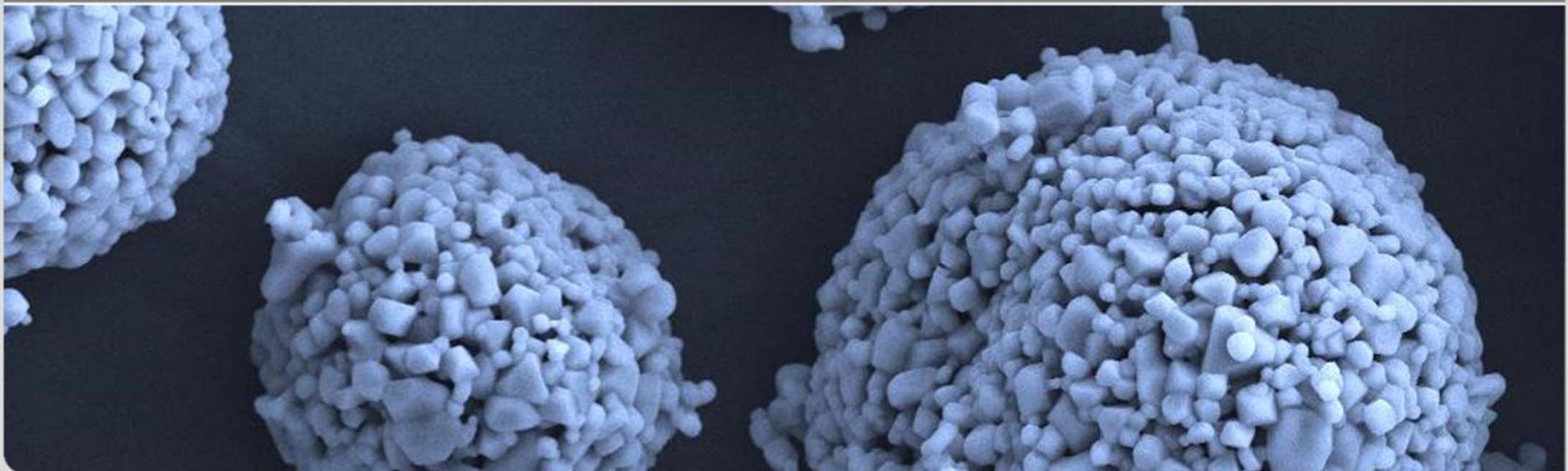


Einfluss der Massenaufbereitung auf die Verarbeitungseigenschaften für das Mikro-Pulverspritzgießen

Volker Piotter, Thomas Hanemann, Tobias Müller, Klaus Plewa

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE MATERIALIEN - WERKSTOFFPROZESSTECHNIK (IAM – WPT)



Inhalt

- **Einführung (Mikropulverspritzgießen)**
- **Anforderungen an Binder und Pulver**
- **Feedstock-Optimierung**
- **Neue Bindersysteme**
- **Ausblick**

PIM in der industriellen Praxis



Düsen zum Fine Pitch Bonding
Spitzen- $\varnothing=45\mu\text{m}$
Bohrungs- $\varnothing=19\mu\text{m}$
SPT Roth Ltd., CH



Brackets für Zahnspangen aus transparenter Keramik
Grünling, Sinterteil (+Metallklammer)
Bernhard Förster GmbH



