

# 3D-Siebdruck als massentaugliches Herstellungsverfahren

**Dr.-Ing. Thomas Studnitzky**

# Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Europa.



# Die Fraunhofer-Gesellschaft

**jährliches  
Forschungsvolumen**

> 2,0 Mrd Euro

**davon**

ca. 1,6 Mrd Euro Vertragsforschung

**erwirtschaftet**

- zu ca. zwei Drittel aus Erträgen aus
  - Industrieprojekten sowie
  - aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten
- zu ca. einem Drittel von Bund und Ländern für die Vorlaufforschung (Problemlösungen, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell sein werden)

**Mitarbeiter**

ca. 22000 in 66 Einrichtungen

# Das Fraunhofer IFAM: Institutsteil Dresden

Stammpersonal	62
Student. Hilfskräfte	28
Betriebshaushalt	6,8 Mio. €
Industrieerträge	32 %
Öffentliche Erträge	56 %
Grundfinanzierung	12 %
Investitionen	0,8 Mio. €
Nutzfläche	2470 m <sup>2</sup>

(Budget 2014)

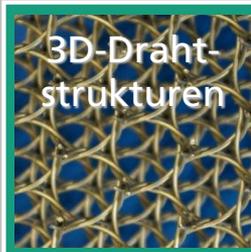
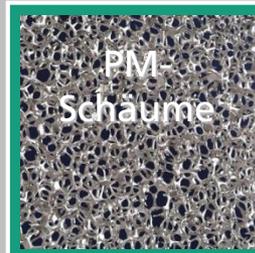


Leiter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback

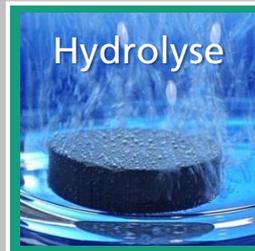
# Fraunhofer IFAM im Profil

## Kompetenzfelder

### Zellulare metallische Werkstoffe



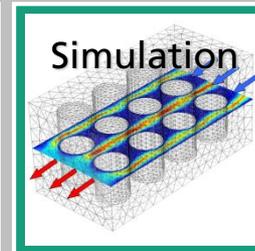
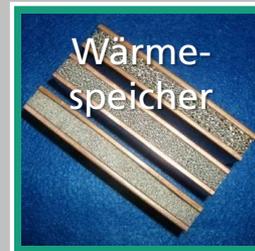
### Wasserstofftechnologie



### Sinter- und Verbundwerkstoffe



### Energie und Thermisches Management



# Verfahren, Bauteile und Equipment

# Eigenschaften pulverbasierter additiver Verfahren

- Hohe Designfreiheit
  - Schnelle Produktumsetzung
  - Endformnähe
  - Keine Hilfsmittel oder Werkzeuge
- 
- Kleine und mittlere Stückzahlen
  - Werkstoffe: Auswahl eingeschränkt + keine Kombinationen
  - Oberflächenqualität und Strukturauflösung mäßig
  - Keine Hohlräume

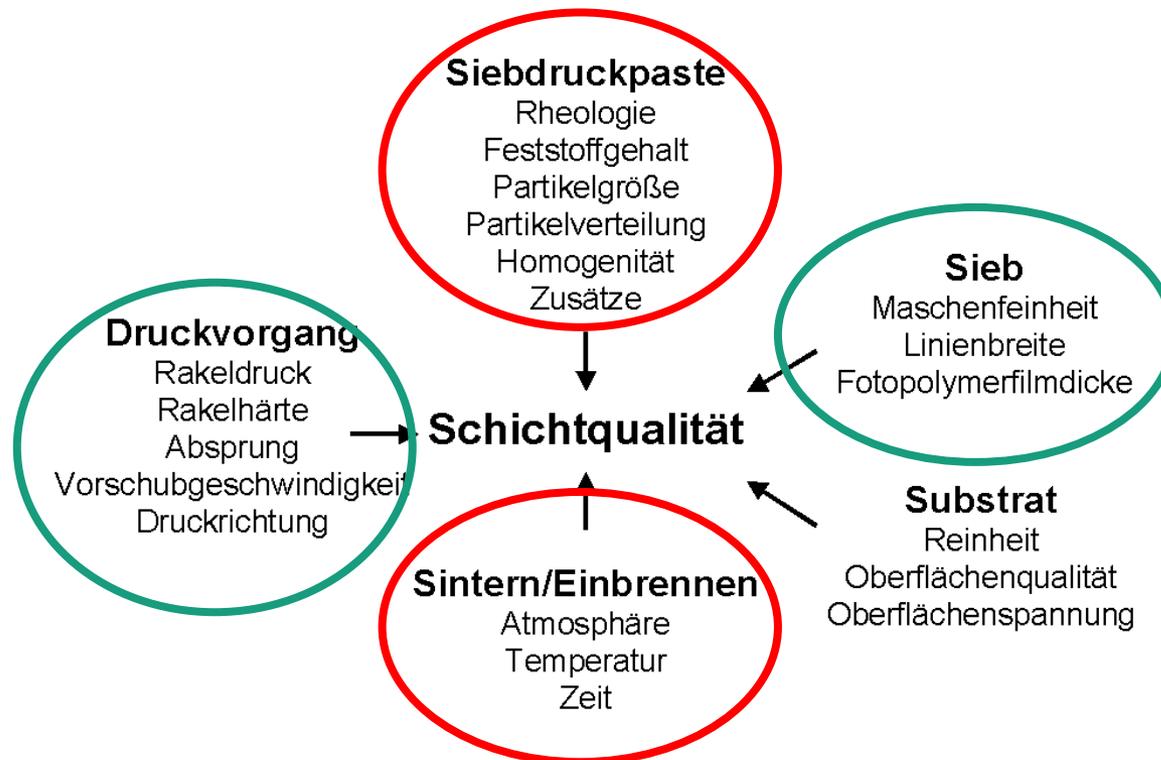
# 3D-Siebdruck mit Siebdruck?

- 2D-Siebdruck industriell weit verbreitet (Beispiel: Solarzellen)
- Generatives Fertigungsverfahren, patentiert seit 1993
- 2008 erste 3D-Siebdruckanlage am Fraunhofer IFAM Dresden
- Seit 2014 eigene Arbeitsgruppe mit sieben Mitarbeitern
- Neue Anlage seit Mitte 2014, modernste Anlage weltweit

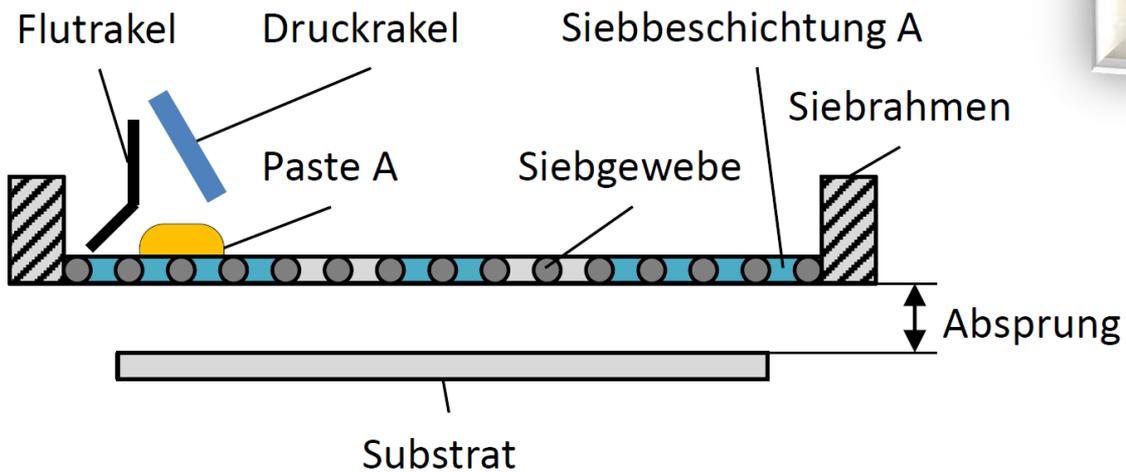
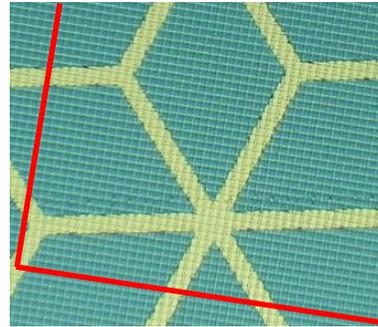


# Ziel 3D Siebdruck

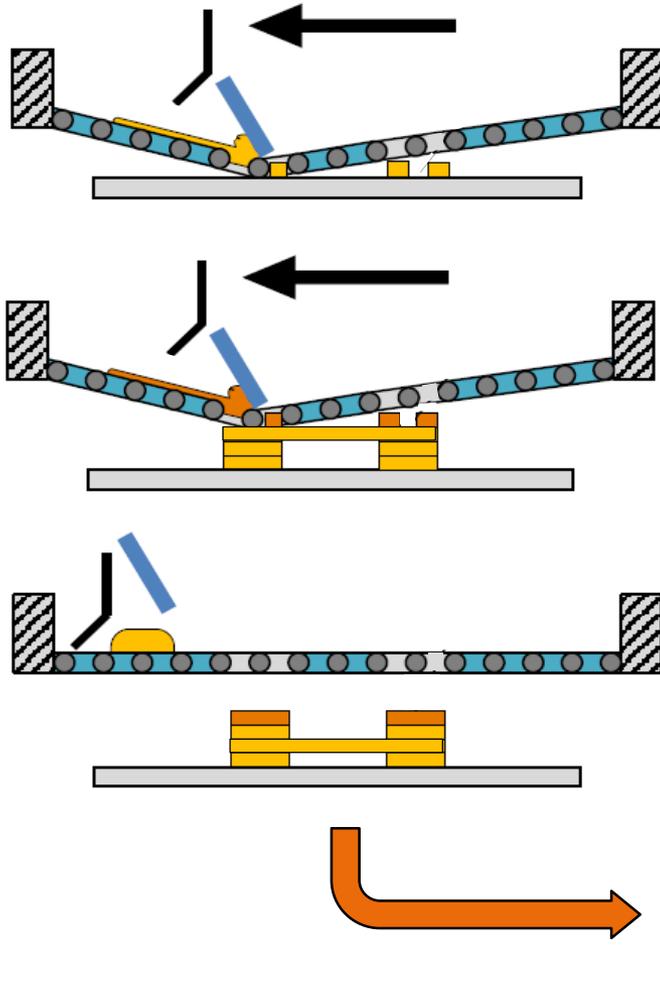
- Verknüpfung der beiden Massenverfahren **2D-Siebdruck** und klassischer **Pulvermetallurgie** zu einem neuen Massenverfahren



# 3D-Siebdruckverfahren



# Verfahrensablauf

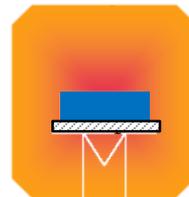


■ Fluten, Drucken & Härten

■ Anheben Sieb

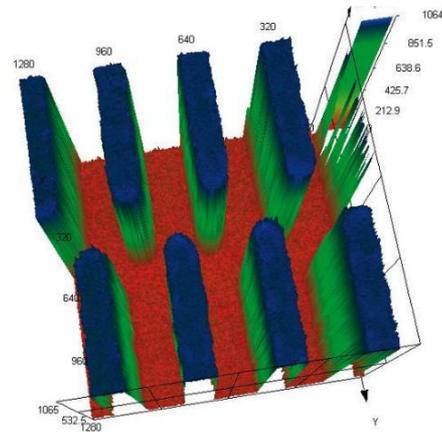
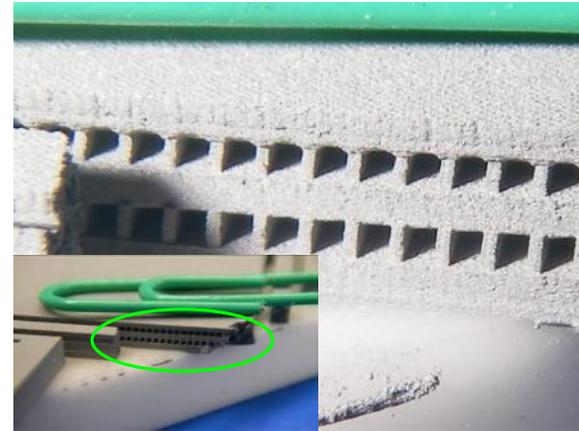
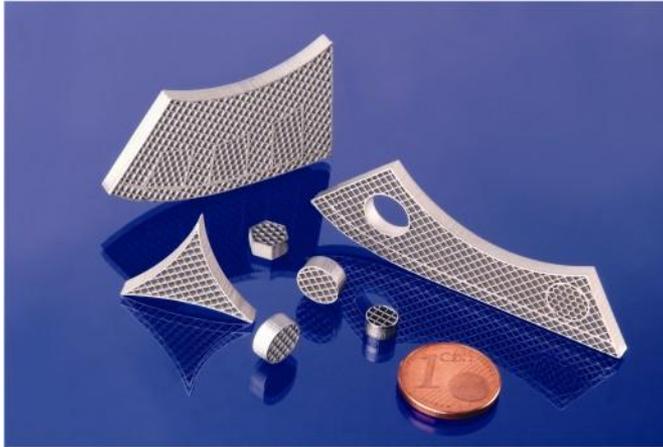
■ Optionaler Siebwechsel

■ Optionaler Pastenwechsel



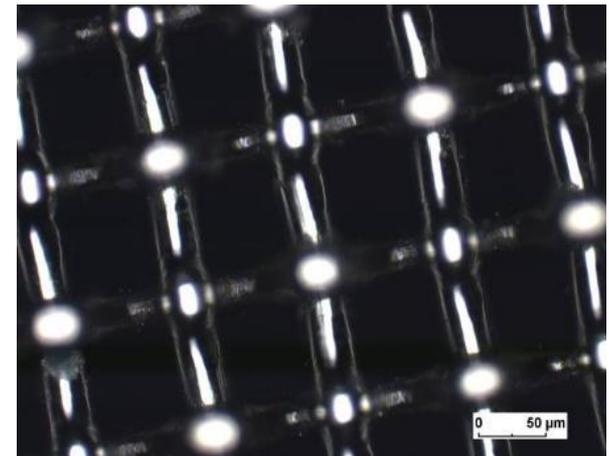
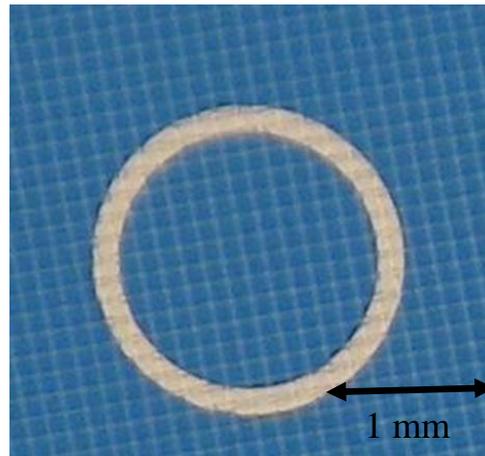
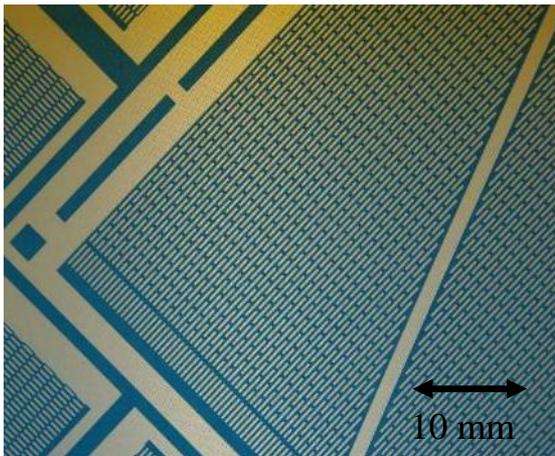
■ Sinterbehandlung

