

Vom Pulverkorn zum Bauteil

Dr. Andreas Burghardt



BOSCH

Übersicht Fertigungsverfahren (DIN 8580)

Urformen

aus dem flüssigen Zustand



Umformen

aus dem pulverförmigen Zustand

- Pulverpressen



Trennen

aus dem breiförmigen Zustand (Pulver in Binder)

- Pulverspritzgießen



Fügen

- Extrusion



Beschichten

- Schlickergießen

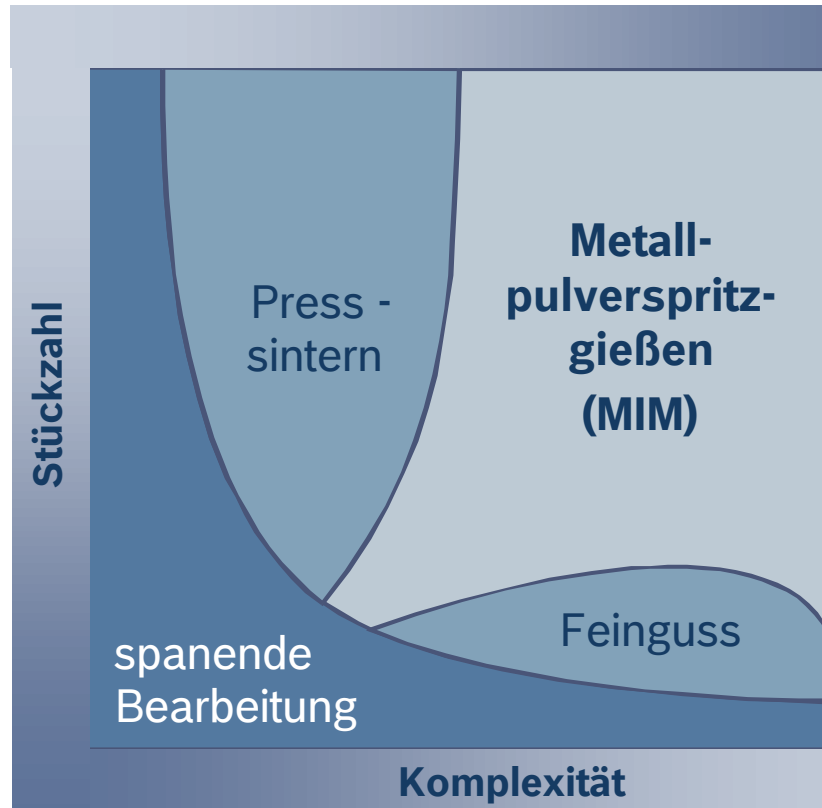


Ändern der Stoffeigenschaften



BOSCH

Anwendungsbereiche metall. Pulververfahren...

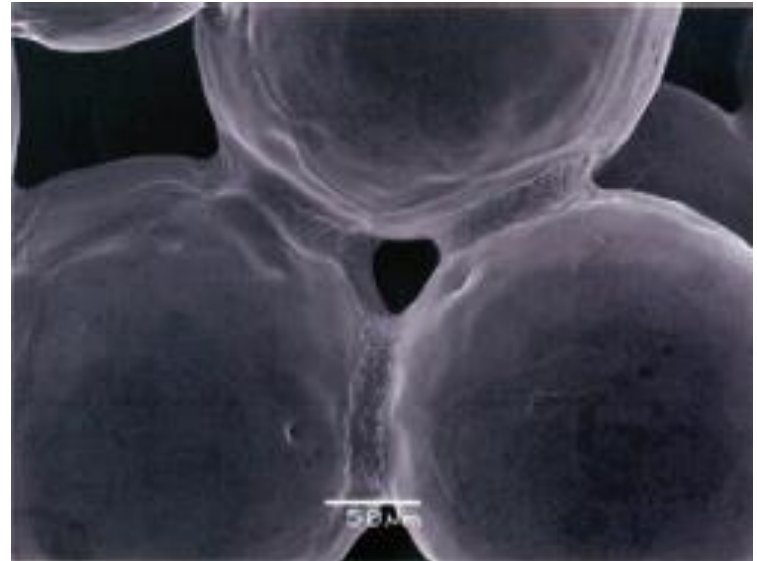


... sind hohe Stückzahlen mit mittlerer bis hoher geometrischer Komplexität



Sintern

- Sintern ist eine diffusionsgetriebene Verdichtung bei erhöhter Temperatur
- Die Triebkraft des Sinterns ist eine Verringerung der inneren Oberfläche
- Bei kleinerer Partikelgröße ist die Triebkraft größer und die erforderliche Sintertemperatur geringer



