



FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU

## Rückblick Masterarbeit Michel Traus

**Entmischungsvorgänge in AlSi10Mg-Pulver und deren Einfluss  
auf die Qualität additiv gefertigter Bauteile**

Zeitraum der Bearbeitung:

23. Juni 2022 bis 22. November 2022

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger (OVGU - IWF)

Dr.-Ing. Janett Schmelzer (OVGU - IWF)

Dipl.-Ing. Stefan Naumann (Oerlikon AM Europe GmbH)

INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND FÜGETECHNIK

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg

# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung**
- 2 Versuchsdurchführung**
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion**
- 4 Zusammenfassung**



# Inhalt des Vortrags

---

**1 Einführung und Zielstellung**

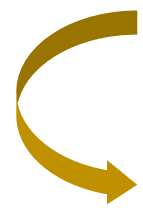
2 Versuchsdurchführung

3 Ergebnisdarstellung und Diskussion

4 Zusammenfassung



## Selektives Laserstrahlschmelzen im Pulverbett



**Auftragen einer definierten Pulverschicht**

**lokales Aufschmelzen des Metallpulvers**

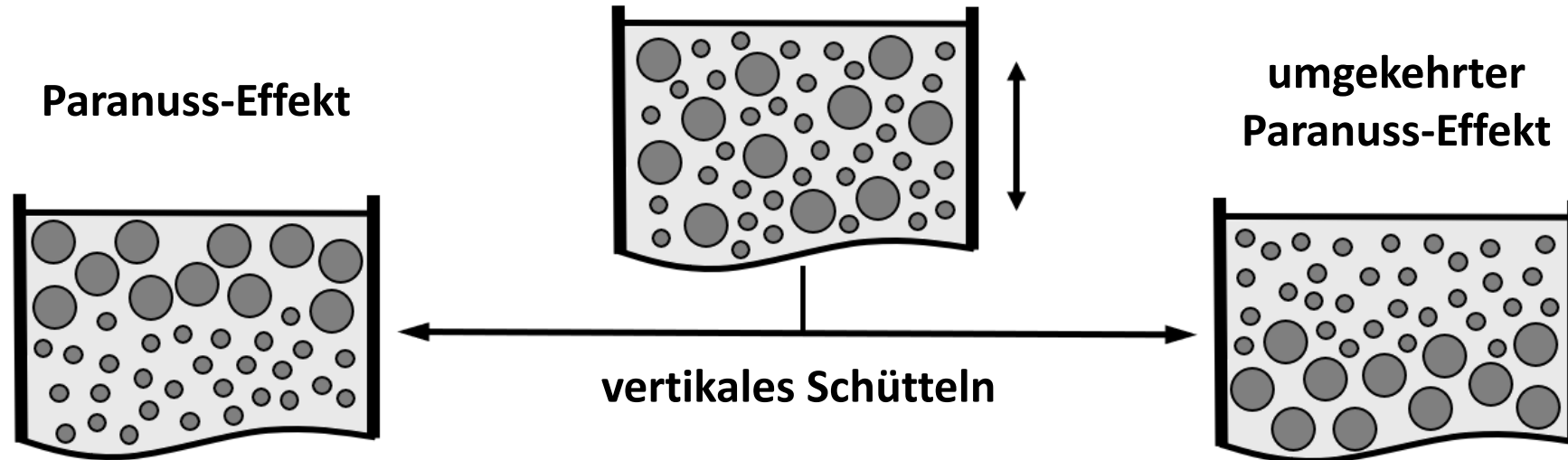


**Homogenes Pulverbett mit  
hoher Packungsdichte**



**Gleichmäßige Bauteilqualität  
und hohe relative Dichte**





[1]

**Entmischen sich feine Metallpulver nach diesem Mechanismus?**

**Beeinflusst die sich lokal einstellende Partikelgrößenverteilung die Bauteilqualität?**

# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung**
- 2 Versuchsdurchführung**
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion**
- 4 Zusammenfassung**



# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung
- 2 Versuchsdurchführung**
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion
- 4 Zusammenfassung



# Versuchsdurchführung

1. Charakterisierung des Versuchspulvers

2. Durchführung von Vibrationsversuchen und Entnahme von Pulverproben

3. Untersuchung der Pulverproben

→ Partikelgrößenverteilung

4. Bau von Testjobs mit ausgewählten Versuchspulvern aus den Vibrationsversuchen

5. Auswertung der gebauten Testjobs

→ relative Bauteildichte

→ Partikelgrößenverteilung

→ Festigkeit

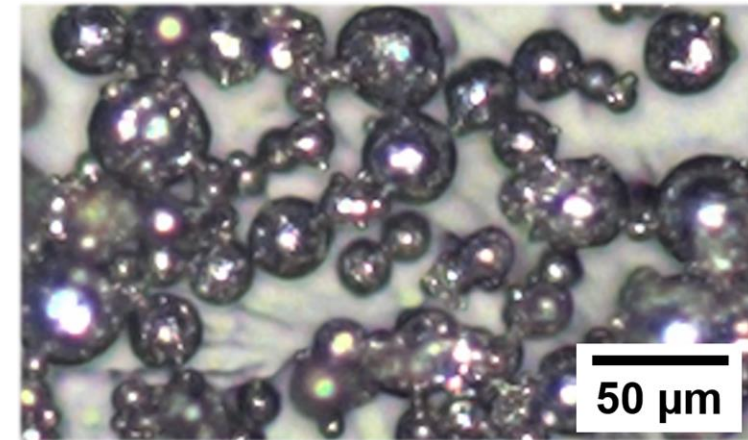
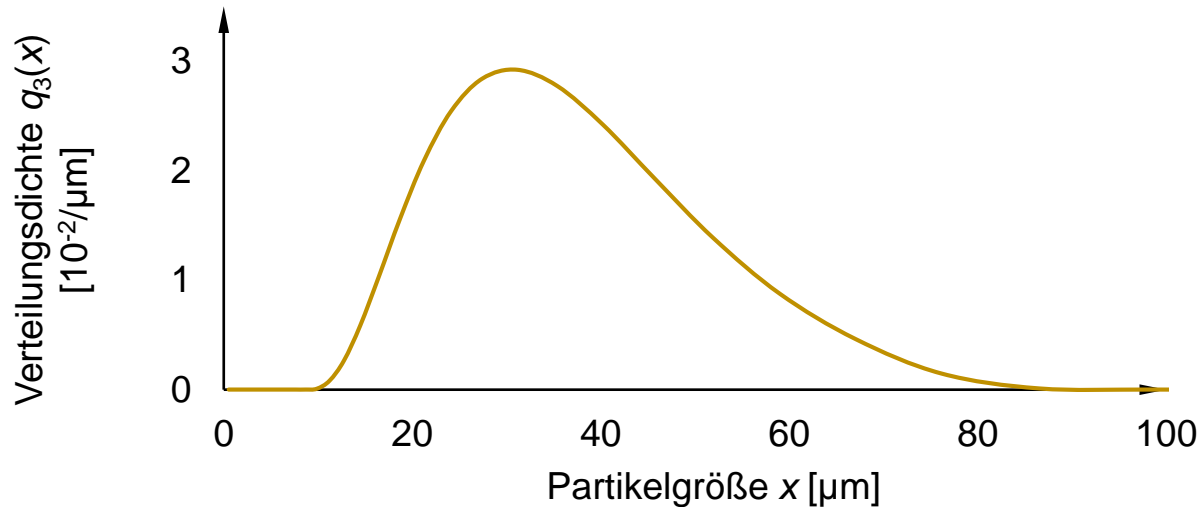


# Versuchsdurchführung

## Verwendetes Metallpulver

AlSi10Mg

Werkstoffdichte	2,65 g/cm <sup>3</sup>	1,37 g/cm <sup>3</sup>	Schüttdichte
Partikelgrößenbereich	10 - 86 μm	37,7 μm	mittlere Partikelgröße $\bar{x}_3$
Partikelform	sphärisch	≥ 0,94	Sphärizität

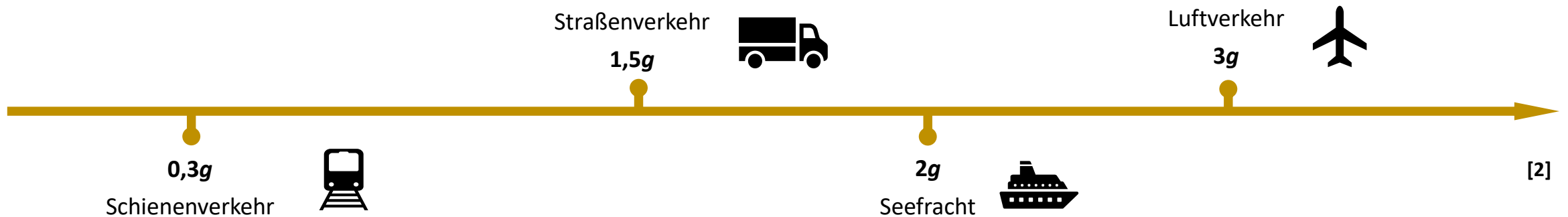


Lichtmikroskopische Aufnahme des verwendeten AlSi10Mg-Pulvers in 100-facher Vergrößerung

# Versuchsdurchführung

## Parameter für die Vibrationsversuche

Versuch	Signalform	Frequenz [Hz]	Amplitude [mm]	Beschleunigung [g]	Dauer [min]
V1	Breitbandrauschen (DIN EN 60068-2-64)	10 - 500	0,001 - 2,6	1,06	30
V2	Sinus	7,5	1	0,23	15
V3	Sinus	15	0,5	0,45	15
V4	Sinus	15	1	0,91	15
V5	Sinus	15	2	1,81	15
V6	Sinus	30	1	3,62	15



[2]

# Versuchsdurchführung

## Durchführung der Vibrationsversuche

→ Schwingungsprüfstand RMS SW 8110



# Versuchsdurchführung

## Probennahme

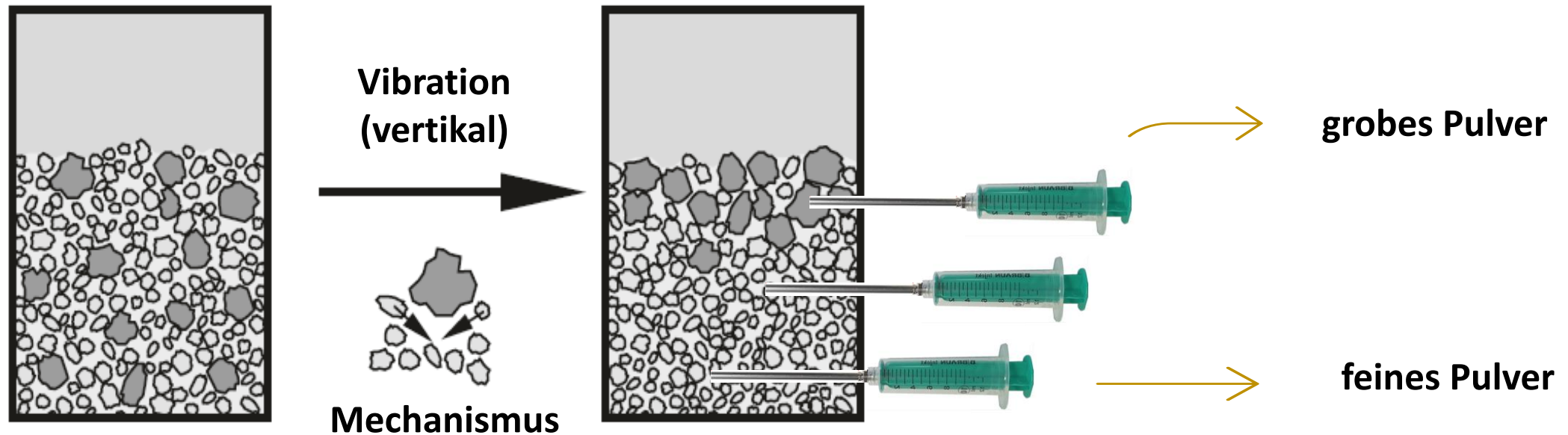
Entnahme **vor** und **nach** Durchführung der Vibrationsversuche



# Versuchsdurchführung

## Probennahme

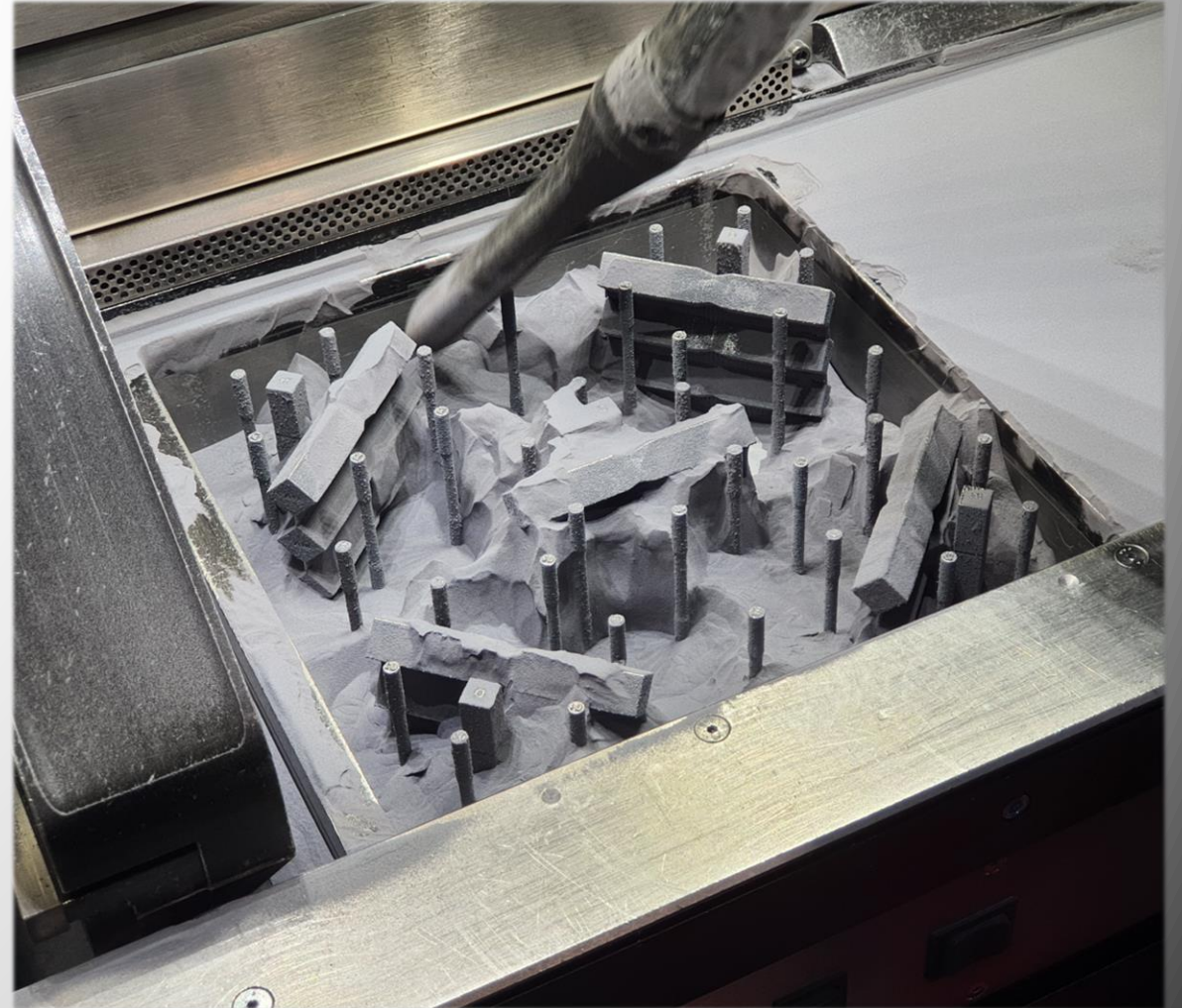
Entnahme **vor** und **nach** Durchführung der Vibrationsversuche



# Versuchsdurchführung

## Bau von Testjobs

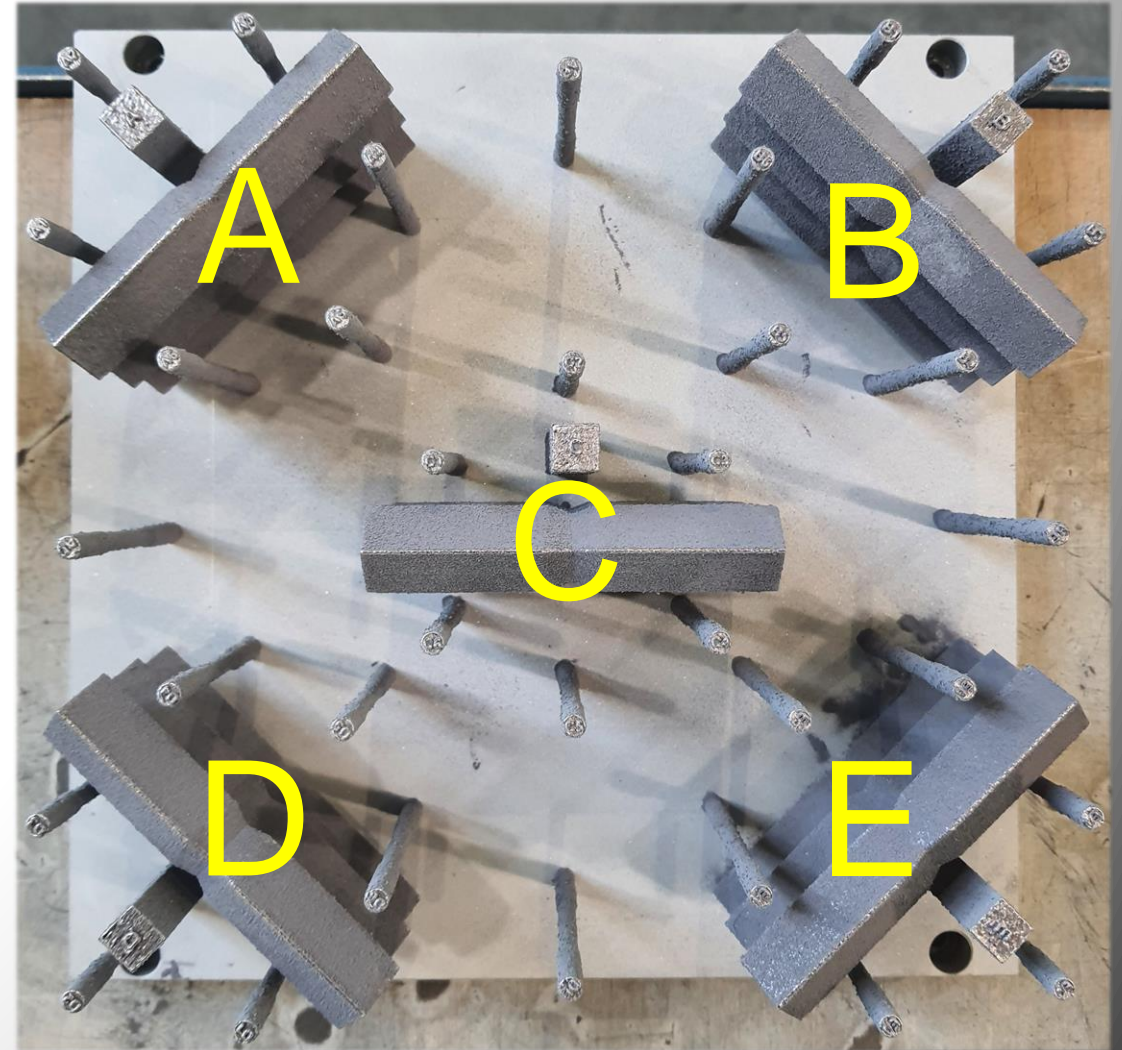
→ Laserschmelzanlage EOS M290



# Versuchsdurchführung

## Probekörper des Testjobs

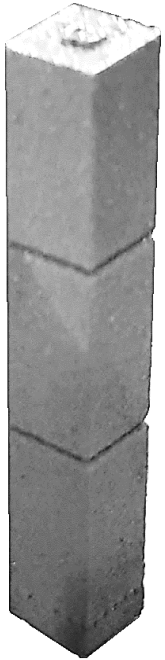
- Unterteilung des Bauraums in fünf Bereiche **A-E**
- Unterteilung des Bauraums in drei Höhen **Oben/Mitte/Unten**