Ferrulen für Glasfaserstecker
Grünling, Braunling, Sinterteil
Krone GmbH



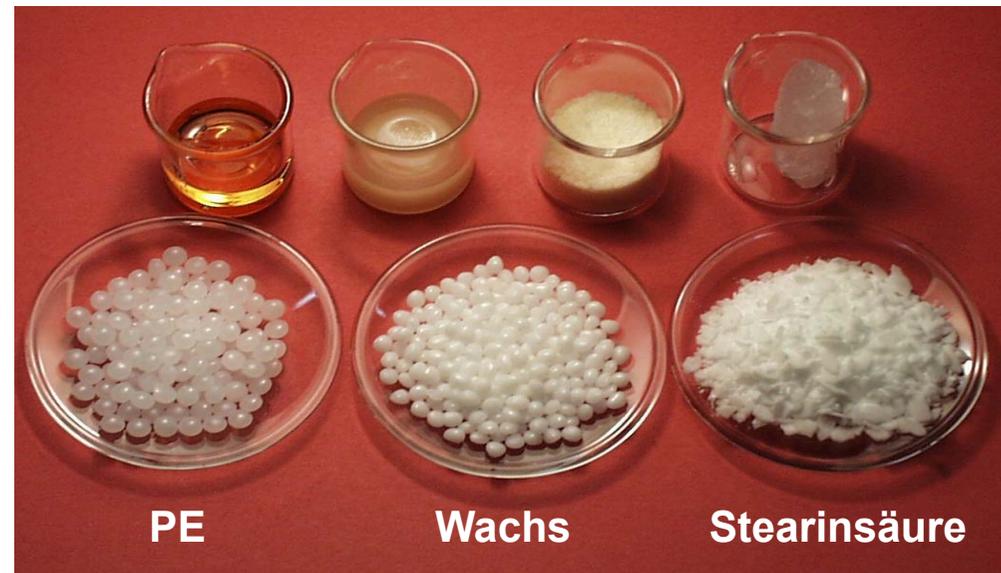
IT Stecker, ZrO_2
64 Durchgangslöcher
Achteckgeometrie $125\mu\text{m}$
Formatec Technical Ceramics bv, NL

Anforderungen an MicroPIM-Binder

- **Niedrige Viskosität (Formfüllung)**
- **hohe Festigkeit (Entnahme)**
- **gute Pulverbenetzung (Dispergierung)**
- rückstandsfreie Entbinderung
- **thermische Stabilität (Compoundierung)**
- **geringe Verarbeitungsschwindigkeit**

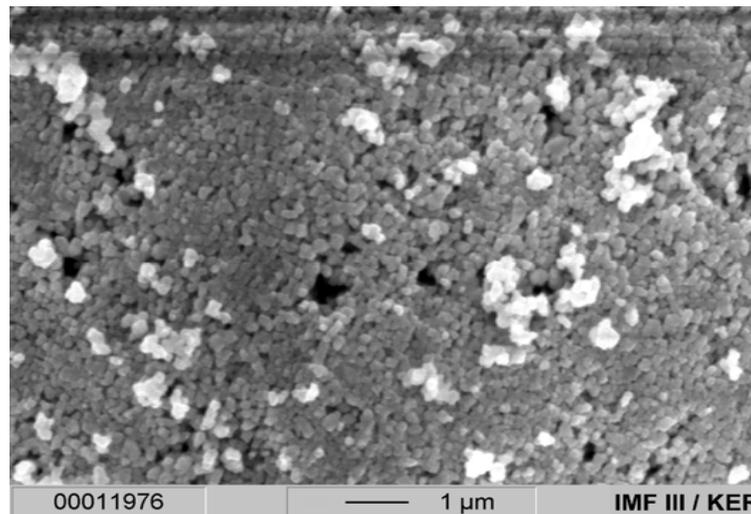
Bindersysteme

- **Wachs-Polyolefin-Basis**
- Thermoplast-Basis (POM, PA)
- H₂O-Basis (Agar, Cellulose)
- Reaktionsharz-Basis (Epoxyde)
- **PEG-PMMA**



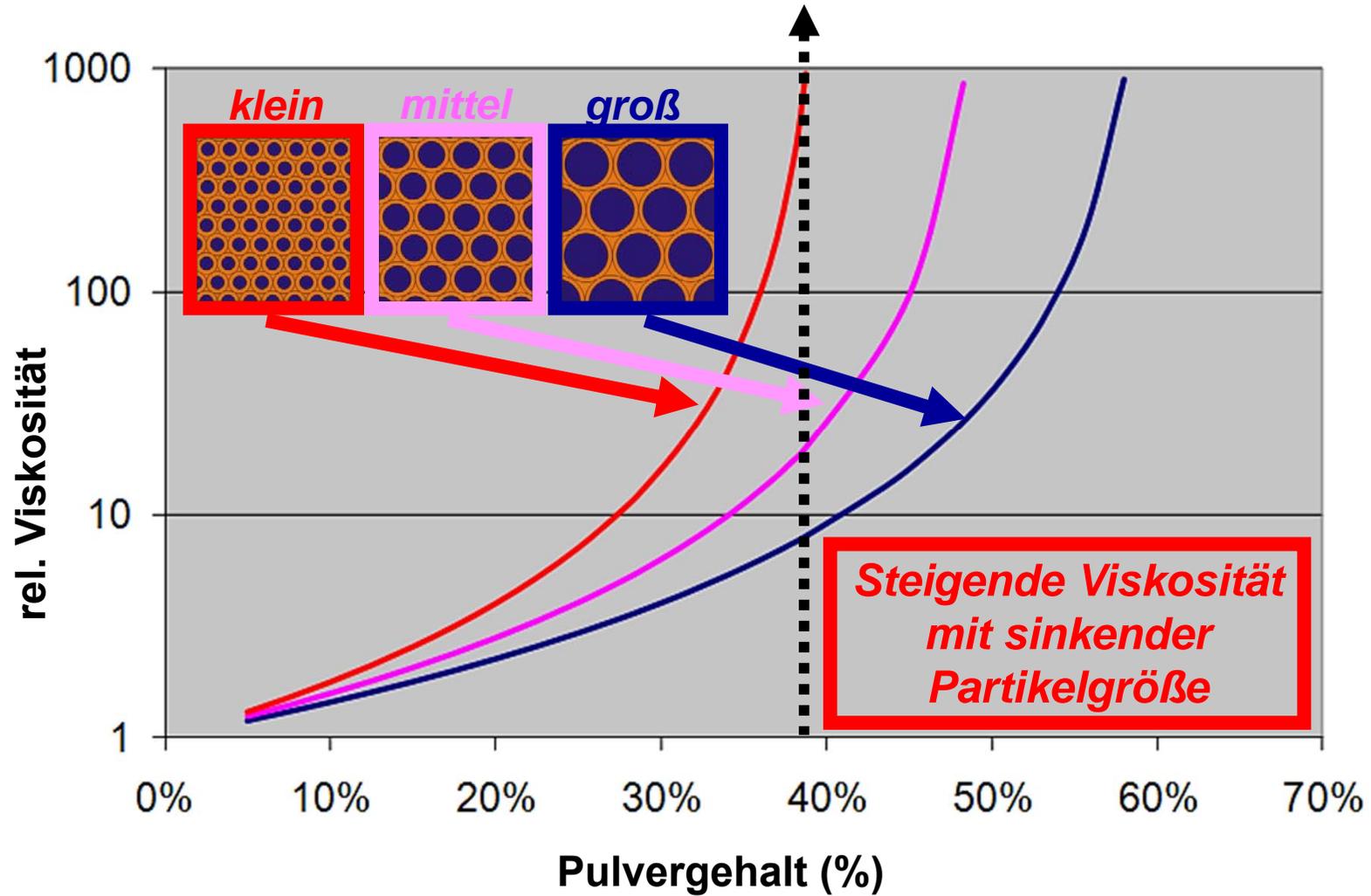
Anforderungen an MicroPIM-Pulver

- möglichst kleine Partikelgröße (Formfüllung, Sinteraktivität, Detailtreue)
- optimierte Partikelgrößenverteilung für hohe Packungsdichte
- keine harten Agglomerate
- vorwiegend sphärische oder äquiaxiale Morphologie
- vorzugsweise gasverdünste Pulver
- vorzugsweise pre-alloyed Pulver

