



Möglichkeiten des **Einsatzes von faseroptischen Sensoren** zur Erfassung von **Prozessgrößen** beim FDM-Drucken sowie für die **Zustandserfassung** auslegungsrelevanter Kunststoffbauteile

> TP2.2. FOS4FDM <

Martin Ganß, Andreas Kirchner, Carsten Könke

MTPA **Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar**
an der Bauhaus-Universität Weimar

UNTERNEHMEN 
Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder **REGION**



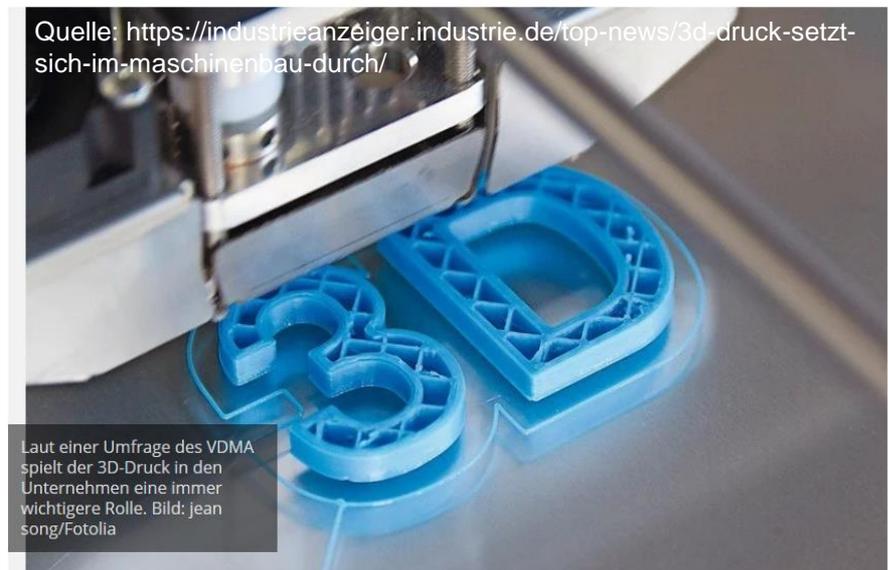
GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

1. Motivation



- Einsatz von 3D-Druckern im Modellbau, Forschung und Industrie
- Herstellung von Mustern, Prototypen und „Werkzeugen“ aus Kunststoff mittels 3D-Druck ist Stand der Technik

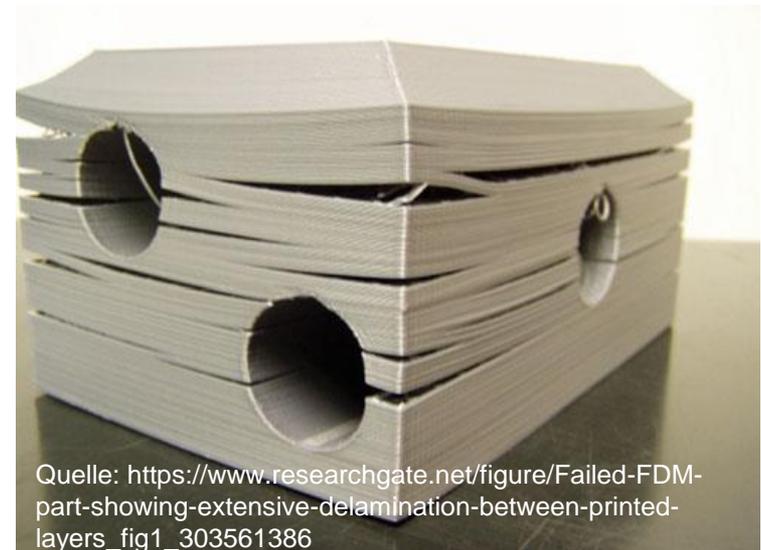


1. Motivation



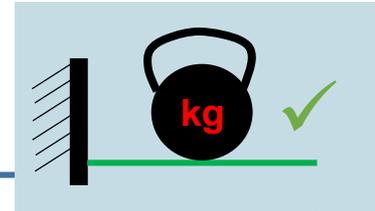
- Einsatz von 3D-Druckern im Modellbau, Forschung und Industrie
- Herstellung von Mustern, Prototypen und „Werkzeugen“ aus Kunststoff mittels 3D-Druck ist Stand der Technik
- Fertigung auslegungsrelevanter **Bauteile aus Kunststoff mit akzeptablen mechanischen Eigenschaften** und in gleichbleibender Qualität ist **schwierig**
- **Probleme:** Risse, Poren, Verzug, Schichtablösung, schlechte Schichthaftung, Schrumpfung (=Eigenspannung),
- **Mechanisches Verhalten ?**

„Hält oder hält nicht?“



Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Failed-FDM-part-showing-extensive-delamination-between-printed-layers_fig1_303561386

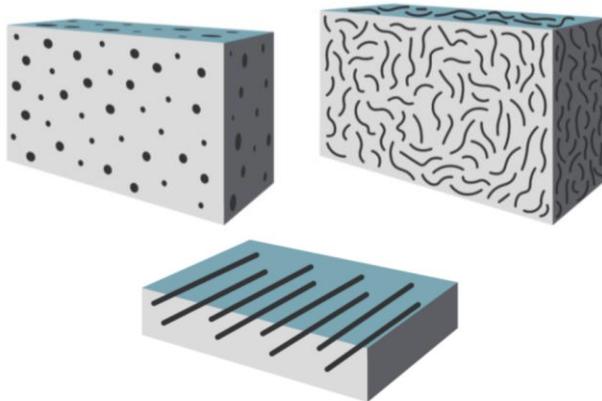
1. Motivation



**Auslegungsrelevante Bauteile aus Kunststoff
im 3D-Druckverfahren - Möglichkeiten**



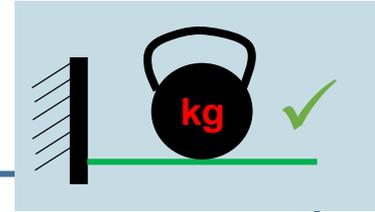
**VERBUNDWERKSTOFFE mittels
Einarbeitung von „Füllstoffen“**



Carbon-Endlosfasern

- Lastgerechte Verstärkung
- Auslegung mit FEM

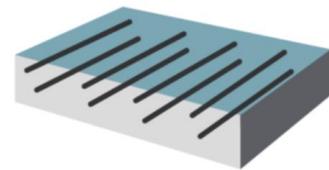
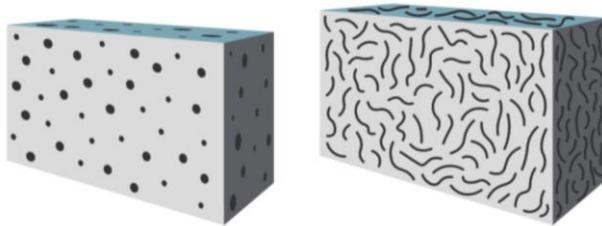
1. Motivation



Auslegungsrelevante Bauteile aus Kunststoff im 3D-Druckverfahren - Möglichkeiten

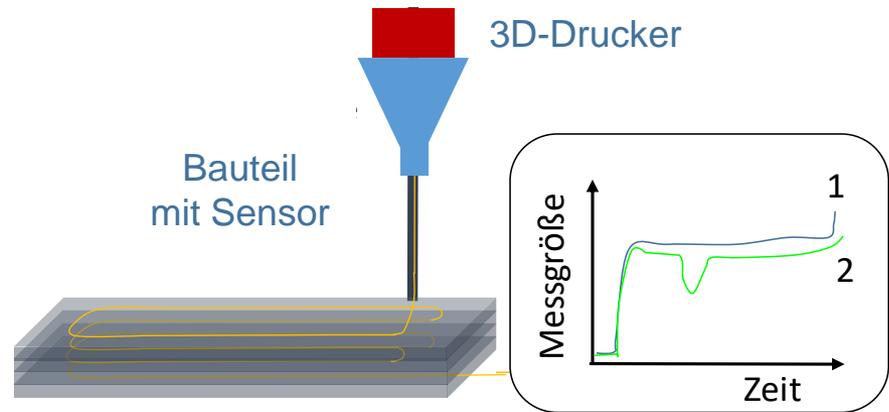
VERBUNDWERKSTOFFE mittels Einarbeitung von „Füllstoffen“

PROZESSVERSTÄNDNIS mittels Sensorik und Simulation



Carbon-Endlosfasern

- Lastgerechte Verstärkung
- Auslegung mit FEM

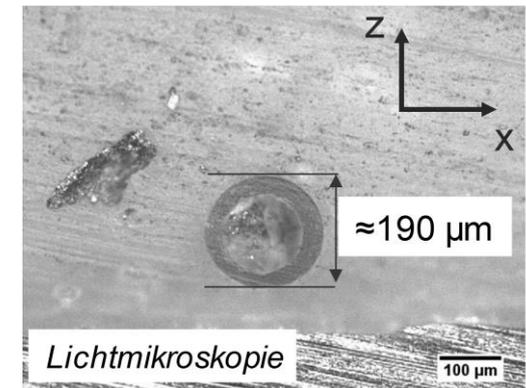
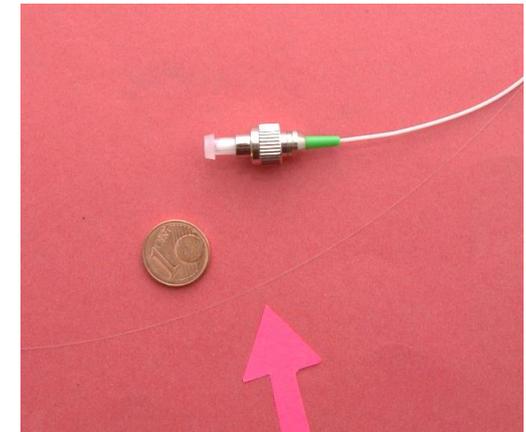


- Prozesserfassung mit Sensorik
- Intelligente Bauteile / Monitoring

2. Sensorik – Faseroptische Sensorik



- Faseroptische Sensoren = Lichtwellenleiter
- optische Temperatur- und Dehnungssensoren bereits in der Anwendung, Monitoring von Strukturen (z.B. Brücken, Bauwerke)



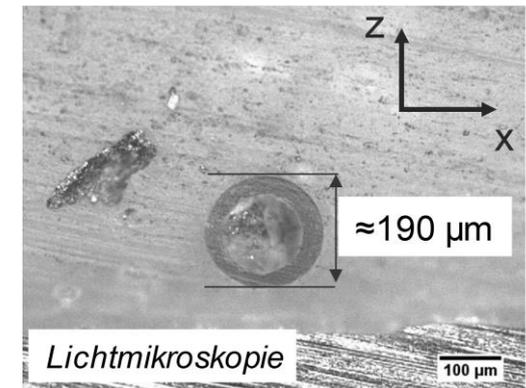
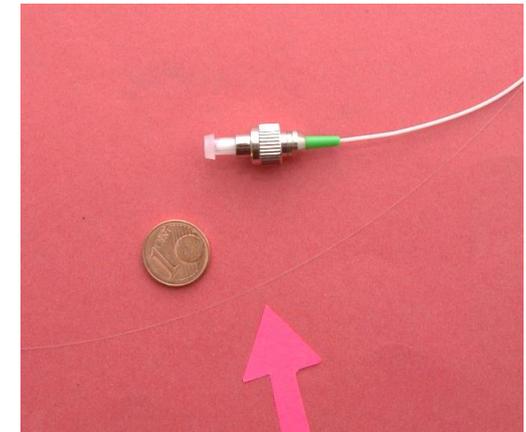
2. Sensorik – Faseroptische Sensorik



- ▣ Faseroptische Sensoren = Lichtwellenleiter
- ▣ optische Temperatur- und Dehnungssensoren bereits in der Anwendung, Monitoring von Strukturen (z.B. Brücken, Bauwerke)

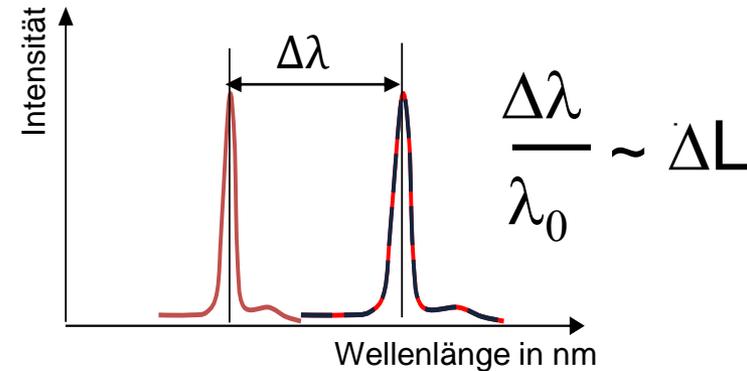
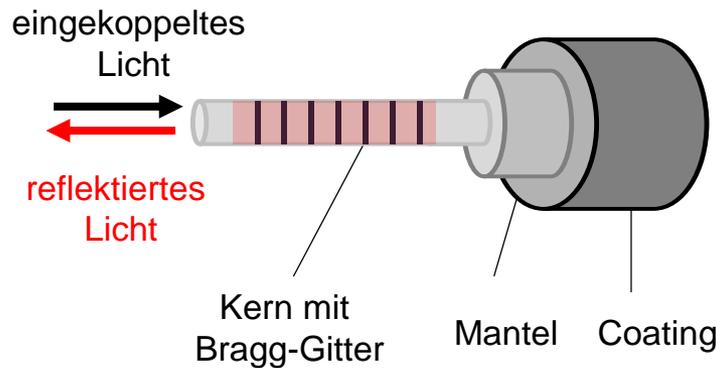
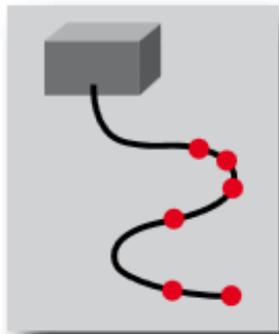
>>> Vorteile für die Integration in den 3D-Druck

- ▣ Faserförmige Geometrie
- ▣ μm -dünne Sensorfasern in Strukturen integrierbar
- ▣ hohe Anzahl von Messpunkten
- ▣ simultane Messwerverfassung
- ▣ Dehnungsmessungen mit Längenänderungen bis zu $>3\%$ möglich
- ▣ große Messstrecken mit einer Faser realisierbar

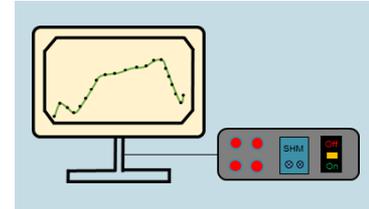


2. Sensorik – Messtechnik

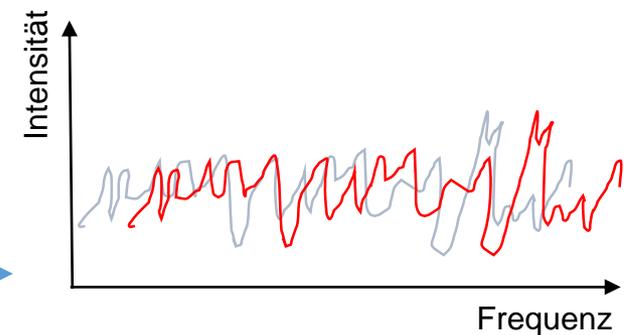
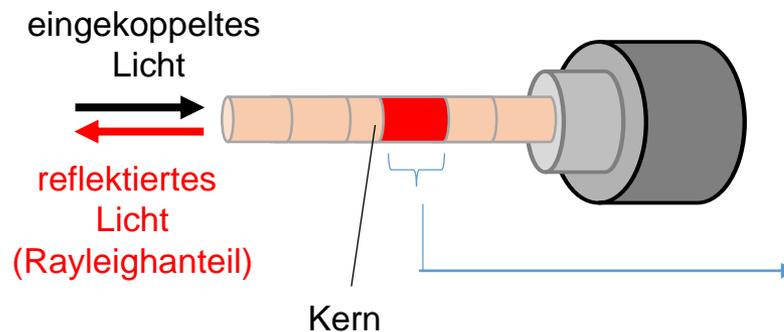
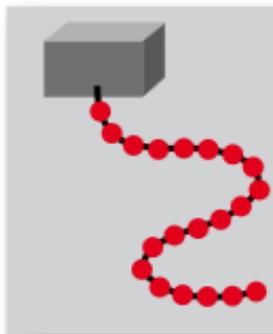
Faser-Bragg-Gitter-Sensoren (FBG)



