

Additive und umformtechnische Fertigung hybrider Bauteile mit lokal angepassten Eigenschaften

Abschlusskolloquium des Sonderforschungsbereichs 814 –
Additive Fertigung
13. Juni 2023

Jan Hafenecker, Richard Rothfelder, Marion Merklein,
Michael Schmidt



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



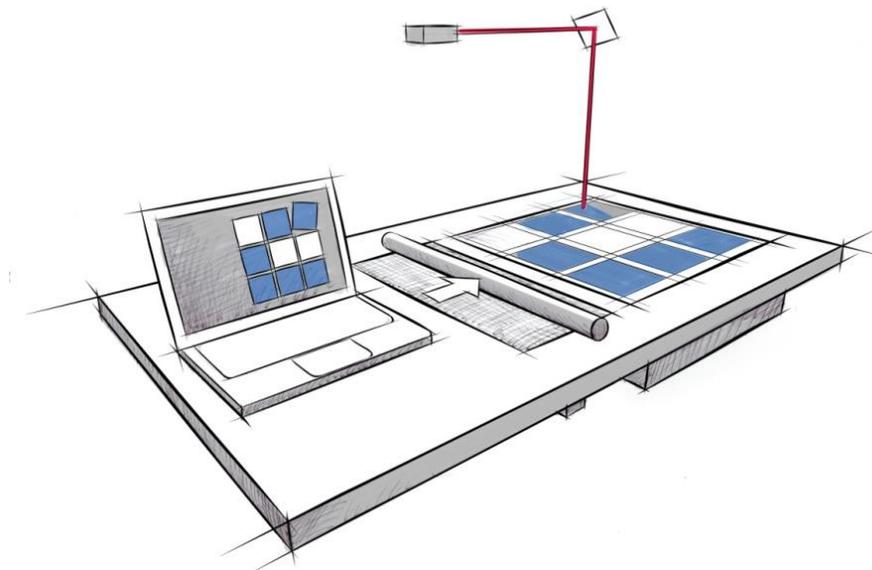
- Motivation
- Projektvorstellung / Grundlagen
- Wissenschaftliche Zielsetzung
- Umformung additiv gefertigter Körper
- Blechumformung von Hybridbauteilen
- Lokaler Pulverausstrag mittels Vibrationsdispenser
- Angepasste Belichtungsstrategie
- Zusammenfassung und Ausblick



Hybridbauteil

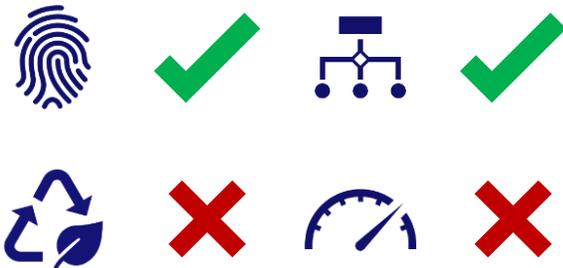
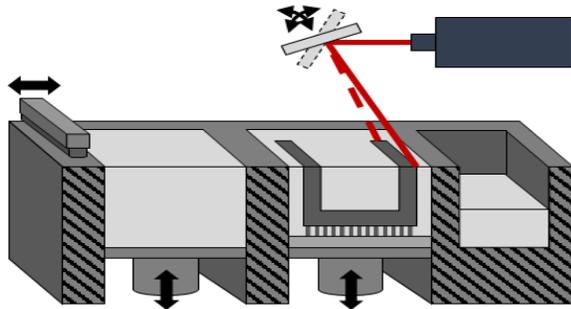
Additiv gefertigte
Funktionselemente

Blechgrundkörper

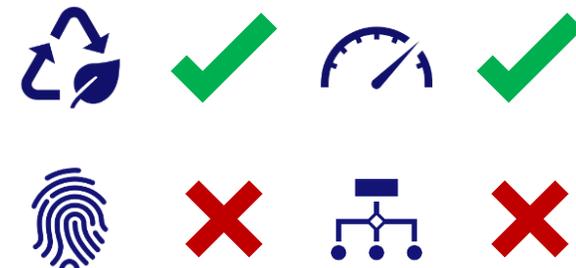
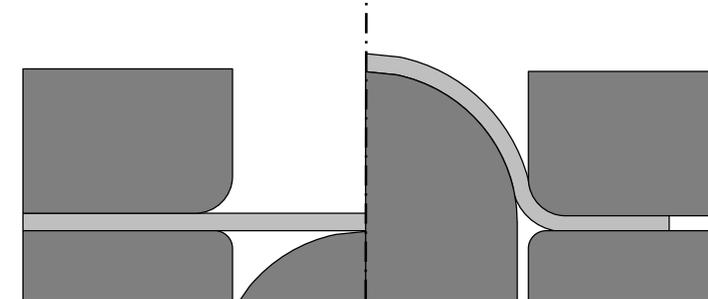


- Aktuelle Trends in der Industrie: Nachhaltigkeit, Individualisierbarkeit, Flexibilität, verkürzte Produktlebenszyklen, ...
- Konventionelle Prozesse hinsichtlich aktueller Trends vor Grenzen
- Kombination von Technologien zur Eröffnung neuer Möglichkeiten und zur Bewältigung aktueller Herausforderungen