# Siebdruckbauteile



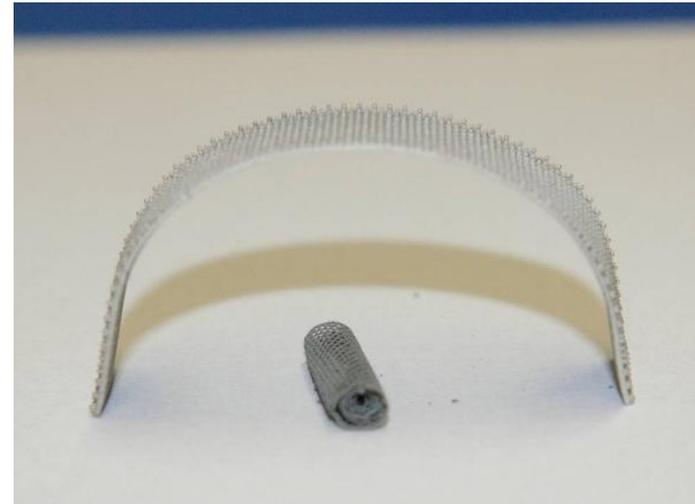
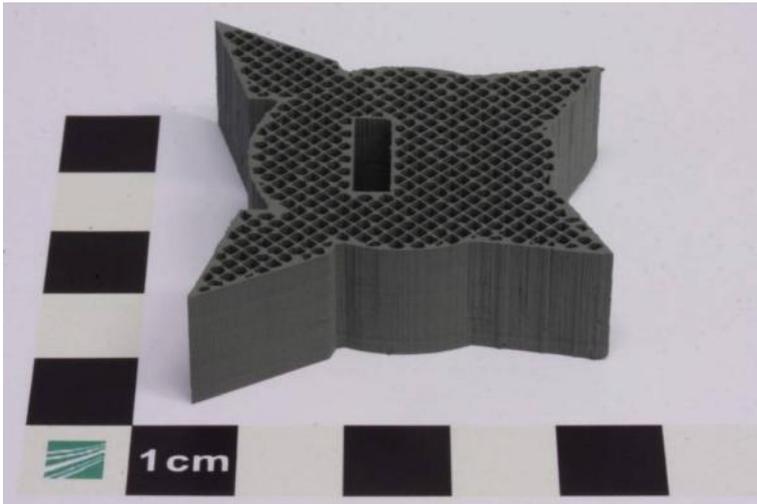
# Siebe

- Externe Herstellung (Koenen, Micron)
- Ähnliche Siebe wie in Photovoltaik
- Maschengröße einstellbar
- Kaum Optimierungen auf den 3D-Siebdruckprozess bisher



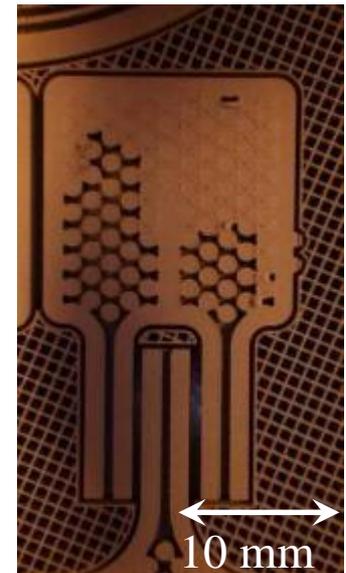
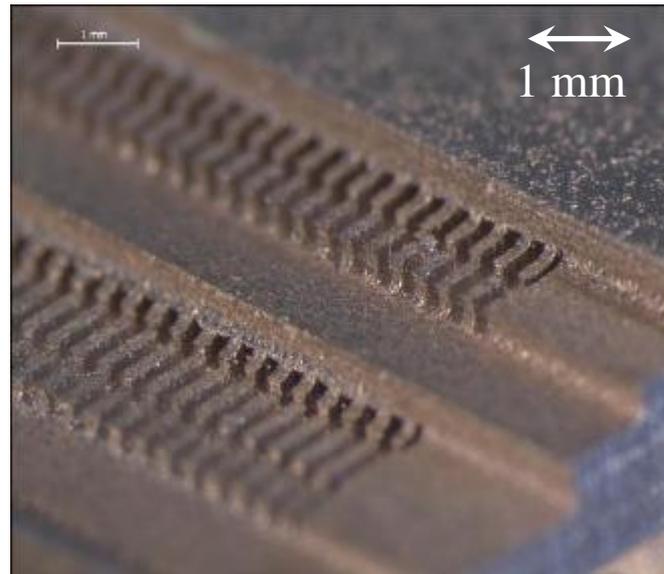
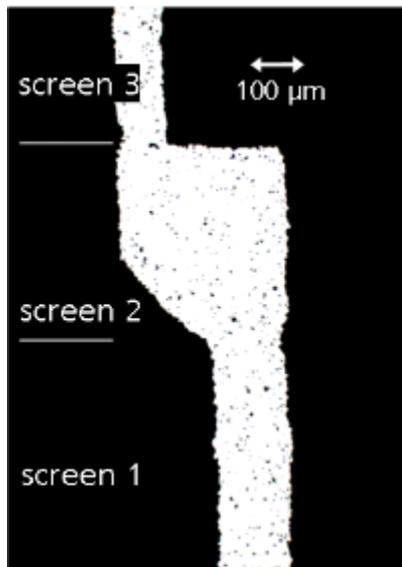
# Eigenschaften Siebdruck

- Strukturabmessungen ab 60  $\mu\text{m}$
- Maximale Höhe mehrere Zentimeter
- Hohes Aspektverhältnis ( $\gg 100$ )
- Umformbare und bearbeitbare Grünteile



