



RUB

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

Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehrt

Oliver Pannitz, M. Sc.



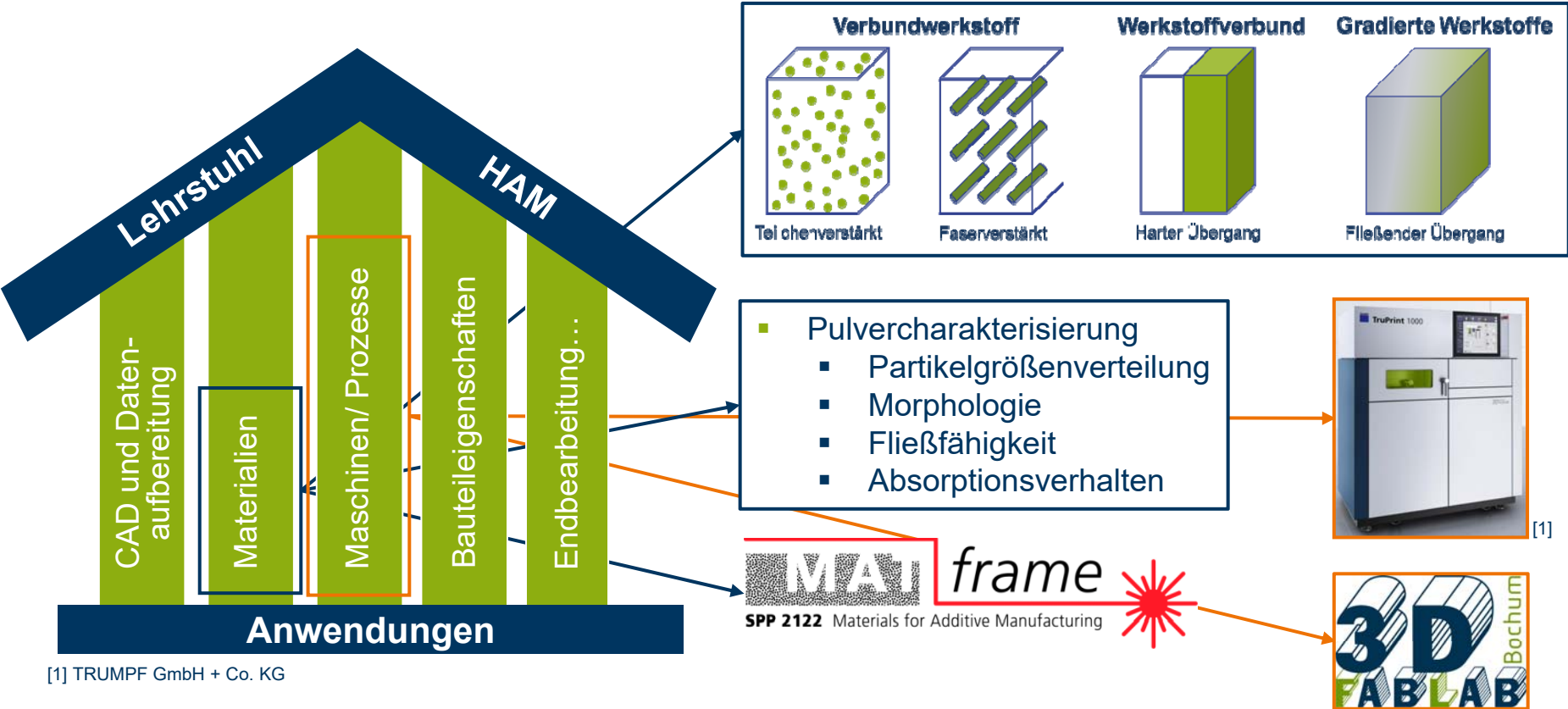
Lehrstuhl für
Hybrid Additive Manufacturing
Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehrt



Deutsche
Forschungsgemeinschaft



Lehrstuhl – Hybrid Additive Manufacturing



[1] TRUMPF GmbH + Co. KG

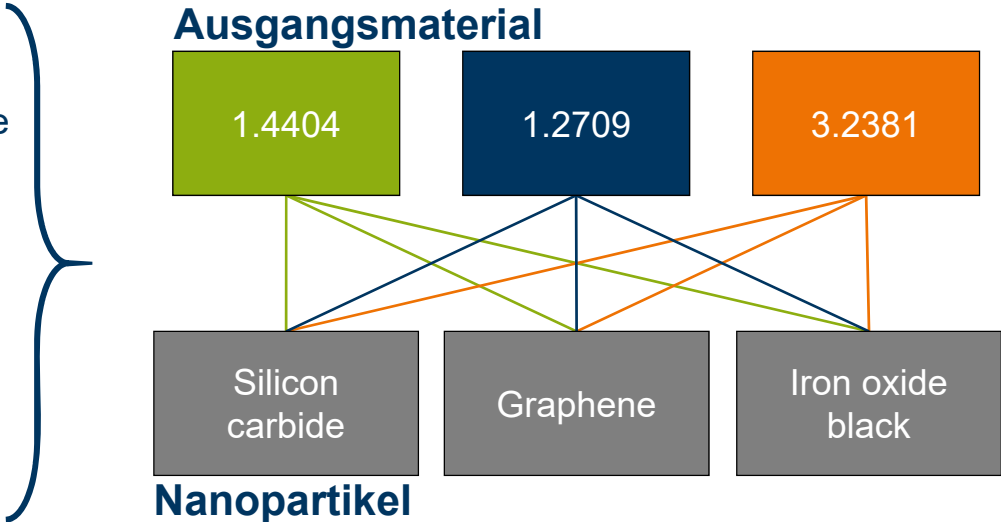
SPP 2122 – Materials for Additive Manufacturing

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

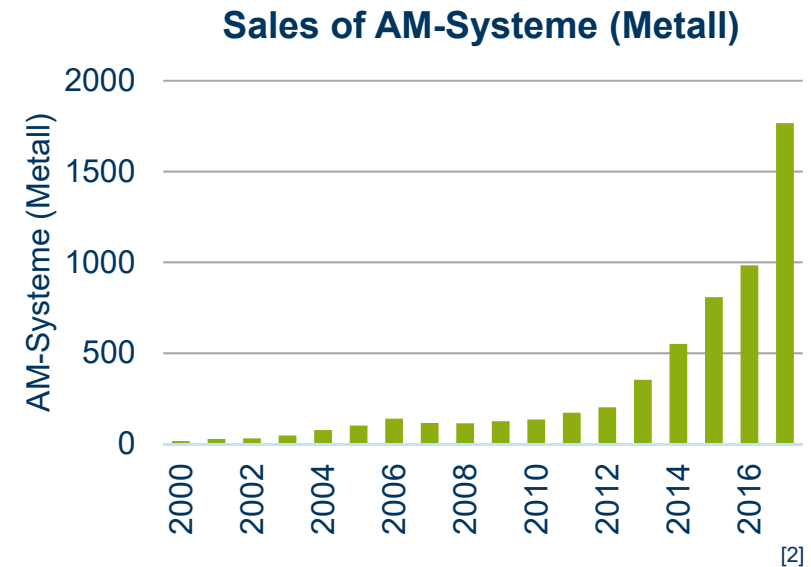


Inhalt

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?

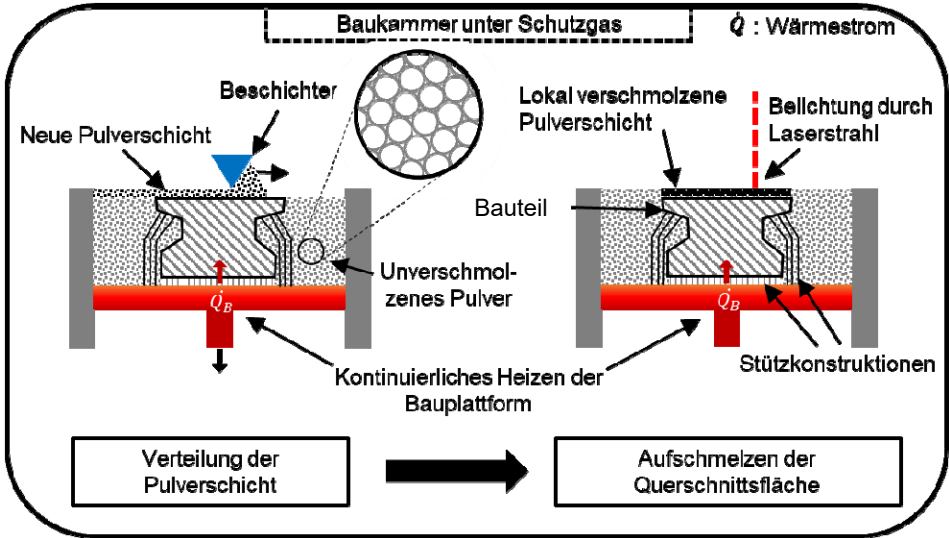
[2] Wohlers Report 2018

[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 ³
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

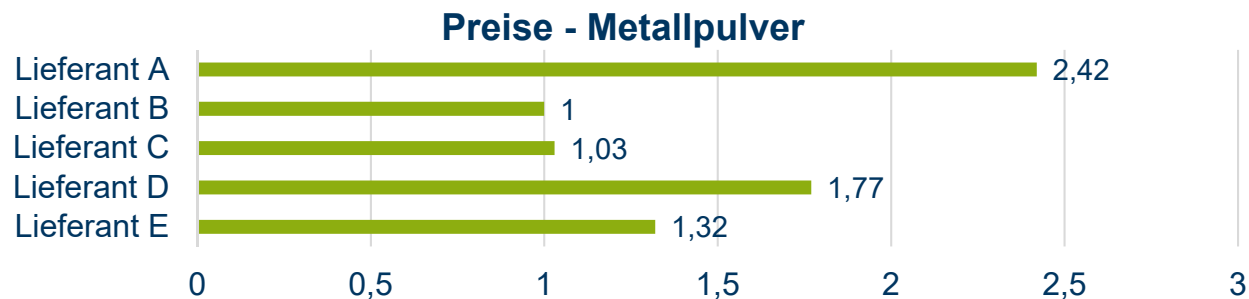
Eingangsparameter

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



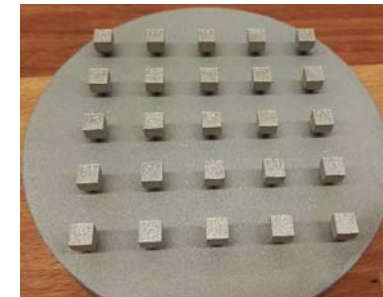
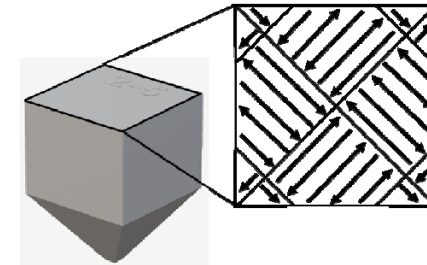
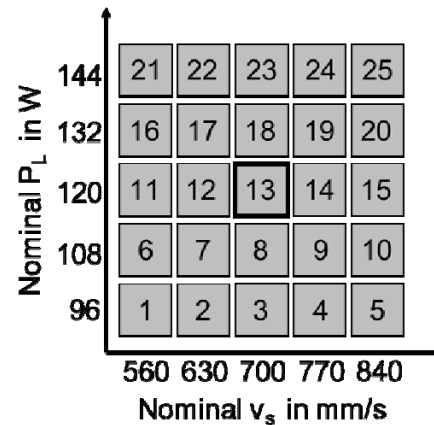
Material und Methoden

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 Bauplatzform durch eine umgedrehte Pyramidenform
- Entfernung der Proben durch einen angepassten Steckschlüssel



Material und Methoden

Eingangsparameter

Bauprozess

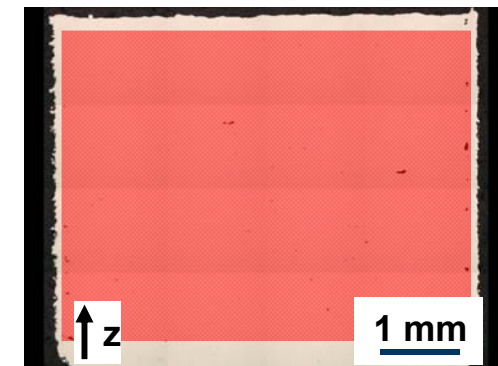
Ausgangsparameter

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

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

Name	Symbol	Unit
Relative Dichte	ρ_{rel}	%
Porenfläche	A_{pore}	mm ²
Extraktionsbereich	A_{extr}	mm ²

- Ätzung der Proben durch V2A-Beize zur Untersuchung der **Mikrostruktur**
- HV₁₀ Härtemessung** unter Verwendung des *KB 30 S* von *KB Prüftechnik GmbH*

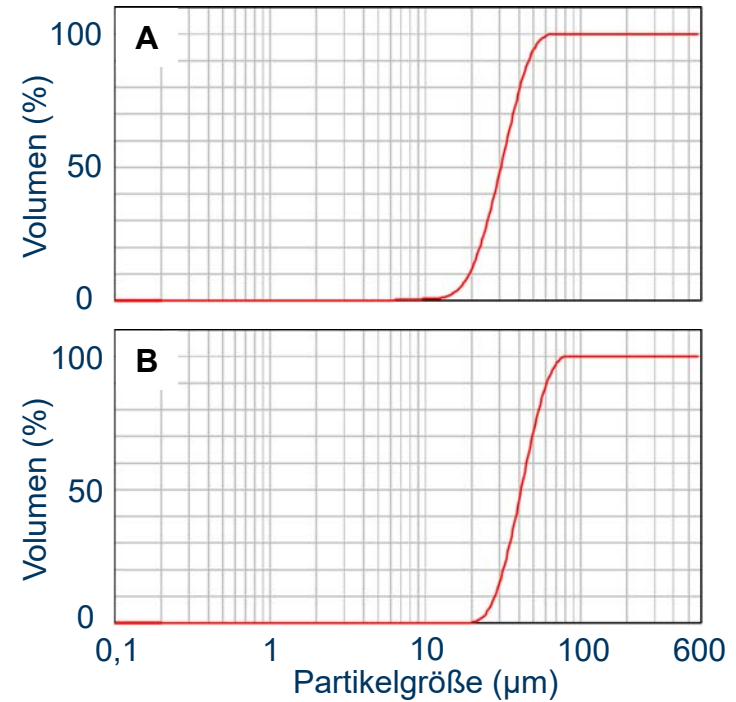


Ergebnisse und Diskussion

Partikelgrößenverteilung

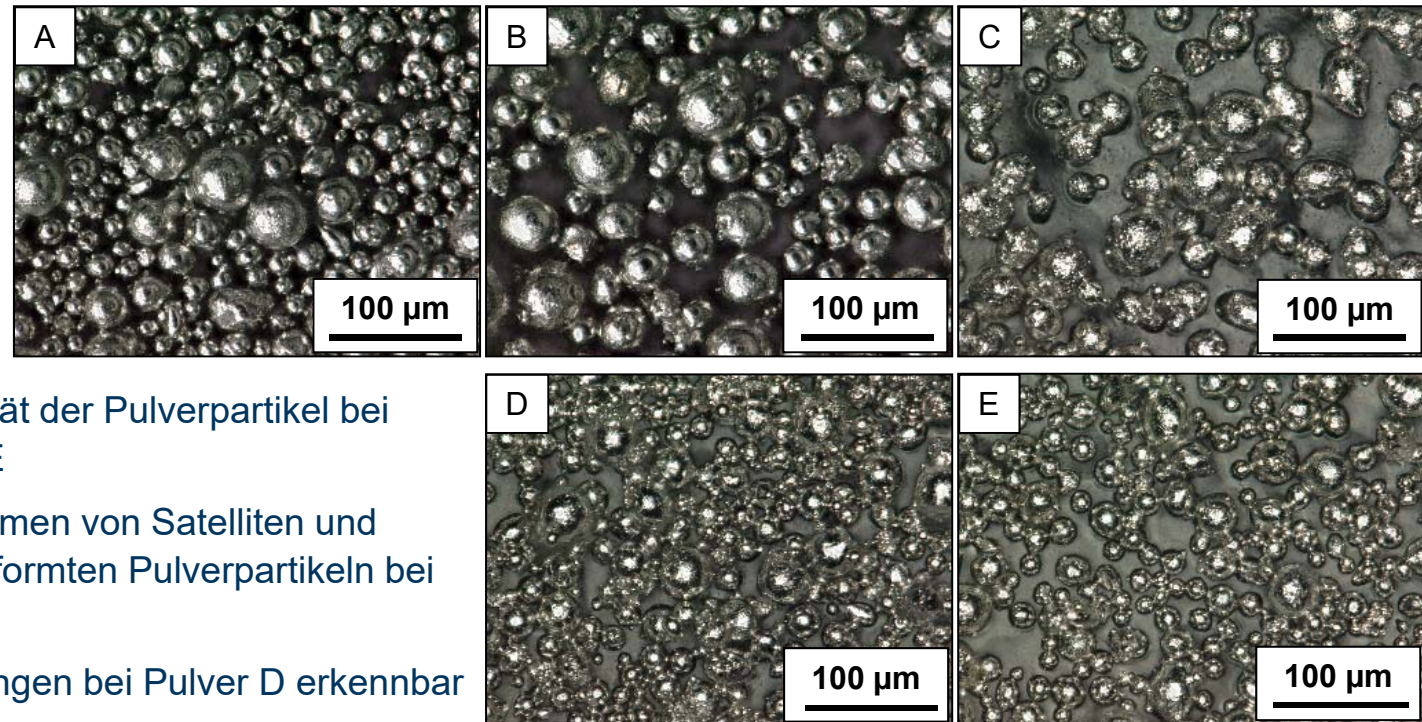
- Reduzierte Partikelgröße bei Pulver A, D und E
- Partikelgröße (d_{50}) von Pulver A ca. 27 % kleiner als Hersteller B

Supplier	d_{10} in μm	d_{50} in μm	d_{90} in μm
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

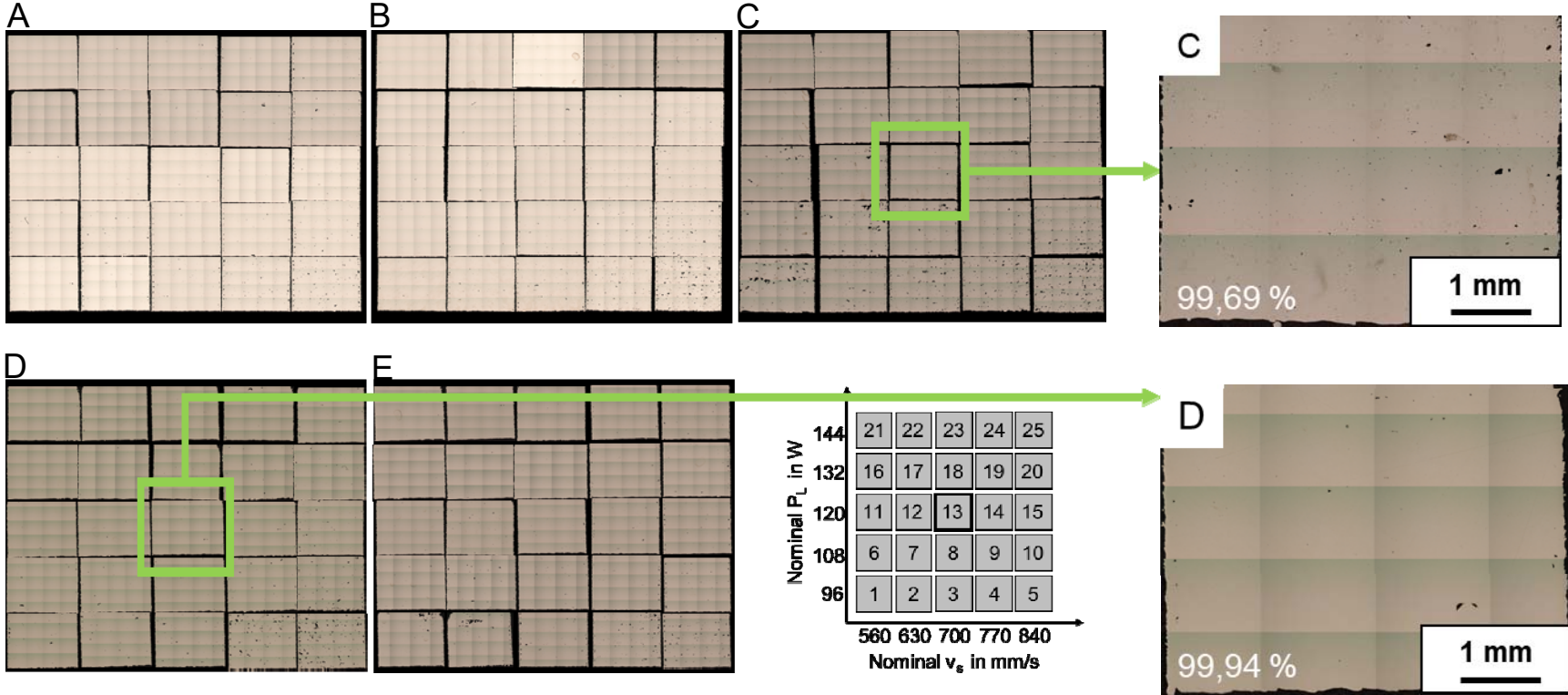
Morphologie



- 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

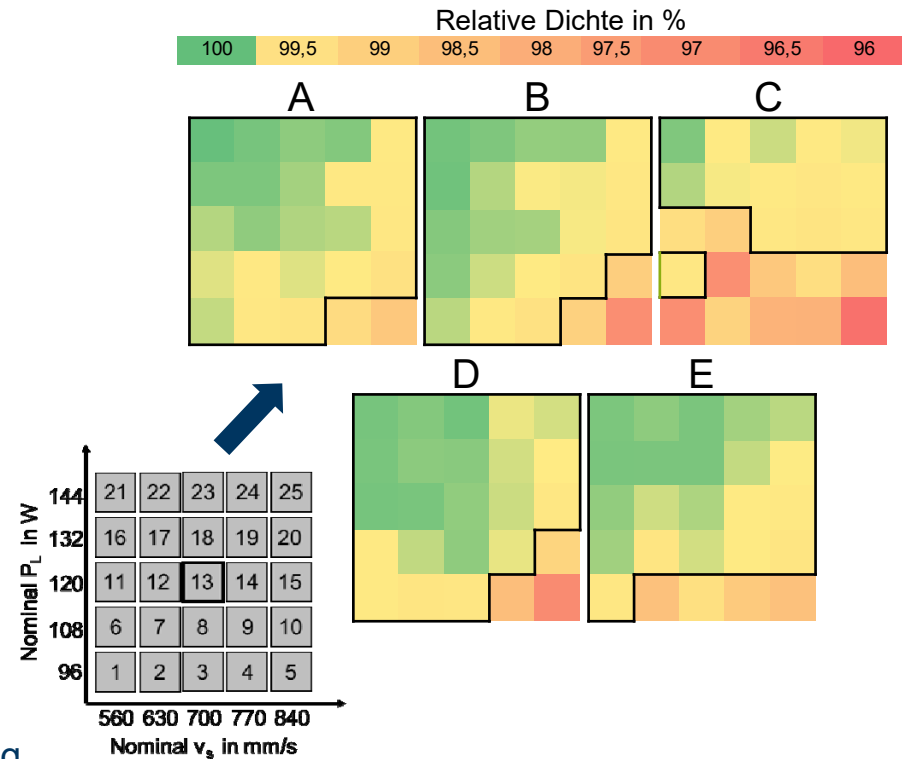
Relative Dichte



Ergebnisse und Diskussion

Relative Dichte

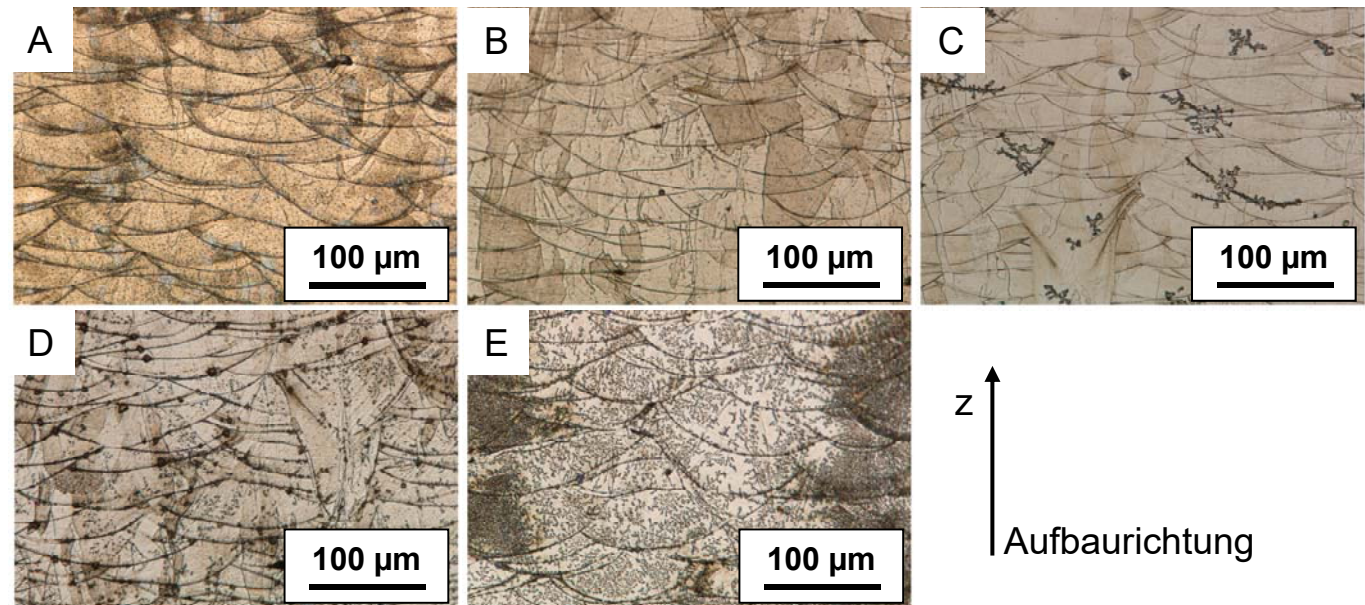
- Erhöhte relative Dichte bei erhöhter Volumenenergiedichte
- Forderung laut VDI 3405 – Blatt 2 → $\rho_{rel} = 99 \%$
- Höchster Durchschnittswert von $\rho_{rel} = 99,77 \%$ (Pulver A)
- Niedrigster Durchschnittswert von $\rho_{rel} = 99,11 \%$ (Pulver C)
- Kleinere Partikelgrößenverteilung möglicherweise 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

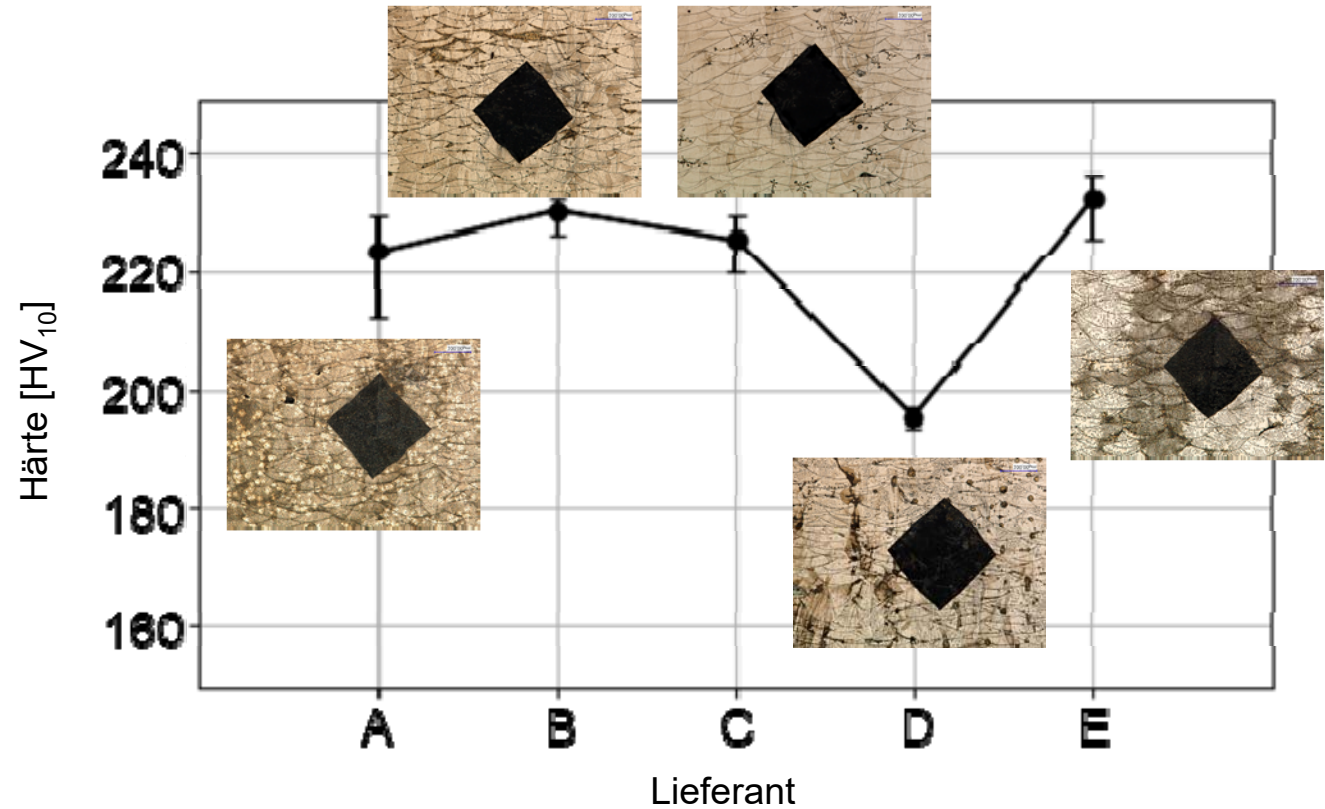
- Epitaktisches Kornwachstum
- Unregelmäßige Schmelzbad-Geometrie bei C und D
- Auffällig dunkle Stellen an der Berandung der Schmelzbäder bei D



Ergebnisse und Diskussion

Härtemessung

- HV₁₀-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]

[6] Thermo Fisher Scientific Inc.

[7] Freeman Technology

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



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