$\Delta\lambda \approx$ Dehnung und Temperatur



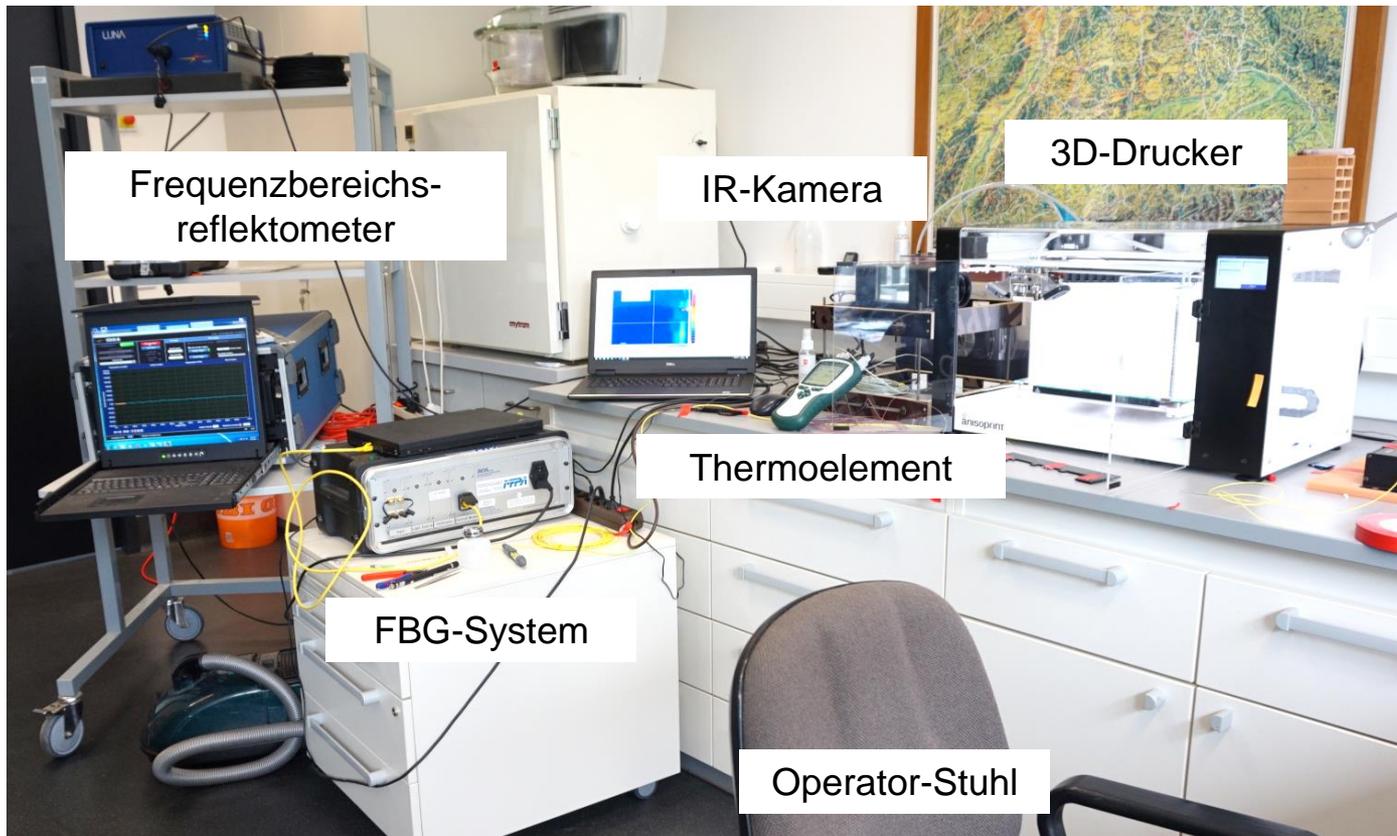
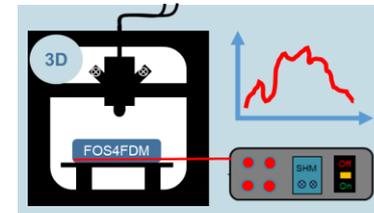
Rayleighstreuung mit Frequenzbereichsreflektometrie (OFDR)



$\Delta f \approx$ Dehnung und Temperatur

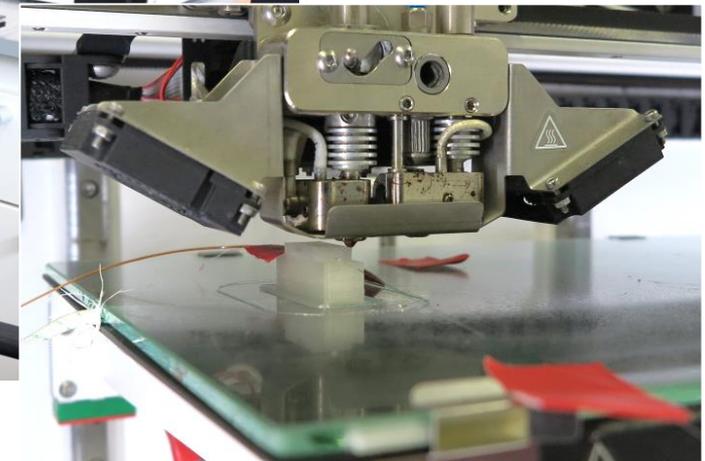
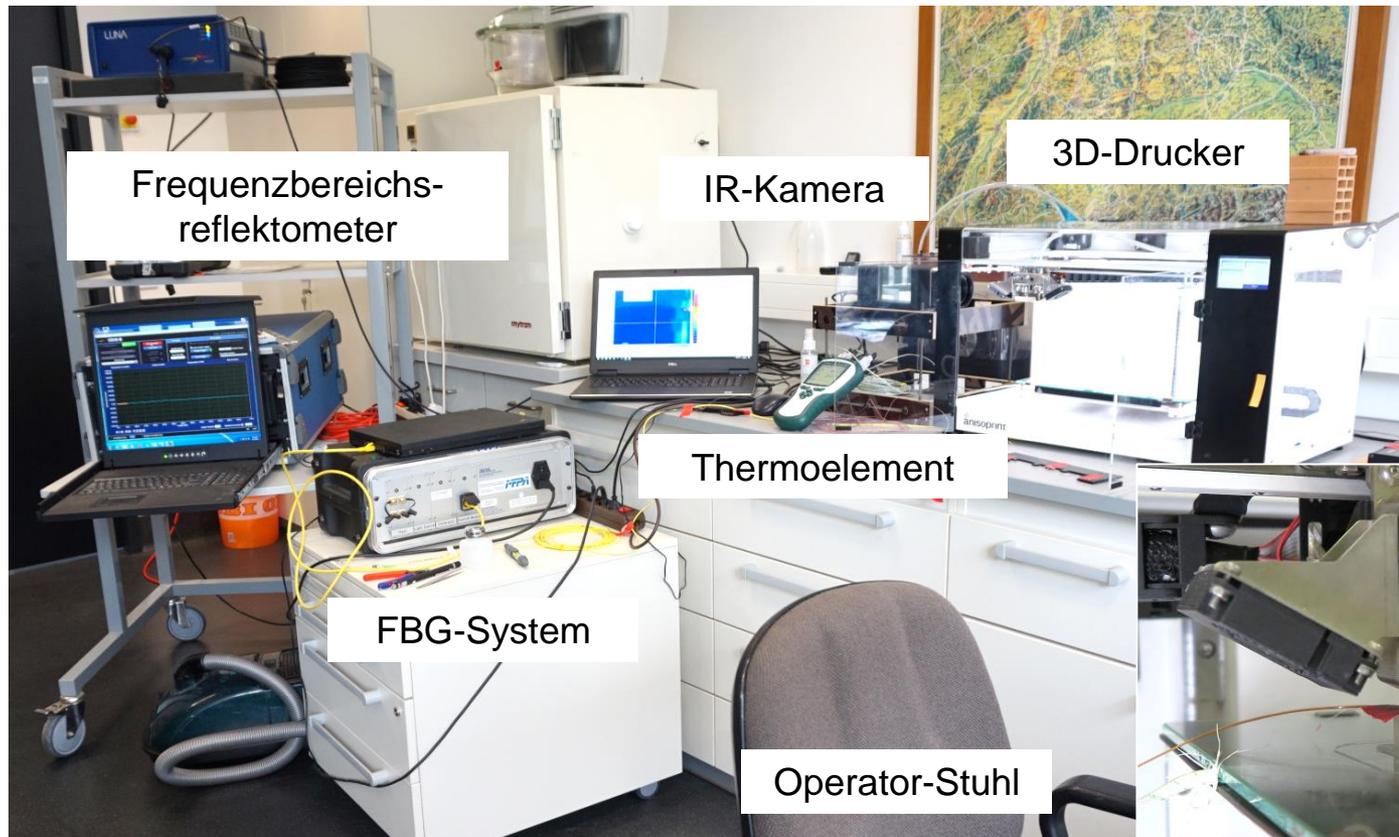
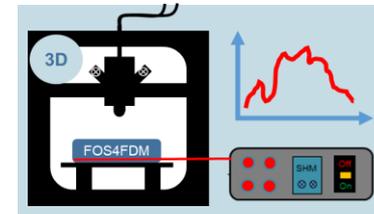
3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Versuchsaufbau – Prozesserrfassung (Phase1)



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

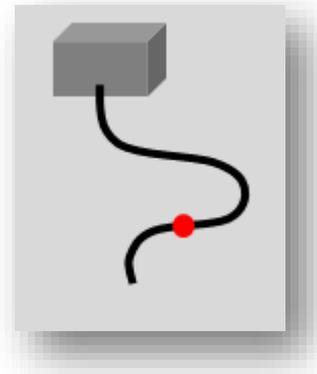
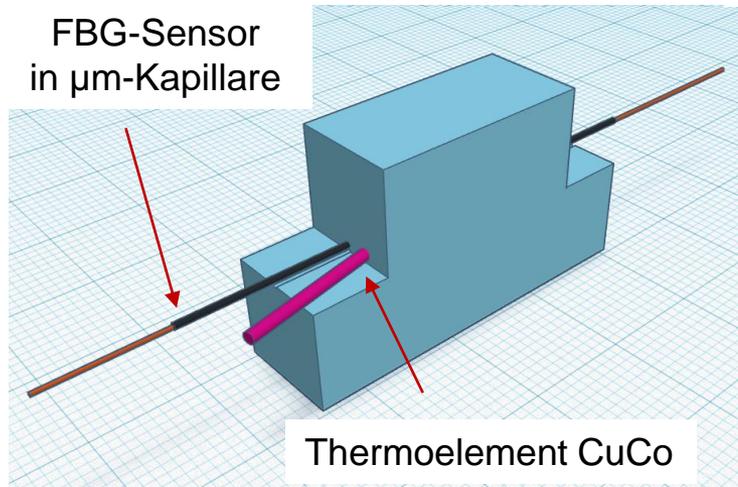
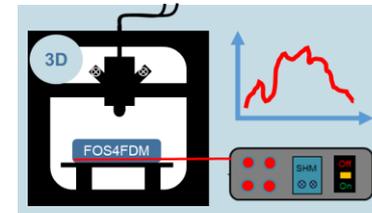
Versuchsaufbau – Prozesserrfassung (Phase1)



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG gekapselt in μm -Glaskapillare - Temperaturmessung



Werkstoff: ABS

Düsentemperatur: 240 °C

Tisch: 70 °C (55 °C)

Geometrie: 2 x Quader

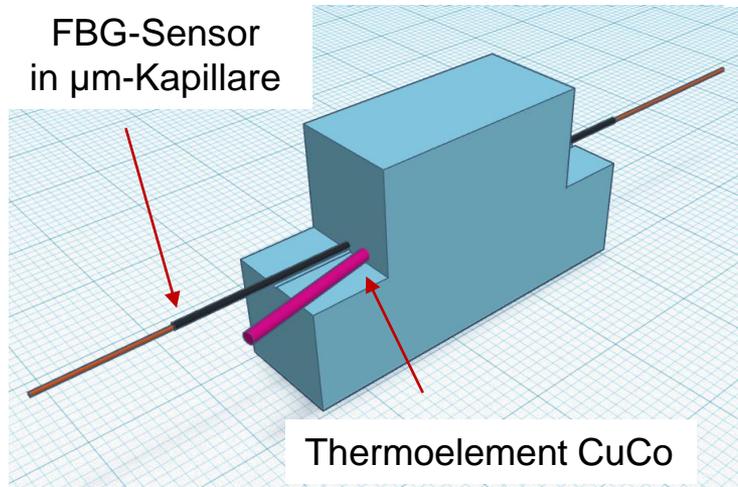
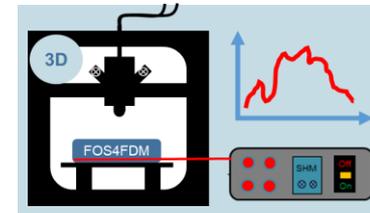
Sensor: 1 FBG, 8mm, $\text{Ø}=195 \mu\text{m}$

Glaskapillare: $\text{Ø}_A=400 \mu\text{m}$

3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

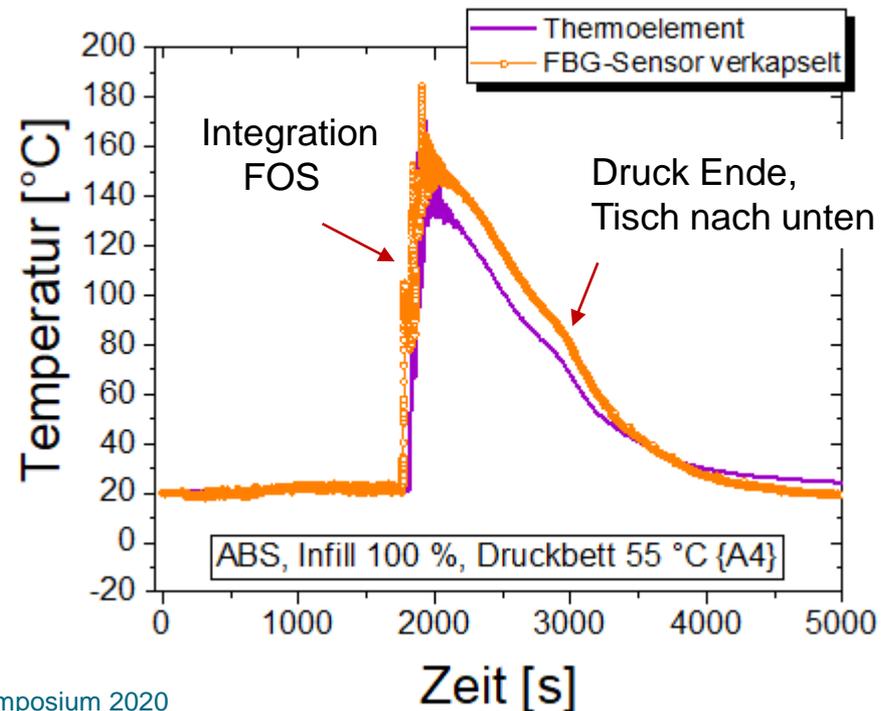
Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG gekapselt in μm -Glaskapillare - Temperaturmessung



Werkstoff: ABS
 Düsentemperatur: 240 °C
 Tisch: 70 °C (55 °C)
 Geometrie: 2 x Quader
 Sensor: 1 FBG, 8mm, $\text{Ø}=195 \mu\text{m}$
 Glaskapillare: $\text{Ø}_A=400 \mu\text{m}$

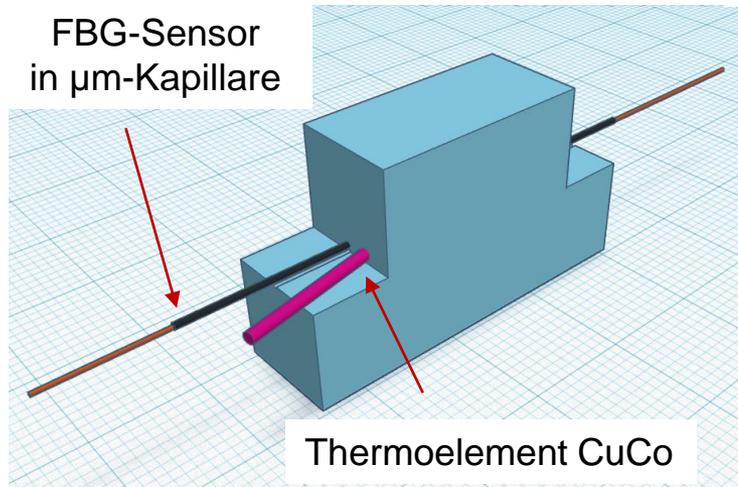
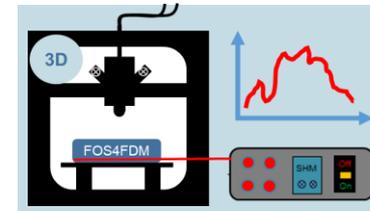
■ Temperatur aus $\Delta\lambda$ der FBG-Sensoren berechnet



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

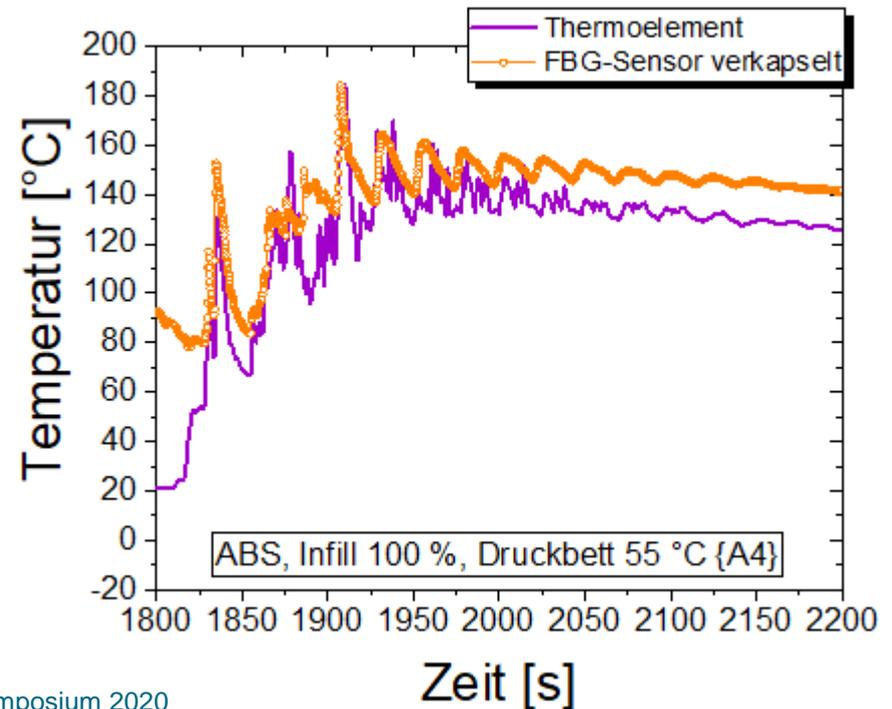
Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG gekapselt in μm -Glaskapillare - Temperaturmessung



Werkstoff: ABS
 Düsentemperatur: 240 °C
 Tisch: 70 °C (55 °C)
 Geometrie: 2 x Quader
 Sensor: 1 FBG, 8mm, $\text{Ø}=195 \mu\text{m}$
 Glaskapillare: $\text{Ø}_A=400 \mu\text{m}$

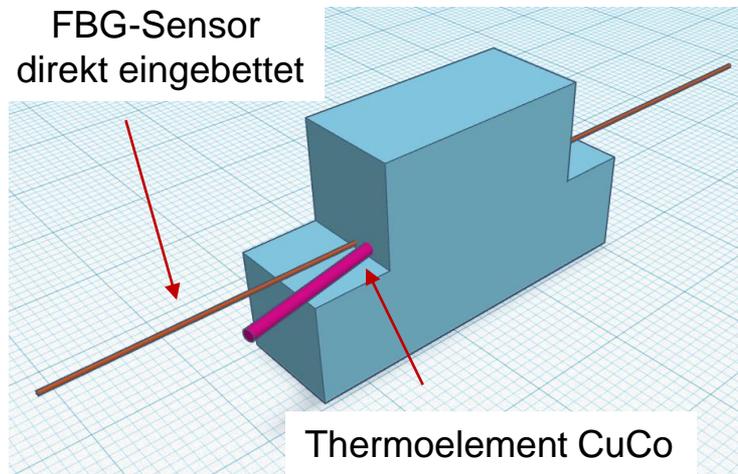
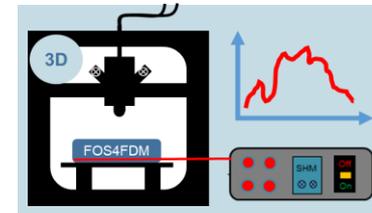
■ Temperatur aus $\Delta\lambda$ der FBG-Sensoren berechnet



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG direkt eingebettet – mechanische Dehnung & Temperatur



Werkstoff: ABS

Düsentemperatur: 240 °C

Tisch: 70 °C (55 °C)

Geometrie: 2 x Quader

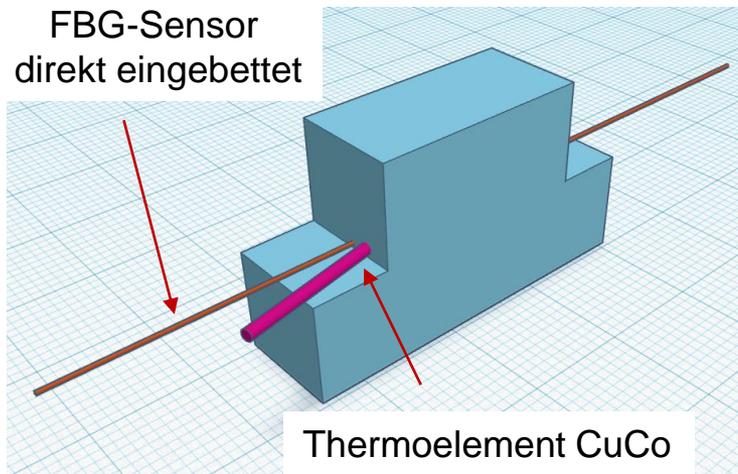
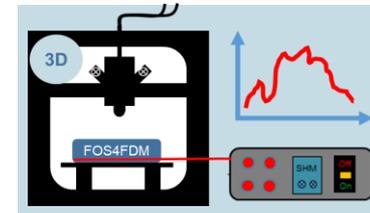
Sensor: 1 FBG, 8mm, Ø=195 µm

Kapillare: Nein

3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

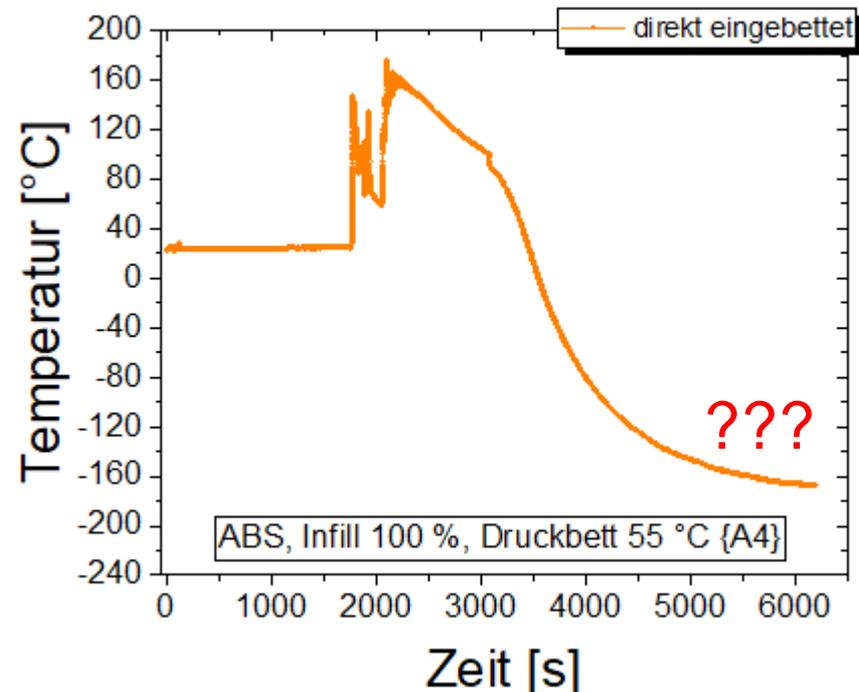
Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG direkt eingebettet – mechanische Dehnung & Temperatur



Werkstoff: ABS
 Düsentemperatur: 240 °C
 Tisch: 70 °C (55 °C)
 Geometrie: 2 x Quader
 Sensor: 1 FBG, 8mm, Ø=195 µm
 Kapillare: Nein

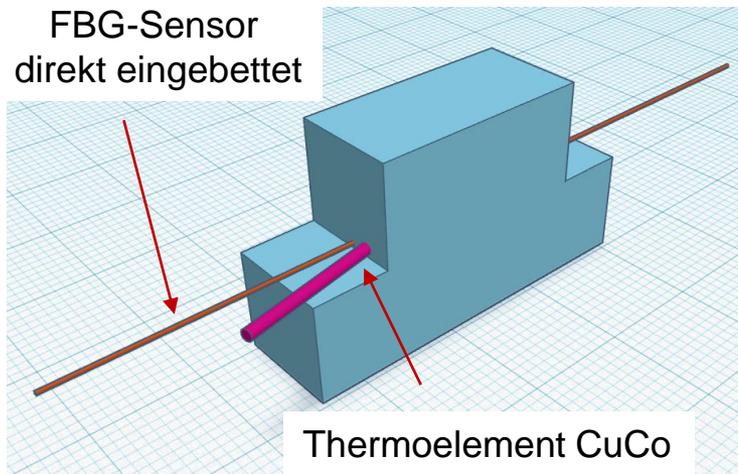
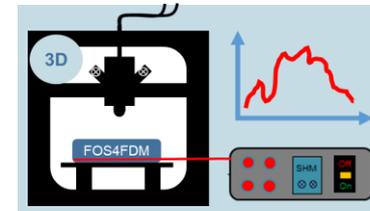
■ Temperatur aus $\Delta\lambda$ der FBG-Sensoren berechnet



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

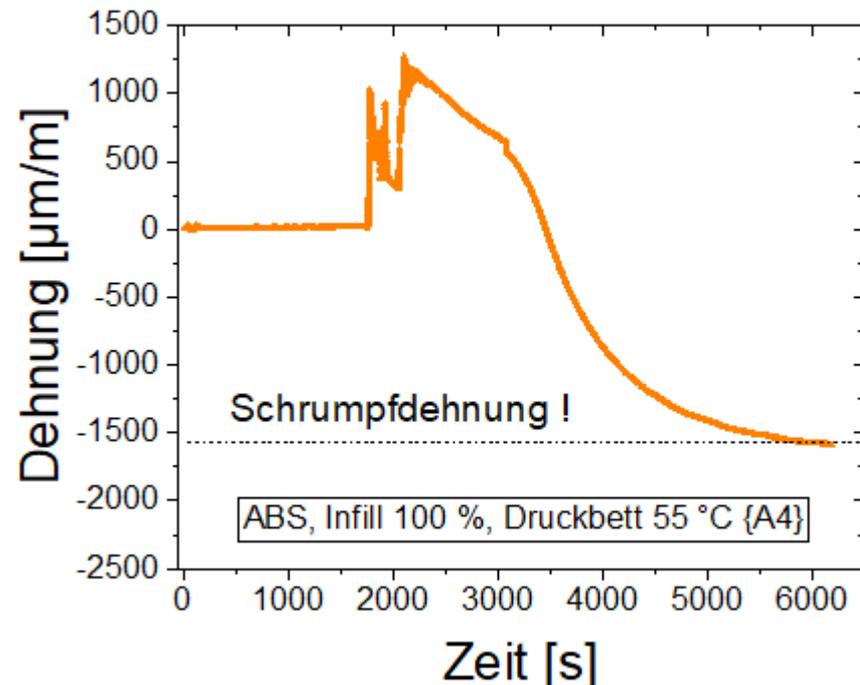
Validierung des faseroptischen Messverfahrens

▣ FBG direkt eingebettet – mechanische Dehnung & Temperatur



Werkstoff: ABS
 Düsentemperatur: 240 °C
 Tisch: 70 °C (55 °C)
 Geometrie: 2 x Quader
 Sensor: 1 FBG, 8mm, Ø=195 µm
 Kapillare: Nein

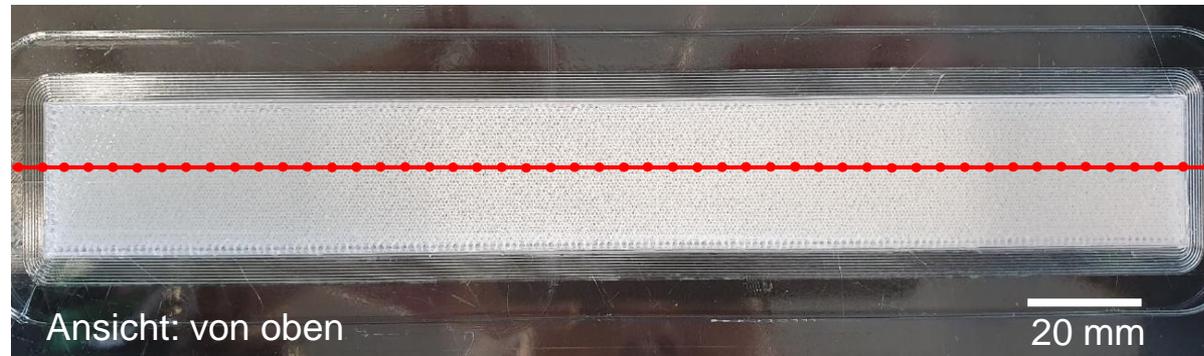
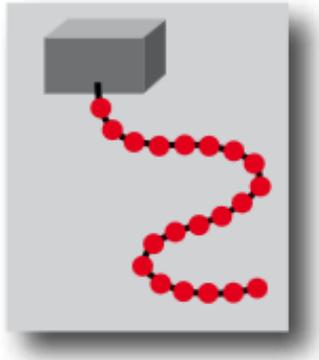
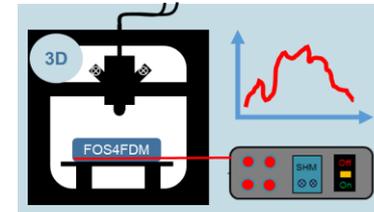
▣ Dehnung aus $\Delta\lambda$ der FBG-Sensoren berechnet



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Verteilt-messende faseroptische Sensoren

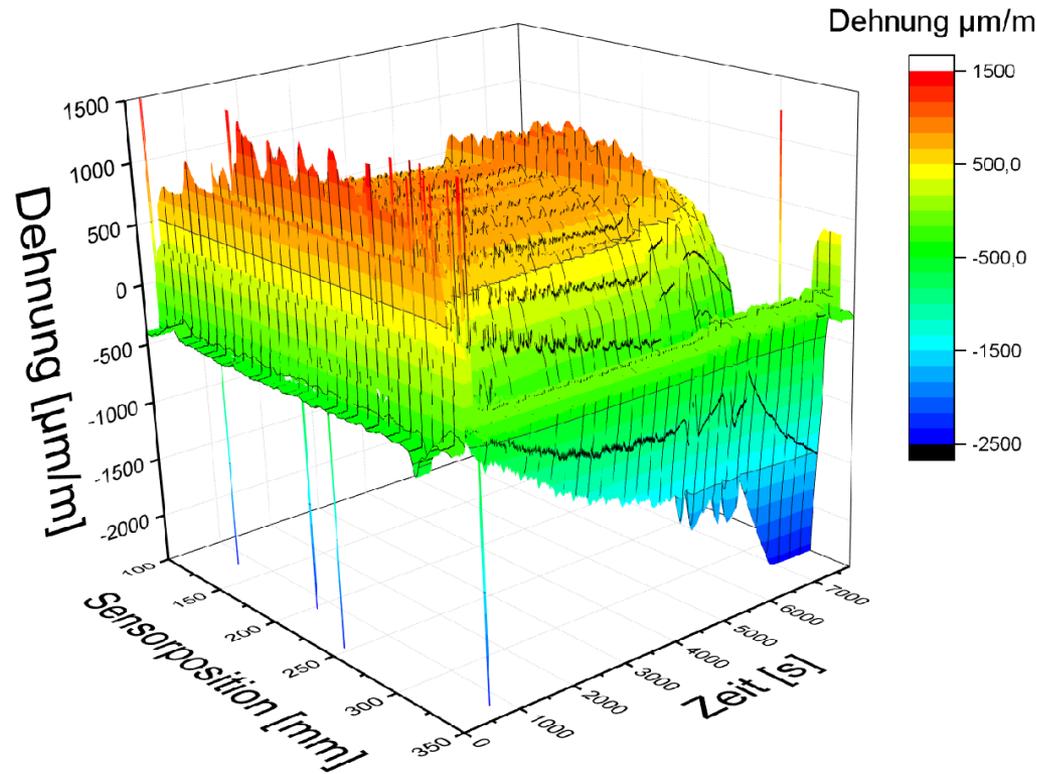
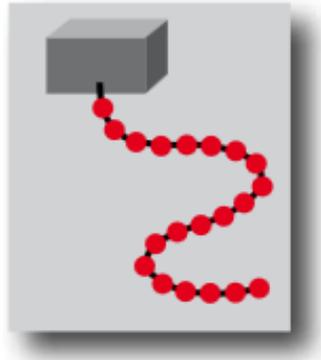
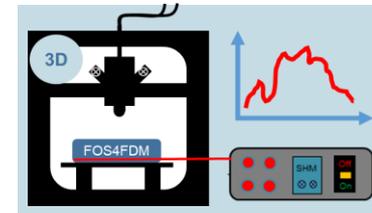
▣ OFDR – mechanische Dehnungen und Temperatur



3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Verteilt-messende faseroptische Sensoren

▣ OFDR – mechanische Dehnungen und Temperatur

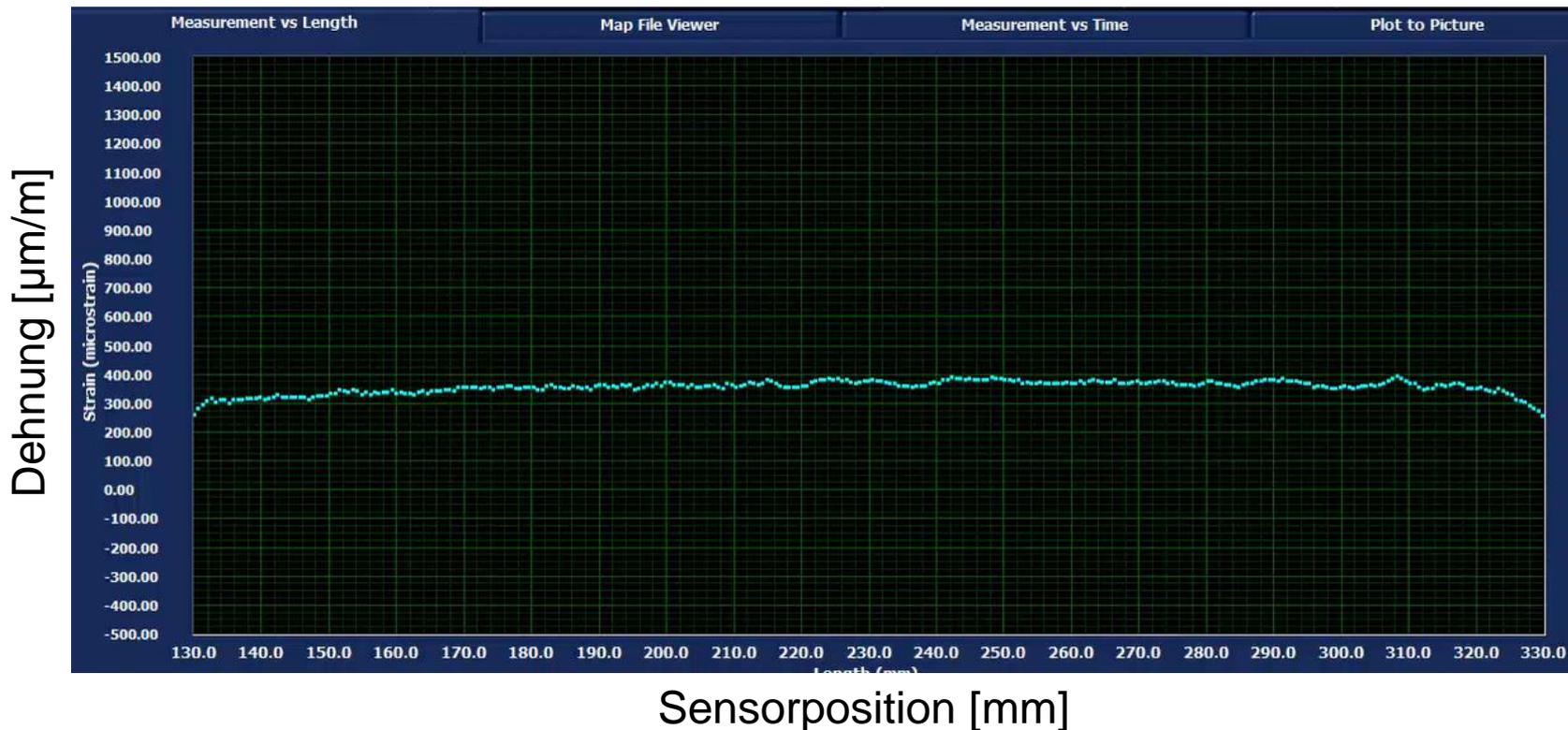
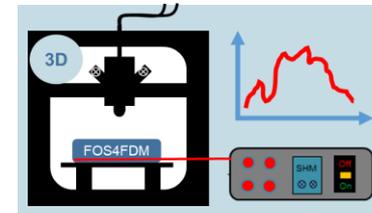


Werkstoff: PET; Düsentemperatur: 240 °C; Tisch: 70 °C (55 °C); Sensor: verteilt, $\varnothing=195 \mu\text{m}$

3. Sensormessungen während des 3D-Drucks

Verteilt-messende faseroptische Sensoren

▣ OFDR – mechanische Dehnungen und Temperatur

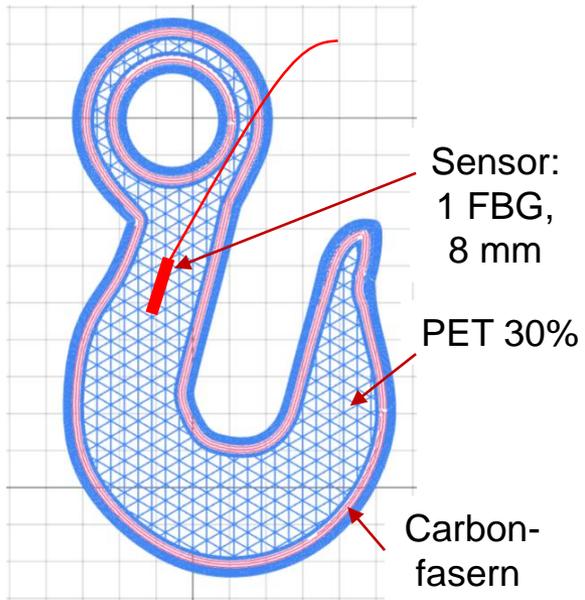
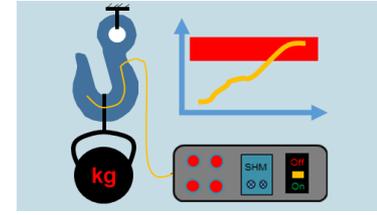


Werkstoff: PET; Düsentemperatur: 240 °C; Tisch: 70 °C (55 °C); Sensor: verteilt, Ø=195 µm

4. Zustandserfassung 3D-gedrucktes Bauteil

Beispiel - Auslegungsrelevantes Bauteil

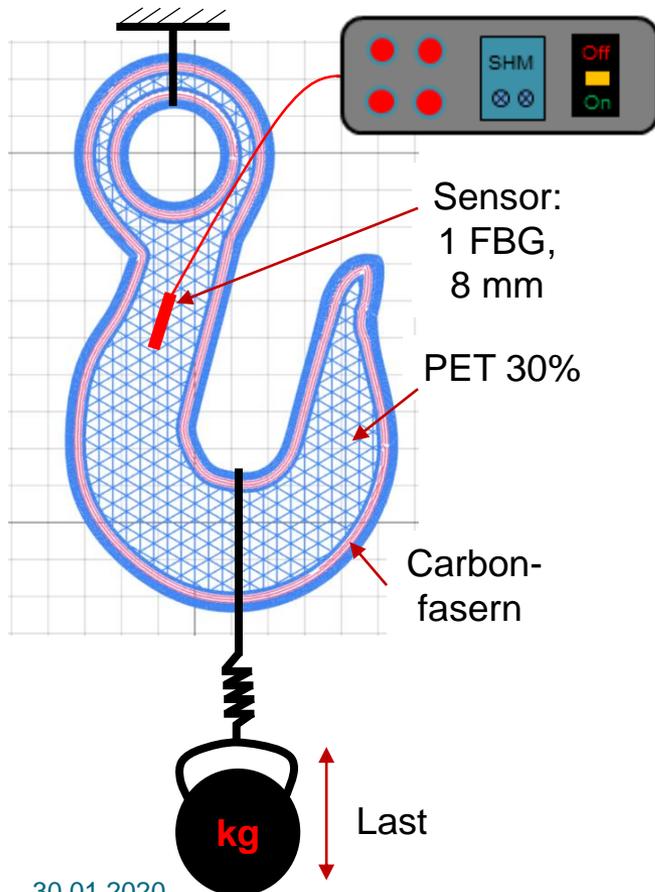
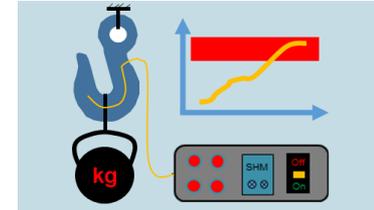
▣ Carbonfaser-verstärkter Haken aus Kunststoff mit FBG-Sensor



4. Zustandserfassung 3D-gedrucktes Bauteil

Beispiel - Auslegungsrelevantes Bauteil

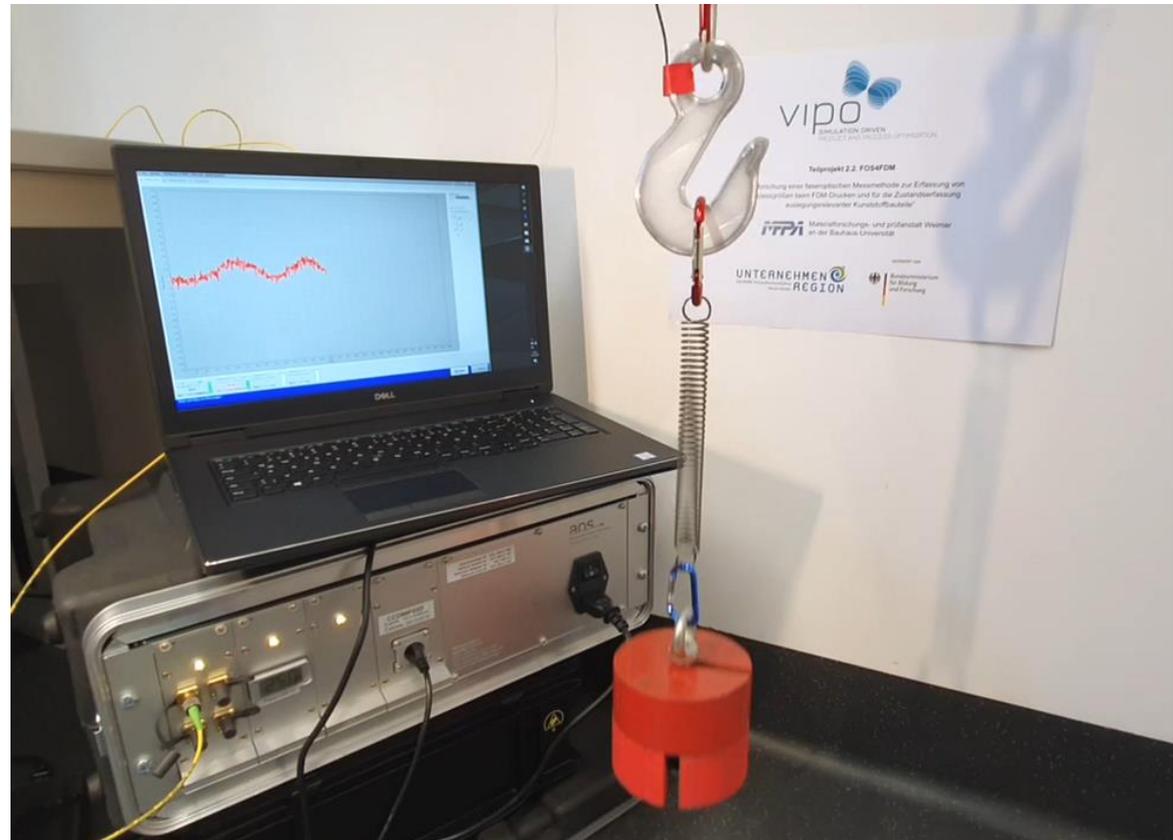
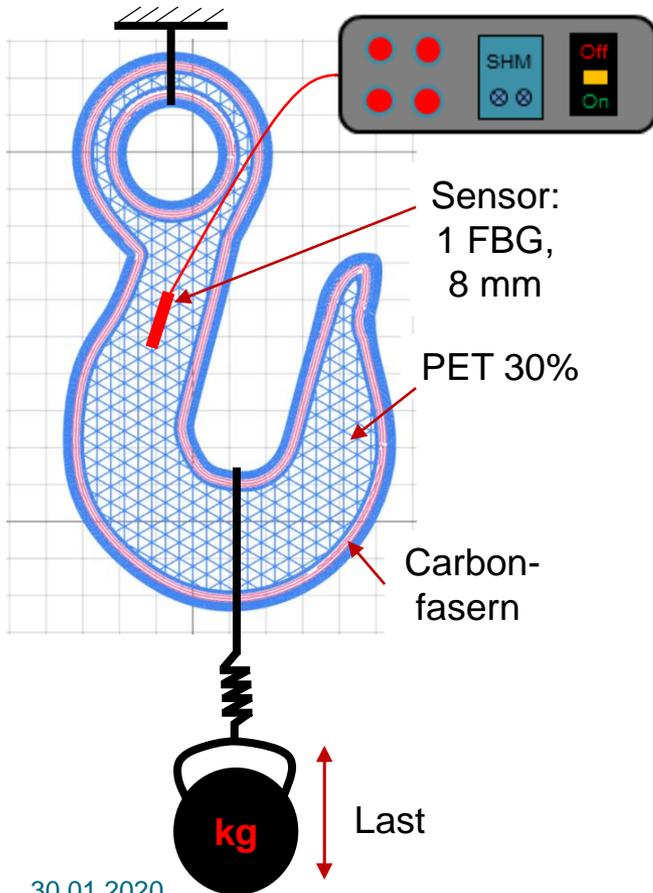
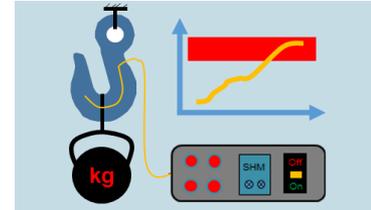
▣ Carbonfaser-verstärkter Haken aus Kunststoff mit FBG-Sensor



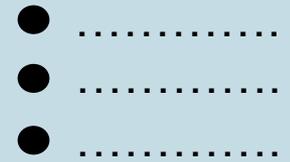
4. Zustandserfassung 3D-gedrucktes Bauteil

Beispiel - Auslegungsrelevantes Bauteil

▣ Carbonfaser-verstärkter Haken aus Kunststoff mit FBG-Sensor



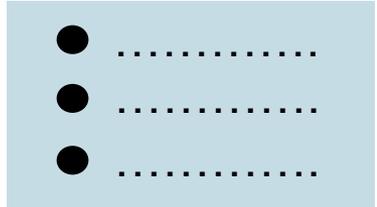
5. Zusammenfassung



- Integration von faseroptischen Sensoren in 3D-Druckprozess möglich ✓
- Sensordaten mit hoher Datenqualität erfasst – prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen ✓
- Direkteinbettung resultiert in Mischsignal aus Temperaturen und mechanischen Dehnungen ✓



5. Zusammenfassung & Ausblick



- Integration von faseroptischen Sensoren in 3D-Druckprozess möglich ✓
- Sensordaten mit hoher Datenqualität erfasst – prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen ✓
- Direkteinbettung resultiert in Mischsignal aus Temperaturen und mechanischen Dehnungen ✓
- ▢ tieferes Verständnis zu Sensordaten erarbeiten – weitere Validierung mit experimentellen Methoden und Simulation
- ▢ systematische Untersuchungen an unterschiedlichen Materialien
- ▢ Bewertung der Möglichkeiten der direkten Prozessintegration
- ▢ Umsetzung der Sensorlösung in Demonstrator
- ▢



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

**Vielen Dank an die Projektpartner,
den Projektträger und
das BMBF !**



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung