

# Erzeugung von Kupferbauteilen über Materialextrusion und pulverbettbasierte Fertigung

D. Melnikow, S. Matthes, D. Scheller, M. Streinz, F. Gemse

## Einführung und Projektziel

Additiv gefertigte Kupferbauteile sind aufgrund der prozessspezifischen **Geometriefreiheit**, sowie der hohen **thermischen und elektrischen Leitfähigkeit** des Werkstoffs in zahlreichen Industriezweigen relevant. Die etablierten additiven Fertigungsverfahren stellen den Anwender allerdings vor zahlreiche Herausforderungen. Laserbasierte Verfahren werden durch die **hohe Reflektivität** des Kupfers gegenüber den gängigen Laserwellenlängen beeinträchtigt, während andere additive Verarbeitungstechniken kostenintensive Anlagentechnik benötigen oder nur über eine geringe Abbildungsgenauigkeit verfügen.

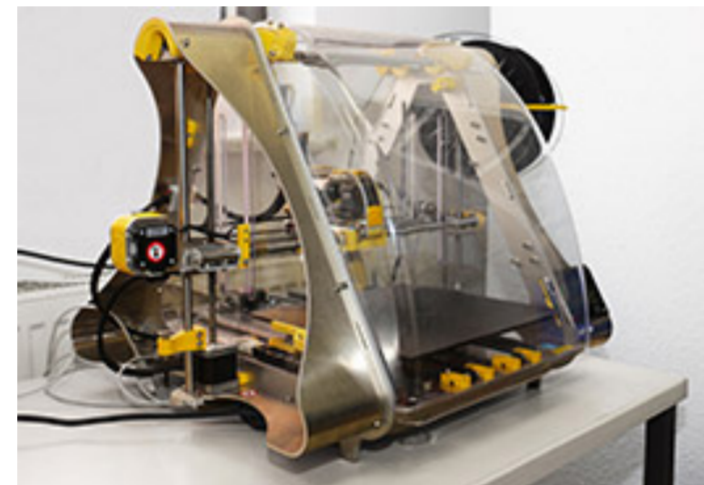
Das **Metal-FDM-Verfahren** bietet eine kostengünstige Alternative. Über Materialextrusion (MEX) wird ein **Grünteil mit kupferbeladenem Filament** erzeugt, aus welchem der Kunststoffbinder entfernt wird. Das erzeugte Braunteil wird anschließend gesintert, sodass ein dichtes **metallisches Sinterbauteil** entsteht. Im Forschungsvorhaben wird das Verfahren genauer untersucht und ein Prozessfenster zur Fertigung von Kupferbauteilen erarbeitet.

Ziel ist die **Erzeugung dichter Metallbauteile** mittels Metal-FDM.

## Anlagentechnik

### ZMORPH – MEX System

- › 3-Achs System
- › Max. 250 °C Düsenheizung
- › Max. 110 °C Druckbettheizung



### MUT – integrierter Sinter- und Entbinderofen

- › Bis zu 1.550 °C Ofenheizung
- › Entbindern und Sintern im selben Ofen



### ACONITY – Pulverbett-System

- › Max. Laserleistung 500 W
- › Max. 500 °C Plattformheizung
- › Wellenlänge 1.070 nm

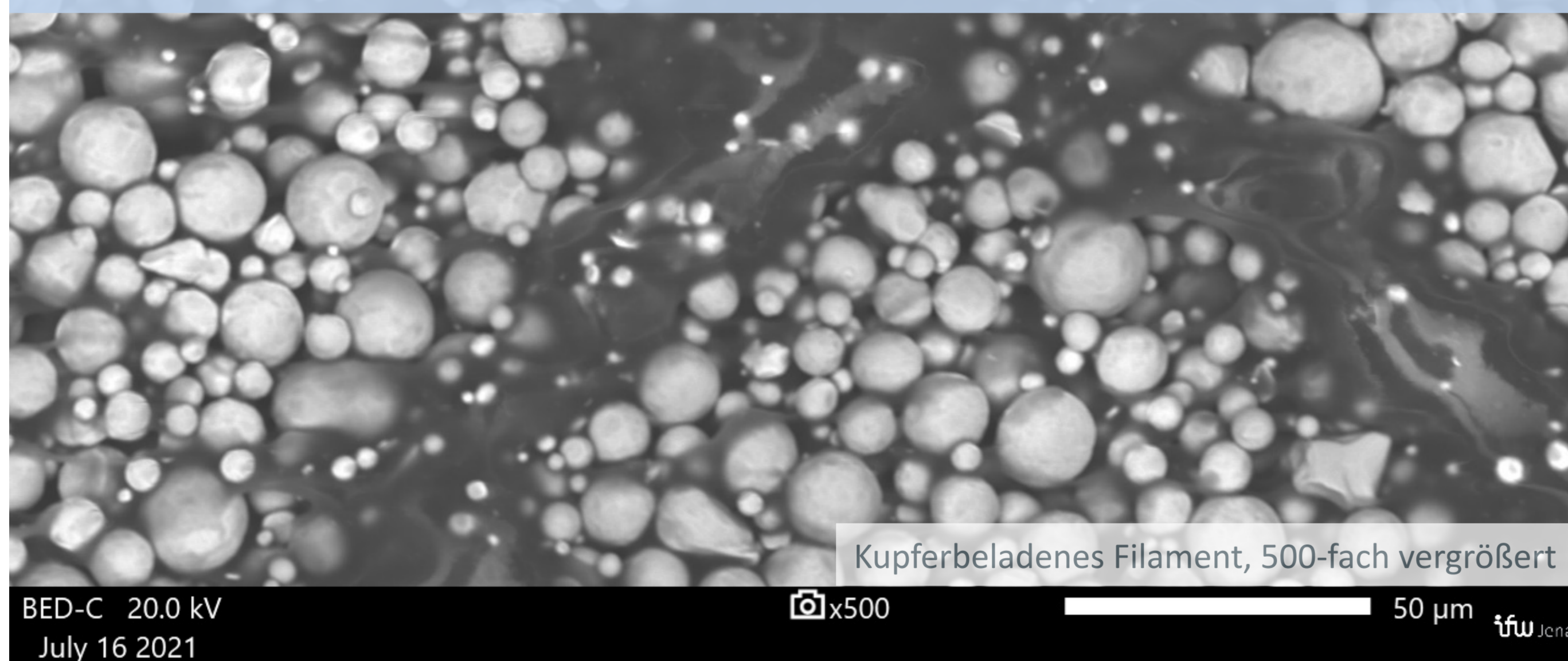


Die Investition wurde vom Freistaat Thüringen bzw. dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) unter der Nummer 2021 WIN 0009 mit Landesmitteln gefördert.

## Werkstoff

### PT+A – Kupferfilament

- › Ca. 93 Gew.% Pulver im Filament
- › Ca. 7 Gew.% Binder



Kupferbeladenes Filament, 500-fach vergrößert

## Messmethoden

- › **Visuelle Bewertung** des Druckprozesses
- › **Dichtemessung** nach Archimedes
- › Automatische **Porositätsanalyse** an Mikroschliffbildern
- › Prüfung des inneren Aufbaus der Proben mittels **Computertomographie (CT)**
- › Messung der thermischen Leitfähigkeit mittels **Laser-Flash-Analyse (LFA)**
- › Messung der elektrischen Leitfähigkeit mittels **Vier-Draht-Messung**

Die vorgestellten Forschungsergebnisse sind Teil des Forschungsvorhabens AddLas – Additive Fertigung von Multimaterialbauteilen

Förderkennzeichen:  
49VF200044

Projektlaufzeit:  
01.12.2020 bis 30.04.2023

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

INNO-KOM

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## Ergebnisse

### FORMGEBUNG

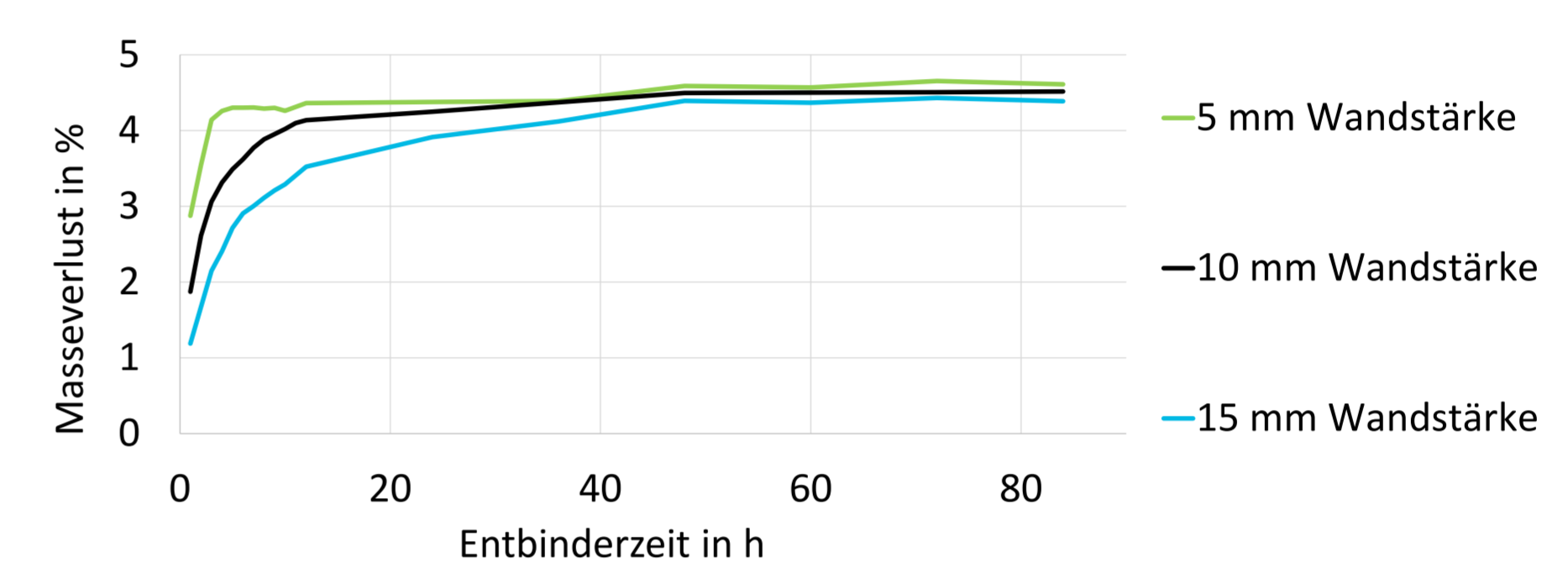
Fertigung mit optimierten Parametern sichert den homogenen Filamentfluss ohne übermäßigen Filamentaustrag, bei stabiler Anbindung der Filamentstränge untereinander und einem hohen Grad an Maßhaltigkeit und Formgenauigkeit

