

Additive Fertigung von Kompositwerkstoffen zur Herstellung von keramischen Funktionsbauteilen

T. Wille¹, A. Hopf¹, M. Layher¹, D. Just¹, J. Bliedtner¹, T. Forstner², S. Greiner², D. Drummer², J. Rösler³, P. Schirmer³, M. Lenz³
¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, ²Universität Erlangen-Nürnberg, ³Rösler CeramInno GmbH

Motivation

Aufgrund ihrer besonderen elektrischen, chemischen und thermischen Eigenschaften zählen die technischen Keramiken zu den Hochleistungswerkstoffen und nehmen in der Industrie einen wichtigen Platz ein. Die konventionelle Herstellung keramischer Bauteile ist insbesondere für Einzelteile oder Kleinserien jedoch sehr teuer. Einen alternativen Ansatz hierfür bieten die additiven Fertigungstechnologien. Im kleinformatischen Bereich sind diese bereits in der Industrie etabliert. Da für großvolumige Geometrien derzeit noch kein Verfahren existiert, soll diese Arbeit eine Lösung für die Problemstellung bieten. Mit einem funktionierenden Prozess für die großvolumige Verarbeitung polymergebundener Keramiken kann der Grundbaustein für die Entwicklung neuer, komplexer Anwendungen technischer Keramiken gelegt werden und die Einzelteilfertigung vereinfacht werden, indem die Anlage als universelles Werkzeug eingesetzt wird.

Zielstellung

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung eines ganzheitlichen Modells zur Abbildung des Fertigungsprozesses großvolumiger, polymergebundener Keramikbauteile. Dies beinhaltet die Charakterisierung des Extruders, die Beschreibung der Strang- und Schichtbildungsmechanismen, das Verständnis der Abkühlvorgänge und die Optimierung aller Parameter hin zu einem stabilen Prozessmodell. Das Resultat soll die Möglichkeit der wiederholbaren Fertigung endkonturnaher, hochgefüllter Bauteile sein.

