

# Dreidimensionale Multi-Material-Bauteile

Abschlusskolloquium des Sonderforschungsbereichs 814 –  
Additive Fertigung  
13. Juni 2023

Sebastian-Paul Kopp, Stephan Roth



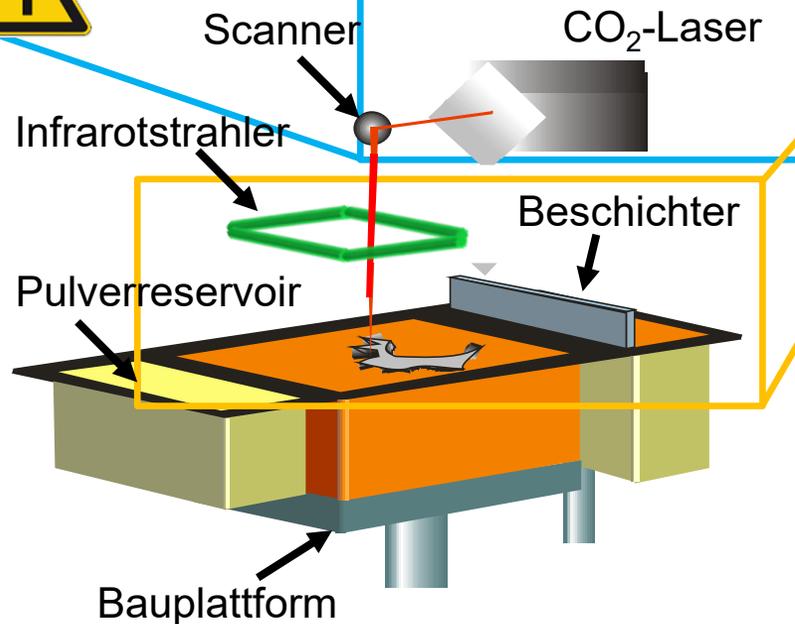
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg



## Konventioneller laserbasierter Pulverbettenschmelzprozess (PBF-LB/P)

### Energieeintrag

- Eintrag mittels Infrarotstrahler (Vorheiztemperatur) und CO<sub>2</sub>-Laser (Schmelztemperatur)
- Eingeschränkte Anpassbarkeit bei unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Materialien
- Keine Anpassbarkeit im Bereich der Grenzzonen zwischen unterschiedlichen Materialien



### Materialauftrag

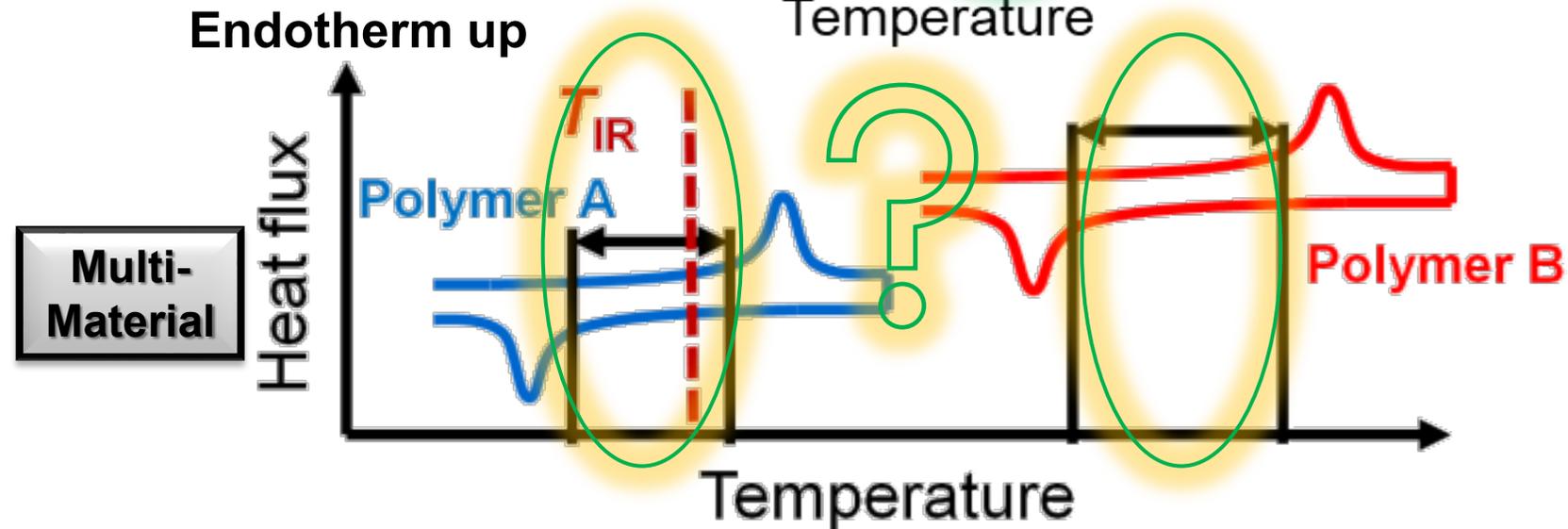
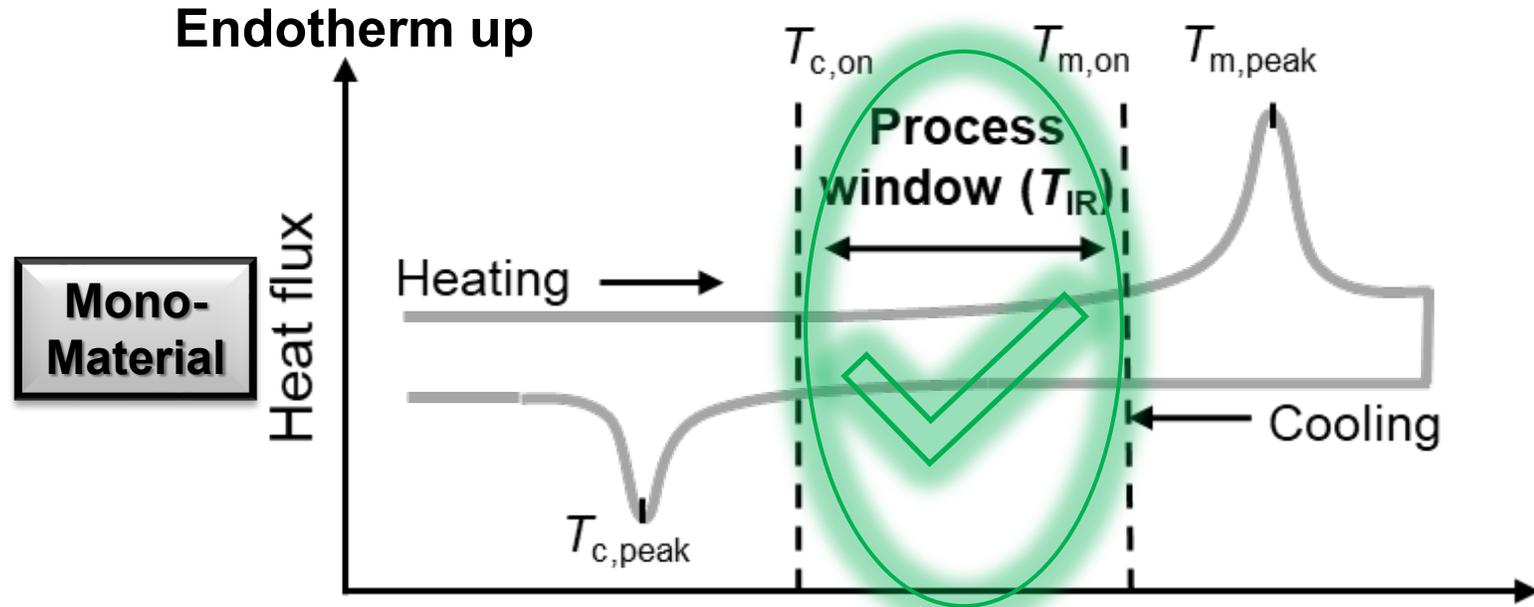
- Generell nur Mono-Materialauftrag möglich
- Geringe Pulvereffizienz (etwa 8% Nesting-Efficiency)
- Hohe Anforderungen an Pulvereigenschaften (insb. Fließfähigkeit)



