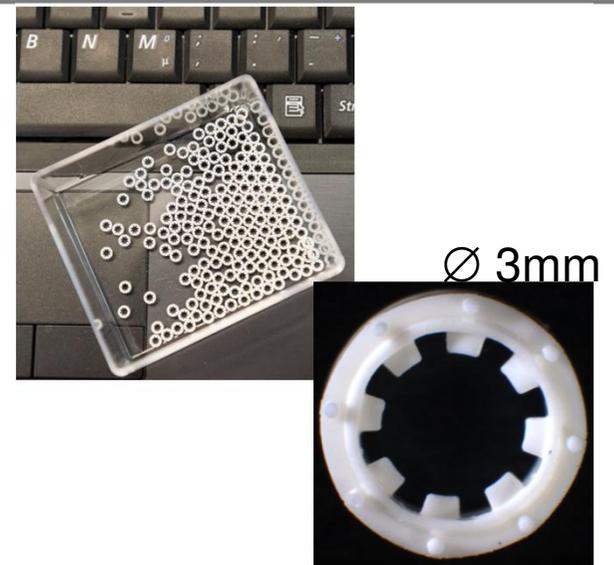


MicroPIM im Fokus

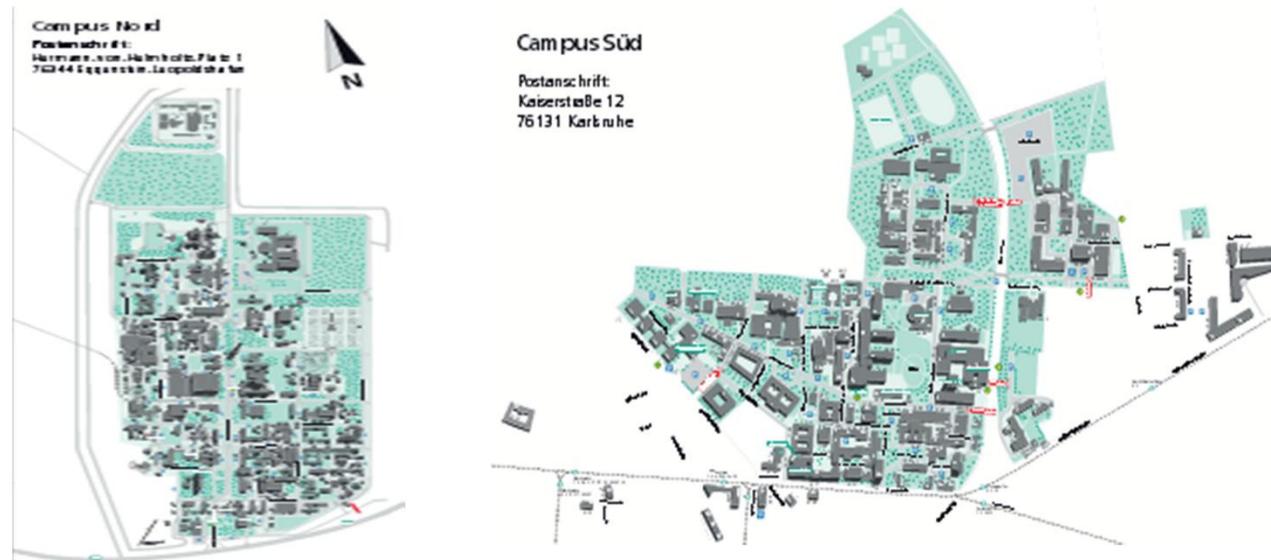
K. Plewa, E. Honza, T. Müller, V. Piotter

Institut für Angewandter Materialien – Werkstoffprozesstechnik (IAM – WPT)



Inhaltsverzeichnis

- Einleitung
- Pulver
- Formeinsatz
- Mikro-Spritzgießwerkzeug
- Mikrospritzgießmaschine
- MikroPIM - Simulation
- MikroPIM - Verfahrenstechnik
 - MikroPIM - Verbessern der Abformqualität
 - 2-Komponenten-MikroPIM
 - Mikro-Pulver-Einlegespritzgießen (IML-MikroPIM)
- Ausblick



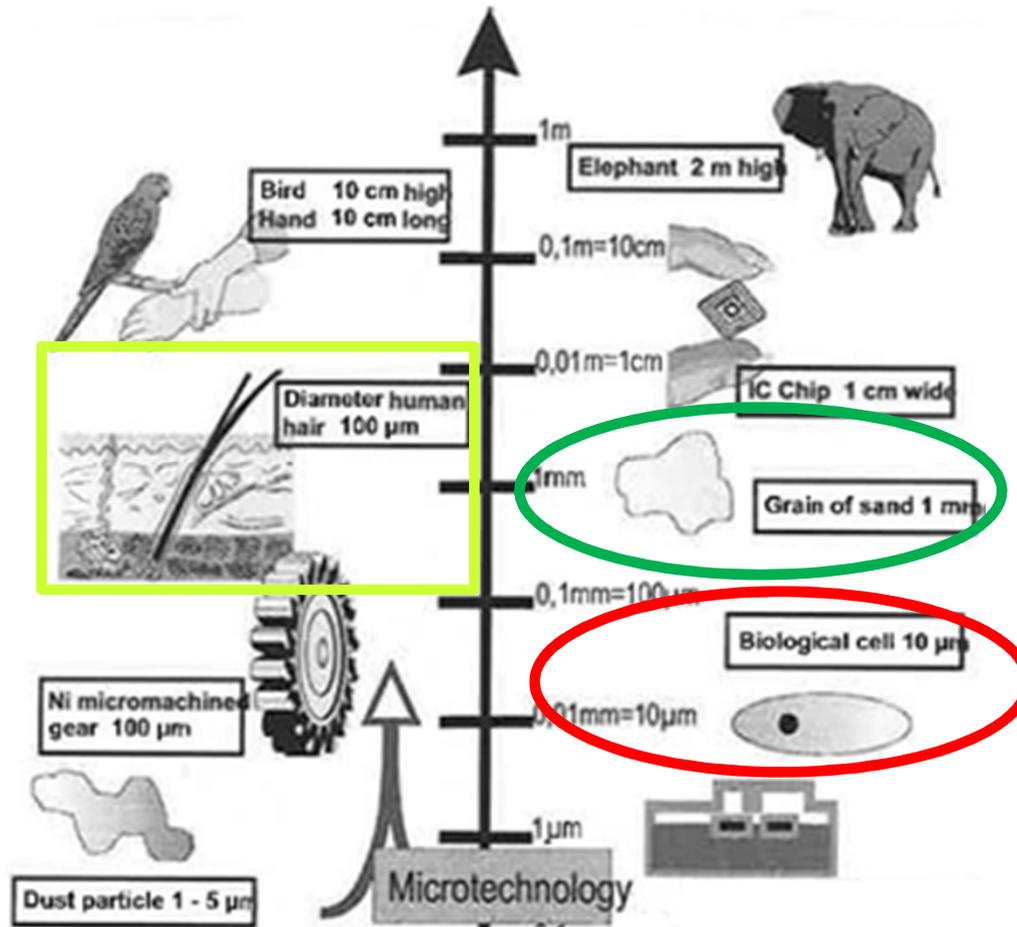
364 Professoren
8500 Mitarbeiter
19700 Studenten

Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffprozessstechnik

- 6 Spritzgießmaschinen
- Knetter, Extruder, Rheometer etc. zur Entwicklung von Formmassen und –vermessung etc.
- Öfen zum Entbindern und Sintern keramischer und metallischer Spritzlinge

Einleitung

■ Was ist Mikro?



Definitionen:

Mikroteil

Gesamtgröße, z.B. 3mm mit Details in Mikrometergröße

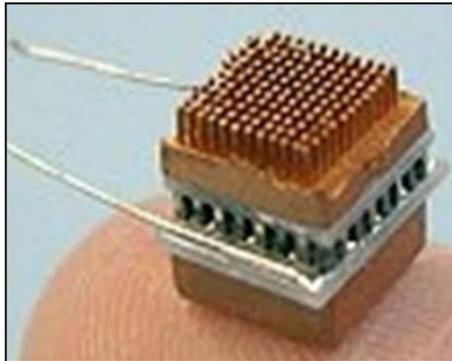
Mikrostrukturiertes Teil

Makroskopisches Teil mit mikrostrukturierter Oberfläche, z.B. DVD's

Source: KIT / IMT: Skript: *Grundlagen der Mikrosystemtechnik II*, 2009

Einleitung

■ Beispiele

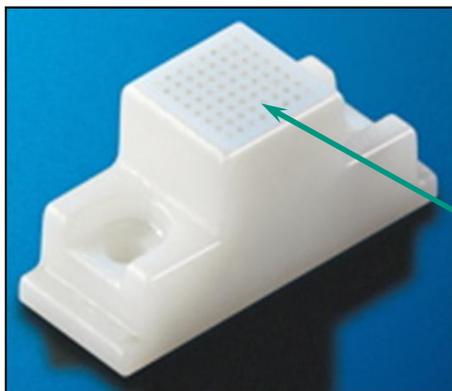
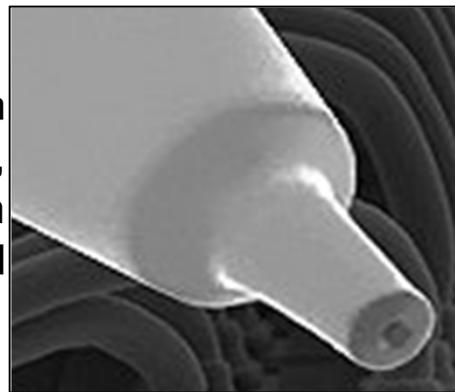


Mikro Peltier Element, Cu
Kinki Universität, Japan

Diffusor, ZrO₂, Grünling,
Outer-Ø 3,8mm, SFB499



Kapillare für feine Verbindungen
Spitze-Ø=45µm,
Bohrung-Ø=19µm
SPT Roth Ltd., CH



IT Verbinder, ZrO₂,
64 Durchgängen,
8-eck 125µm
Formatec Technical
Ceramics bv, NL

EPMA Award 2008 an Parmaco
Metal Injection Molding AG, CH



Einleitung

■ Übersicht

- abhängig von Formeinsatzfertigung
- ** Fließlängen / Wandstärkeverhältnis

Werkstoffe	min. lat. Größen [µm]	min. Details [µm]	Aspektverhältnis** [freistehende Strukturen]	Toleranzen [%]	Rauigkeit* Rmax / Ra [µm]	Einsetzbare Pulver
Metall	50	10	>10	±0.5	7 / 0.8	17-4PH, 316L, Cu, W, W-alloys
Keramik	<10	<3	<15	(±0.1) ±0.3	2 / <0.3	ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , ZTA, Al ₂ O ₃ /TiN, Si ₃ N ₄

■ Einige Beispiele zu Vor- und Nachteilen des MikroPIM

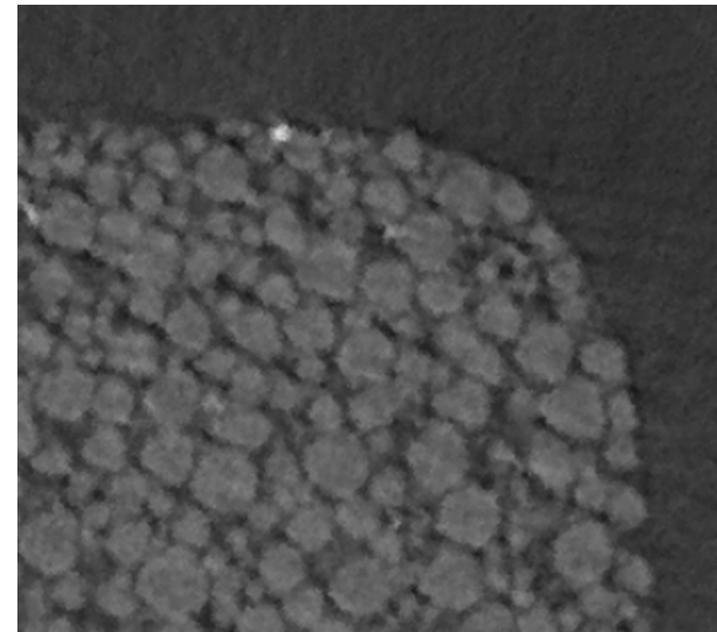
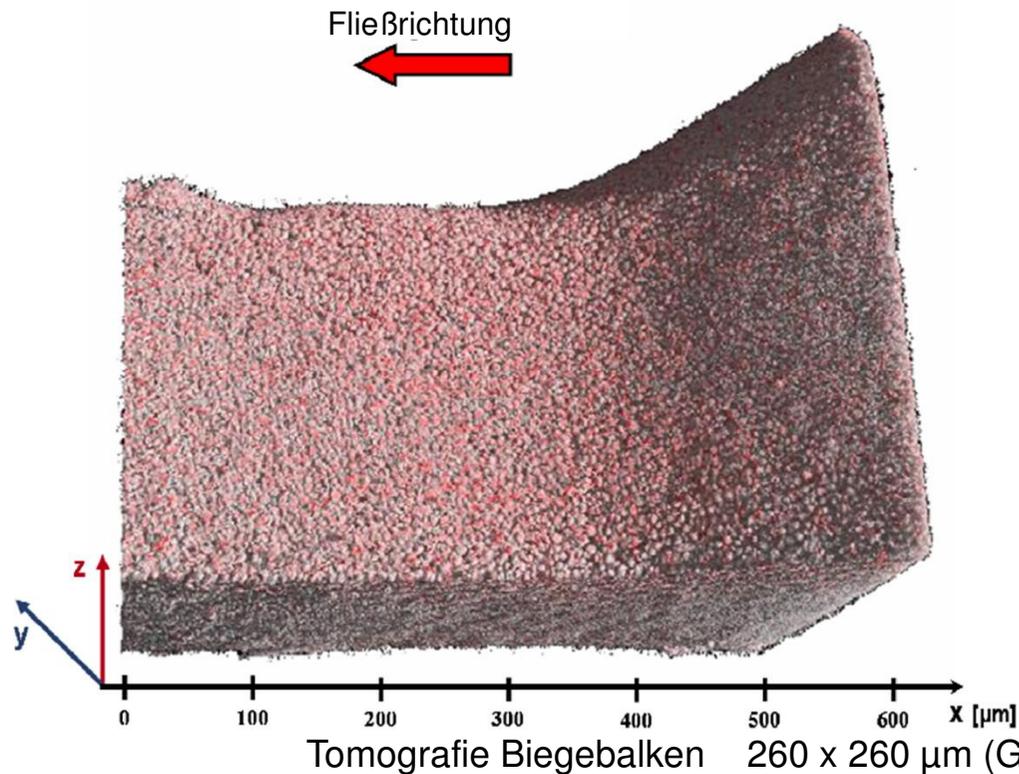
- Kleine Korngröße der Pulver → feineres Gefüges 
- Geringe Temperaturgradienten durch hohes Oberflächen/Volumenverhältnis 
- Vorzeitiges Einfrieren durch hohes Oberflächen/Volumenverhältnis 
- Verwendung feinerer Pulver resultiert in hoher Viskosität 

Pulver

■ Voraussetzungen:

- Kleine Pulverkorngröße: mittlere Korngröße (d_{50}) sollte weniger als 1/10 des kleinsten abzubildenden Details betragen

⇒ Detail- und Oberflächengüte: möglichst feine Pulverkorngröße



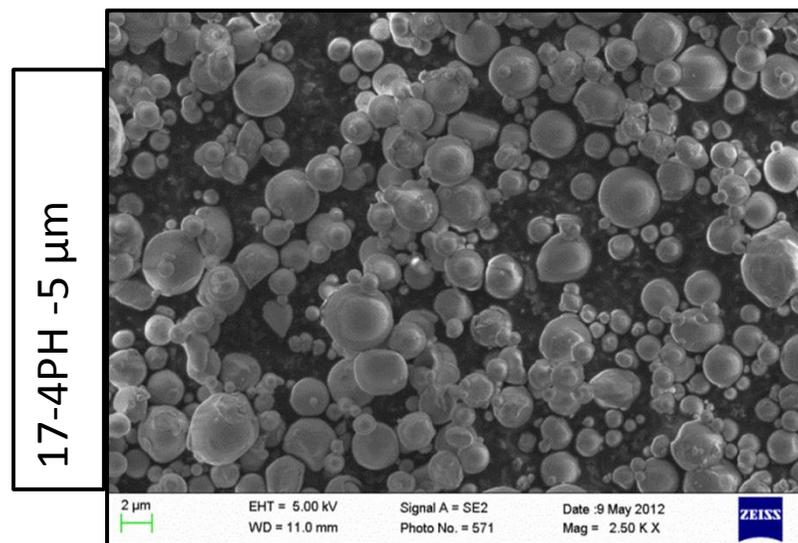
Pulver

- d_{50} keramisches Pulver: ca. $0.44\mu\text{m}$ (Tosoh ZrO_2 TZ-3YS-E)
- d_{50} metallisches Pulver: ca. $2.5\mu\text{m}$ (Osprey, 17-4PH, gesichtet)
kleinere Metallpartikel wegen Oxidation schwer zu verarbeiten

ABER: Korngröße der Pulver so groß wie möglich um niedrige Viskosität und geringen Sinterschrumpf zu erreichen

Lösungen:

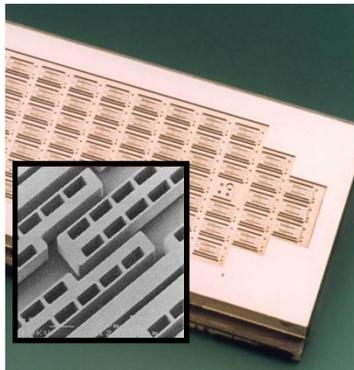
- Optimierung der Additive und Dispergatoren
- Multimodale Pulverpartikelverteilung



Formeinsatz

Formeinsätze für Mikrospritzgießen

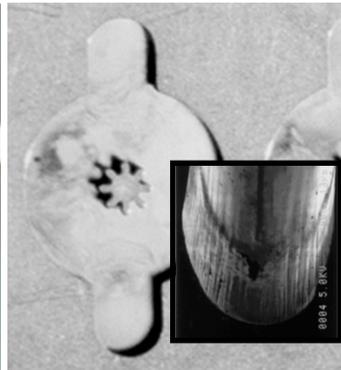
LIGA



**Röntgentiefen-
Lithografie +
Galvanoformung**

Nickel, (Ni-all.)
+ AR = 20-30
+ $R_{max} = 0.04\mu m$
- Lieferzeit

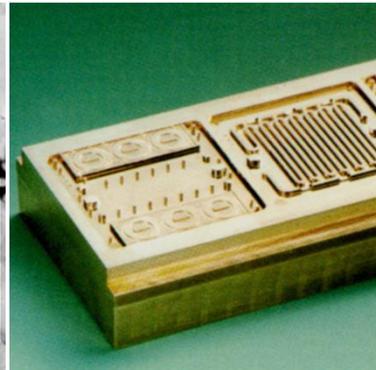
SU8



**UV-Lithografie +
Galvanoformung**

Nickel, (Ni-all.)
+ Entformungsschrägen
AR = mind. 5
- Oberflächen-
rauigkeit

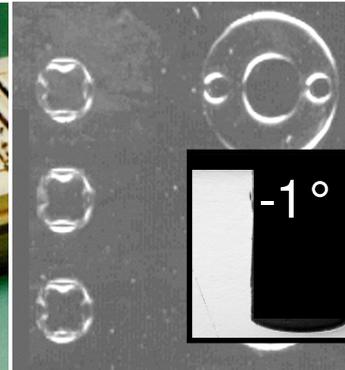
Spanabhebend



**Mikrofräsen,
-drehen, Erodieren**

Brass, Steel
+ Entformungsschrägen
AR = 5-10
 $R_{max} = 0.2 - 0.5\mu m$

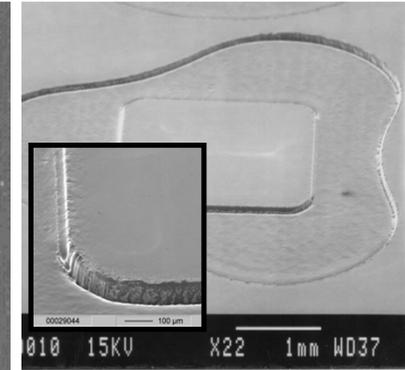
Silizium



Si-ätzen

Silizium
AR = 5
- Hinterschneidungen
- selten verwendet,
spröd

Laser

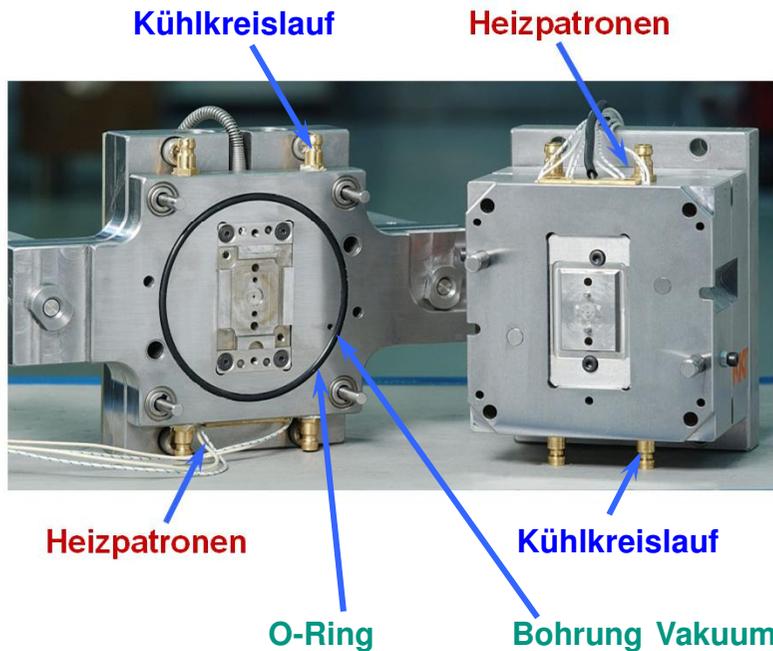


Laser-Ablation

Stahl, HM, Keramik
Verschleißfest
AR = 5 (10)
- $R_{max} = 2\mu m$

Mikro-Spritzgießwerkzeug

- Besonderheiten
 - Evakuierung
 - Variotherme Prozessführung (falls erforderlich)

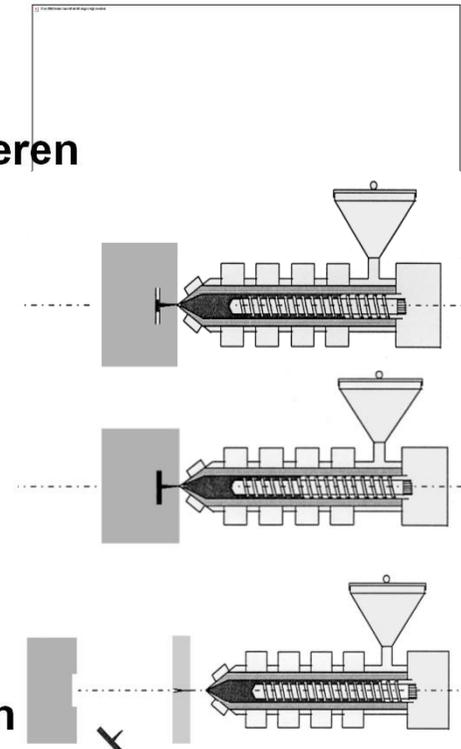


Wkz.* schließen+ heizen
Einziehen, schmelzen, dosieren

Evakuieren der Kavität
Einspritzen

Kühlphase
Aktives kühlen des Wkz.

Kontrollierte Wkz.-öffnung
Entformen + gezielt ablegen

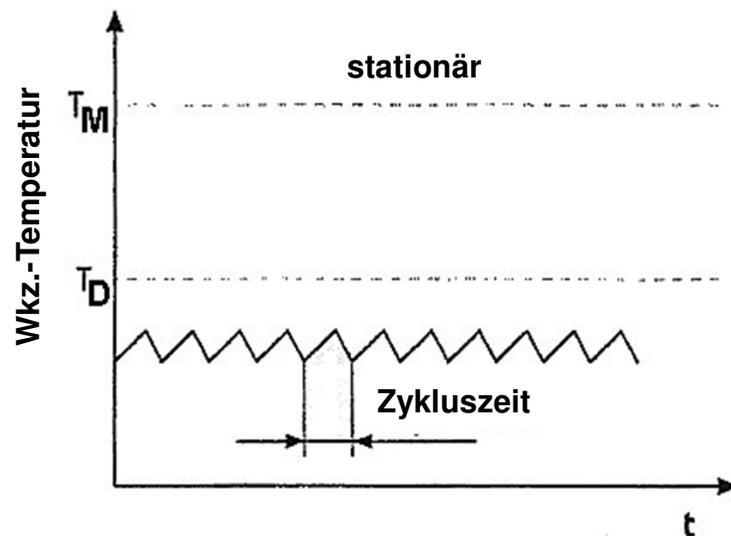


*Wkz. - Werkzeug

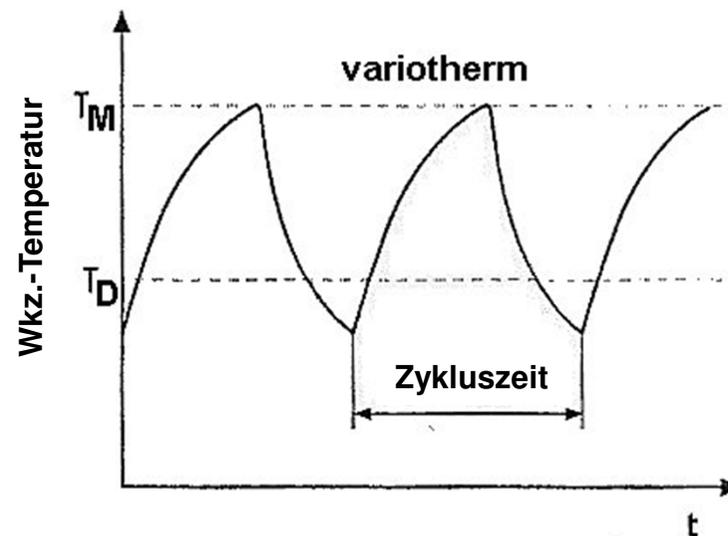
Heizen/ Kühlen= Variotherme Prozessführung
erforderlich für die Abformung von hohen Aspektverhältnissen(AR)

Mikro-Spritzgießwerkzeug

■ Variotherme Prozessführung



T_M : Wkz.-temperatur einspritzen



T_D : Wkz.-Temperatur entformen

Geeignet für:

- Teile mit hohen Oberflächenanforderungen, Ausheilung von Bindenähten
- Reduzierung von Pulver- / Binderentmischungen
- Formmassen mit hoher Wärmeleitfähigkeit
- Reduzierung unvollständiger Formfüllung

Mikrospritzgießmaschine

- Standard Spritzgießmaschine oder Mikro-Spritzgießmaschine?
 - Schussvolumen, e.g. 200mm³ bei 2mm³ Teilvolumen
 - Zykluszeit: 30s
 - 18mm-Spritzeinheit: Schmelzevolumen ca. 35cm³ ⇒ Verweilzeit ≈ 85min

⇒ Thermischer Abbau der Formmasse!

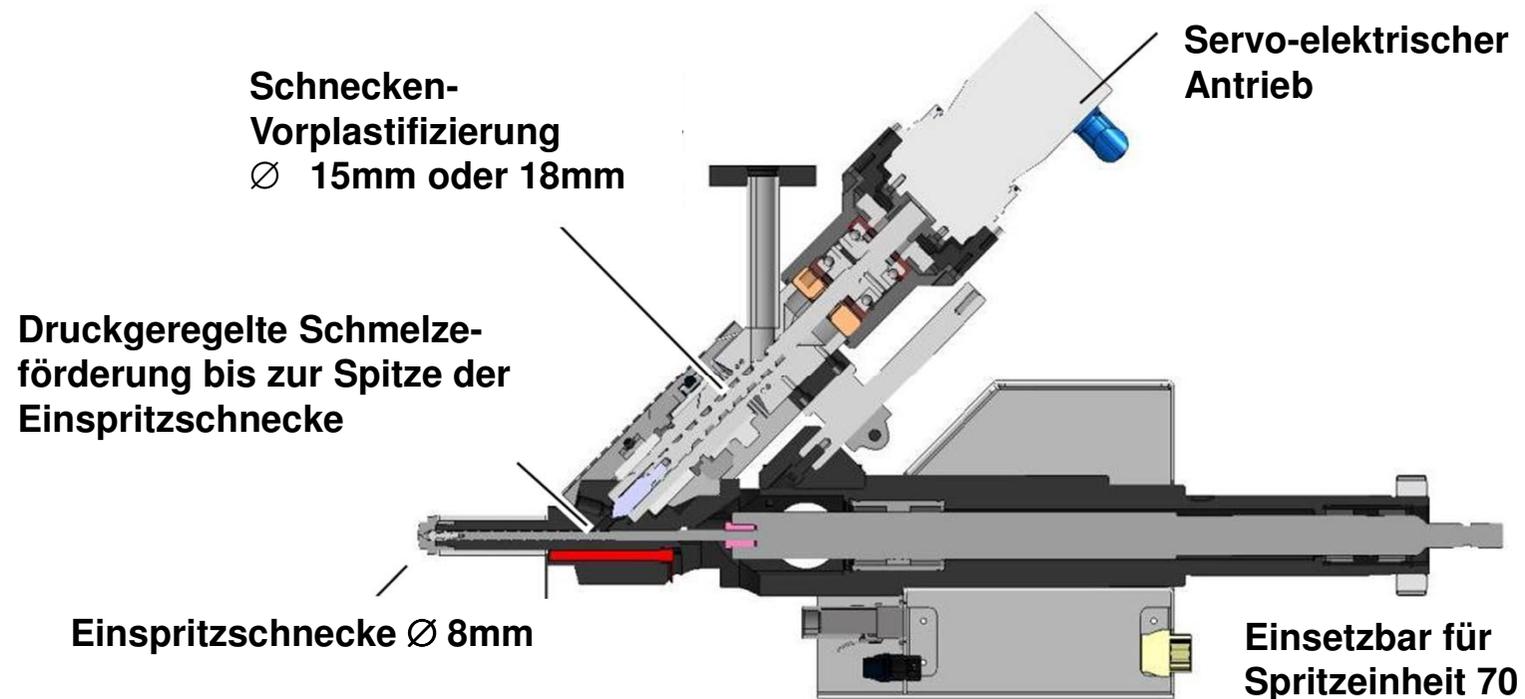
- Lösungsmöglichkeiten
 - Vergrößern des Schussvolumens → Werkzeug mit Mehrfachkavitäten
 - Kleinere Spritzgießmaschine
 - Trennung von Dosieren und Einspritzen → 2 Schritte: Extruder + Einspritzschnecke oder -kolben
 - z.B. Schmelzevolumen in einem 14mm-Extruders ca. 12cm³

⇒ Verweilzeit ≈ 30min



Mikrospritzgießmaschine

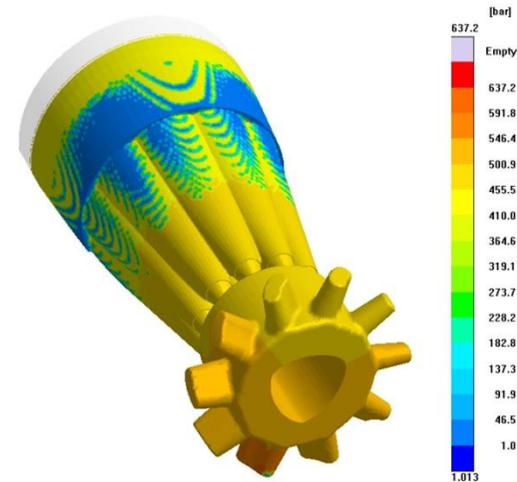
Arburg Mikro-Spritzeinheit



MikroPIM - Simulation

■ Motivation

- Reduzierung von Überarbeitungsschleifen
- An Spritzguss angepasste Teilgestalt
- Prognose von Spritzparametern

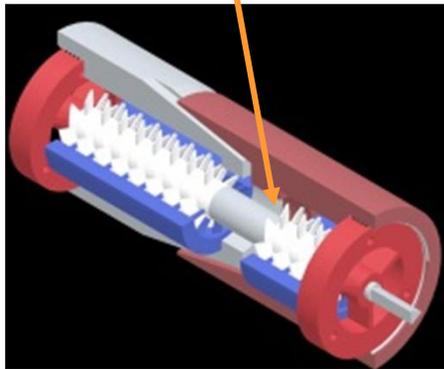


■ Herausforderungen

- Kommerzielle Software basiert auf Ein-Phasen-Modell
- Pulver-Binder Entmischung, Trägheitseffekte etc. nicht berücksichtigt
- Hohes Oberflächen- / Volumenverhältnis nicht berücksichtigt
- Häufig liegen unerwünschte Wanddickensprünge vor → Pulver-Binder Entmischungen; Deformationen

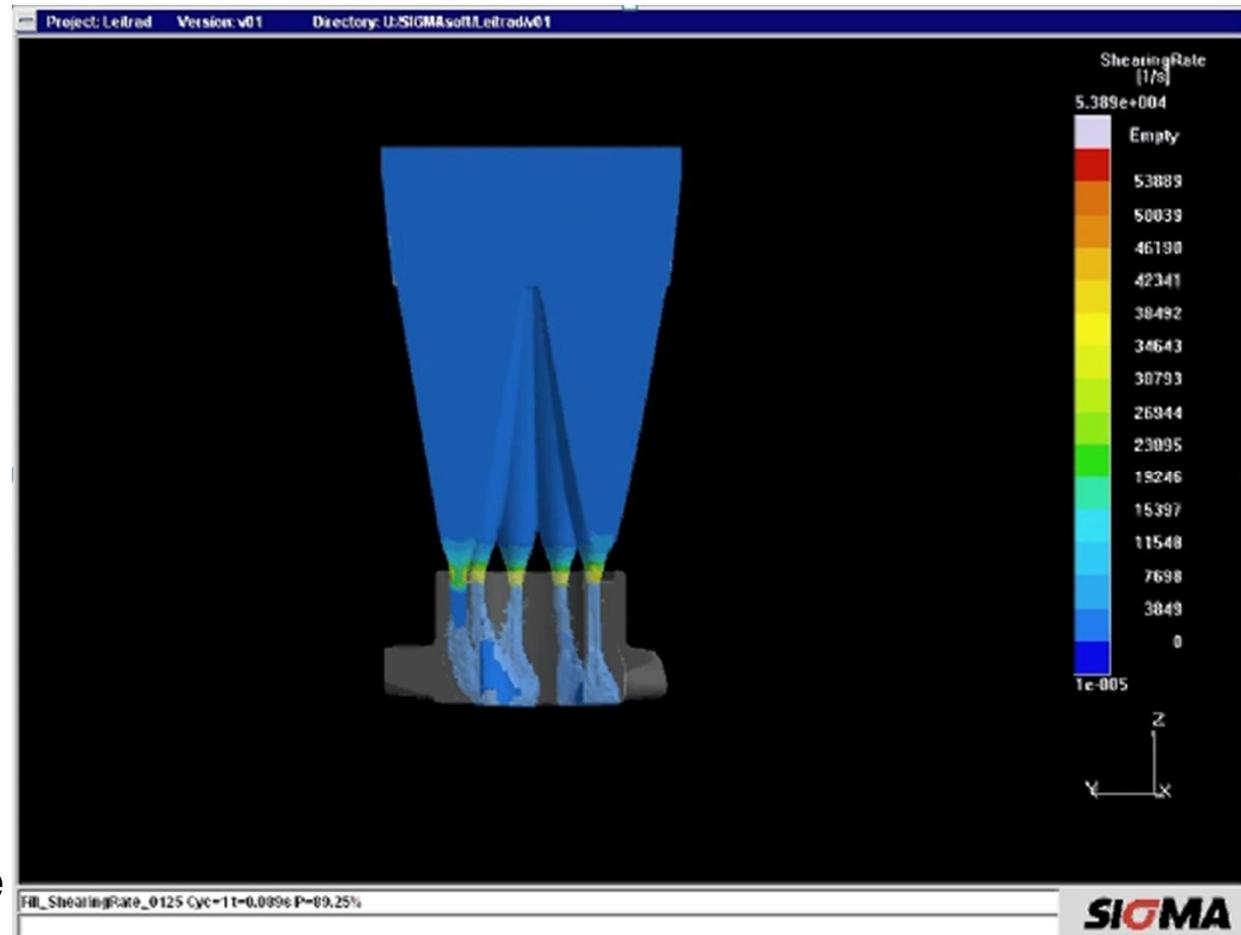
MikroPIM - Simulation

LaufRad einer Mikroabgasturbine

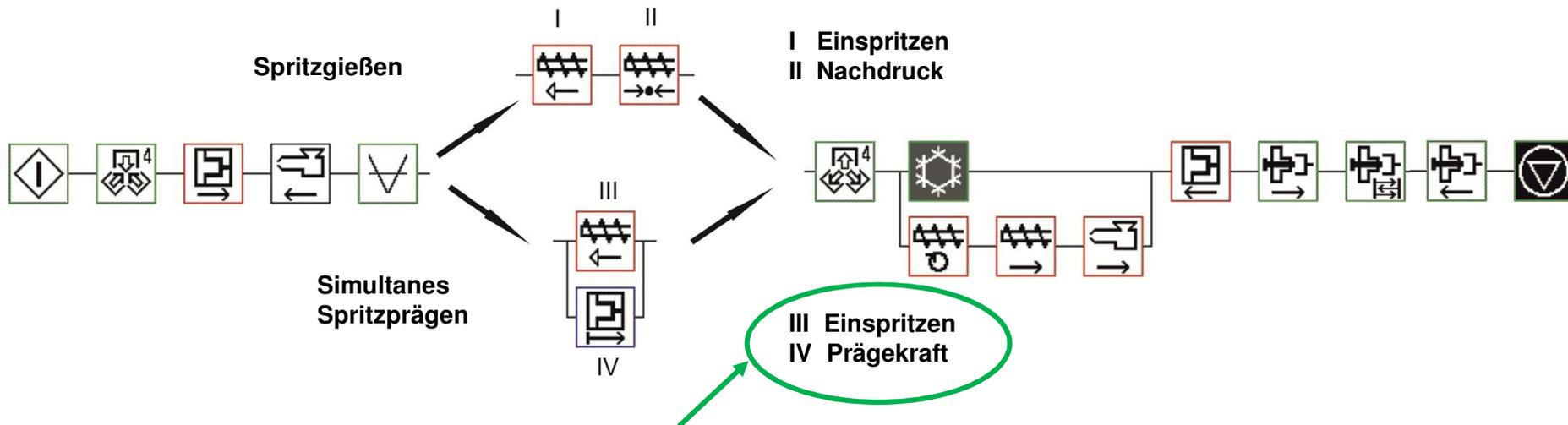


ZrO₂-Feedstock (50-Vol%)

- Ungefähre Vorhersage
 - Freistrah
 - Scherraten
 - Faltenbildung
 - Schwerkrafteffekte
 - Quantitative Analyse

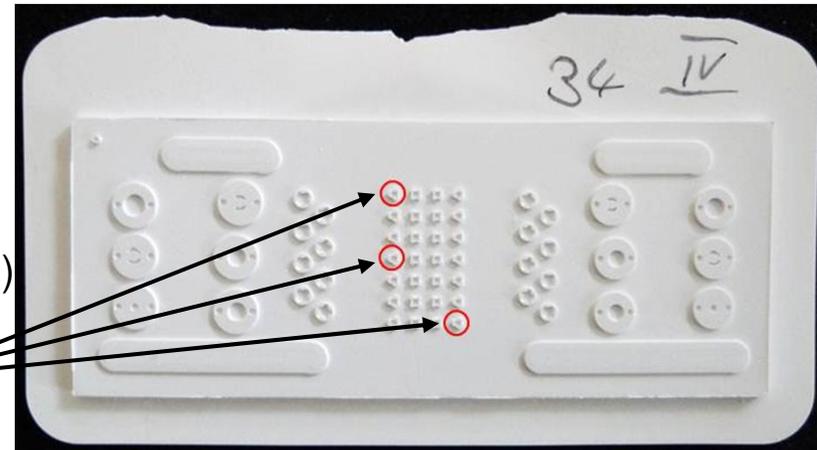


MikroPIM - Verbessern der Abformqualität



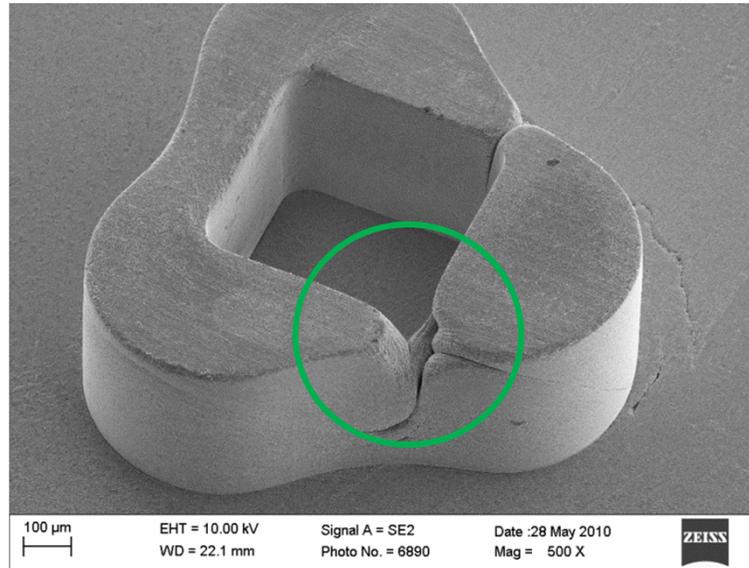
Einführung eines zusätzlichen **Prägeschritts** um die Formmasse fließfähig zu halten

- Erprobung bei LIGA Formeinsätzen
- Kleinste Struktur 94µm
- Verwendung eines ZrO_2 -Feedstocks (50vol%)
- Vergleich der Abformqualität ohne / mit Prägeschritt

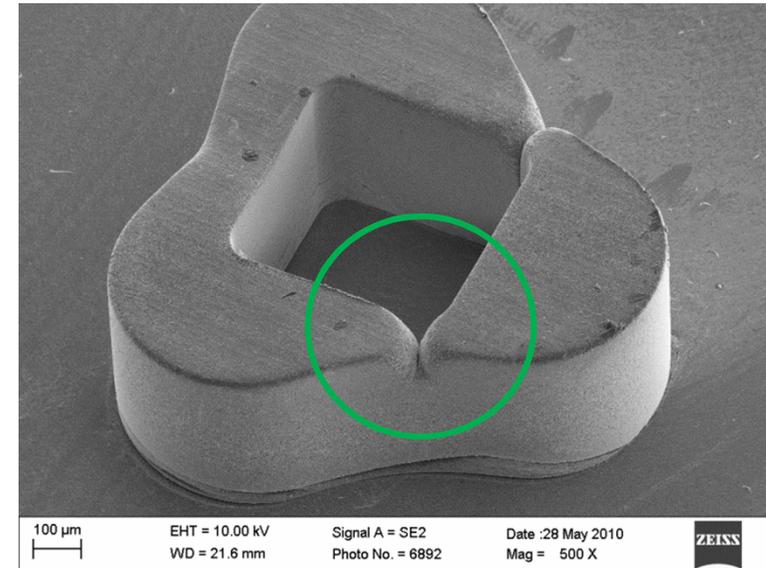


MikroPIM - Verbessern der Abformqualität

Ohne Prägen



Mit Prägen (MikroCPIM)



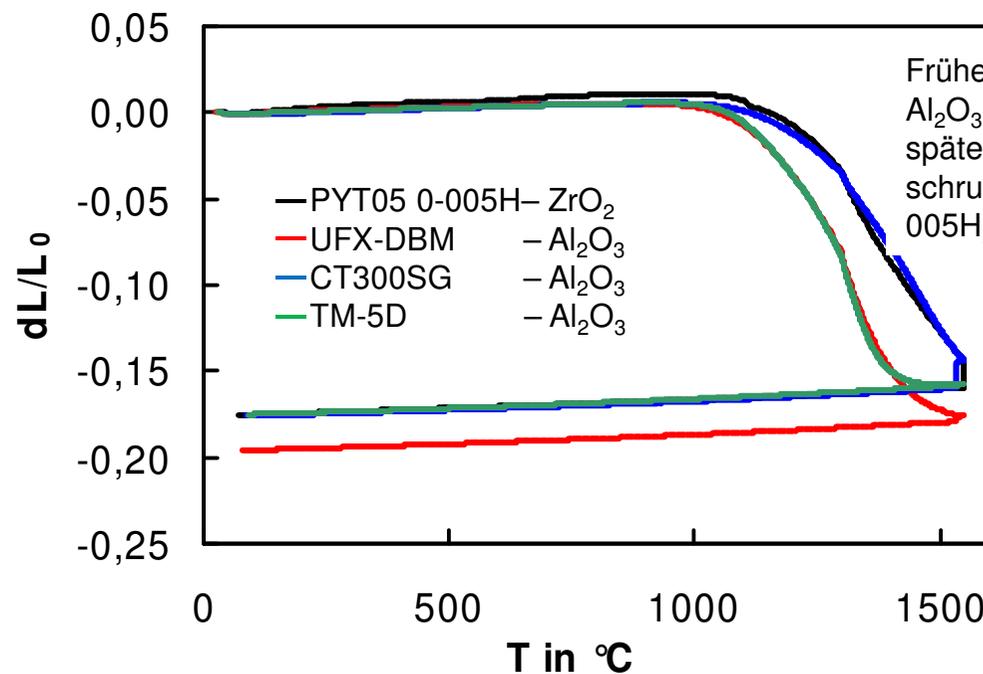
- **Verbesserte Formfüllung** an Engstellen
- **Gut geeignet für MikroPIM**
- **Verbesserte Formfüllung größerer Abschnitte?**

2-Komponenten-MicroPIM

Motivation

Funktionsintegration durch Kombination unterschiedlicher Werkstoffe

- Erzeugung **beweglicher** und **fester** Verbindungen → anpassen des Sinterverhaltens
- Reduzierter **Handhabungs-** und **Montageaufwand**

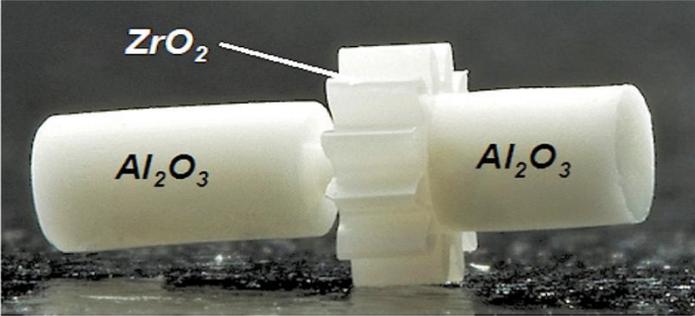
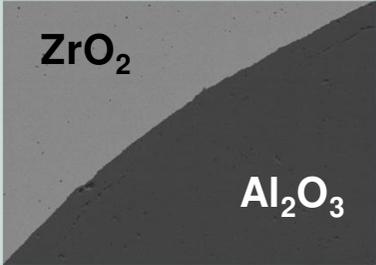
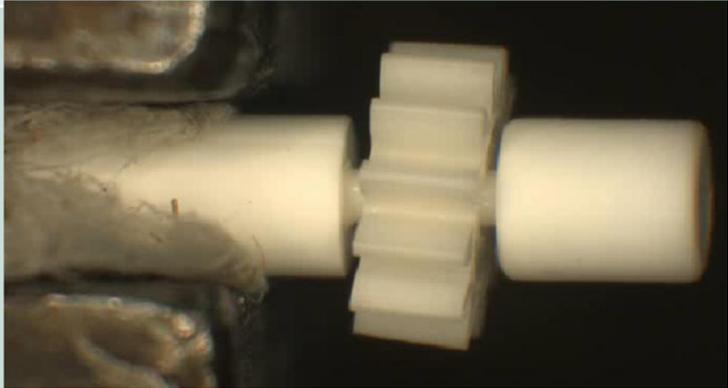


Früher Sinterschrumpf des Al₂O₃ (rote und grüne Kurven)
später startender Sinterschrumpf des ZrO₂ (PYT05.0-005H)



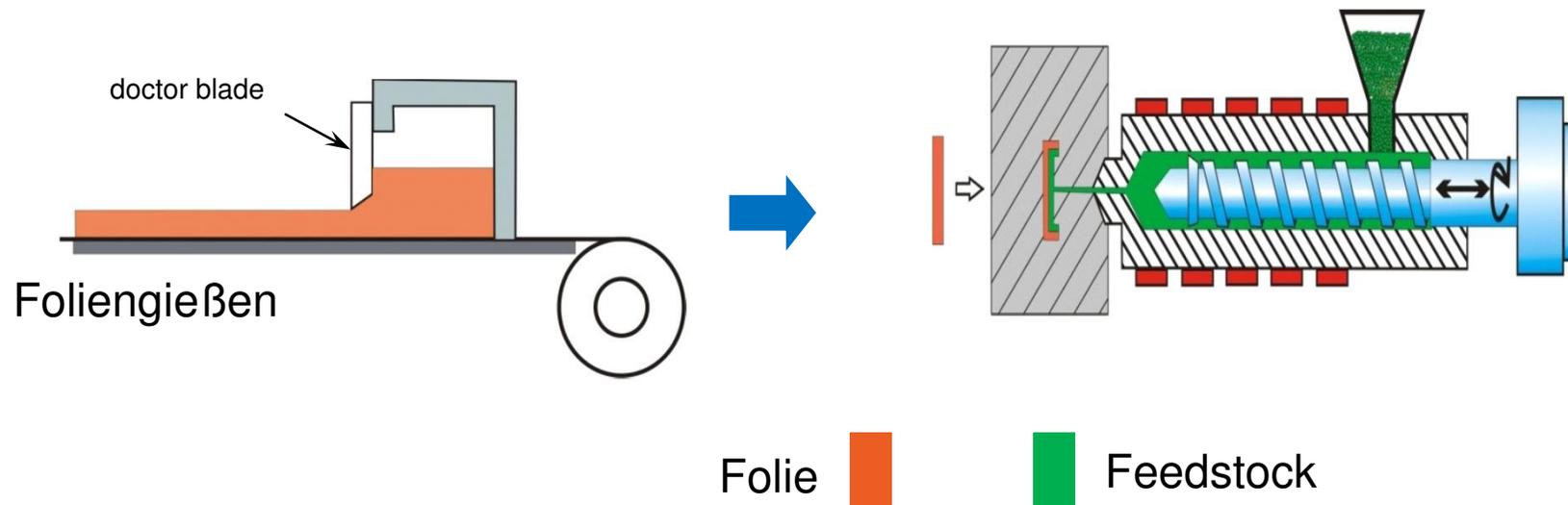
Hartmetall WCxCo mit unterschiedlichen Beimengungen (16% and 6%), ARBURG

2-Komponenten-MicroPIM

Verbindung	fest	beweglich
Binder	angepasst	nicht entscheidend
Pulverfüllgrad	ähnlich	$\varphi_{\text{außen}} > \varphi_{\text{innen}}$
Sintertemperatur	ähnlich	$T_{\text{außen}} > T_{\text{innen}}$
Therm. Ausdehnung	ähnlich	ähnlich
	 	

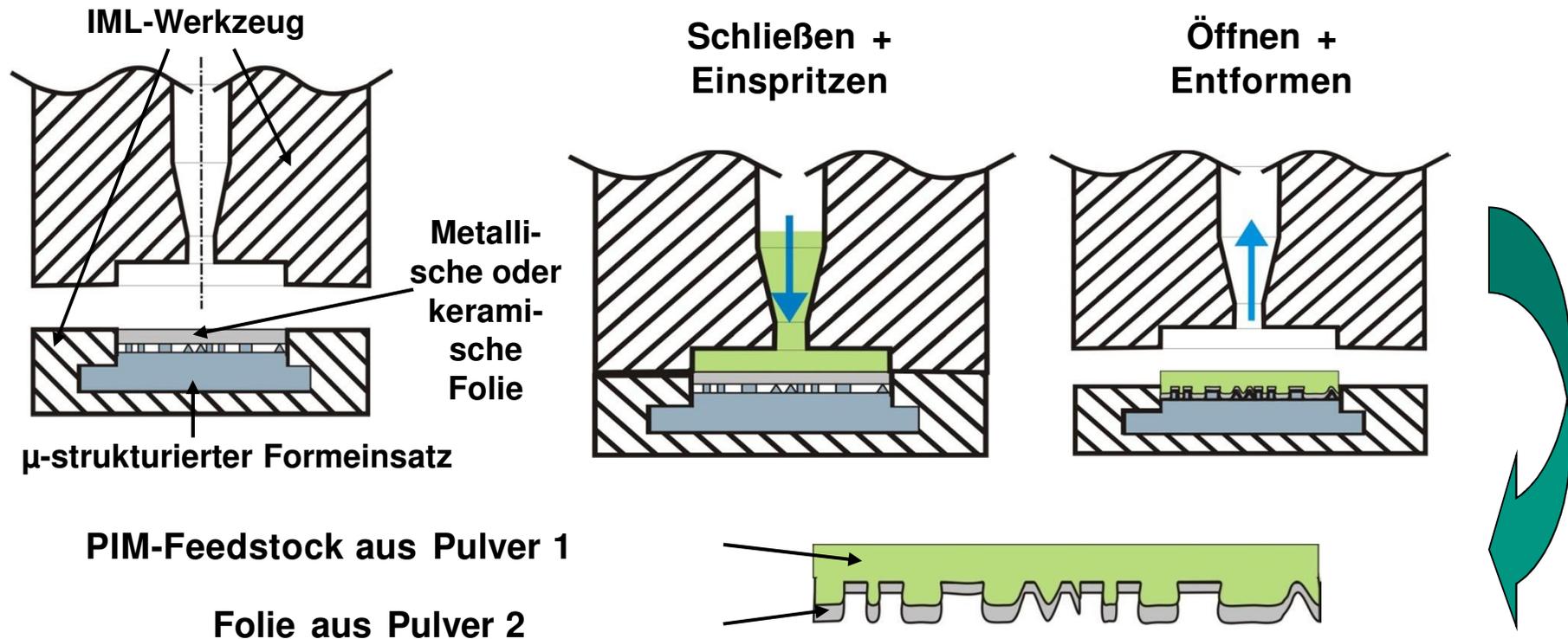
Mikro-Pulver –Einlegespritzgießen (IML-MicroPIM)

- Kombination der Vorteile zweier Formgebungsverfahren



EU Project No. FP7-NMP4-2007-214122

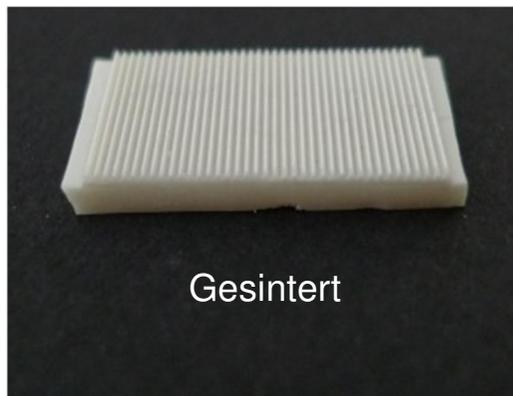
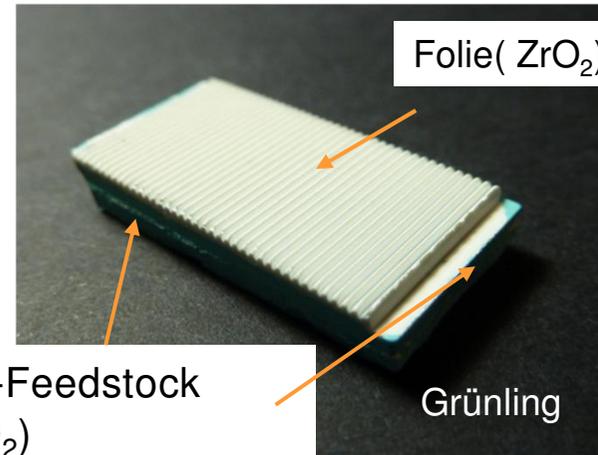
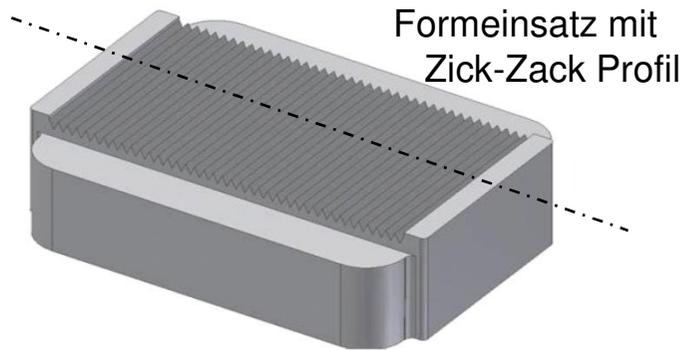
Mikro-Pulver-Einlegespritzgießen (IML-MikroPIM)



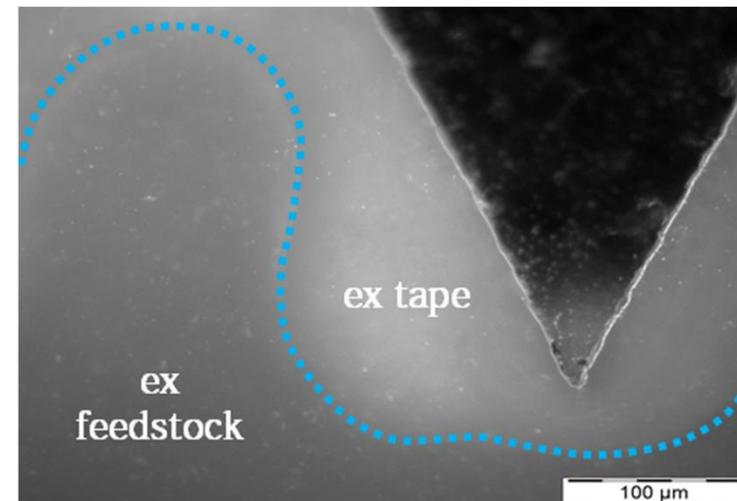
Pulver 2: **Funktionale Schicht** oder **Nanopartikel** auf der Bauteiloberfläche
→ bessere **Abformqualität**, bessere **Oberflächenqualität**,
functionelle Eigenschaften etc.

Mikro-Pulver-Einlegespritzgießen (IML-MikroPIM)

Aufbau

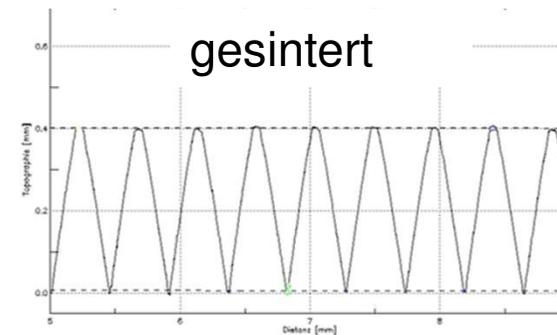
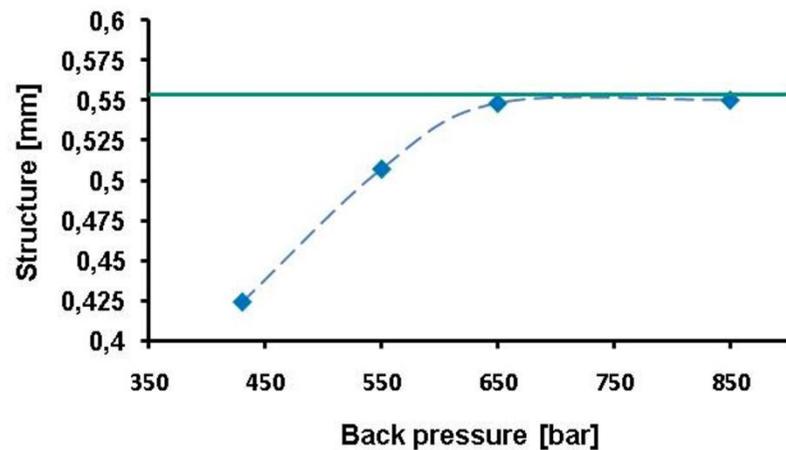
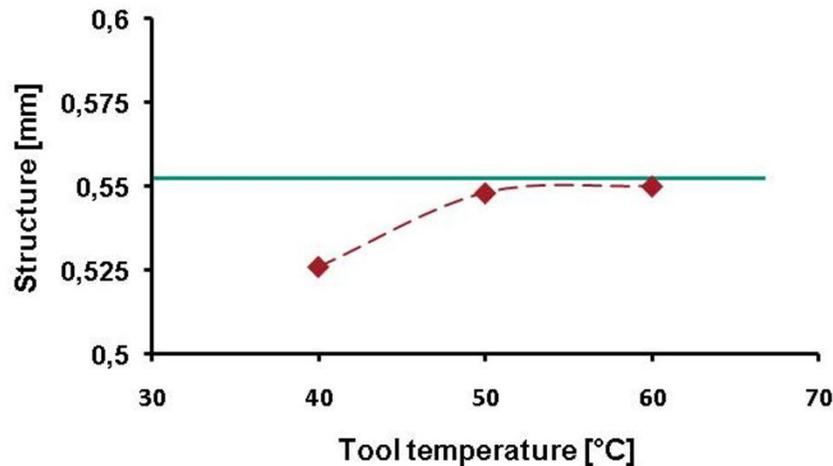


$T = 1450\text{ }^\circ\text{C}$



Mikro-Pulver-Einlegespritzgießen (IML-MikroPIM)

■ Maßverfolgung



Bewertung des Abformergebnisses

Richtwert: Höhe der Zacken

→ signifikanter Einfluss der **Werkzeugtemperatur**

und des **Nachdrucks**

→ **Einspritzgeschwindigkeit**: nahezu kein Einfluss

Ausblick

- Verbessern der Abbildungsgenauigkeit
- Verbessern der Oberflächenqualität
 - Einfluss von Dispergator, modifizierter Verfahrenstechnik etc.
- Erweitern der Materialpalette durch Einsatz anderer Technologien / Prozesse
- Verbessern der Spritzgießsimulation speziell für MikroPIM und PIM
 - Modifizierte Modelle, Multiphasen Modelle
- Bildliche Darstellung des Formfüllverhaltens

Danksagung

- **Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF**
- **Europäischen Komitee**
- **Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG (SFB 499)**
- **Land Baden-Württemberg**
- **Fraunhofer Institut IKTS**
- **Fraunhofer Institut IFAM**
- **MIM- und CIM-Expertenkreis**
- **Allen Kollegen am KIT und der Universität Freiburg**

Danke!