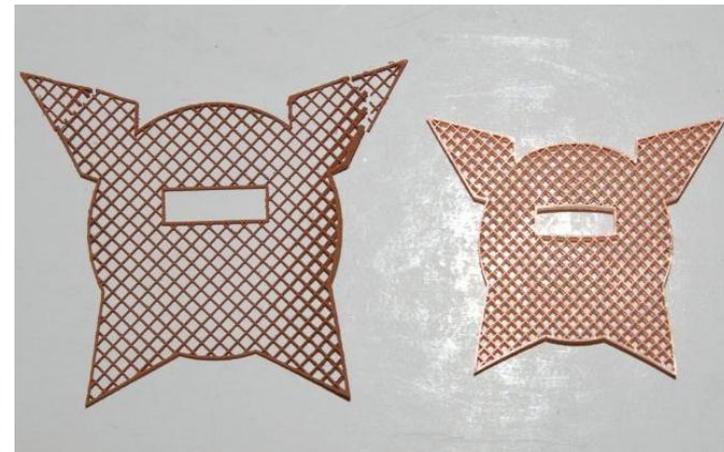
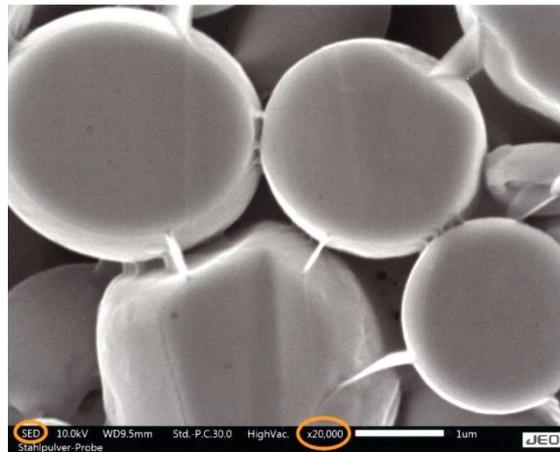
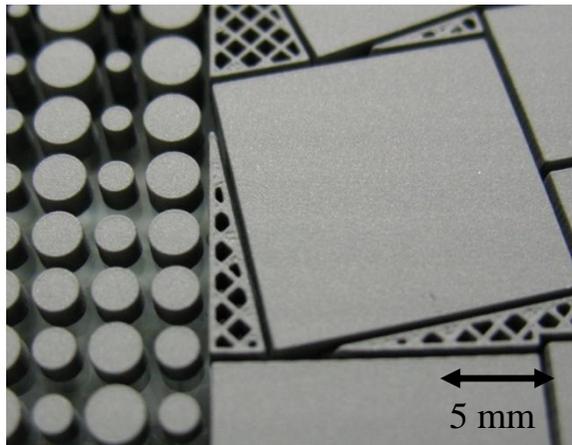
# Eigenschaften Siebdruck

- Echte dreidimensionale Strukturen möglich
- Geschlossene Kanäle ohne Stützstruktur
- Hinterschneidungen, Brücken oder waagerechte Blenden möglich
- Realisierung von Wunschbauteilen



# Grünteil und Sinterschrumpfung

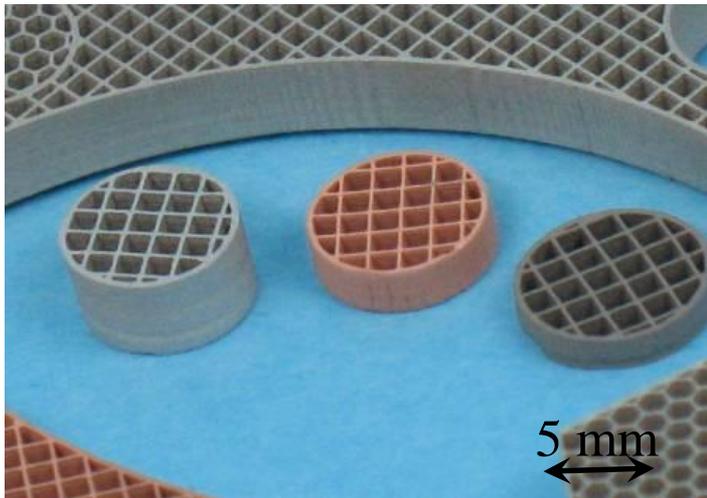
- Mechanische Stabilität durch Binderbrücken
- Nach Binderentfernung Schrumpfung bei Sinteremperatur
- Schrumpfung 15-25 % (abhängig von Pulverbeladung in Paste)
- Einstellung der Porosität bis zu 100% theoretische Dichte



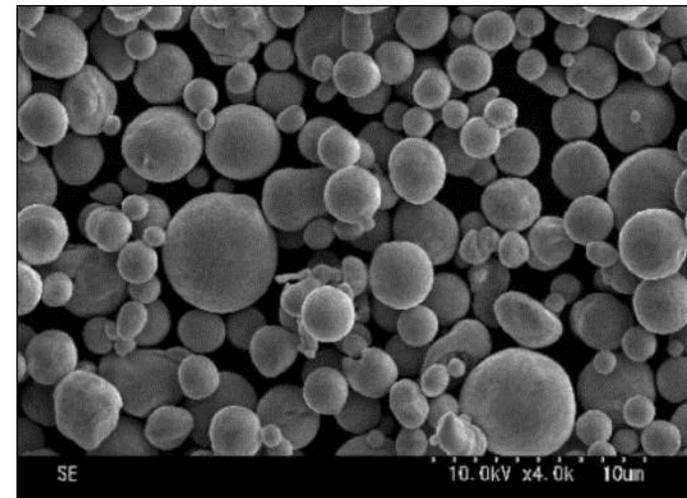
# Werkstoffe

- Alle Werkstoffe, die als Pulver verfügbar sind
- Stahl, Ti, Cu, MoSi<sub>2</sub>, Ni, TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub>, Mo, W, Edelmetalle, Keramiken, Glas, Seltene Erden, Kunststoff....

26 <b>Fe</b> Iron 55.847	29 <b>Cu</b> Copper 63.546	74 <b>W</b> Tungsten 183.85	22 <b>Ti</b> Titanium 47.88	57 <b>La</b> Lanthanum 138.906	73 <b>Ta</b> Tantalum 180.948	60 <b>Nd</b> Neodymium 144.24	27 <b>Co</b> Cobalt 58.933	28 <b>Ni</b> Nickel 58.693	13 <b>Al</b> Aluminum 26.982	42 <b>Mo</b> Molybdenum 95.94	78 <b>Pt</b> Platinum 195.08
-----------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--	---------------------------------------



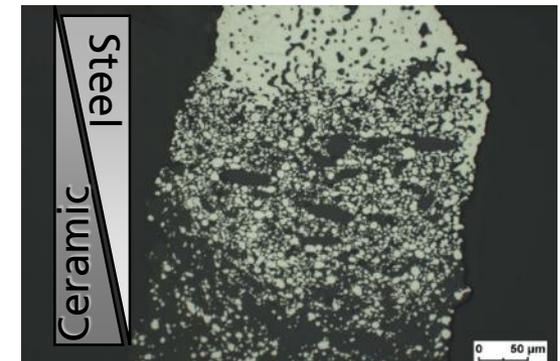
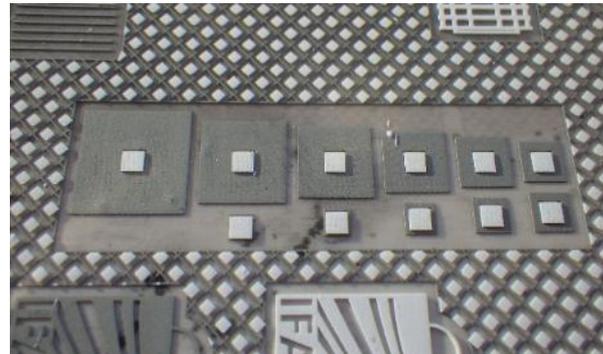
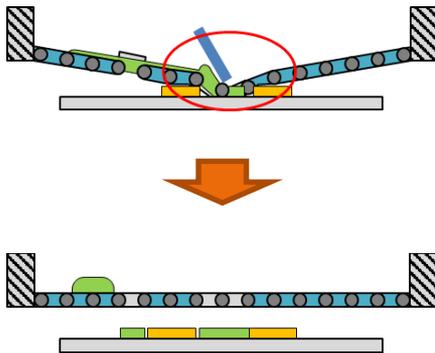
Printed parts of steel copper and MoSi<sub>2</sub>



SE picture of typical copper powder (source: Atmix)

# Materialkombinationen (Mehrfarbindruck)

- Gradierte Strukturen (z.B. unterschiedliche Werkstoffe)
- Paralleles Drucken etwa magnetische – unmagnetische Stähle oder elektr. Leitende – isolierende Werkstoffe
- Pulvermischungen



Graded structure metal / ceramic

# Erste Generation 3D Siebdruckanlage

- Baujahr zwischen 1980-1985 (geschätzt)
- Nicht für 3D-Druck konstruiert
- Nicht parametrisierbar
- Keine Messdaten
- Geringe Genauigkeit
- Offene Anlage
  - Nur wasserbasierte Pasten
  - Keine konstanten Bedingungen
  - Einschränkung in der Pastenauswahl



# Moderne Druckanlage seit August 2014

- Zwei Drucktische mit je 300 x 300 mm
  - Verkürzung Entwicklungszeiten
- Klimatisierte und Ex-geschützte Kammer
  - Konstante Bedingungen
  - Sauerstoffempfindliche Werkstoffe
- UV-Härtung
  - Bauteile ohne Sinterbehandlung
  - Druck z.B. auf Kunststoffe
- Qualitäts- und Prozesskontrolle analog zu industriellen Druckmaschinen
  - Erster Schritt zur Produktionsmaschine

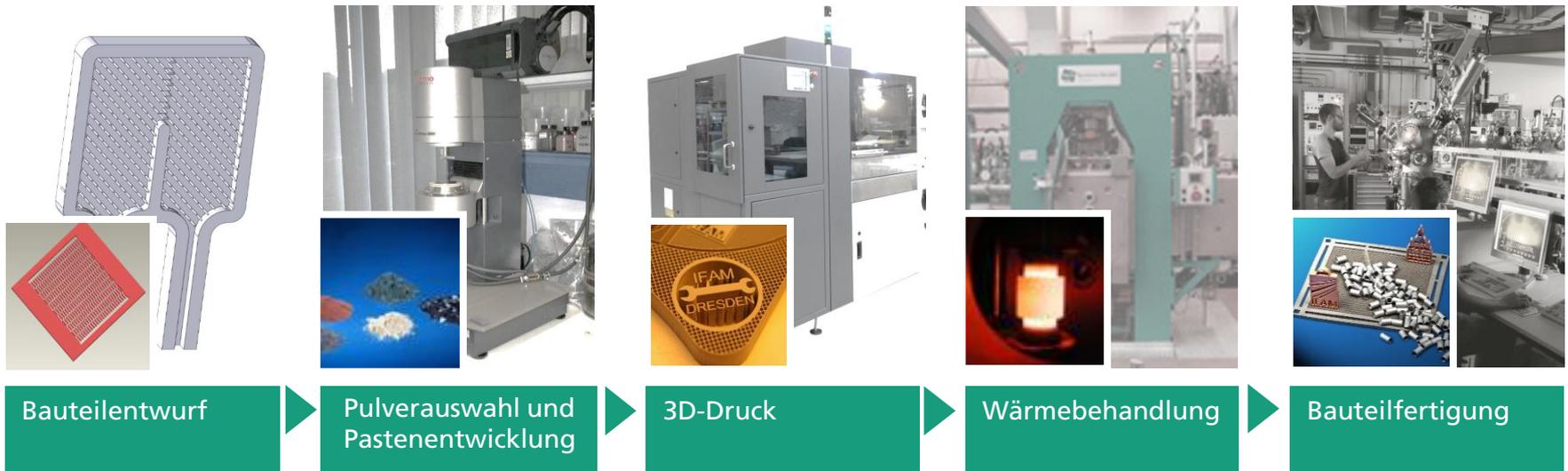


**EKRA** //  
Screen Printing Technologies

**Neue Möglichkeiten → Neue Anwendungen**

# Interne Prozesskette

- Durchgehende Linie vom Pulver bis zum Bauteil

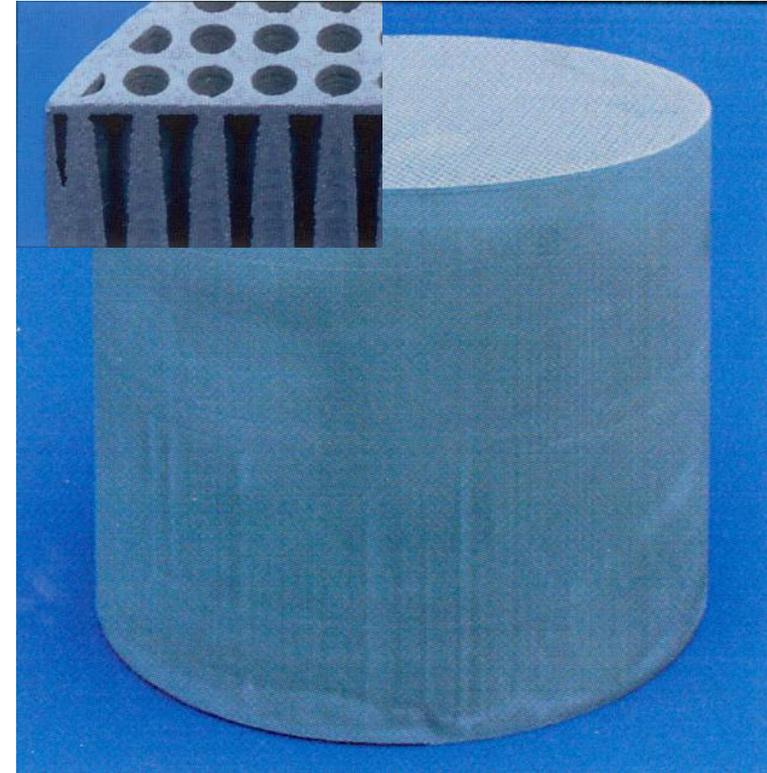


Vom Werkstoff bis zum System – Vom Labormaßstab bis zur Kleinserie

# Projekte und Beispiele

# Katalysatorträger

- Kooperation Patentinhaber mit Automobilzulieferer
- Filterelement aus hochabrasiven SiC
- Bauteilhöhe 12,5 cm
- Bauteildurchmesser 14,5 cm
- Waagerechte Strömungsblenden durch Strangpressen nicht herstellbar



Quelle: Bauer Technologies

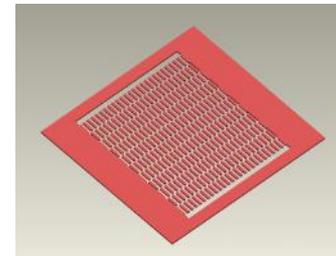
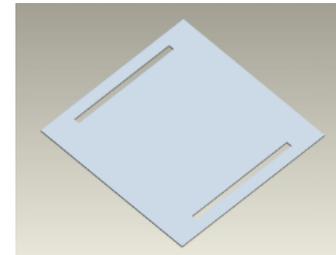
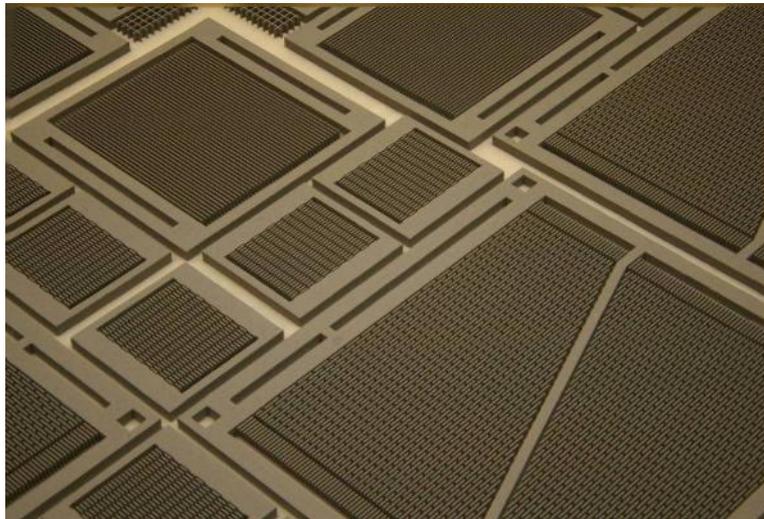
# Bipolorplatte Brennstoffzelle