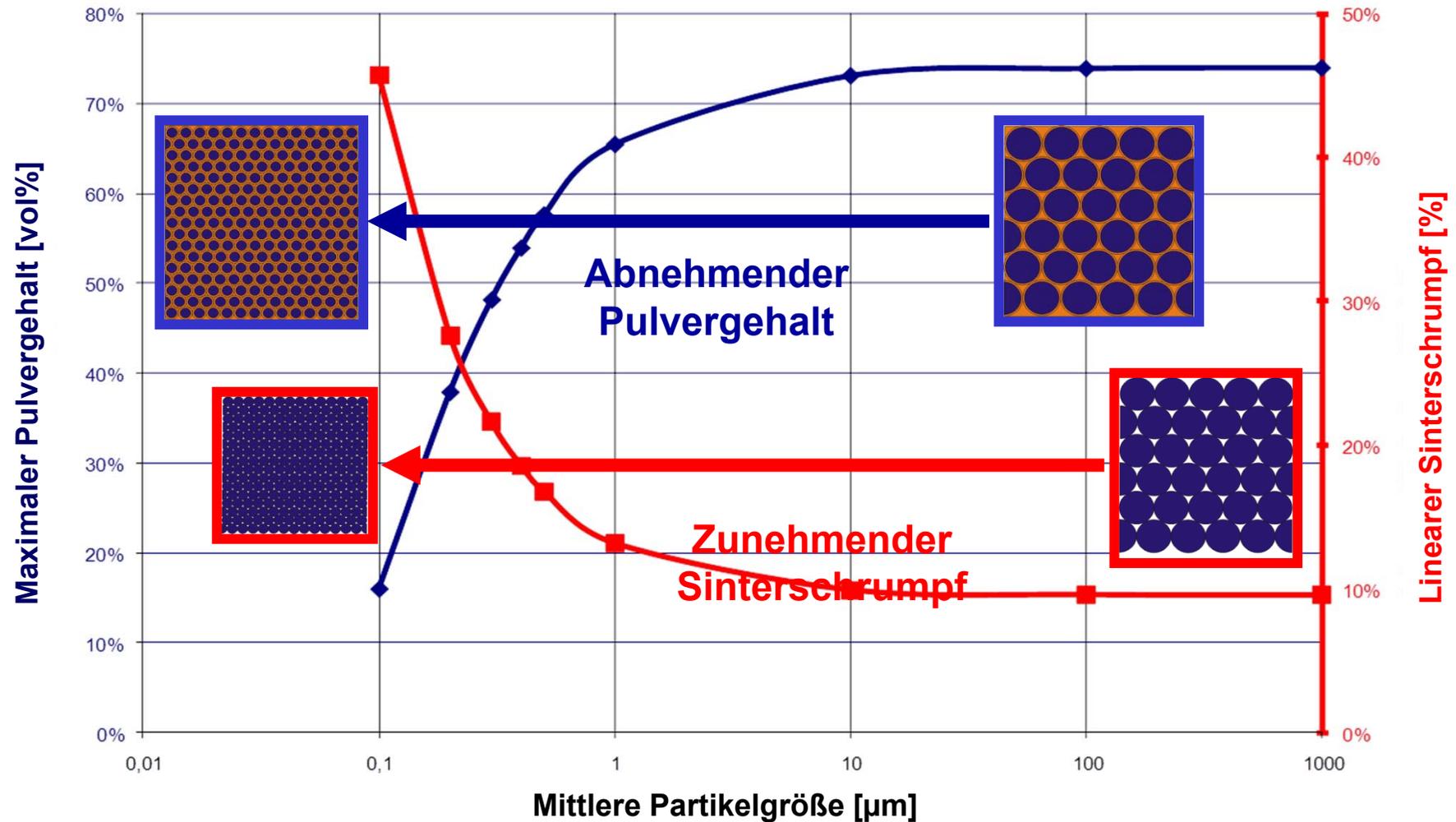


ZrO_2
Partikelgröße $< 0,3 \mu m$

Mikro-Pulverspritzgießen



Maximaler Pulvergehalt und Sinterschrumpf als Funktion der Partikelgröße



Berechnung basiert auf einer angenommenen Dicke der Binderschicht von 70 nm

Gegensätzliche Anforderungen an MicroPIM-Pulver

**Strukturdetails und
Oberflächenqualität:
Pulver so fein wie möglich**



**Gute Fließfähigkeit und
niedriger Sinterschrumpf:
Pulver so groß wie möglich**

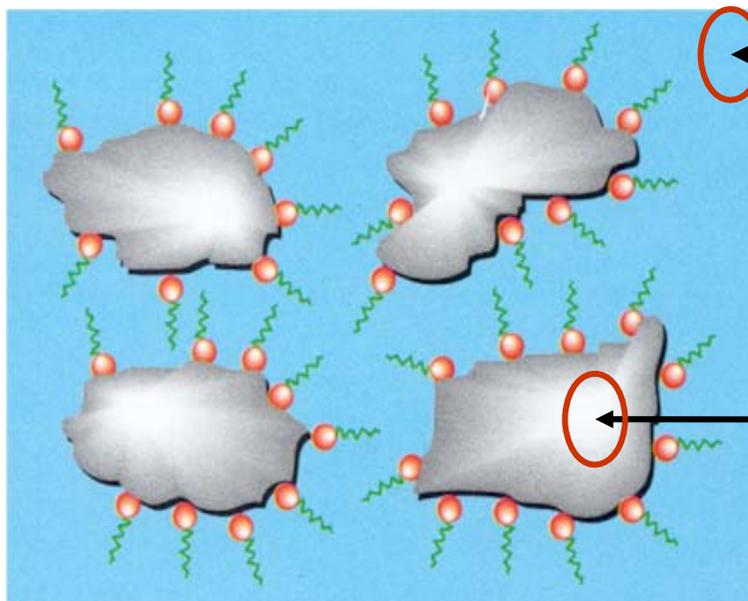
Derzeitiger Kompromiss: Partikel: 0,2 µm (Keramik) – 4 µm (Stahl)