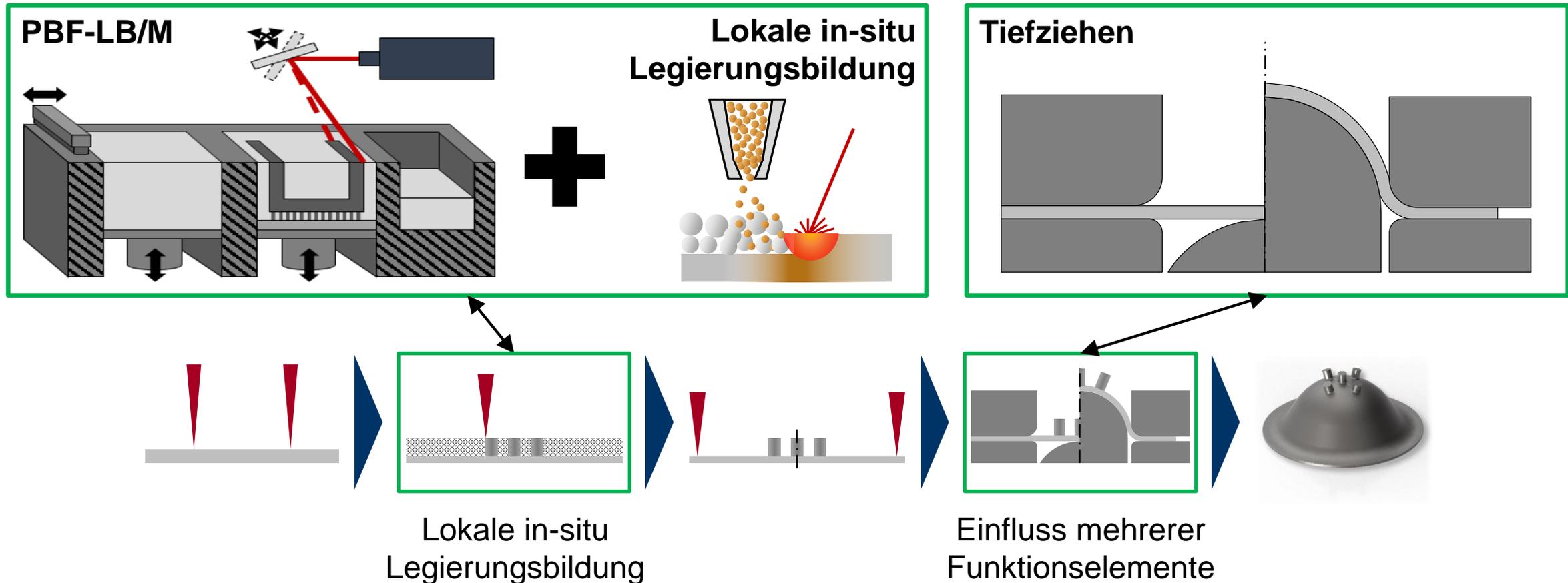
Additive Fertigung (AM)