**Notwendigkeit für  
anpassbaren Energieeintrag**

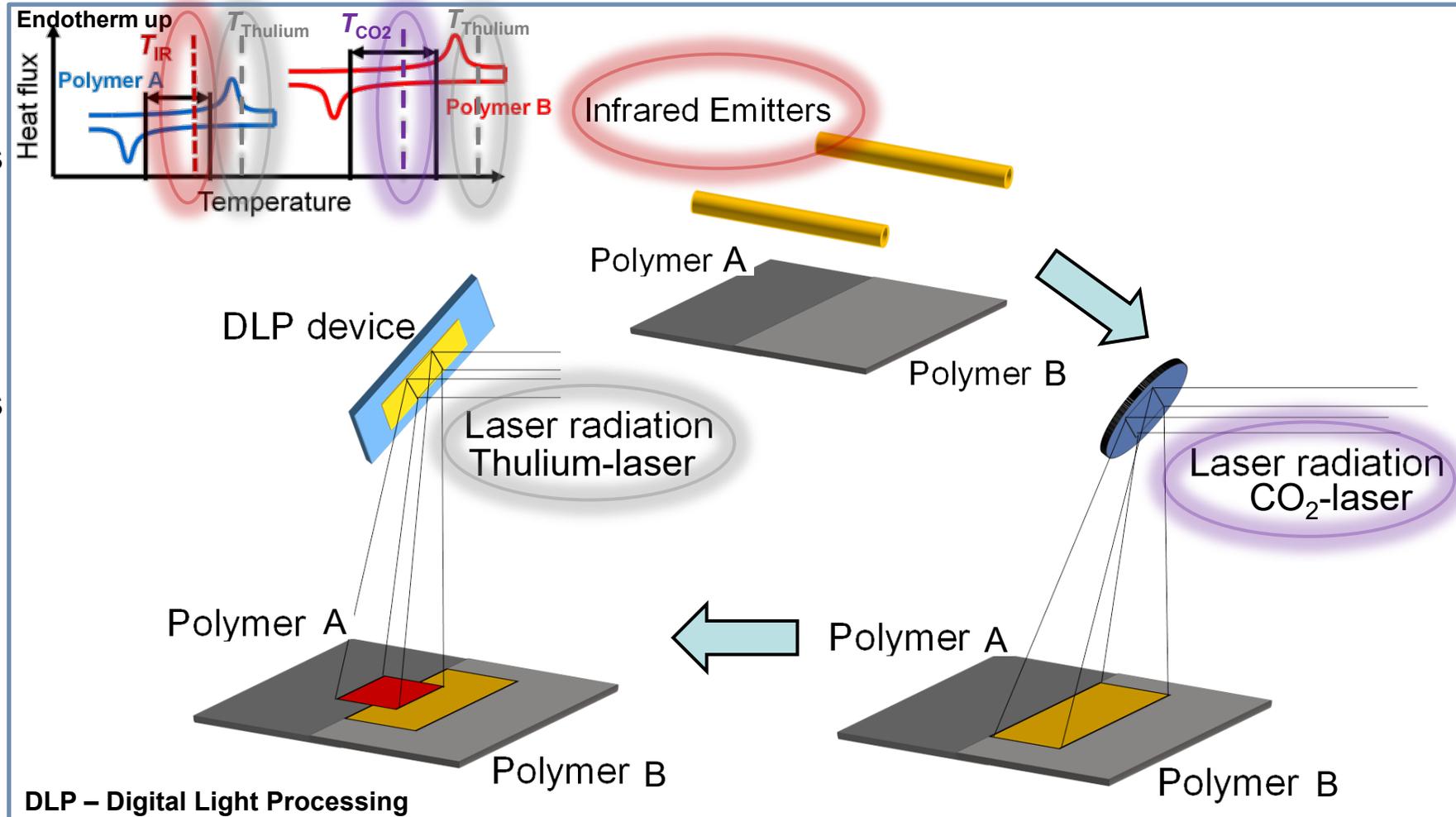
**Notwendigkeit für selektiven  
Materialauftrag**

- Vorheiztemperatur ( $T_{IR}$ ) für teilkristallinen Thermoplast zwischen Onsetkristallisations- ( $T_{c,on}$ ) und Onsetschmelztemperatur ( $T_{m,on}$ )
- Keine geeignete Vorheiztemperatur im Falle zweier Polymere mit signifikant unterschiedlichen thermischen Eigenschaften



Erweiterung der Anpassbarkeit des Energieeintrags durch weitere Strahlquelle

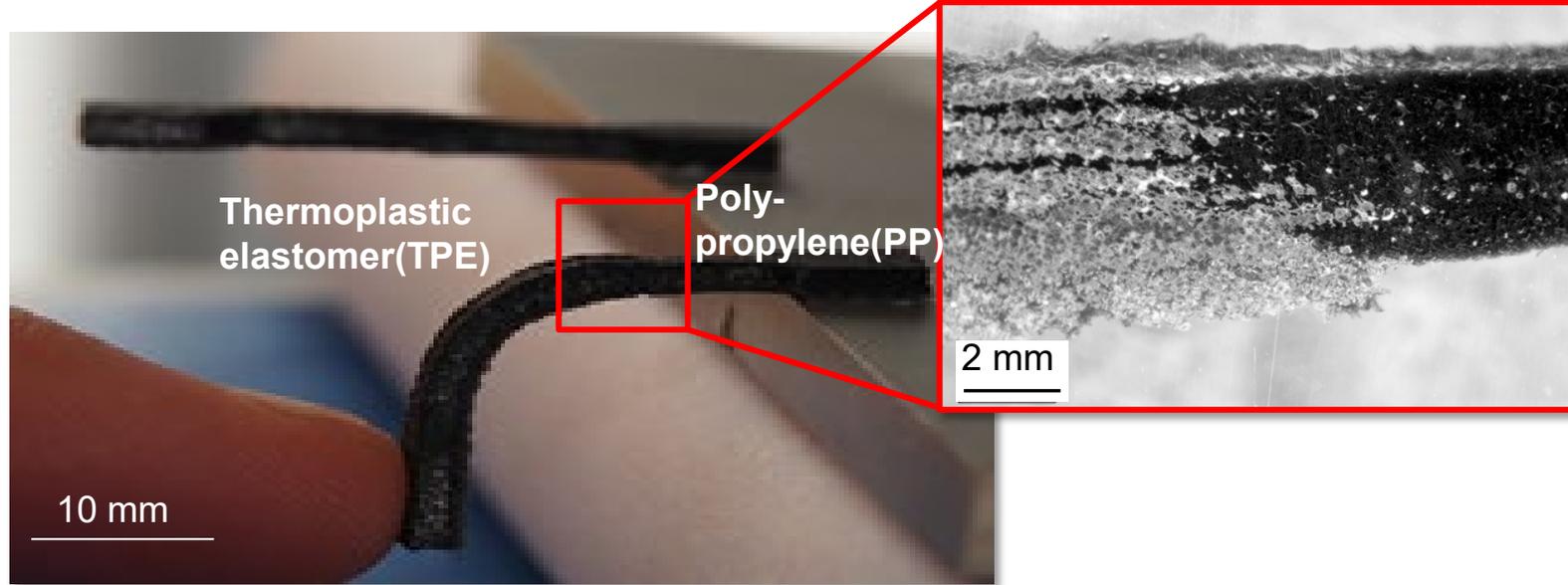
- Vorheizen des Polymers mit niedrigerer Schmelztemperatur mittels IR-Emittern
- Vorheizen des Polymers mit höherer Schmelztemperatur mittels CO<sub>2</sub>-Laser
- Simultanes Aufschmelzen beider Polymere mittels Thulium-Laser



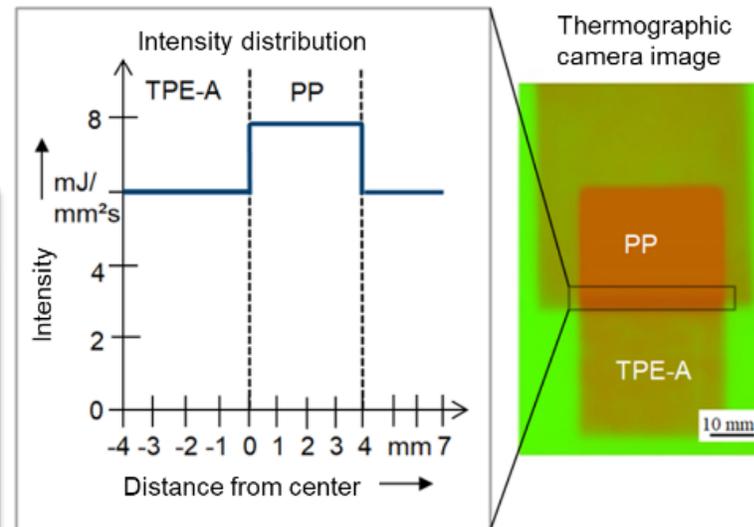
**Erzielung eines an die  
verwendeten Materialien  
angepassten Energieeintrags**

z. B. [1] T. Laumer et al. JLMN-Journal (2015),  
[2] T. Laumer et al. J Laser Apl (2015),  
[3] T. Laumer et al. J Laser Apl (2014).

- Gezielte Anpassung der Laserintensitäten an werkstoffspezifische thermische Erfordernisse
- Formschlüssige Verbindung zwischen den unterschiedlichen Werkstoffen
- Erhöhung der Bruchdehnung beim Werkstoffverbund im Gegensatz zu reinem PP



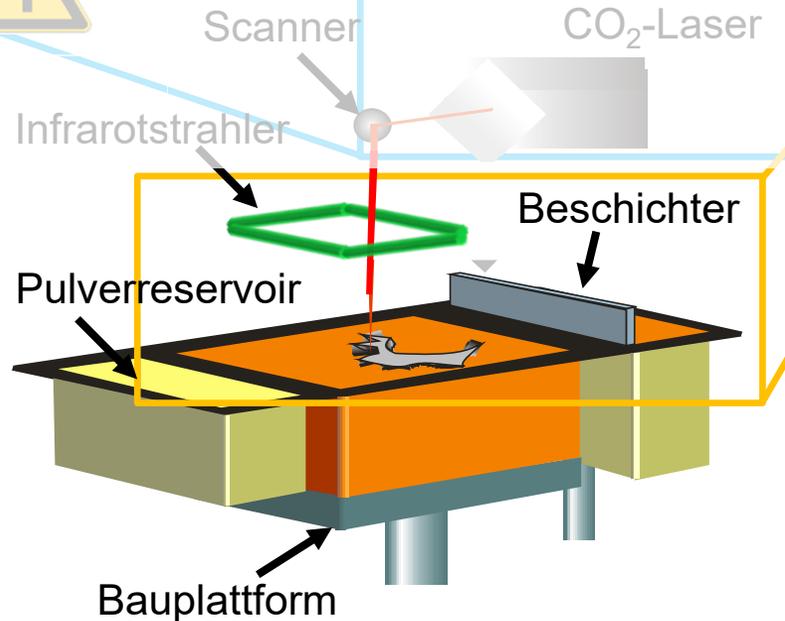
**Erfolgreiche simultane  
Verarbeitung von  
Materialien mit stark  
unterschiedlichen  
thermischen  
Eigenschaften**



## Konventioneller laserbasierter Pulverbettenschmelzprozess (PBF-LB/P)

### Energieeintrag

- Eintrag mittels Infrarotstrahler (Vorheiztemperatur) und CO<sub>2</sub>-Laser (Schmelztemperatur)
- Eingeschränkte Anpassbarkeit bei unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Materialien
- Keine Anpassbarkeit im Bereich der Grenzzonen zwischen unterschiedlichen Materialien



### Materialauftrag

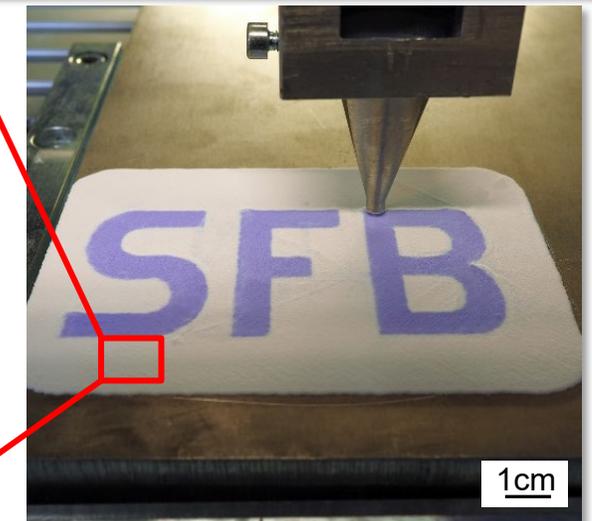
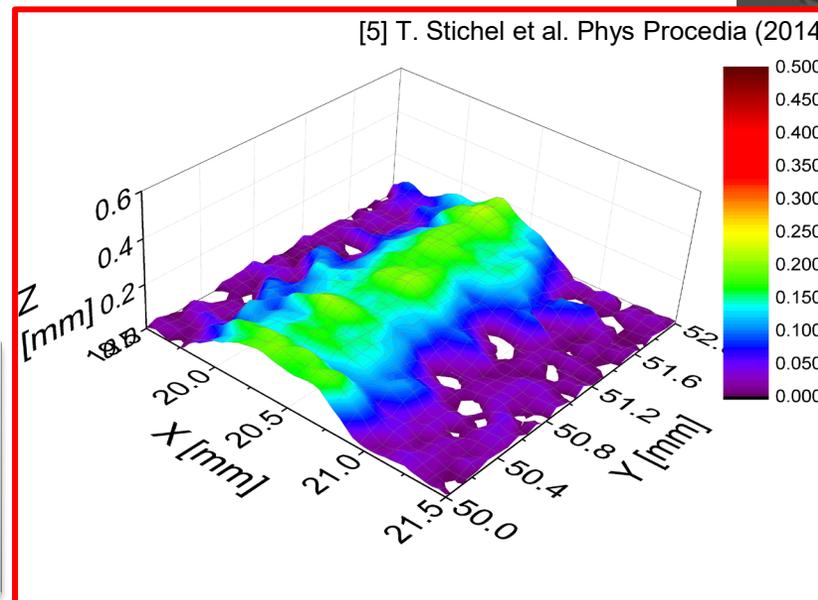
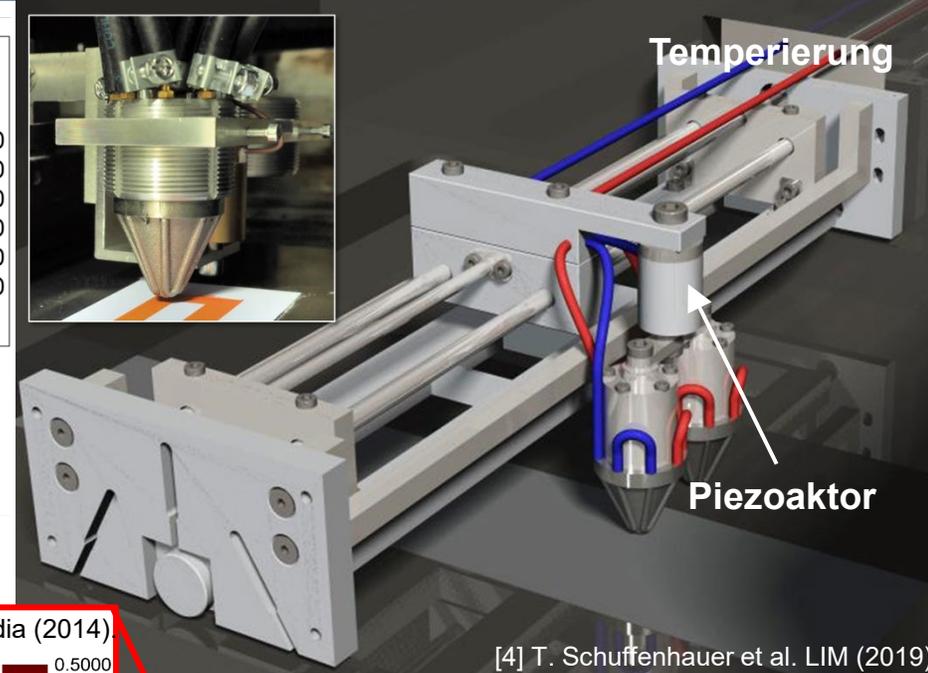
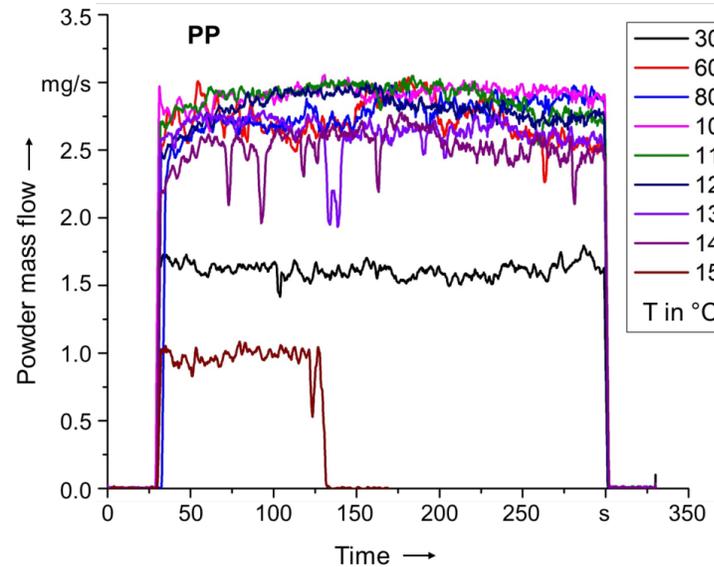
- Generell nur Mono-Materialauftrag möglich
- Geringe Pulvereffizienz (etwa 8% Nesting-Efficiency)
- Hohe Anforderungen an Pulvereigenschaften (insb. Fließfähigkeit)



Notwendigkeit für  
anpassbaren Energieeintrag

Notwendigkeit für selektiven  
Materialauftrag

- Ortsselektiver Auftrag unterschiedlicher Materialien möglich
- Einstellbarer Materialaustrag, insbesondere abhängig von:
  - ➔ Pulvereigenschaften
  - ➔ Anregung (Frequenz,...)
  - ➔ Düsengeometrie
  - ➔ Düsentemperatur
- Nur bedingt für Schichtauftrag geeignet

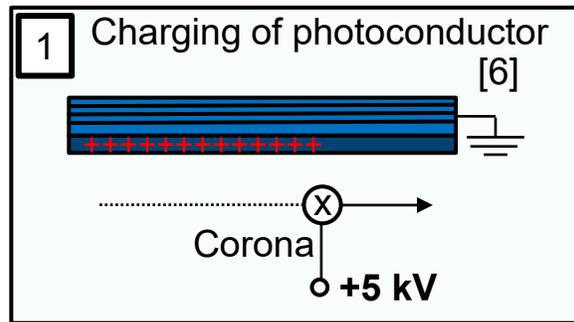


**Besonders für gezielten und lokalen Materialauftrag kleiner Pulvermengen geeignet**

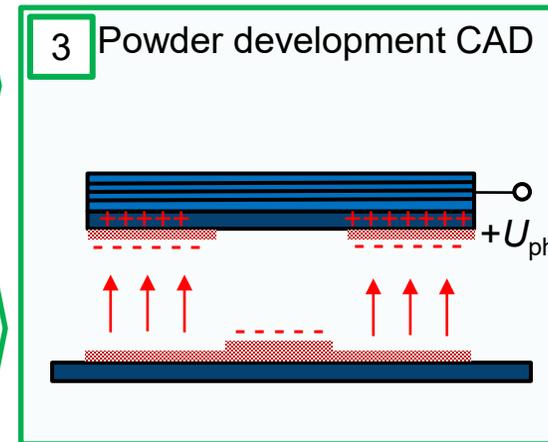
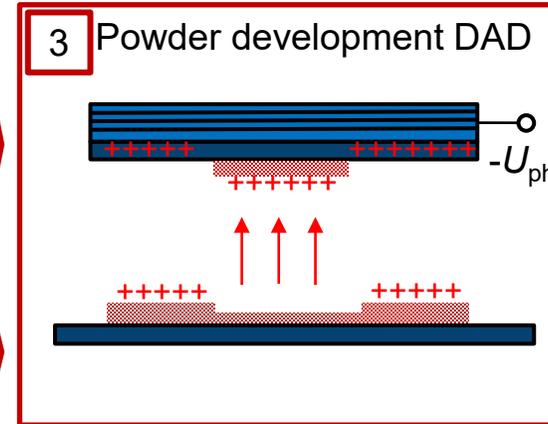
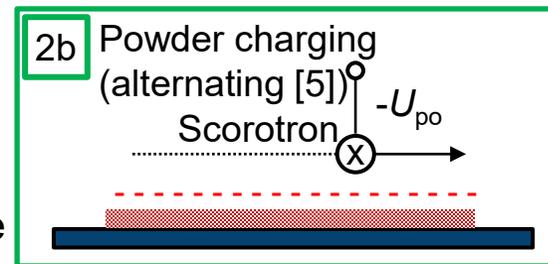
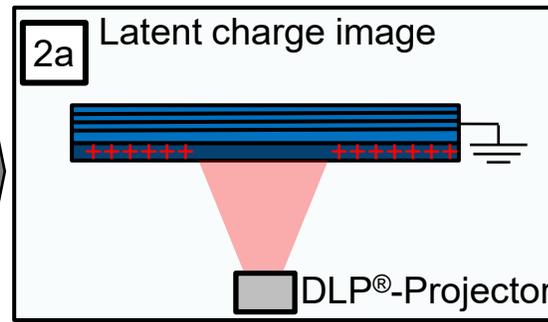
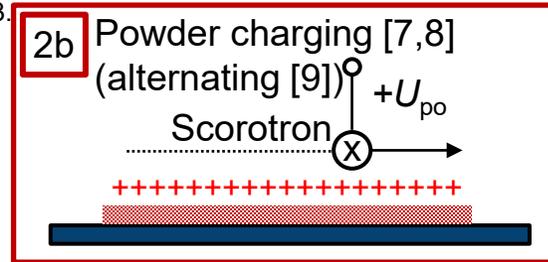
## Pulverentwicklung (Aufnahme von Pulverpartikeln mit Fotoleiterplatte)

[7] S.-P. Kopp et al. Additive Manufacturing 68, 103531 2023.  
 [8] B. Düsenberg et al. Polymers 2022, Vol. 14, 1332.

### Discharged-Area-Development (DAD)



### Charged-Area-Development (CAD)



$U_{po}$  = Powder charging voltage

$U_{ph}$  = Photoconductive plate voltage

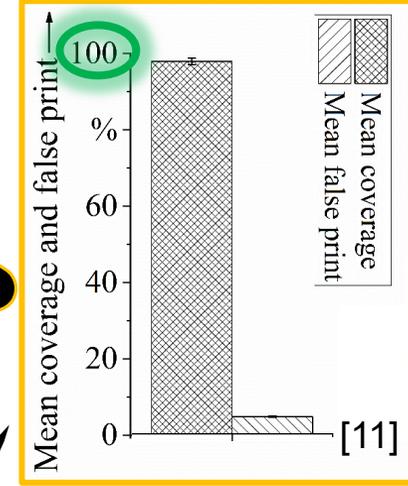
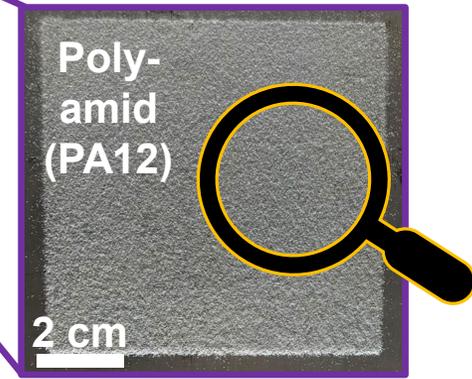
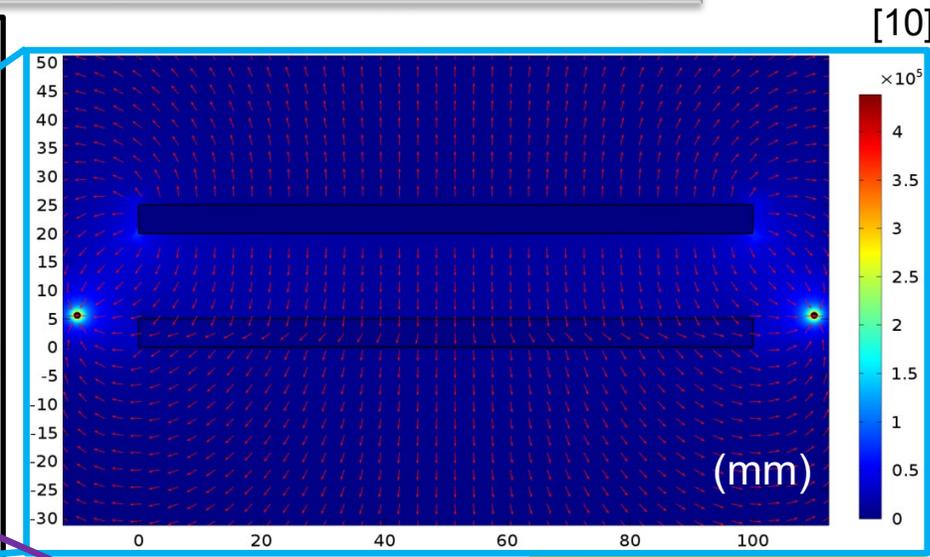
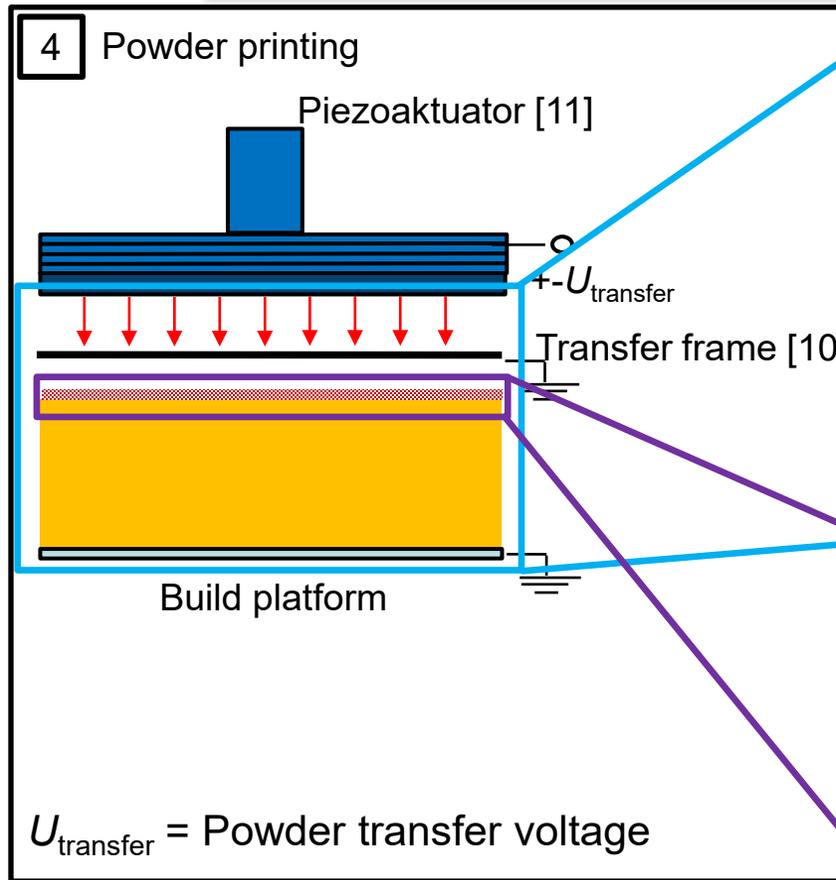
[6] T. Stichel et al. Journal of Metals (JOM) 2020.

[9] S.-P. Kopp, B. Düsenberg, A. Bück, M. Schmidt (2021): Verfahren und Vorrichtung zur additiven Fertigung eines Bauteils sowie entsprechend gefertigtes Bauteil. German patent application (21.10.2021).

## Pulverentwicklung (Aufnahme von Pulverpartikeln mit Fotoleiterplatte)



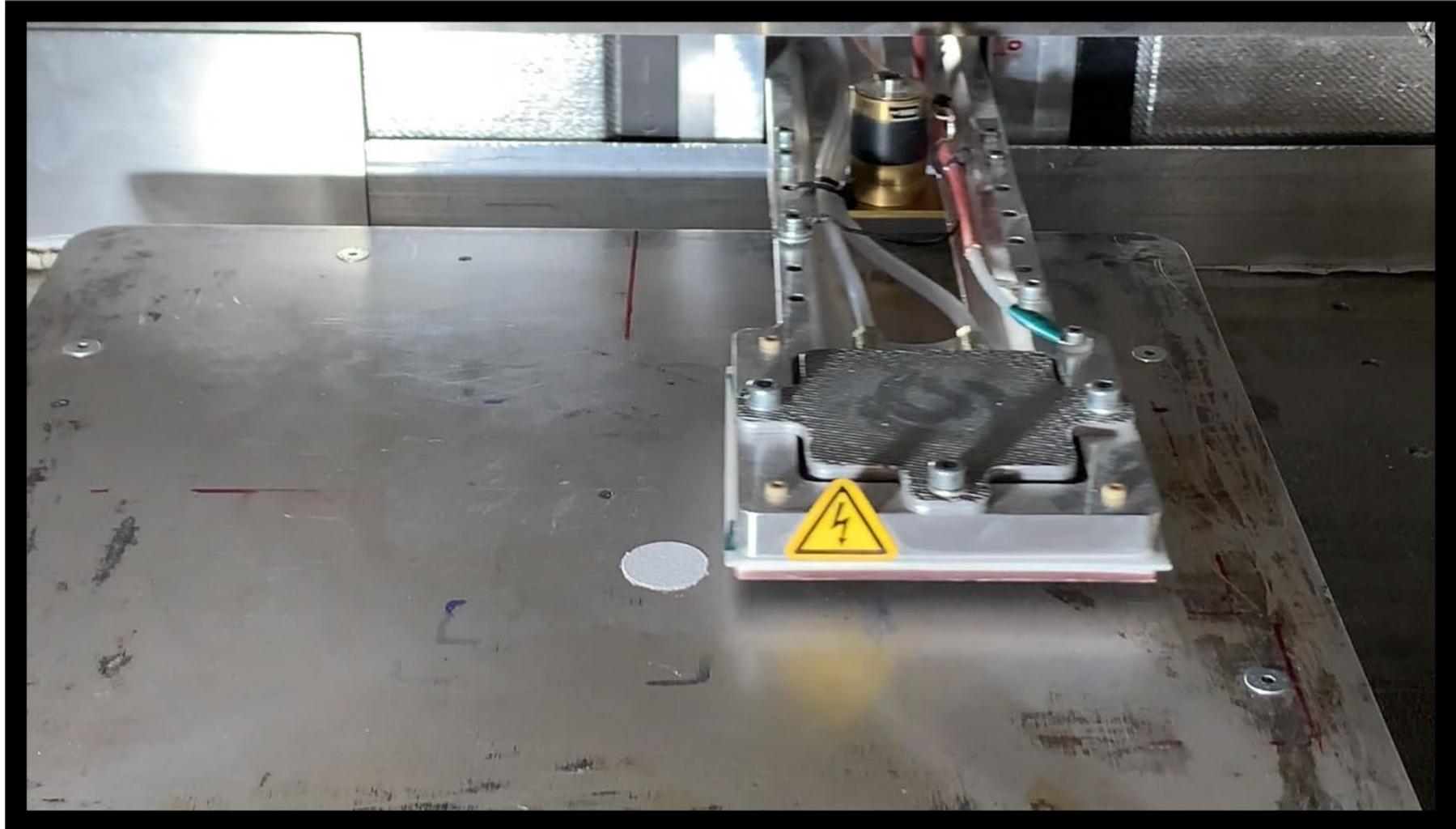
## Pulverdruck (Ablage von Pulverpartikeln in Baukammer)



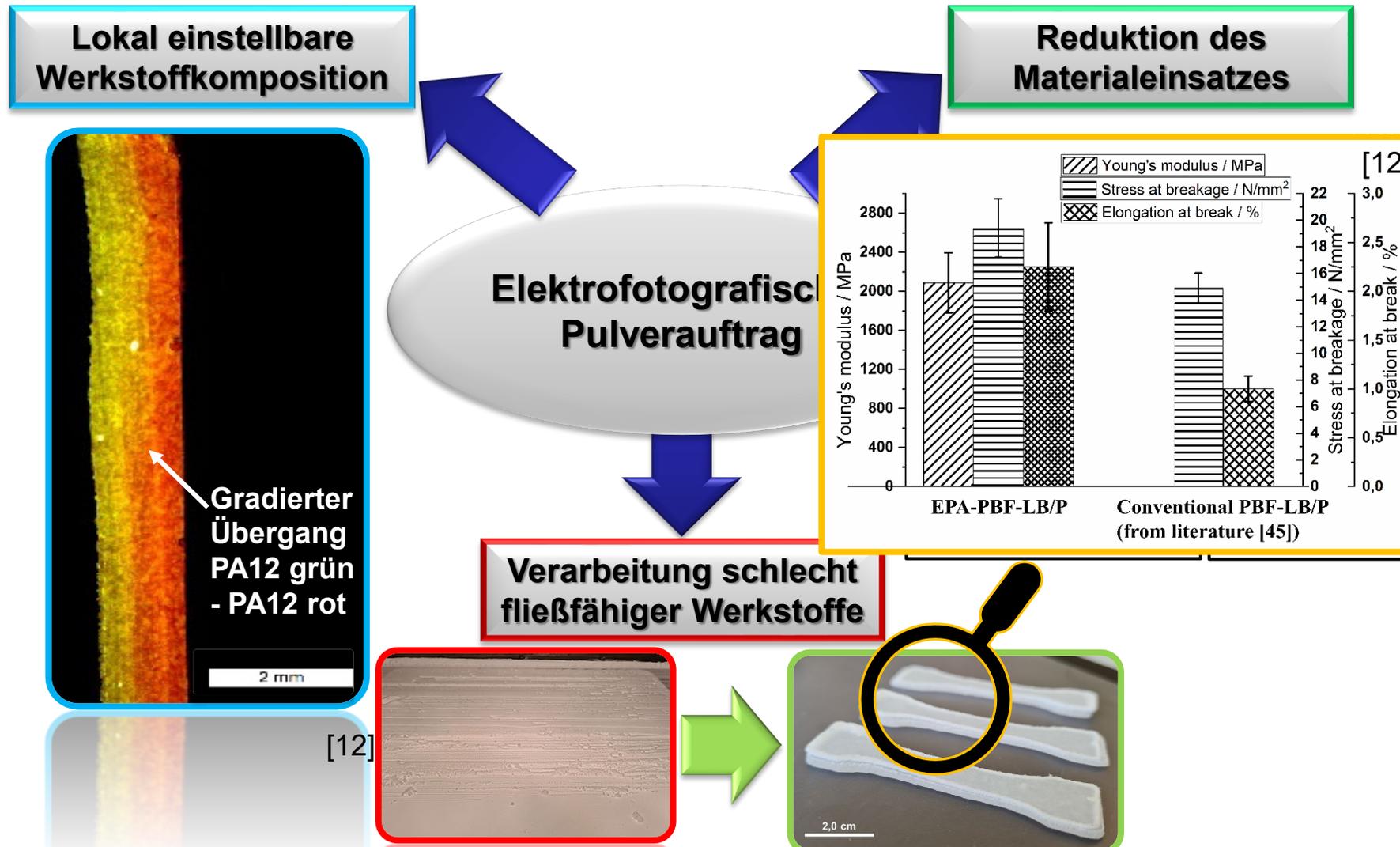
## Selektiver und präziser Materialauftrag

[10] S.-P. Kopp et al. Procedia CIRP 2020:94;122-127.[11] S.-P. Kopp et al. Procedia CIRP 2022:111;55-60.

## Pulverdruck (Ablage von Pulverpartikeln in Baukammer)

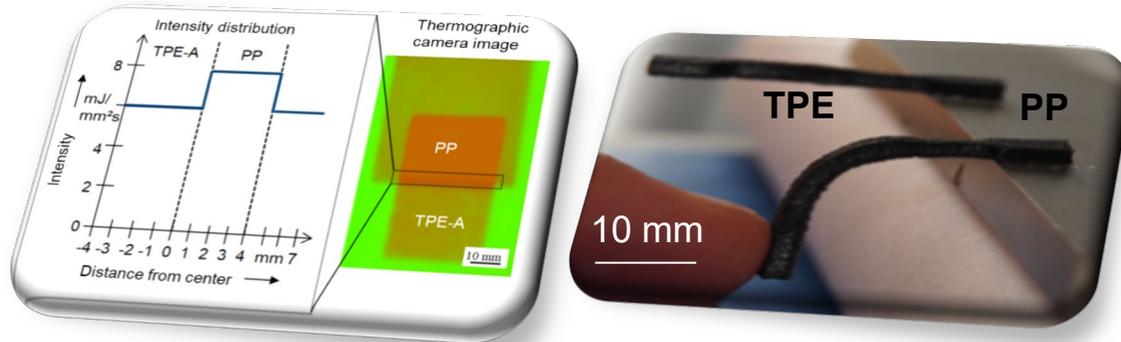


[13] K. Kellens et al. Rapid Prototyp. J. 2014.



[12] S.-P. Kopp et al. Journal of Laser Applications 34, 042032 2022.

## Anpassbarer Energieeintrag



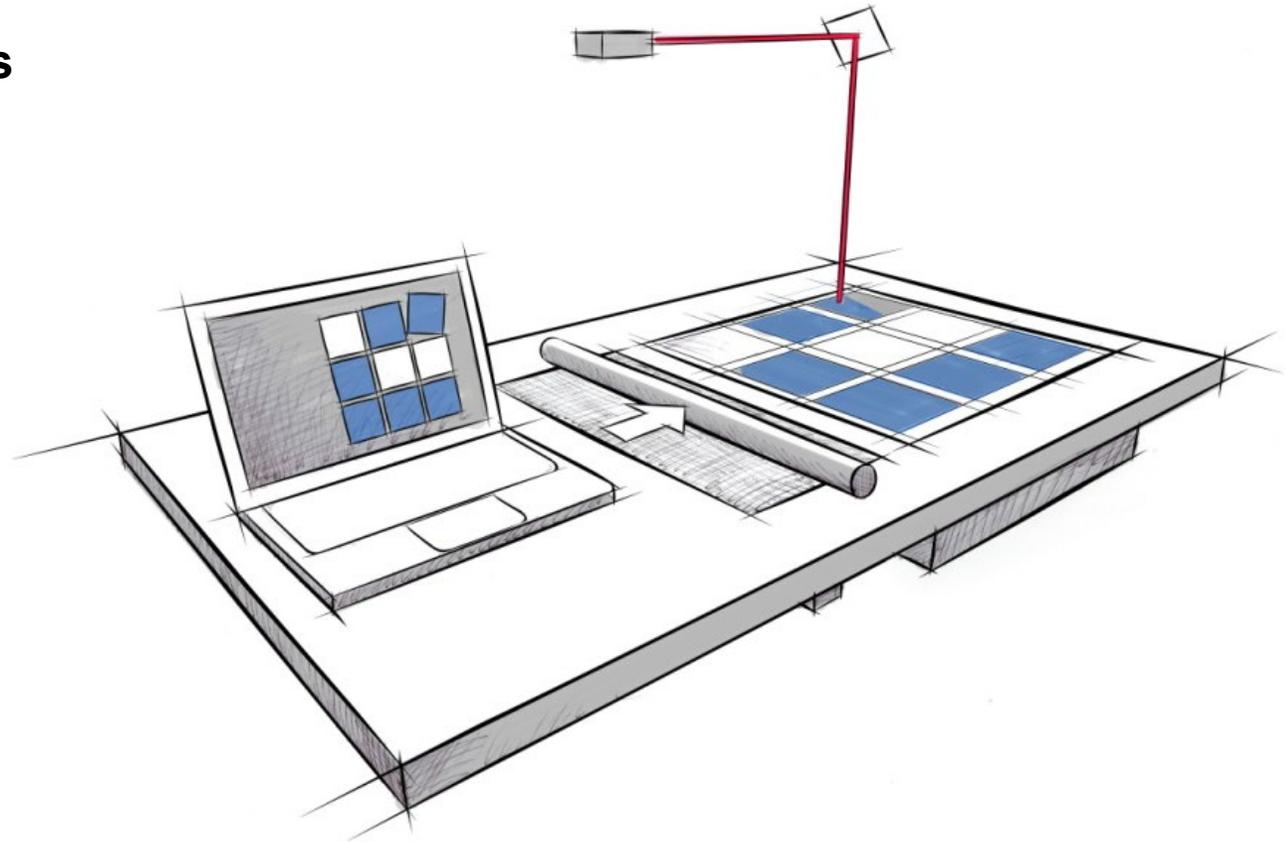
- Strategien zur lokalen Anpassung des Energieeintrags beim PBF-LB/P an jeweilige werkstoffspezifische Erfordernisse zur Herstellung von Multi-Material-Bauteilen
- Verständnis über resultierende Temperaturfelder bei Belichtungsstrategien mit mehreren Strahlquellen
- Verständnis über Verbindungsmechanismen bei Multi-Material-Bauteilen im PBF-LB/P

## Selektiver Materialauftrag



- Strategien zur lokalen Modifikation der Materialzusammensetzung beim PBF-LB/P
- Vibrationsdüsenbasierter Ansatz besonders geeignet für gezielte Einbringung von z.B. Legierungsbestandteilen
- Elektrophotographischer Ansatz für selektiven, flächigen und präzisen Materialauftrag
- Erfolgreiche Kombination der Erkenntnisse zum anpassbaren Energieeintrag mit selektivem Materialauftrag bei pharmazeutischem 3D-Druck

**Sebastian-Paul Kopp, M.Sc.**  
**Head of Process Technology Plastics**  
**Bayerisches Laserzentrum GmbH**  
**E-Mail: [s-p.kopp@blz.org](mailto:s-p.kopp@blz.org)**  
**Phone: +49 (0)9131 97790-27**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit