

Additive Herstellung von Prüfobjekten für die ZfP-Ausbildung – eine Chance?

Christoph WEIDIG¹, Christian STRAUBE¹
¹ ifw Jena GmbH, Jena

Kontakt E-Mail: cweidig@ifw-jena.de

Kurzfassung

In der Ausbildung für zerstörungsfreie Prüfverfahren kommen regelmäßig zu prüfende Objekte zum Einsatz, die stets individuelle Ungängen aufweisen. Dies erschwert allerdings die Vergleichbarkeit der Qualifikationsprüfungen, da alle Prüfungsteilnehmer unterschiedliche Prüfungsobjekte bekommen. Stand der Technik ist, fehlerbehaftete Bauteile aus der Produktion oder speziell angefertigte Werkstücke als Prüf- und Übungsobjekte zu verwenden.

Das pulverbettbasierte Schmelzen von Metall mittels Laserstrahl (PBF-LB/M) bietet Vorteile, hinsichtlich individueller, kundenspezifischer Produktlösungen, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich Geometrie, Varianten und Stückzahl erfordern. Im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes zur Einflussuntersuchung von definiert eingebrachten inneren Ungängen in additiv gefertigten Bauteilen auf deren mechanischen Eigenschaften, war es u. a. das Ziel die endgültige Geometrie und Ausprägung dieser Ungängen zu untersuchen. Anhand dieser Erkenntnisse wurden metallische Prüfobjekte hergestellt, die in der ZfP-Ausbildung Anwendung finden könnten. Dazu wurden Ungängen in Probekörper definiert eingebracht und mit Hilfe der digitalen Durchstrahlungsprüfung, der Ultraschallprüfung und der Farbeindringprüfung untersucht.

Auf Basis dieser Erkenntnisse soll abgeschätzt werden, ob die additive Herstellung von Metall-Prüfobjekten für die ZfP-Ausbildung geeignet ist.

Günter-Köhler-Institut
für Fügetechnik und
Werkstoffprüfung

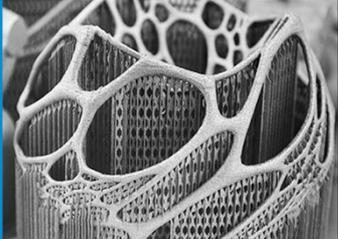




Additive Herstellung von Prüfobjekten für die ZfP-Ausbildung – eine Chance?

DGZfP-Jahrestagung 2022

Christoph Weidig, Christian Straube
Kassel, Mai 2022




Werkstoffprüfung @ ifw Jena



The diagram illustrates a material testing process flow:

- WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG**: Material characterization using a Bruker Spectrometer SILENTX DRIFT (MFS40247, INNO-KCM-Ges).
- LASERSTRAHLSCHMELZEN**: Laser beam melting using SLM 280 W, SLM 280 HL, and SLM 3000 (all INNO-KCM-Ges).
- WERKSTOFFPRÜFUNG**: Material testing of test specimens.
- OFENPROZESSE**: Furnace processes using a Vakuum-Ofensystem MUT and GERO Hochtemperatur-schmelzöfen.
- DURCHSTRAHLUNGSPRÜFUNG**: Radiographic testing of castings and gears.
- IDENTIFIZIERUNG VON FEHLSTELLEN IM BAUTEIL**: Identification of defects in a part.
- KLASSIFIZIERUNG VON UNREGELMÄSSIGKEITEN IM BAUTEILVOLUMEN**: Classification of irregularities in part volume.
- SOLL-IST-VERGLEICH VON KONSTRUKTIONS DATEN UND CT-DATENSATZ**: Comparison of construction data and CT data set.
- INHALTSPRÜFUNG VON BAUTEILEN AUF MOGLICHE PULVERFÜLLUNG**: Content testing of parts for possible powder filling.



Christoph Weidig, Christian Straube
Kassel, Mai 2022

2

Durchstrahlungsanlagen

Systeme für 2D-Durchstrahlungsprüfung und Computertomografie

XRH111-MF

(Fa. VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH)



- › 225 kV Mikrofokusröhre (max. 300 W)
- › Detailauflösung $\geq 10 \mu\text{m}$
- Hochauflösende 2D-Durchstrahlung und Mikro-CT

EFRE Das vom Freistaat Thüringen geförderte Vorhaben wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.
Förderkennzeichen: 2018 WVN 0008

XRH222

(Fa. VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH)



- › 225 kV Minifokusröhre (max. 1800 W)
- › Detailauflösung $\geq 150 \mu\text{m}$
- 2D-Durchstrahlung und CT

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie INNO-KOM-OST

Die vorgestellte Investition wurde im Rahmen des Investitionsvorhabens I2140043 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages zur FuE-Förderung gemeinsinniger externer Industrieforschungseinrichtungen in Ostdeutschland - Innovationskompetenz Ost (INNO-KOM-OST) gefördert.

Unregelmäßigkeiten in Schweißnähten

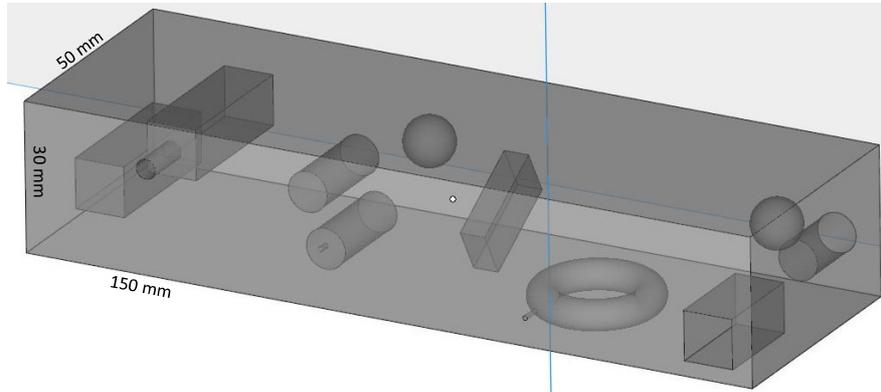
künstlich erzeugt – mechanisch



Schweißnaht mit senkrechten Bohrungen

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

künstlich erzeugt – digital



CAD-Modell eines Prüfobjektes mit definiert eingebrachten Ungängen

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

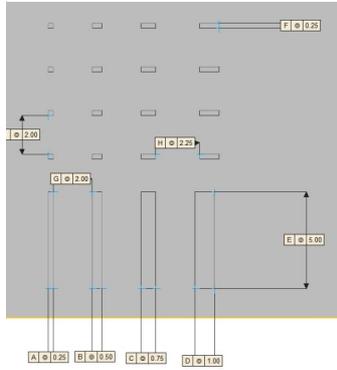
künstlich erzeugt – additiv gefertigt



mittels PBF-LB-Verfahren erzeugte Prüfobjekte, oben: Stahlprüfkörper, unten: Aluminiumprüfkörper

Oberflächenunregelmäßigkeiten in Bauteilen

Farbeindringprüfung PT



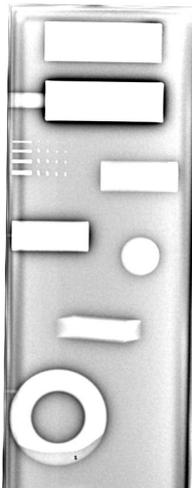
CAD-Maße



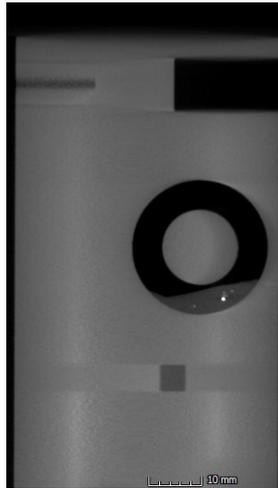
erfolgreiche PT-Prüfung

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

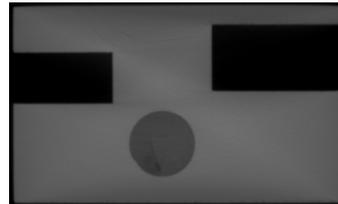
Durchstrahlungsprüfung



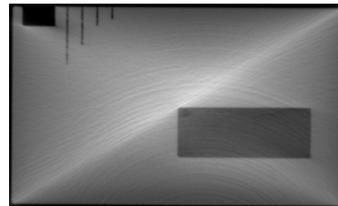
2D-Durchstrahlung



Schnittebene aus CT - quer



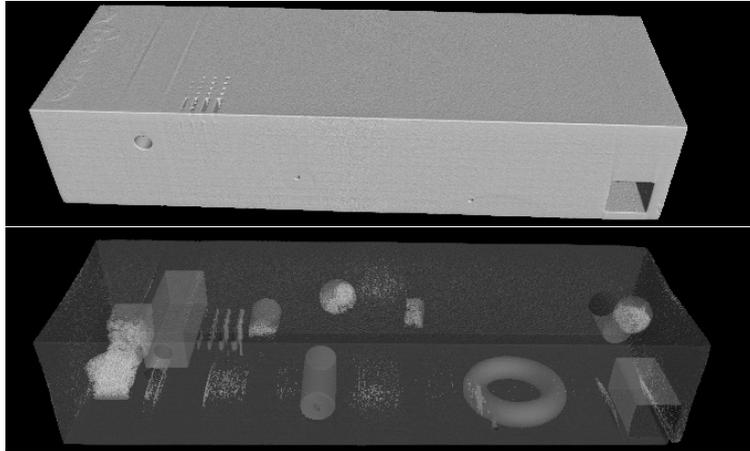
Schnittebene aus CT - längs



Schnittebene aus CT - Mitte

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

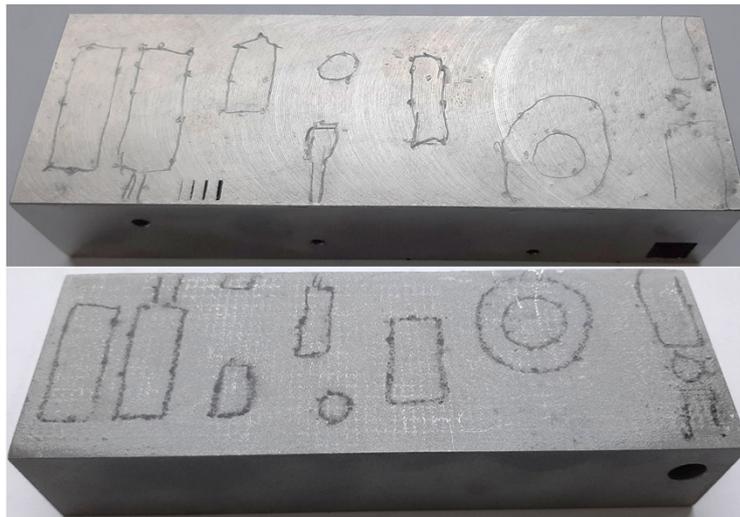
3D-Durchstrahlungsprüfung



3D-Darstellung aus CT, oben: Außendarstellung, unten: innenliegende Unregelmäßigkeiten

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

Ultraschallprüfung



Markierungen der Ultraschallprüfung, oben: Stahlprüfkörper, unten: Aluminiumprüfkörper

Unregelmäßigkeiten in Bauteilen

Ultraschallprüfung – Bericht

Befund für registrierpflichtige Anzeigen												
mechanisch gemessene Werte				am Gerät abgelesene Werte			ermittelte Werte und Bewertung					
PKS	x ₁ (mm)	x ₂ (mm)	y ₁ (mm)	y ₂ (mm)	s (mm)	z (mm)	ΔR ₁ (dB)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	Anz.-Nr.	Echo-Top	zulässig ja/nein
G	5	16	12	42	14,4	14,4	-16	16	30	1	2	nein
G	20	32	13	42	4,3	4,3	-8	12	29	2	2	nein
G	25	27	43	50	7,5	7,5	-8	2	7	3	2	nein
G	44	48	7	27	15	15	-10	4	20	4	2	nein
G	60	63	30	50	15,2	15,2	-9	3	20	5	2	nein
G	139	144	0	17	15,3	15,3	0	5	17	6	2	nein
G	137	147	33	50	16,7	16,7	-14	10	17	7	2	nein
G	60	69	11	19	4,5	4,5	-5	9	8	8	2	nein
G	82	89	12	36	RW-Schwächung <12 dB			7	24	9	2	nein
G	102	124	23	50	21	21	-6	20	27	10	2	nein
G	138	142	22	27	4,5	4,5	-8	4	5	11	2	nein

Befund für registrierpflichtige Anzeigen												
mechanisch gemessene Werte				am Gerät abgelesene Werte			ermittelte Werte und Bewertung					
PKS	x ₁ (mm)	x ₂ (mm)	y ₁ (mm)	y ₂ (mm)	s (mm)	z (mm)	ΔR ₁ (dB)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	Anz.-Nr.	Echo-Top	zulässig ja/nein
H	5	15	8	39	6	6	-8	10	31	1	2	nein
H	20	31	8	39	15,8	15,8	-10	11	31	2	2	nein
H	23	28	39	50	18,7	18,7	-4	5	11	3	2	nein
H	40	47	9	32	7	7	-8	7	23	4	2	nein
H	58	64	24	45	7,1	7,1	-8	6	21	5	2	nein
H	139	149	0	14	7,1	7,1	-8	10	14	6	2	nein
H	137	147	25	50	3,2	3,2	-4	10	25	7	2	nein
H	62	68	7	15	15,8	15,8	-1	6	8	8	2	nein
H	78	89	12	35	RW-Schwächung <12 dB			11	23	9	2	nein
H	98	123	19	47	3,3	3,3	-4	25	28	10	2	nein
H	140	146	16	24	15,8	15,8	0	6	8	11	2	nein

Befund für registrierpflichtige Anzeigen												
mechanisch gemessene Werte				am Gerät abgelesene Werte			ermittelte Werte und Bewertung					
PKS	x ₁ (mm)	x ₂ (mm)	y ₁ (mm)	y ₂ (mm)	s (mm)	z (mm)	ΔR ₁ (dB)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	Anz.-Nr.	Echo-Top	zulässig ja/nein
H	5	15	8	39	6	6	-8	10	31	1	2	nein
H	20	31	8	39	15,8	15,8	-10	11	31	2	2	nein
H	23	28	39	50	18,7	18,7	-4	5	11	3	2	nein
H	40	47	9	32	7	7	-8	7	23	4	2	nein
H	58	64	24	45	7,1	7,1	-8	6	21	5	2	nein
H	139	149	0	14	7,1	7,1	-8	10	14	6	2	nein
H	137	147	25	50	3,2	3,2	-4	10	25	7	2	nein
H	62	68	7	15	15,8	15,8	-1	6	8	8	2	nein
H	78	89	12	35	RW-Schwächung <12 dB			11	23	9	2	nein
H	98	123	19	47	3,3	3,3	-4	25	28	10	2	nein
H	140	146	16	24	15,8	15,8	0	6	8	11	2	nein

Kurzbezeichnungen												
PKS	Prüfkopfstellung	A	Abstand vor der Prüfkopfebene	x	Schallung	y	Querkoordinate	z	Längswinkel	Anz.-Nr.	Nummer der Anzeige gemäß Zuordnung in der Skizze	Bewertung
x	Längskoordinate (Anzeige)	z	Schallkopfquerbewegung der Registrierprobe	z	Tiefenkoordinate	z	Längswinkel	z	Erkennbarkeitsbewertung	z	PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung	

Kurzbezeichnungen												
PKS	Prüfkopfstellung	A	Abstand vor der Prüfkopfebene	x	Schallung	y	Querkoordinate	z	Längswinkel	Anz.-Nr.	Nummer der Anzeige gemäß Zuordnung in der Skizze	Bewertung
x	Längskoordinate (Anzeige) <td>z</td> <td>Schallkopfquerbewegung der Registrierprobe <td>z</td> <td>Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td></td></td>	z	Schallkopfquerbewegung der Registrierprobe <td>z</td> <td>Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td></td>	z	Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td>	z	Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td>	z	Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td>	z	PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td>	

Kurzbezeichnungen												
PKS	Prüfkopfstellung	A	Abstand vor der Prüfkopfebene	x	Schallung	y	Querkoordinate	z	Längswinkel	Anz.-Nr.	Nummer der Anzeige gemäß Zuordnung in der Skizze	Bewertung
x	Längskoordinate (Anzeige) <td>z</td> <td>Schallkopfquerbewegung der Registrierprobe <td>z</td> <td>Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td></td></td>	z	Schallkopfquerbewegung der Registrierprobe <td>z</td> <td>Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td></td>	z	Tiefenkoordinate <td>z</td> <td>Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td></td>	z	Längswinkel <td>z</td> <td>Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td></td>	z	Erkennbarkeitsbewertung <td>z</td> <td>PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td> </td>	z	PK-A-Abgabe zum Fotoapparat/elektronische Nachführung <td></td>	



Christoph Weidig, Christian Straube
Kassel, Mai 2022

Zusammenfassung

- › Durch geeignete CAD-Modelle können Unregelmäßigkeiten in Prüfobjekte reproduzierbar integriert werden
- › Das Laserstrahlschmelzen mittels Pulverbett bietet ausreichend Möglichkeiten verschiedene metallische Prüfobjekte zu fertigen
- › Die Oberflächenrauheit ist gering genug um die Detektion von eingebrachten Unregelmäßigkeiten durch die Ultraschallprüfung zu ermöglichen
- › Sowohl in der zwei- als auch in der dreidimensionalen Durchstrahlungsprüfung sind die Unregelmäßigkeiten detektierbar
- › Farbeindringprüfung ist an kleinen oberflächenoffenen Unregelmäßigkeiten ebenfalls möglich



Christoph Weidig, Christian Straube
Kassel, Mai 2022