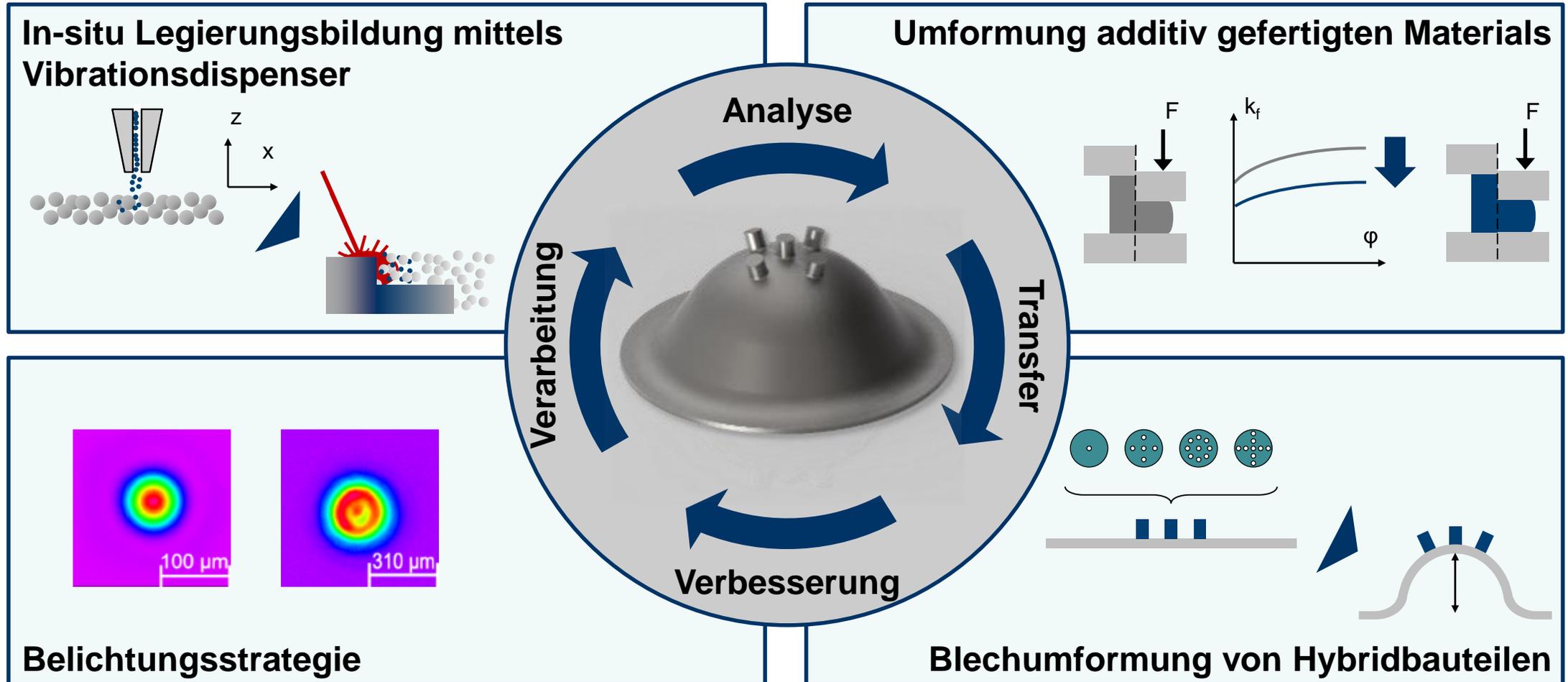
Umformtechnik



- Kombination von pulverbettbasiertem Laserstrahlschmelzen (PBF-LB/M) und Blechumformverfahren zur Herstellung von hybriden Bauteilen
- Wechselwirkungen zwischen den Einzelprozessen



- Verständnis der Wechselwirkungen bei der Umformung additiv gefertigter Elemente und hybrider Bauteile
- **Phase 3:** Lokale Anpassung der Materialeigenschaften durch Umformung und Legierungsbildung



Blechkomponente

- Walzvorgänge
 - Feinkörniges Gefüge
 - Gelängte Körner
- Anisotropie



Additiv gefertigtes
Funktionselement

Ti-6Al-4V

1 mm

Blechsubstrat

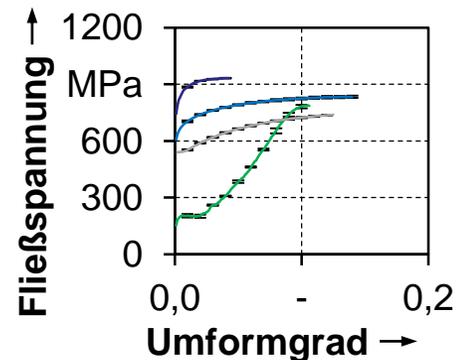


Additivkomponente

- Schichtweiser Aufbau
 - Hohe Abkühlraten
 - Gerichtetes Kornwachstum
- Anisotropie

Unterschiede mechanischer Eigenschaften

- Fließbeginn
- Verfestigung
- Duktilität



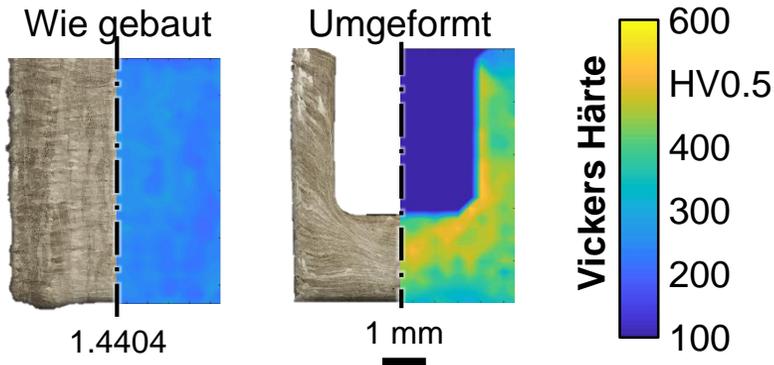
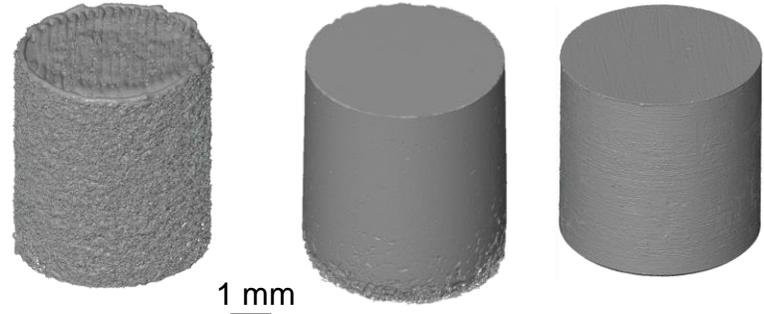
Zugversuche Ti-6Al-4V bei 400 °C

- Wie gebaut
 - Blechmaterial
 - Wärmebehandelt (WB – 2h bei 850 °C)
 - Legierungsanpassung (Ti9V5Fe4.5Al)
- $n = 3$