26

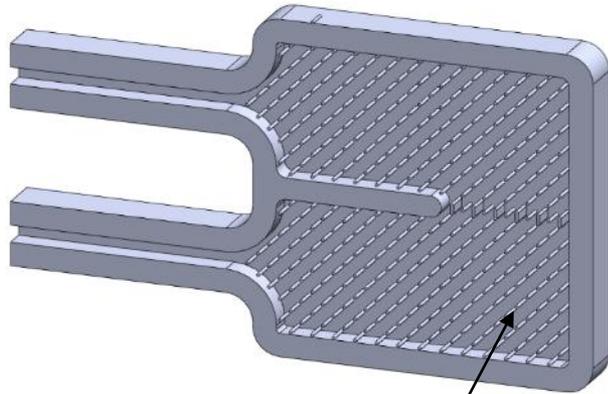
**Fe**

Iron  
55.847

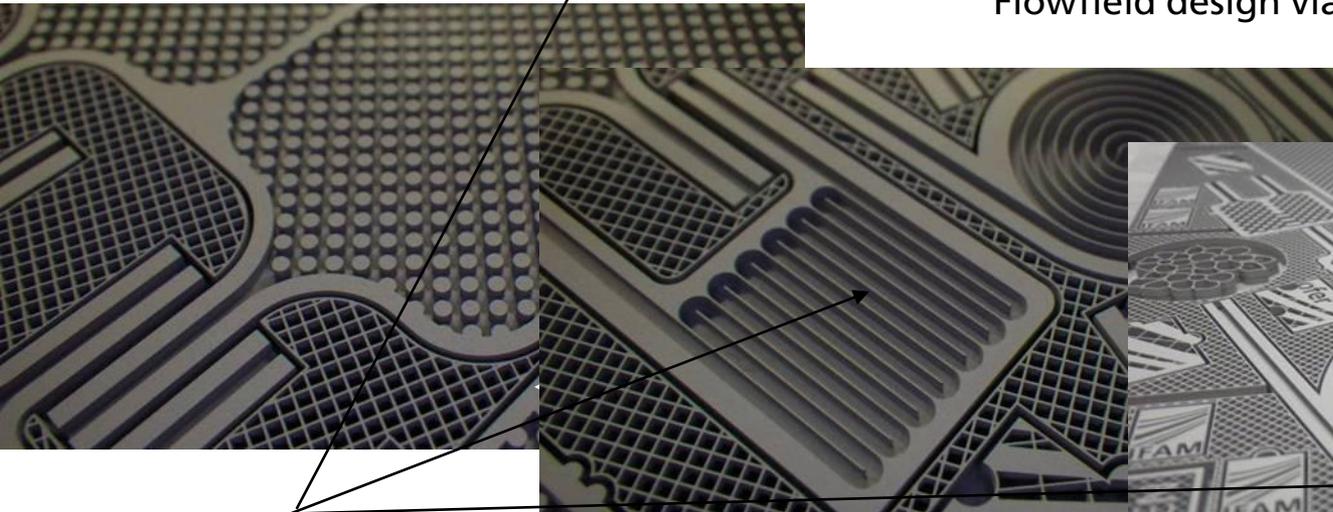
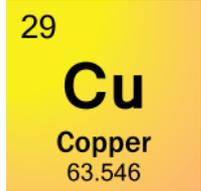
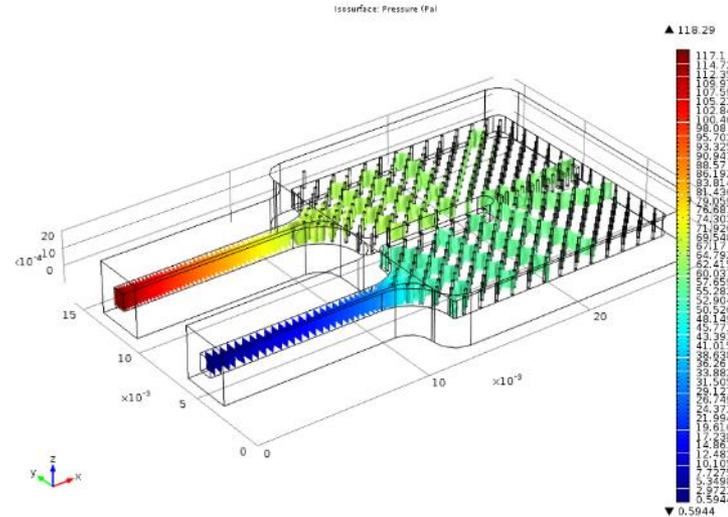
- Integrierte Kanalstruktur
- Ziel: Reduzierung Größe, Gewicht und Kosten
- Strukturgrößen < 100  $\mu\text{m}$



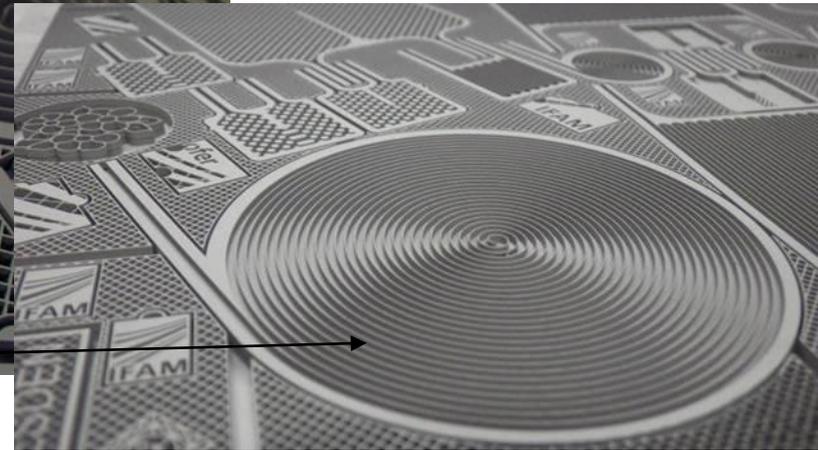
# Beispiel: Mikrokühler



CAD sketch of a micro cooler



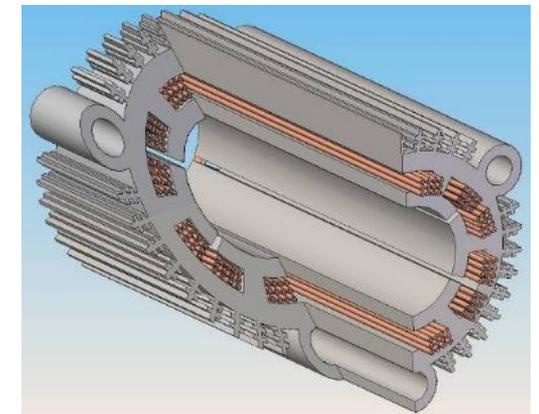
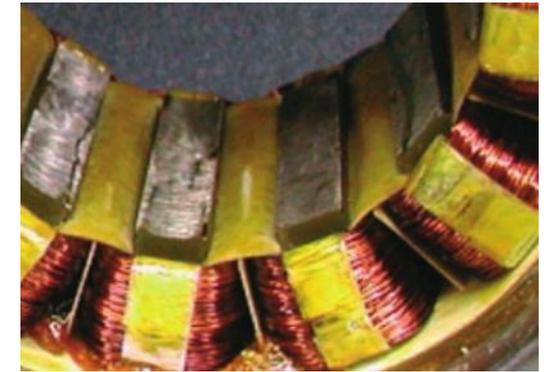
120  $\mu\text{m}$  thin structures



# Komponenten für elektrische Antriebe

- Konventionelle Herstellung komplex und keine Weiterentwicklung möglich
- Für innovative Antriebe neue Konzepte notwendig
- Ansatz: Kompaktes Bauteil ohne Packaging
- Integration von zusätzlichen Funktionen (z.B. Kühlung)

26 <b>Fe</b> Iron 55.847	29 <b>Cu</b> Copper 63.546	<b>Ceramics</b>
-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



WITTENSTEIN

**EKRA** //  
Screen Printing Technologies



# Magnetokalorik für Kühlschränke

- Bisher Kühlkompressoren
  - Limitierte Effizienz
  - Kaum Weiterentwicklung möglich
- Magnetokalorischer Prozess mit höherer Effizienz
- Geometrien mit anderen Verfahren kaum herstellbar

Seltene  
Erden

26  
**Fe**  
Iron  
55.847



Quelle: Indesit

Cambridge



INDESIT

Imperial College  
London



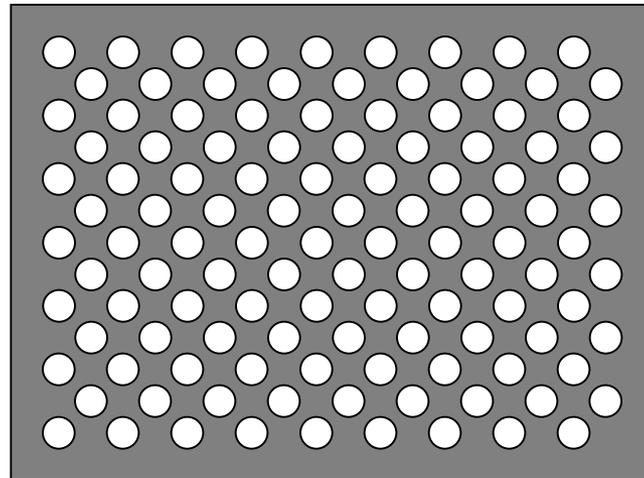
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

VAC  
VACUUMSCHMELZE



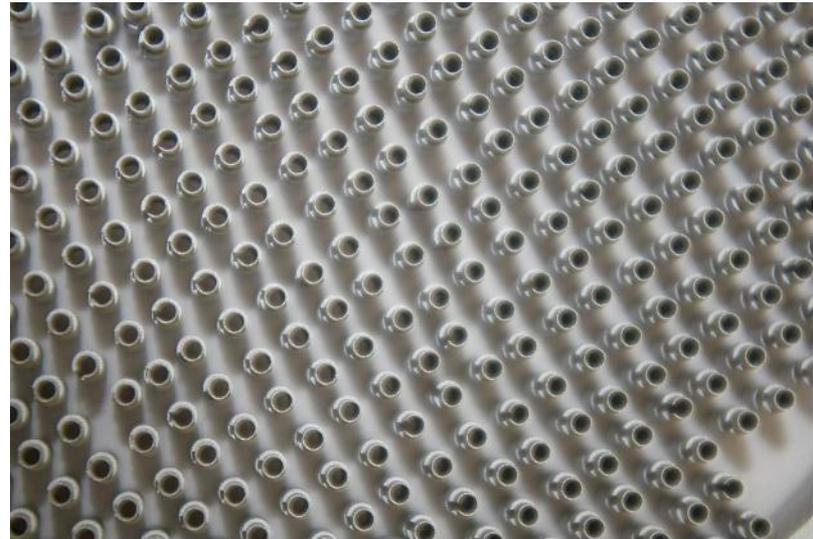
# Lochblechfilter

- Platte aus Übergangsmetall 200 x 200 x 1 mm mit 196000 Löchern (Alle 0,2 mm ein Loch mit 0,2 mm)
- Zur Zeit alle gebohrt -> hohe Fertigungskosten bisher
- Kosteneinsparung durch 3D-Siebdruck



# Mikrobauteile

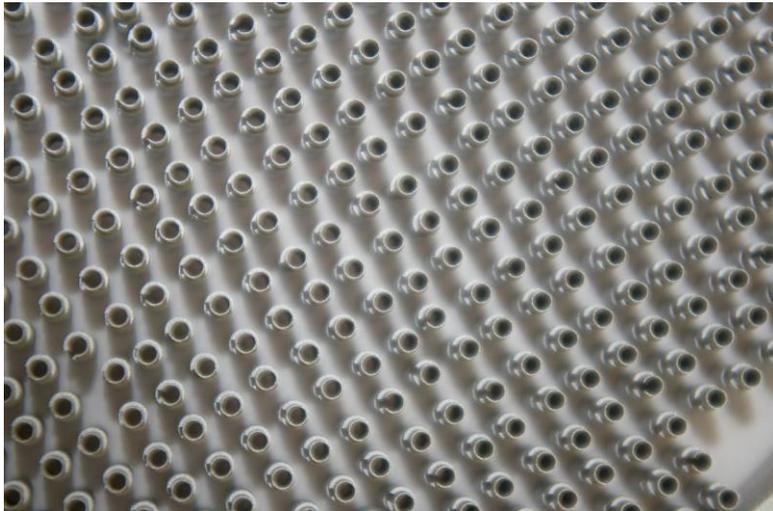
- Mikrohülsen für elektrische Aufgaben
- Bauteil mit Hinterschnitten (fünf Siebe)
- ~3500 Bauteile gleichzeitig auf Laboranlage IFAM Dresden



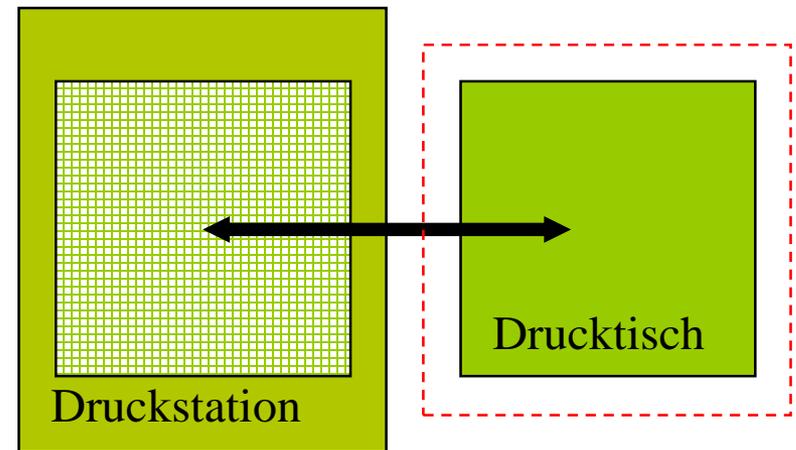
# Upscaling und Produktivität

# Potentielle Massenfertigung

- IFAM Dresden Laboranlage (1. Generation) Druckfläche ~ DIN A4
- → 3500 Teile pro Tag → 700.000 Teile pro Jahr (s. Bild)
- Härtung zeitbestimmender Schritt



Mikrohülsen mit 2 mm Durchmesser



Laboranlage IFAM Dresden

# Potentielle Massenfertigung

- Laboranlage IFAM Dresden (neu)
  - Zwei Drucktische (300 x 300 mm<sup>2</sup>)

→ 1.500.000 Teile/Jahr

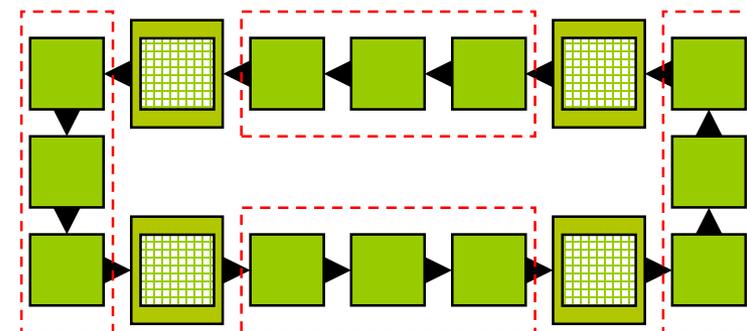
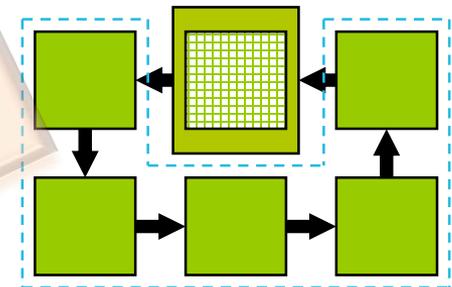
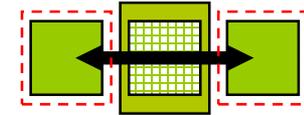
- Mögliche Produktionsanlage

- Fünf Drucktische (400 x 600 mm<sup>2</sup>)

→ 7.000.000 Teile/Jahr

- Mögliche Massenproduktion

- 12 Tische / 4 Druckstationen
- Erhöhung Ausstoß
- Druck von komplexen Teilen



Datenbasis Maschine erster Generation  
Ziele: Erhöhung um Faktor 2-4  
mit neuer Maschine

# Kostenbetrachtungen

- Robuster und serientauglicher Prozess mit hoher Präzision
- Dreidimensionaler Siebdruck vor allem sinnvoll, wenn sehr günstige Verfahren (z.B. Prägen) schwierig sind
- Dreidimensionaler Siebdruck sinnvoll bei hohen Stückzahlen
- Bauteile mit vielen Sieben sind zu vermeiden (Anlagen- und Rüstkosten)
- Produktivität skaliert linear mit Bauteilvolumen und Druckfläche

# Aufbau einer industriellen Prozesskette

- Für kommerzielle Umsetzung bereits jetzt industrielles Netzwerk vorhanden
- Forschungspartner: Fraunhofer IFAM
- Anlagenhersteller Siebdrucklinien: EKRA / ASYS
- Siebhersteller: Koenen, bzw. PVF
- Pulverlieferant: Diverse, je nach Werkstoff
- Pastenzulieferer: Kissel & Wolf
- Ofenhersteller: Diverse, z.B. MUT
- ggf. Fertigungsdienstleister: in Verhandlung

 **Fraunhofer**  
IFAM

**EKRA**   
Screen Printing Technologies

  
**KOENEN**  
HIGHTECH SCREENS

  
**PVF**  
Precision mesh & solutions  
for industrial application

  
**ATMIX**

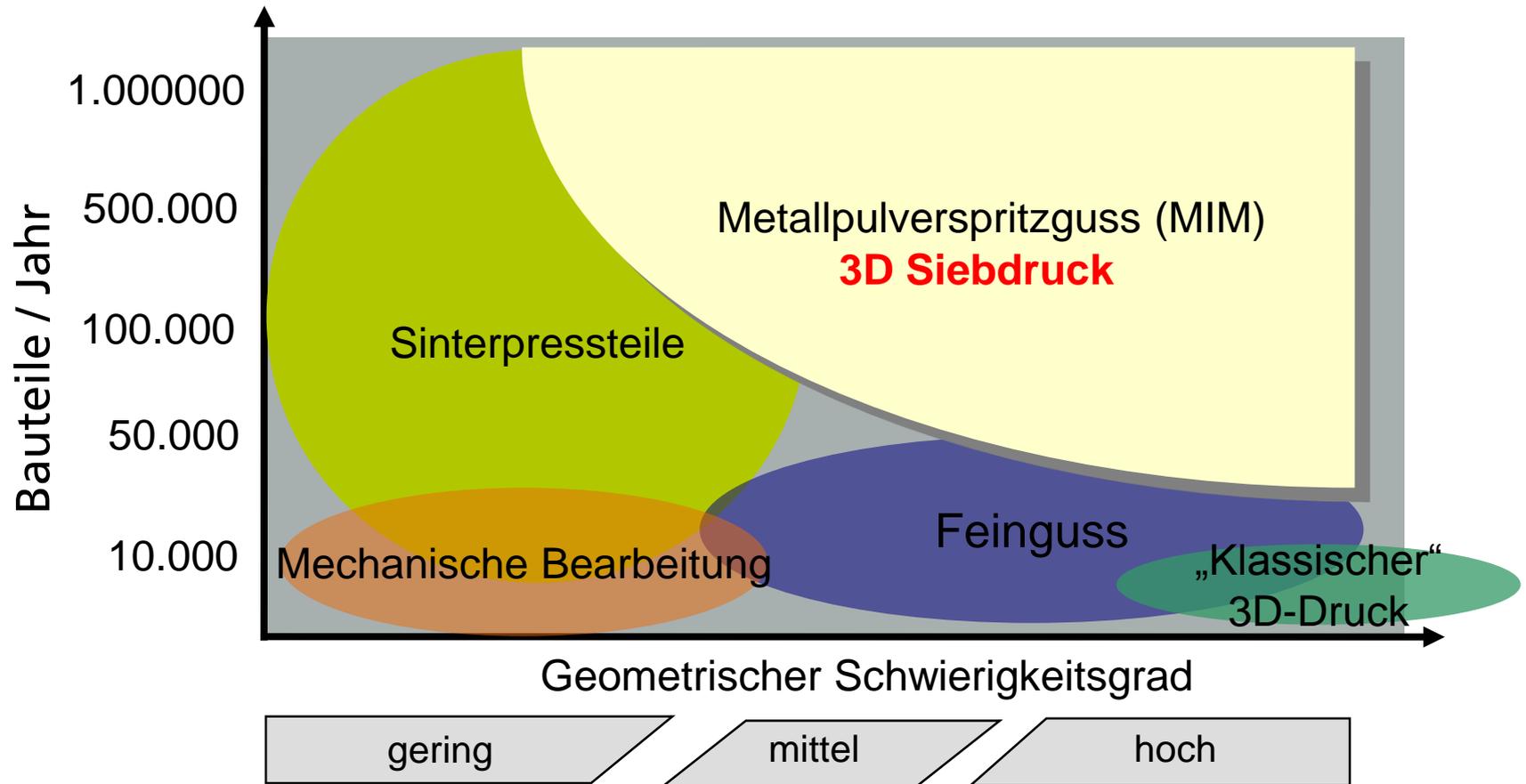
 **eckagranules**  
Metal-Powder-Technologies

 **TLS Technik**  
Spezialpulver

  
**KIWO**

  
**MUT** ADVANCED HEATING

# Verfahrenseinordnung



Source: Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Schunk Group

# Eigenschaften pulverbasierter additiver Verfahren

- Hohe Designfreiheit (✓)
- Schnelle Produktumsetzung (✓)
- Endformnähe ✓
- Keine Hilfsmittel oder Werkzeuge x
  
- ~~Kleine und mittlere~~ **Hohe** Stückzahlen ✓
- Werkstoffe: Auswahl **nicht** eingeschränkt + ~~keine~~ Kombinationen ✓
- Oberflächenqualität und Strukturauflösung mäßig **hoch** ✓
- ~~Keine Hohlräume~~ **möglich** (✓)

# Zusammenfassung

**3D-Siebdruck ist ein geeigneter Prozess zur Herstellung von komplexen und präzisen Strukturen**

## **Eigenschaften:**

- Weitgehende Materialfreiheit
- Hohe Stückzahlen möglich
- Feine Strukturen und hohe Präzision

## **Kundenvorteile:**

- Wunschbauteile mögliche
- Kosteneffiziente Massenfertigung
- Ergänzung anderer Fertigungsmethoden

Vielen Dank !