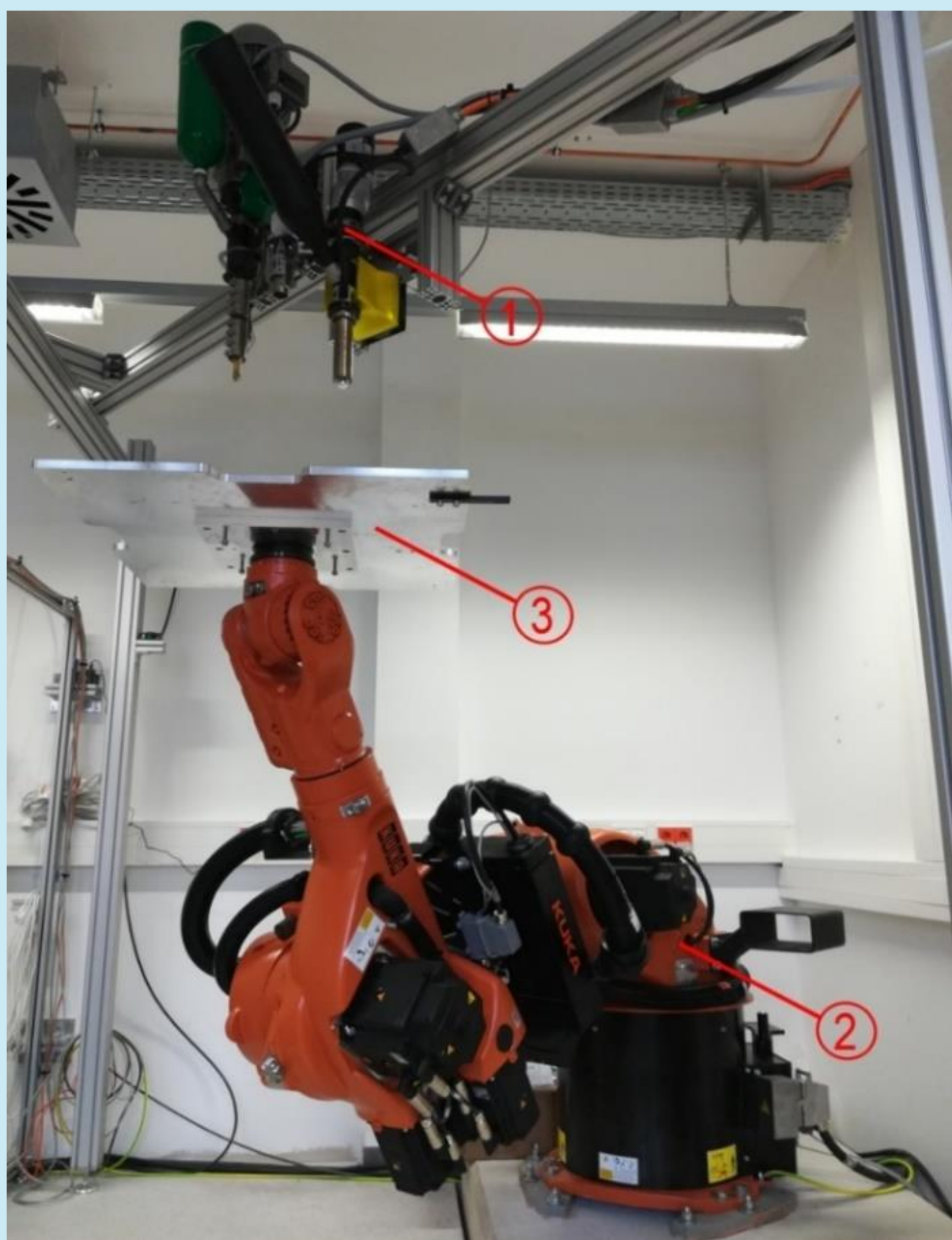
Anlagentechnik

Anlage:

- 1: Granulatorextruder
- 2: inverse Kinematik mit beheizter Bauplattform
- 3: 6-Achs-Knickarmroboter

Material:

- Keramik-Komposit Spritzguss Feedstock
- PE-LD-Kunststoffbindermatrix mit Al₂O₃ Partikeln (80 m.%)
- Bereitstellung des Materials durch externen Partner: Universität Erlangen-Nürnberg

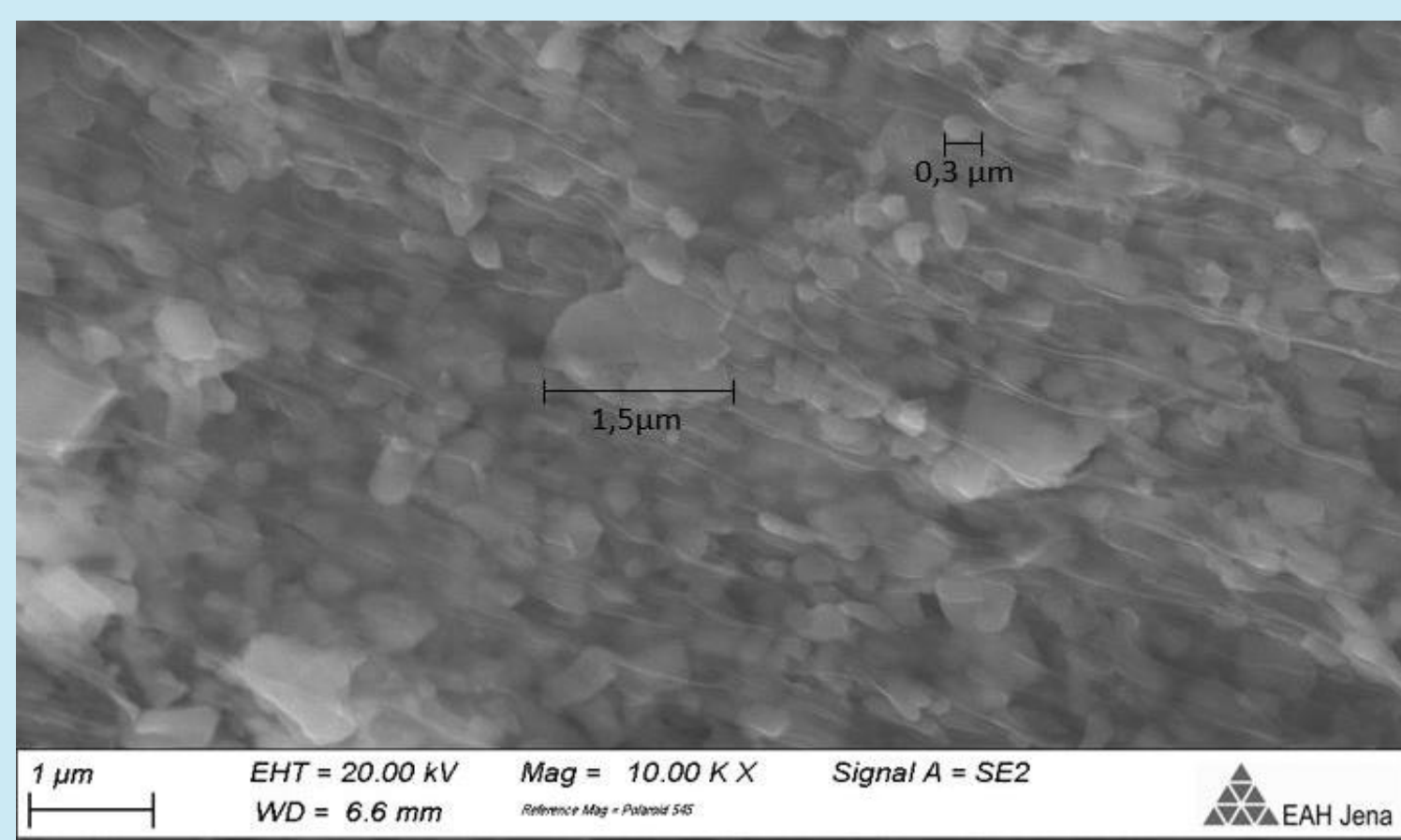


Anlagenaufbau

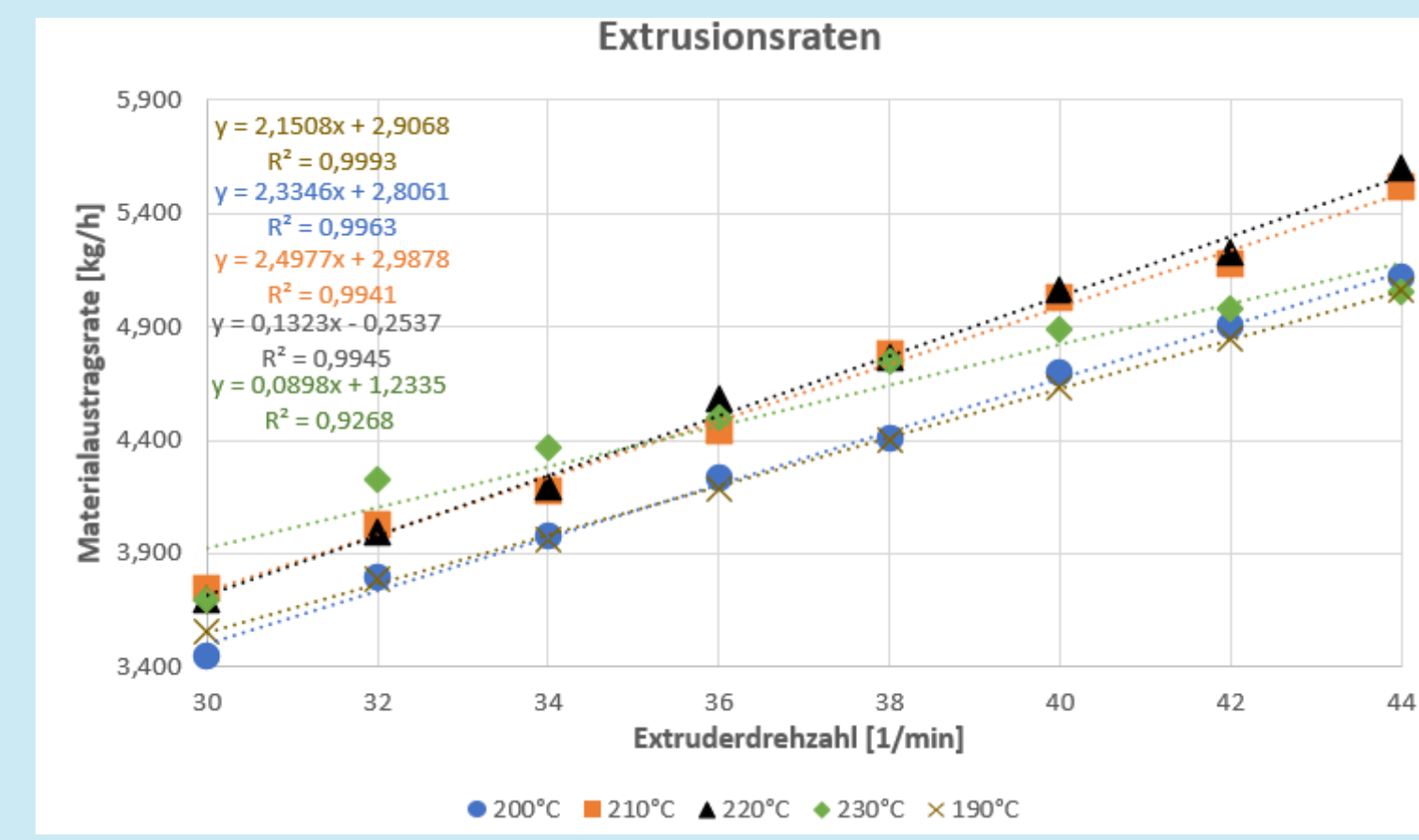
Ergebnisse

Charakterisierung des Materials und des Extruders:

- REM-Aufnahmen zur Ermittlung der Partikelgröße und Verteilung im Komposit-Material
- Untersuchungen der Materialaustragsrate für verschiedene Extrudertemperaturen
- Wahl der optimalen Temperatur: T = 210 °C
 - homogener Materialaustrag
 - unterhalb der Zersetzungstemperatur des Materials



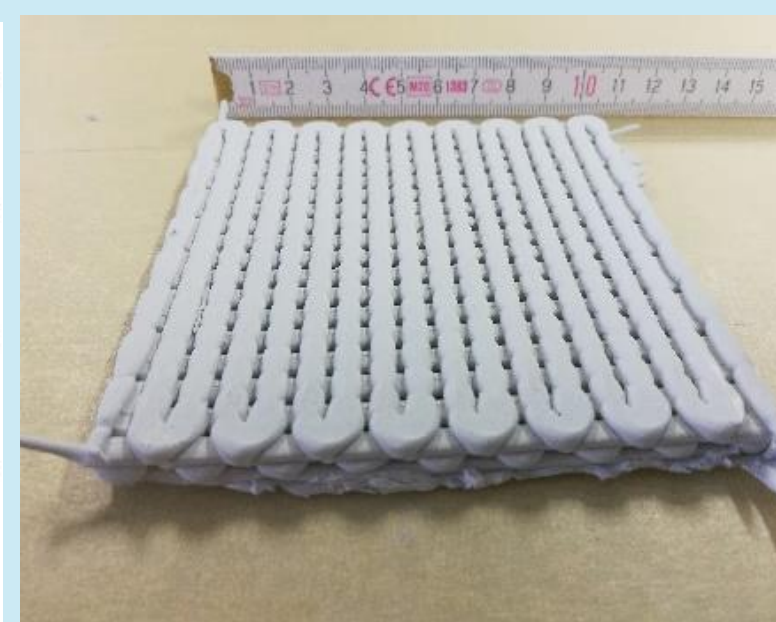
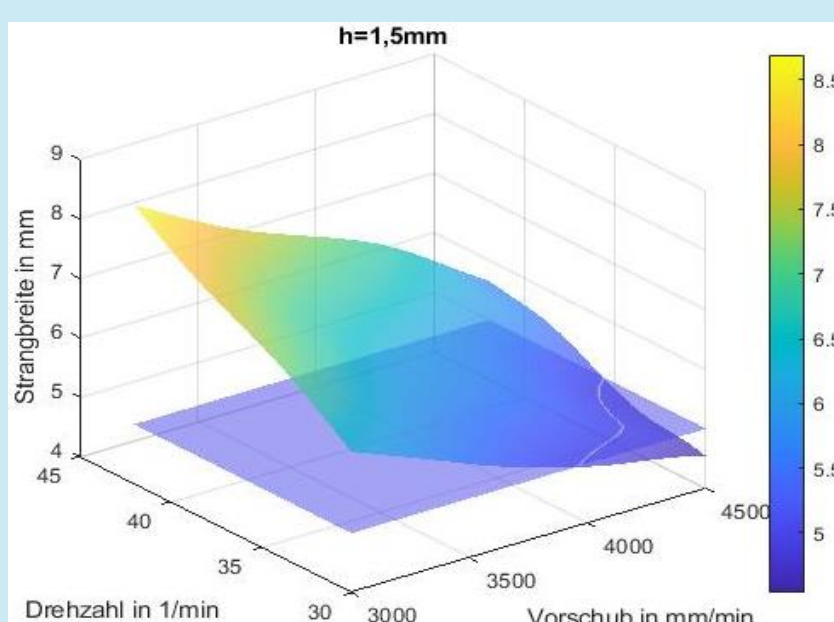
Al₂O₃ Partikel innerhalb der PE-LD Kunststoff-Bindermatrix



temperaturabhängige Extrusionsraten

Strang- und Schichtbildungsmechanismus:

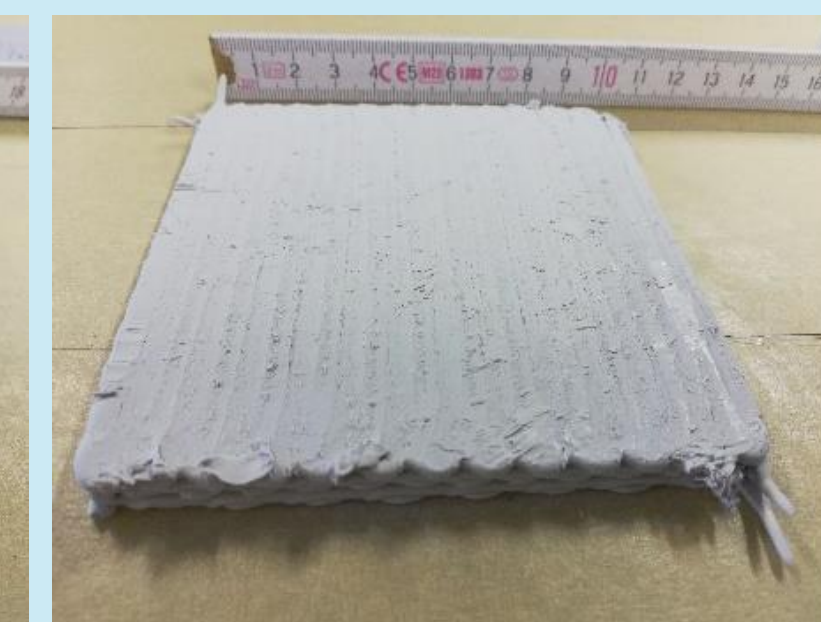
- Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Extruderdrehzahl, Vorschubgeschwindigkeit, Düsenabstand und Strangbreite
- Festlegung auf Strangquerschnitt: Strangbreite w = 5 mm, Stranghöhe h = 1,5 mm
 - grafische Ermittlung der möglichen Parameterkonstellationen
- Ermittlung der Strangüberlappung für einen optimalen Füllgrad



geringer Füllgrad der Struktur



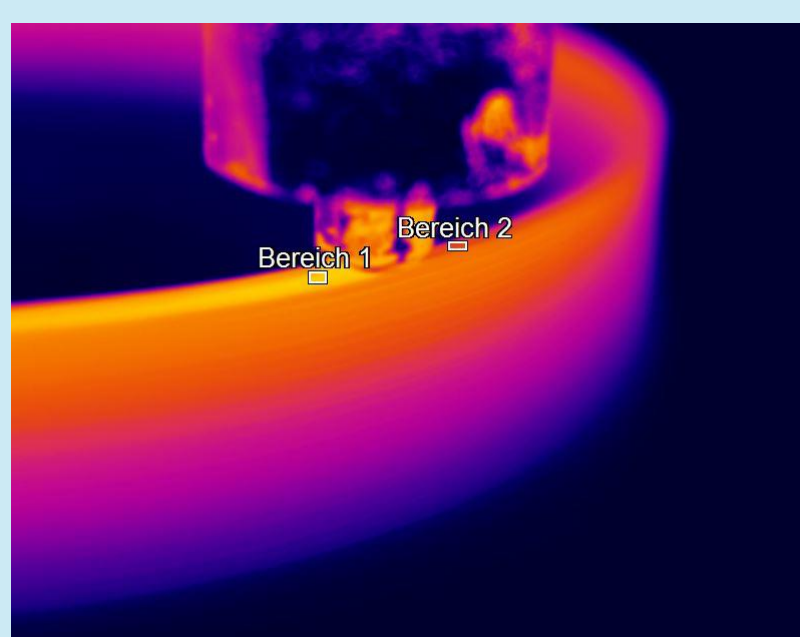
überhöhter Füllgrad der Struktur



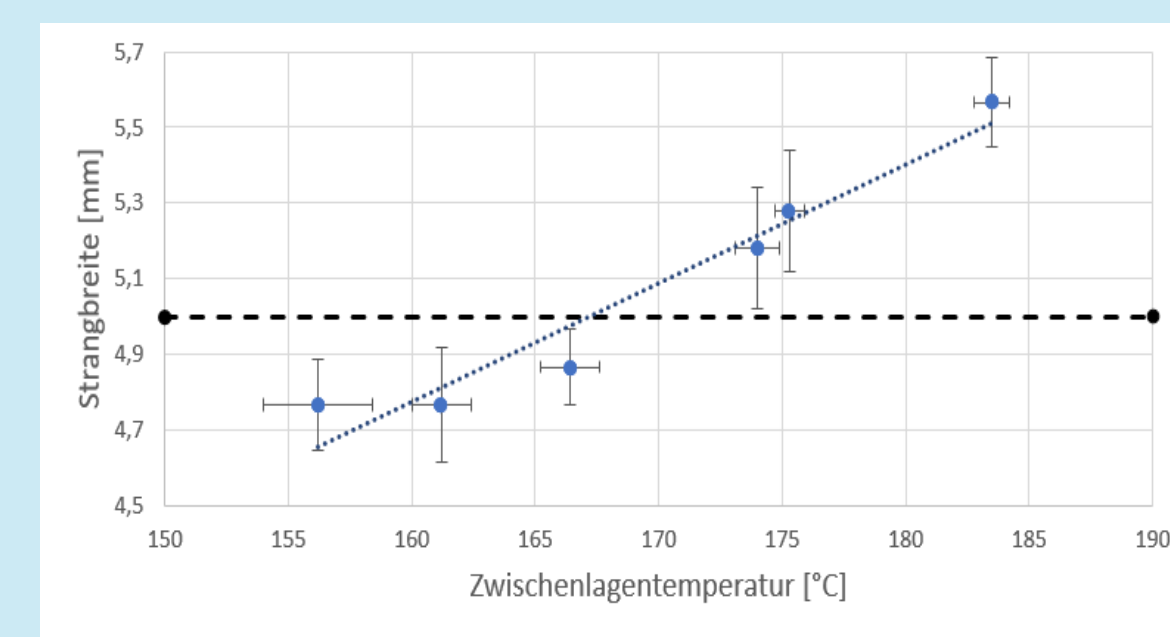
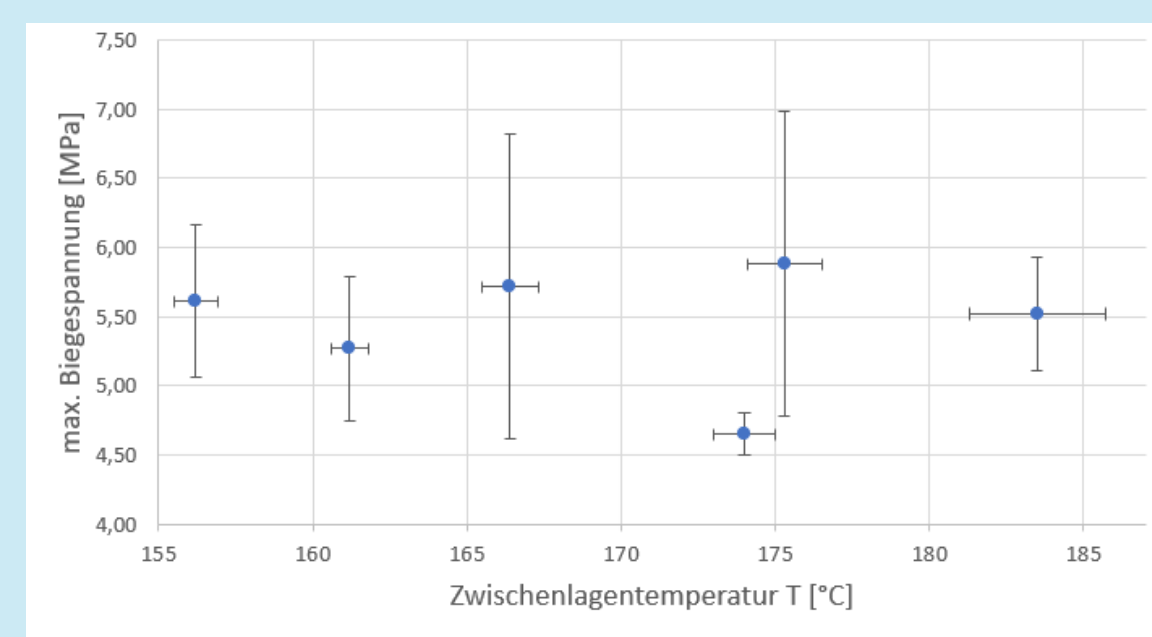
optimaler Füllgrad der Struktur

Abkühlvorgänge:

- thermografische Ermittlung der Strang- und Zwischenlagentemperaturen, sowie der Abkühlraten
- Untersuchungen von möglichen Korrelationen von Zwischenlagentemperatur, Schichtzusammenhalt und der Ausbildung der Stranggeometrie
- Kein Anstieg des Schichtzusammenhalts nachweisbar -> Optimierung der Zwischenlagentemperatur durch Anpassung der Pausenzeiten mit der Zielgröße Strangbreite w = 1,5 mm

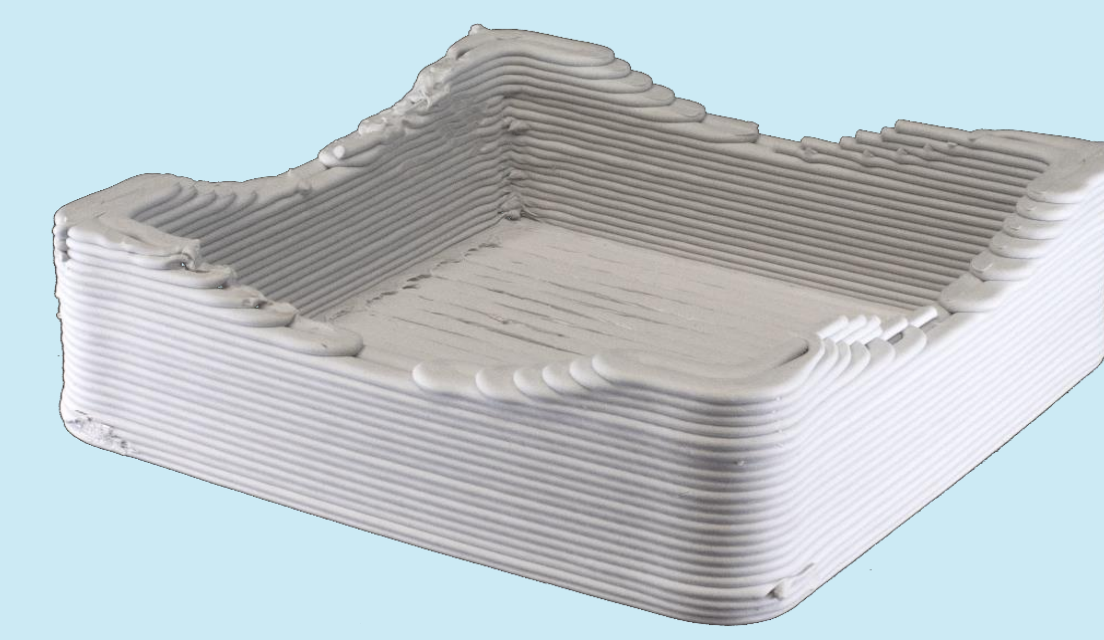


thermografische Aufnahme eines Hohlzylinders zur Ermittlung der Zwischenlagentemperatur (Bereich 2)



Ausblick

Im Rahmen der Arbeit konnte das Prozessfenster zur Herstellung von Grünteilen bestimmt werden, welches in der Prozesskette der additiven Fertigung keramischer Bauteile einen essenziellen Teil darstellt. Im Nachgang dieser Arbeit erfolgt die Untersuchung der weiteren Prozessschritte, auf Grundlage der ermittelten Daten und Erkenntnisse. Die Beherrschung der gesamten Prozesskette, von der fertigungsgerechten Konstruktion bis zur spanenden Nachbearbeitung, schafft die Möglichkeit großvolumige, komplexe Bauteile in kleinen Stückzahlen wirtschaftlich fertigen zu können.



Demonstrator einer Brennkassette im Grünzustand

fertigungsgerechte Konstruktion

additiver Fertigungsprozess

spanende Grünbearbeitung

Entbindern/Sintern

spanende Hartbearbeitung