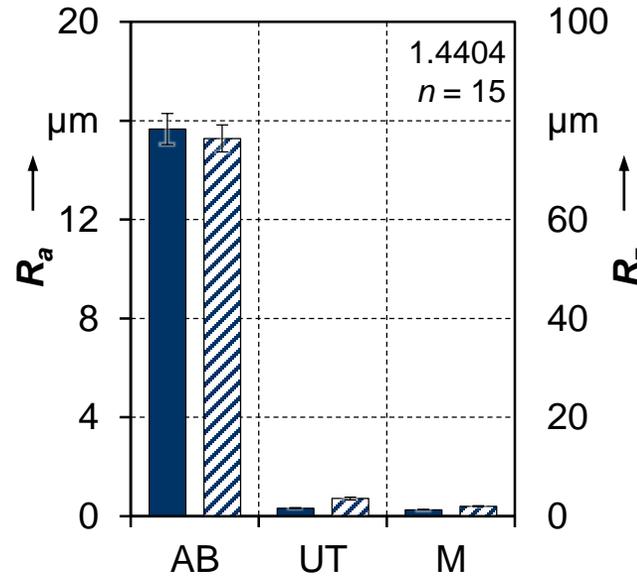
Ergebnis

- Quantifizierung prozessbedingter Unterschiede mechanischer Eigenschaften zwischen konventionellem und additiv gefertigtem Material
- Werkstoffabhängiges Ausmaß des Gradienten mechanischer Eigenschaften

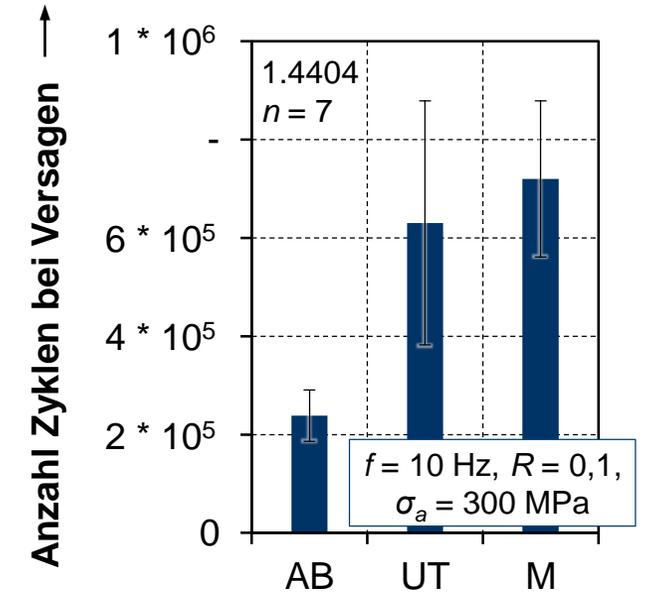
Wie gebaut (AB) Umgeformt (UT) Gedreht (M)