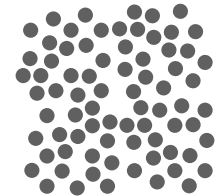
Agglomeration

- Kleine Partikel agglomerieren aufgrund der anziehenden van der Waals-Kraft (vdW-Kraft)
- Die vdW-Kraft hat ihren Ursprung in spontanen Dipolen, die weitere Dipole induzieren
- Die vdW-Kraft ist über die Messung der wellenlängenabhängigen Brechungsindices berechenbar (Lifschitz-Theorie)

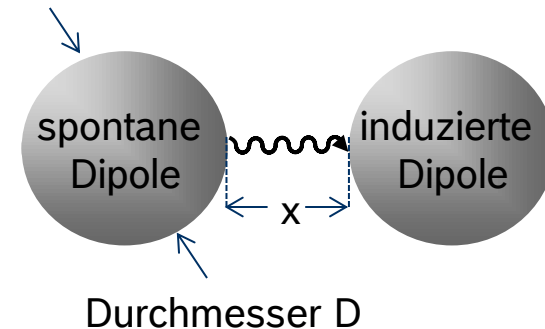
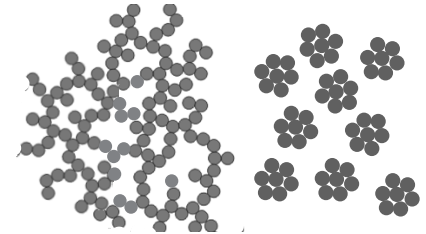
$$F_{vdW}(x) = A_H \cdot \frac{D}{24x^2}$$

- Konsequenzen der Agglomeration
 - Der erreichbare Feststoffgehalte ist geringer
 - Die Masse ist nicht mehr fließfähig
 - Die Sintertemperatur ist höher
 - Es bleiben Poren nach dem Sintern zurück

dispergiert



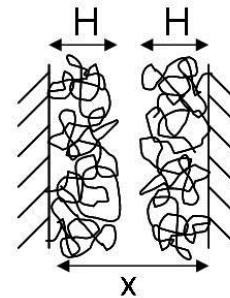
agglomeriert



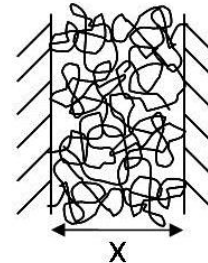
Sterische Stabilisierung

- Durch adsorbierte Moleküle können Partikel auf Abstand gehalten werden
- Bei Durchdringung der adsorbierten Moleküle kann die Kraft je nach Medium anziehend oder abstoßend sein
- Bei Kompression der adsorbierten Moleküle ist die Kraft immer abstoßend

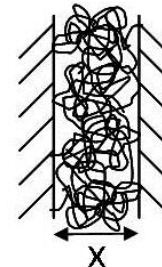
$$E_{sterisch} = E_{Mix} + E_{elastisch}$$



$x > 2H$:
keine
Wechselwirkung



$2H > x > H$:
Durchdringung (E_{Mix})



$x < H$:
Kompression ($E_{elastisch}$)

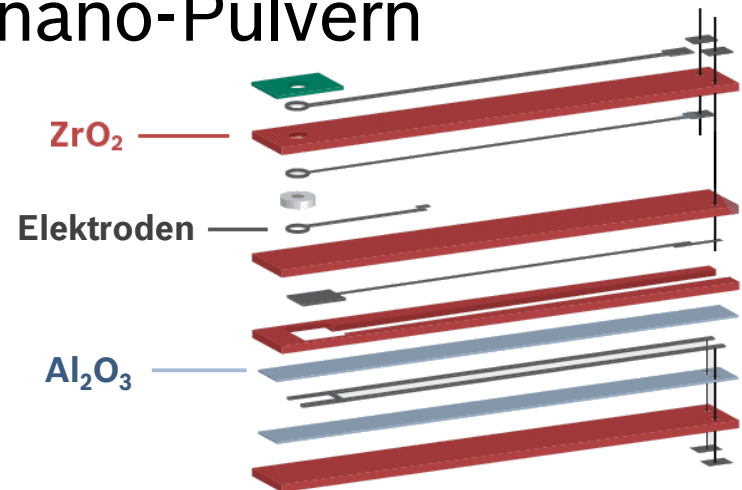
Beispiel: Verarbeitung von nano-Pulvern

Motivation

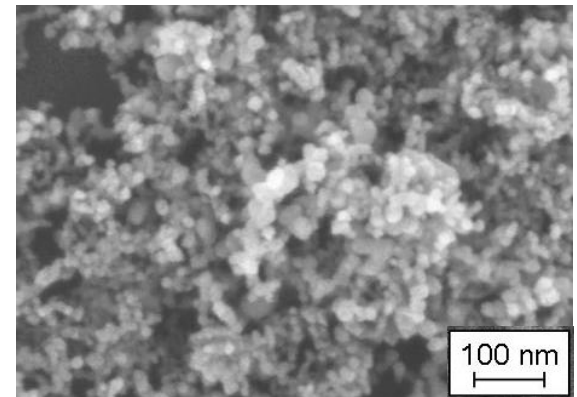
- Senkung der Sintertemperatur zur Herstellung neuer Werkstoffverbunde

Randbedingungen

- Verwendung von nano-ZrO₂-Pulver mit $D = 25 \text{ nm}$
- Herstellung von ZrO₂-Folien über Extrusion
- 50 Vol% Feststoffgehalt in Polymerbinder (mit Additiven)
- Der sich ergebende Partikelabstand beträgt nur 5 nm

