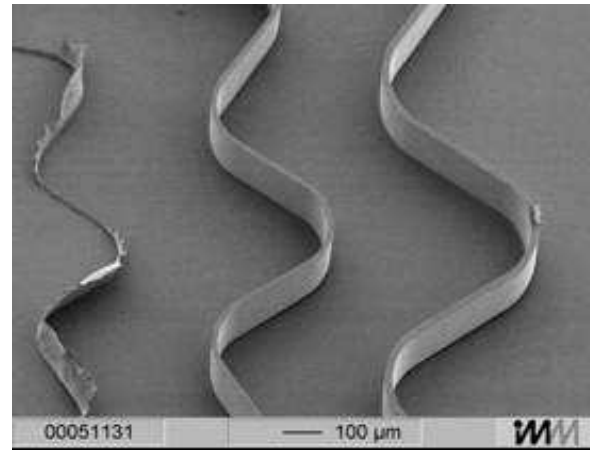
Quelle: IKFF/IMM



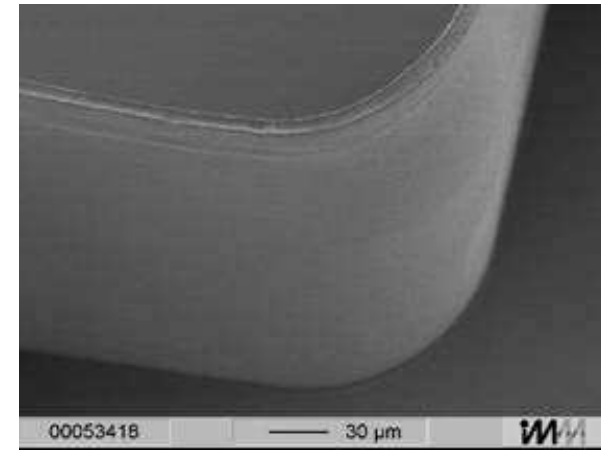
## Abformung von Stegstrukturen 150 $\mu\text{m}$ Höhe in POM mit induktiv-variothermer Temperierung



Stegstrukturen 150  $\mu\text{m}$  hoch



Abriss 2,5  $\mu\text{m}$  Steg, 150  $\mu\text{m}$  hoch



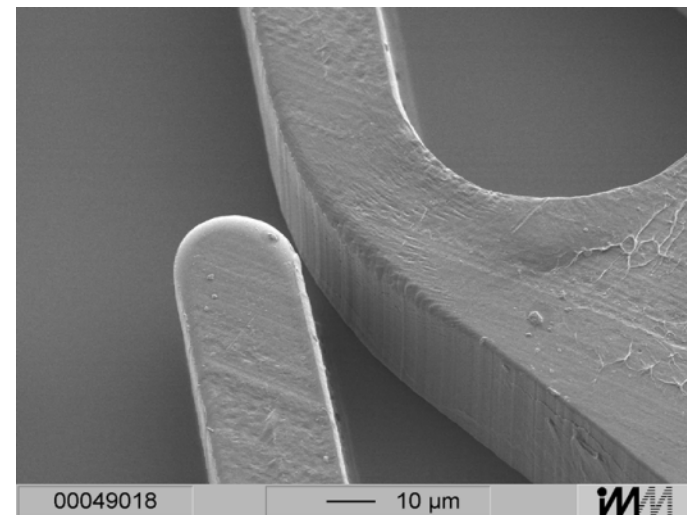
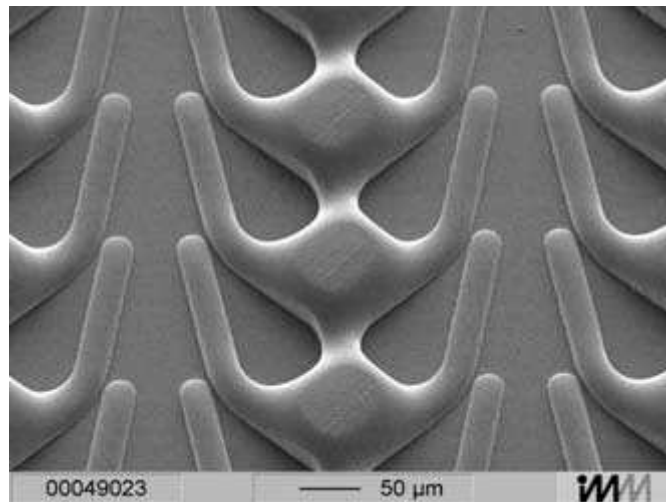
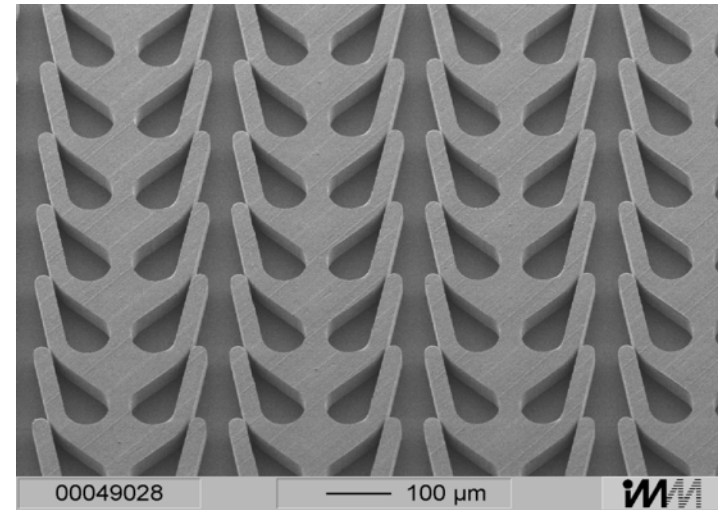
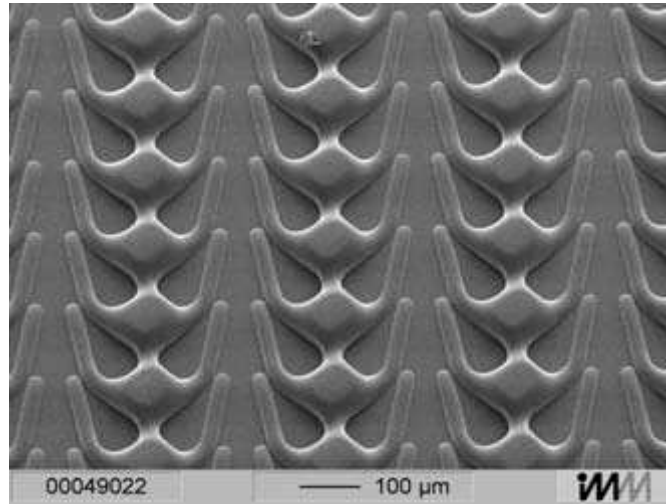
Stegstrukturen 10  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$

**Für die 150  $\mu\text{m}$  hohen Strukturen lässt sich ein maximales Aspektverhältnis von 30 bei 5  $\mu\text{m}$  Breite realisieren.**

Quelle: IMM



# Abformergebnisse – Blutplasmaseparator

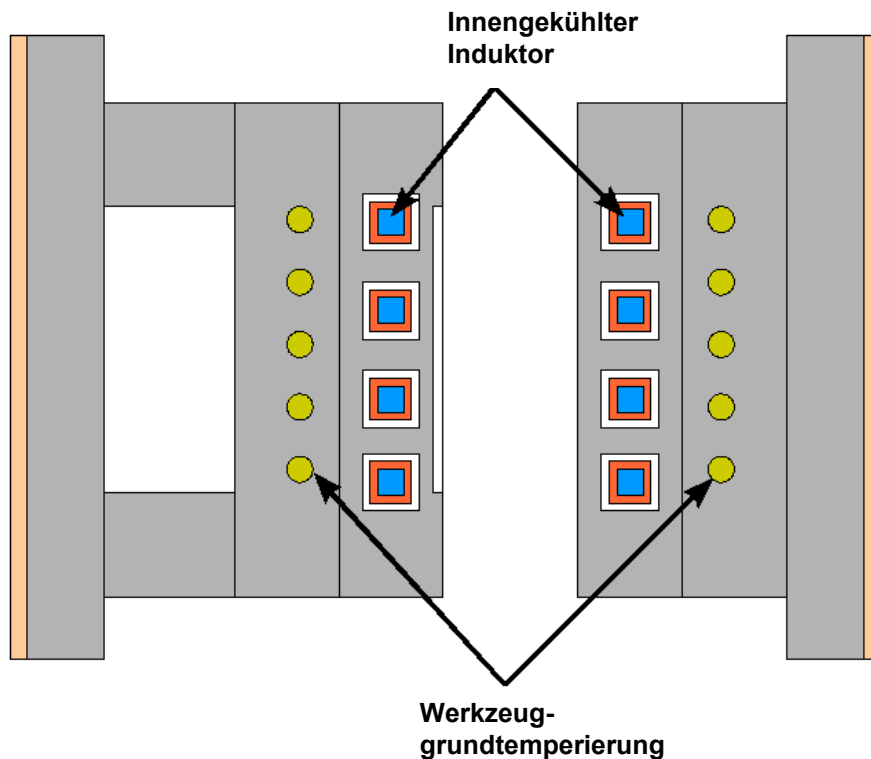


isotherm, unvollständige Füllung

induktiv-variotherm, vollständige Füllung

Quelle: IMM

# Integrierter Induktor



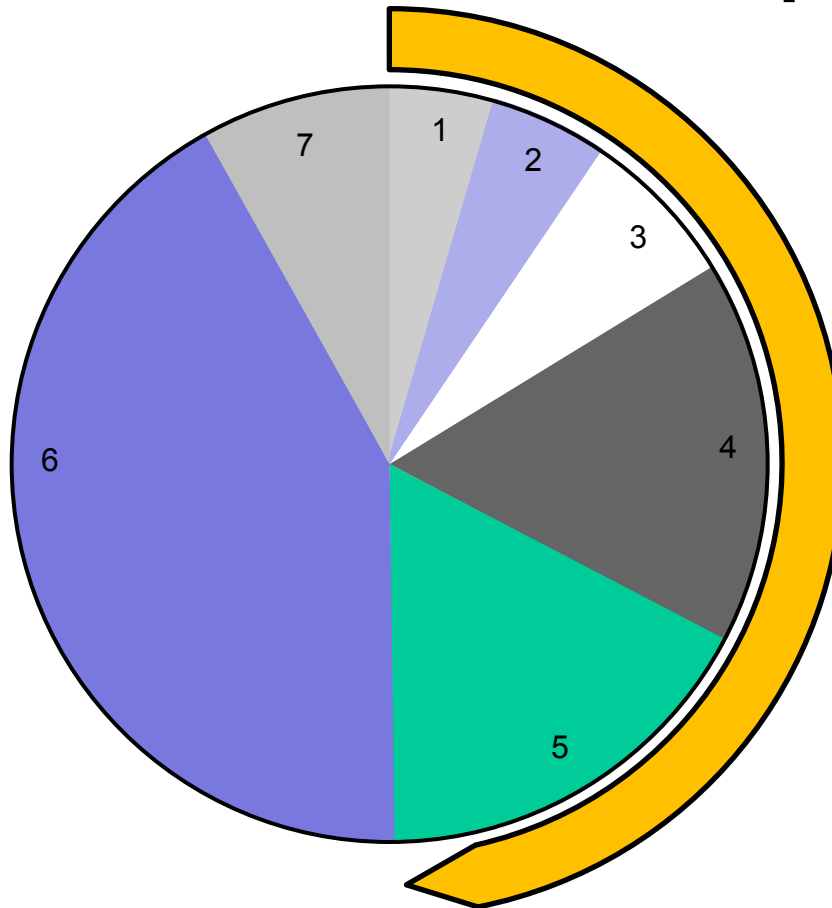
## Vorteile

- Heizen auch während dem Einspritzen
- Wärmetransport zur Kavität bewirkt Temperaturengleich an der Kavitätsoberfläche
- kein Zeitverlust durch Induktorbewegungen
- geregelter Temperaturverlauf möglich

## Nachteile

- Wärme wird nicht direkt in der Kavität erzeugt
- Kavität ist nicht wärmste Stelle des Werkzeugs
- konstruktive Änderungen durch Integration des Induktors am Werkzeug notwendig
- deutlich mehr Wärme wieder abzuführen
- geringere Heizraten als beim externen System

# Spritzgusszyklus mit integrierter induktiver Zusatztemperierung



**Mit integrierter induktiver Temperierung:**

1. Schließen des Werkzeugs
2. Vorfahren des Aggregats
3. Einspritzen
4. Nachdruckphase
5. Dosieren
6. Kühlzeit
7. Öffnen des Werkzeugs

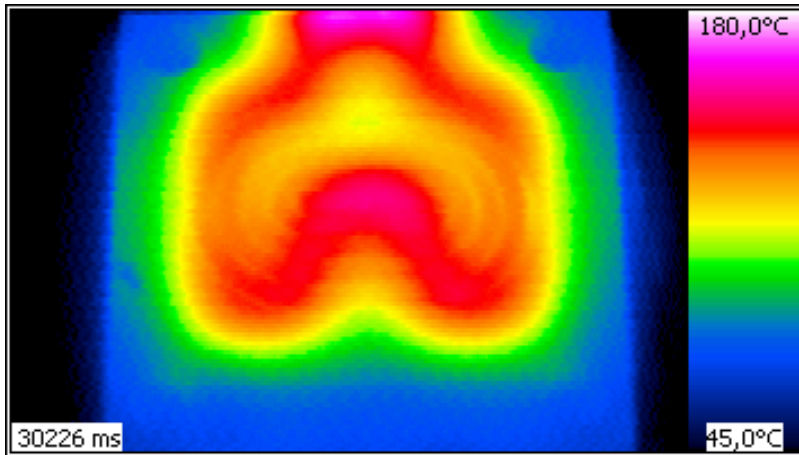
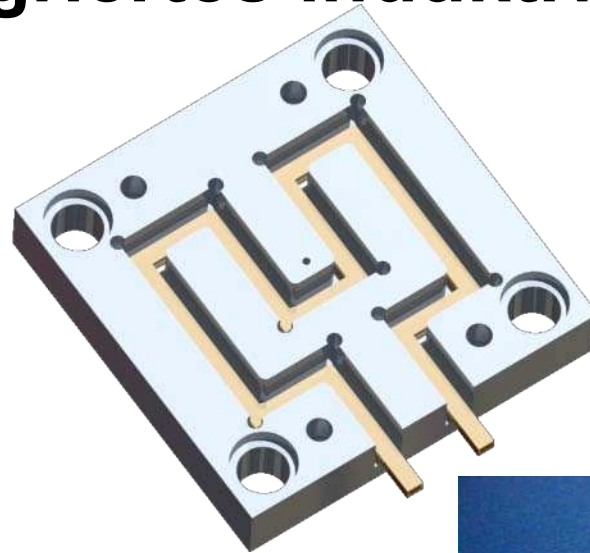
Induktor in Betrieb

**Vorteil:** Kein zusätzlicher Prozessschritt.

**Nachteil:** Langsame Erwärmung durch Wärmeleitung.



# Vollintegriertes induktives System



Thermografieaufnahme (Oberflächentemperatur)



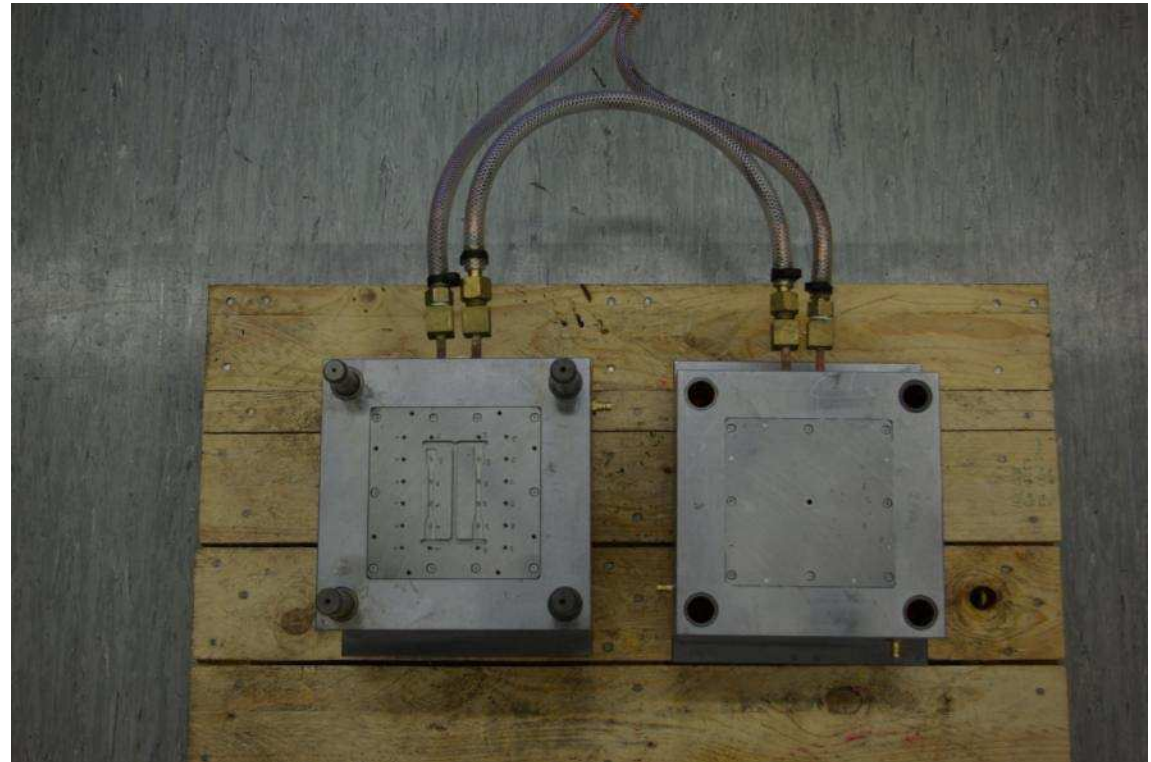
Fließwegverlängerung:  
25 mm bei 100°C isotherm  
920 mm bei 250°C variotherm (komplett gefüllt)

Diss. Zülch

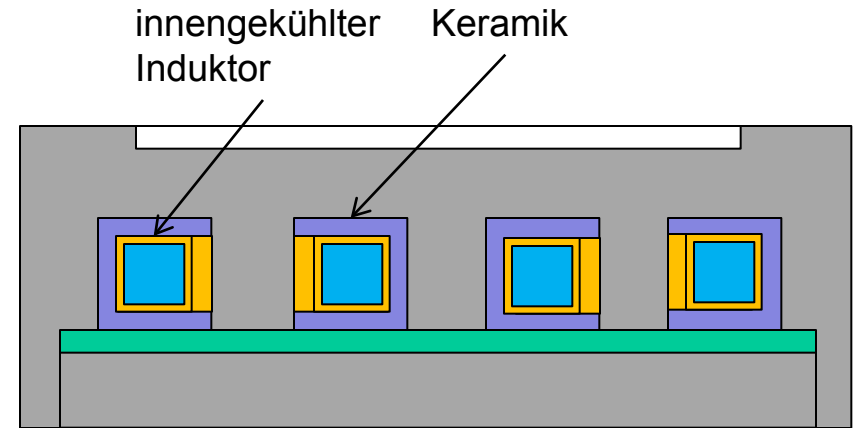
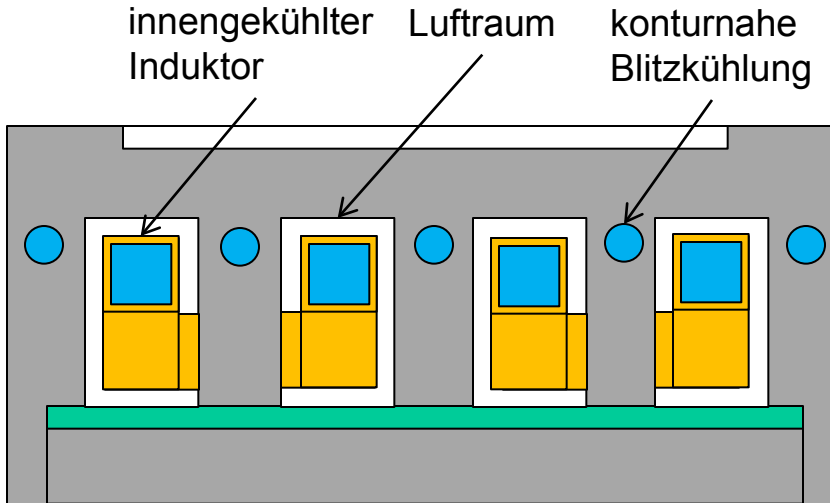
# Versuche beidseitig induktiv

## Zielstellung:

- Betrieb von zwei baugleichen Induktoren mit nur einem Generator
- Einfluss der induktiv variothermen Werkzeugtemperierung auf die Verarbeitbarkeit hochviskoser Polymere (Hostaform C 2521)
- Nutzung der Induktorkühlung zur konturnahen Werkzeugkühlung.



# Konturnahe Kühlung



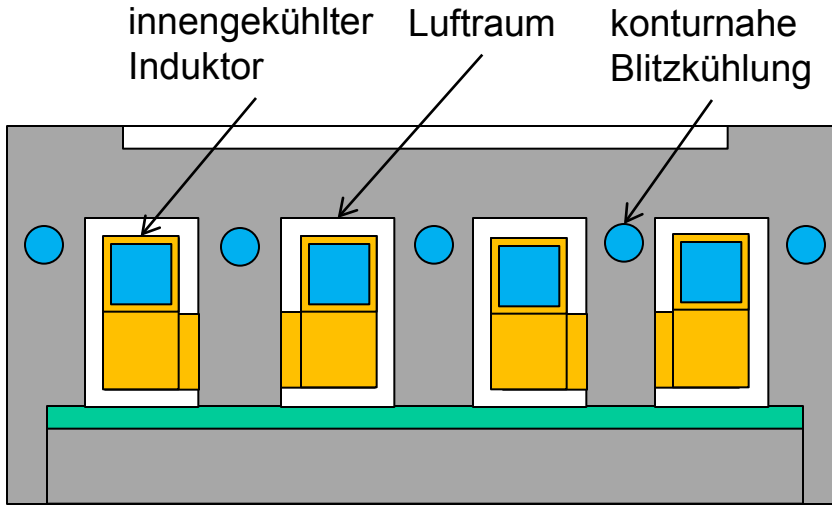
## Bisher:

Separate, konturnah eingebrachte Kühlkanäle, die während der Aufheizphase ausgeblasen werden mussten.

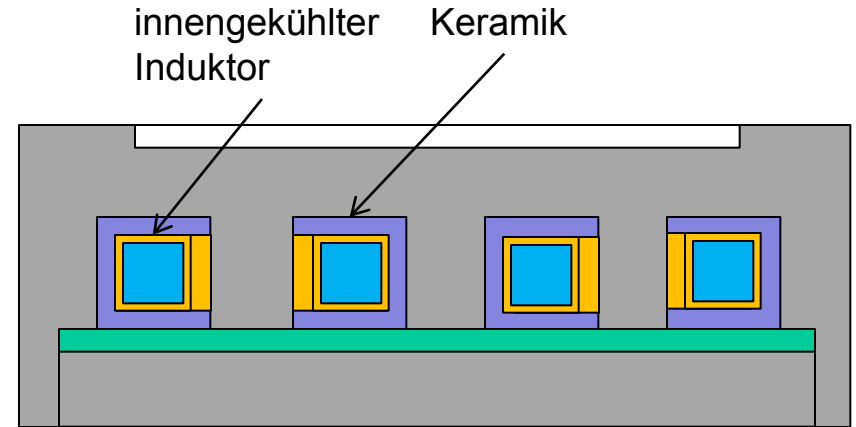
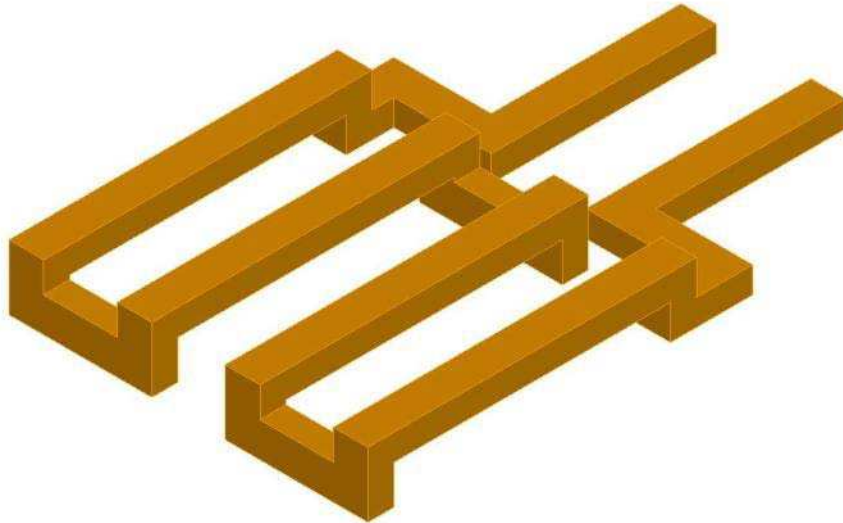
## Jetzt:

Thermische Kontaktierung des Induktors an die Werkzeugplatte mittels Keramik. Kühlung der Werkzeugplatte über Induktorinnenkühlung.

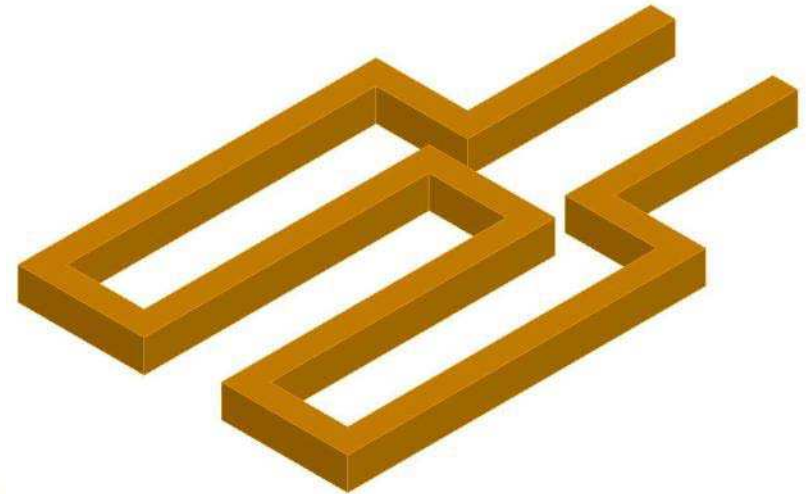
# Konsequenzen für die Werkzeugkonstruktion



**Induktor für konturnahe Blitzkühlung**



**Induktor für Keramik Kühlung**

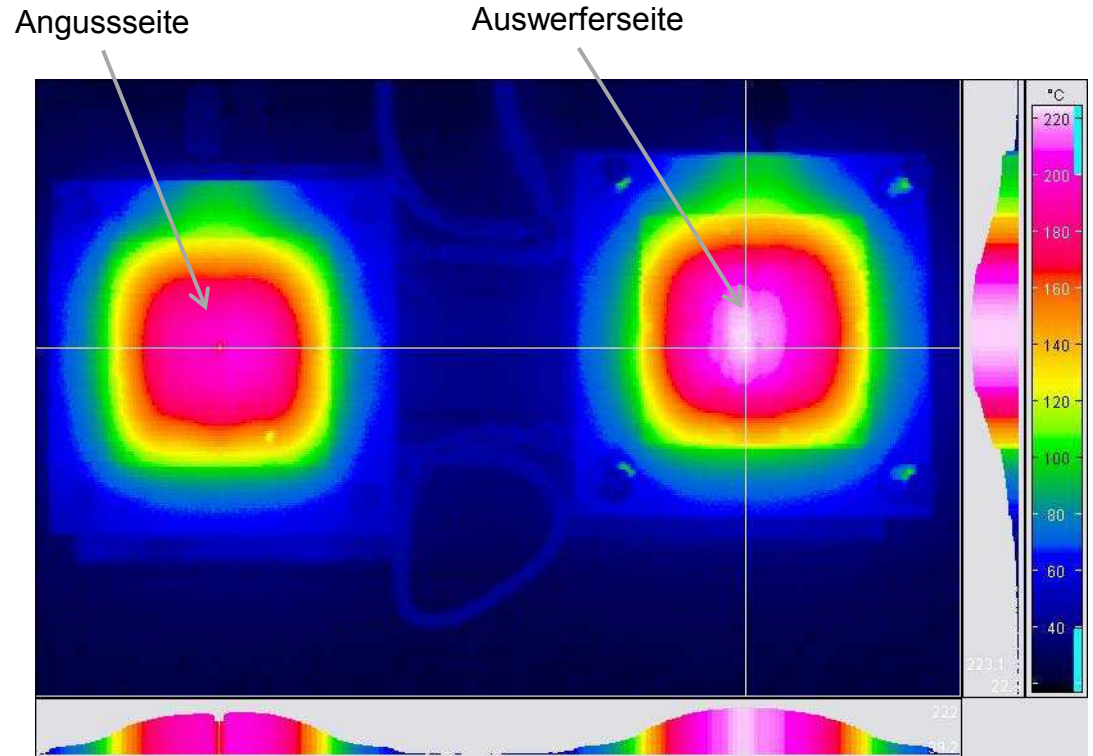
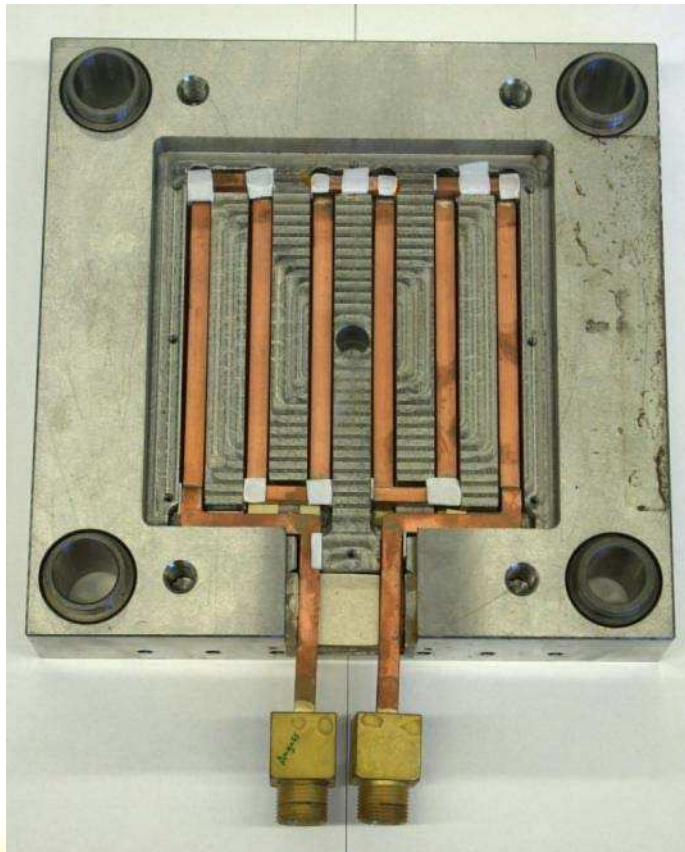




# Versuche beidseitig induktiv

## Ergebniss:

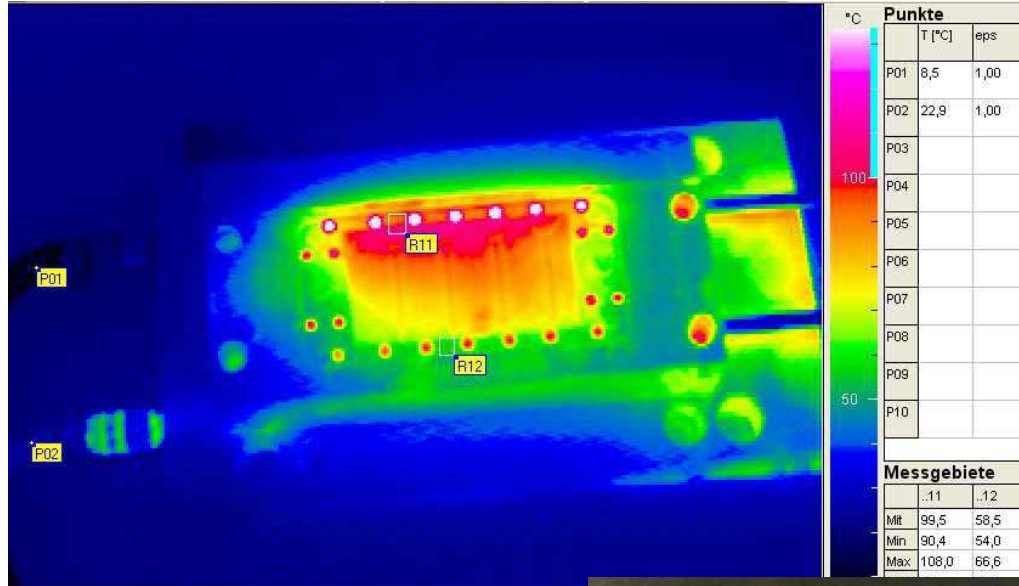
Gleichmäßige induktive Temperierung beider  
Kavitätseinsätze mit nur einem Generator möglich.



Thermografieaufnahme (Oberflächentemperatur)

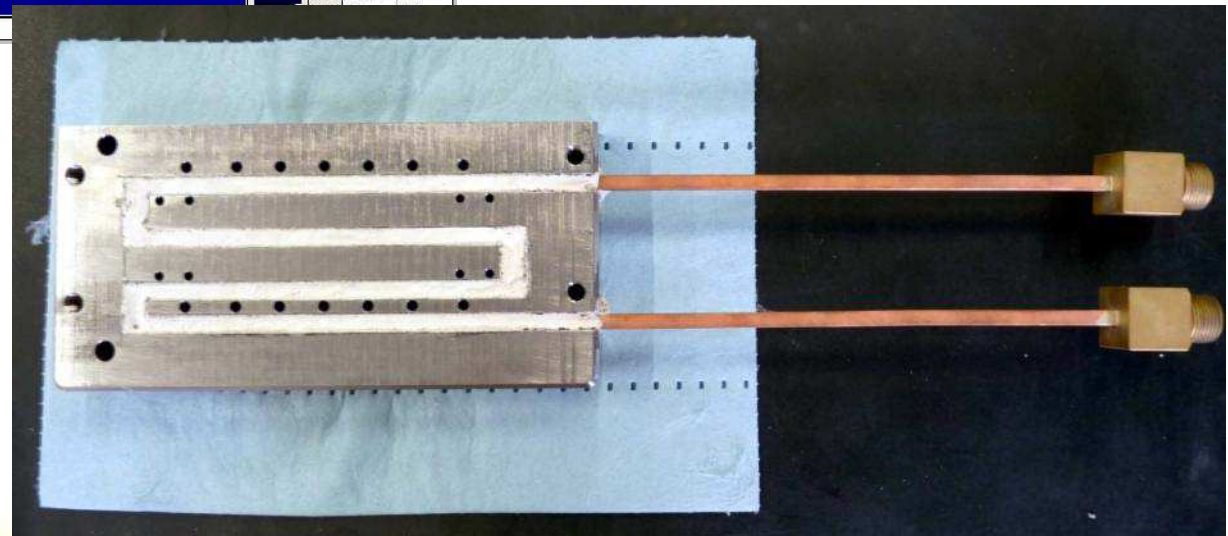


# Heizen mit Gradient



Gestaltung eines asymmetrischen Induktors mit dem Ziel den angussfernen Bereich höher zu heizen

Integration des Induktors nicht in die Werkzeugplatten, sondern in die Kavitätseinsätze.





# Heizen mit Gradient



Verarbeitung hochgefüllter Compounds zu technisch anspruchsvollen Produkten.



# Variotherme Werkzeugtemperierung

## Problematik

- Unvollständige Füllung der Kavität bei hohen Aspektverhältnissen
- Herstellung mikrostrukturierter Bauteile
- Verarbeitung extrem hochgefüllter Polymere
- Vermeidung von Bindenähten

## Lösung

- Erhöhung der Werkzeugtemperatur zum Einspritzzeitpunkt möglichst bis auf Schmelztemperatur

## Realisierung

- Grundtemperierung der Kavität durch einen Ölkreislauf
- Induktive Beheizung der Kavität



# Zusammenfassung

- Induktive Werkzeugtemperierung als interessante Alternative zur öl-variothermen bzw. widerstandselektrischen Werkzeugtemperierung
- schnelle Erwärmung der Kavität möglich
- bei integriertem Induktor ist auch ein geregelter Temperaturverlauf auf hohem Temperaturniveau für größere Kavitätsbereiche möglich
- u. U. Probleme bei sehr großflächigen Konturen bzw. großer Kavitätsanzahl bei Mehrfachwerkzeugen



**Andreas Tewald (1997)**

„Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung“

**Carsten Schaumburg (2001)**

„Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung“

**Oliver Kemmann (2002)**

„Untersuchungen zum Füllverhalten von mikrostrukturierten Formteilen beim Mikrospritzgießen von Polymerschmelzen“

**Thomas Walther (2002)**

„Geräte- und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen“

**Michael Zülch (2010)**

„Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung“