



Computed Tomography in Additive Manufacturing

Dipl.-Ing (FH), M.Sc. Christoph Gall
GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Wunstorf, Germany

Kontakt:

Christoph.Gall@bhge.com

Tel.: +49-174-1620187

Inhalt

Einführung CT-Technologie – Systeme von GE

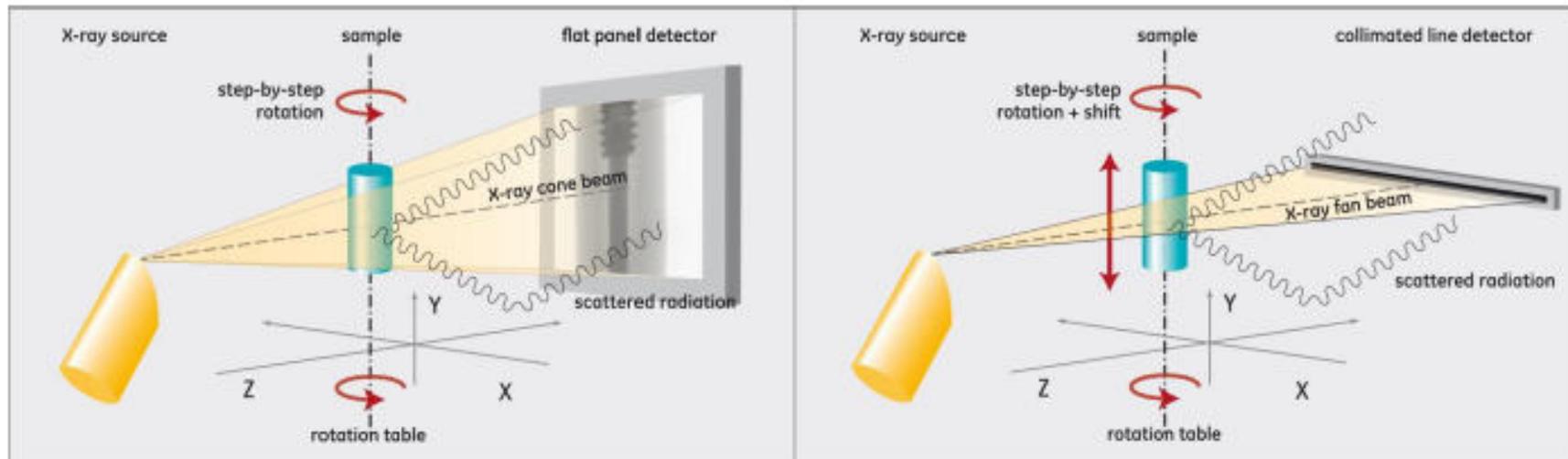
Mehrwert der CT in Additive Manufacturing

Ergebnisse

Zusammenfassung

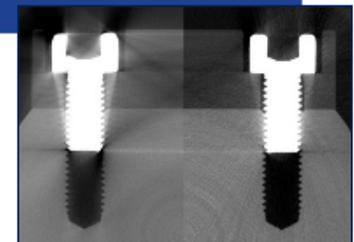


CT-Technologie: cone & fan beam, scatter | correct

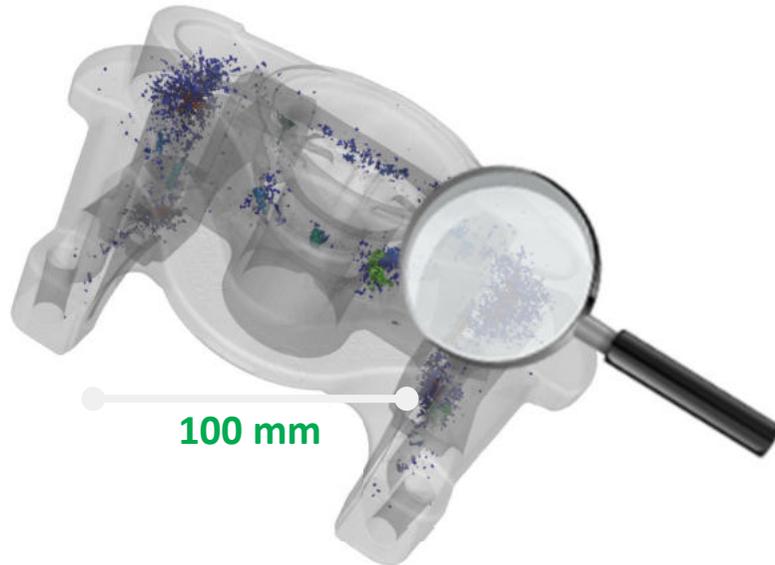


- Cone beam CT (3D) is fast but scattered radiation can affect the image quality
- Fan beam CT is not affected by scattered radiation but is slow

GE's scatter|correct utilizes the advantages of both methods



CT-Technologie: Parameter und Auflösung

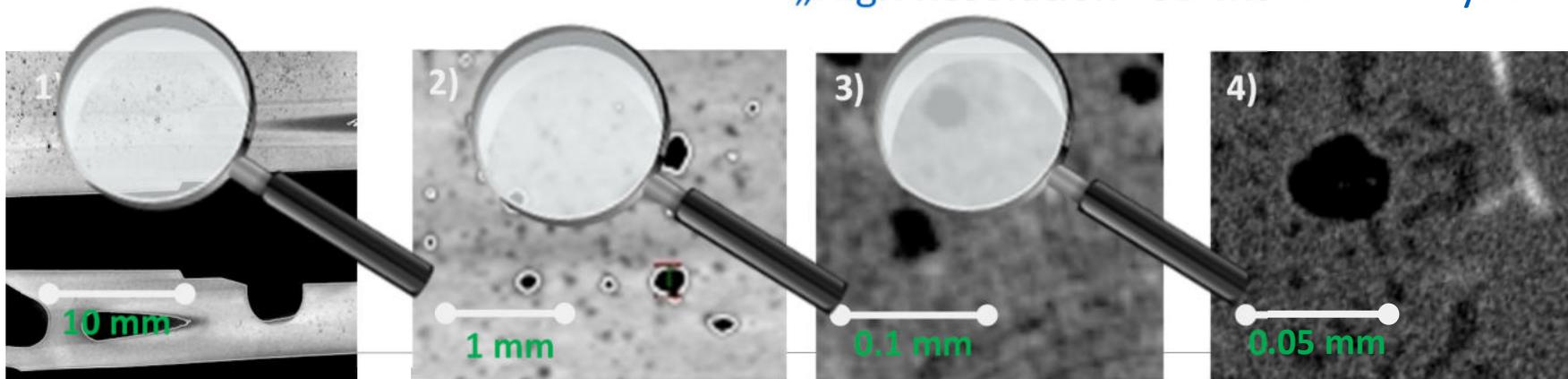


Am Beispiel eines Aluminium-Bauteils:

- 1) 150 μm Voxelgröße, Mikrofokus: Makro-Poren, Metrologie
- 2) 30 μm Voxelgröße, Mikrofokus: Mikro-Poren

Detail-Scan:

- 3) 3 μm Voxelgröße, Mikrofokus: Detailanalyse der Mikro-Poren
- 4) 0.5 μm Voxelgröße, Nanofokus, „High Resolution“ 3D Materialanalyse



GE Inspection Technologies X-ray Portfolio

Film & Equipment



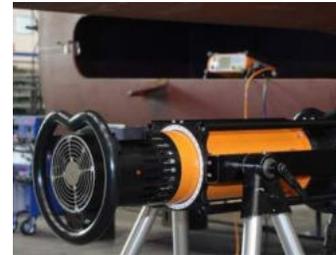
- Complete range of Agfa X-ray films
- State-of-the-art processing equipment
- Film scanning

Digital Radiography



- Computed radiography
- Reusable phosphor plates
- Digital Detector Arrays
- Image processing and storage software

X-ray Sources



- Portable and mobile X-ray systems
- Stationary systems
- Micro- and nanofocus x-ray and XRD tubes and generators

2D Systems



- Stationary manual and automated digital X-ray inspection systems
- Fully automated defect recognition software

3D Industrial CT



- 3D industrial failure analysis and process control
- 3D CT for R&D and research, e.g. geosciences

3D Metrology



- Reproducible 3D coordinate measurement with X-ray CT
- Fully automated CT data acquisition and volume processing

Electronics Inspection



- 2D micro- and nano-focus X-ray
- Software for high resolution electronics inspection
- CAD-based programming



CT Systeme von GE

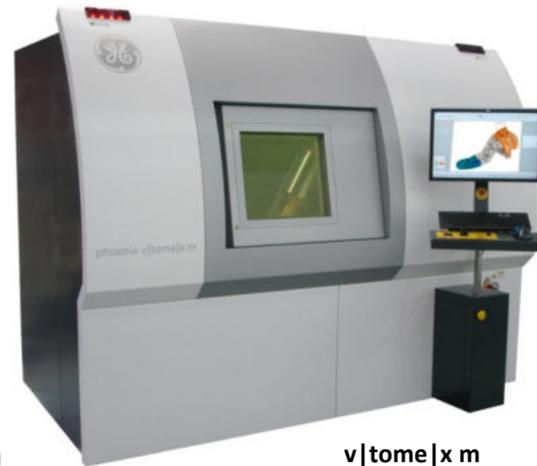
nanotom m



nanome|x CT



v|tome|x s



v|tome|x m



v|tome|x L 300



v|tome|x L 450

Inhalt

Einführung CT-Technologie

Mehrwert der CT in Additive Manufacturing

Beispiele

Zusammenfassung



Additive Manufacturing – Wie kann hier die Computertomographie unterstützen

- Hersteller von 3D-Drucker:
 - > Überprüfung und Optimierung der System-Performance bzw. der Parameter
- Granulat-Hersteller:
 - > Überprüfung der Granulat-Zusammensetzung (Größenverteilung, Porosität, Fremdpartikel,...)
- 3D-Druck-Anwender:
 - > Rapid Prototyping and QA (Fehlstellenanalyse, dimensionelle Messtechnik und Analyse vor weiterer Bearbeitung) an gedruckten Bauteilen
- Normungsgremien:
 - > CT-Scans nutzen um die Definition von Richtlinien zu unterstützen, und um die Standard NDT-Techniken zu ergänzen



Inhalt

Einführung CT-Technologie

Mehrwert der CT in Additive Manufacturing

Beispiele

Zusammenfassung



Additive Manufacturing – Beispiel 1



Bauteil #1:

Aerospace-Bauteil

Material: Ti

Dim (LxWxH):

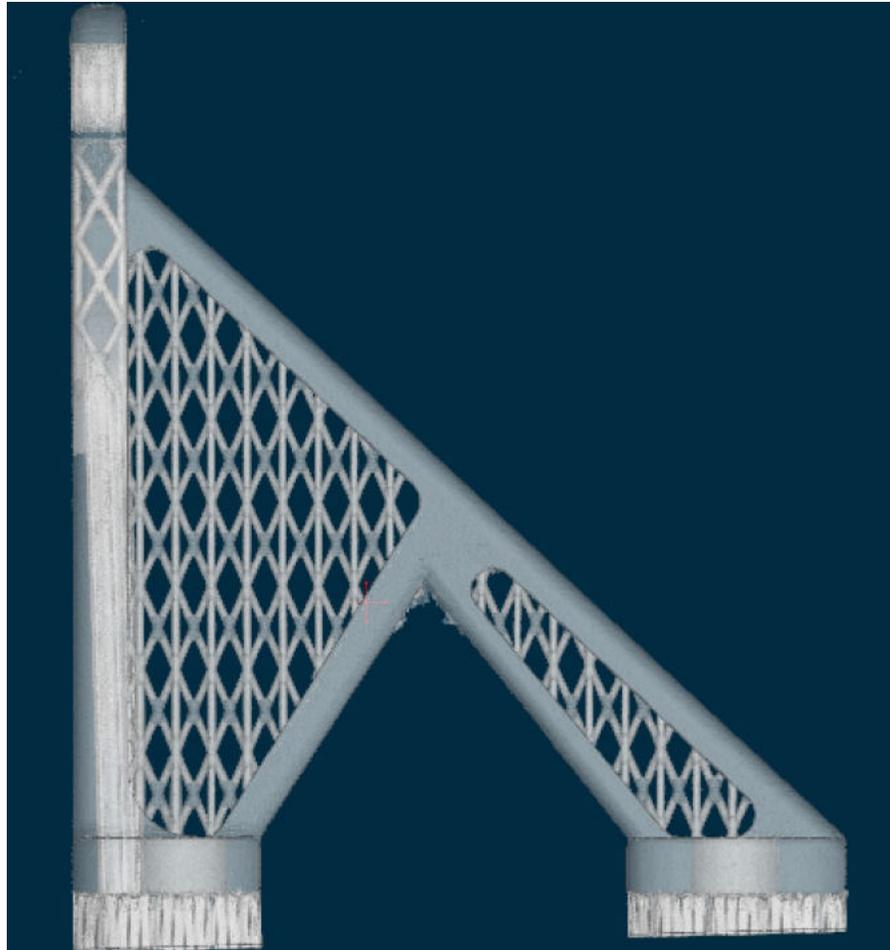
42x42x48 mm

μCT System:

v|tome|x m 300



Additive Manufacturing – Beispiel 1



Ziel:

Defektanalyse:

Porosität, Einschlüsse

Messtechnik:

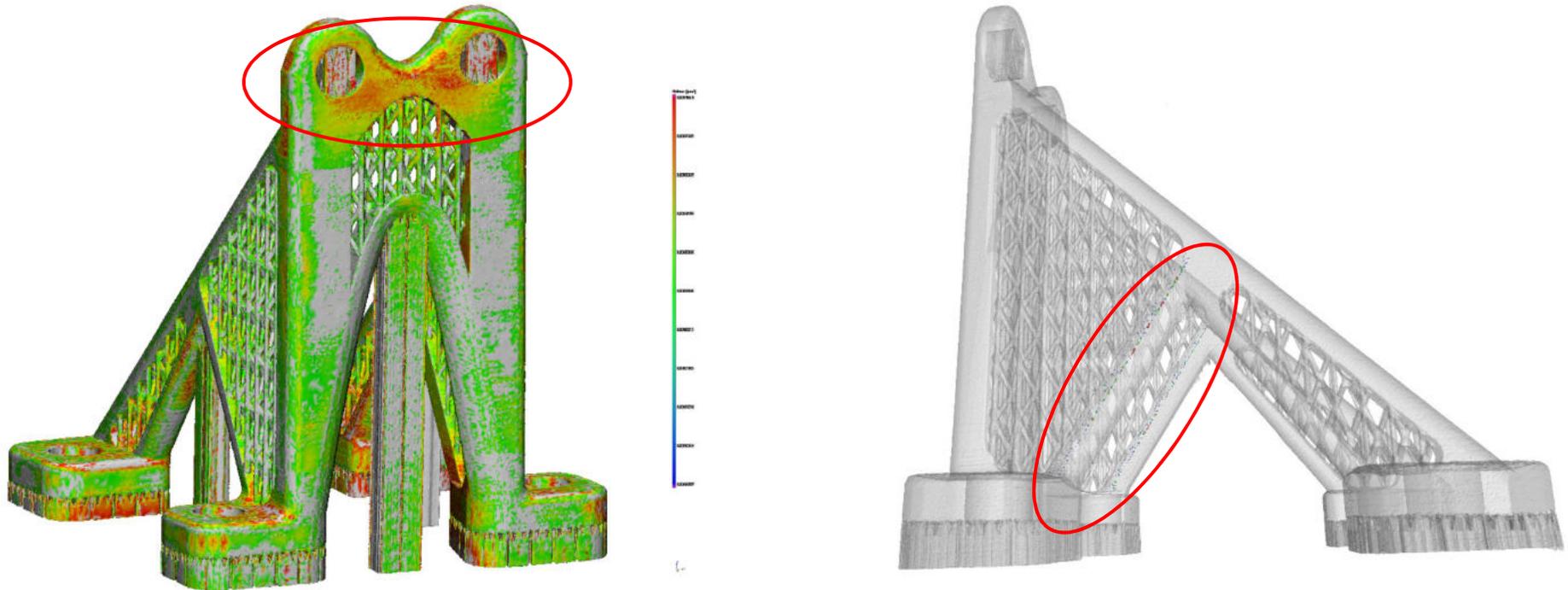
CAD -Vergleich

19 μm Voxelgröße



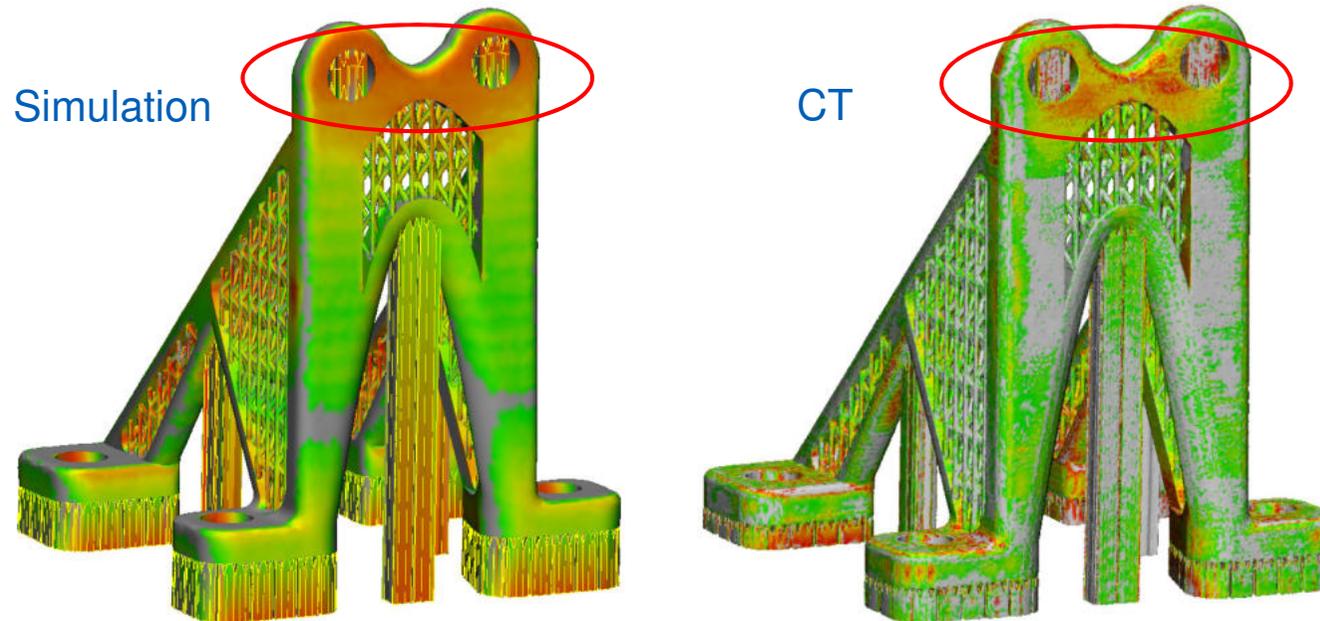
Additive Manufacturing – Beispiel 1

CT vs CAD Vergleich – Fehlstellenanalyse



Additive Manufacturing – Beispiel 1

Vergleich zwischen 3D-Druck-Simulation und CT



- Die Simulation zeigt deutlich die zu erwartenden Abweichungen auf. Das CT-Scan-Ergebnis bestätigt dies.