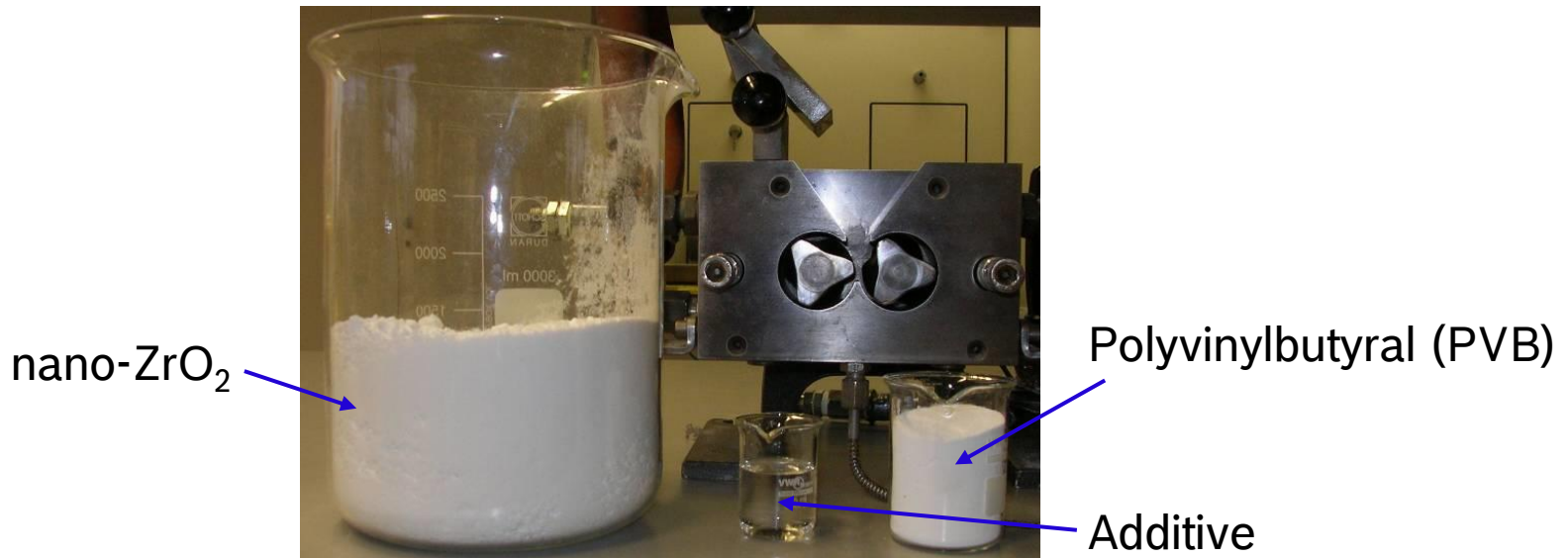


Schematischer Aufbau einer Lambdasonde



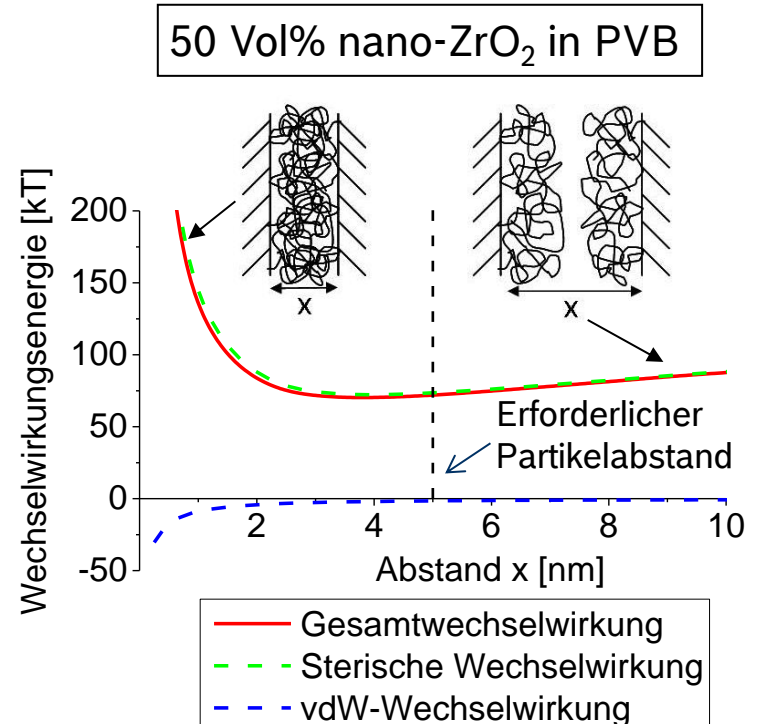
Aufbereitung einer Extrusionsmasse

- Kneten der Rohstoffe (nano-ZrO₂, Polyvinylbutyral, Additive) in einem beheizten Kneteter zu einer extrudierbaren Masse



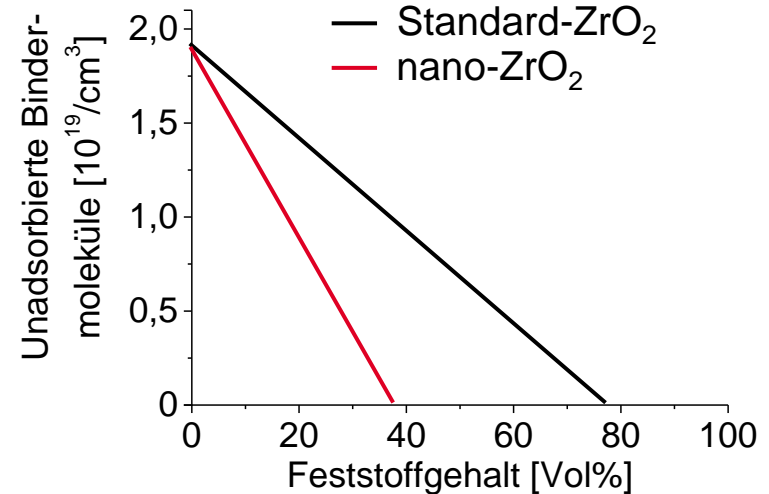
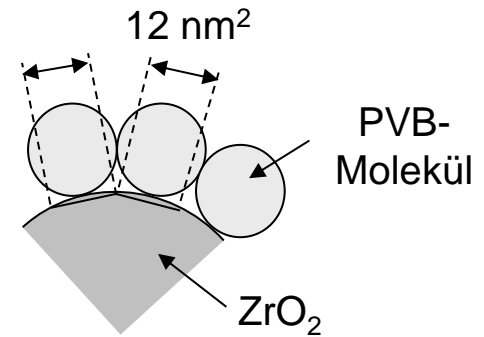
Sterische Stabilisierung von nano-ZrO₂

- Polyvinylbutyral (PVB) als Binder stabilisiert die nano-Partikel ausreichend
- Aber: Trotz ausreichender Stabilisierung ist die Masse zu hart und nicht extrudierbar



Adsorption als begrenzender Faktor

- Der experimentell bestimmte Platzbedarf eines PVB-Moleküls auf einem nano-ZrO₂-Partikel beträgt 12 nm²
- Bereits bei ca. 40 Vol% sind alle Bindermoleküle adsorbiert und die Masse ist nicht mehr fließfähig



Verringerung der Adhäsionsenergie

Ansatz

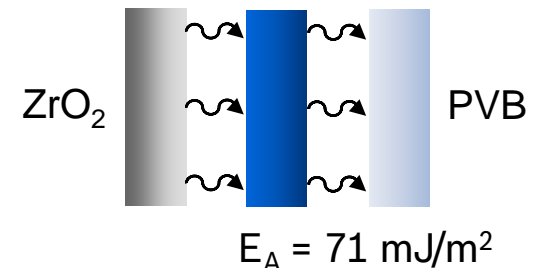
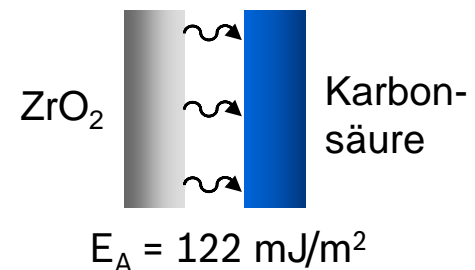
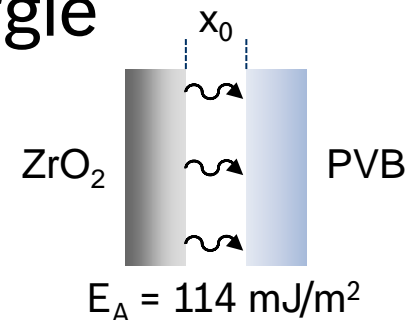
- Beschichtung der ZrO_2 -Partikel mit einer fest haftenden Karbonsäure mit geringer Adhäsion zu PVB
- Die Adhäsionsenergie E_A ist über die Lifschitz-Theorie zugänglich:

$$E_A = A_H \cdot \frac{1}{12\pi x_0^2} \quad (\text{mit } x_0 = 0,165 \text{ nm})$$

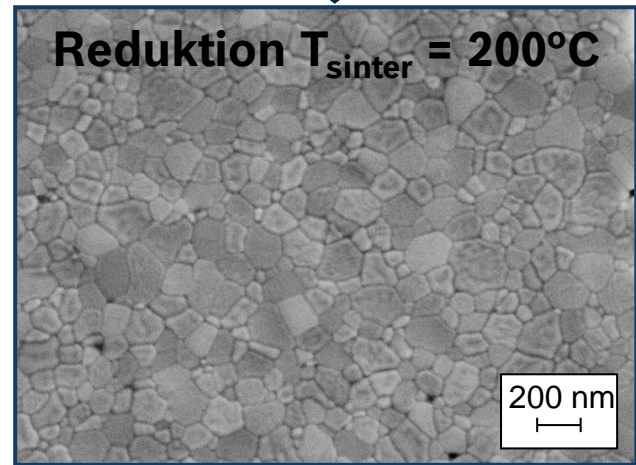
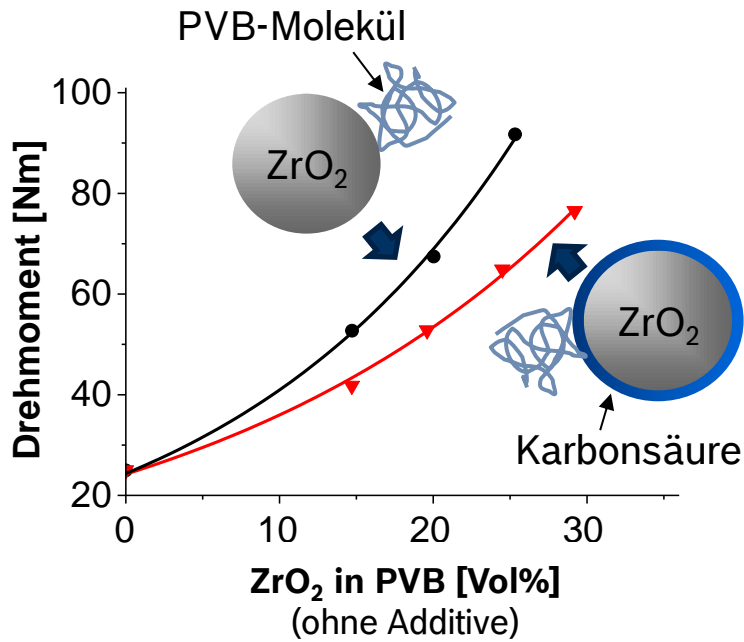
└──────────┬──────────┘ Geometrieterm für Platten

Ergebnis

- Die Adhäsion von PVB auf ZrO_2 kann durch eine Karbonsäureschicht verringert werden



Erhalt der Fließfähigkeit



Vielen Dank

