

In-situ Prozessüberwachung in der additiven Fertigung von Metallen (L-PBF) mittels TT und ET

Nils SCHEUSCHNER¹, Frank HEINRICHSORFF², Anzhelika GORDEI³,
Henrik EHLERS¹, Jaroslaw KOCHAN³, Hamid JAHANGIR⁴, Matthias PELKNER¹,
Christiane MAIERHOFER¹, Kai HILGENBERG¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin

² Siemens AG, Berlin

³ Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin

⁴ Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Berlin

Kontakt E-Mail: nils.scheuschner@bam.de

Kurzfassung

Durch die additive Fertigung ergeben sich durch die nun mögliche wirtschaftliche Fertigung hochgradig individueller und komplexer metallischer Bauteile in kleinen Stückzahlen bis hinunter zum Einzelstück für viele Industriebereiche ganz neue Möglichkeiten.

Gleichzeitig entstehen jedoch neue Herausforderungen im Bereich der Qualitätssicherung, da sich auf statistischen Methoden beruhende Ansätze nicht anwenden lassen, ohne wiederum die Vorteile der Fertigung massiv einzuschränken.

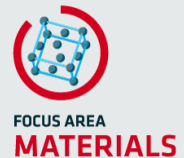
Eine mögliche Lösung für dieses Problem liegt in der Anwendung verschiedener In-situ-Überwachungstechniken während des Bauprozesses. Jedoch sind nur wenige dieser Techniken kommerziell verfügbar und noch nicht so weit erforscht, dass die Einhaltung strenger Qualitäts- und Sicherheitsstandards gewährleistet werden kann. In diesem Beitrag stellen wir die Ergebnisse einer Studie über mittels L-PBF gefertigte Probekörper aus der Nickelbasis-Superlegierung Haynes 282 vor, bei denen die Bildung von Defekten durch lokale Variationen der Prozessparameter wie der Laserleistung provoziert wurde. Die Proben wurden in-situ mittels Thermographie, optischer Tomographie, Schmelzbadüberwachung und Wirbelstromprüfung sowie ex-situ mittels Computertomographie (CT) überwacht, mit dem Ziel, die Machbarkeit und die Aussichten der einzelnen Methoden für die zuverlässige Erkennung der Bildung relevanter Defekte zu bewerten.

25.05.2022

IN-SITU PROZESSÜBERWACHUNG IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG VON METALLEN (L-PBF) MITTELS TT UND ET

N. Scheuschner¹, F. Heinrichsdorff², A. Gordei³, H. Ehlers¹, J. Kochan³,
H. Jahangir⁴, M. Pelkner¹, C. Maierhofer¹ und K. Hilgenberg¹

¹ BAM, ² Siemens AG, ³ Fraunhofer IPK, ⁴ Siemens Energy



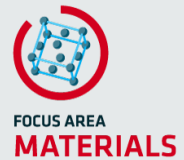
1

Übersicht

- Das HTA 2.0 Projekt
- AM5 – In-situ Monitoring
- In-situ Verfahren
 - Thermografie
 - Melt Pool Monitoring
 - Optische Tomografie
 - Wirbelstromprüfung
- Probenkörperdesign für die Entwicklung von in-situ Monitoring
- Ergebnisse OT/MPM
- Ergebnisse Thermografie

2

Das HTA 2.0 Projekt: Hochtemperaturanwendungen 2.0

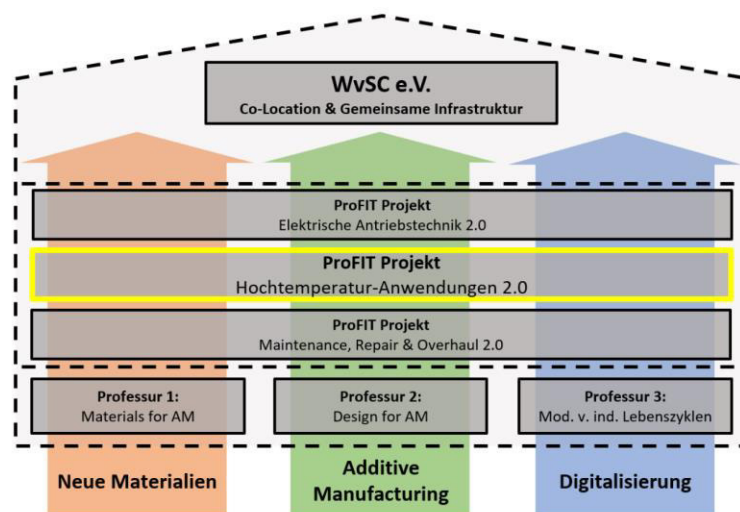


25.05.2022

3

3

Drei ProFIT – Projekte im Rahmen des Werner-von-Siemens Centre



25.05.2022

4

4

Hochtemperaturanwendungen 2.0



ProFIT Projekt im Rahmen des WvSC

Ziel: AM gefertigte Bauteile für Gasturbinen

~ 75 Co-workers

Werner-von-Siemens Centre
for Industry and Science

SIEMENS energy
 optris infrared measurements
 CellCore POLYMER SOLUTIONS

Fraunhofer **BAM**

3 Research fields
12 Work-packages
73 Subwork packages

CONTACT Software
 SIEMENS
 FRIENDSHIP SYSTEMS

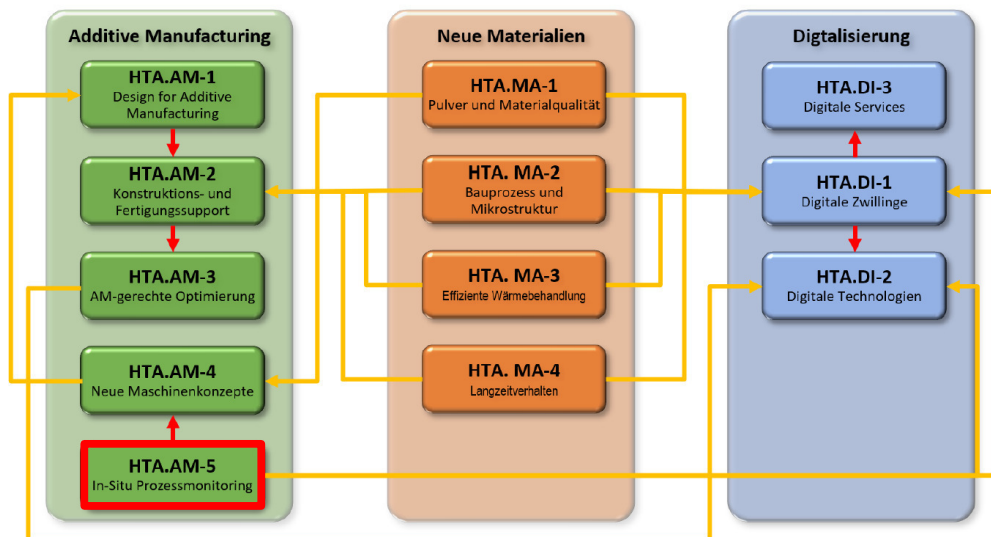
ca. 13Mio.€
total budget

25.05.2022

5

5

HTA 2.0 – Übersicht über die APs



25.05.2022

6

6

AM5 – In-situ Monitoring

www.bam.de

25.05.2022

7

7

AM5 – In-situ Monitoring Workflow

1. Design der Probekörper



2. Fertigung @
IPK,SAG und BAM



In-situ Messdaten:

- Thermografie
- Tomografie
- Meltpool-Monitoring
- Wirbelstromprüfung

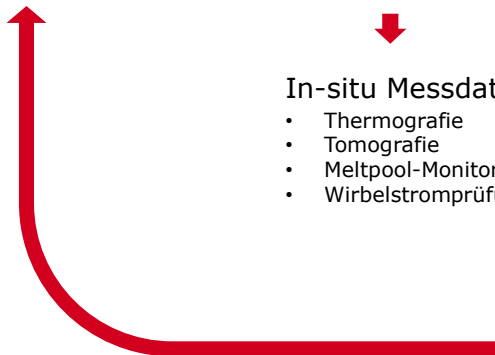


3. Charakterisierung

- μ CT
- Metallografie
- EBSD



4. Auswertung



25.05.2022

8

8

Übersicht In-situ Verfahren

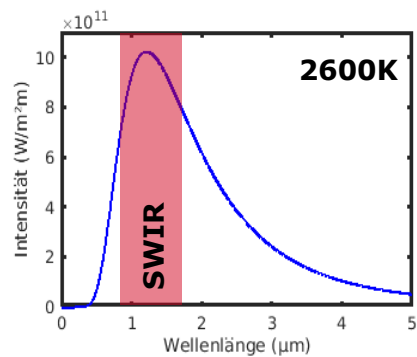
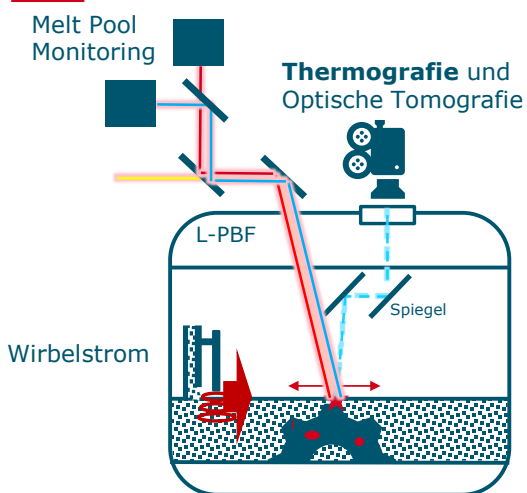
www.bam.de

25.05.2022

9

9

In-situ Methoden Thermografie



Kurzwellen IR (SWIR): 900-1700nm

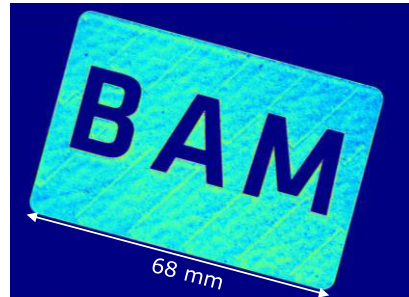
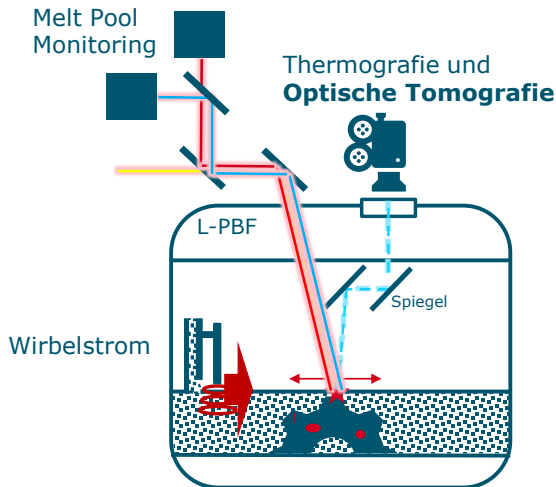
- Transferierbar in Industrie (Größe, Preis, Lebensdauer)
- Maximum der Emission

25.05.2022

10

10

In-situ Methoden Optische Tomografie



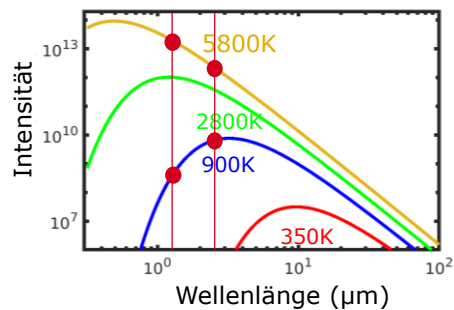
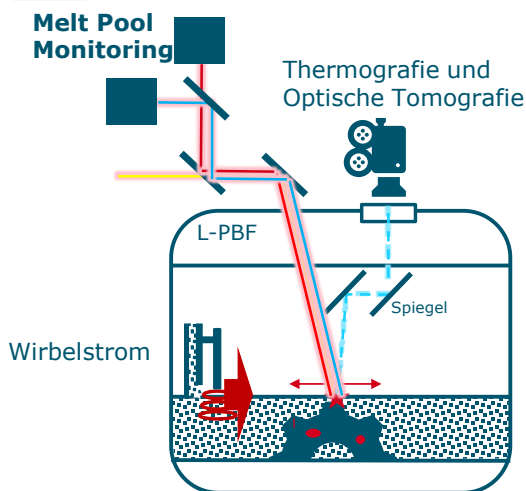
- Langzeitbelichtung im VIS/NIR
- Keine Zeitauflösung
- Hohe Ortsauflösung
- Preiswert

25.05.2022

11

11

In-situ Methoden Melt-Pool Monitoring



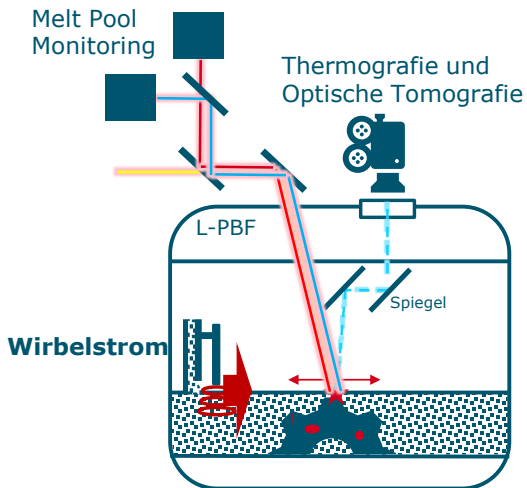
- Koaxiales Quotienten-Pyrometer
- Kommerziell angeboten
- Hohe Abtastrate (kHz Bereich)
- Keine Temperaturen
- Kein Abkühlprozess

25.05.2022

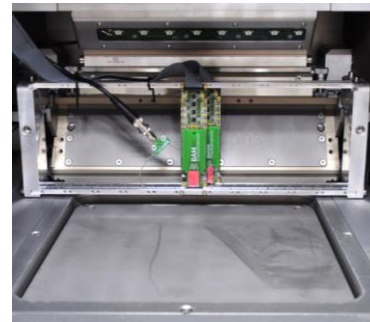
12

12

In-situ Methoden Wirbelstromprüfung



25.05.2022



Vortrag von
Henrik Ehlers
um 11:35!

13

13

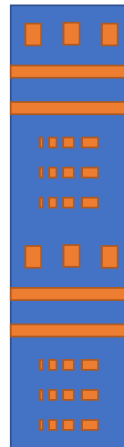
Probendesign für die Entwicklung von in-situ Monitoring

25.05.2022

14

14

Künstliche Defekte und Probendesign

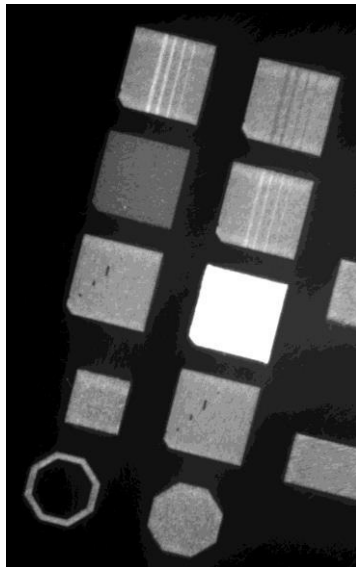


- Defekte treten „zu selten“ auf
- Forcierung durch angepasste Parameter
- **Gewünscht:** Kontrolle des Ortes und hohe Reproduzierbarkeit

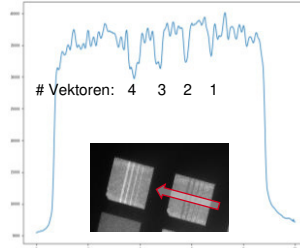


Ergebnisse MPM/OT

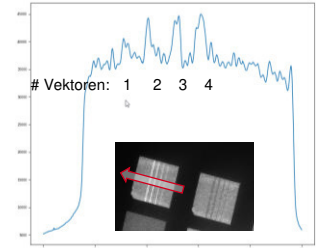
Ergebnisse Optische Tomografie



Vektoren mit 80% Leistung



Vektoren mit 120% Leistung



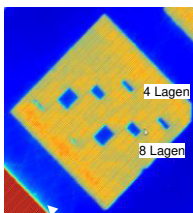
Direkte Parametervariation sichtbar

5328 x 4608 Pixel – 12Bit
 975nm BP Filter (50nm FWHM)
 74 x 64 mm ROI
 13 $\mu\text{m}/\text{px}$

Ergebnisse Optische Tomografie Hohlstellen/Poren

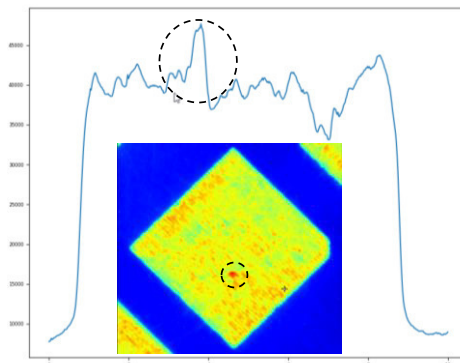


Einbringen der Pore

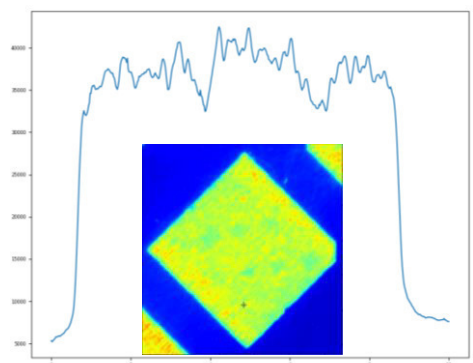


Größte Pore:
 1 mm x 8 Vektoren x 8 Lagen

Erster Lage nach Pore

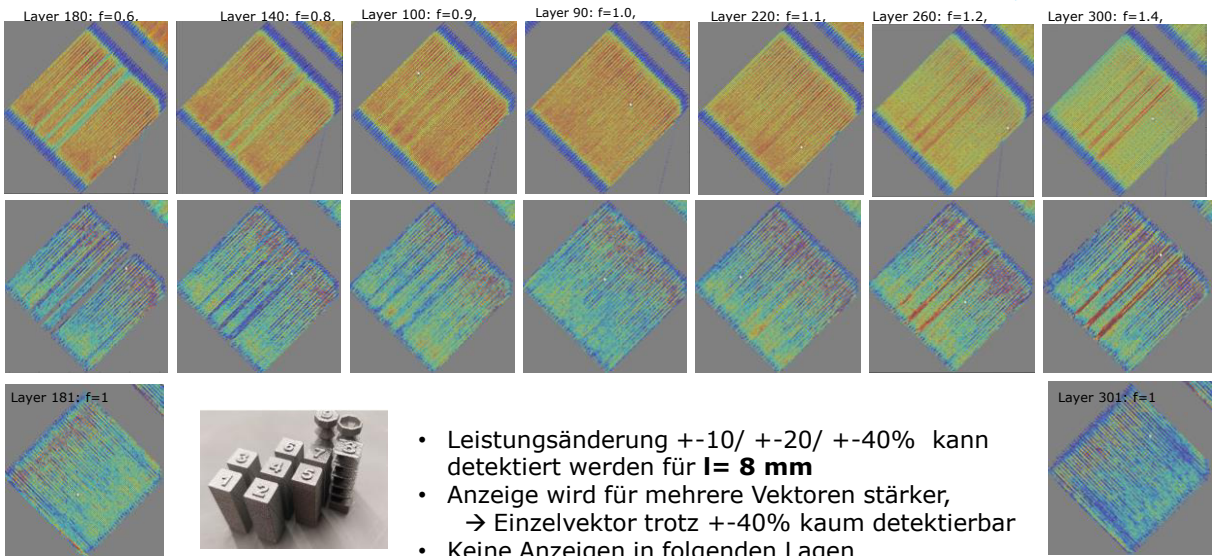


Zweite Lage nach Pore



Keine Anzeigen in folgenden Lagen

MPM - Einzelvektoren



19

19

Ergebnisse Thermografie

20

IR Kamera: Belichtungsstrategien



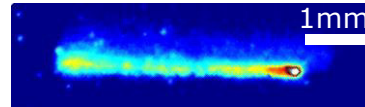
1. Strategie: Thermografie



$v \sim 1000 \text{ mm/s}$

Geschmolzener Bereich \rightarrow Punktförmig

- Max $\sim 5 \mu\text{s}$ Belichtungszeit
- Framerate min. 20 kHz für „Lückenlos“
- Hohe Ortsauflösung ($< 50 \mu\text{m}/\text{px}$) für Temperaturkalibrierung notwendig

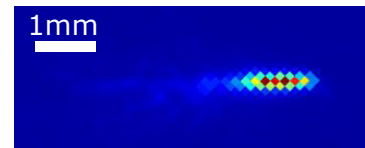


2. Strategie: Semikontinuierlich



Geschmolzener Bereich \rightarrow Linienförmig

- Temperaturbestimmung unmöglich da zeitlicher und räumlicher Gradient pro Pixel $> 1000\text{K}$
- Größere ROI und geringere Bildrate möglich



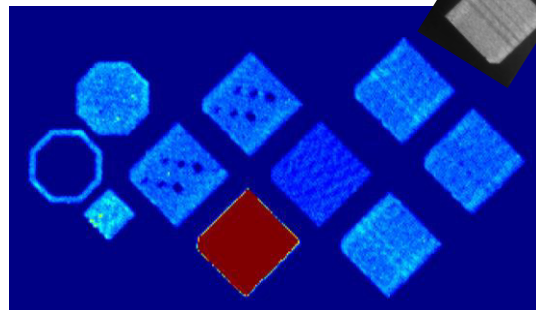
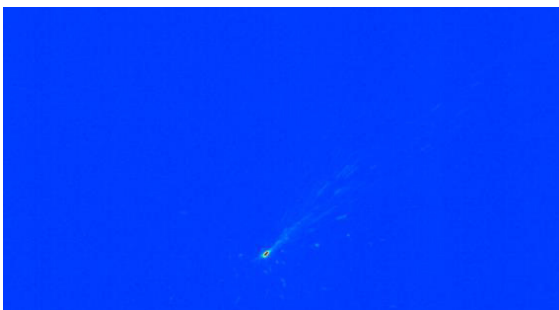
21

21

Ergebnisse IR Kamera: Semikontinuierlich



Vergleich OT



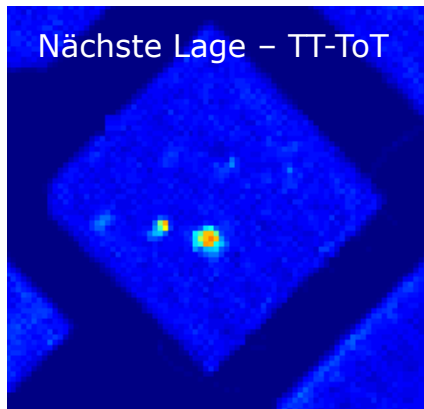
- 640x364 800Hz, 1600nm Bandpassfilter
- 9,6 x 7 cm ROI
- 1,25 ms
- 150 $\mu\text{m}/\text{Pixel}$

Auswertung Zeit über Schwellenwert
Time Over Threshold (TOT-TT)

22

22

Ergebnisse IR Kamera: Semikontinuierlich



Deutliche Anzeige von Poren
in folgender Lage mit modifizierten Parametern