Rauheitsmessung

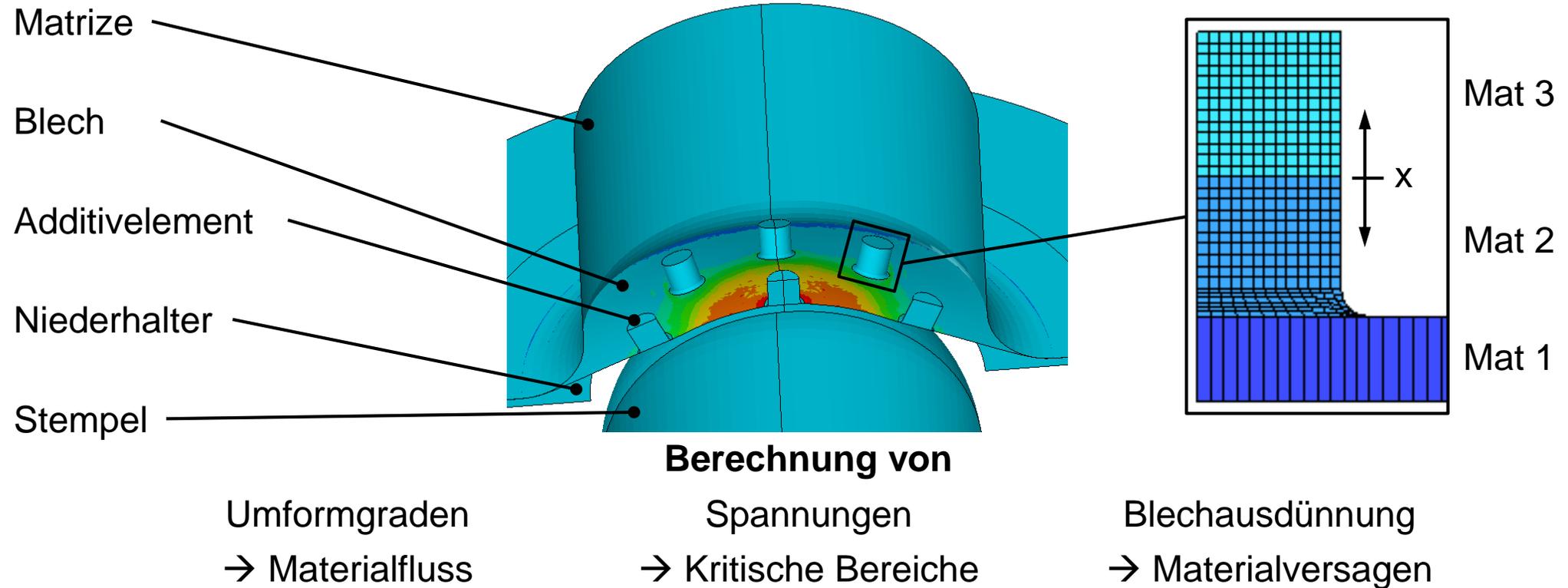


Dauerfestigkeit unter Zugbelastung



Ergebnis

- Verbesserung der mechanischen und geometrischen Eigenschaften additiv gefertigter Körper durch umformtechnische Nachbearbeitung
- Umformtechnik als potentielle nachhaltige Alternative zur Nachbearbeitung (keine Späne, Kühlmittel, ...)



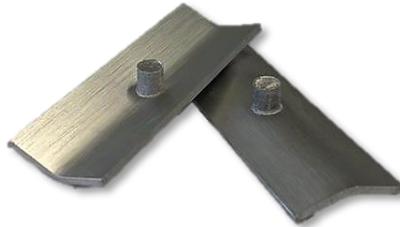
Ergebnis

- Präzise Abbildung verschiedener Umformprozesse zur Prädiktion von Materialverhalten
- Möglichkeit zur Modellierung und Auslegung von Multi-Material Bauteilen
- Identifikation kritischer Bereiche und tieferes Prozessverständnis durch Abgleich mit Experiment

Superplastisches Umformen



Biegen



Streckziehen



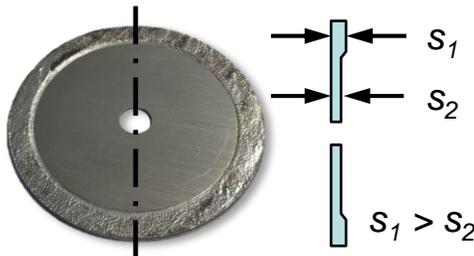
Tiefziehen



Blechmassivumformung



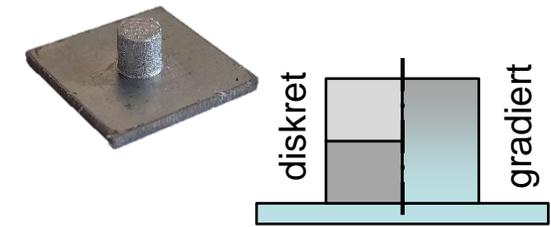
Materialvorverteilung



Funktionselemente



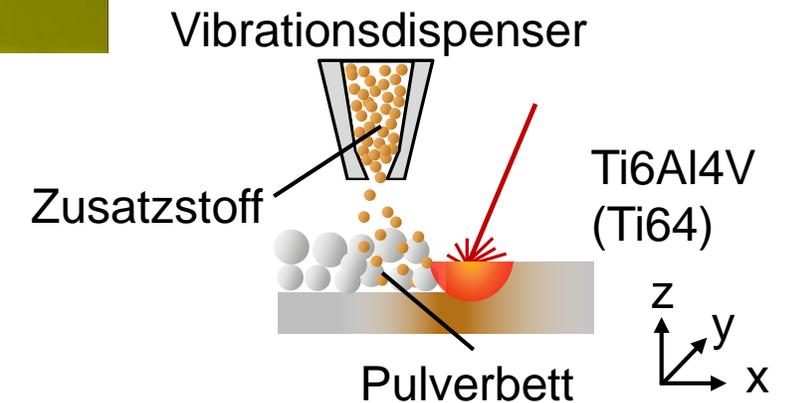
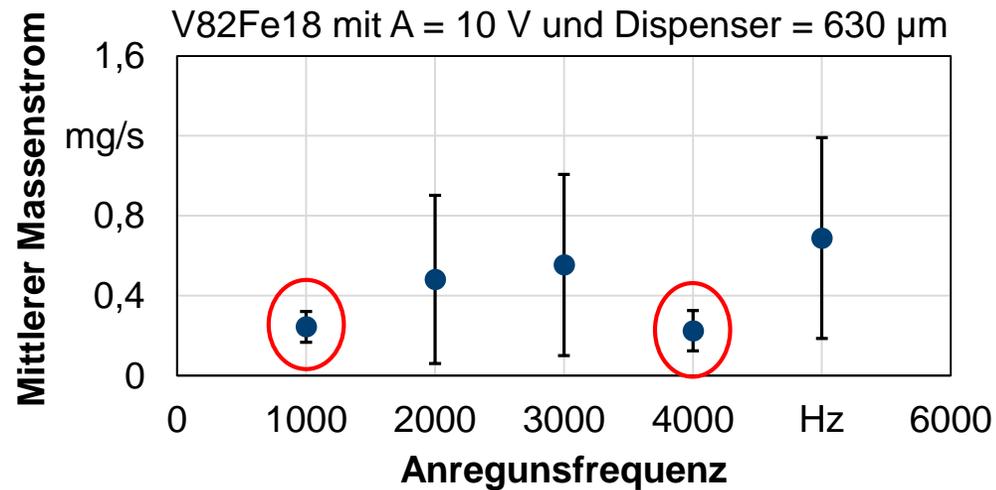
Materialkombinationen



Ergebnis

- Anwendbarkeit auf zahlreiche konventionelle Blechumformverfahren
- Nutzbarkeit von hybriden Bauteilen mit unterschiedlichen Materialstärken, Funktionselementen oder Werkstoffkombinationen

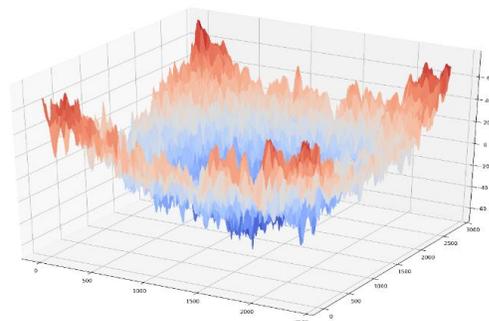
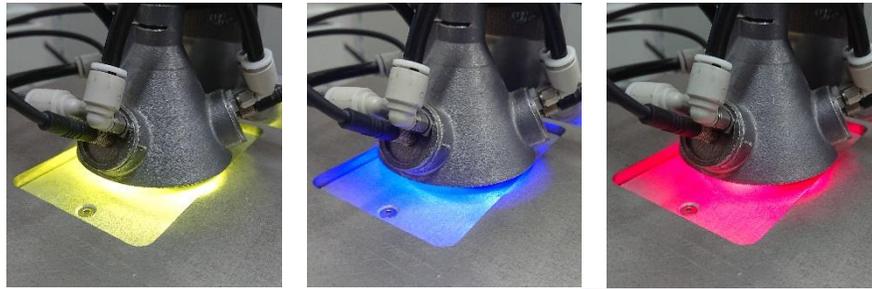
- System zum lokalen Austrag von zusätzlichen Legierungselementen



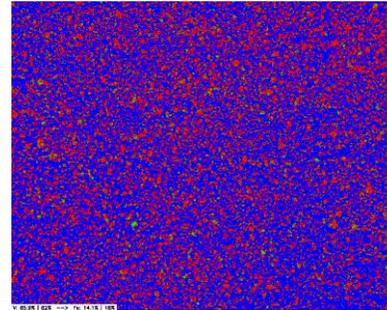
Ergebnis

- Reproduzierbarer Austrag unterhalb 1 mg
- Potenzial für die Modifikation der Pulverzusammensetzung

- Lokaler Austrag von Pulver verändert Oberflächenprofil der Schicht
- Optische Kontrolle der Qualität der Pulverschicht und Zusammensetzung