Auflistung wesentlicher Prozessparameter für die Grünteilfertigung dichter Bauteile

Düsentemp. in °C	Druckbetttemp. in °C	Druckgeschw. in mm/min	Extrusionsfaktor
140	60	1.300	0,88

### ENTBINDERN

- › Entbinderung von Bauteilen unterschiedlicher Wandstärken bei 42 °C bis 45 °C in Aceton
- › Ca. 24 h Entbinderzeit für Wandstärken von bis zu 5 mm, ca. 48 h für bis zu 15 mm starke Bauteile, um ausreichend Binder zu entfernen



Verlauf des Masseverlusts verschiedener Wandstärken abhängig von der Entbinderdauer

### SINTERN

- › Sintern mit optimierten Parametern, um Rissbildung zu verhindern und hohen Grad an Verdichtung zu erzielen
- › Sinterdichte von 8,85 g/cm<sup>3</sup> (99,4 % IACS) erzielt

Auflistung wesentlicher Prozessparameter für die Sinterfertigung dichter Bauteile

Heizr. in K/min	Entbindertemp. in °C	Haltezeit in h
3,00	450	2

Heizr. in K/min	Sintertemp. in °C	Haltezeit in h	Ofendruck in mbar
4,06	1.065	5	150

### METAL-FDM vs. PBF-LB

- › Metal-FDM Proben weisen eine höhere Leitfähigkeit auf
- › PBF-LB Proben weisen eine höhere Härte auf
- › Abweichungen vom IACS werden durch oxidationsbedingte Porosität verursacht

Messergebnisse der Materialeigenschaften von Metal-FDM und PBF-LB -Proben

Messgröße	Metal-FDM	% IACS	PBF-LB	% IACS
El. Leitf. in m/Ω*mm <sup>2</sup>	29,69	51,19	21,72	37,45
Therm. Leitf. in W/(m*K)	141,45	35,36	125,07	31,27
Vickershärte HV1	30,84	77,10	41,80	104,50

### WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

- › Wegen hoher Investitionskosten für die Anlagentechnik für das Metal-FDM ist das PBF-LB bis zu einer Stückzahl von 5.200 wirtschaftlich günstiger
- › Outsourcing des Entbinder- und Sinterprozesses zu einem Dienstleister reduziert die Stückkosten und Investitionskosten für das Metal FDM maßgeblich
- › Metal-FDM + Dienstleister wirtschaftlich mit Abstand am günstigsten

Vergleich der Kosten des Metal-FDM und PBF-LB Prozesses

Einzelstückkosten in €	PBF-LB	Metal-FDM	Metal-FDM + Dienstleister
Formgebung	148,24	25,60	25,60
Entbindern	-	21,18	2,14
Sintern	-	68,18	-
Investitionskosten	300.000	475.000	35.000



Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH

Ernst-Ruska-Ring 3, 07745 Jena

Tel: +49 3641 204-100 | Fax: +49 3641 204-210

info@ifw-jena.de | www.ifw-jena.de | in ifw-jena | f ifwJena

Kontakt:

Dennis Melnikow, M. Eng.

Tel: +49 3641 204-228 | Mail: dmelnikow@ifw-jena.de