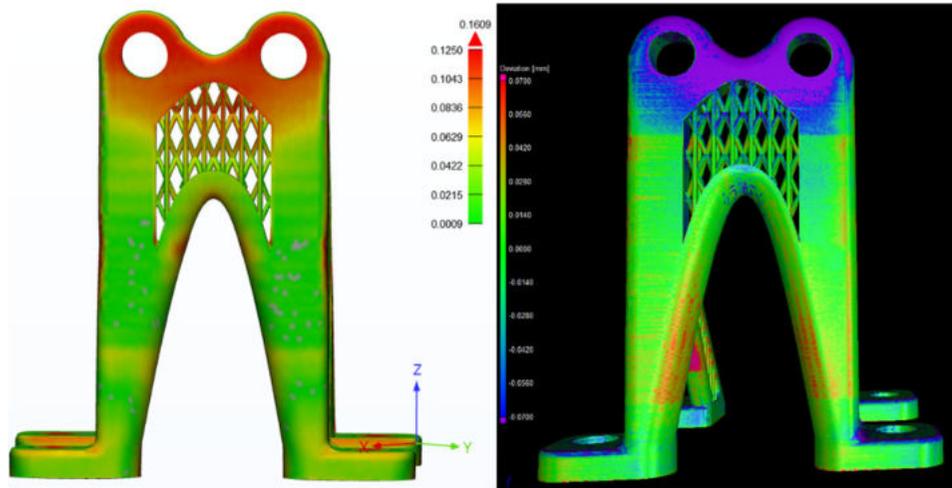


Additive Manufacturing – Beispiel 1

Messtechnische Analyse: Vergleich zu CAD-Daten

A

VOR Optimierung:

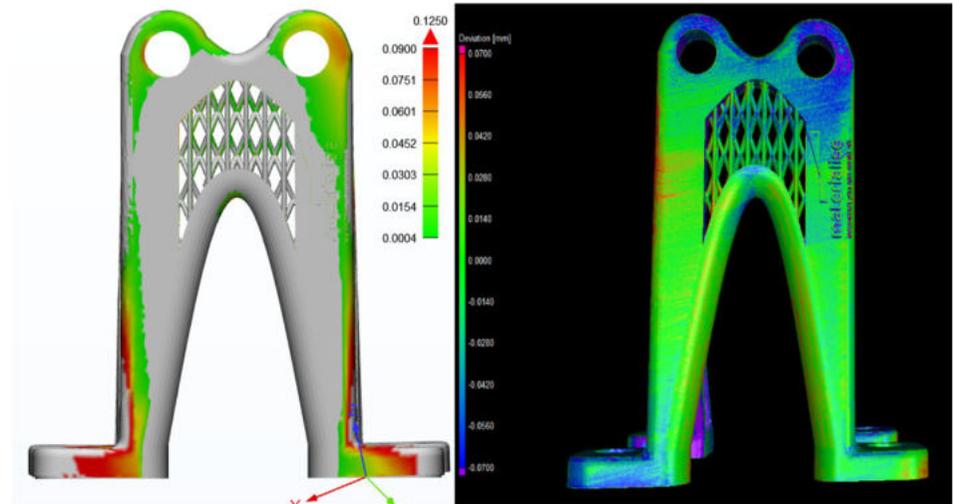


Simulation

CT scan

B

NACH Optimierung:



Simulation

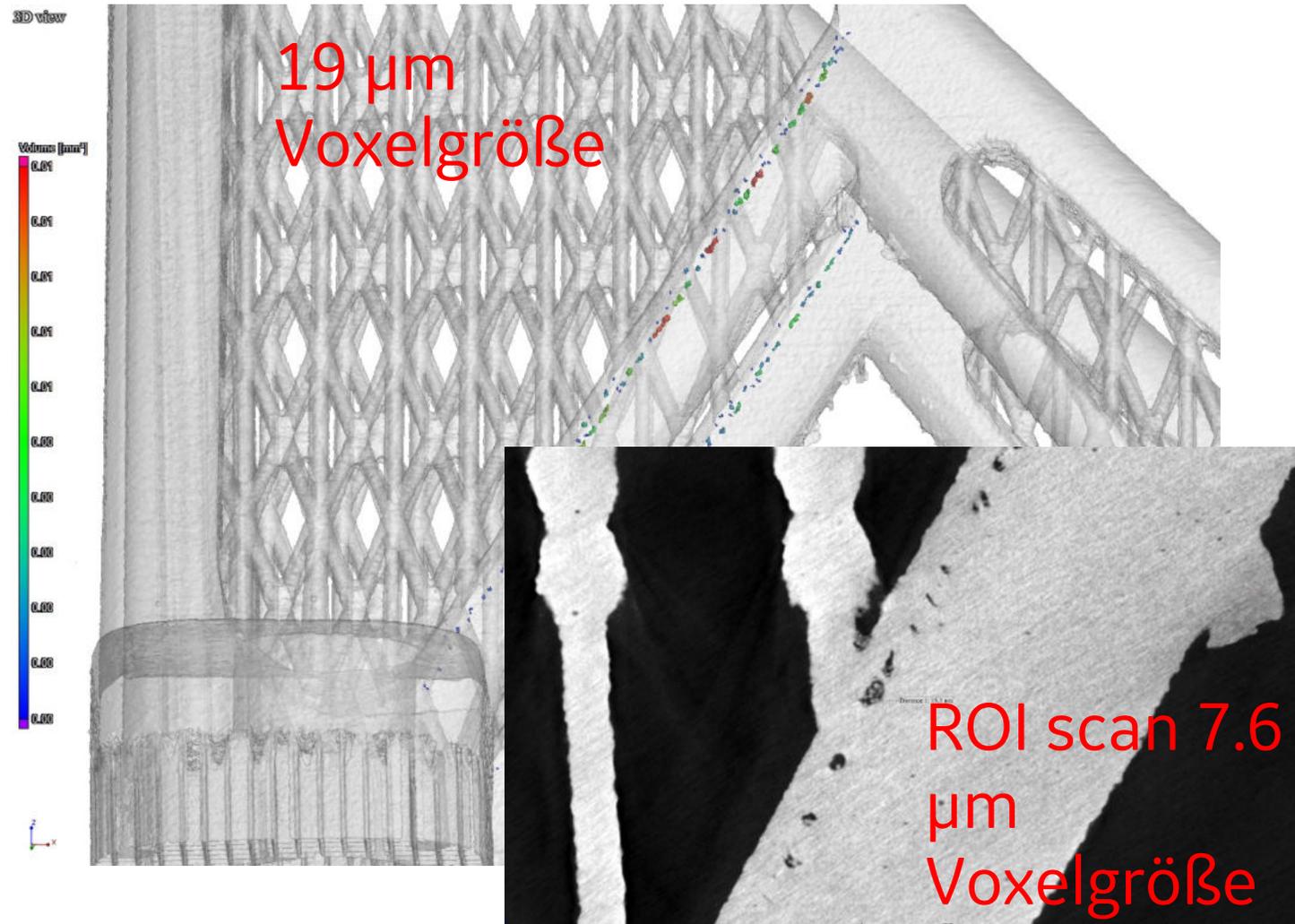
CT scan



Additive Manufacturing – Beispiel 1

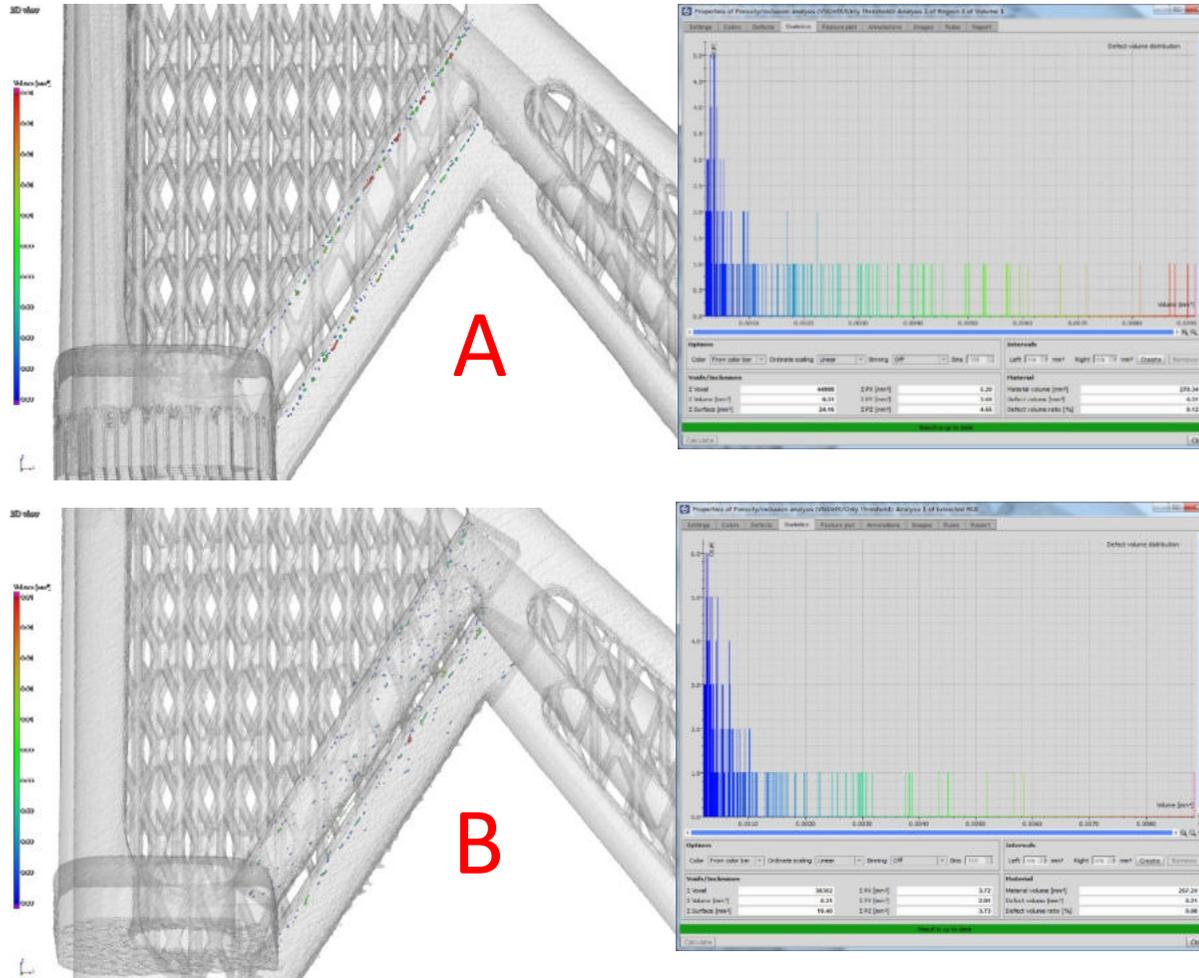
Porosität
sanalyse

A



Additive Manufacturing – Beispiel 1

Porositätsanalyse



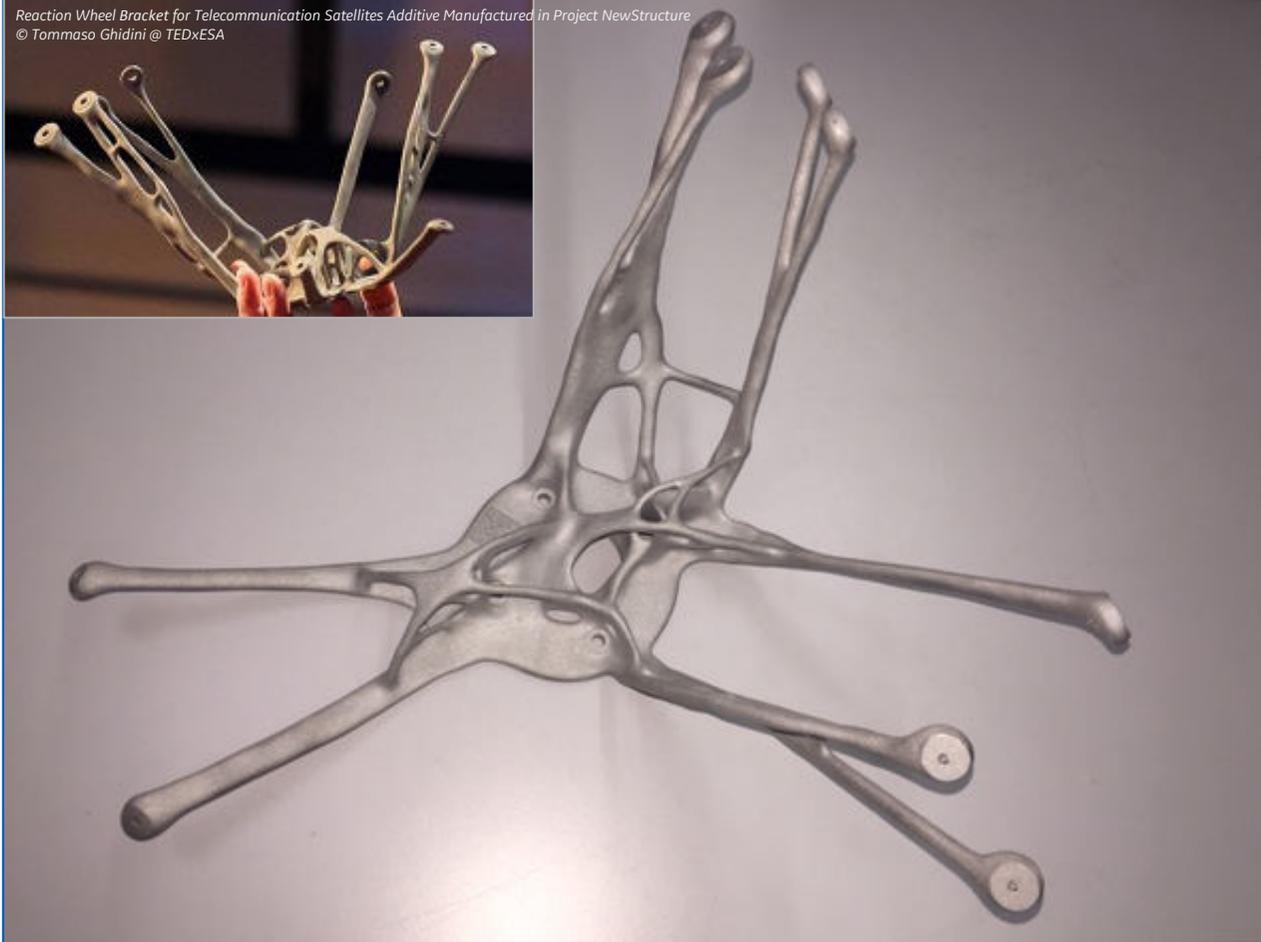
- Reduzierung der Porosität um ca. 33%, aber nicht komplett vermieden.
- Verteilung der Poren nach “links” – deutlich mehr kleinere Poren (positiver Nebeneffekt: “Lebenszeit des Bauteils wird verlängert”)



Additive Manufacturing – Beispiel 2

Bauteil #2: Reaction wheel bracket (ESA)

Material: AlSi10Mg Größe (LxBxH): ca. 400x220x250 mm



Ziel:

Defektanalyse:
Porosität

Messtechnik:
CAD-Vergleich

μ CT System:
v|tome|x | 300

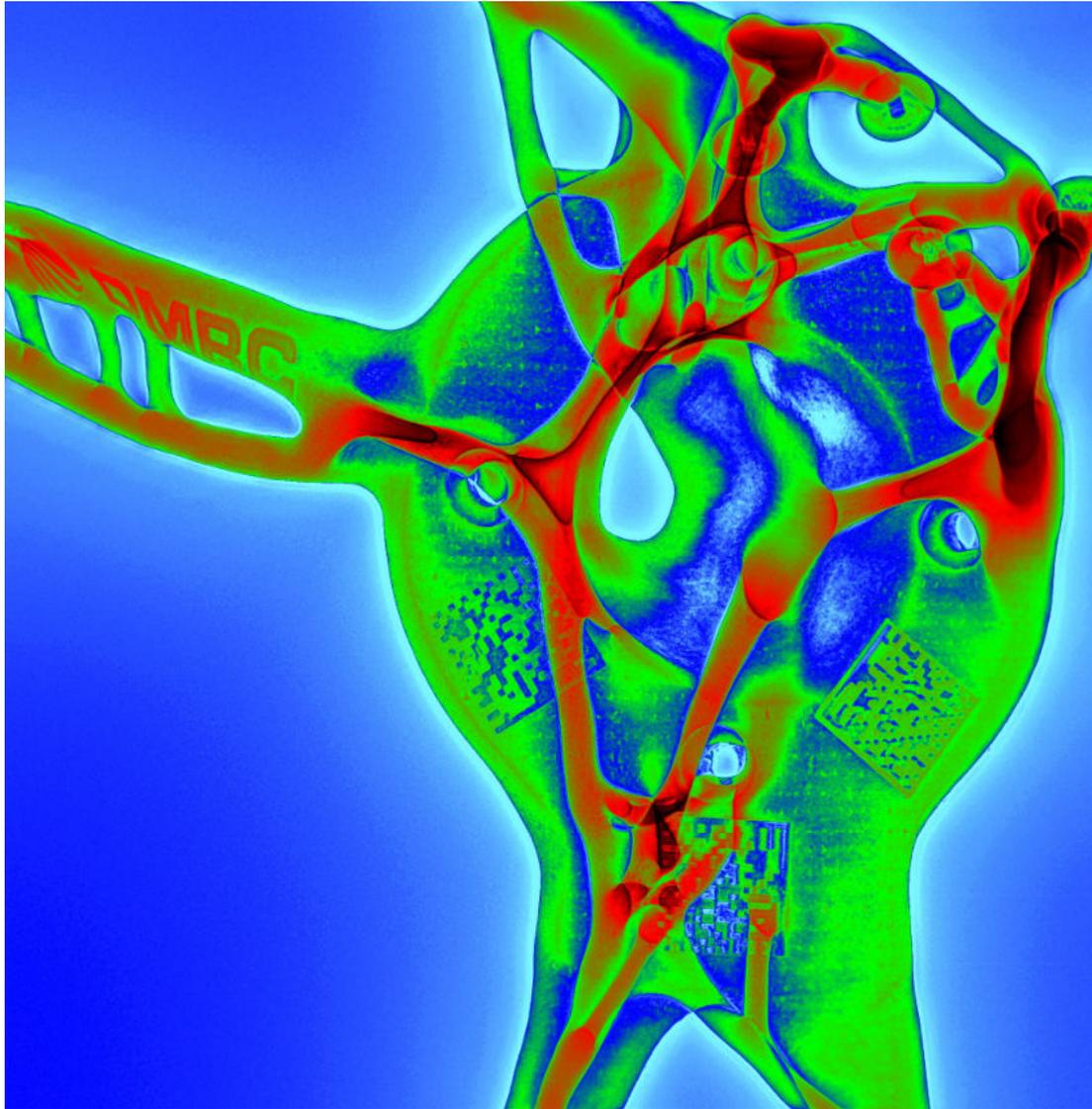


By courtesy of



DMRC
DIRECT MANUFACTURING RESEARCH CENTER

Additive Manufacturing – Beispiel 2



2D-
Röntgenanalyse:

Darstellung des
innenliegenden
"data matrix
codes"

μCT System:
v|tome|x | 300

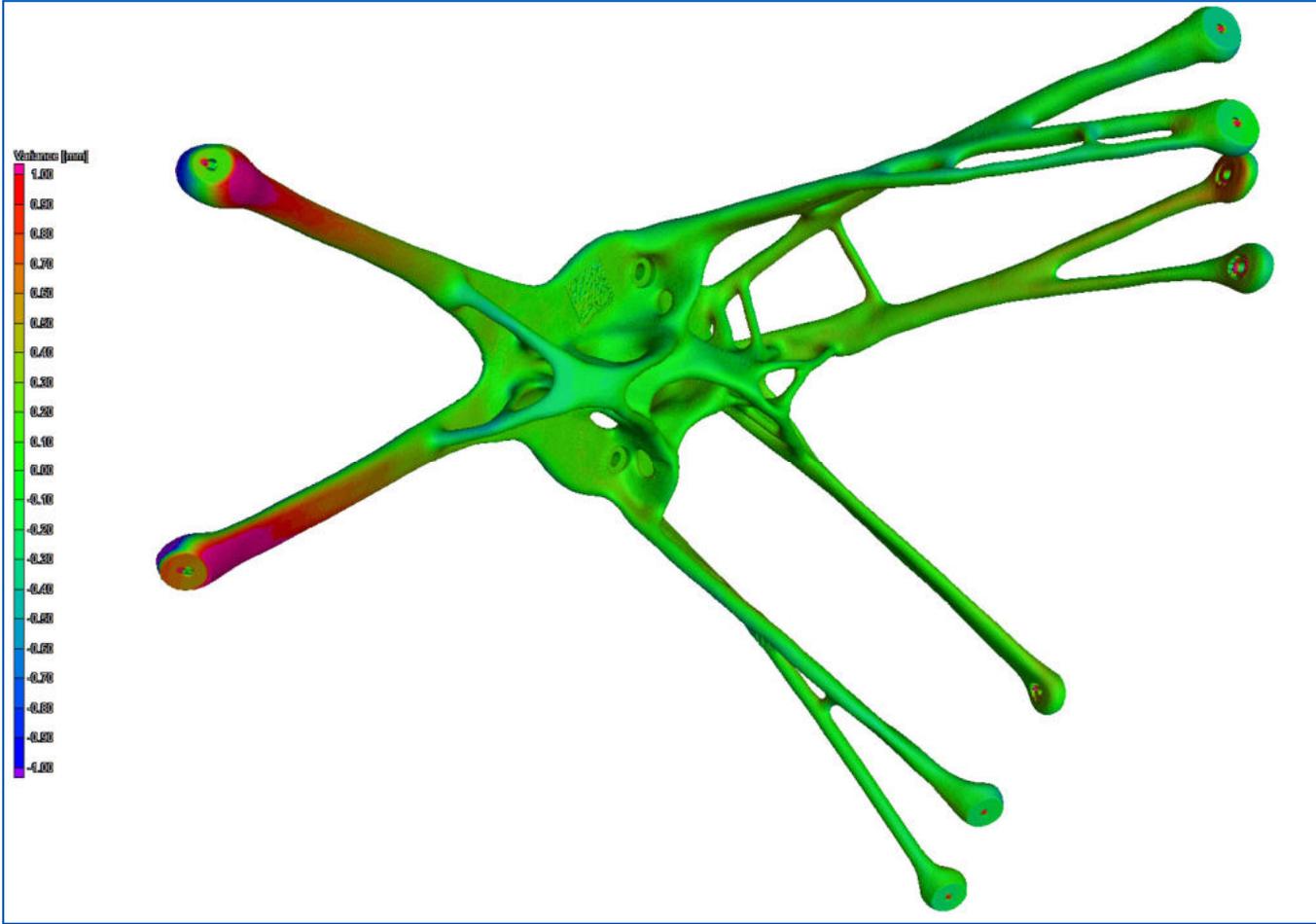


By courtesy of



DMRC
DIRECT MANUFACTURING RESEARCH CENTER

Additive Manufacturing – Beispiel 2



3D Darstellung:

Soll-Ist-Vergleich
zu CAD-Daten

μCT System:
v|tome|x | 300

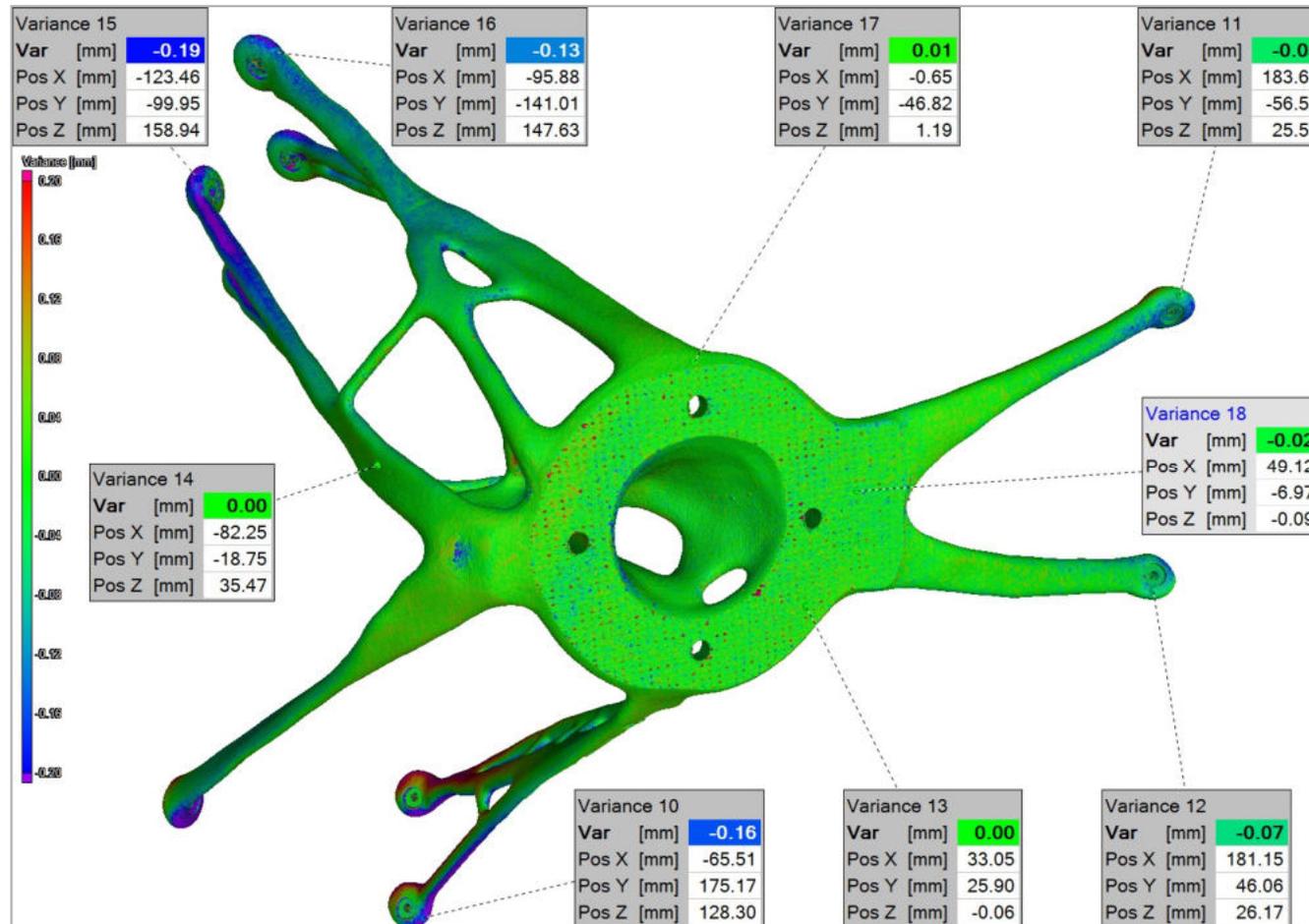


By courtesy of



DMRC
DIRECT MANUFACTURING RESEARCH CENTER

Additive Manufacturing – Beispiel 2



3D Darstellung:

Soll-Ist-Vergleich
zu CAD-Daten

μCT System:
v | tome | x | 300

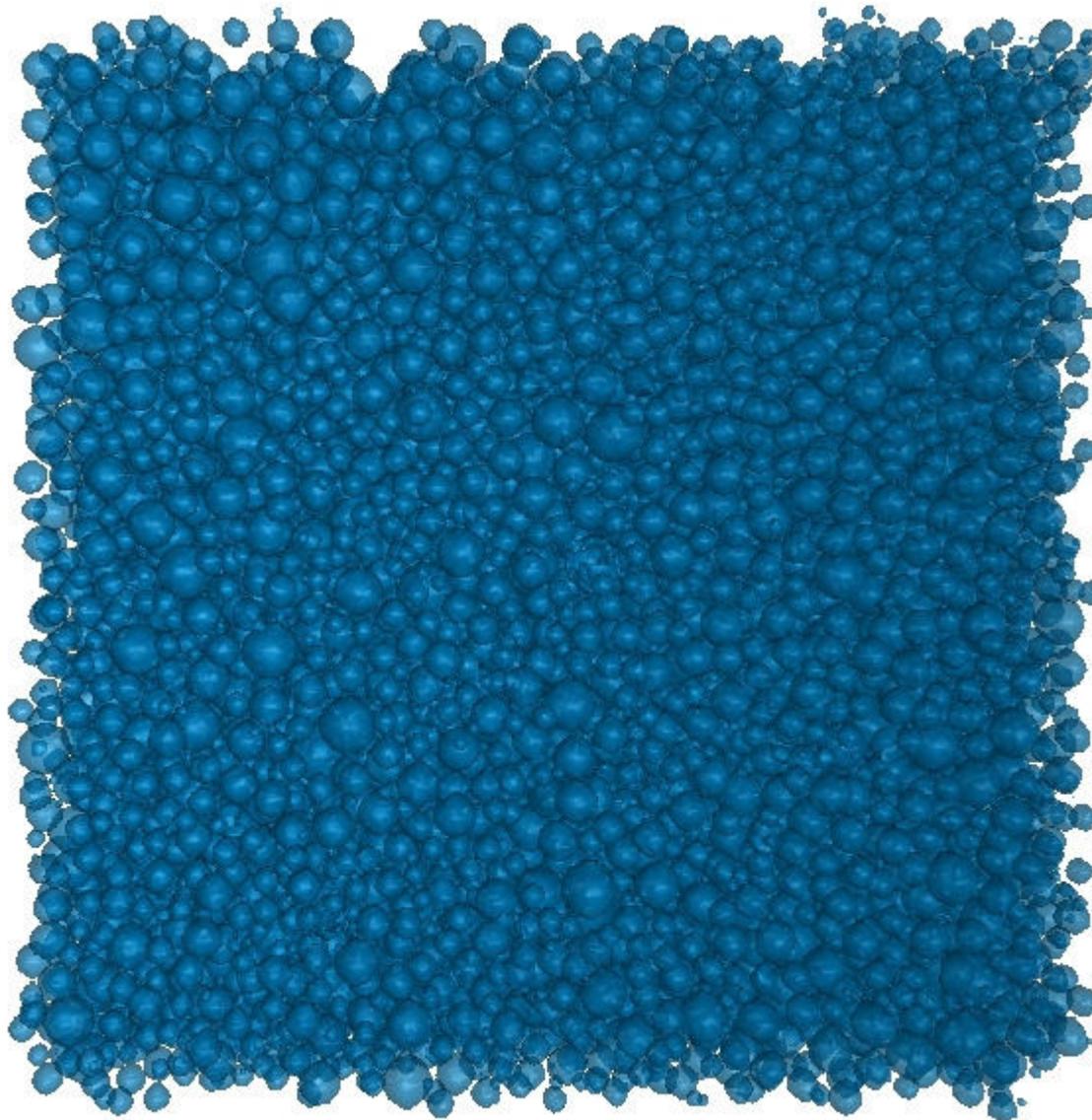


By courtesy of



DMRC
DIRECT MANUFACTURING RESEARCH CENTER

Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

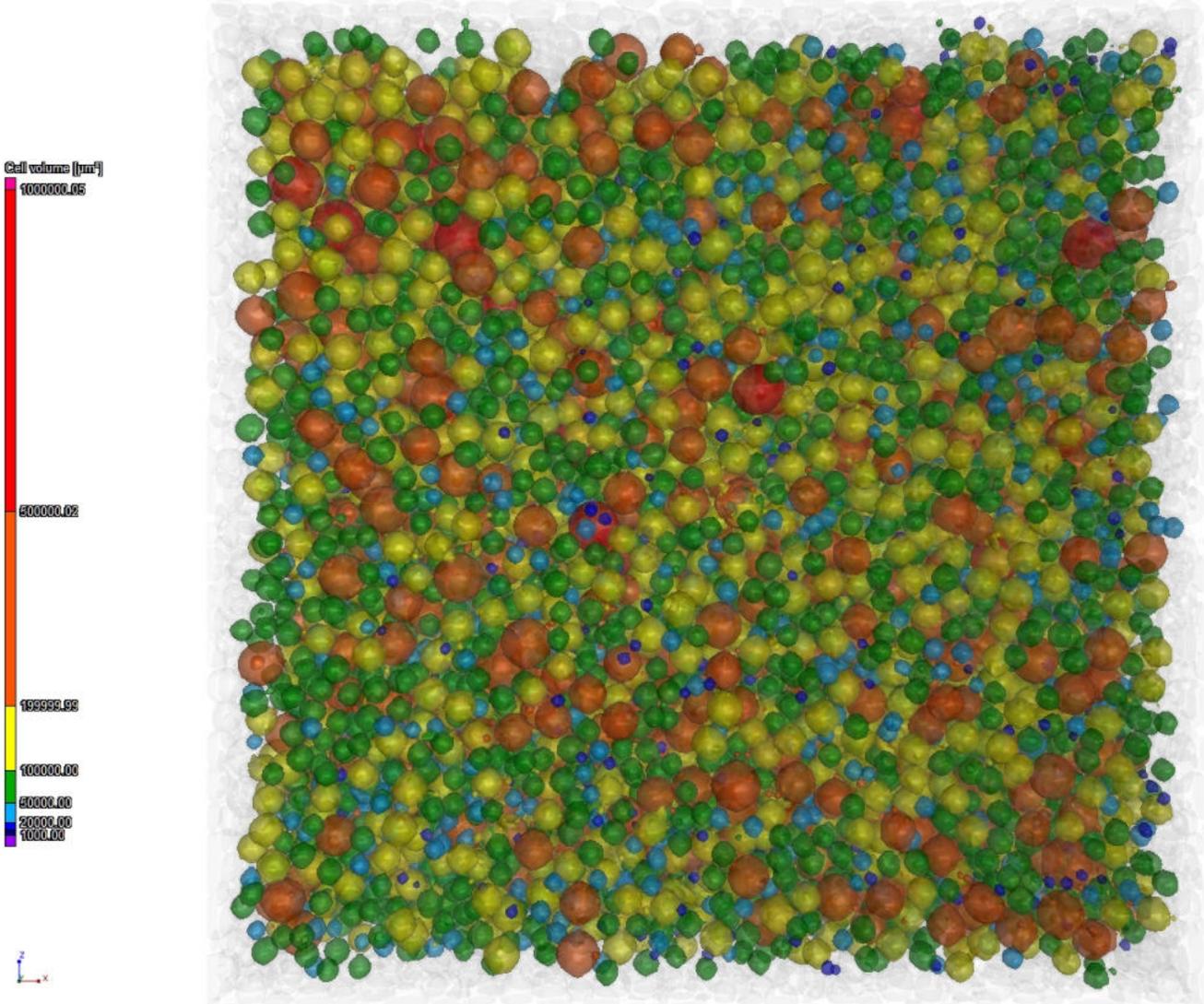
CT 3D Darstellung

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

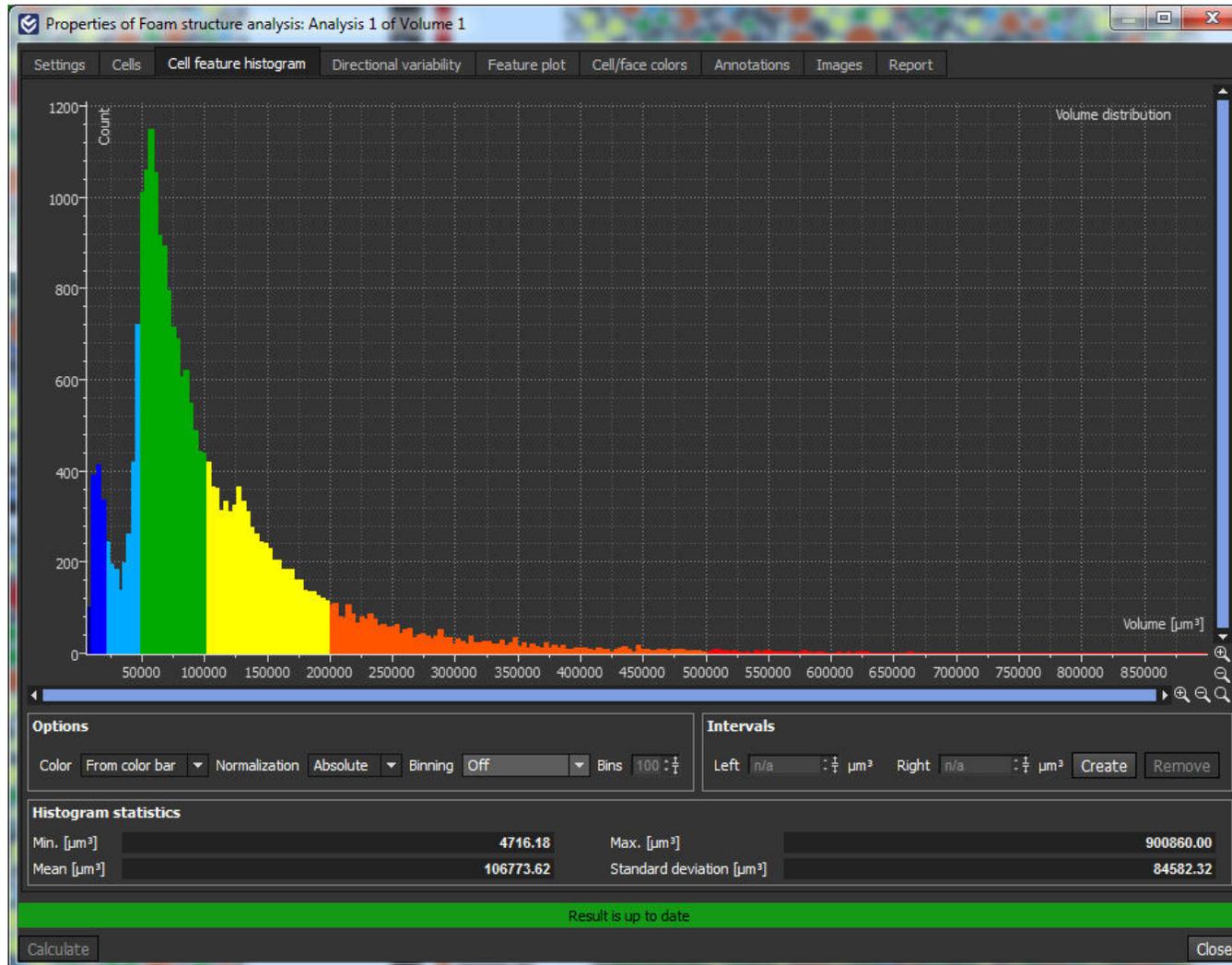
3D Darstellung der Größenverteilung

Voxelgröße 1.4 µm

µCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

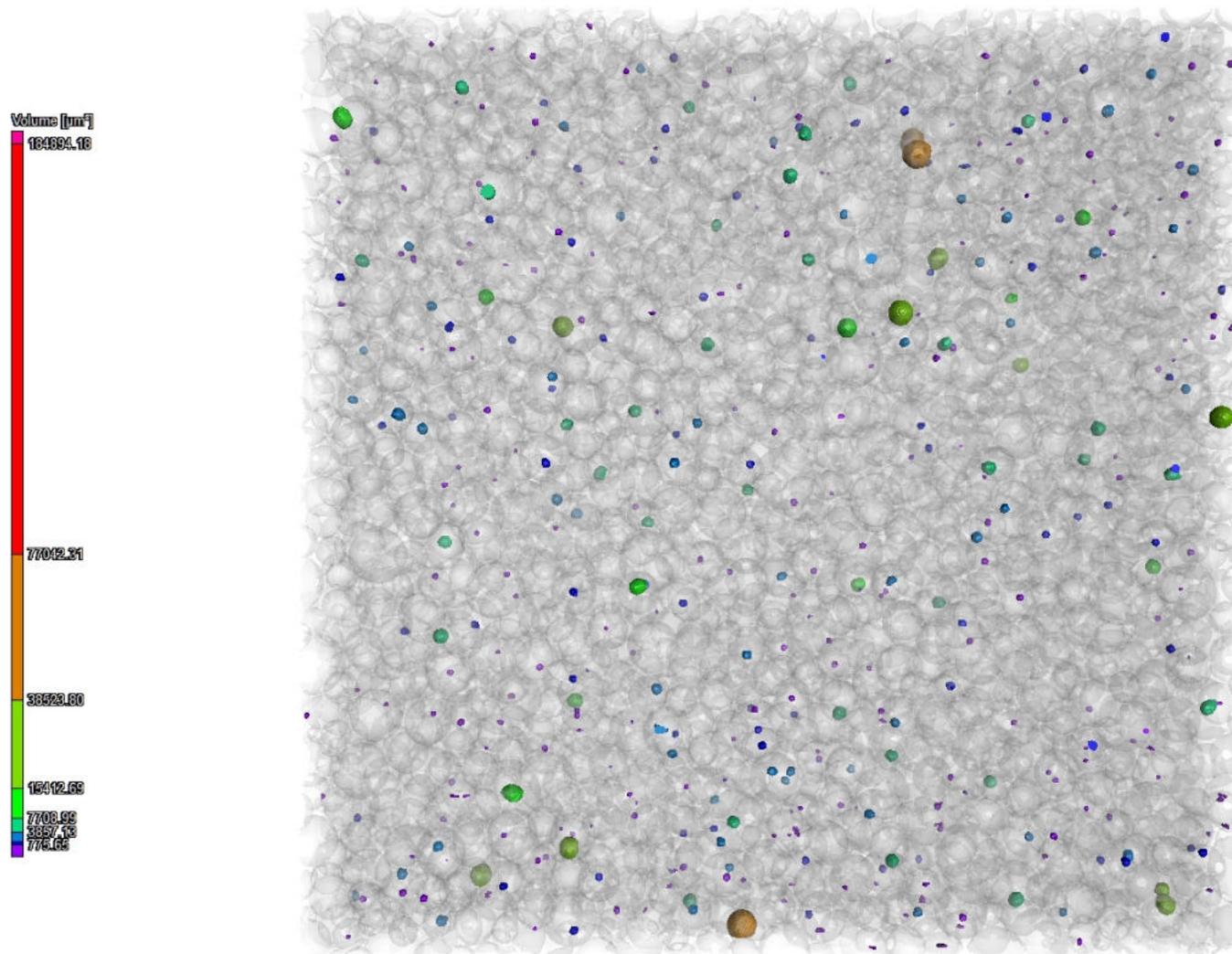
Statistische
Darstellung der
Größenverteilung

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

3D-Darstellung

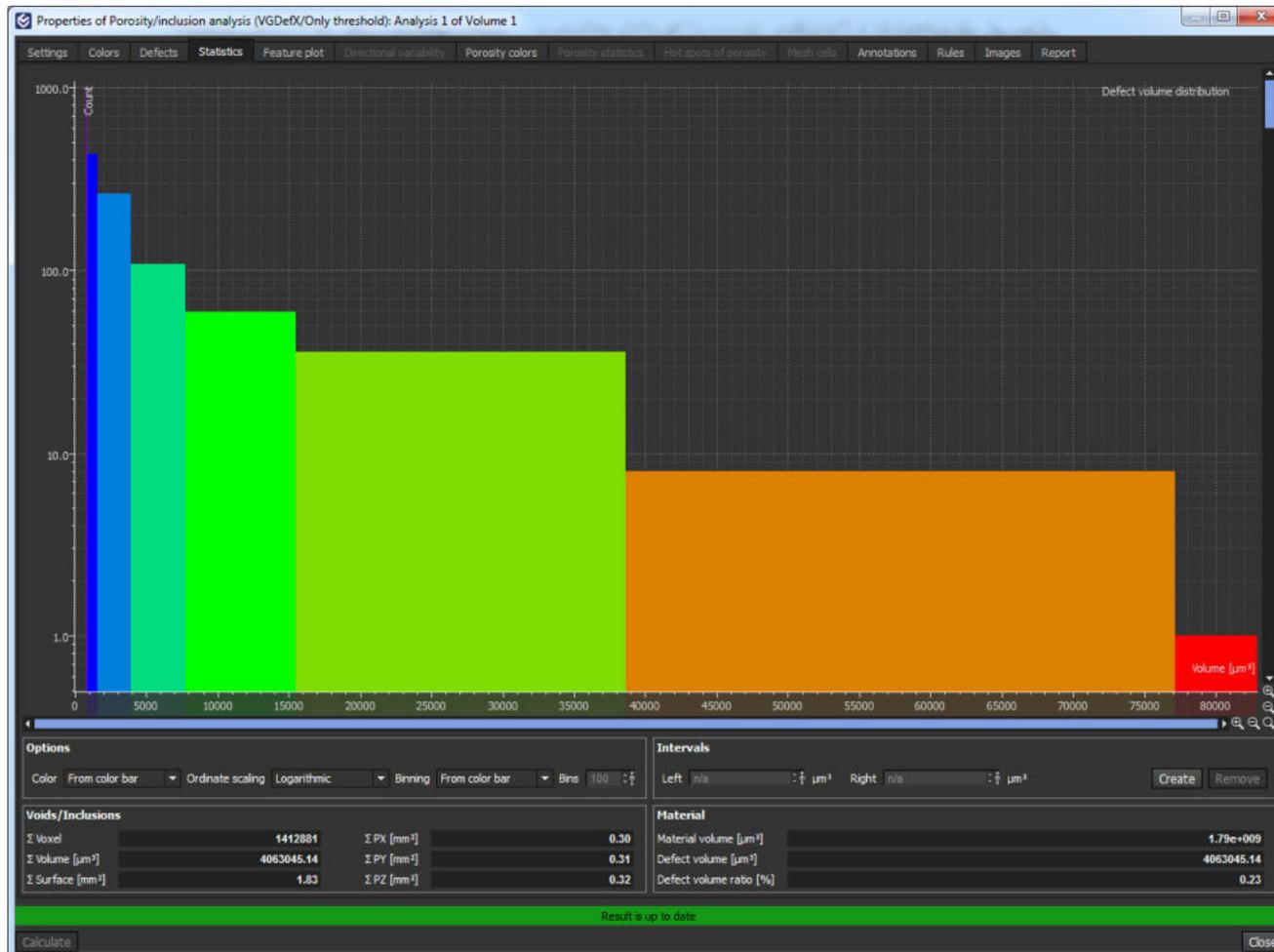
Verteilung der
Hohlräume /
Fehlstellen

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

3D-Darstellung

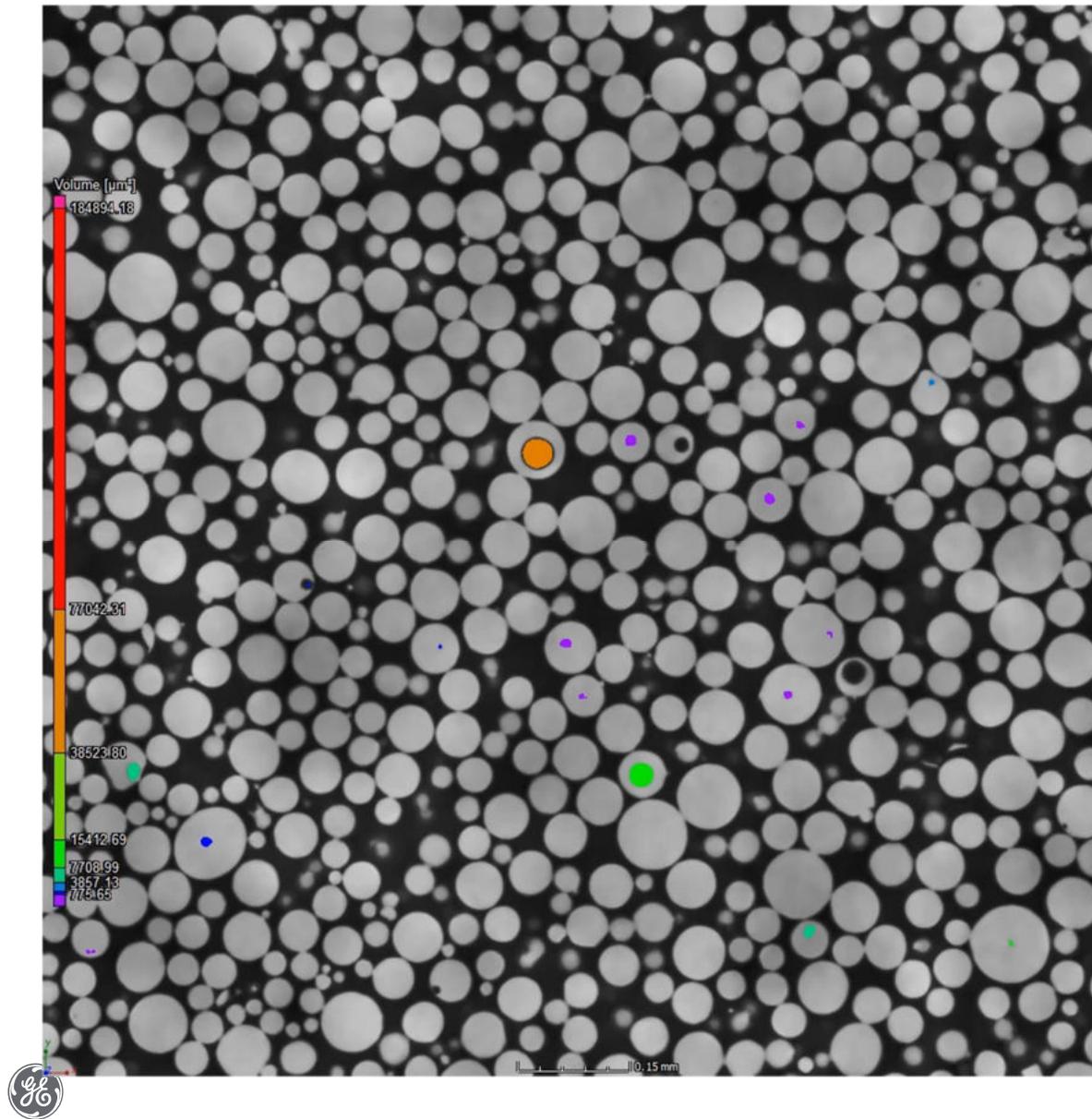
Verteilung der
Hohlräume /
Fehlstellen

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

XY –Durchflug durch
die Schichten

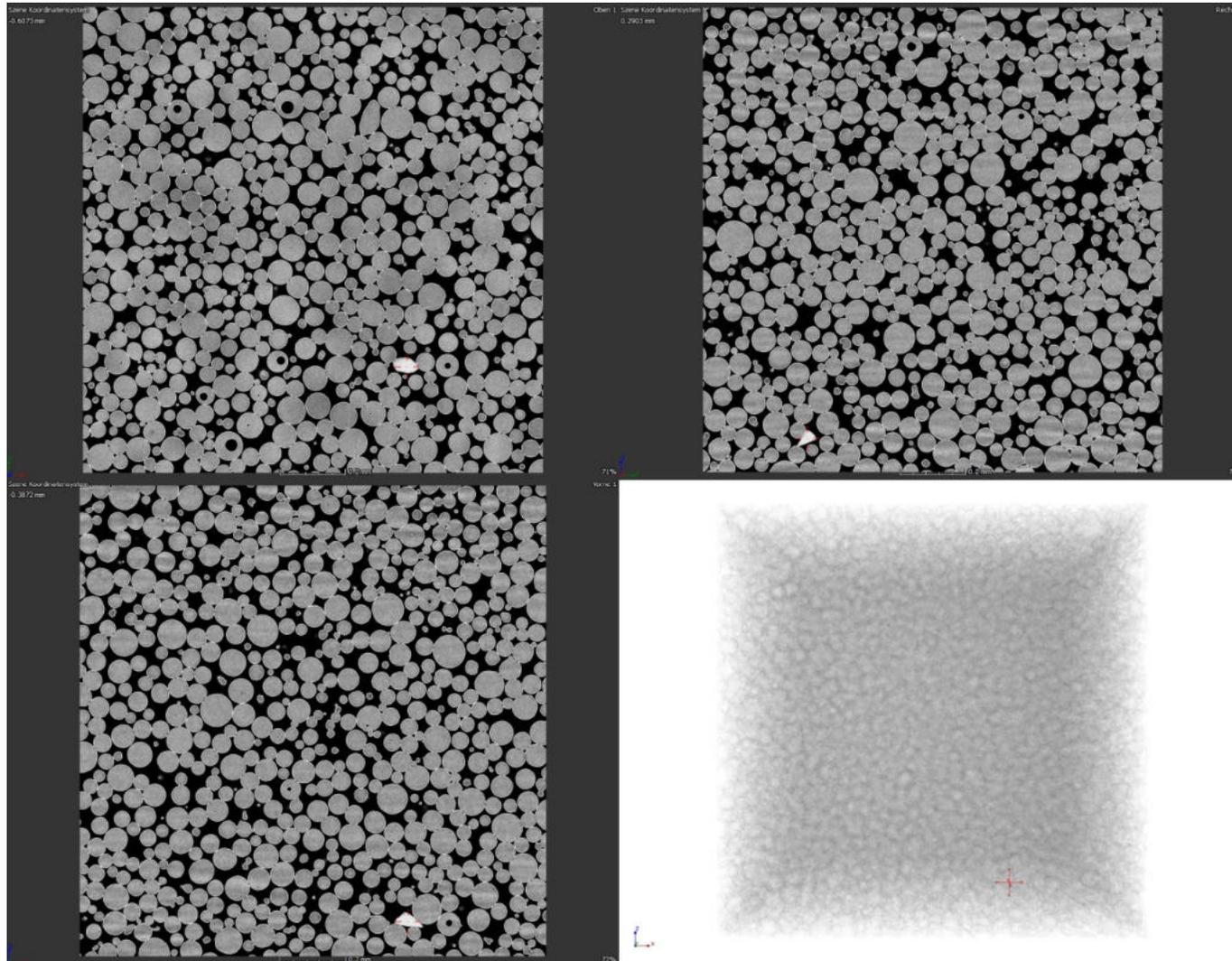
Verteilung der
Fehlstellen

Voxelgröße $1.4 \mu\text{m}$

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

XY –Durchflug durch
die Schichten

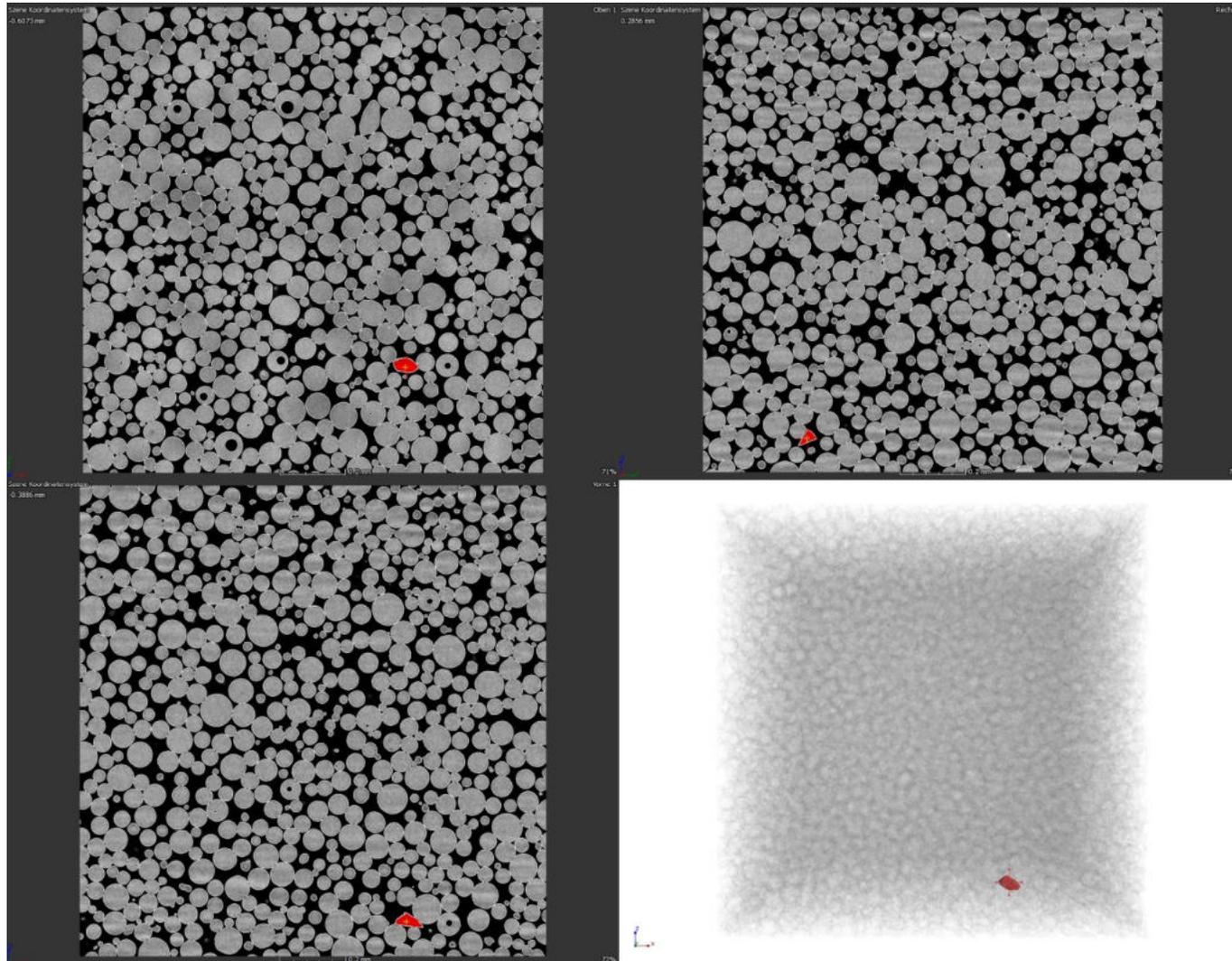
Darstellung von
Partikeln im Pulver

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Additive Manufacturing – Beispiel 3 – AM Pulver



Bauteil #3: Ti-Pulver

XY –Durchflug durch
die Schichten

Darstellung von
Partikeln im Pulver

Voxelgröße 1.4 μm

μCT System:
nanotom m



Inhalt

Einführung CT-Technologie

Mehrwert der CT in Additive Manufacturing

Beispiele

Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Die Computertomographie (CT) ist eine führende Technik für die zerstörungsfreie Prüfung (NDT) von additiv gefertigten (AM) Werkstücken und ist eine Ergänzung zu anderen verwendeten Techniken (In-Situ-Sichtprüfung, Koordinatenmessmaschine (CMM)).
- Die klassischen Arten von Guss- / Formungsfehlern werden durch wesentlich kleinere und neuere Fehler in AM ersetzt, die von der zerstörungsfreien Prüfung erkannt werden.
- Die Computertomographie erfüllt die Anforderungen der AM-Branche zur Qualitätssicherung, wenn sie ausreichend Röntgenenergie, Kontrast, Auflösung und Geschwindigkeit liefert.
- Abgesehen von den bereits durchgeführten Standardisierungsarbeiten müssen ISO und ASTM Richtlinien für die CT-Nutzung und Interpretation festlegen. GE Inspection Technologies unterstützt die Arbeitsgruppe ASTM WK 47031 kontinuierlich.



Anmerkung

Danke an die nachfolgende Unternehmen und Universitäten für die Möglichkeit Bauteile zu untersuchen und zu publizieren.



Materialise NV
Technologielaan 15
3001 Leuven/Belgium
<http://www.materialise.com>



University of Paderborn - DMRC
Mersinweg 3
D-33098 Paderborn/Germany
www.dmrc.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