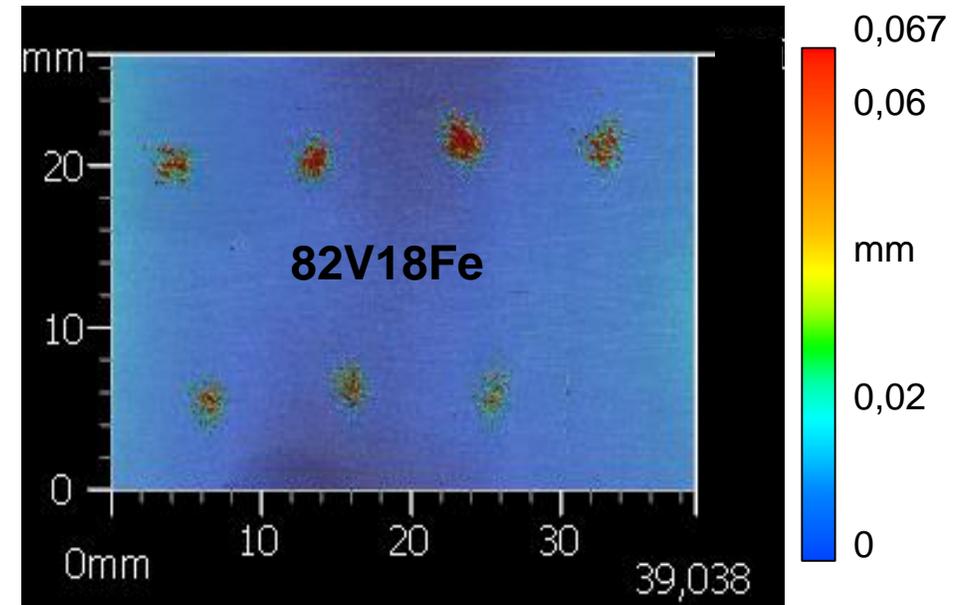


**Höhenmapping
Pulverschicht**



Materialzusammensetzung

V: 85,9 %
Fe 14,1 %

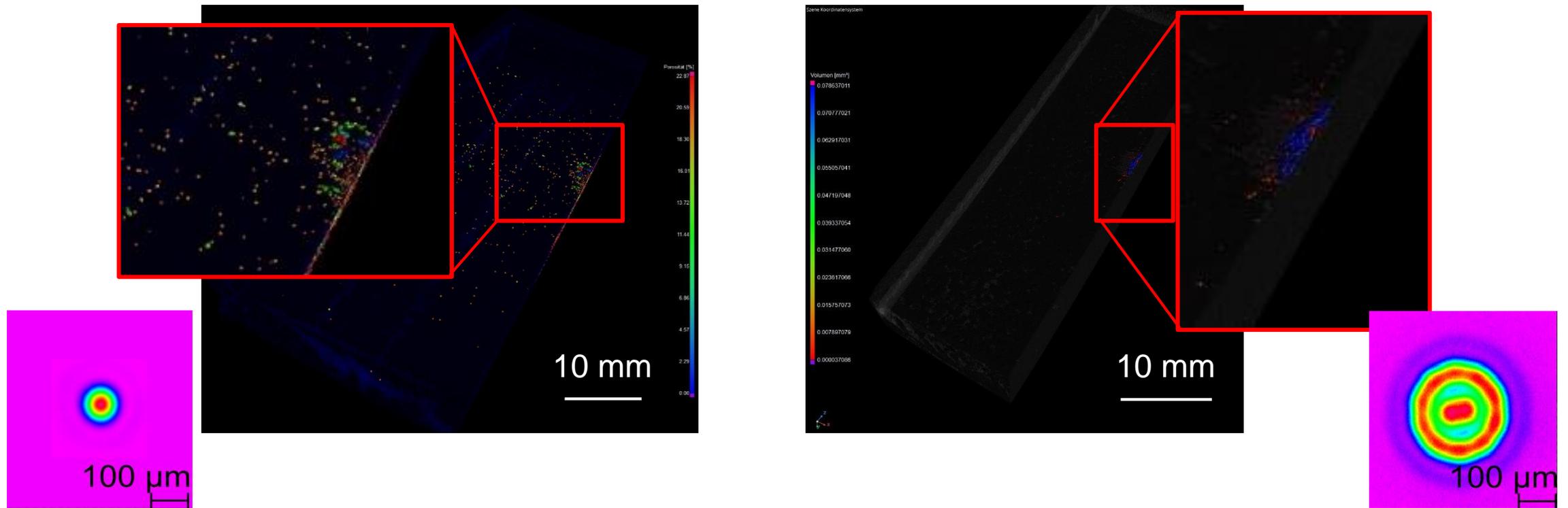


**Höhenmapping
Pulveraustrag**

Ergebnis

- Erhöhte Schichthöhe durch zusätzliche Legierungselemente
- Verarbeitung durch Anpassung der Belichtungsstrategie

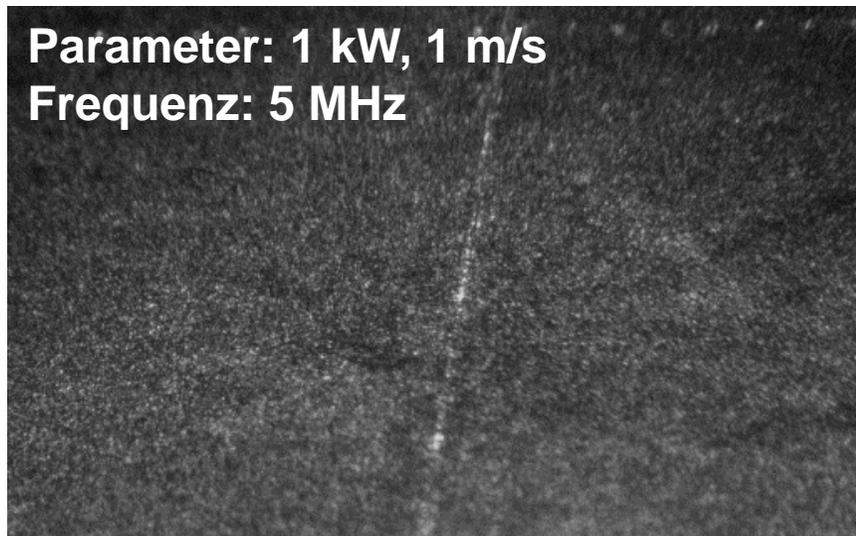
- Strahlformung für reduzierte Spritzerbildung – Messung mithilfe von Tracerpartikeln



Ergebnis

- Signifikante Reduktion der Spritzerbildung durch Strahlformung
- Reduktion der Pulverkontamination durch korrodierte Partikel und zusätzliche Legierungselemente

- Strahlformung für verbesserte Prozesskontrolle
- Kontrollierte Bewegung des Schmelzflusses im Verhältnis zur Scanrichtung



Ergebnis

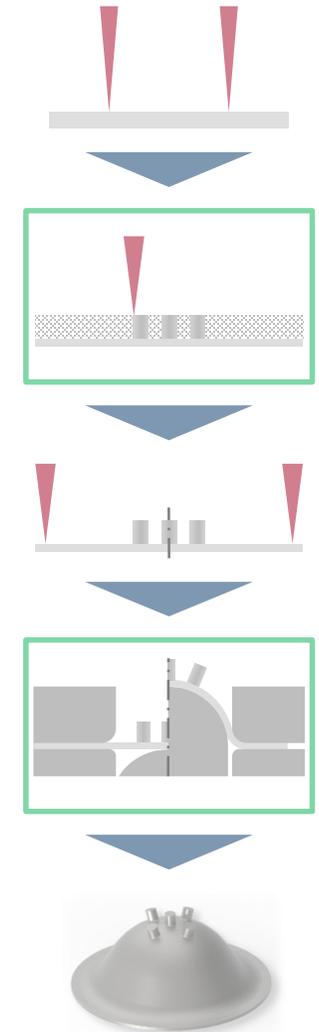
- Einsatz von Strahlformung mit reduzierter Spritzerbildung und verbesserter Oberflächenqualität
- Hohe Aufbauraten durch Schichtstärken bis 250 μm realisierbar

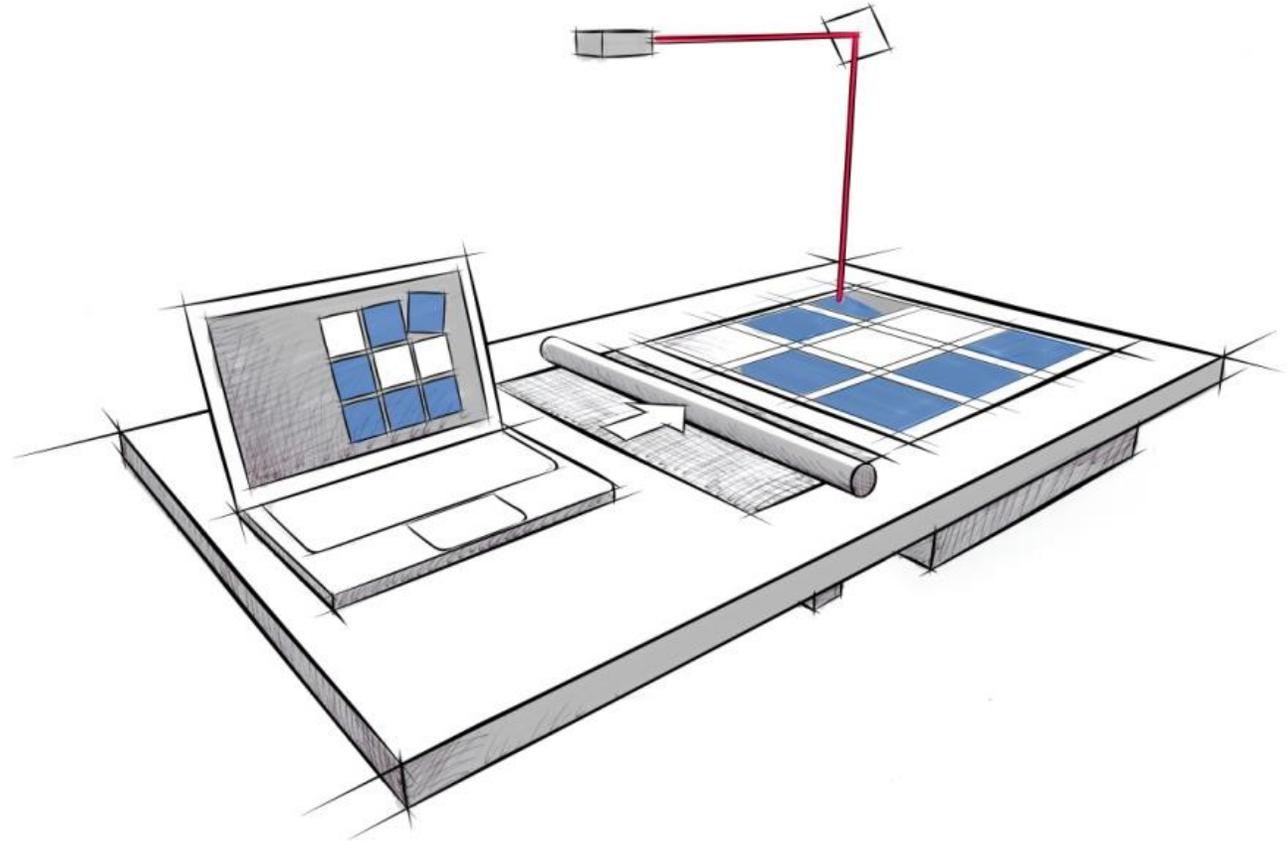
Zusammenfassung

- AM Werkstoffe unterscheiden sich hinsichtlich des Materialverhaltens
- Umformtechnik als potentielle nachhaltige Alternative zur Nachbearbeitung
- Hybridbauteile als Tailored Blanks mit maßgeschneiderten Eigenschaften
 - ➔ Verständnis und Vorhersage durch angepasste Simulation
 - ➔ Materialvorverteilung, Funktionselemente und Werkstoffanpassungen
- Lokale in-situ Legierungsbildung durch Vibrationsdispenser
- Verarbeitbarkeit höherer Schichtstärken durch angepasste Belichtungsstrategie

Ausblick

- Anwendung umformtechnischer Nachbearbeitung auf konkrete Bauteilkomponenten
- Nutzung von hybriden und Multi-Material-Bauteilen in der Umformtechnik
- Untersuchung weiterer Werkstoffe für den Vibrationsdispenser





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit