

Kühlstrategie statt Energieverlust: Effiziente Prozessführung beim physikalischen Schäumen von Thermoplasten

Einfluss von isolierenden Werkzeugbeschichtungen



2. Rosenheimer Kunststoffkolloquium

24.02.2026

Merlin Gebhart

Vorteile

- ◆ Materialeffizienz
- ◆ Energieeffizienz
- ◆ Qualitätsvorteile

Nachteile

- ◆ Enges Teilespektrum
- ◆ Oberflächenqualität

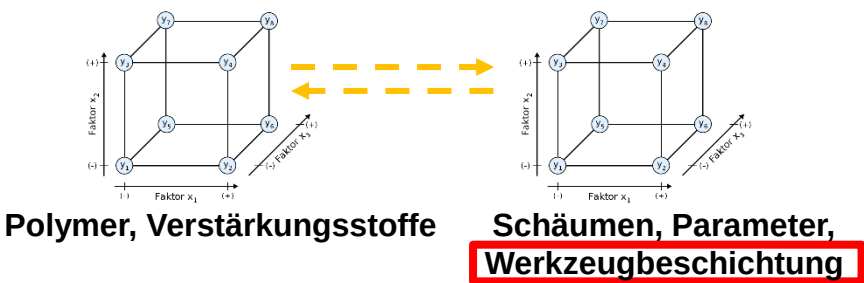
Herausforderungen

- ◆ Großflächige Bauteile
- ◆ Hohe Oberflächengüte
- ◆ Ohne Zusatztechnik (z.B. Variothermie)
- ◆ Prognostizierbarkeit der Bauteilqualität



*Bild 1: Unterschiedliche Oberflächenqualität beim TSG,
Bildquelle Hopmann & Walkers, IKV [1]*

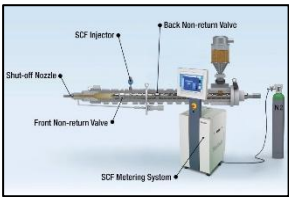
Design of experiments



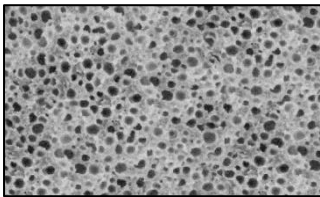
Verarbeitung



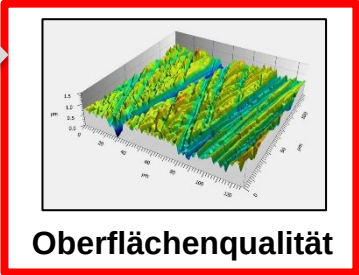
Material



Prozess



Schaumstruktur



Oberflächenqualität

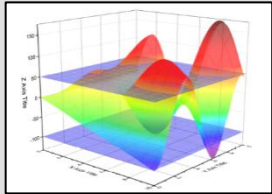
Simulation



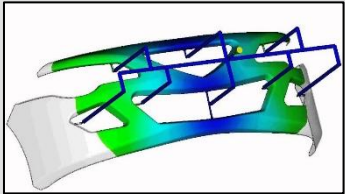
Prozess- und Materialdaten



Data Mining



Modellbildung



Simulation

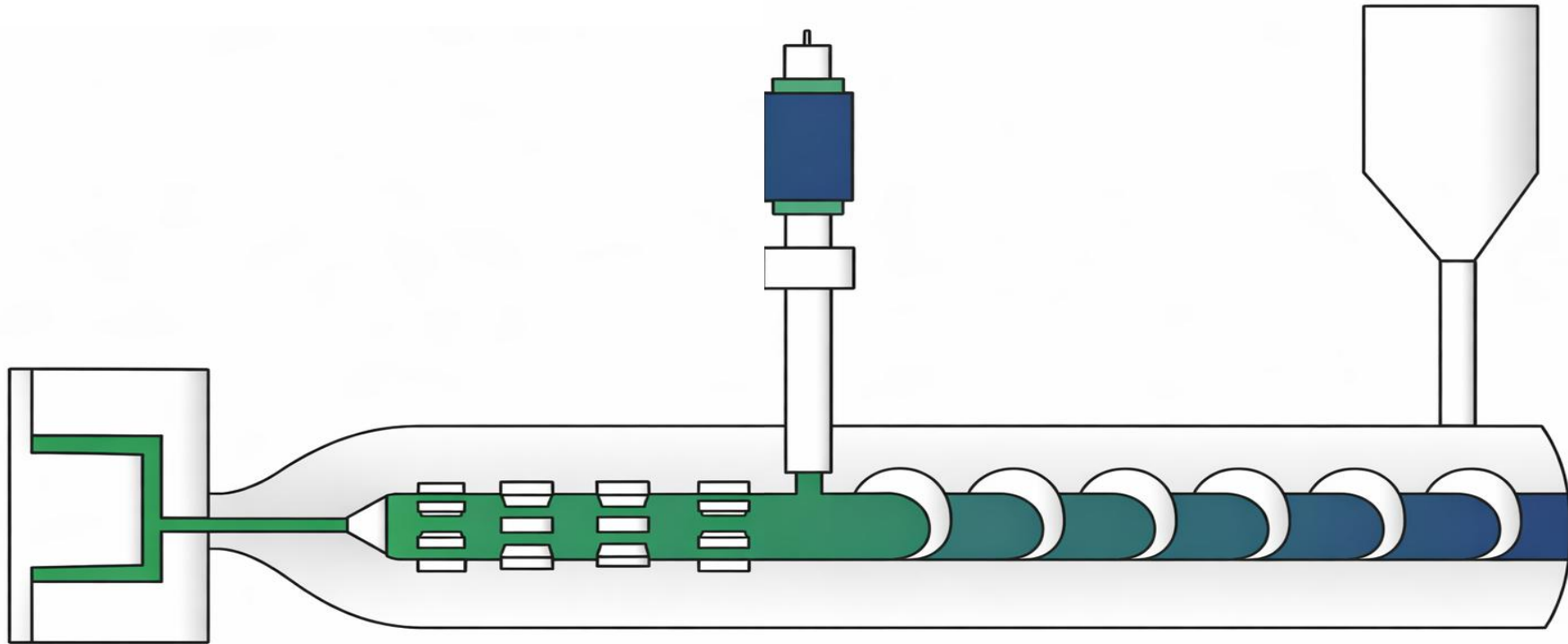


Bild 2: Grundlagen Schaumspritzguss MuCell (Darstellung nach Trexel [2])

- ◆ Class-A Oberflächen: Sandwich-Spritzgießen, Gasgegendruckverfahren, Materialanpassung, variotherme Temperierung [3]

- ◆ TSG – Formteile: Schlieren oder Grauschleier auf der Oberfläche
- ◆ Ursache: Gasblasen durchdringen Schmelzefließfront während des Einspritzens
- ◆ Schaumstrukturen frieren bei Kontakt mit kühler Kavitätenwand ein



Bild 3: Schäumbauteil mit sichtbaren Schlieren [4]

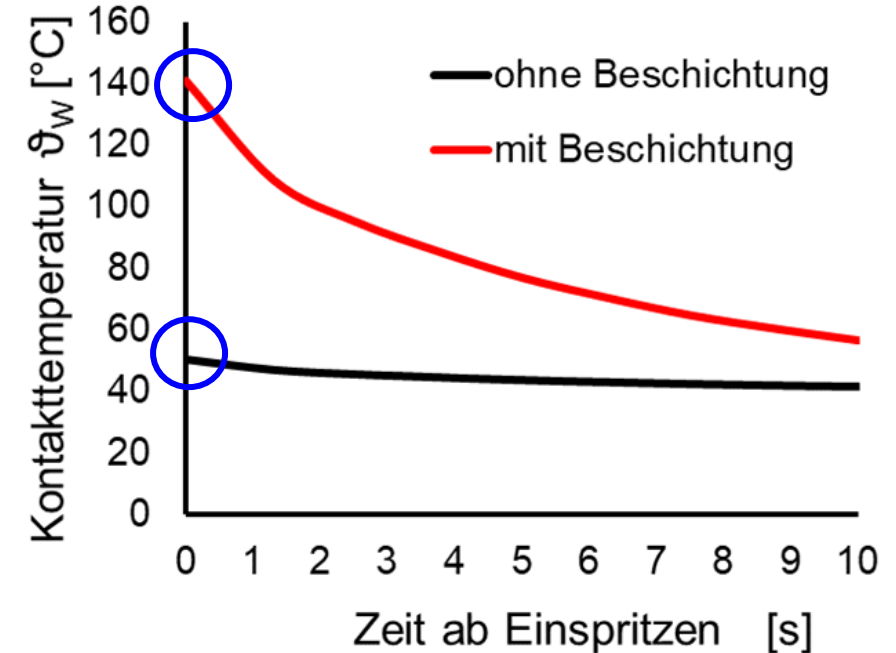


Bild 4: Darstellung Kontakttemperatur, TH Rosenheim

Zielsetzung und Vorgehen

◆ Werkzeug 1: Oberflächenanalyse

- ◆ Schlieren reduzieren
- ◆ Orangenhaut reduzieren
- ◆ Oberflächenrauheit reduzieren

◆ Werkzeug 2: Demonstratorwerkzeug

- Class-A Sichtseite
- Rippen
- Lange Fließwege

◆ Rheometerdüse

- Viskosität
- Gegendruck
- Temperatur

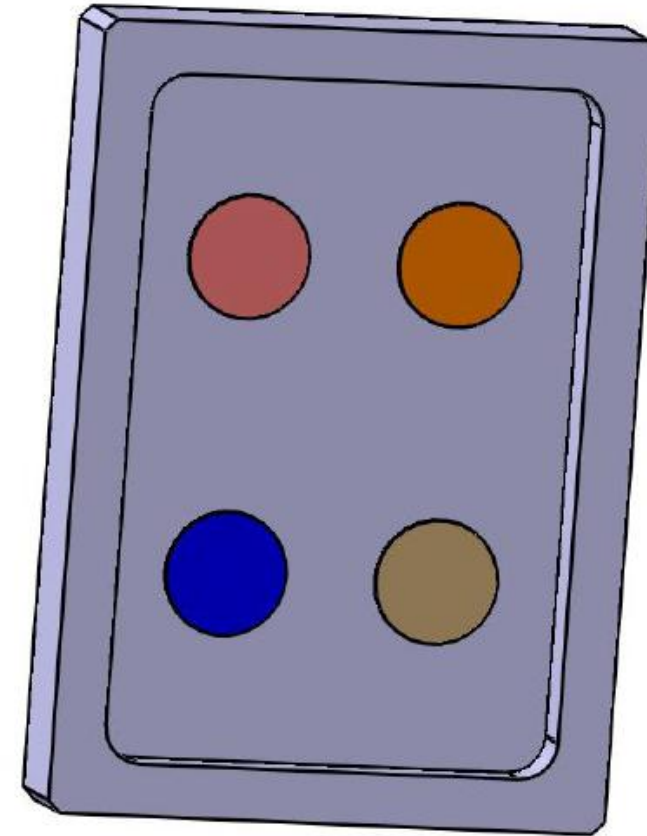


Bild 5: Wechselbare Einsätze mit verschiedenen Beschichtungen

◆ Werkzeug 1: Oberflächenanalyse

- Schlieren reduzieren
- Orangenhaut reduzieren
- Oberflächenrauheit reduzieren

◆ Werkzeug 2: Demonstratorwerkzeug

- Class-A Sichtseite
- Rippen
- Lange Fließwege

◆ Rheometerdüse

- Viskosität
- Gegendruck
- Temperatur

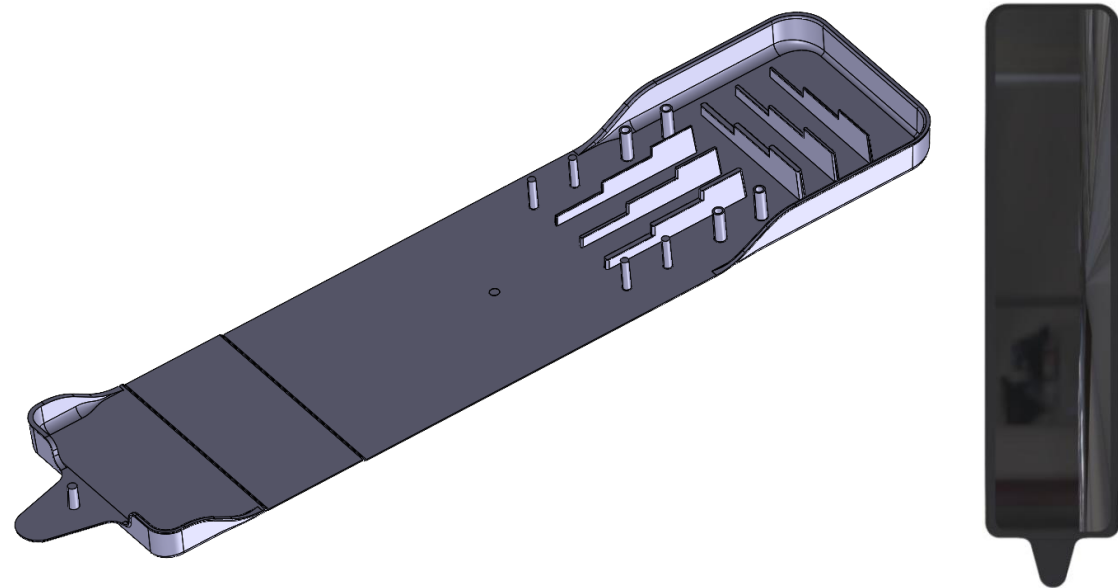


Bild 6: Demonstratorbauteil

Zielsetzung und Vorgehen

◆ Werkzeug 1: Oberflächenanalyse

- Schlieren reduzieren
- Orangenhaut reduzieren
- Oberflächenrauheit reduzieren

◆ Werkzeug 2: Demonstratorwerkzeug

- Class-A Sichtseite
- Rippen
- Lange Fließwege

◆ Rheometerdüse

- Viskosität
- Gegendruck
- Temperatur

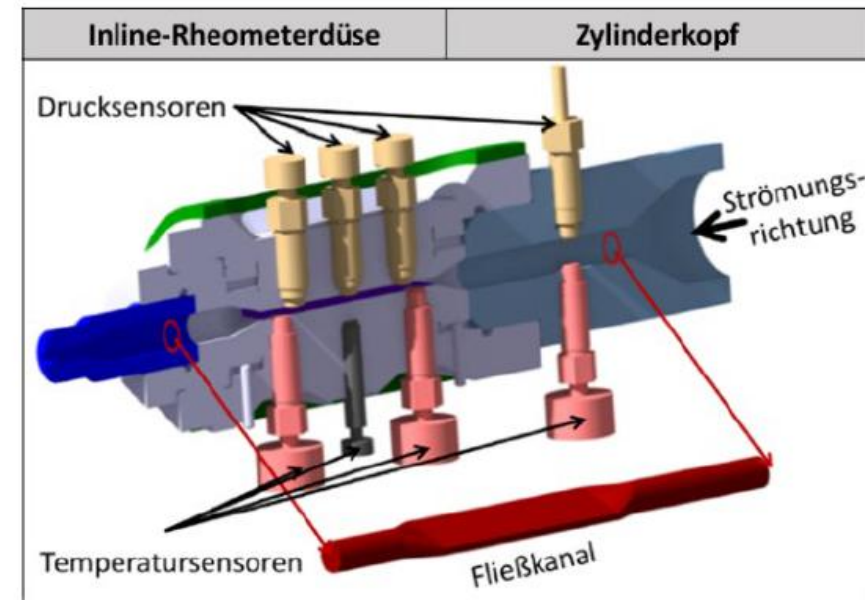


Bild 7: Inline-Rheometerdüse [5]

◆ PP

- Typ Vorversuche: PP Talkum 40%;
- Untersuchungen am Demonstrator: PP von LyondellBasell (Auswahl folgt)
- Hoher MFI (besserer Schmelzefluss: geringere Schlierenbildung)

◆ Beschichtungen

- ZrCrN
- TiAlSiN
- Ta-C
- DLC
- AlCrTiN
- ...

◆ Rheometerdüse

- Temperatur/Drucksensoren
- Zwischen Plastifizierung und Maschinendüse



Bild 8: Polypropylen Granulat [6]

- ◆ ANSYS-Simulation Wärmeübergang
- ◆ Unterschiedliche Kontakttemperaturen nach 1,5 s
- ◆ Große Wärmeleitfähigkeitsunterschiede → starke Temperaturunterschiede

Kontakttemperatur bei $t = 1,5 \text{ s}$ in $^{\circ}\text{C}$	Wärmeleitfähigkeit in W/mK
140,70	50
140,68	25
140,65	15
90,86	0,01
50,02	0,001

Tabelle 1: Kontakttemp. In Abhängigkeit von Wärmeleitfähigkeit

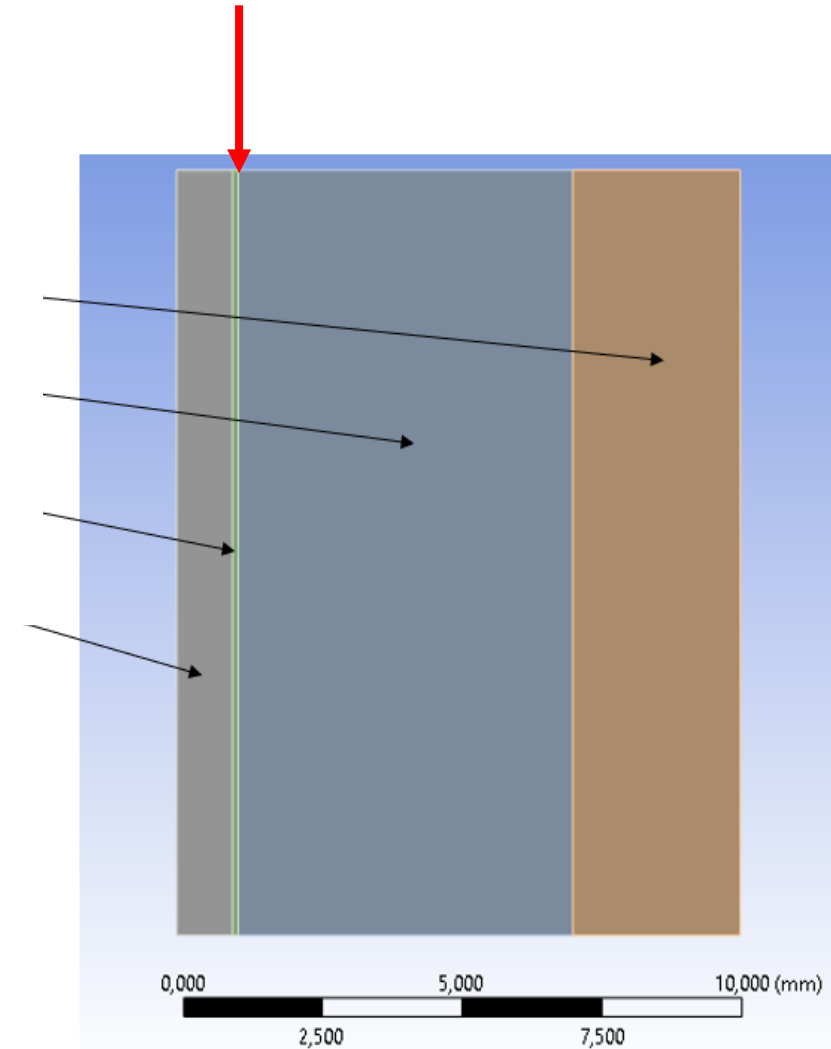


Bild 9: Darstellung Simulationsaufbau

- ◆ Plattenwerkzeug mit Tauchkante
- ◆ Beschichtete Einsätze

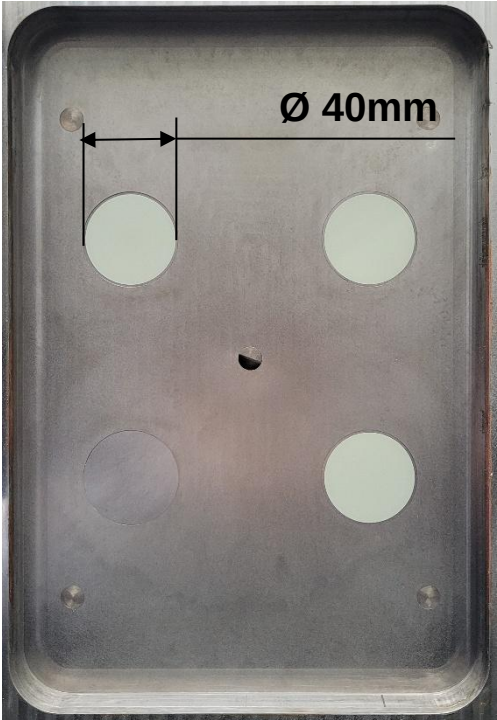


Bild 10: Position Einsätze
Plattenwerkzeug

Beschichtung	Wärmeleitfähigkeit in W/mK
1.2343 (ohne)	26
Keramik (0,2; 0,4; 0,8mm)	Unbekannt
AlCrN	2,6
TiAlN	4
CrN	7
PEEK	0,25

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit Beschichtungen [7], [8], [9]



Bild 11: Einsatz
Keramikbeschichtet

Ergebnisse und Diskussion – Werkzeug 1: Oberflächenanalyse

- ◆ Unterschied zwischen unbeschichteten und beschichteten Einsätzen klar erkennbar
- ◆ Keramische Schicht zeigt bei höheren Werkzeugtemperaturen glattere, schlierenärmere Formteilerfläche gegenüber dem unbeschichteten Einsatz
- ◆ Vollständig aus PEEK gefertigter Einsatz bildet deutlich andere Oberfläche als beschichtete Stahleinsätze

Material	PP Talkum
Zylindertemperatur	220-270 °C
Vorlauftemp. Werkzeug	30-60 °C

Tabelle 3: Parameter Vorversuche

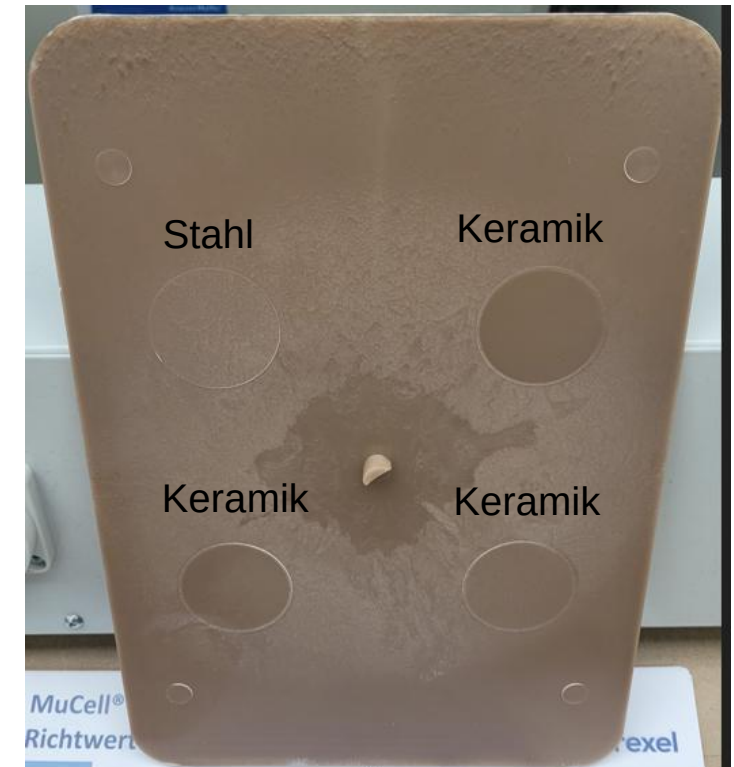


Bild 12: Platten Vorversuche

Ergebnisse und Diskussion – Werkzeug 1: Oberflächenanalyse

- ◆ Mikroskopaufnahmen mit Zeiss Smart Zoom 5

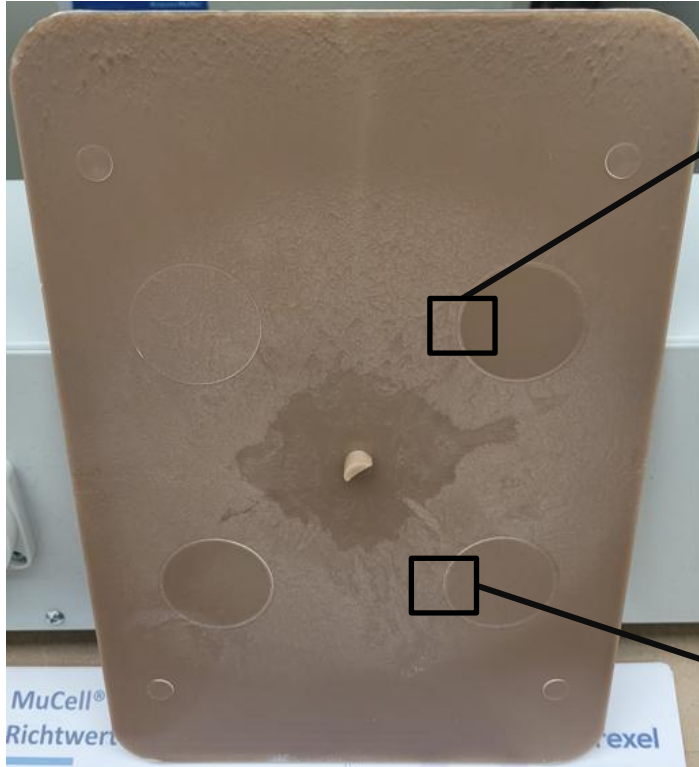


Bild 13: Position Mikroskopaufnahmen

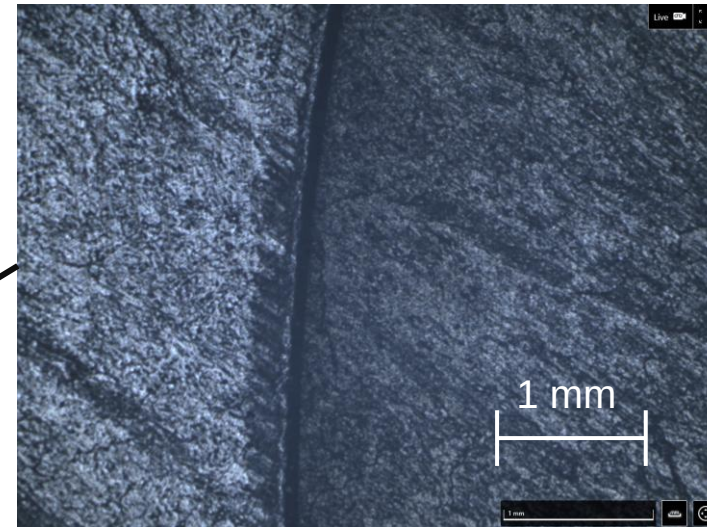


Bild 14: Mikroskopaufnahme oben

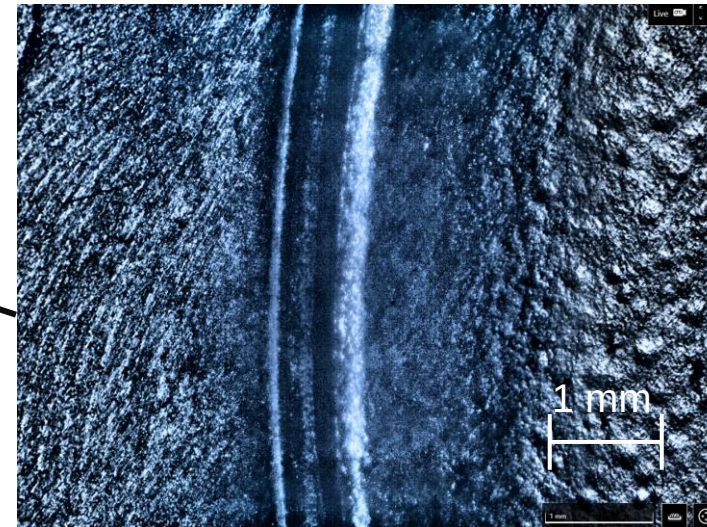


Bild 15: Mikroskopaufnahme unten

- ◆ Plattenwerkzeug mit Tauchkante
- ◆ Beschichtete Einsätze

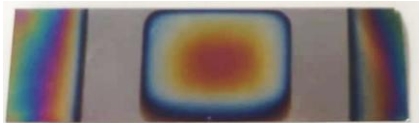


Bild 17: Blechstreifen ta – C beschichtet

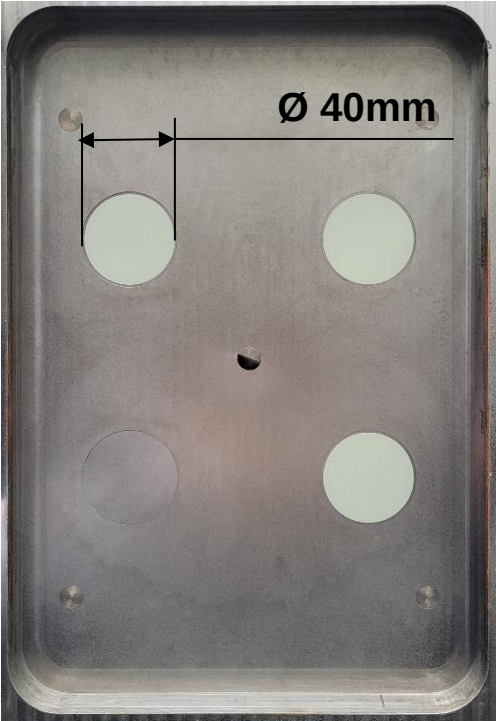


Bild 16: Position Einsätze Plattenwerkzeug

Beschichtung	Temperaturleitfähigkeit in mm²/s
Unbeschichtet	2,100
Ta-C	0,005
ZrCrN	0,014
DLC	0,015
C-DLC	0,030
AlCrTiN	0,018
TiAlSiN	0,017

Tabelle 4: Temperaturleitfähigkeit neue Beschichtungen



Bild 18: Einsatz Keramikbeschichtet

- ◆ Zur weiteren Untersuchung wurde ein Demonstratorbauteil entworfen (435 x 100 mm)
- ◆ Spiegelfläche Class-A
- ◆ Rippen von 1-3 mm Wandstärke
- ◆ Dome
- ◆ Waddickensprünge
- ◆ Verschiedene Radien
- ◆ Zwei Angusspositionen
- ◆ Material: Polypropylen

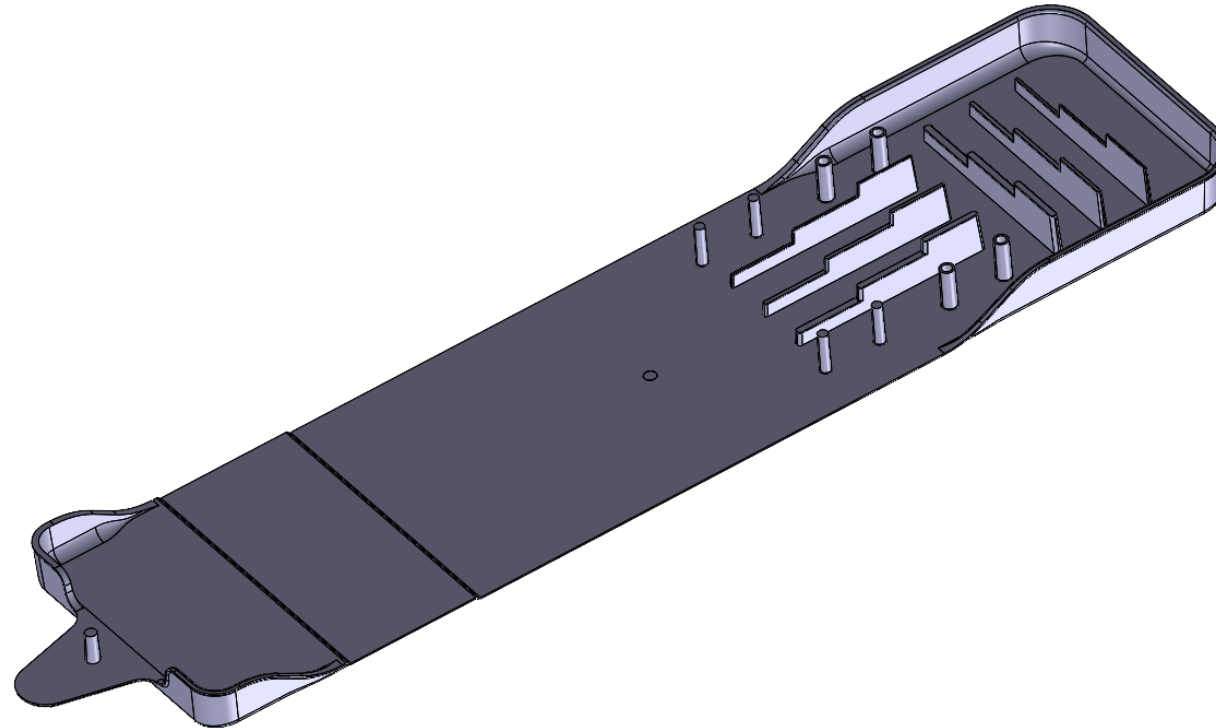


Bild 19: Konstruktion Demonstratorbauteil

Ergebnisse und Diskussion – Werkzeug 2: Demonstrator

- ◆ Ein polierter Einsatz, zu beschichten
- ◆ Heißkanalsystem von Barnes Synventive mit zwei Anspritzpunkten
- ◆ Druck und Temperatursensoren an mehreren Stellen in der Kavität

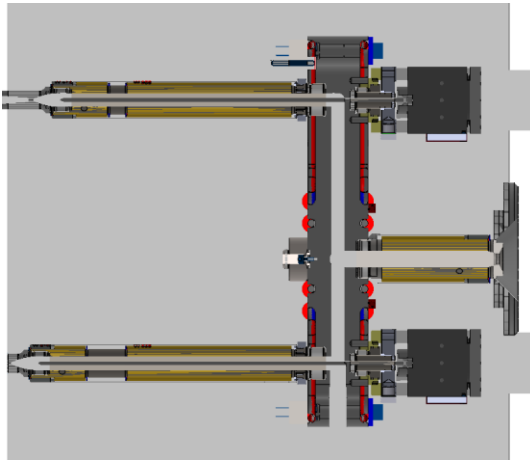


Bild 20: Heißkanalsystem

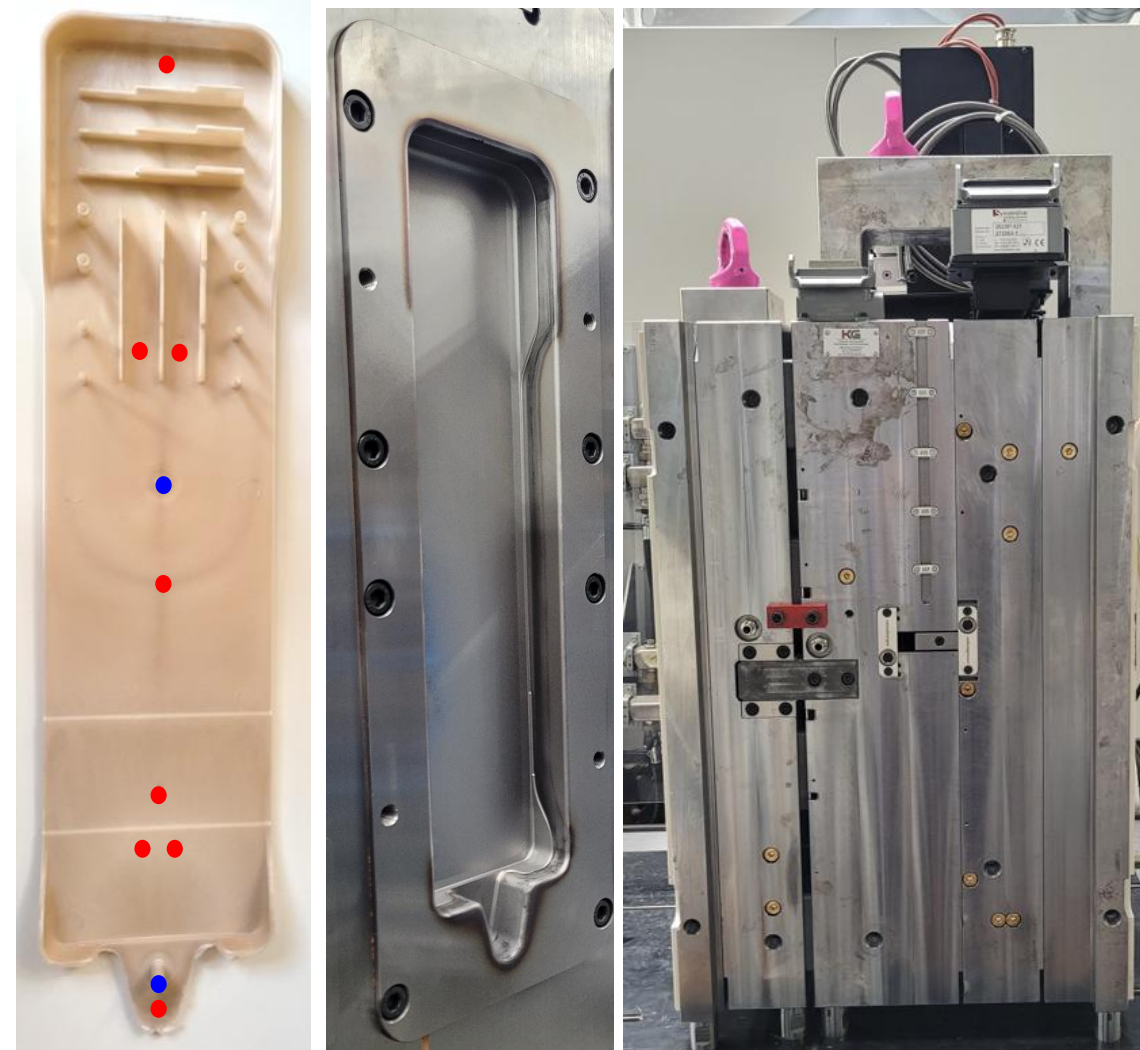


Bild 21: Formteil und Werkzeug Demonstrator

- ◆ Erste Schäumbauteile mit Demonstratorwerkzeug erstellt, Schlieren erkennbar



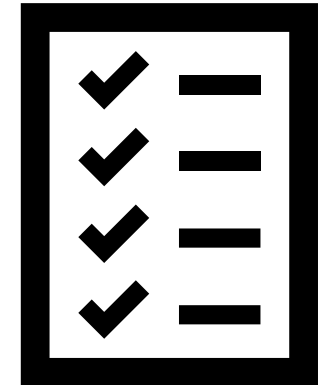
Bild 22: Spiegelfläche Demonstratorbauteil

Fazit

- ◆ Beschichtungen wirken isolierend
- ◆ Isolierung erzielt anhand Vorversuche bessere Oberflächen
- ◆ Weitere Untersuchungen zu Beschichtungen notwendig

Weiteres Vorgehen

- ◆ Weitere Beschichtungen Werkzeug 1
- ◆ Charakterisierung der Oberflächen mittels Rauheitsmessungen / Bildverarbeitung Mikroskop
- ◆ Umsetzung des Inline Rheometers
- ◆ Rheologischen Eigenschaften gasbeladener Schmelze
- ◆ Beschichtung am Demonstrator
- ◆ Datenerhebung für Simulationsintegration am Demonstrator



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Merlin Gebhart

merlin.gebhart@th-rosenheim.de

+49 (0) 8031 805-2973

SIMCON

H-O-T®

Limit

PARAT
TECHNOLOGY

K K T

LYB
LyondellBasell

GK CONCEPT

ALLGÄUER
KUNSTSTOFF
VERARBEITUNG

Norsystec
Nohra - System - Technik

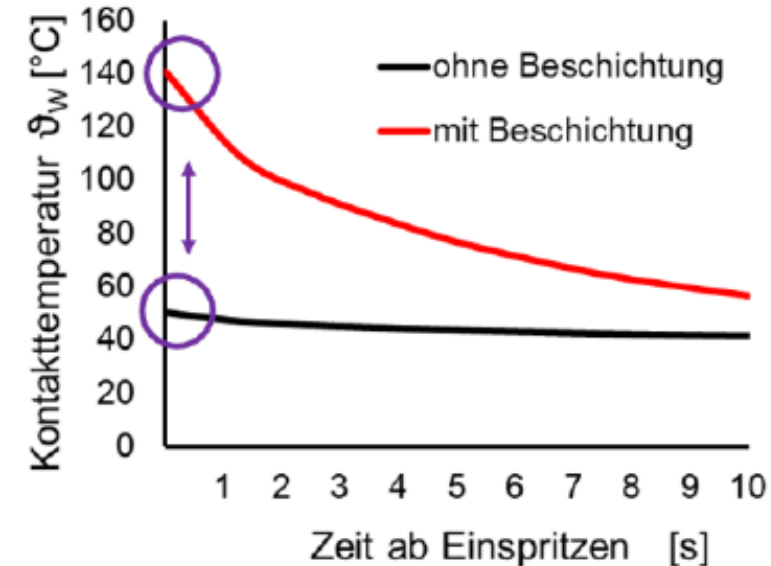
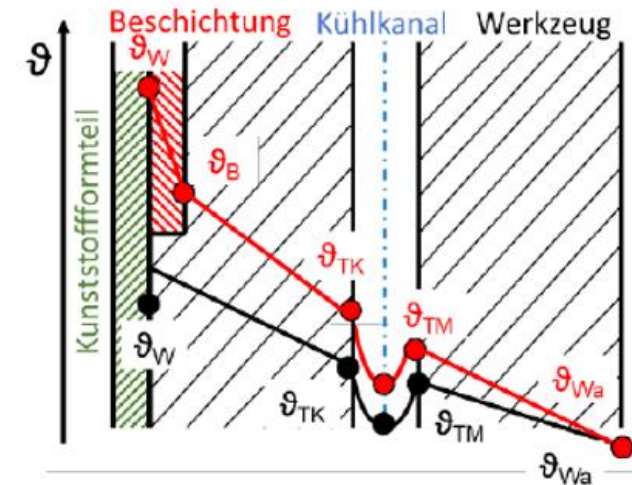
- [1]: Hopmann C., Wolters J.: Schöne Oberflächen beim Schaumspritzgießen
<https://www.kunststoffe.de/a/fachartikel/schoene-oberflaechen-beim-schaumspritzgi-4774314>
20.02.2026
- [2]: Trexel: MuCell <https://de.trexel.com/mucell/> 20.02.2026
- [3]: Altstädt, V., Mantey, A.: Thermoplastschaumspritzgießen, Carl Hanser Verlag, Auflage 1., München, 2010
- [4]: WittmannBattenfeld: Leichtbau durch Schaumspritzguss
https://www.wittmann-group.com/sites/default/files/2020-11/cellmould-de_2019-04_web.pdf
- [5]:Eben, J.: Identifikation und Reduzierung realer Schwankungen durch praxistaugliche Prozessführungsmethoden beim Spritzgießen, Dissertation, TU Chemnitz, 2014
- [6]:SL Recycling: <https://sl-recycling.de/pp-granulat/>
- [7]: Kern: Wärmeleitfähigkeit PEEK
https://www.kern.de/de/technisches-datenblatt/polyetheretherketon-peek?n=1701_1
22.02.2026
- [8]: Winkler M: Wärmeleitfähigkeit dünner Schichten messen, Time Domain Thermal Reflectance (TDTR)
- [9]: Pallier et al.: Thermal, electrical, and mechanical properties of hard nitrogen-alloyed Cr thin films deposited by magnetron sputtering

◆ Wärmeleitfähigkeit $\lambda = \rho * c_p * a$

◆ Wärmestrom $\dot{Q} = \frac{\lambda * \Delta T * A}{l}$

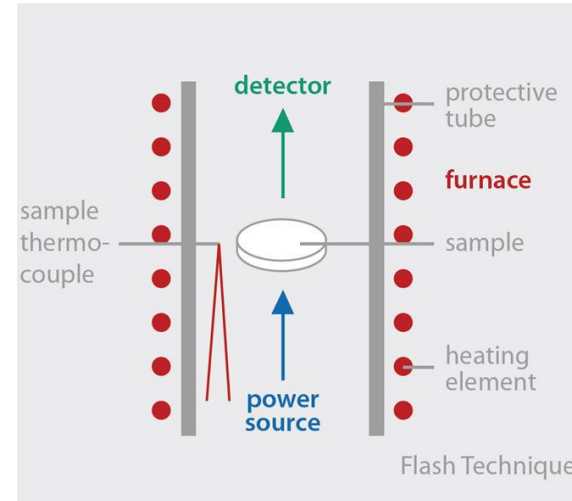
◆ Temperaturleitfähigkeit $a = \frac{\lambda}{\rho * c_p}$

◆ Spezifische Wärmekapazität $c_p = \frac{\Delta Q}{m * \Delta T}$

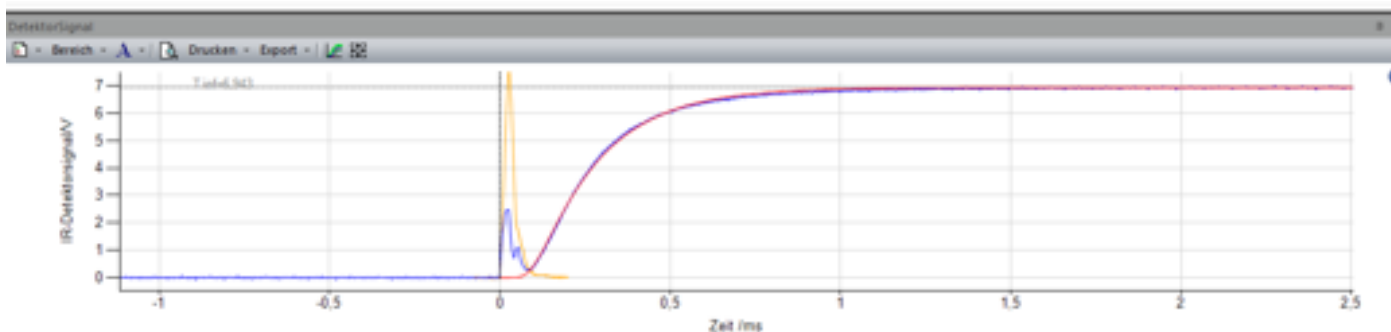


Grafiken Wärmeübertragung im Werkzeug, TH Rosenheim

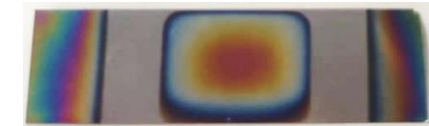
- ◆ Temperaturleitfähigkeitsmessungen unterschiedlich beschichteter Bleche (0,05mm) mittels LFA (Laser Flash)
- ◆ Verhältnis Beschichtung (μm) zu Substrat soll möglichst klein sein



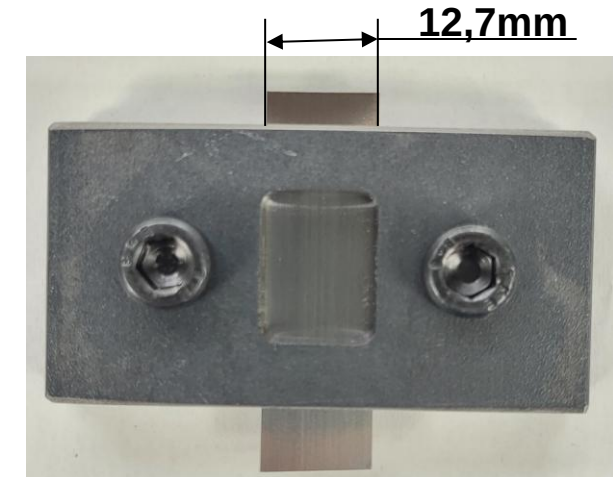
LFA Prinzip, Bildquelle:
Netzsch; Parker et al. 1961



Spannungskurve LFA



Blechstreifen ta – C beschichtet



Spannvorrichtung zu
beschichtende Blechstreifen

Ergebnisse Simulation Wärmeübergang

- Erste Simulation Wärmeübergang in ANSYS zeigt unterschiedliche Kontakttemperaturen zw. Beschichtung und Werkzeug nach 1,5s , signifikante Temperaturunterschiede bei hohen Unterschieden in der Wärmeleitfähigkeit

P9 - Thermal Conductivity	P19 - Temperature Probe 3 Maximum Temperature
W m ⁻¹ C ⁻¹	C
15	140,65
25	140,68
50	140,7
500	140,72
0,0001	41,92
0,001	50,015
0,01	90,864

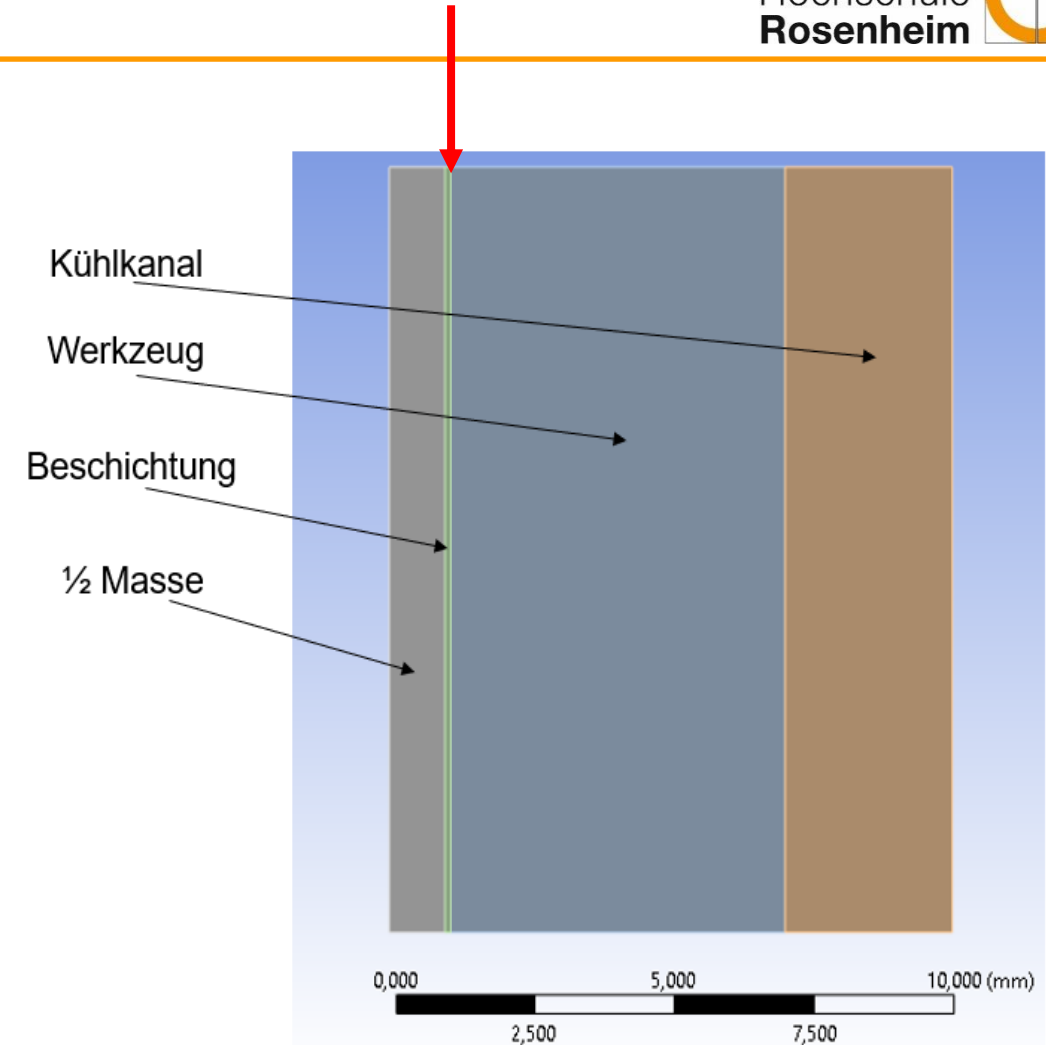


Bild 5: Darstellung Simulationsaufbau

- ◆ **Langsamere Abkühlung bei PEEK-Vollmaterial als bei den beschichteten Stahleinsätzen klar sichtbar**
- ◆ **Material expandiert bei frühzeitiger Entformung im Bereich des PEEK-Einsatzes noch weiter**



Schaumstruktur an PEEK-Einsatz