Erhöhung des Pulveranteils durch:

- **Verwendung niedrigviskoser Bindersysteme**
- **Erhöhung der Einspritztemperatur**
- **optimierte Dispergatorzusätze**
- **multimodale Mischungen aus Nano- und Mikropulvern**

Dispergatoren

- sterische Stabilisierung
- Verbesserung der Fließfähigkeit
- Erhöhung des Pulvergehaltes



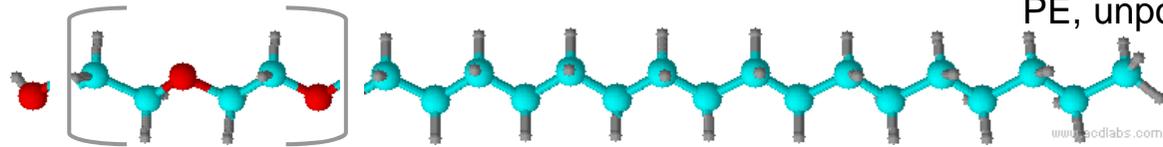
Wachs-Binder
• unpolar

Oxidkeramiken
• polar

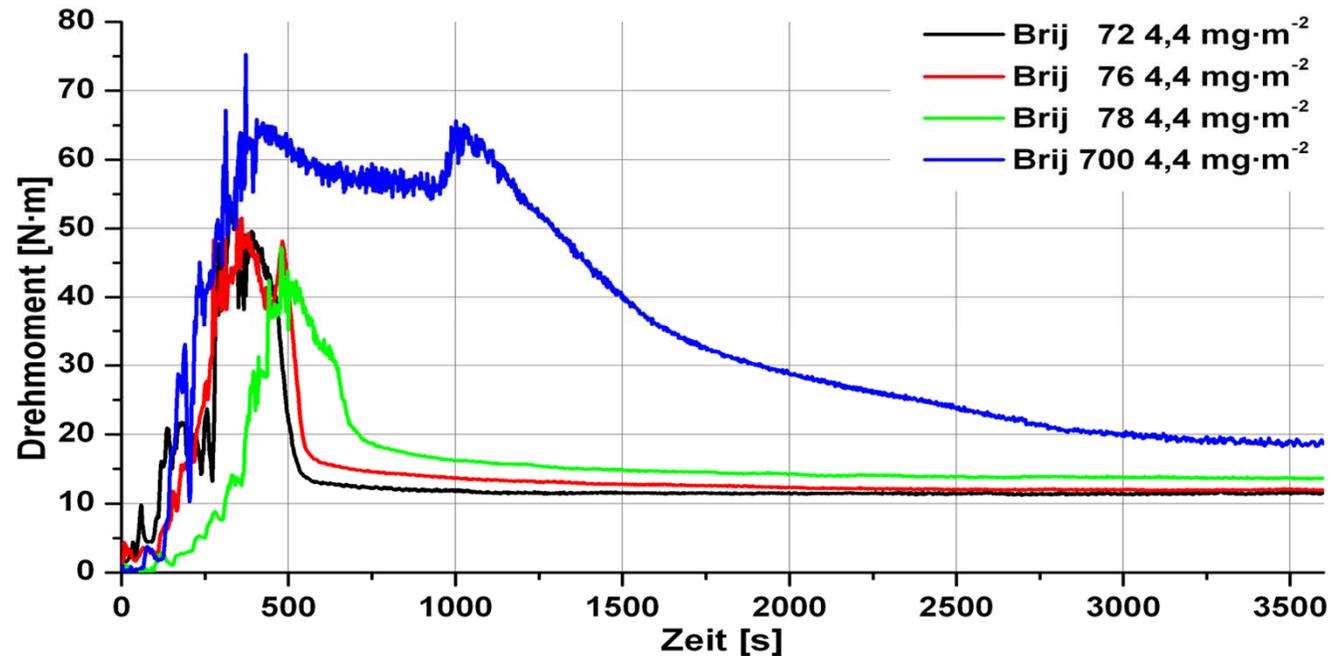
Dispergator-Moleküle mit polaren und unpolaren Gruppen

Binder-Optimierung mittels Dispergatoren

Brij 72,76,78,700
Sigma Aldrich



Glycol, polar (2, 10, 20, 100)



optimierte
Dispergator-
Einwaage

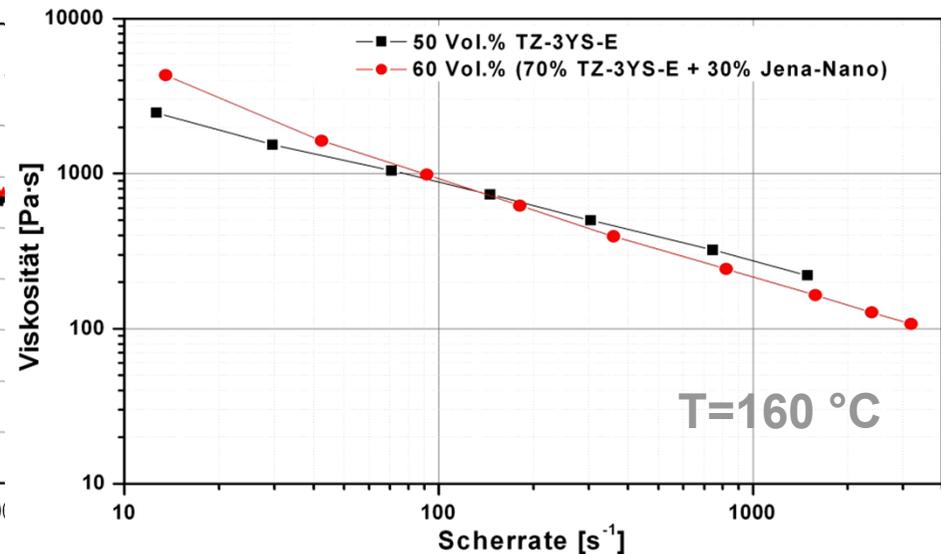
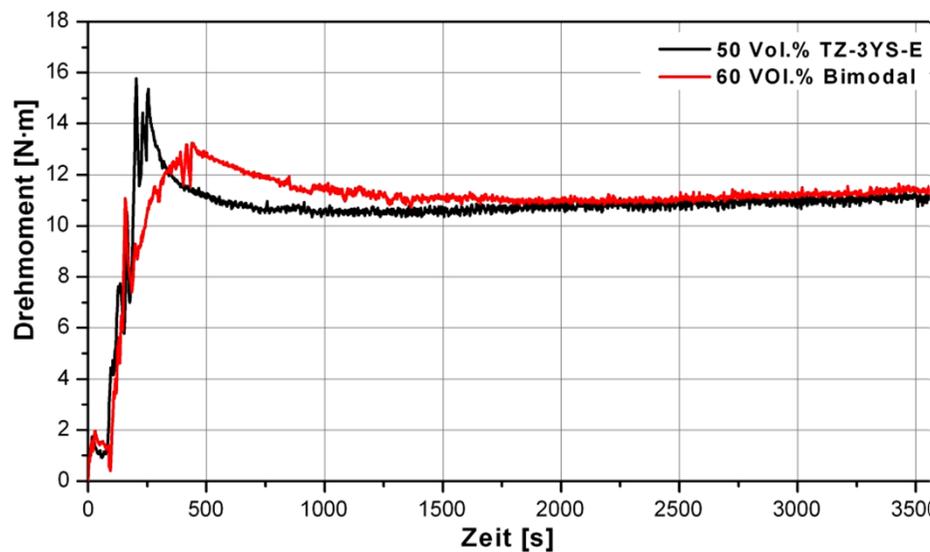
mit sinkender Glycol-Kettenlänge: reduzierter Energieeintrag, niedrigere Viskosität

=> höherer Pulveranteil (≥ 50 vol.%)

Erhöhung des Pulverfüllgrades durch bimodale Pulver

bimodal: **60 vol.% Pulverfüllgrad (70 % grob + 30 % fein)**

monomodal: 50 vol.% Pulverfüllgrad (100 % grob)

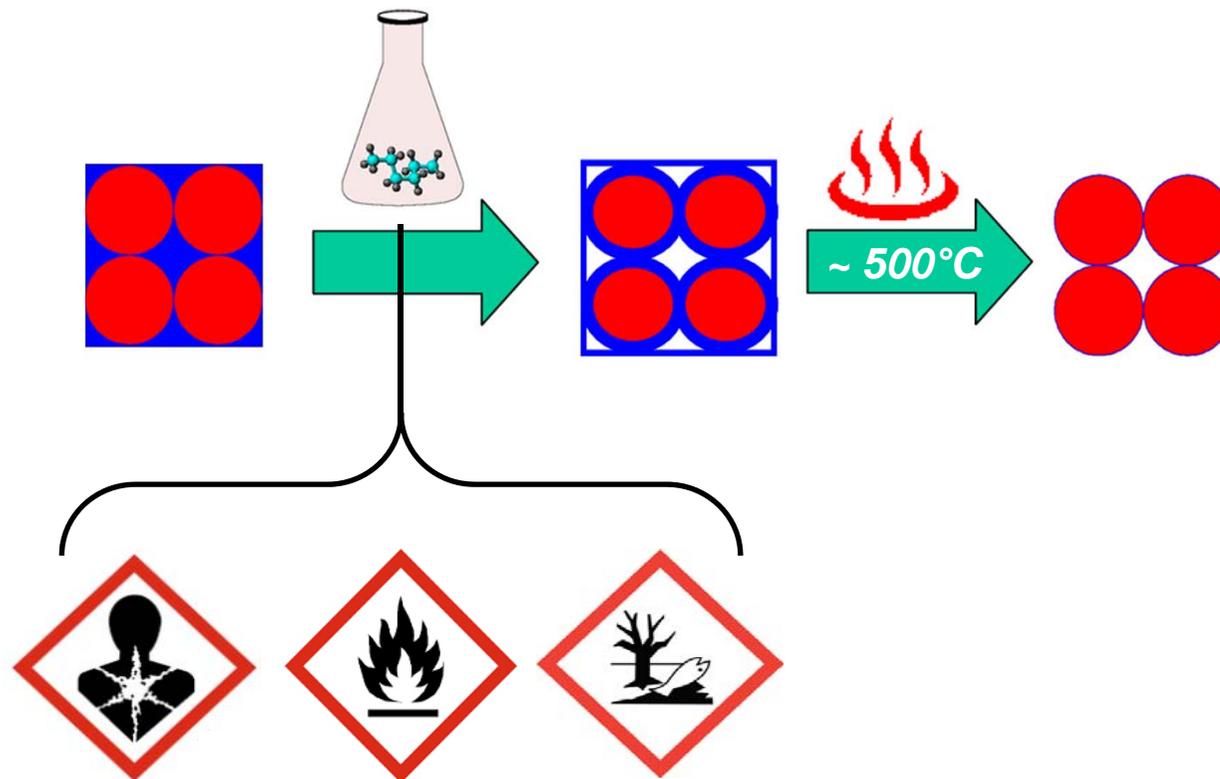


Erhöhung des Pulverfüllgrads von **50 → 60 vol.%** bei vergleichbarer Compoundierbarkeit und Viskosität

Neue Bindersysteme für MicroPIM

Das Problem:

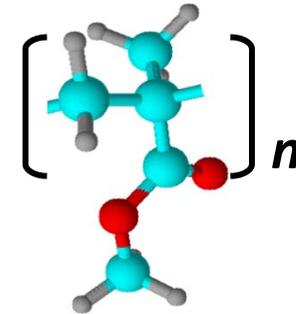
Vorentbinderung in **organischen** Lösungsmitteln



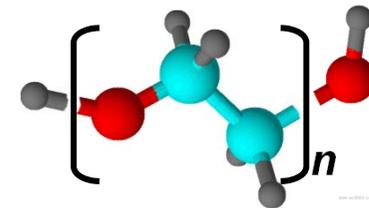
Die Lösung:

Wasserlösliche Bindersysteme

- Thermoplast (PMMA) als “Backbone-” Polymer (25 vol%)
- PEG als niederviskose und wasserlösliche Komponente (25-x vol%)
- Stearinsäure als Netzmittel (x vol%)
- Zirkonoxid (50 vol%)



*Polymethylmethacrylat
(PMMA)*



Polyethyleneglycol (PEG)

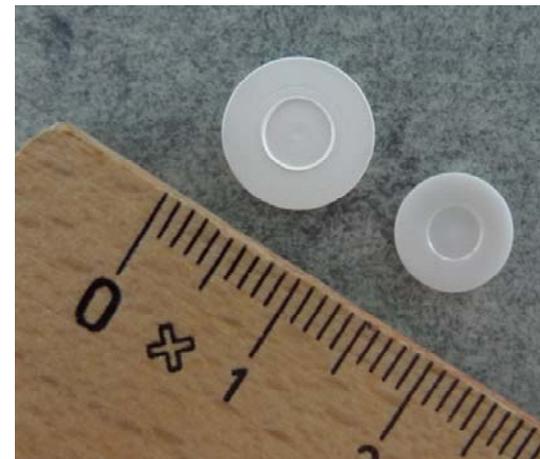
Neue Bindersysteme für MicroPIM

Flüssigentbinderung in deionisiertem Wasser (8 h, 25°C)

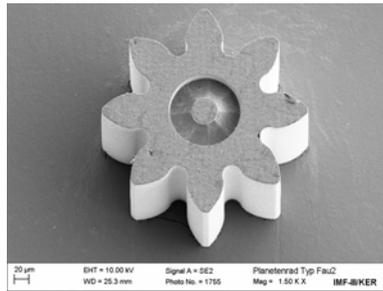
+ thermische Entbinderung



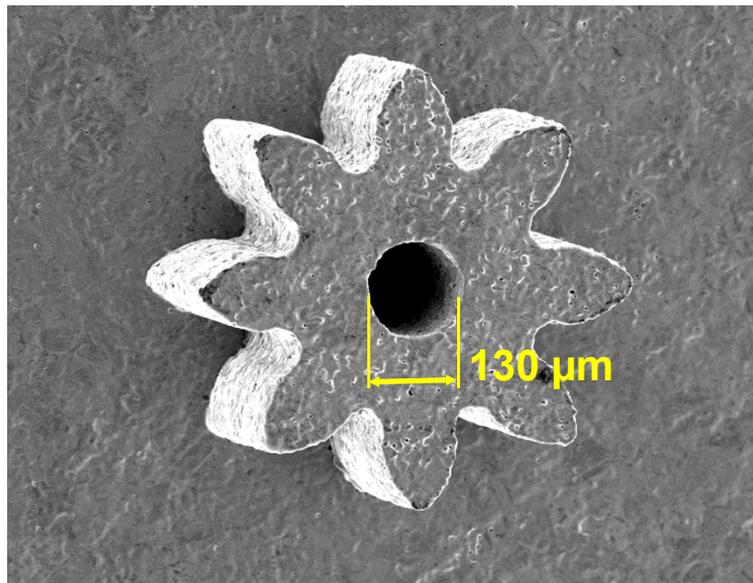
Erreichte Sinterdichten:
98-99 % theor. Dichte



Mikro-Pulverspritzgießen (MicroPIM)



Keramik-Zahnrad
Aussen- \varnothing ca. 275 μm



Mikrozahnrad aus Stahl 17-4PH
Aussen- \varnothing = 610 μm



Ausblick

- Erweiterung der **Material-Palette**
Funktionsmaterialien
ultrafeine und Nano-Pulver
- Verbesserung von **Maßgenauigkeit** und **Oberflächenqualität**
mehrmodale Pulvermischungen
optimierte Dispergatorzusätze
- Neue **Bindersysteme**

Danksagung

- **Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF**
- **Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG (SFB 499)**
- **European Commission**
- **MIM- und CIM-Expertenkreis**
- **Arburg, Sigma Engineering, Wittmann Battenfeld, B. Förster, FRIATEC, SPT Roth, INMATEC Technologies, Junghans, Schunk etc.**
- **Land Baden-Württemberg**
- **Fraunhofer Institute IKTS und IFAM**
- **allen Kollegen am KIT, insbesondere**

Prof. em. J. Haußelt, P. Holzer, E. Honza, H. Walter

***Vielen Dank
für Ihr
Interesse***