



RUB

# ÜBERTRAGBARKEIT VON PROZESSPARAMETERN BEIM PULVERBETTBASEIERTEN SCHMELZEN VON METALLPULVERN VERSCHIEDENER HERSTELLER MITTELS LASERSTRAHL

Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehrt

Oliver Pannitz, M. Sc.



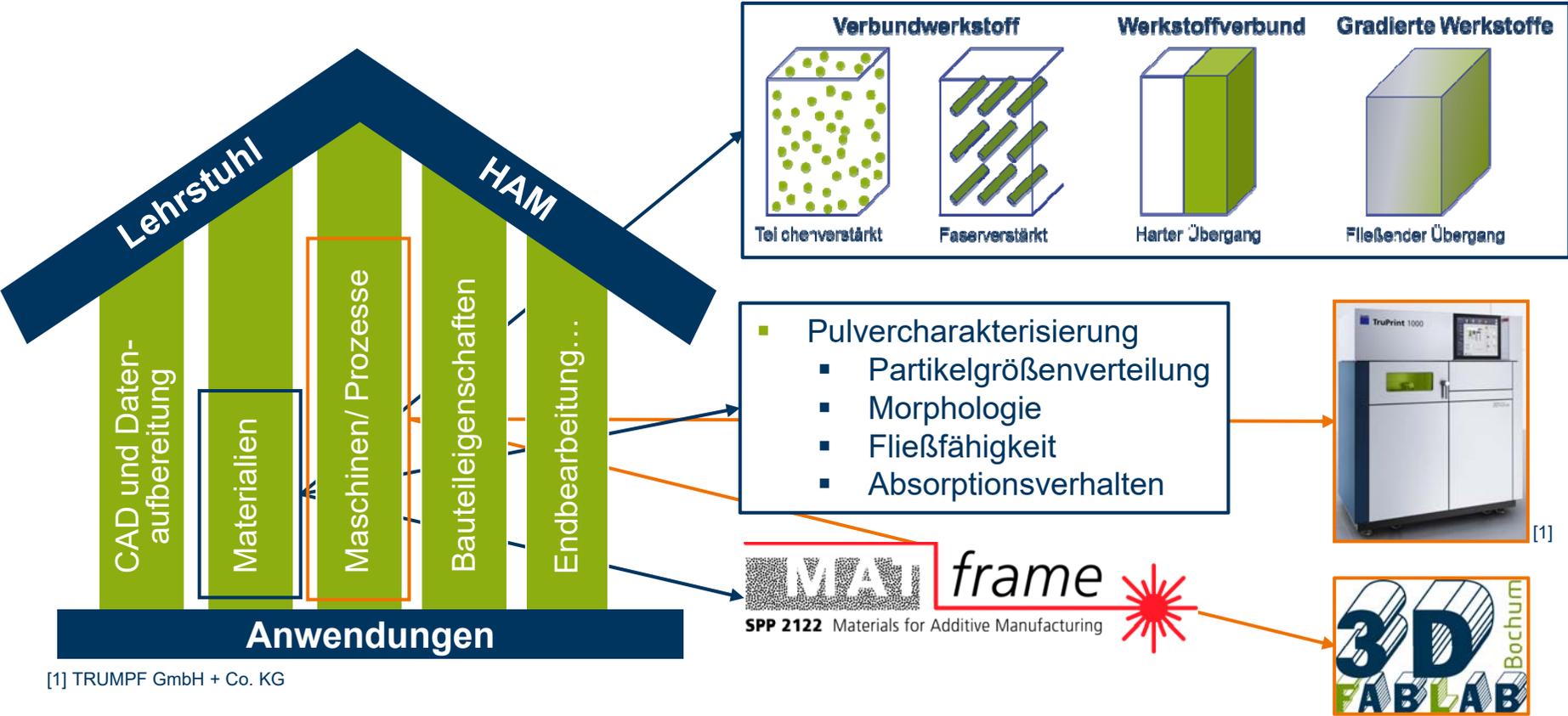
Lehrstuhl für  
Hybrid Additive Manufacturing  
Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehrt



Deutsche  
Forschungsgemeinschaft



# Lehrstuhl – Hybrid Additive Manufacturing



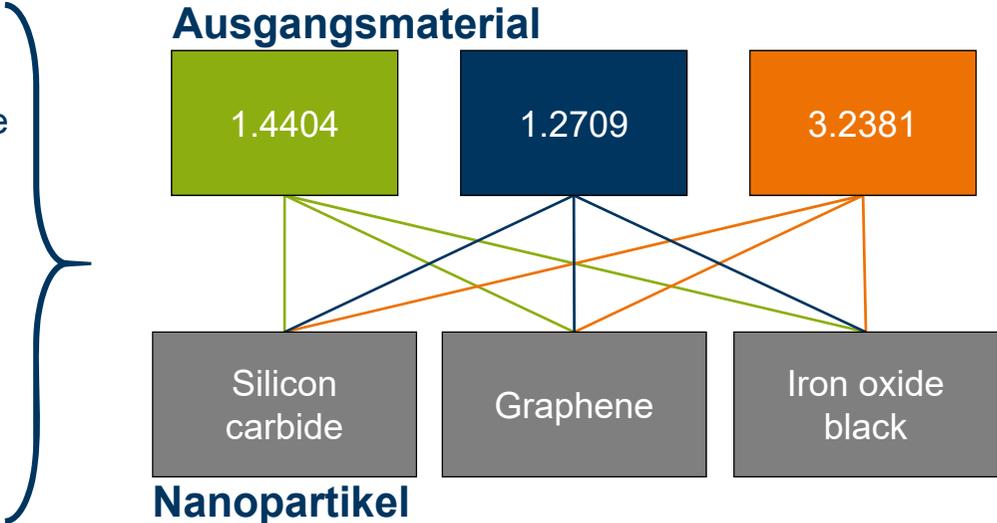
# SPP 2122 – Materials for Additive Manufacturing

## Eigenes Teilprojekt (2019 – 2021)

*Development of surface tailored metal powders for increased production efficiency at the laser powder-bed fusion additive manufacturing process*

### Allgemeine Ziele des Teilprojekts

- Untersuchung modifizierter Pulverwerkstoffe
  - Absorption
  - Geschwindigkeit des Pulverauftrags
  - Thermische Leitfähigkeit
  - Einfluss auf Bauteilqualität
- Prognose der thermischen Leitfähigkeit

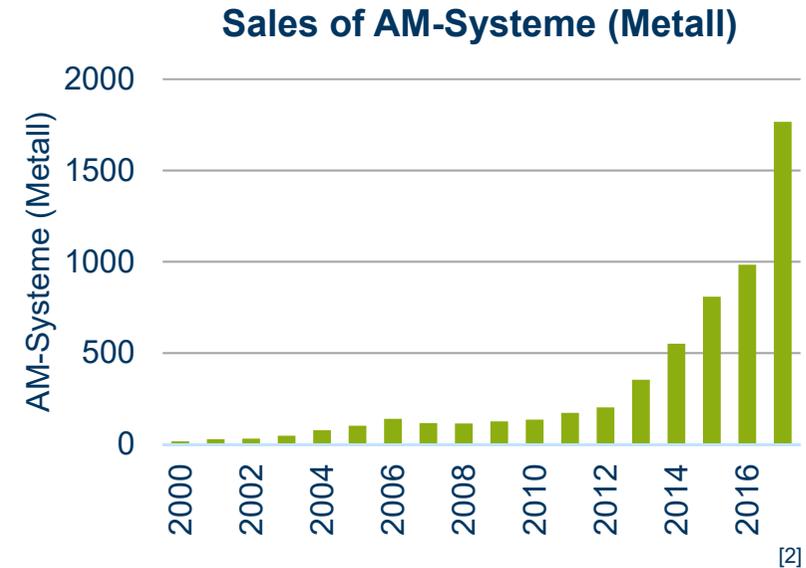


# Inhalt

1. Motivation
2. Laser-Strahlschmelzen (PBF-LB/M)
3. Material und Methoden
4. Ergebnisse und Diskussion
5. Zusammenfassung
6. Ausblick

# Motivation

- Erhöhte Verkaufszahlen von Metallsystemen in der additiven Fertigung
  - Erhöhte Nachfrage nach metallischen Pulverwerkstoffen
  - Hohe Kostenunterschiede zwischen Pulverlieferanten
  - Unterschiede in der Pulverqualität
- Edelstahl (1.4404/316L) als eines der am häufigsten verarbeiteten Materialien beim Laser-Strahlschmelzen (PBF-LB/M) [3]



## Übertragbarkeit von Standardparametern für den Laser-Strahlschmelzprozess?

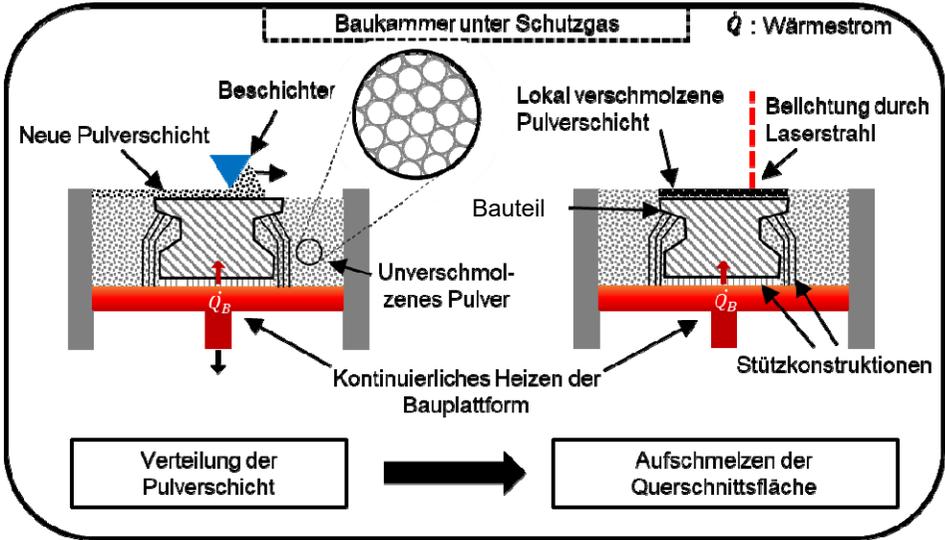
[2] Wohlers Report 2018

[3] Herzog, D.; Seyda, V.; Wycisk, E.; Emmelmann, C. (2016) Additive manufacturing of metals, Acta Materialia, 117: 371–392

# Laser-Strahlschmelzen (PBF-LB/M)

$$E_V = \frac{P_L}{D_S \times v_S \times h_D}$$

Name	Symbol	Unit
Volumenenergie-Dichte	$E_V$	J/mm <sup>3</sup>
Laserleistung	$P_L$	W
Schichtdicke	$D_S$	mm
Belichtungs-Geschwindigkeit	$v_S$	mm/s
Spurabstand	$h_D$	mm



Volumenenergiedichte und Pulverqualität repräsentieren wichtige Einflussgrößen auf den Laser-Strahlschmelzprozess

# Material und Methoden



[4] TRUMPF GmbH + Co. KG  
 [5] Buehler – ITW Test & Measurement GmbH

## Material und Methoden

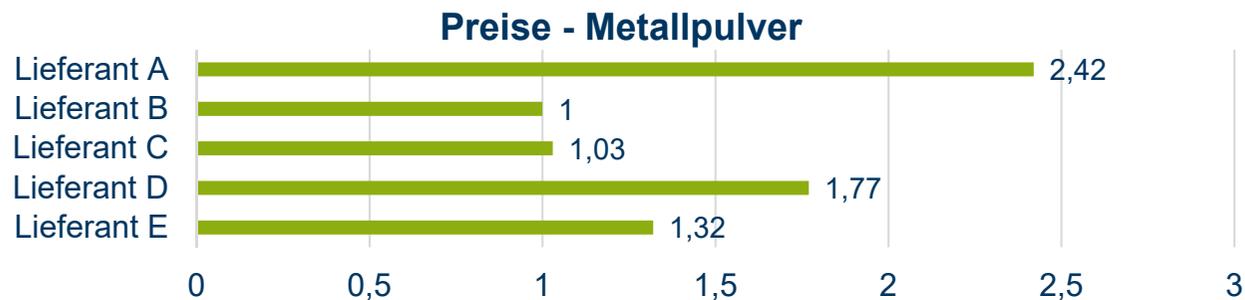
Eingangsparameter

Bauprozess

Ausgangsparameter

- Charakterisierung von **fünf** Metallpulvern (**Edelstahl 1.4404**) verschiedener Lieferanten
  - Partikelgrößenverteilung bestimmt durch *Mastersizer 2000* von *Malvern Panalytical Ltd.*
  - Pulvermorphologie analysiert durch *Keyence VHX 6000* Digitalmikroskop

Element	Fe	Cr	Ni	Si	Mo	Mn	P	S	C
Gehalt in Gew.-%	bal.	16,5 – 18,5	10,0 – 13,0	max. 1,0	2,0 – 2,5	max. 2,0	max. 0,045	max. 0,015	max. 0,03



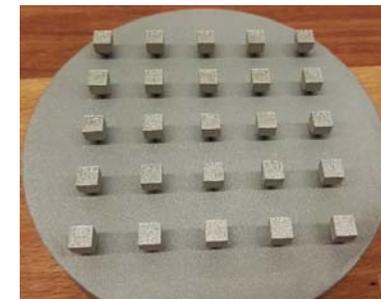
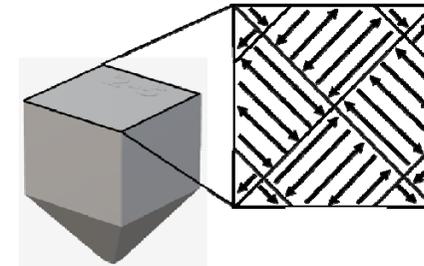
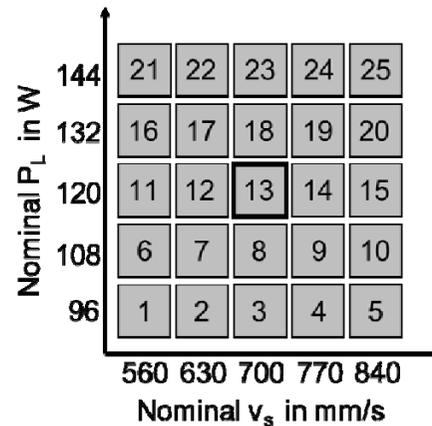
# Material und Methoden

Eingangsparameter

Bauprozess

Ausgangsparameter

- 25 Proben auf einer kommerziell erhältlichen Laser-Strahlschmelzanlage (*Trumpf TruPrint 1000*)
- Probe #13 repräsentiert den 1.4404 Standard Parametersatz
- Alternierende (90°) Schachbrettstrategie
- $D_s = 20 \mu\text{m}$ ,  $h_D = 90 \mu\text{m}$
- Proben ( $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ ) verbunden mit der Bauplattform durch eine umgedrehte Pyramidenform
- Entfernung der Proben durch einen angepassten Steckschlüssel



## Material und Methoden

Eingangsparameter

Bauprozess

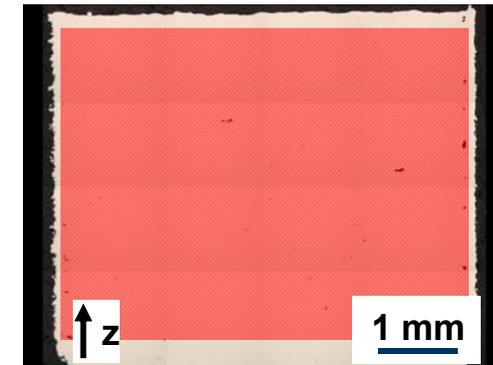
Ausgangsparameter

- Optische Analyse der **relativen Dichte** ( $\rho_{rel}$ ) durch das *Keyence VHX 6000* Digitalmikroskop

$$\rho_{rel} = \frac{A_{pore}}{A_{extr}} \times 100 \%$$

Name	Symbol	Unit
Relative Dichte	$\rho_{rel}$	%
Porenfläche	$A_{pore}$	mm <sup>2</sup>
Extraktionsbereich	$A_{extr}$	mm <sup>2</sup>

- Ätzung der Proben durch V2A-Beize zur Untersuchung der **Mikrostruktur**
- HV<sub>10</sub> Härtemessung** unter Verwendung des *KB 30 S* von *KB Prüftechnik GmbH*

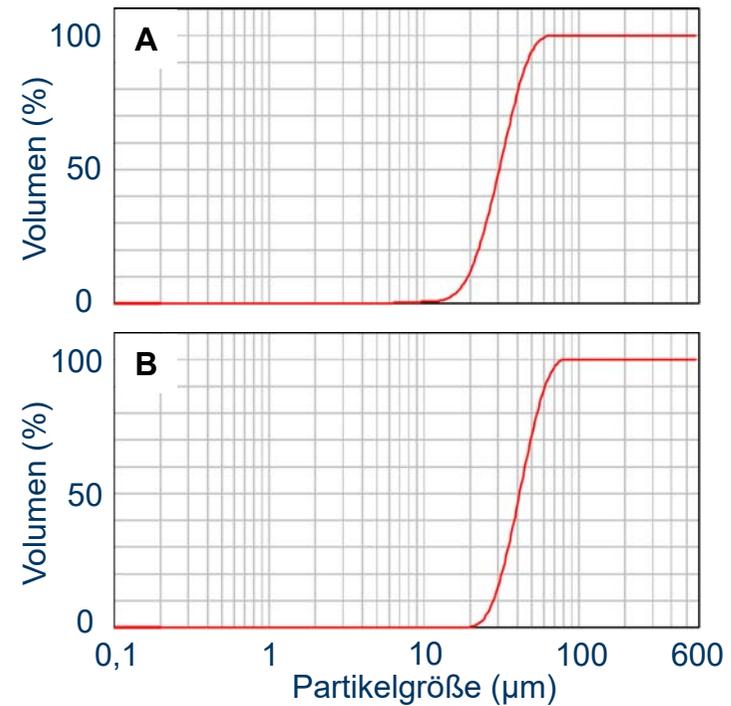


# Ergebnisse und Diskussion

## Partikelgrößenverteilung

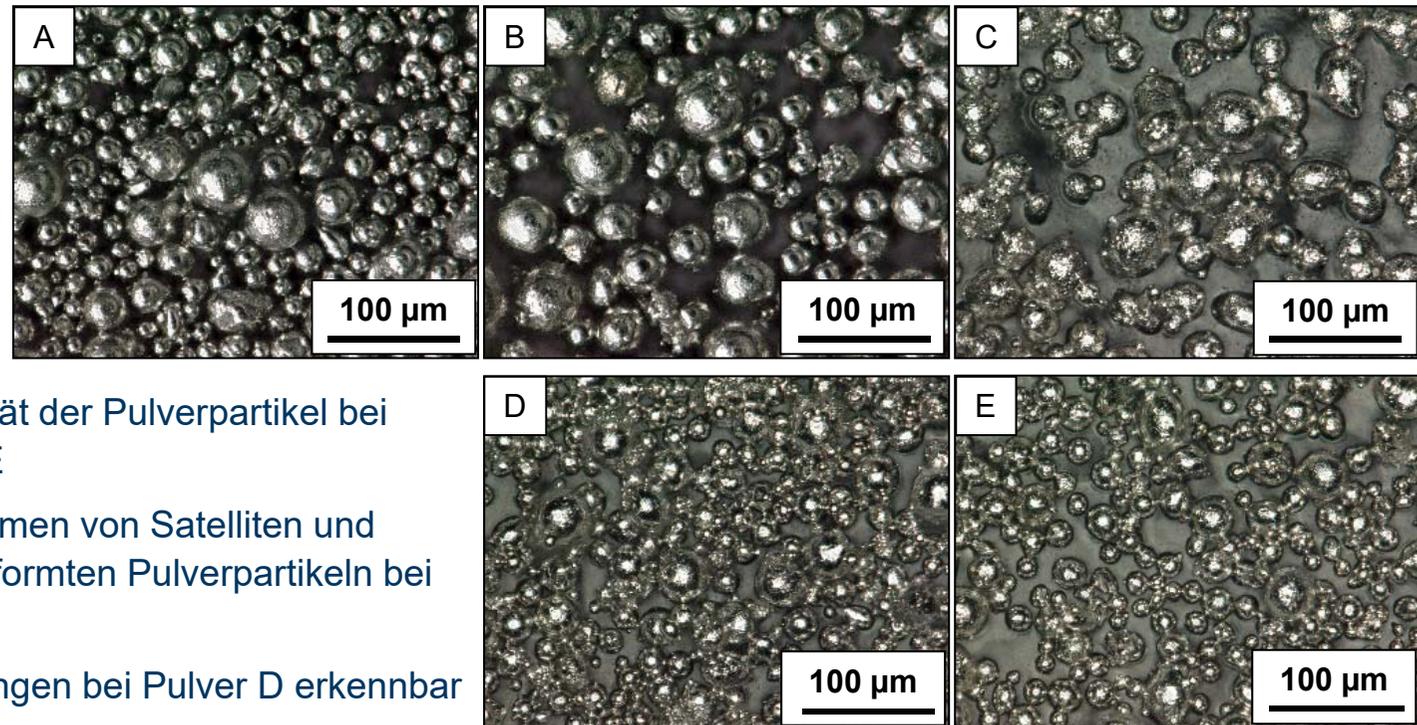
- Reduzierte Partikelgröße bei Pulver A, D und E
- Partikelgröße ( $d_{50}$ ) von Pulver A ca. 27 % kleiner als Hersteller B

Supplier	$d_{10}$ in $\mu\text{m}$	$d_{50}$ in $\mu\text{m}$	$d_{90}$ in $\mu\text{m}$
A	19,44	31,00	47,00
B	28,40	42,03	61,37
C	28,40	41,02	56,90
D	19,60	31,90	47,40
E	19,90	33,80	49,00



# Ergebnisse und Diskussion

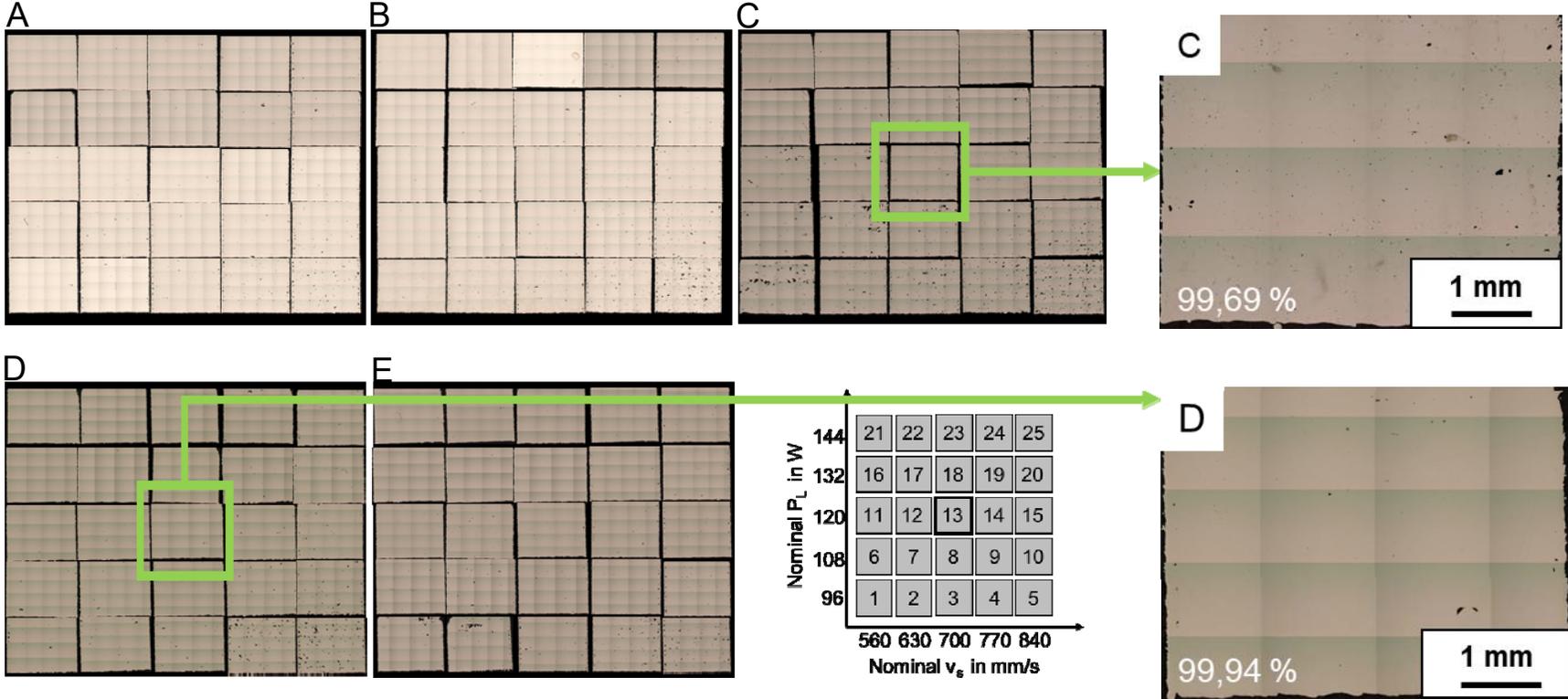
## Morphologie



- Erhöhte Sphärizität der Pulverpartikel bei Pulver A, B und E
- Erhöhtes Vorkommen von Satelliten und unregelmäßig geformten Pulverpartikeln bei Pulver C
- Pulveransammlungen bei Pulver D erkennbar
- Beeinträchtigung der Schüttdichte und Fließfähigkeit

# Ergebnisse und Diskussion

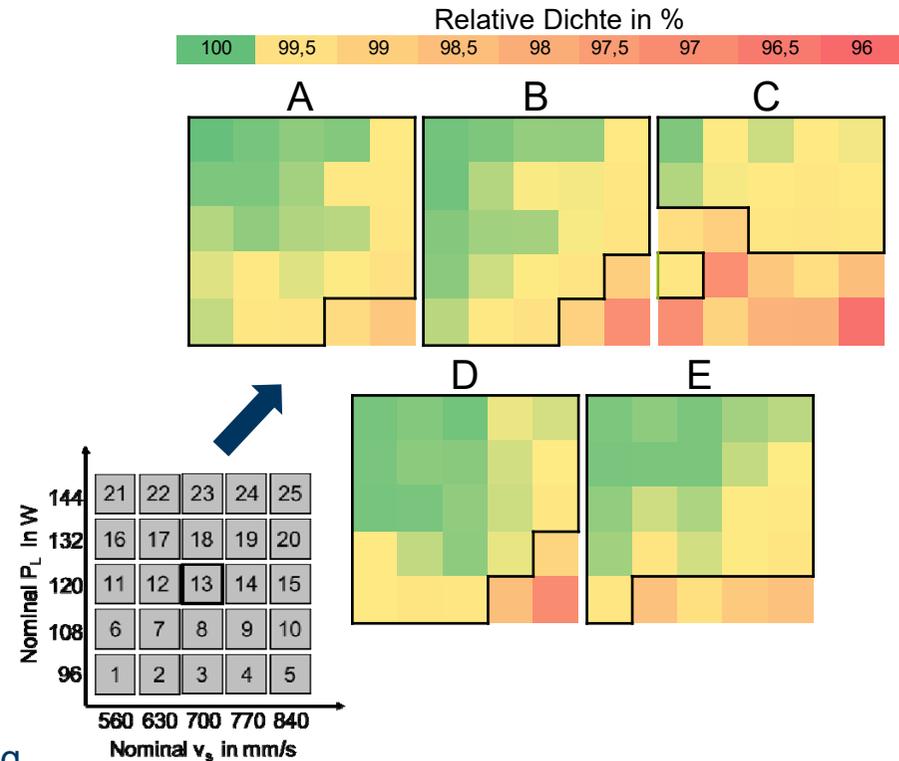
## Relative Dichte



# Ergebnisse und Diskussion

## Relative Dichte

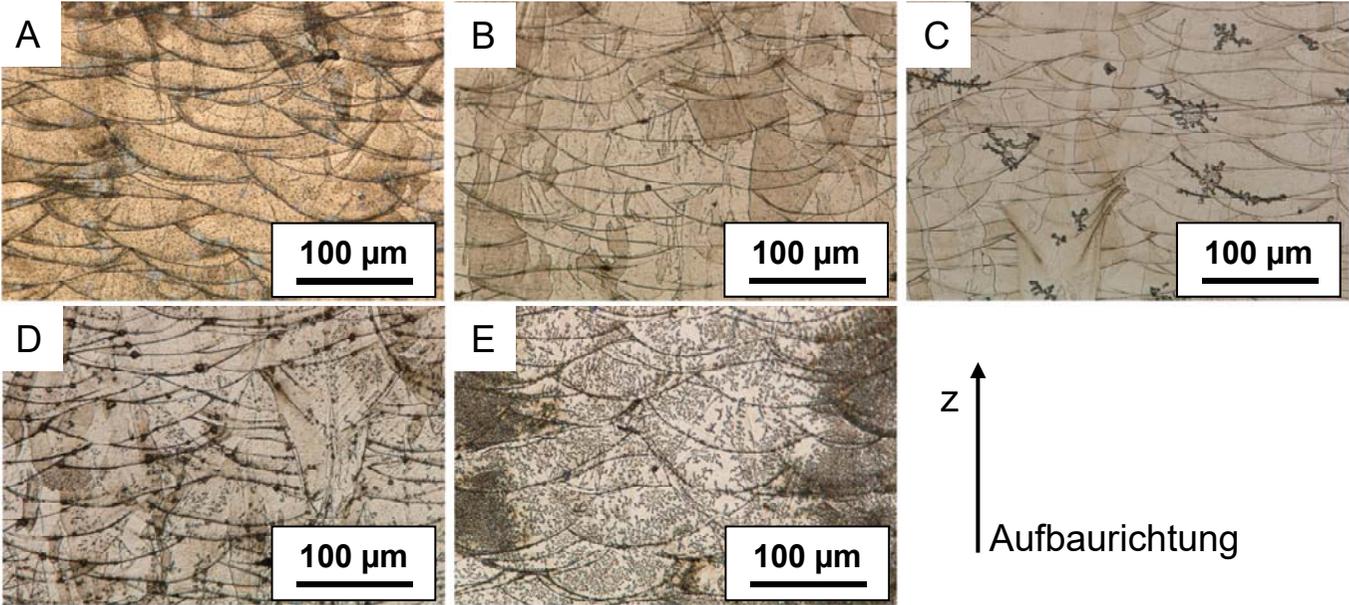
- Erhöhte relative Dichte bei erhöhter Volumenenergiedichte
- Forderung laut VDI 3405 – Blatt 2 →  $\rho_{rel} = 99 \%$
- Höchster Durchschnittswert von  $\rho_{rel} = 99,77 \%$  (Pulver A)
- Niedrigster Durchschnittswert von  $\rho_{rel} = 99,11 \%$  (Pulver C)
- Kleinere Partikelgrößenverteilung möglicherweise vorteilhaft für Dichte
  - Erhöhte Absorption aufgrund mehrfacher Streuung des Laserstrahls
- Formation von Poren aufgrund unregelmäßiger Partikelform und dessen Einfluss auf die Verteilung des Pulvers



# Ergebnisse und Diskussion

## Mikrostruktur

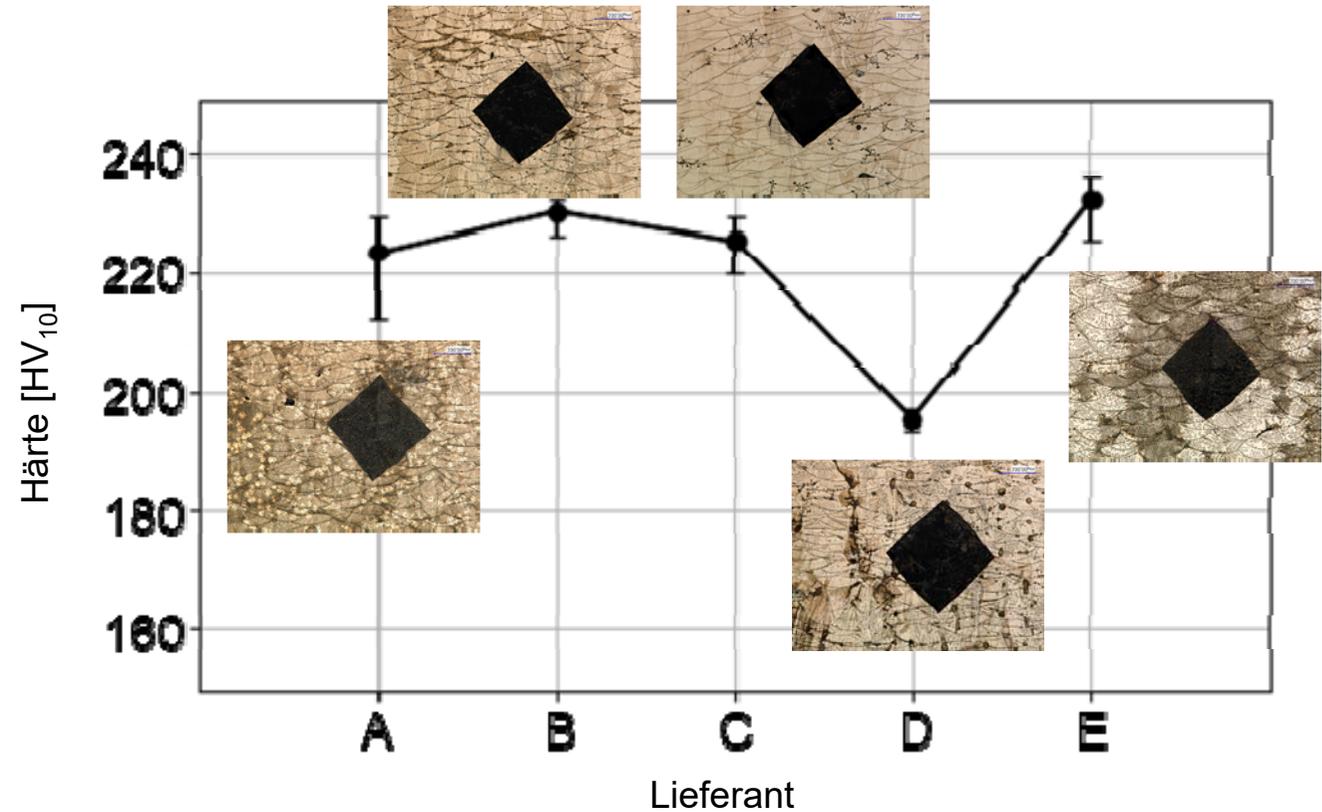
- Epitaktisches Kornwachstum
- Unregelmäßige Schmelzbad-Geometrie bei C und D
- Auffällig dunkle Stellen an der Berandung der Schmelzbäder bei D



## Ergebnisse und Diskussion

### Härtemessung

- $HV_{10}$ -Wert von Probe D ca. 16 % kleiner als von Probe E
- Probe D mit geringster Standardabweichung
- Mögliche Beeinflussung der Härte durch erhöhtes Vorkommen von Einschlüssen und unregelmäßiger Schmelzbadgeometrie



# Ergebnisse und Diskussion

## Ökonomische Beurteilung

- Große Preisunterschiede zwischen den Lieferanten
  - Geringste Preis (B) nur ca. 40 % vom teuersten Lieferanten (A)
- Industrie und Forschung
  - Bestellung großer Pulvermengen wirkt sich positiv auf den Preis aus
  - Analyse der Qualität der Pulverwerkstoffe notwendig
- Hochleistungskomponenten
  - Prüfung mechanischer Eigenschaften notwendig
- Zur Kostenersparnis
  - Verwendung des Pulvers von Drittanbietern mit Adaption des Prozesses und Prüfung möglich

## Zusammenfassung

- Edelstahl 1.4404 von fünf verschiedenen Lieferanten
  - Partikelgrößenverteilung
  - Morphologie
- Standardisierter Bauprozess
  - Prozessierbarkeit
  - Übertragbarkeit von Standard Prozessparametern
- Bauteilqualität
  - Relative Dichte
  - Mikrostruktur
  - Härtemessung



- Theoretische Übertragbarkeit von Standardparameter auf einer kommerziellen Laser-Strahlschmelzanlage möglich
- Vergleichbare relative Dichte von > 99,5 % bei allen Pulvern möglich (Standard)
  - Leichte Anpassung der Prozessparameter erforderlich, um Dichte >> 99,5 % zu erreichen
- Keine direkte Korrelation zwischen relativer Dichte und Härte ersichtlich (Hersteller D)
  - Übertragbarkeit fragwürdig
- Prüfcharge empfehlenswert

# Ausblick

## Erweiterte Untersuchung der Pulver- und Bauteilqualität

- Pulverqualität
  - Fließfähigkeit (Pulverrheometer)
  - Absorptionsverhalten (DRIFTS)
- Bauteilqualität
  - Tiefergehende Analyse der Mikrostruktur
  - Analyse der Zugfestigkeit



[6]



[7]



## Erwarteter Erkenntnisgewinn

- Tiefergehendes Verständnis von Pulvercharakteristika und dessen Einfluss auf den Laser-Strahlschmelzprozess
- Partikelgrößenverteilung ↔ Fließfähigkeit
- Morphologie ↔ Absorptionsverhalten
- Beschichtete Werkstoffe zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit
  - Angepasste und ökonomischere Belichtungsparameter

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**Prof Dr.-Ing. Jan T. Sehart**  
Hybrid Additive Manufacturing  
Ruhr Universität Bochum  
Universitätsstr. 150  
44801 Bochum  
Tel.: +49 234-32-26162  
Email: [Jan.Sehart@ruhr-uni-bochum.de](mailto:Jan.Sehart@ruhr-uni-bochum.de)



Lehrstuhl für  
Hybrid Additive Manufacturing  
Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehart

