

### KONFORM TEMPERIERTER FLUIDMISCHER

Markus Pohl, Rena Gradmann, Uwe Scheithauer, Markus Eberstein

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

#### EINFÜHRUNG

##### Motivation

Keramische Anlagenkomponenten ermöglichen den kontinuierlichen Betrieb auch unter anspruchsvollen Prozessbedingungen. Mehrere Teilfunktionen (Mischen, Wärmetransport, Reaktion) können in nur einer Reaktorkomponente realisiert werden. Die gewünschte Reaktorleistung definiert die Miniaturisierung.

##### Ziele

Der Einsatz von Tinten im Aerosoldruck soll die Funktionalisierbarkeit komplexer 3D-Bauteile erweitern. Ein Vorteil der Prozessierung mittels Aerosoldrucks ist die Abscheidung extrem dünner und feiner Strukturen auf 3D-Bauteilen aus der additiven Fertigung, was zusätzliche Kostensenkung und Materialersparnis bedeutet. Aus dem breiten Portfolio funktionalisierter Tinten sollen typische Funktionen wie Leitung, Widerstand, Heizung und Isolation für anwendungsspezifische Lösungen in z.B. Aktoren und Sensoren ausgewählt werden.

##### Schwerpunkt: Konform temperierter Fluidmischer

Der neu entwickelte Fluidmischer aus  $Al_2O_3$  wurde in Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM)-Technologie nach einer komplexen 3D-Konstruktion am IKTS gefertigt (Wandstärke  $d_w < 0,3$  mm) und mit glashaltigen Sub- $\mu$ -Tinten (integrierter Heizer: Glas/ $RuO_2$ -Komposit, Kontakte: Ag) im Aerosoldruckverfahren funktionalisiert.

Der Strömungsreaktor kann variabel mit Mischeinrichtungen ausgestattet und geregelt beheizt werden. Die erweiterte Integration sensorischer Elemente (T, p) ist orts aufgelöst möglich. Der Fluidmischer steht exemplarisch auch für Kühler oder kontinuierlich betriebene Dosiereinrichtungen. Zudem können monolithische Katalysatorstrukturen mit neuartigen Kanalformen additiv gefertigt werden.

#### FUNKTIONSTEST EINES KONFORM TEMPERIERTEN FLUIDMISCHERS

##### Fluidmischer mit Heizernetzwerk

Der auf allen vier Seiten mit einer Heizertinte bedruckte Fluidmischer ist zur el. Kontaktierung mit einer Ag-Leittinte im Runddruck funktionalisiert.

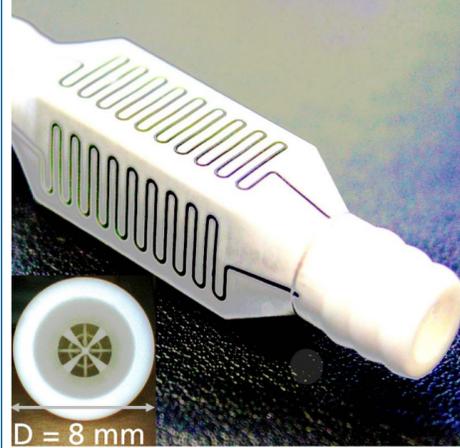


Bild 5: 3D-Fluidmischer mit Heizernetzwerk ( $R = 400 \Omega$ ); Endoskopbild (Eingangseite); Fluidanschlüsse  $D = 8$  mm.

##### Funktionstest mit Temperaturmessung

Die elektrisch leitende Heizerschicht der eingebrennten Funktionstinte ermöglicht direkten Energieeintrag zur Fluidwärmerung.

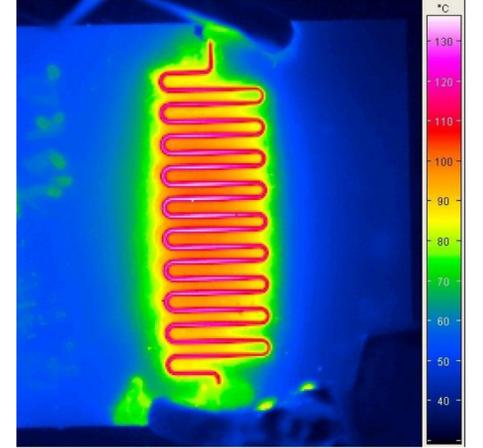


Bild 6: Temperaturmessung mit einer Wärmebildkamera am konform temperierten Fluidmischer ( $\theta_{max} > 130$  °C).

#### SUB- $\mu$ -FUNKTIONSTINTEN FÜR DEN AEROSOLDRUCK

##### Funktionstintenherstellung

Hochenergie-Glasmahlung der Feststoffe für eine optimale Partikelgröße ( $d_{50} < 1 \mu m$ ) in der Tintennischung mit Lösungsmittel und Tensid.

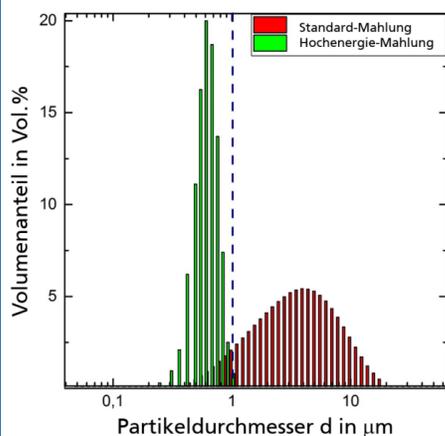


Bild 1: Partikelgrößenverteilung bei der Glasaufbereitung für Sub- $\mu$ -Funktionstinten durch Hochenergie-Mahlung.

##### Aerosoldruckverfahren

- 1) Aerosolaufbereitung
- 2) Transport des Aerosols
- 3) Druck auf ein Substrat  $Al_2O_3$ , LTCC oder Si

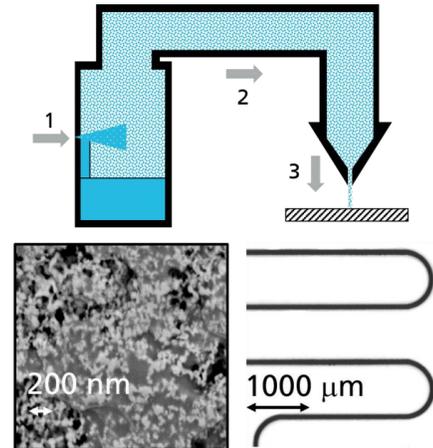


Bild 2: Schema Aerosoldruckverfahren; Leiterbahn nach dem Einbrand (Mikroskop) und FESEM-Analyse.

#### ADDITIVE 3D-MANUFAKTUR FÜR DIE REAKTIONSTECHNIK

##### Monolithische Katalysatorstruktur

Neuartige Kanalstruktur mit Durchbrüchen für verbesserten Queraustausch. Unbeschichteter Sinterkörper aus  $Al_2O_3$ .

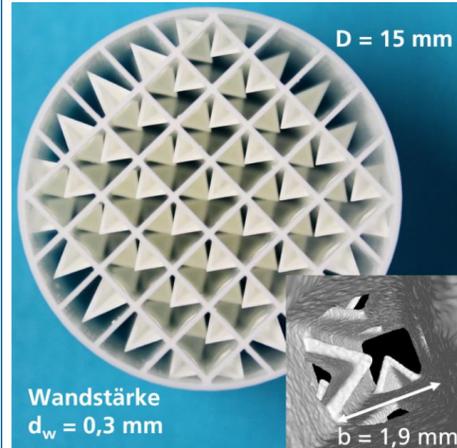


Bild 7:  $Al_2O_3$ -Wabe mit Strömungselementen; Computertomographie (CT) der Kanalstruktur.

##### Dosiereinrichtung mit Fluidanschlüssen

Miniaturisierte Mediendosierung und Fluidmischung in einer keramischen Komponente realisiert. Baumuster mit reproduzierbarer Geometrie.



Bild 8: Dosiereinrichtung mit Fluidanschlüssen.

#### LITHOGRAPHY-BASED CERAMIC MANUFACTURING (LCM)

##### Komponentenkonstruktion

Das Design richtet sich nach den für die Anwendung erforderlichen Funktionen und wird durch Simulationen verifiziert.

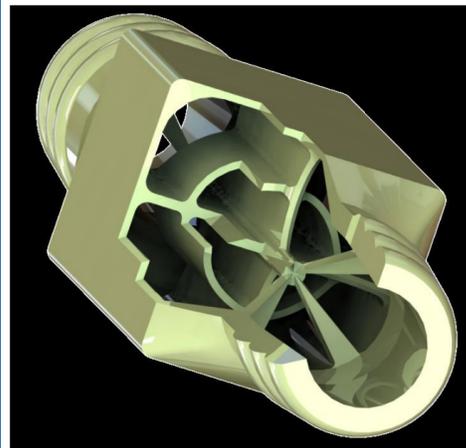


Bild 3: Konstruktionszeichnung des Fluidmischers nach Auslegung und Simulation.

##### LCM-Verfahren für präzise Strukturen

- 1) Bauteilhalter und Verschiebeeinheit
- 2) Vorlage der photosensitiven Mischung
- 3) Lichthärtung (blau) jeder Einzelschicht

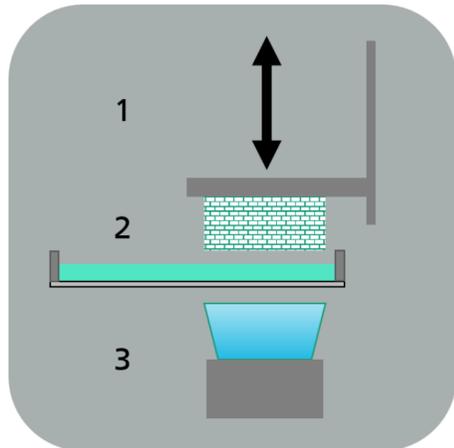


Bild 4: Schema LCM-Verfahren zur Formgebung; Baugröße:  $76 \times 43 \times 150$  mm<sup>3</sup>.

#### LEISTUNGSANGEBOT

##### Reaktor aus 3D-Manufaktur

- Robuste Keramikkomponenten
- Sub- $\mu$ -Funktionstinten
- Anpassung der Ausdehnungskoeffizienten
- Reaktorauslegung und Funktionalisierung
- Kombination der Funktionen
- Miniaturisierung

##### Mischfunktion

- Simulation und Design
- Statischer Fluidmischer
- IKTS-Mischerwabe

##### Wärmetransport

- Auslegung und Konstruktion
- Konformer Aerosoldruck
- Wandstärke reduziert

##### Katalytische Reaktionen

- Segmentierte Beschichtung
- Sub- $\mu$ -Funktionstinten mit Porosität
- Kontinuierliche Betriebsweise
- Dynamisches Verhalten / Startbetrieb
- Langzeittest zur Degradation

##### Komponentenfertigung in Kleinserie

- Reproduzierbare Geometrie
- Kostengünstige Laborreaktoren
- Design nach Anwendungszielen
- Frei konfigurierbare Probeentnahmestellen
- Prototypenfertigung
- Machbarkeitsstudien

##### Eigene Funktionstinten für den Aerosoldruck

- Leiterbahnen (Ag)
- Widerstände ( $RuO_2$ )
- Heizer (Ag/Pd)

##### Spezialglasentwicklung

- Glasmahlung, Hochenergie-Mahlung
- Glascharakterisierung
- Messung des Sinterverhaltens

##### Prüfstandsbauelemente

- Mediendosierung
- Sensor- und Aktorintegration
- Temperatur- und Differenzdruckmessung
- Regelungsstrategien
- Automatisierter Dauerbetrieb