Beschichtungsrichtung

# Versuchsdurchführung

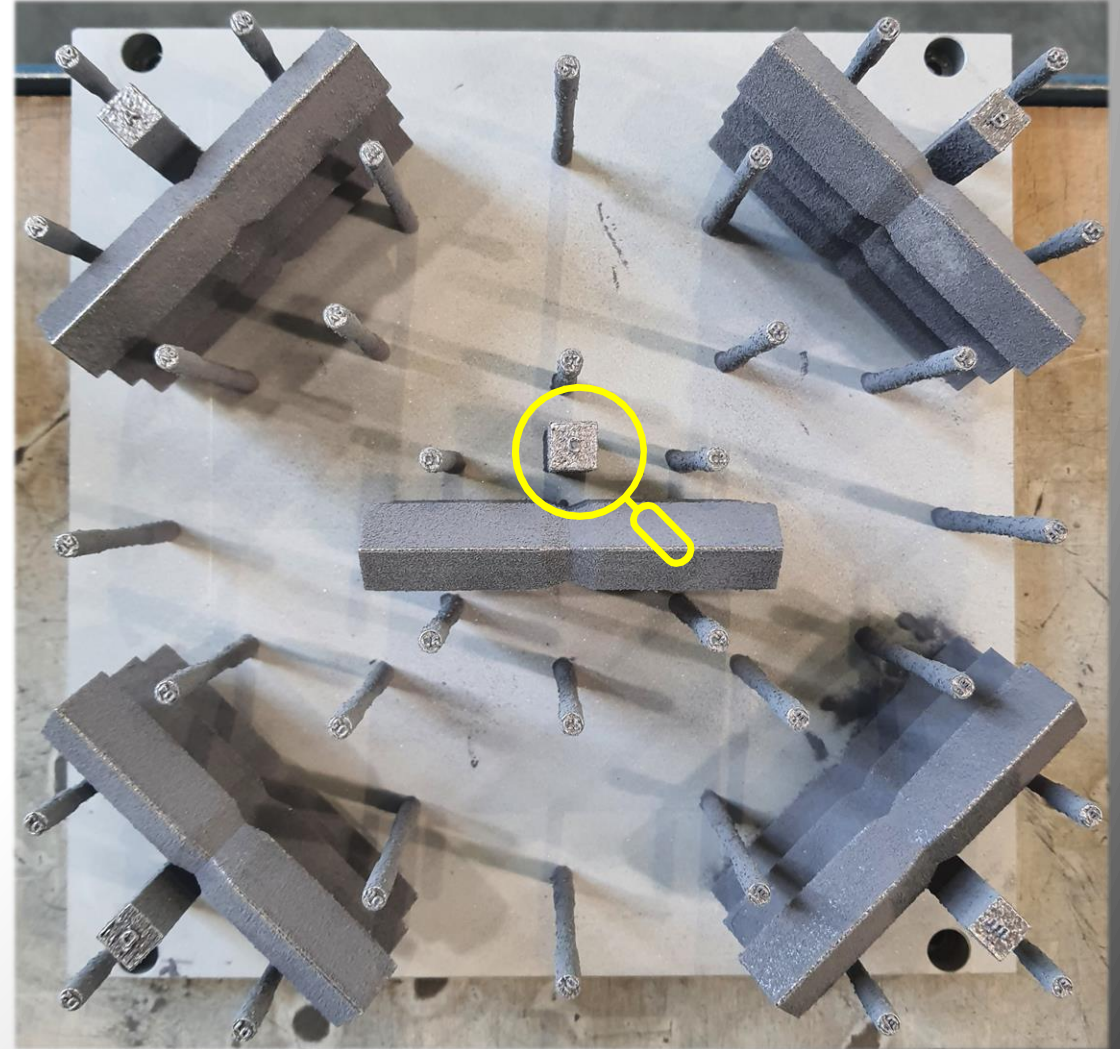
## Probekörper des Testjobs



## Dichtetürme

→ optische Porenanalyse

→ relative Bauteildichte



Beschichtungsrichtung



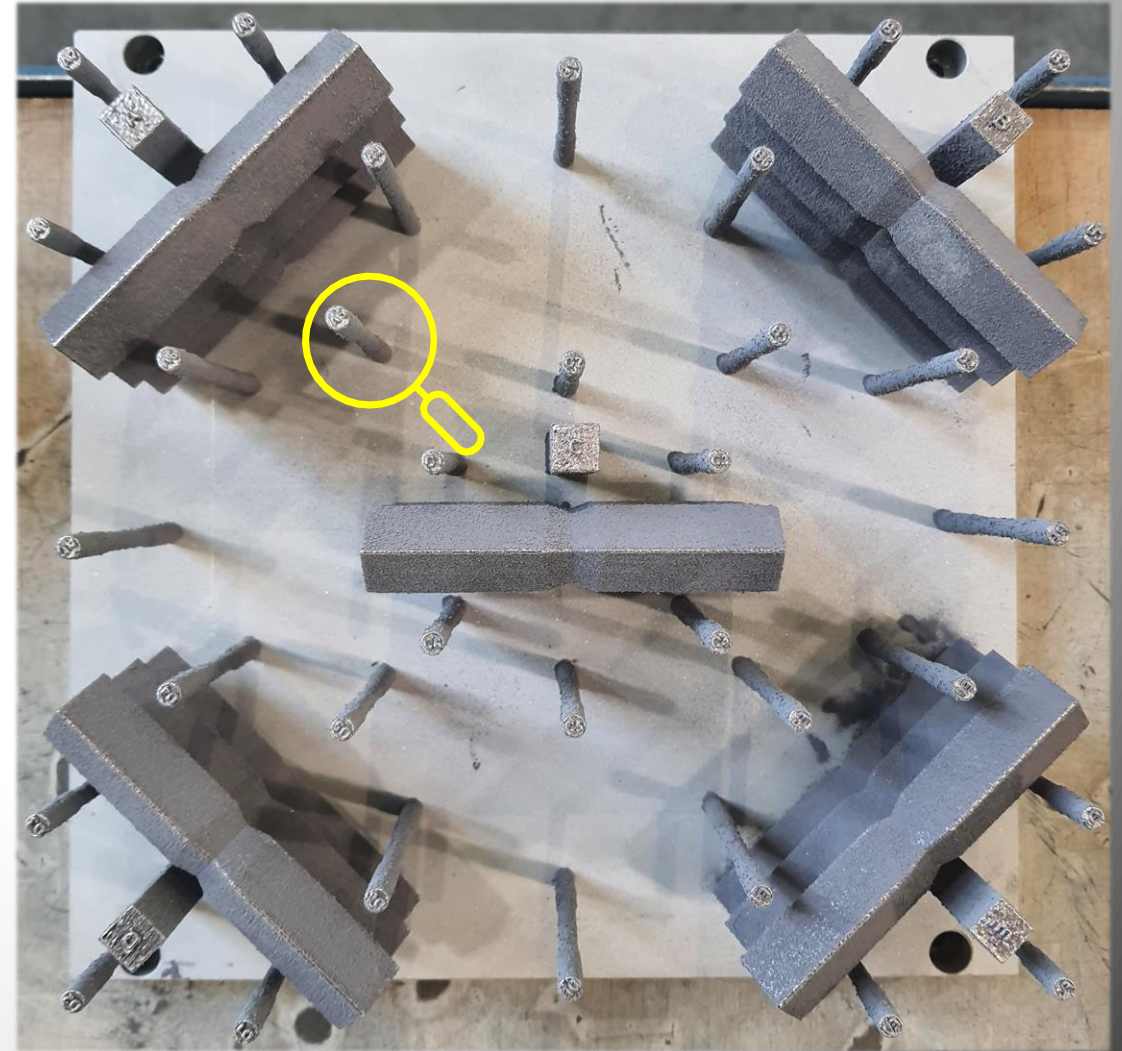
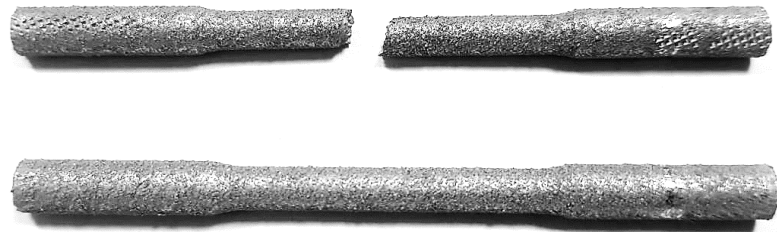
# Versuchsdurchführung

## Probekörper des Testjobs

### Zugproben

→ Zugprüfung

→ Festigkeit



← Beschichtungsrichtung

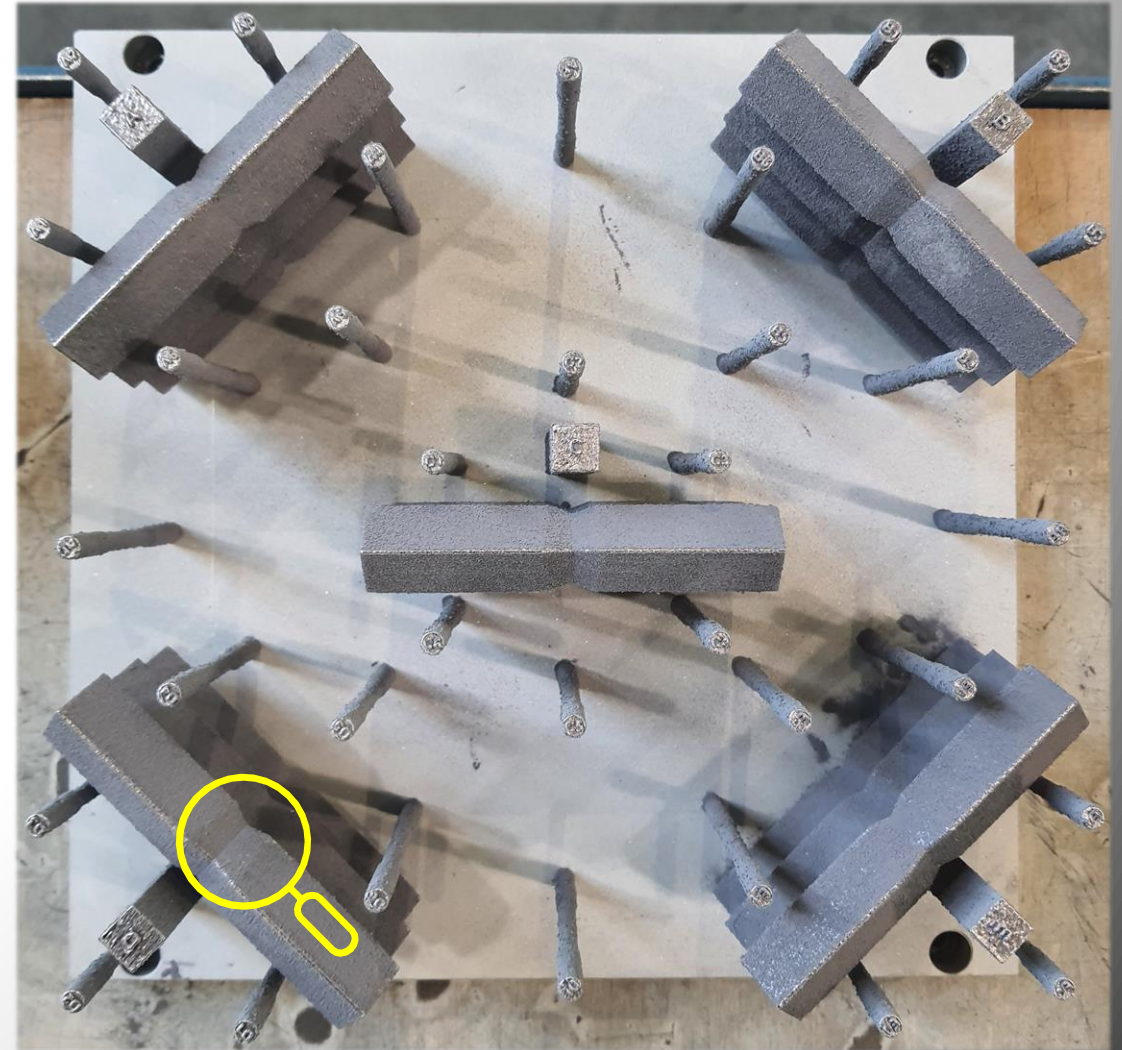
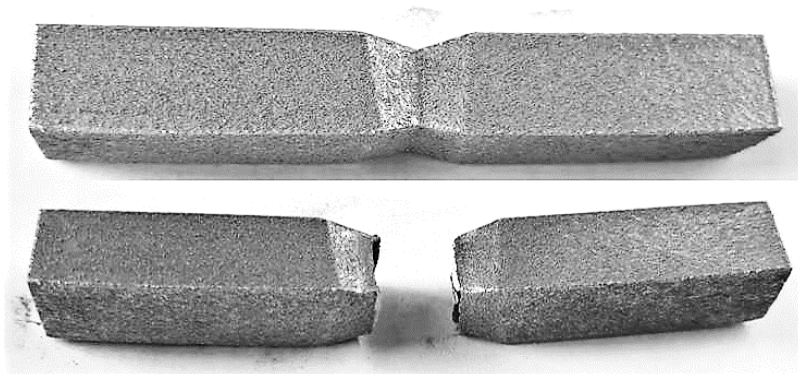
# Versuchsdurchführung

## Probekörper des Testjobs

### Pulvercontainer

→ Laserdiffraktometrie

→ Partikelgrößenverteilung



← Beschichtungsrichtung

# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung**
- 2 Versuchsdurchführung**
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion**
- 4 Zusammenfassung**



# Inhalt des Vortrags

---

1 Einführung und Zielstellung

2 Versuchsdurchführung

**3 Ergebnisdarstellung und Diskussion**

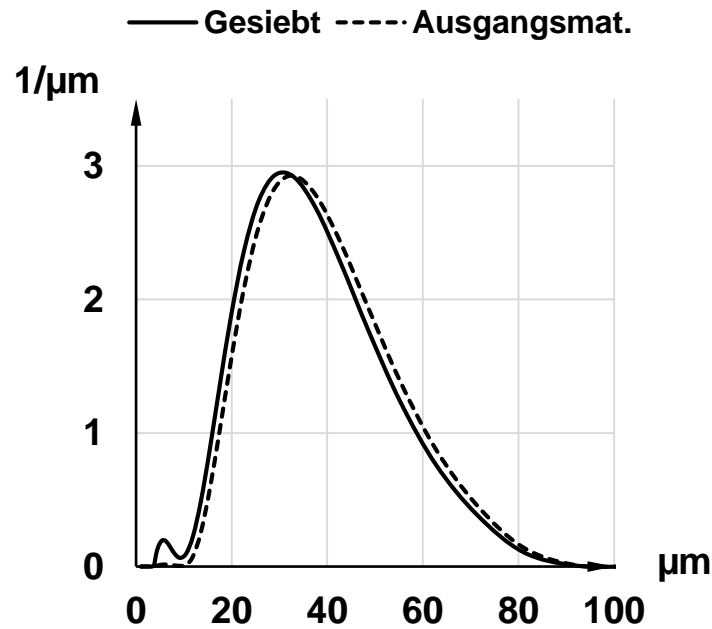
4 Zusammenfassung



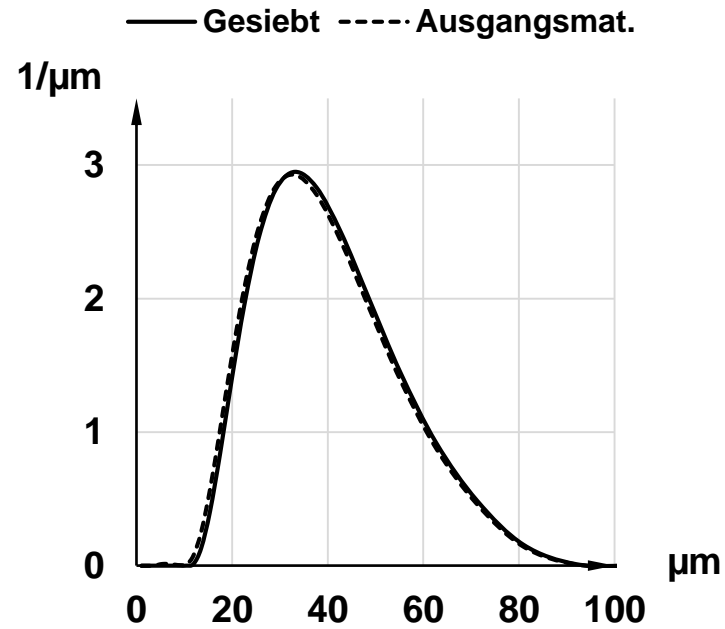
# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Partikelgrößenverteilung in den Behältern **vor** dem Vibrationsversuch

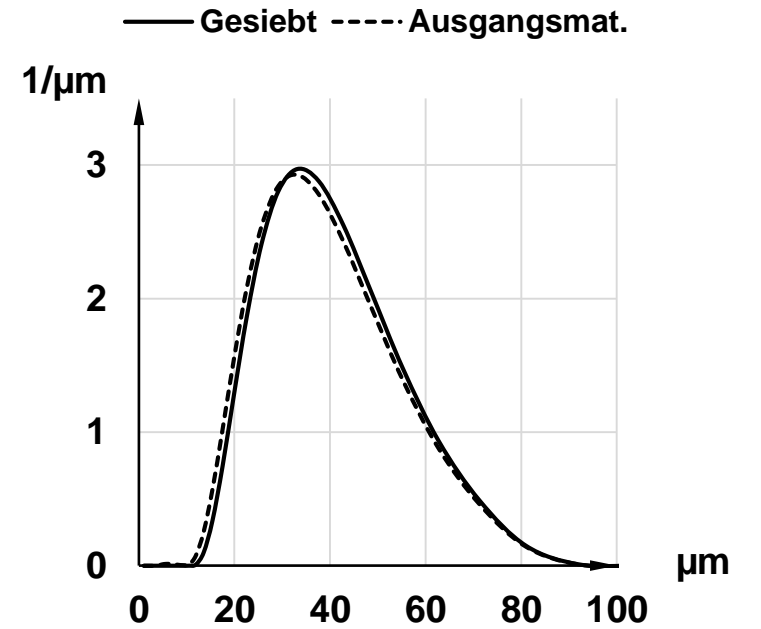
Oben



Mitte



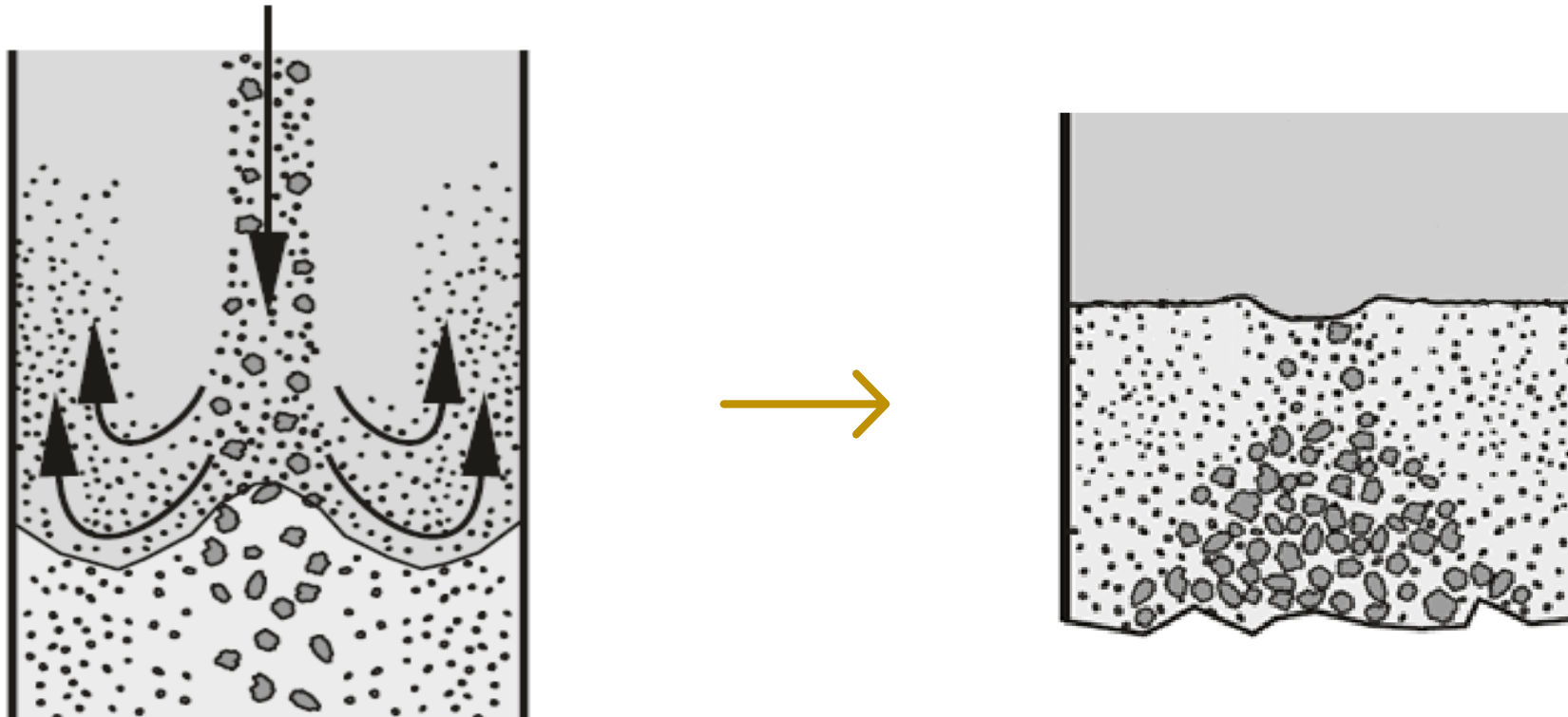
Unten



# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Entmischung des Pulvers beim Befüllen der Behälter

Aufwirbelung des Feinanteils aus dem Pulverstrom



[3]

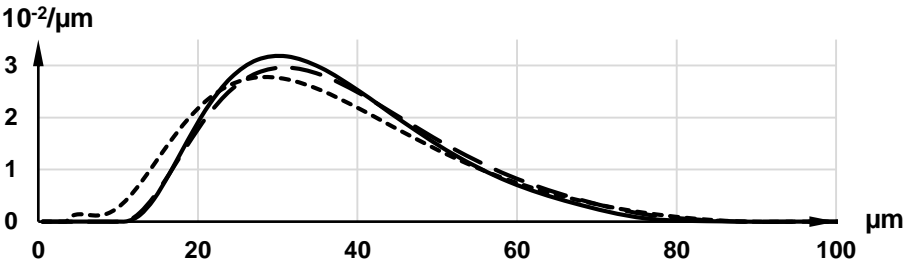
# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Partikelgrößenverteilung – Vibrationsversuch (1/2)

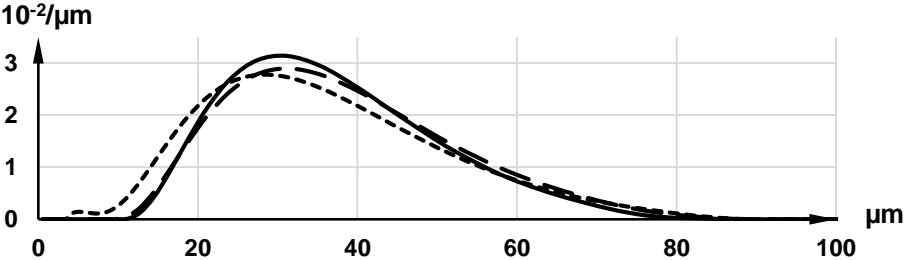
$g < 1$

----- Oben      - - - - Mitte      \_\_\_\_\_ Unten

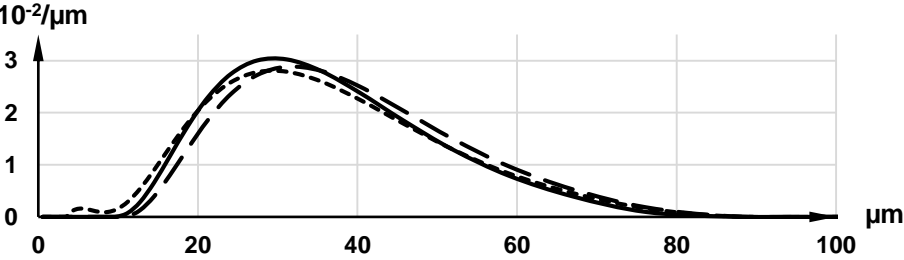
Ausgangszustand



V2  
0,23g

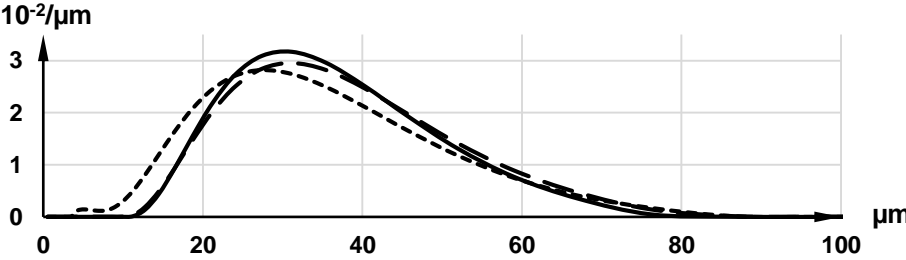
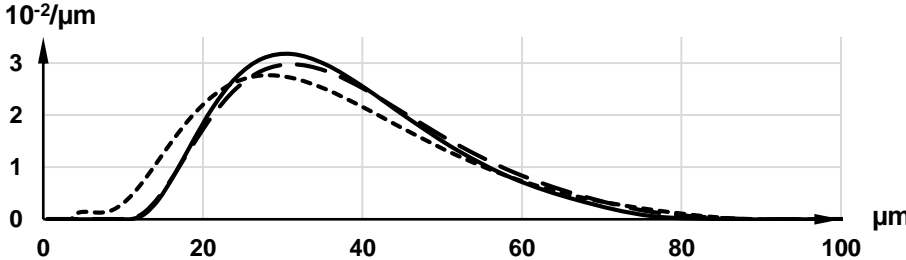
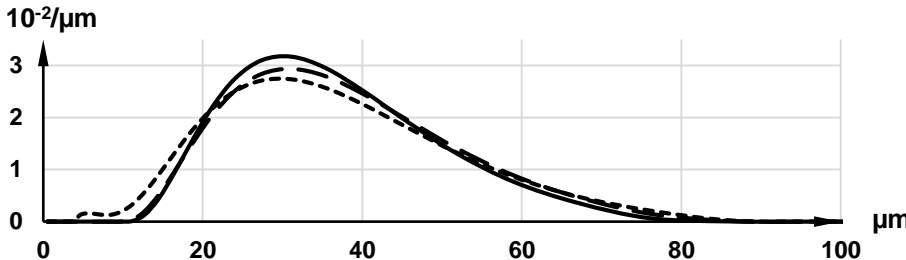


V3  
0,45g



V4  
0,91g

Endzustand



# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Partikelgrößenverteilung – Vibrationsversuch (2/2)

$g > 1$

----- Oben

- - - - Mitte

———— Unten

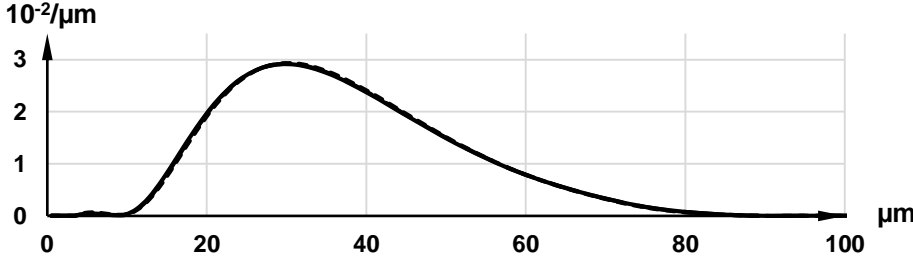
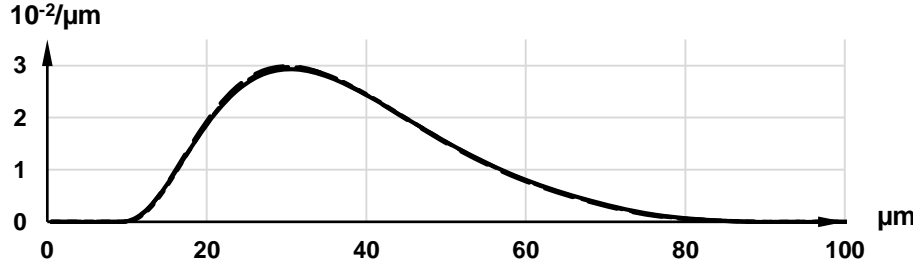
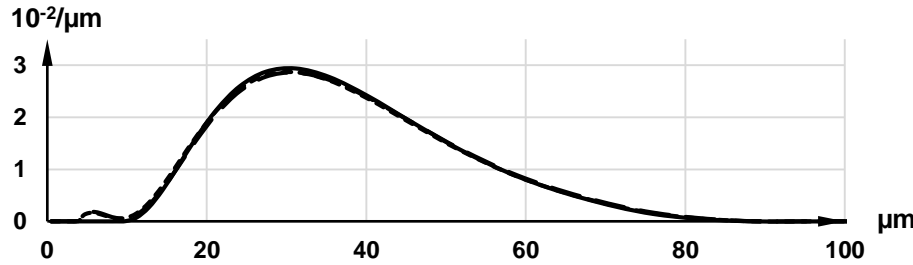
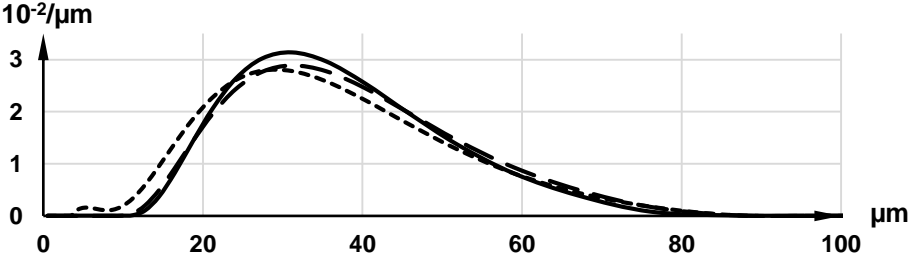
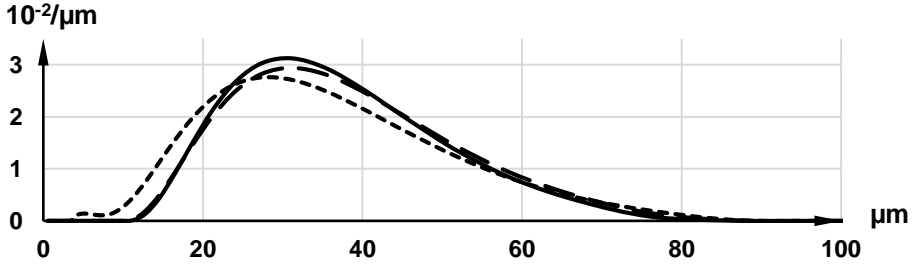
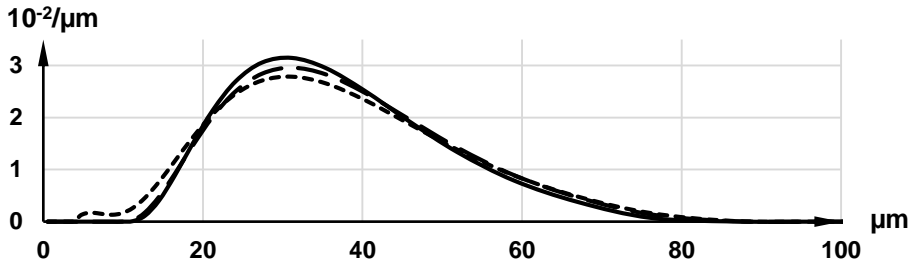
Ausgangszustand

Endzustand

V1  
1,04g

V5  
1,81g

V6  
3,62g



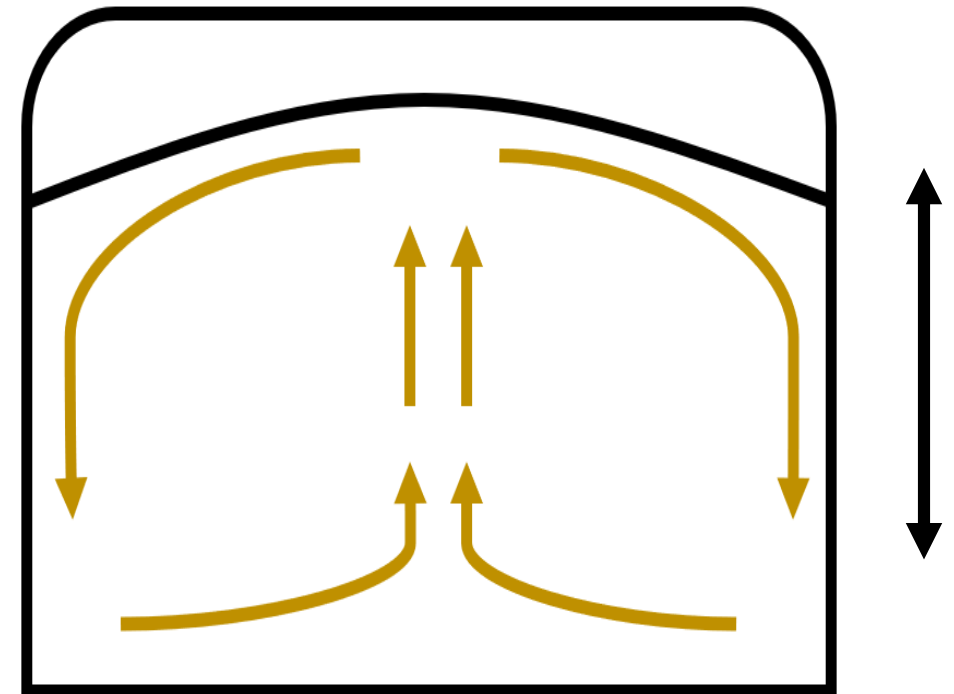


## Homogenisierende Partikelbewegung im Schüttgut

### Konvektion

- Partikel bewegen sich kollektiv in Strömen
- breit aufgeteilte Partikelgrößenverteilung
- verhältnismäßig kleine Partikel  
(unter 100-200  $\mu\text{m}$ )
- Auslösung durch vertikale Vibration  
und Wandreibung

[4]



## Pulverauswahl für weitere Untersuchungen und Testjobs



**V1**

→ **Breitbandrauschen**

→ **realitätsnahe  
Beanspruchung**

**Partikelgrößenverteilung  
homogen**



**V2**

→ **Sinusschwingung**

→ **kleinste  
Beschleunigung**

**Partikelgrößenverteilung  
nicht homogen**



**V6**

→ **Sinusschwingung**

→ **größte  
Beschleunigung**

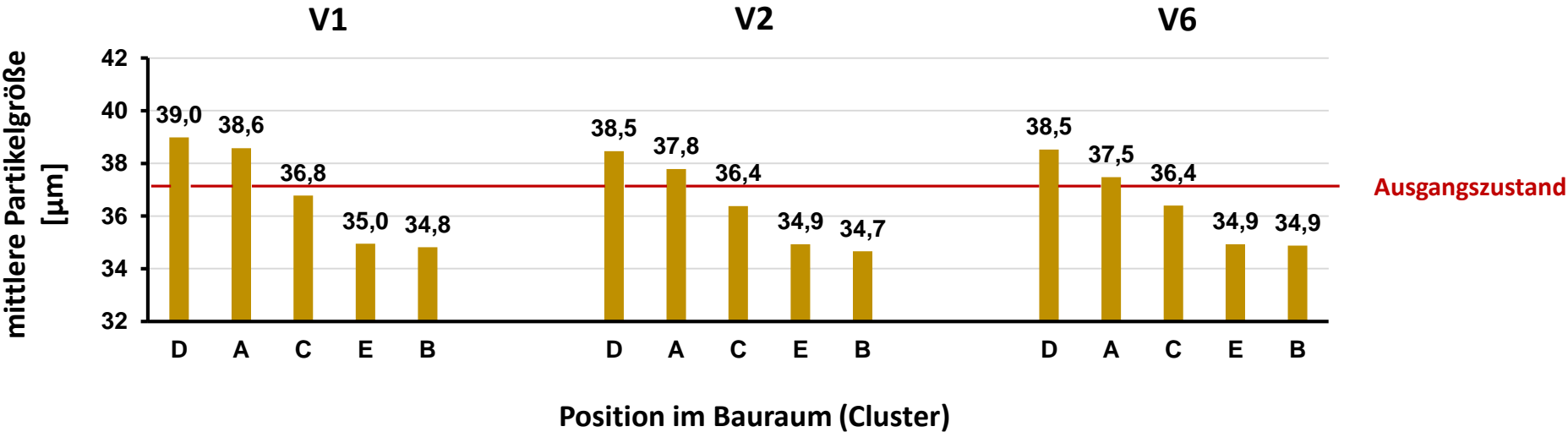
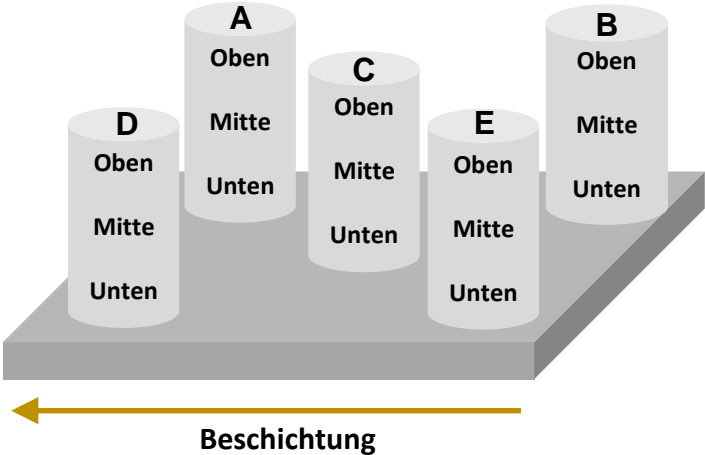
**Partikelgrößenverteilung  
homogen**

# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Partikelgrößenverteilung im Bauraum

konstante Partikelgrößenverteilung  $\rightarrow$  Pulver V1, V2, V6

$\rightarrow$  Höhe im Bauraum



# Ergebnisdarstellung und Diskussion

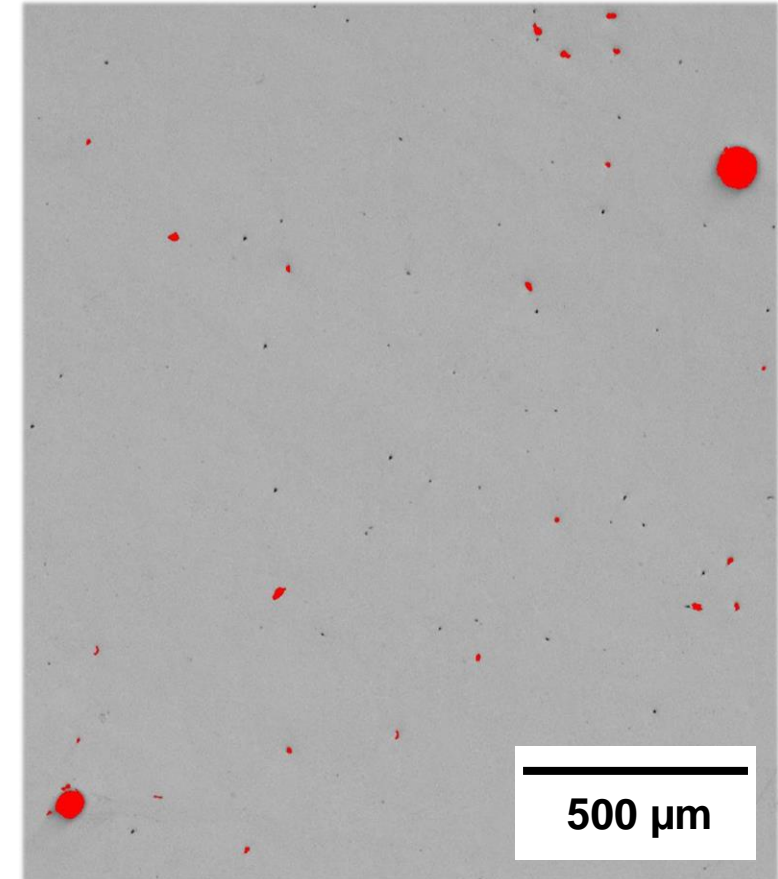
## Relative Dichte der Dichttürme

Testjob	relative Dichte	Standardabweichung
V1	99,91 %	0,021 %
V2	99,93 %	0,021 %
V6	99,90 %	0,026 %

→ Pulver V1, V2, V6

konstante Dichte → Höhe im Bauraum

→ Position im Bauraum

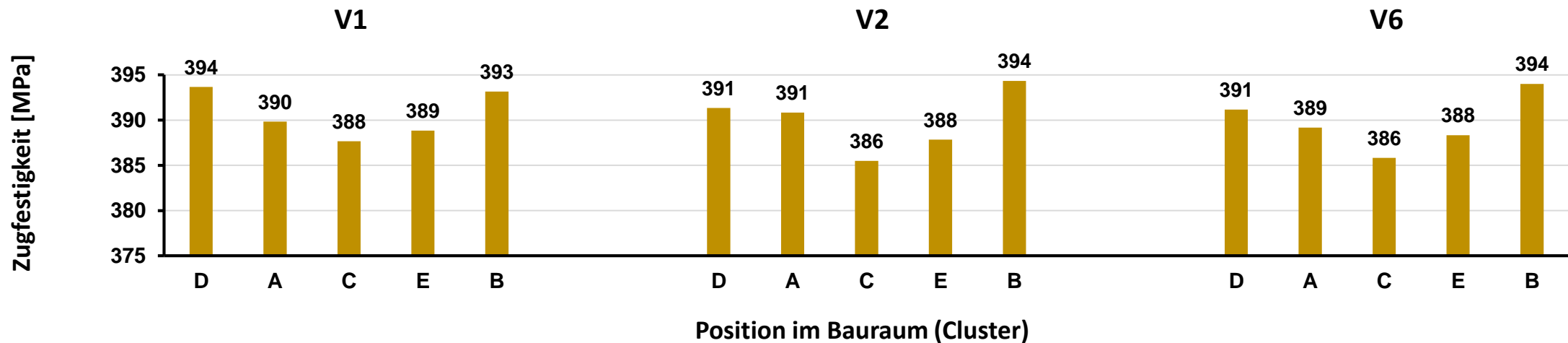
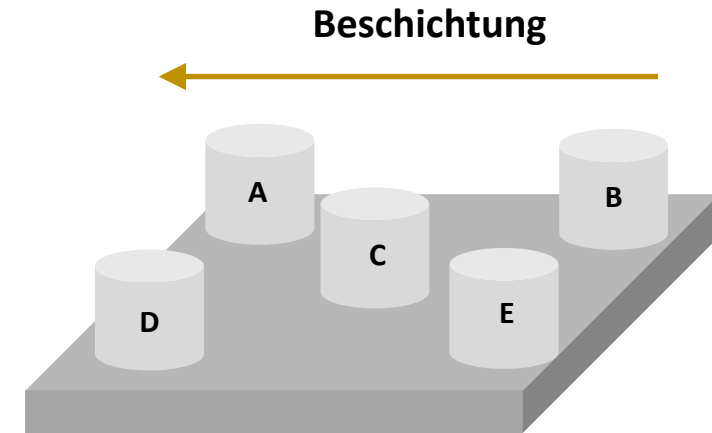


Beispiel der Dichtebestimmung: „V6 Stab E Unten“

# Ergebnisdarstellung und Diskussion

## Festigkeitswerte der Zugproben

Testjob	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_t$ (korr.) [%]	E [GPa]
V1	215,6	390,8	5,6	58,3
V2	215,0	390,3	5,6	57,0
V6	215,4	390,1	5,7	56,4



# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung**
- 2 Versuchsdurchführung**
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion**
- 4 Zusammenfassung**



# Inhalt des Vortrags

---

- 1 Einführung und Zielstellung
- 2 Versuchsdurchführung
- 3 Ergebnisdarstellung und Diskussion
- 4 Zusammenfassung**



**Keine der untersuchten Vibrationen bewirkte eine Entmischung des AlSi10Mg-Pulvers in Bezug auf die Partikelgrößenverteilung!**

Stattdessen: **Homogenisierung** bei Beschleunigungen zwischen 1,06g und 3,62g.

Beschleunigungen zwischen 0,23g und 0,91g riefen **keine messbare Veränderung** der lokalen Partikelgrößenverteilung hervor.

Die Qualität der gedruckten Probekörper blieb **unbeeinflusst** von der Ausgangshomogenität der verwendeten AlSi10Mg-Pulver.



# Verwendete Quellen

---

## Literatur

- [1] Meyer, R.: Sampling: The Ghost in Front of the Laboratory Door. In: LCGC Europe Volume 33 (2020), Nr. 2, S. 67 - 73
- [2] Skorna, A.: Empfehlungen für die Ausgestaltung eines Präventionskonzepts in der Transportsicherung: Untersuchung von Transportschäden, Präventionsmaßnahmen und der Präventionsaffinität von Versicherungsnehmern. Nürnberg: Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften sowie Internationale Beziehungen (HSG), Dissertation, 2013
- [3] Schulze, D.: Pulver und Schüttgüter. 4., ergänzte Auflage. Berlin: Springer, 2019 (ISBN: 978-3-662-58776-8)
- [4] Lu, L.; Hsiau, S.: Mixing in a vibrated granular bed: Diffusive and convective effects. In: Powder Technology 184 (2008), S. 31 - 43

## Abbildungen

Grafik Folie 1: Oerlikon AM Europe GmbH

Grafik Folie 2: Oerlikon AM Europe GmbH

Grafik Folie 4: <https://prototypehubs.com/what-is-metal-3d-printing/>

**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**

