ZEISS X-RAY
INSIGHTS 2018

From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung

Der gesamtheitliche, integrierte Prozess für die additive Fertigung.

ZEISS 3D Manu**FACT**

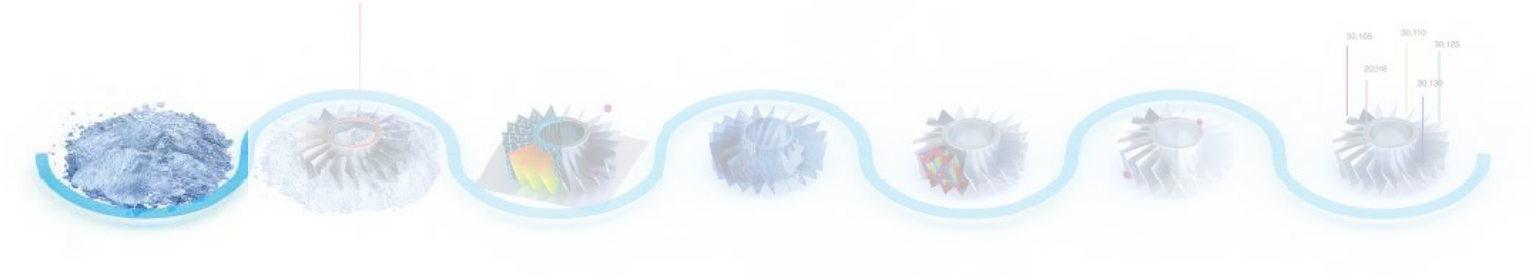
From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**

Pulver- und Material-charakterisierung	Messtechnik und Datenanalyse während des Druckens	Wärmebehandlung und Teileentnahme nach dem Druck	Defekt- und Innen-strukturprüfung	Materialqualitäts-prüfung nach dem Druck	Maß- und Ober-flächenprüfung	Prozessdatenstatistik und -analyse
REM, LM, Röntgen-CT		KMG, 3D-Scanning	Röntgen-CT, LM	REM, LM, Röntgen-CT	KMG, Röntgen-CT, 3D-Scanning, LM	PiWeb, Analyse- und Korrelationstools
Seite 8		Seite 12	Seite 16	Seite 20	Seite 24	Seite 30

From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**



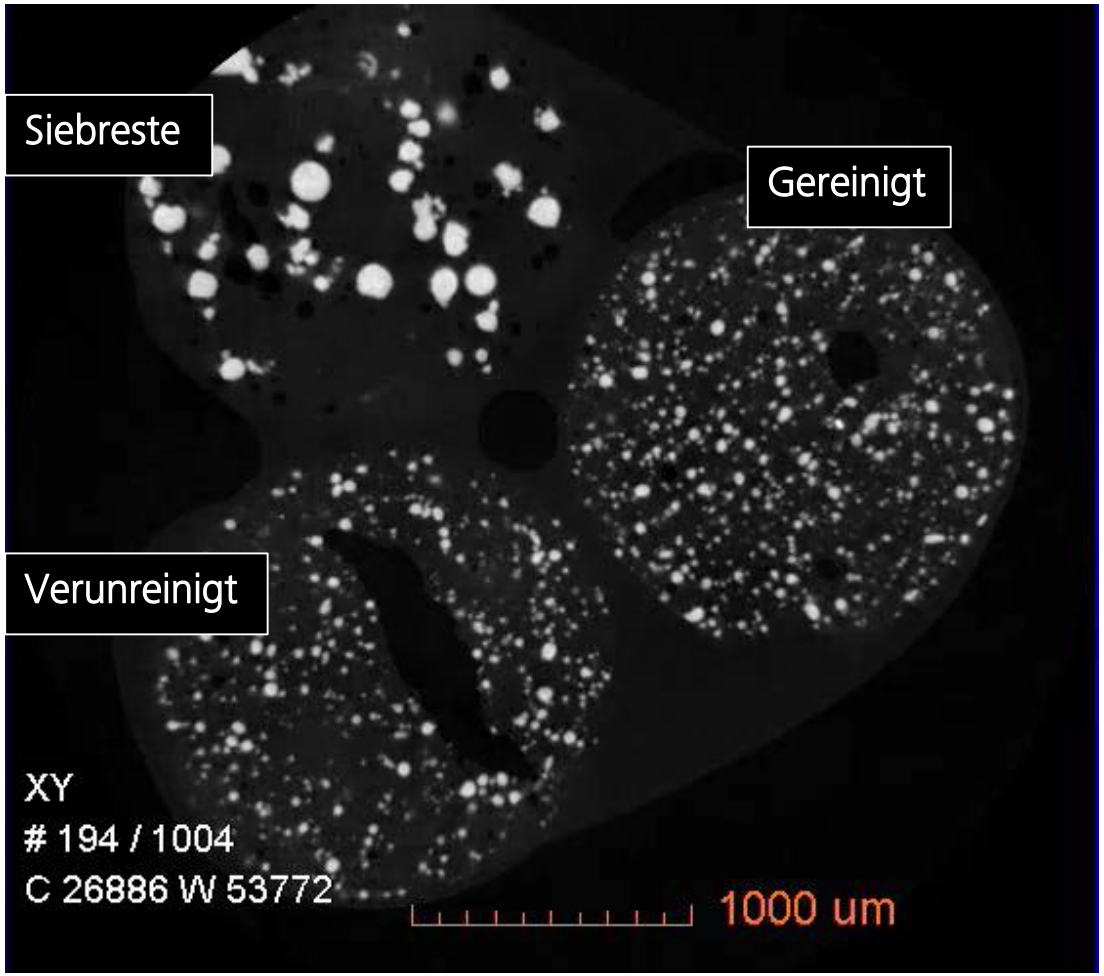
Pulver- und Materialcharakterisierung

Beurteilung der Pulverqualität mit:

- Lichtmikroskop (LM)
- Rasterelektronenmikroskop (REM)
- Röntgen-CT

Pulver- und Materialcharakterisierung

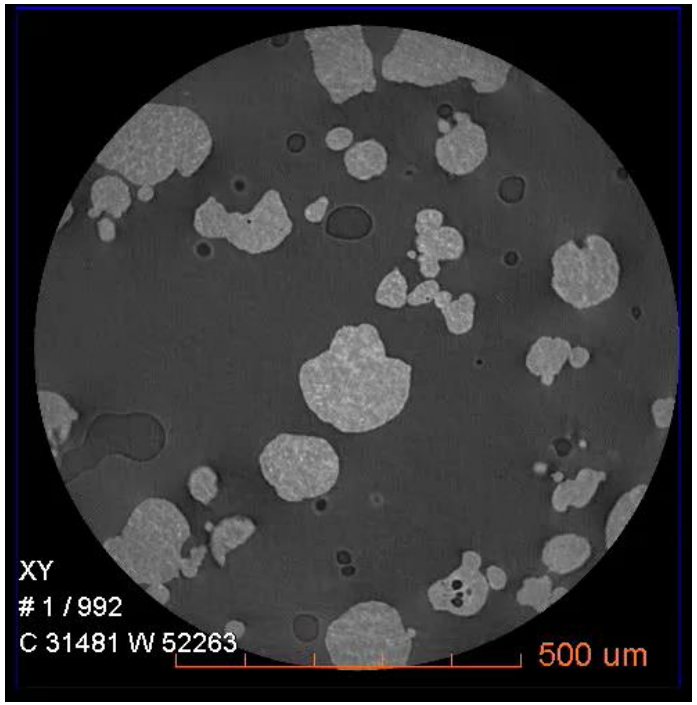
A205 – Imaging mehrerer Pulverproben // **Röntgen- CT**



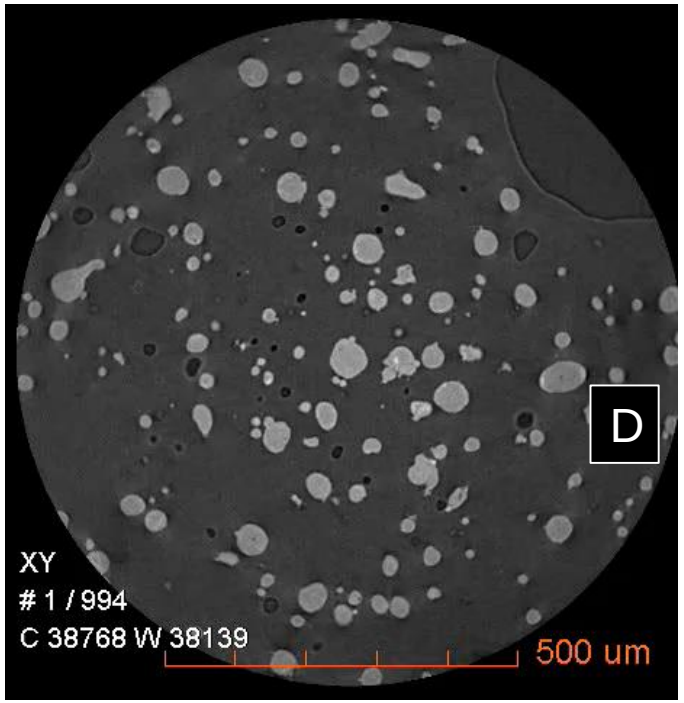
Pulver- und Materialcharakterisierung

A205 – Imaging mehrerer Pulverproben // **Röntgen- CT**

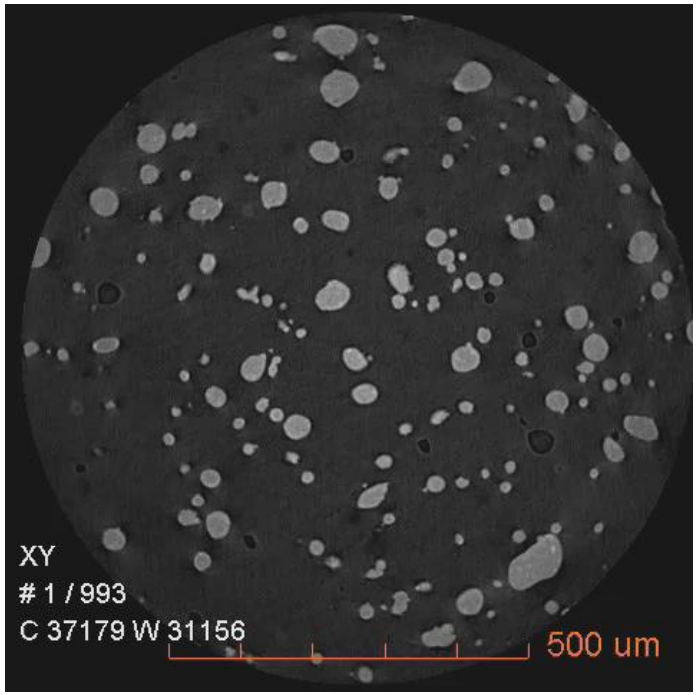
Siebreste



Verunreinigt



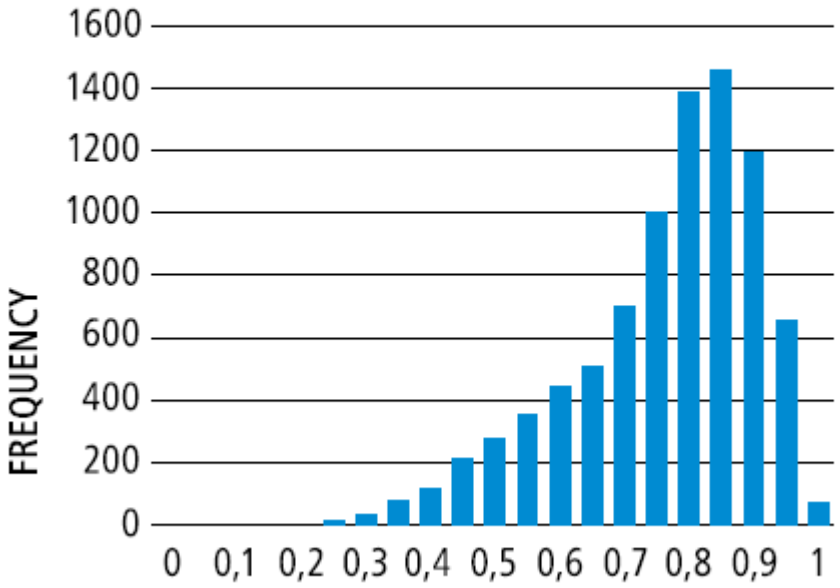
Gereinigt



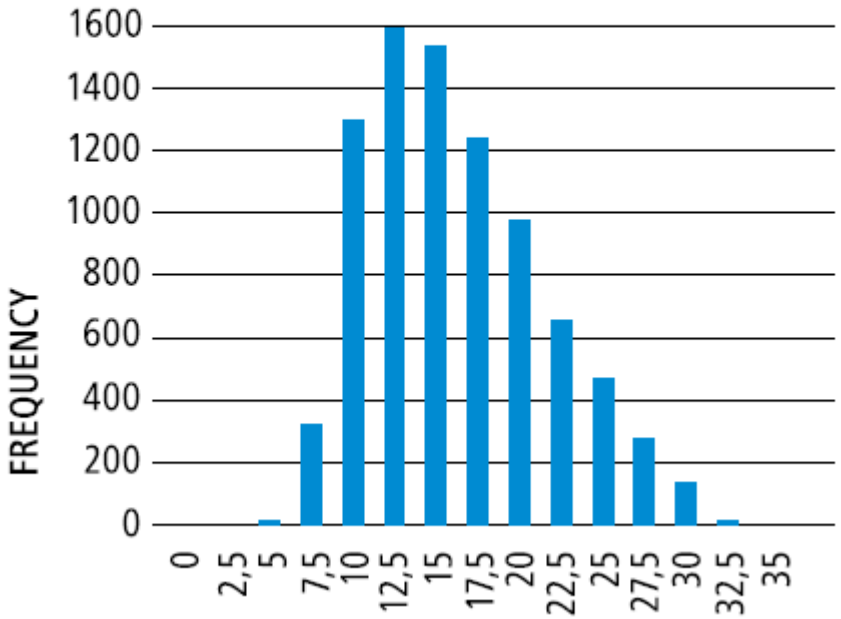
Pulver- und Materialcharakterisierung

Größenverhältnis und Partikelgröße // Röntgen- CT

Größenverhältnis



Partikeldurchmesser



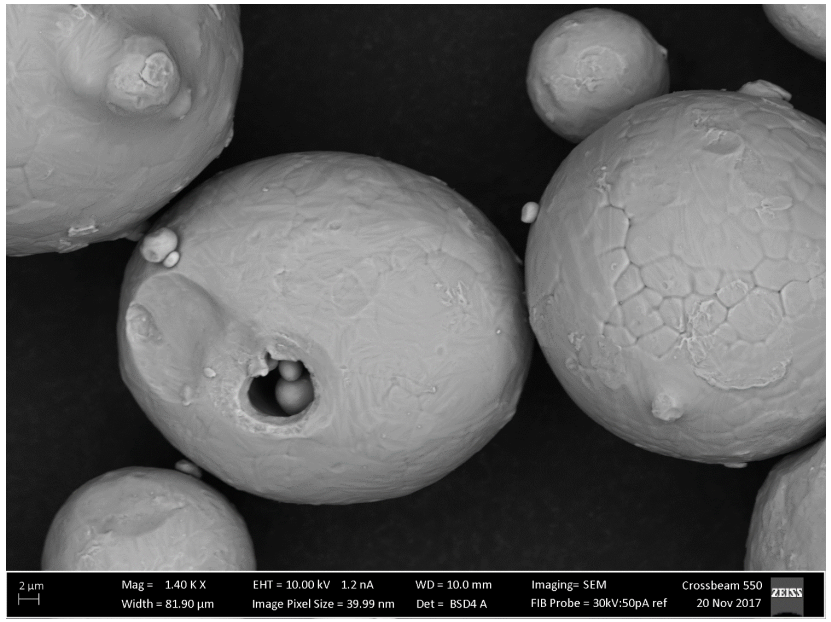
Größenverhältnis- und Durchmesseranalyse von mehr als 8500 Partikeln.

Hochschule Aalen

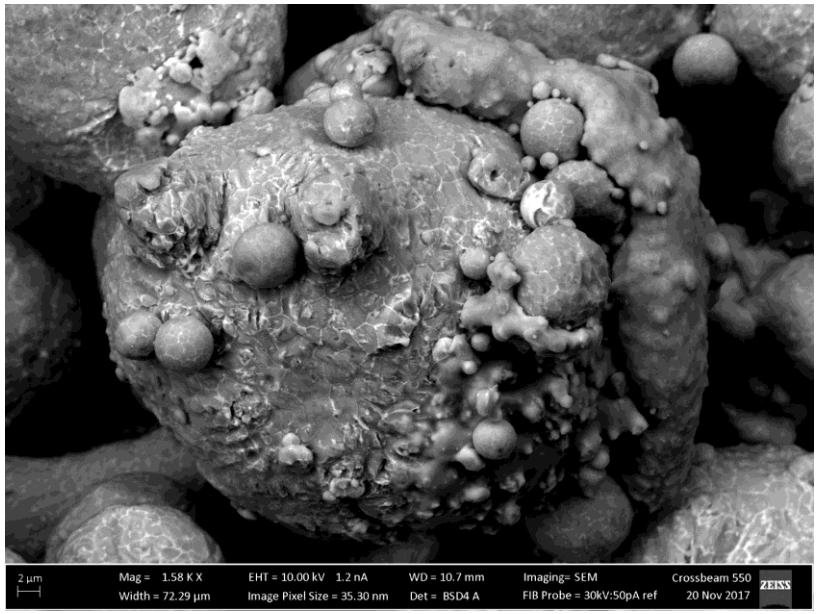
Imaging von Pulvern für den 3D-Druck

Wie rund und porös ist das Pulver? // REM

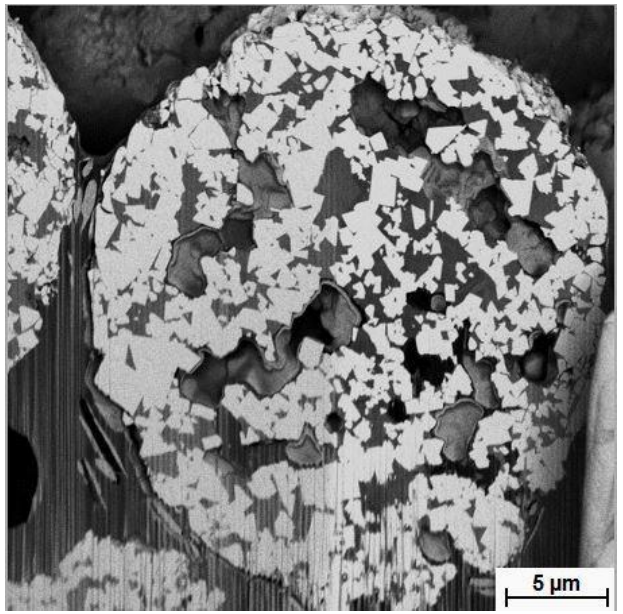
Neues Pulver



Recycletes Pulver

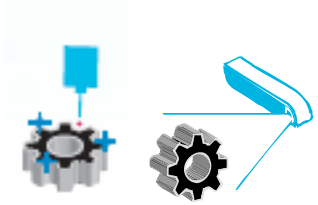


Pulver mit Porosität



From Powder to Performance

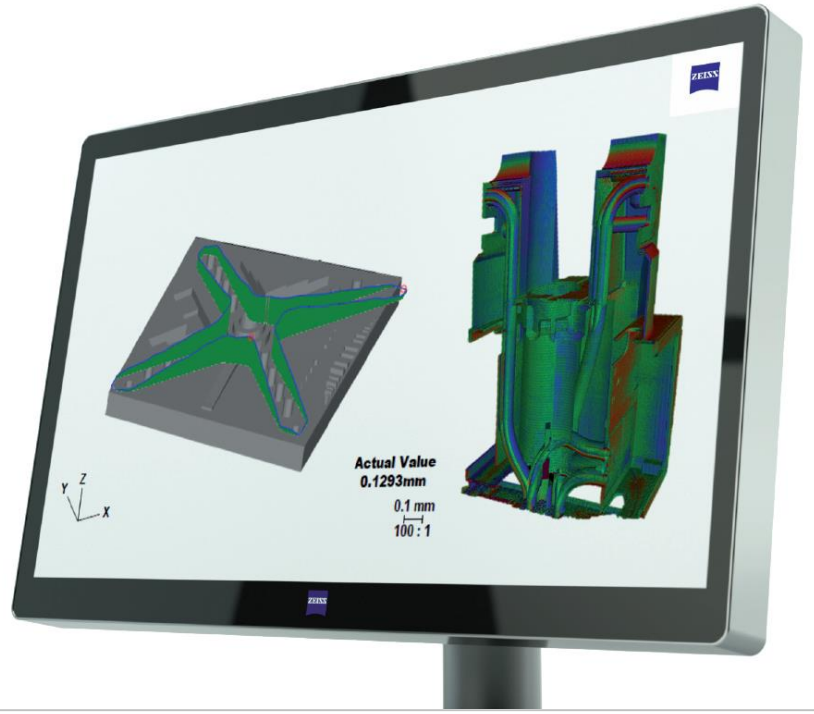
Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**



Wärmebehandlung & Teileentnahme nach dem Druck

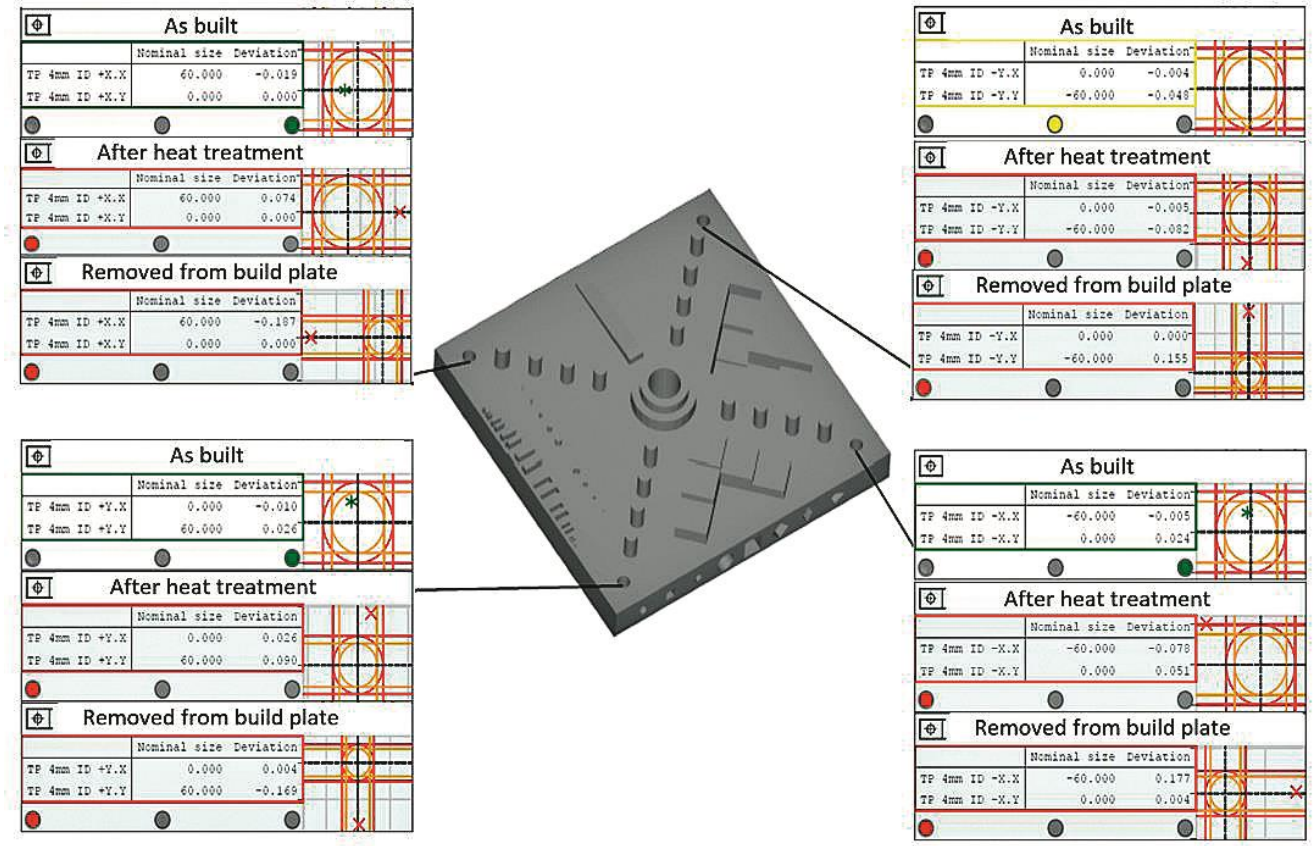
Analyse der Auswirkungen thermischer Spannungen auf Form, Größe und Lage von Bohrungen und Merkmalen mit:

- Koordinatenmessgerät
- 3D Scanner



Wärmebehandlung & Teileentnahme nach dem Druck

Auswirkung der Wärmebehandlung // KMG & ZEISS PiWeb

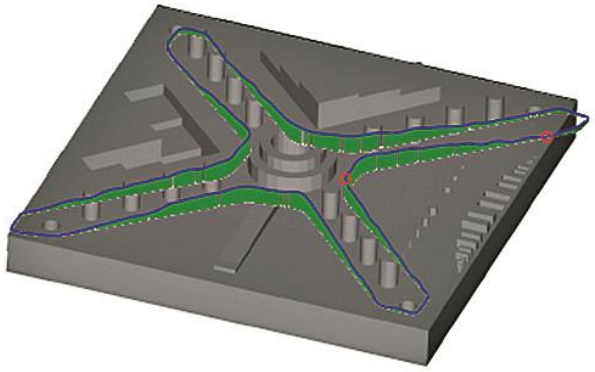


Wärmebehandlung & Teileentnahme nach dem Druck

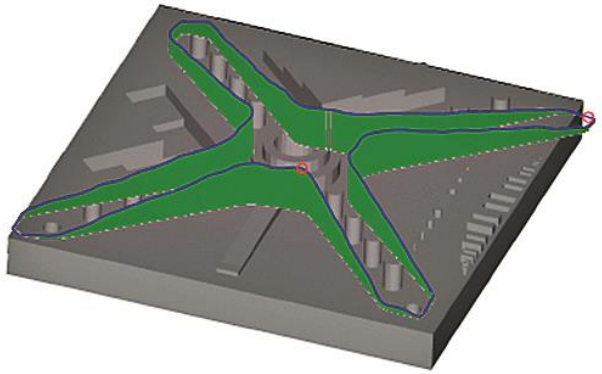
Auswirkung der Wärmebehandlung // KMG & ZEISS PiWeb

Nach der Wärmebehandlung und Teileentnahme können erhebliche Verformungen auftreten.

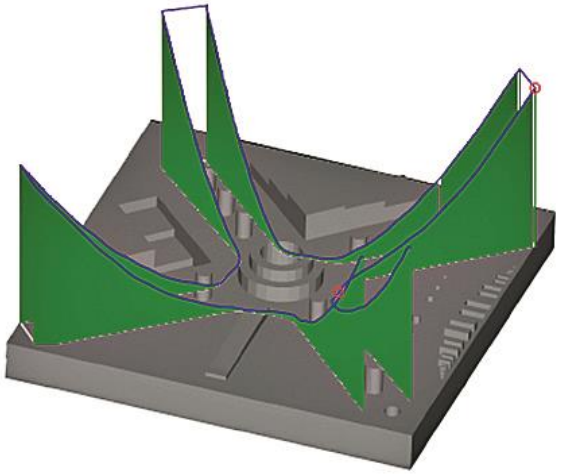
Nach dem Druck



Nach der Wärmebehandlung



Nach der Teileentnahme

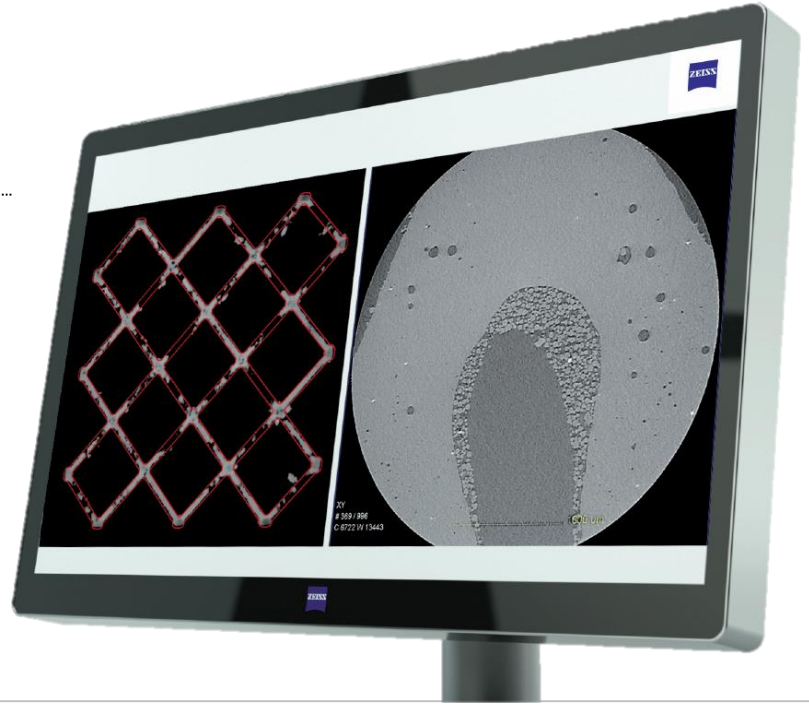


From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**

Defekt- und Innenstrukturprüfung

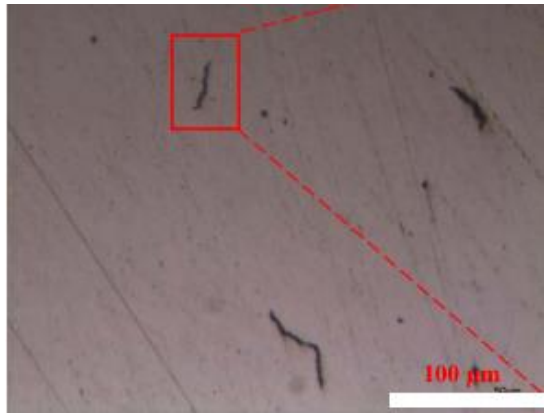
Während des Drucks kann es u. a. zur Bildung von Hohlräumen in der Struktur kommen. Innenstrukturen sowie die Verschmelzung des Pulvers können dank Röntgen-CT und LM überprüft werden.



Defekt- und Innenstrukturprüfung
Innere Defekte // LEM & Röntgen-CT

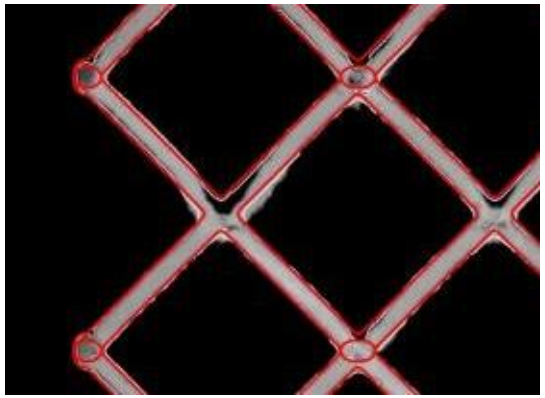
Additive Fertigung ebnet den Weg für ungeahnte Freiheiten in der Konstruktion von Bauteilen und ermöglicht komplexe Innenstrukturen. Beim Druck als auch durch die Nachbearbeitungsprozesse können jedoch zahlreiche Defekte auftreten.

Mikrorisse

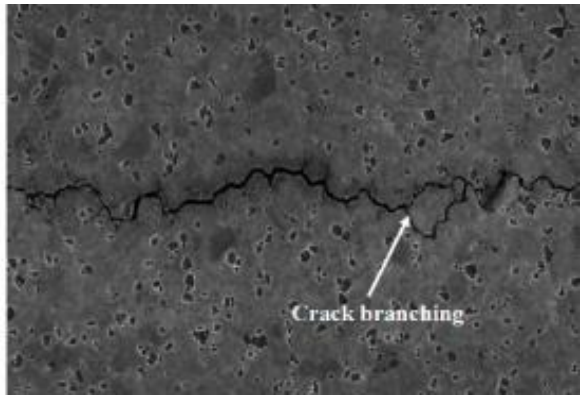


Schichtablösung

Wanddicke



Ermüdungsrisse

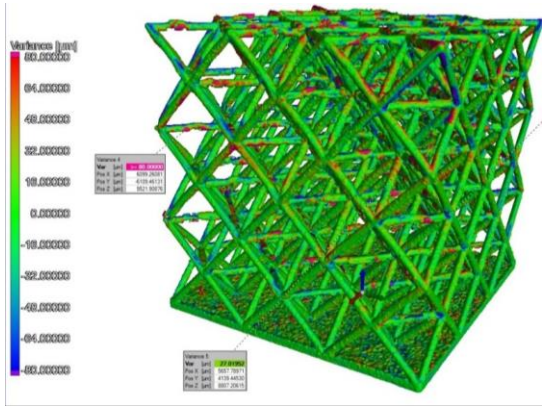


Defekt- und Innenstrukturprüfung

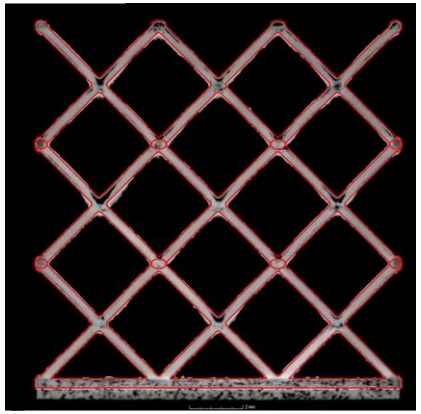
Innere Defekte // LEM & Röntgen-CT

Gescannte Bilder des Bauteils können in beliebiger Richtung beschnitten und mit der nominalen CAD-Darstellung verglichen werden.

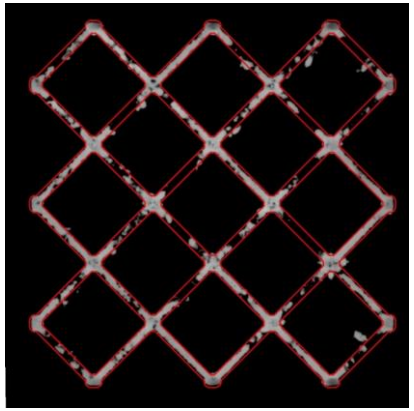
3D Modell



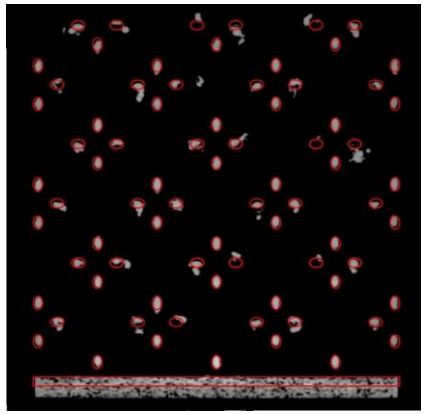
Querschnitt Seitenansicht



Querschnitt von oben



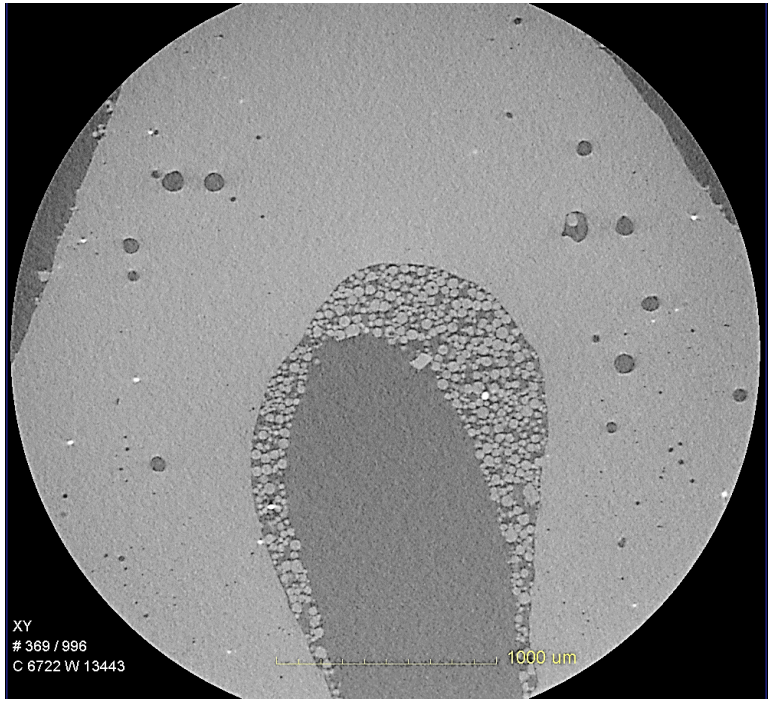
Knotenansicht



Defekt- und Innenstrukturprüfung

Aluminium Artefakt // Röntgen-CT

Aluminum AM part imaged at 19.3 µm voxel resolution



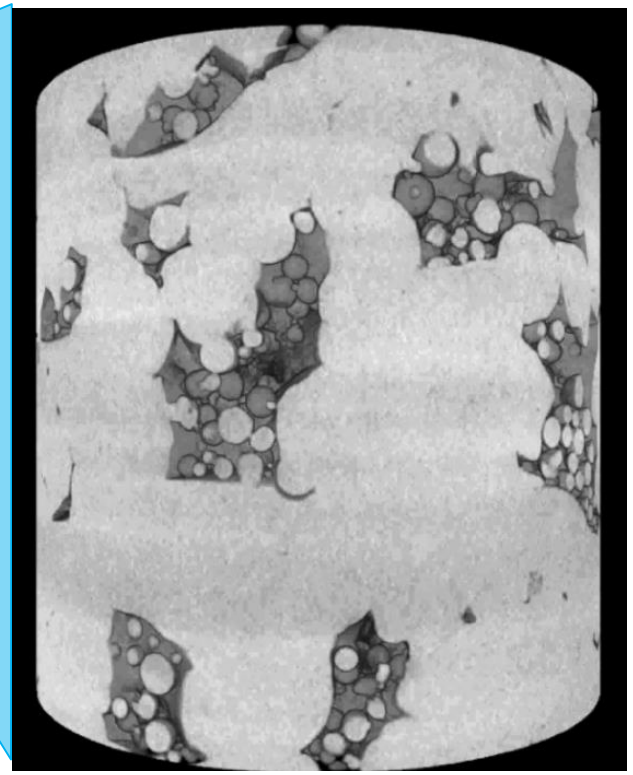
1 mm

Defekt- und Innenstrukturprüfung

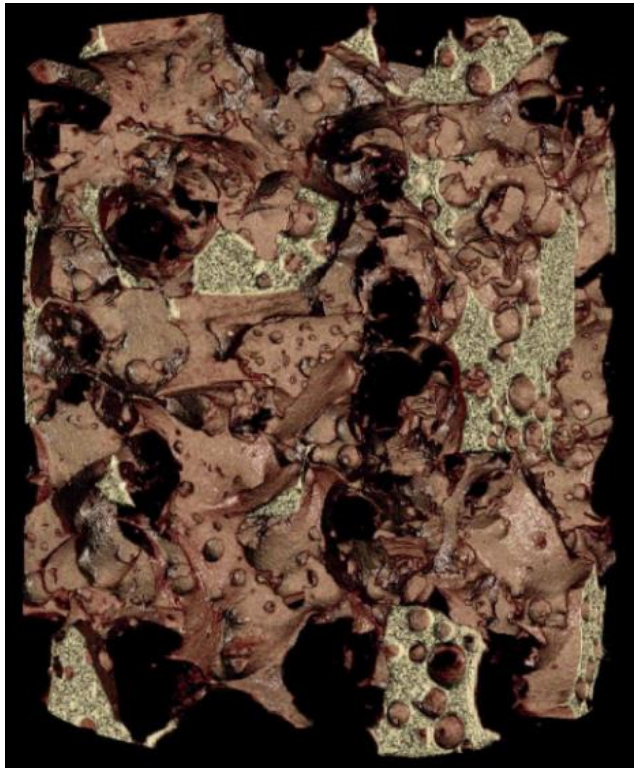
Aluminium Artefakt // **Röntgen-CT**

Gesinterer Pulverstahl

Fester Bereich



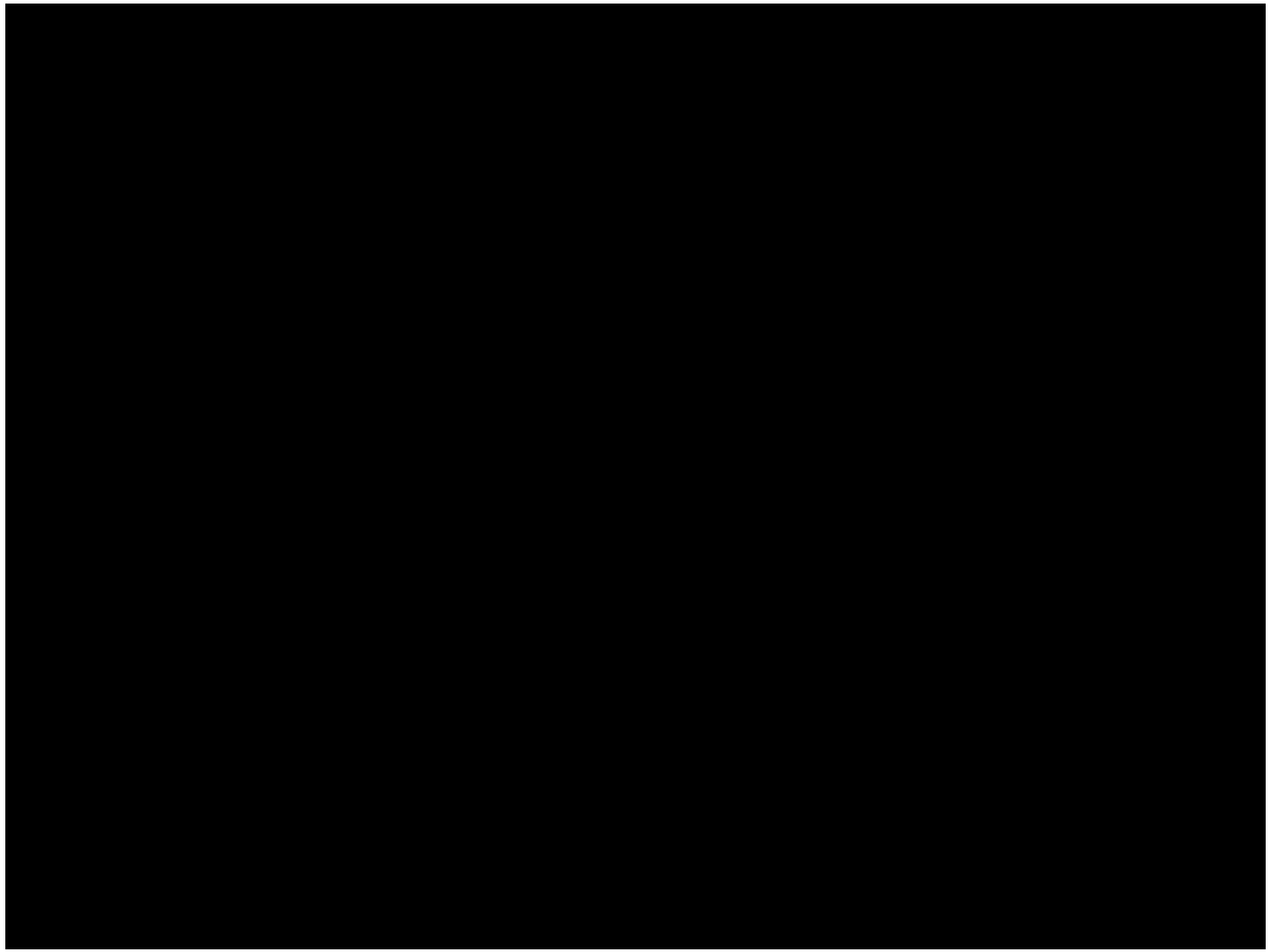
Poröser Bereich



3D-Volumendatensatz

Defekt- und Innenstrukturprüfung

Gesinterer Pulverstahl // Röntgen-CT

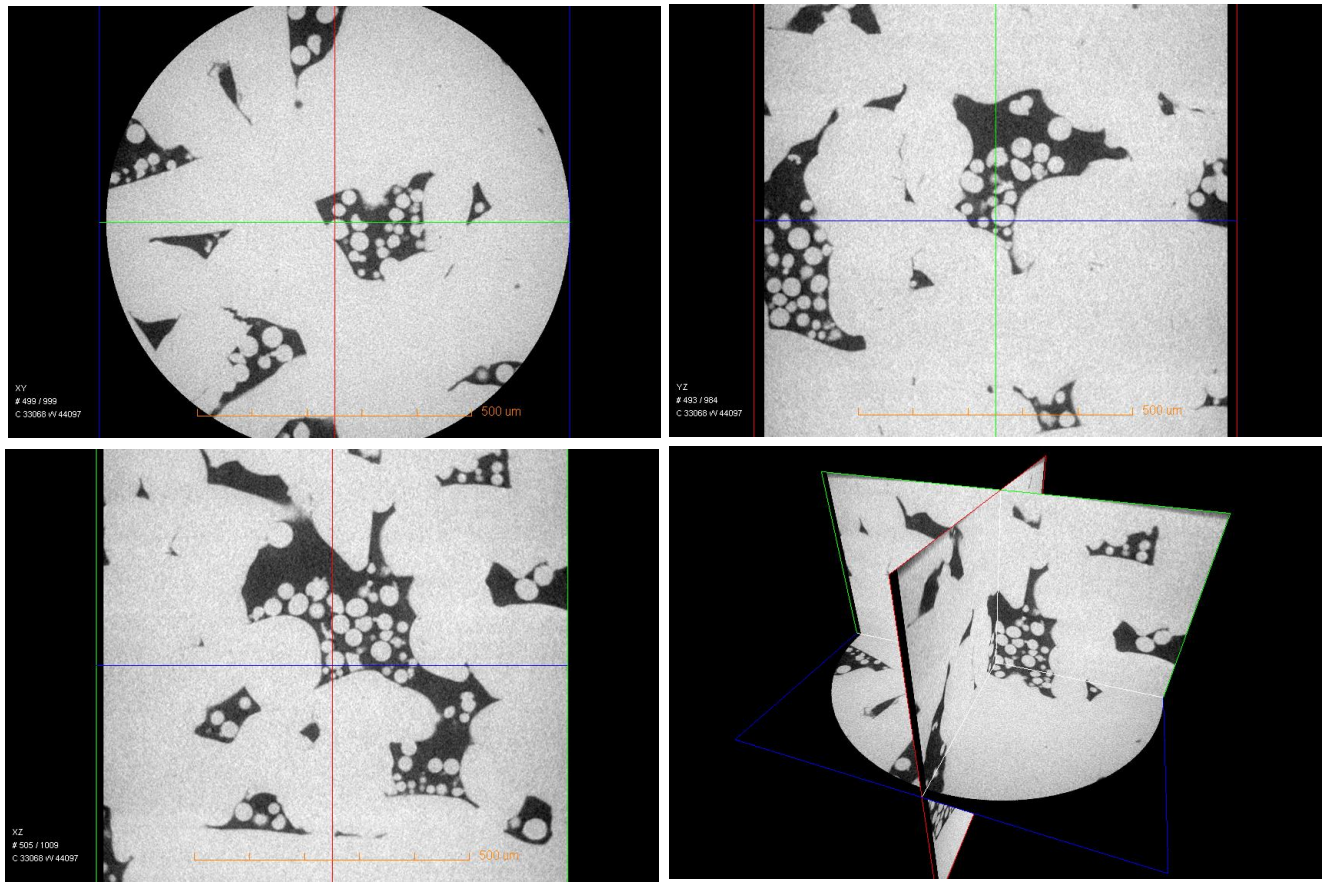


0,8 µm/Voxel

Defekt- und Innenstrukturprüfung

Gesinterer Pulverstahl // Röntgen-CT

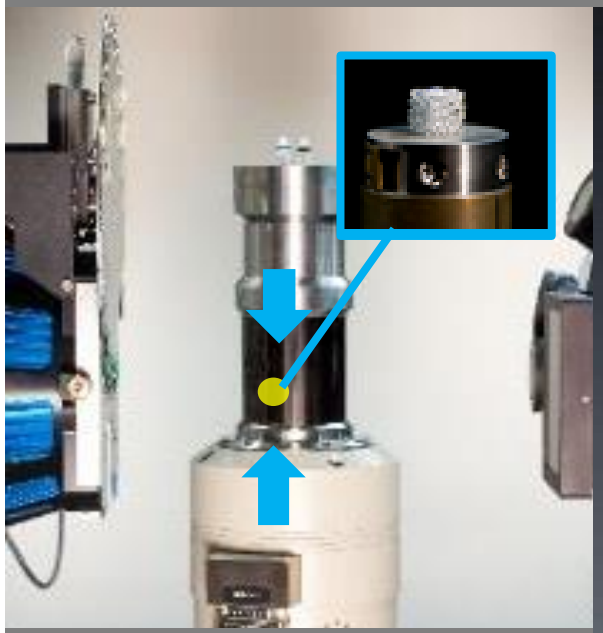
Darstellung rekonstruierte 2D-Schichten. Jeder der Quadranten stellt eine andere orthogonale virtuelle Scheibe dar. Die farbigen Linien entsprechen Schnitten mit der gleichen Randfarbe.



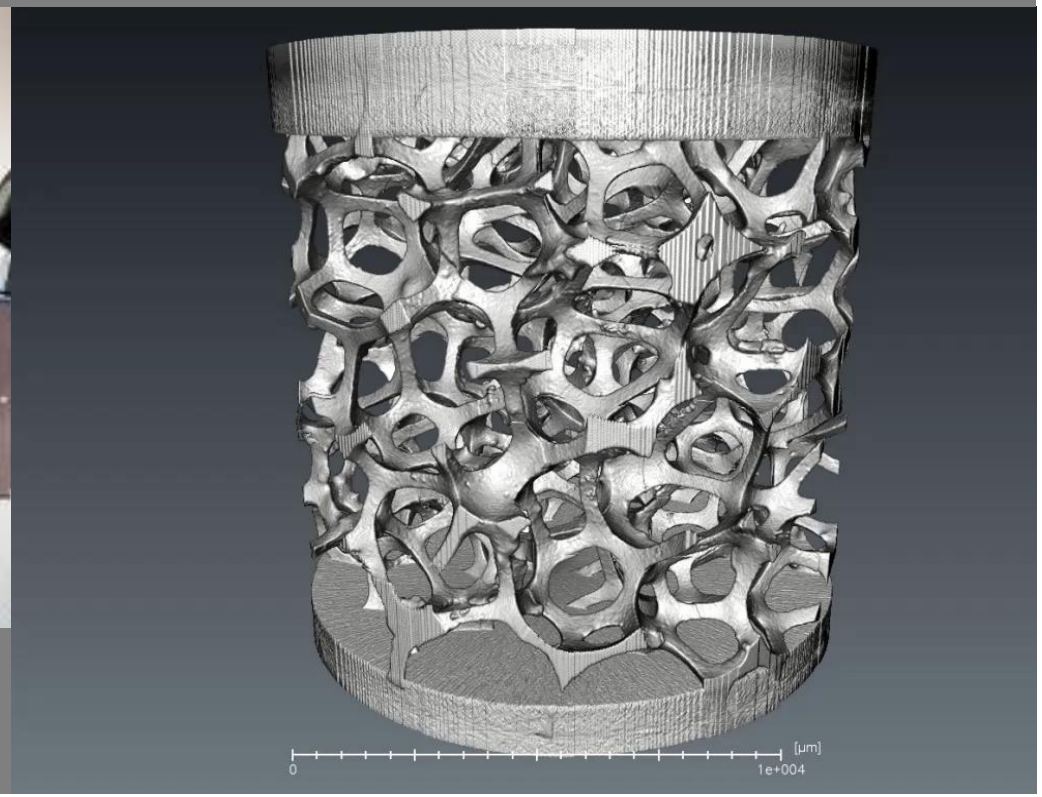
Defekt- und Innenstrukturprüfung

In-Sito Kompressionsprüfung von Metallschaumstoffen // **Röntgen-CT**

Resolution at a Distance (RaaD™)
bietet höchste Auflösung für bildgebende in situ Experimente

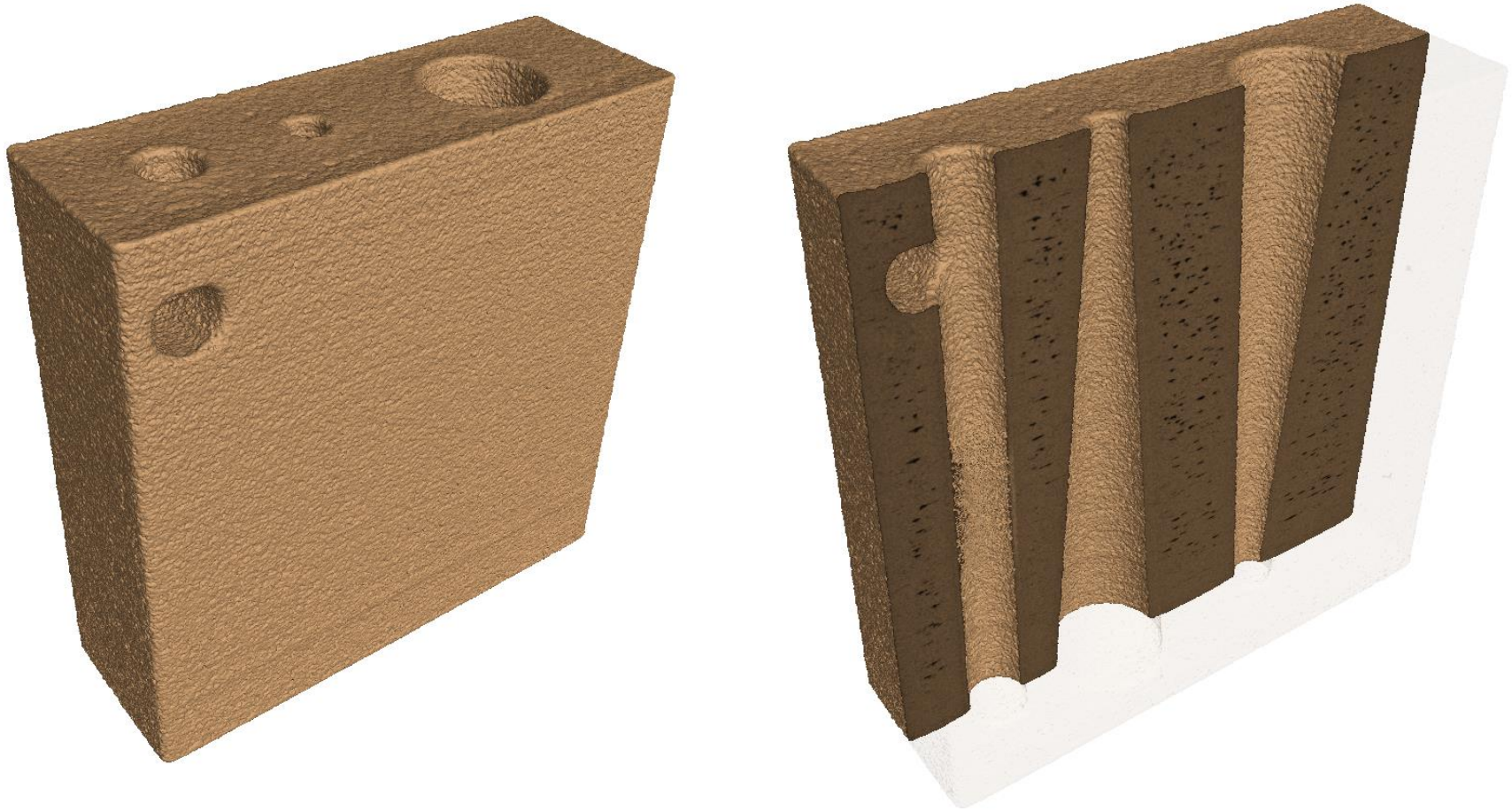


Compression rig
Deben CT5000-TEC Load stage
Äußerer Durchmesser: **60mm**



Defekt- und Innenstrukturprüfung

Automatische Erkennung von Lunkern // Röntgen-CT

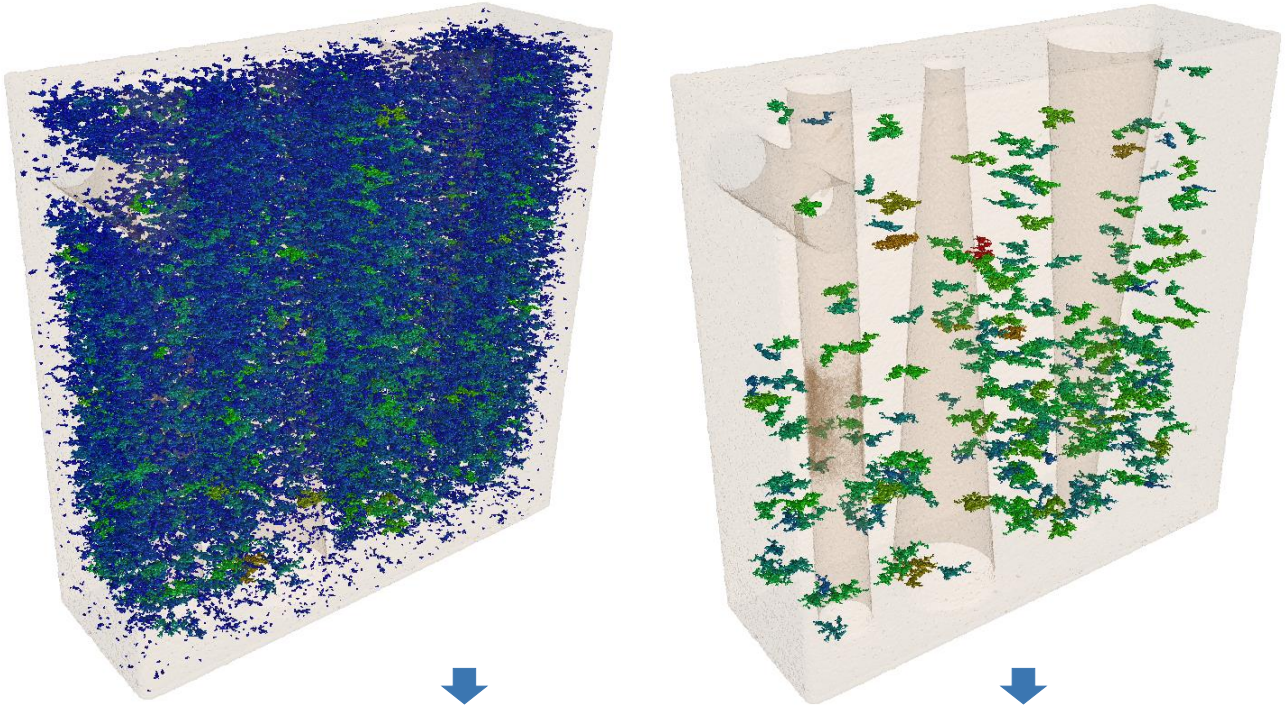


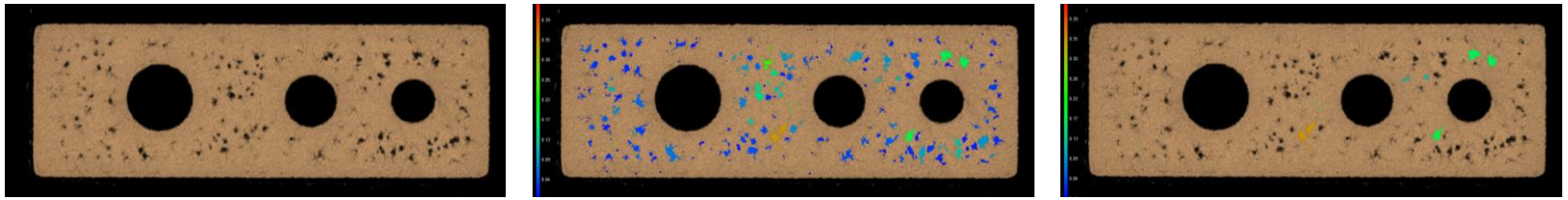
Aufgenommen mit VGStudio MAX

Defekt- und Innenstrukturprüfung

Darstellung von Lunkern // Röntgen-CT

Darstellung aller Lunker vs. Lunker größer als 2mm im Durchmesser

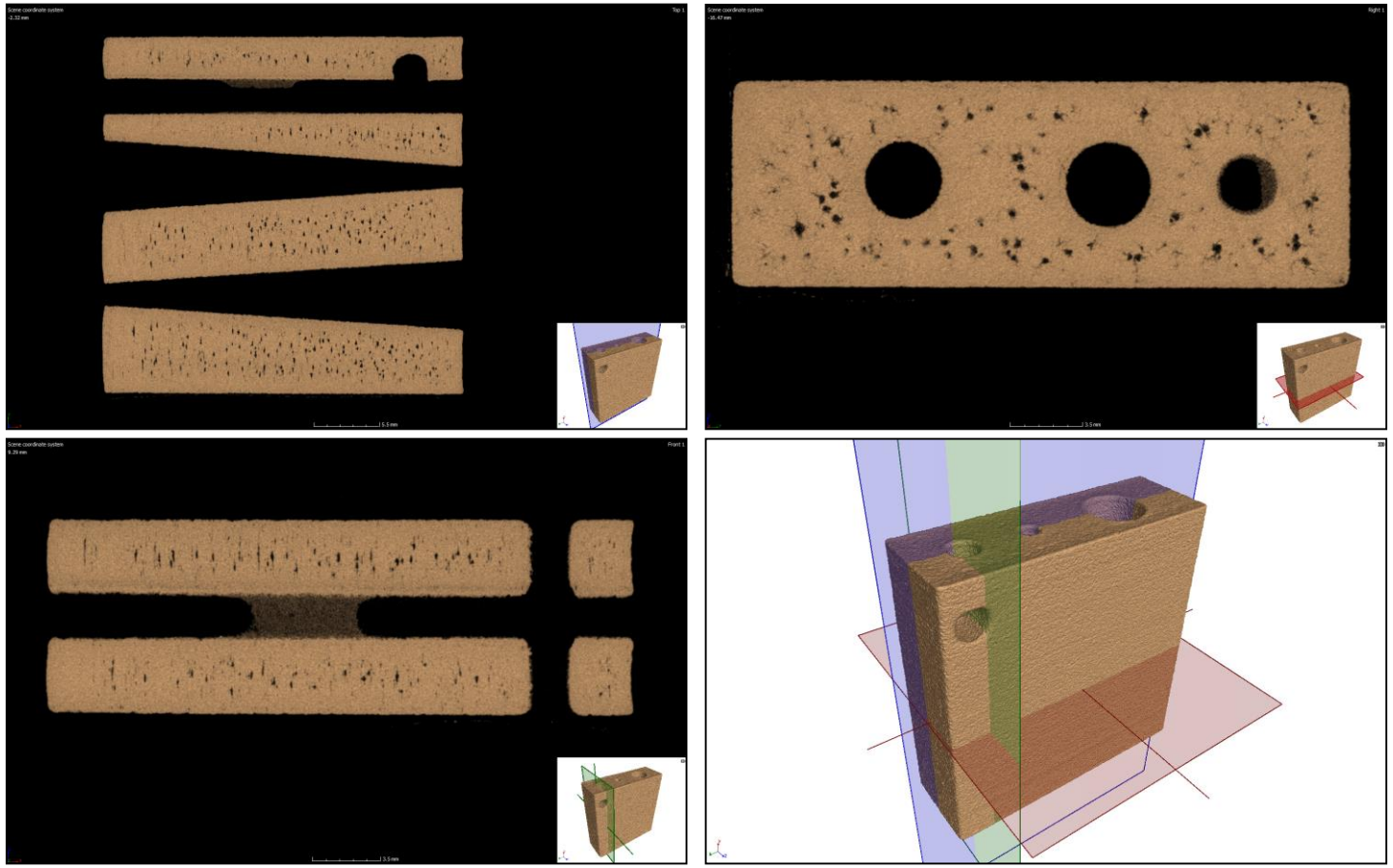




Defekt- und Innenstrukturprüfung

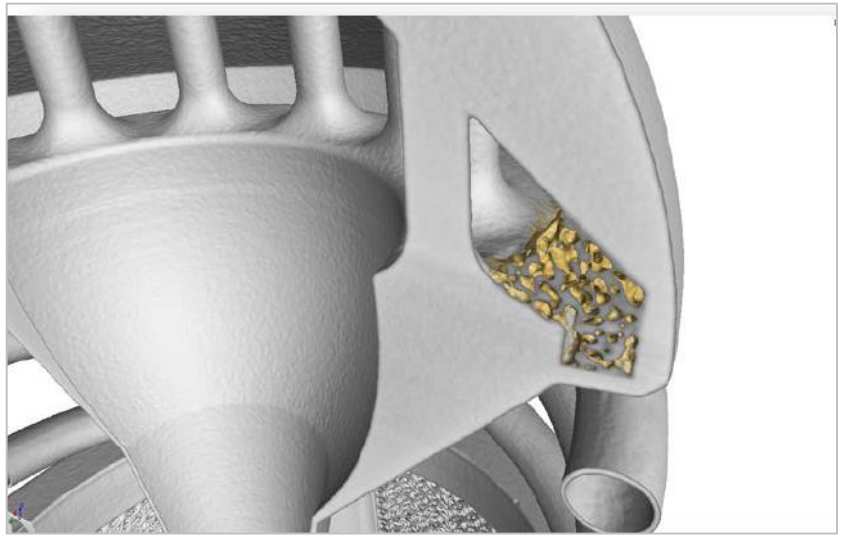
Automatische Erkennung von Lunkern // Röntgen-CT

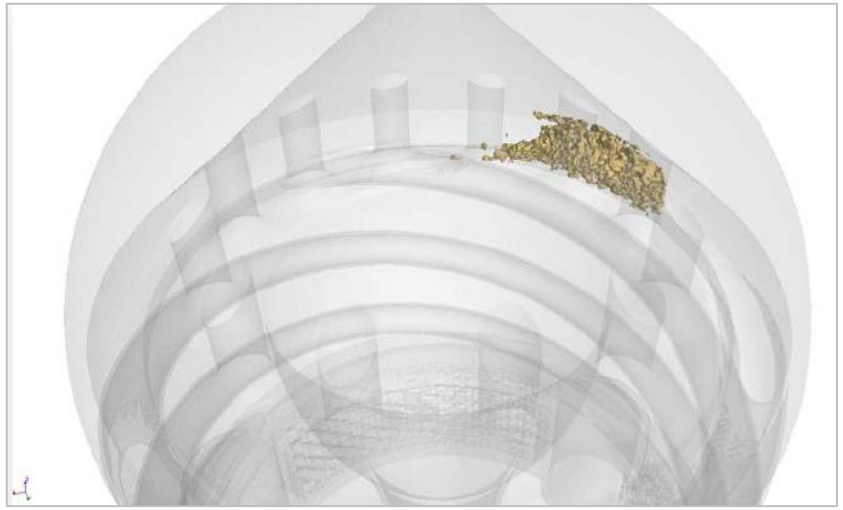
- Virtuelles zerstörungsfreies Schneiden des Teils in beliebiger Position
- Rückstände von Trägermaterial ebenfalls sichtbar



Defekt- und Innenstrukturprüfung

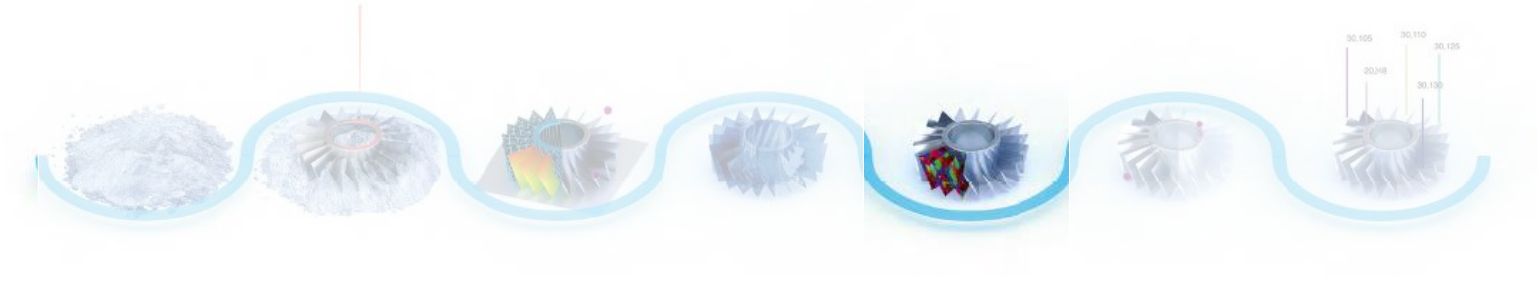
Erkennung von Trägermaterialrückständen // Röntgen-CT





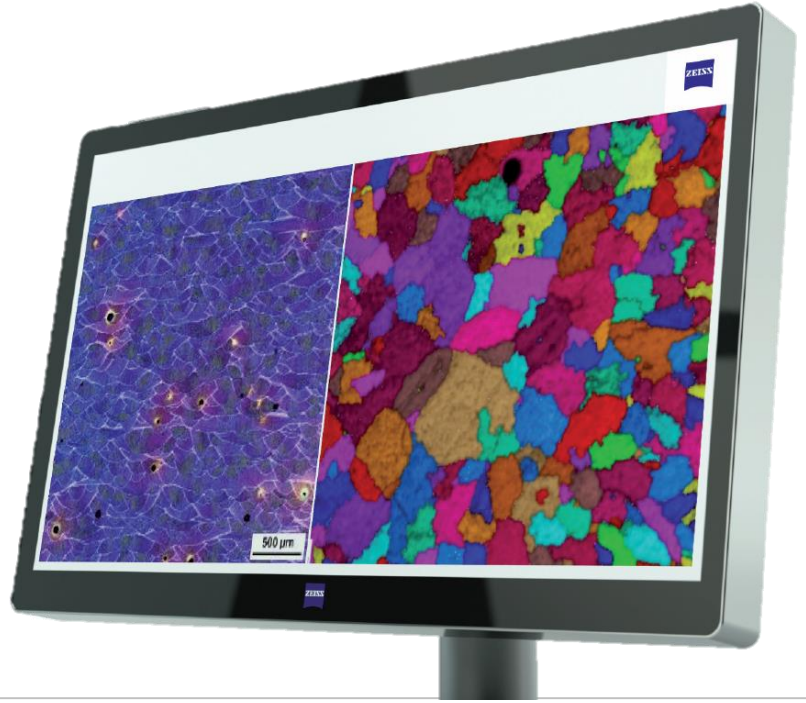
From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**



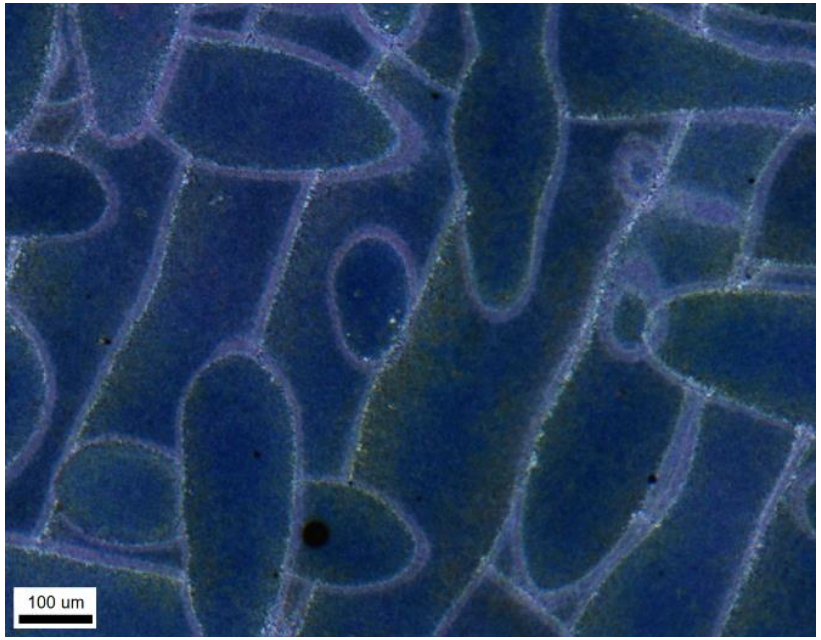
Materialqualitätsprüfung nach dem Druck

Schmelztemperaturen und Prozessparameter beim 3D-Druck beeinflussen die kristallographische Zusammensetzung stark und damit auch die Bauteileigenschaften. Dies kann mit REM, LM und Röntgen-CT überprüft werden.

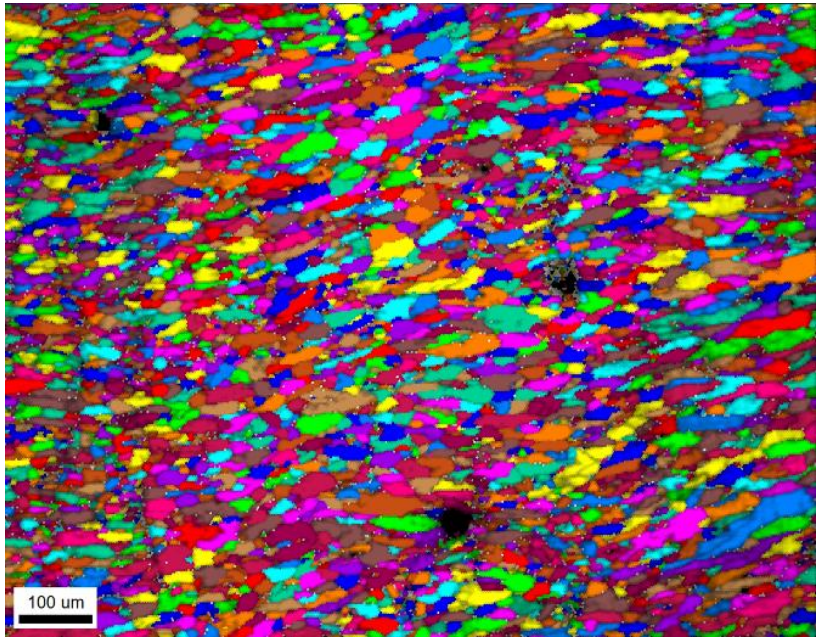


Materialqualitätsprüfung nach dem Druck
Analyse der Körnerstruktur // LM & REM

AlSi10Mg Querschnitt quer zur Druckrichtung, gleiche Stelle aufgenommen mit LM & REM



Lichtmikroskopische Aufnahme des Metallpulvers, gitterförmige Struktur ist sichtbar



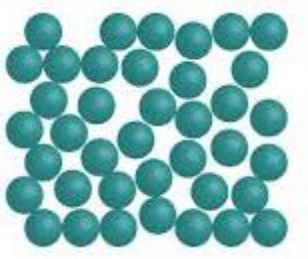
EBSD-Mapping, einzelne Körner eingefärbt, Laserstruktur nicht sichtbar

From Powder to Performance
Grundlagen für LabDCT // HOW

Materialformen: fest, flüssig, gasförmig, Plasma

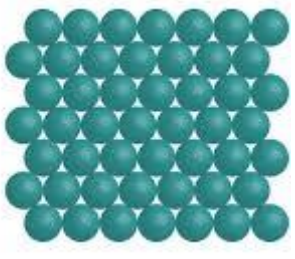
Feststoffe können sein

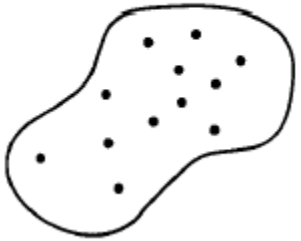
amorph



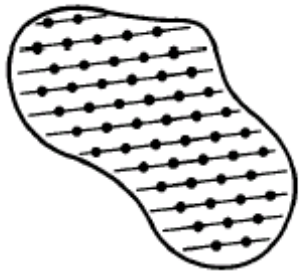
oder

kristallin

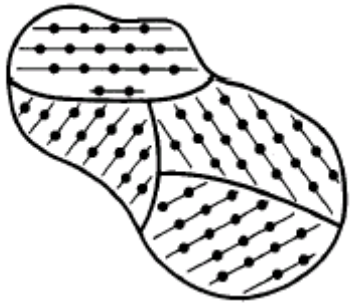




Amorph

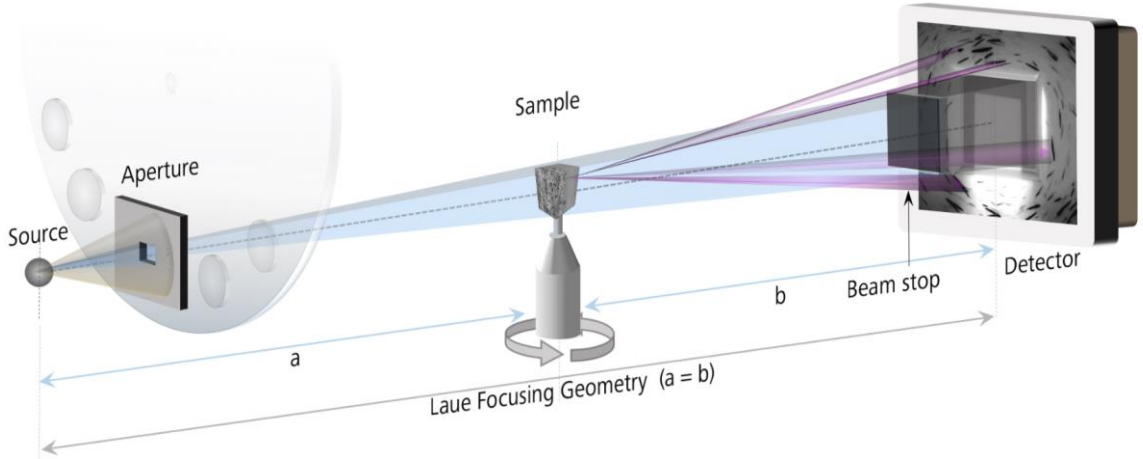


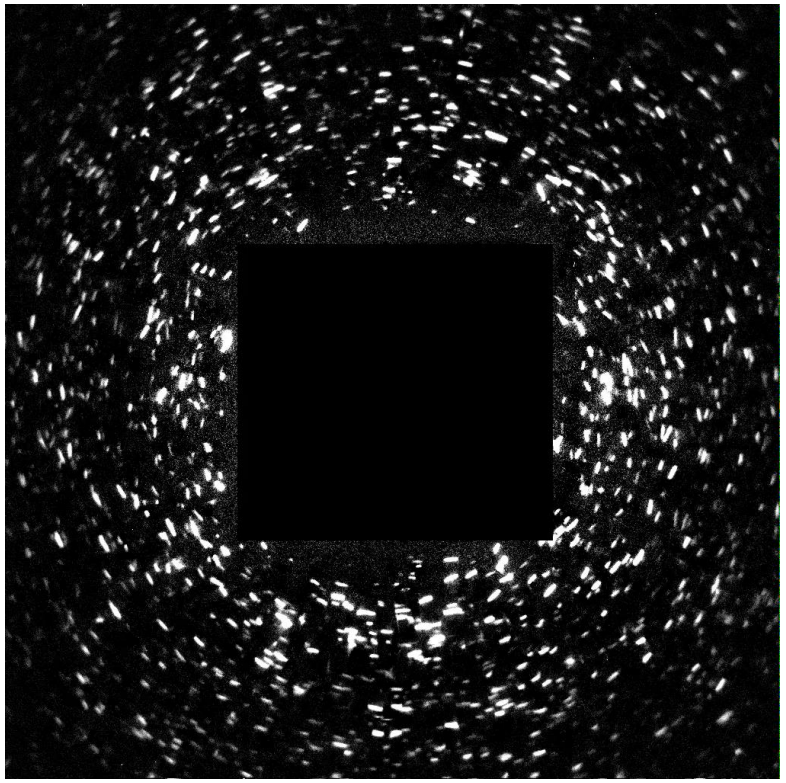
Einkristallin
Gleiches atomares Füllmuster für die gesamte Probe (keine Korngrenzen)



Polykristallin
Material, das aus vielen Füllmustern (Körnern) besteht.

From Powder to Performance
Grundlagen für LabDCT // HOW

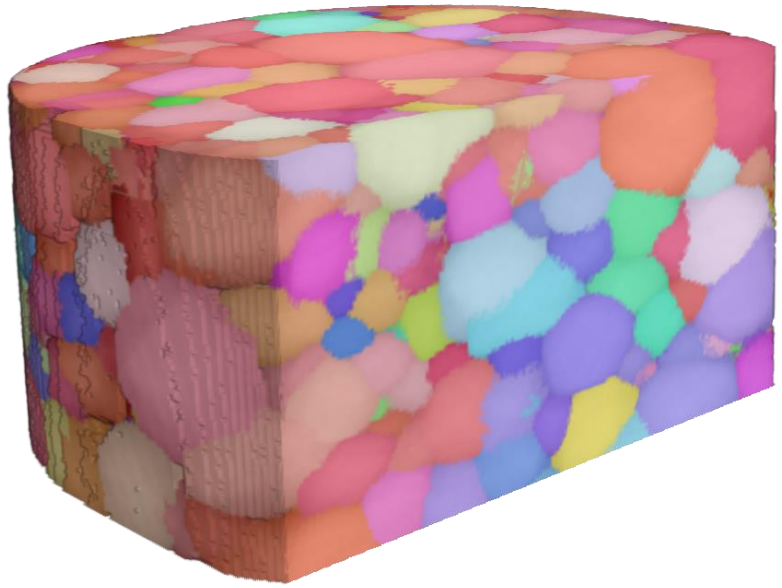




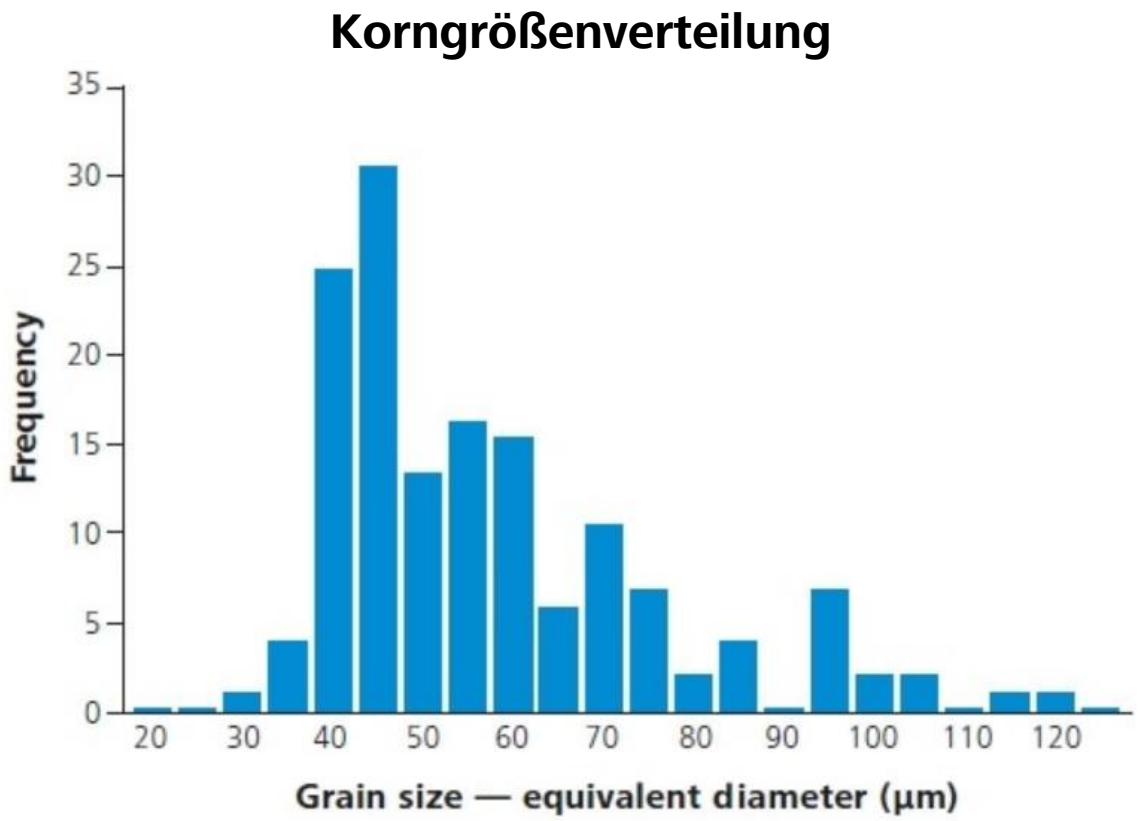
- Blende und Strahlstopp wurden zum Strahlengang hinzugefügt
- Quelle, Probe und Detektor sind in einer symmetrischen Laue-Geometrie angeordnet
- Während sich die Probe dreht, erscheinen Beugungsmuster auf dem Detektor, wenn die Probe die Bragg-Bedingung erfüllt.
- Verfolgung der Bewegung der Beugungspunkte während der Rotation, die Korngestaltung kann in 3D rekonstruiert werden.
- Neue Technik wurde im Gegensatz zu EBSD & Synch DCT validiert.

Materialqualitätsprüfung nach dem Druck

Anwendungsbeispiel Titanium-7% Al (hexagonal) // **LabDCT**



3D-Körner mit LabDCT (IPF-Färbung)

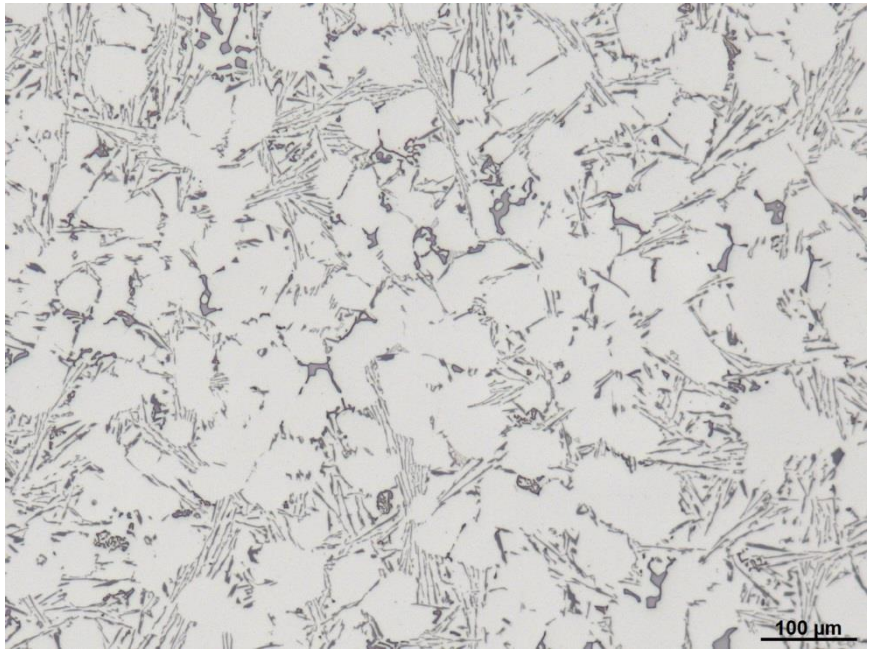


Muster mit Genehmigung von M. Uchic, WPAFB)

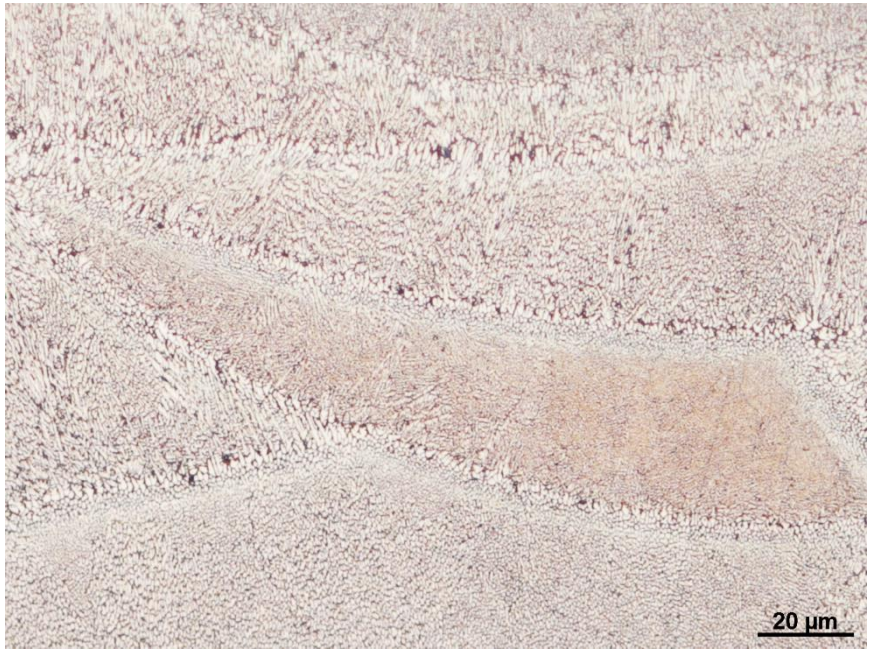
Materialqualitätsprüfung nach dem Druck
Analyse der Körnerstruktur // LM & REM

Vergleich von konventionellen und additiv hergestelltem AlSi10Mg

Konventionelle Herstellung

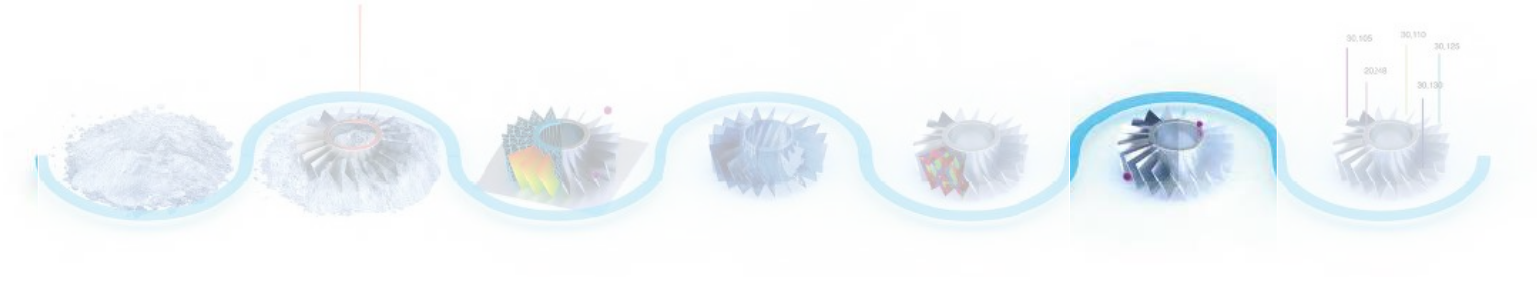


3D-Druck

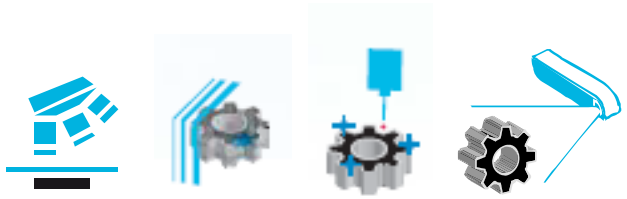


From Powder to Performance

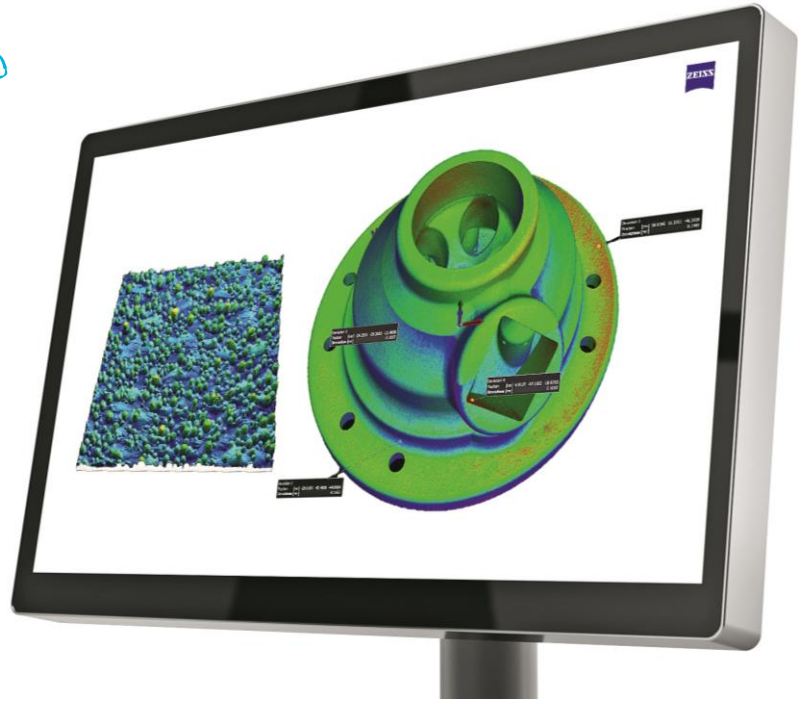
Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**



Maß- und Oberflächen-prüfung

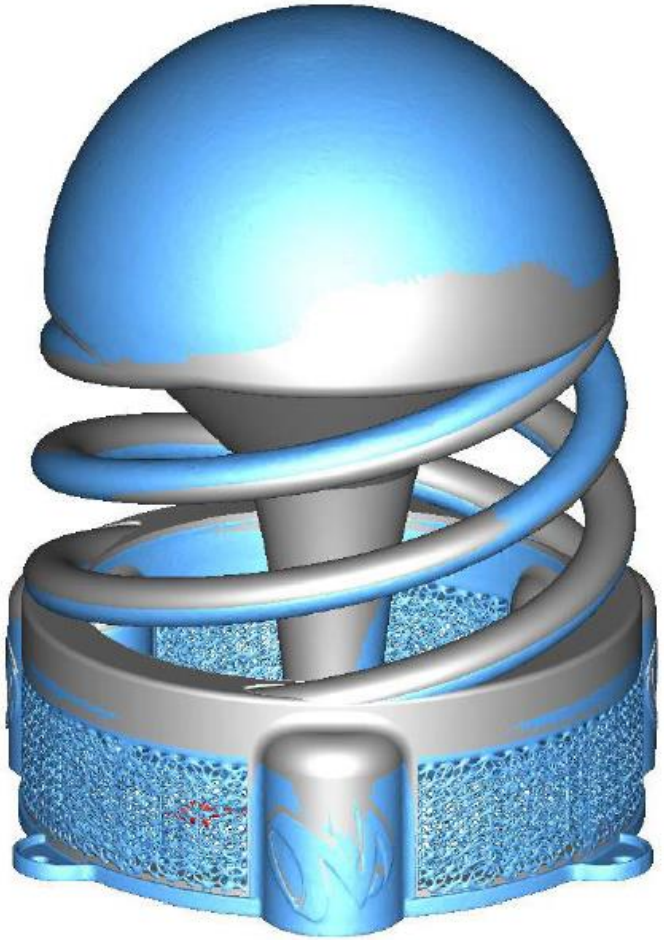


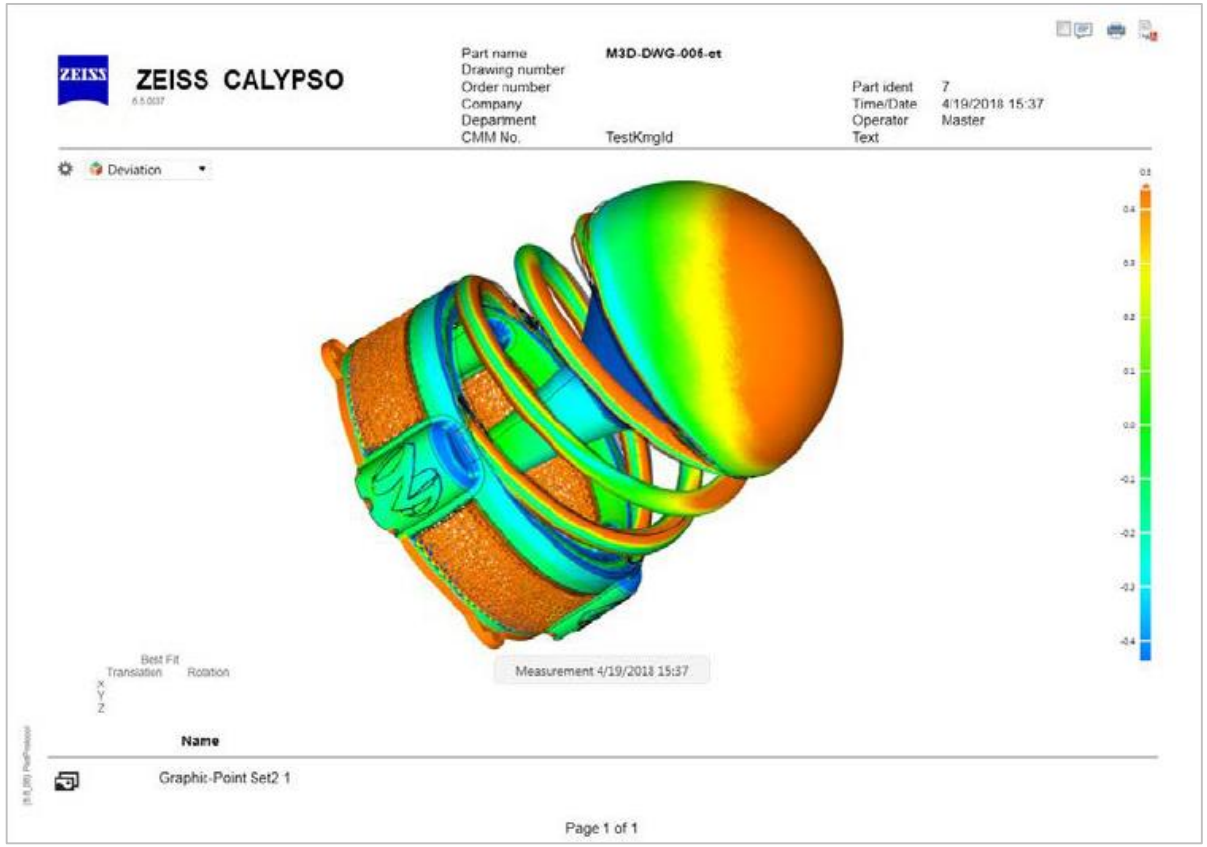
Die Oberflächengüte kann mit optischen Verfahren analysiert werden, wobei die Innenoberfläche mit Röntgen-CT untersucht wird. Außerdem werden KMGs, optische 3D-Scanner oder Röntgen-CT für die Überprüfung der Maßhaltigkeit des fertigen Bauteils eingesetzt.



Maß- und Oberflächenprüfung

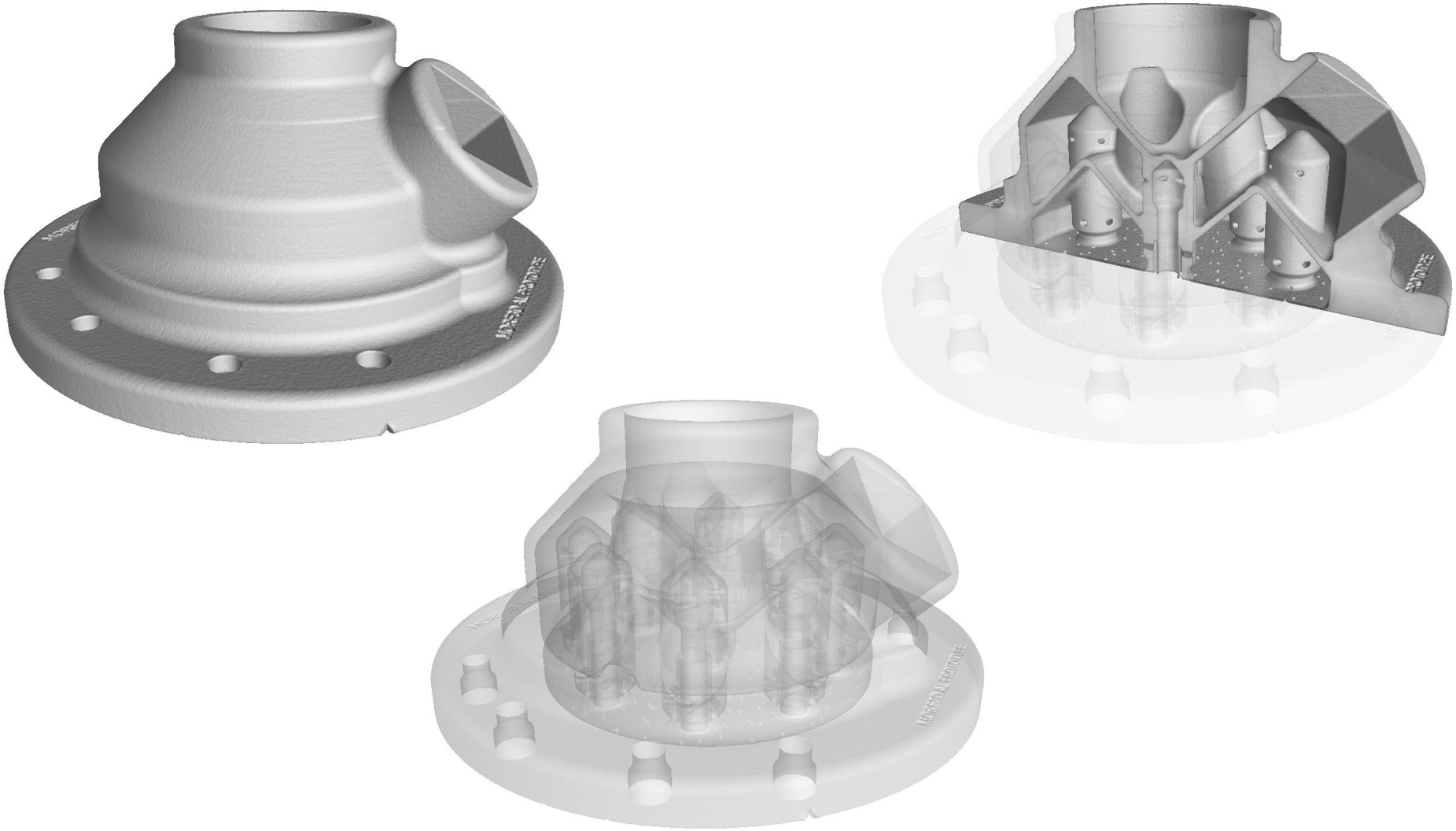
Dimensionelle Messung einer Alu-Legierung // Röntgen-CT





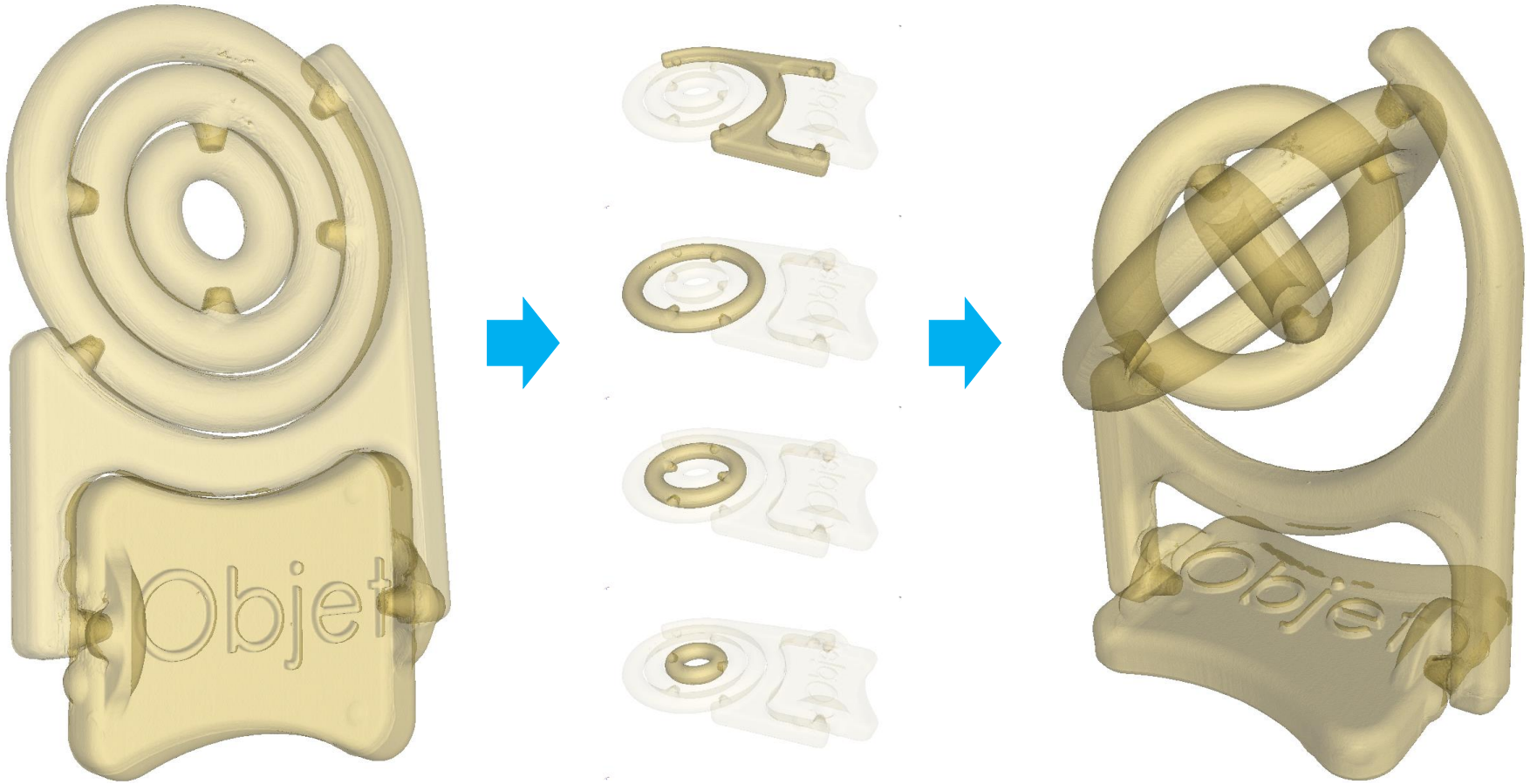
Maß- und Oberflächenprüfung

Dimensionelle Messung komplexer Strukturen // Röntgen-CT



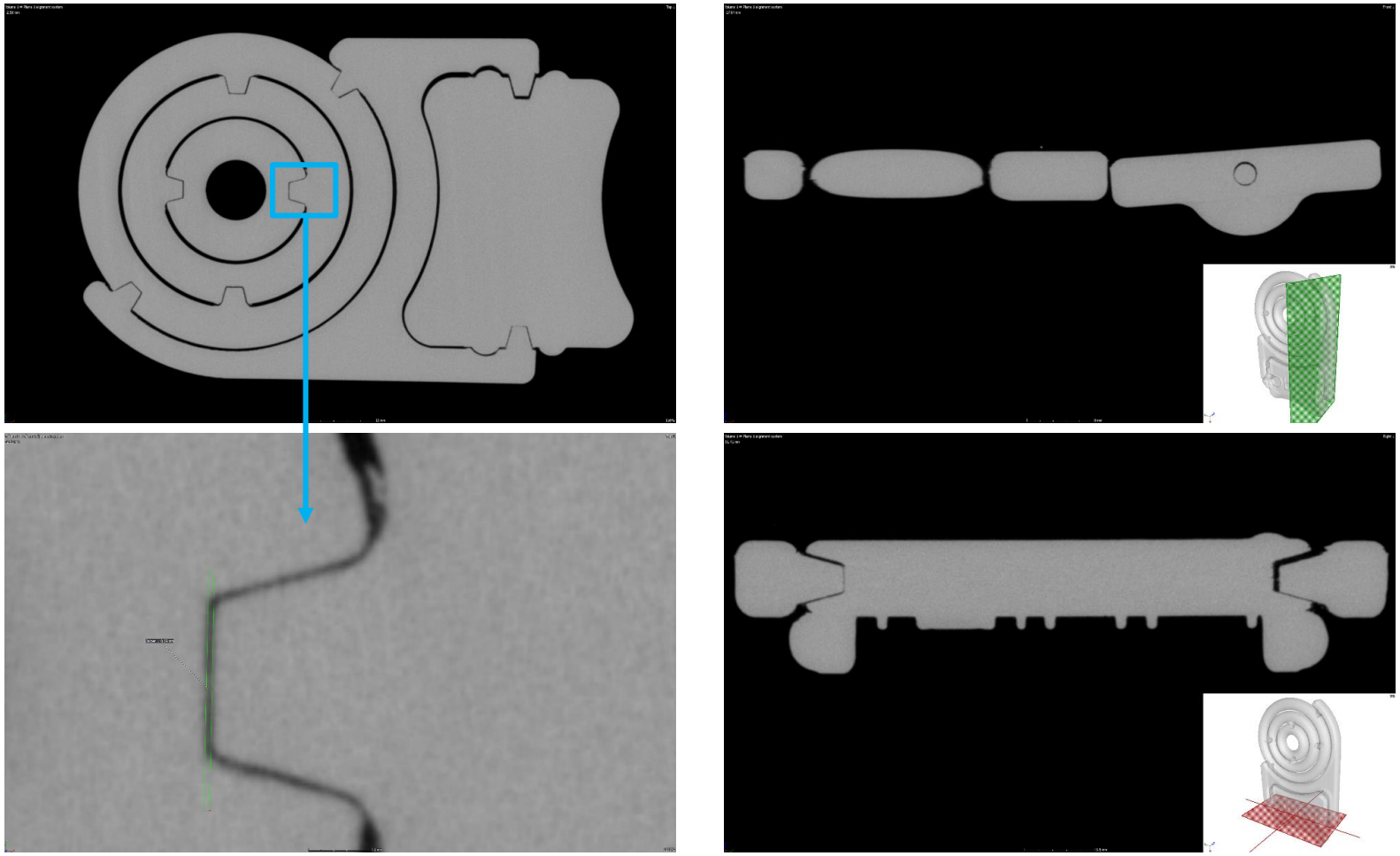
Maß- und Oberflächenprüfung
Montagekontrolle // Röntgen-CT

Segmentierung und Neuausrichtung der Teile



Maß- und Oberflächenprüfung

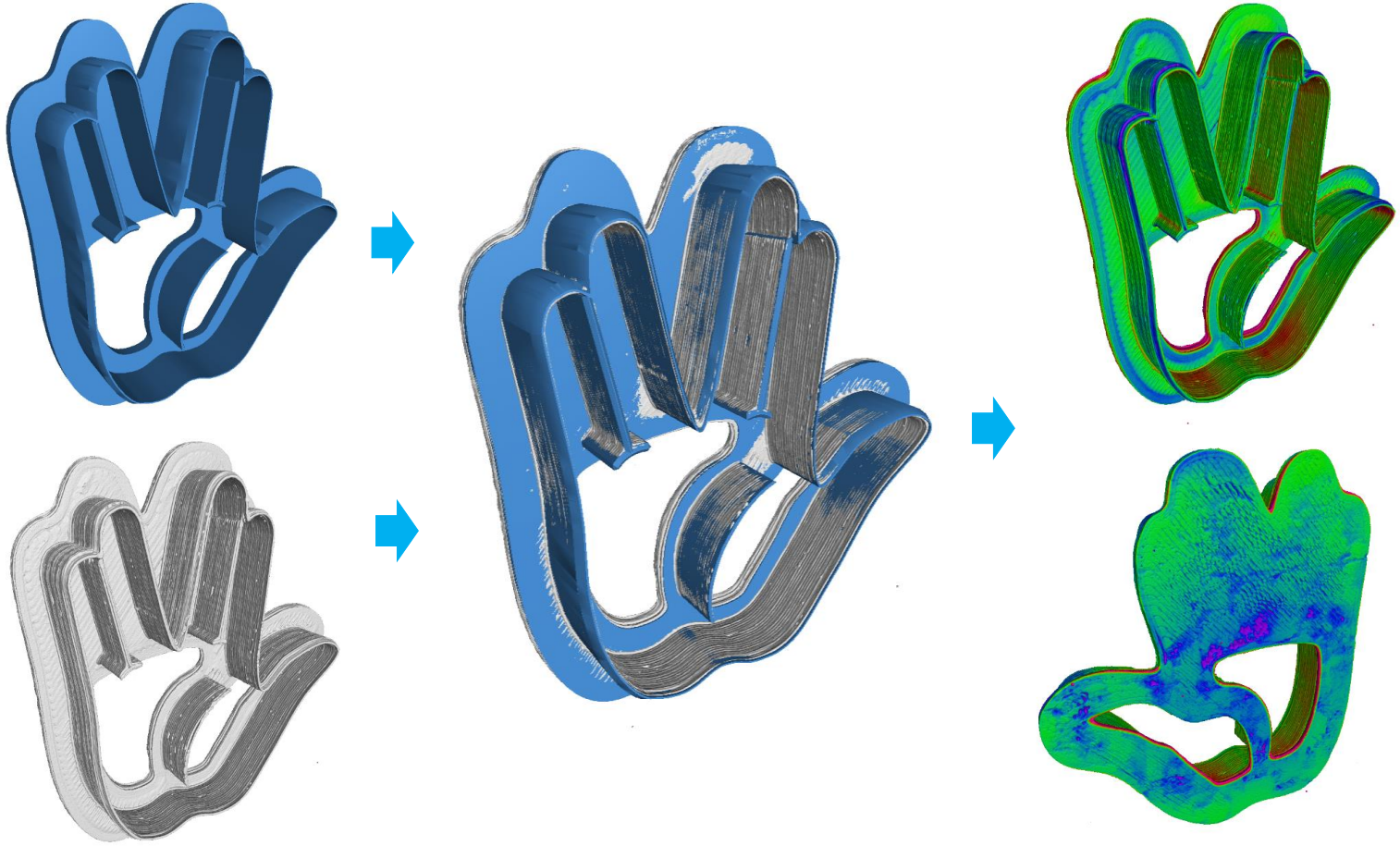
Montagekontrolle – Überprüfung der Verbindungsstellen // Röntgen-CT



Maß- und Oberflächenprüfung

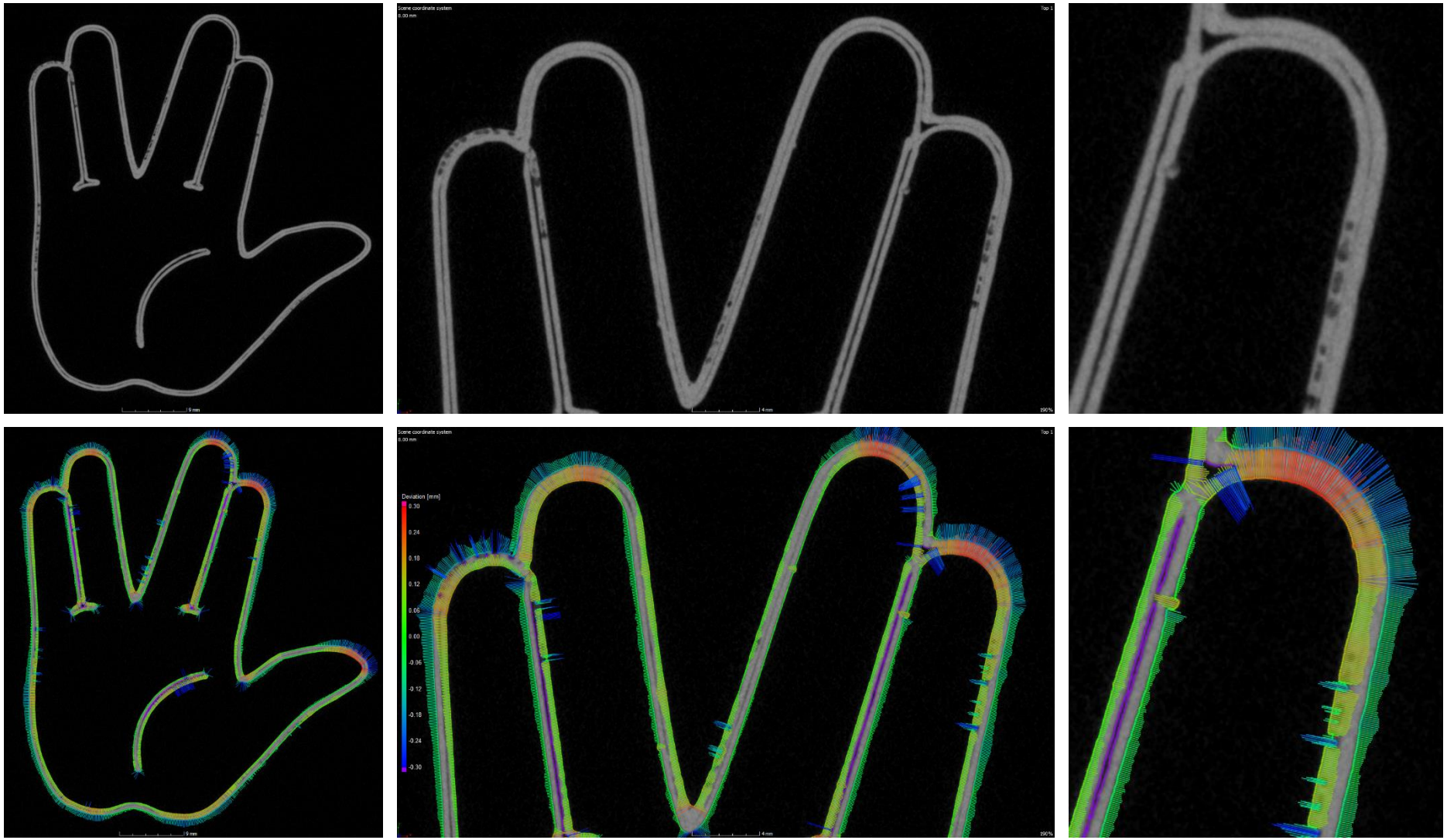
Soll-Ist-Vergleich mit dem Referenzmodell // Röntgen-CT

Abweichungen des 3D-gedruckten Bauteils vom STL-Modell



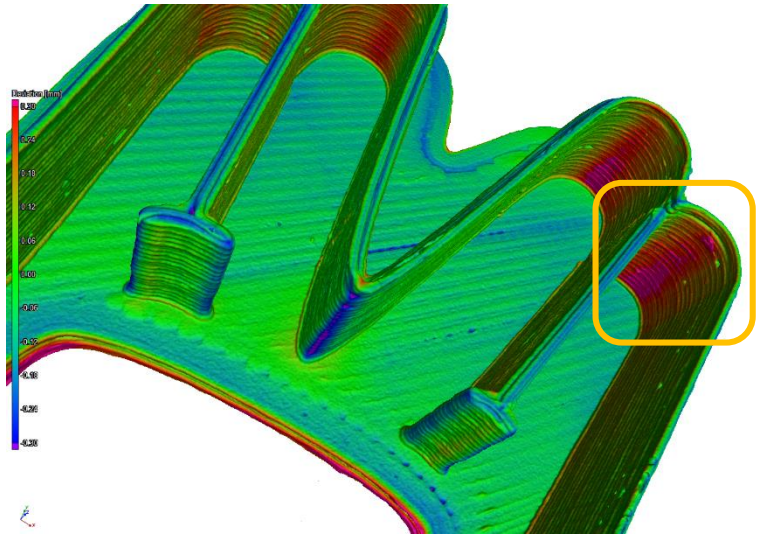
Maß- und Oberflächenprüfung

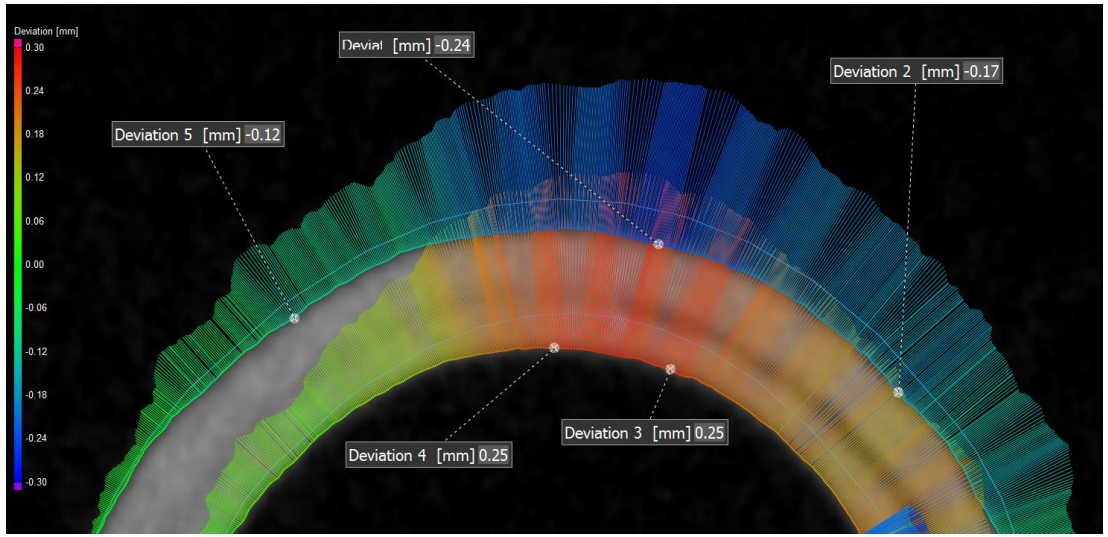
Soll-Ist-Vergleich mit dem Referenzmodell // **Röntgen-CT**

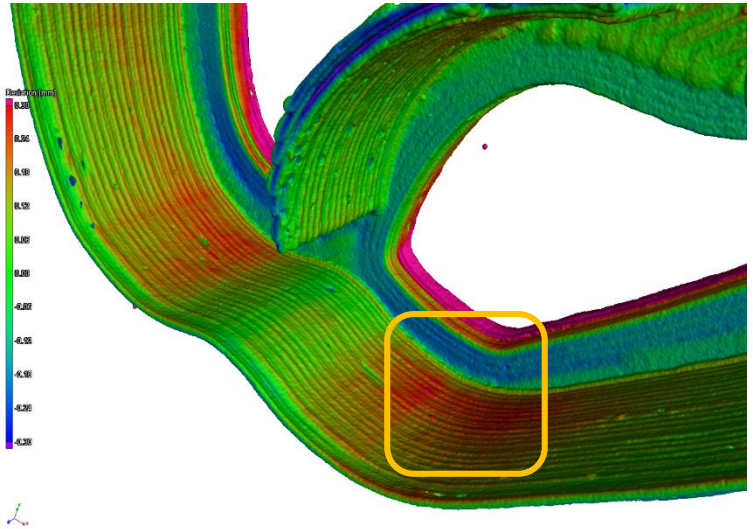


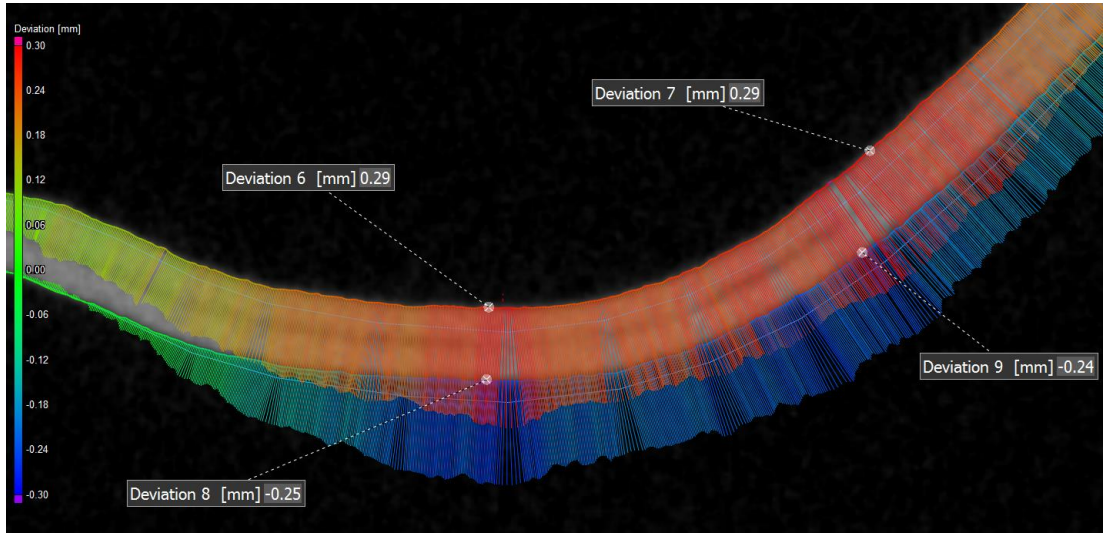
Maß- und Oberflächenprüfung

Soll-Ist-Vergleich mit dem Referenzmodell // Röntgen-CT





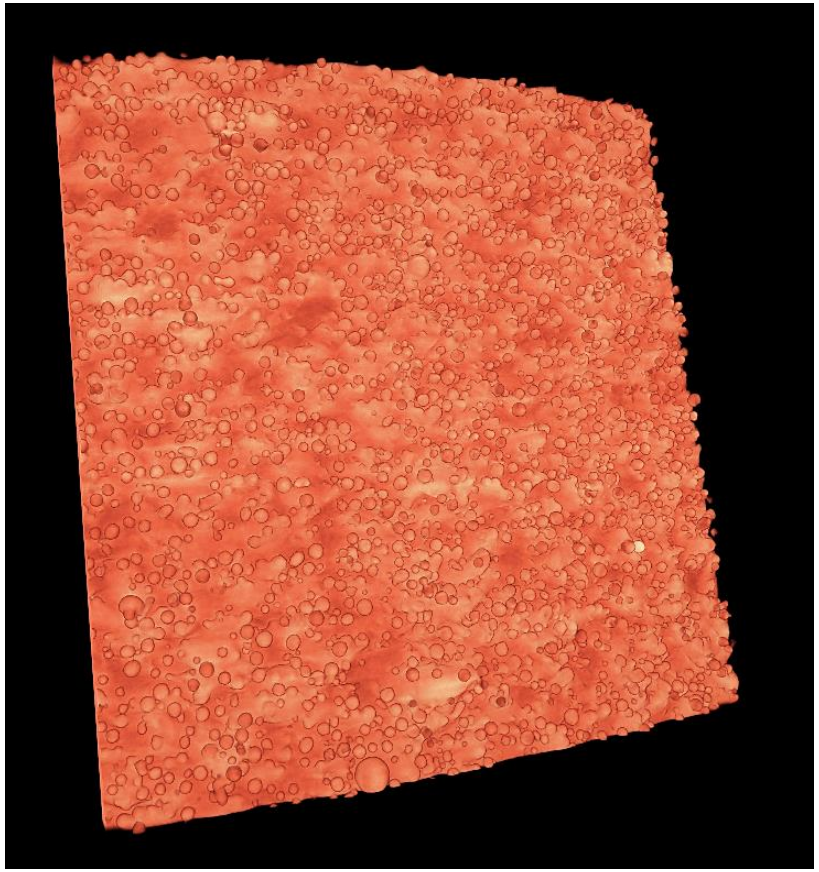




Maß- und Oberflächenprüfung

Oberflächenprüfung – Ti-6Al-4V // **Röntgen-CT**

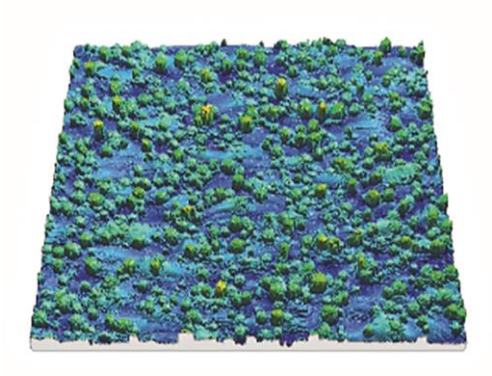
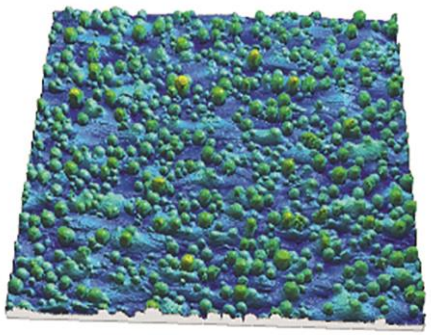
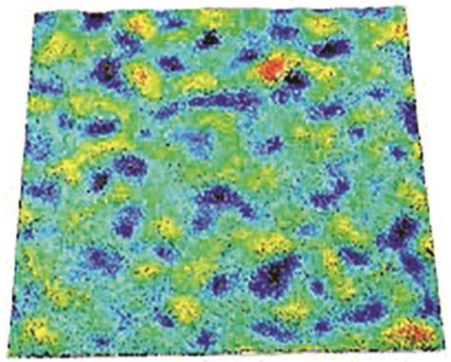
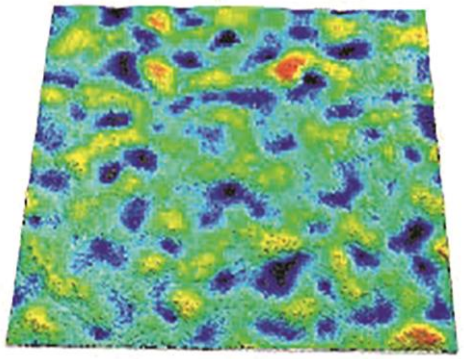
Darstellung der ganzen Probe mit ~11,5 µm Voxel Auflösung



Darstellung des ROI mit ~1,2 µm Voxel Auflösung

Maß- und Oberflächenprüfung

Analyse vor und nach dem Sandstrahlen // LM & Röntgen-CT

	LM	Röntgen-CT
Vor dem Sandstrahlen		
Nach dem Sandstrahlen		

Vergleich der Messergebnisse

ISO 25178

Höhen Parameter

	ZEISS Xradia Versa	ZEISS Smartproof 5	
Sq	15,1	14,8	µm
Ssk	0,700	0,776	
Sku	3,11	3,29	µm
Sp	66,9	71,3	µm
Sv	40,7	86,9	µm
Sz	108	158	µm
Sa	12,2	12,0	µm

ISO 25178

Höhen Parameter

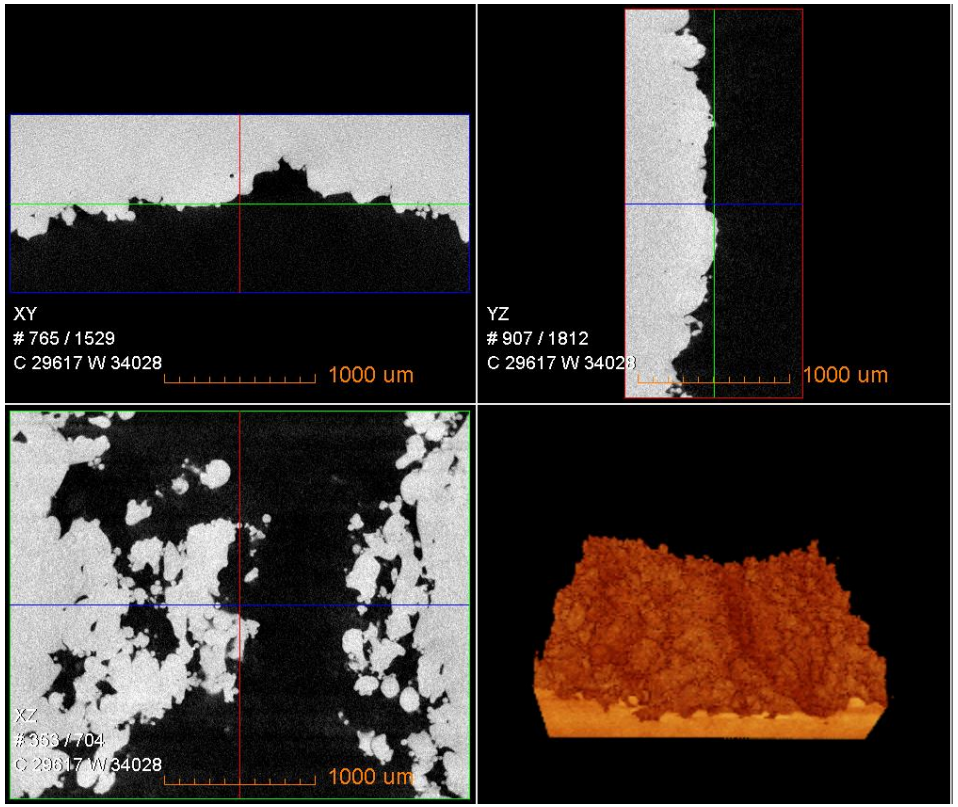
	ZEISS Xradia Versa	ZEISS Smartproof 5	
Sq	3,9	3,75	µm
Ssk	-0,174	-0,111	
Sku	3,52	3,57	µm
Sp	14,8	14,8	µm
Sv	26,4	23,8	µm
Sz	41,2	38,6	µm
Sa	3,06	2,93	µm

Sehr ähnliche Ergebnisse bei Messungen mit LM & Röntgen-CT

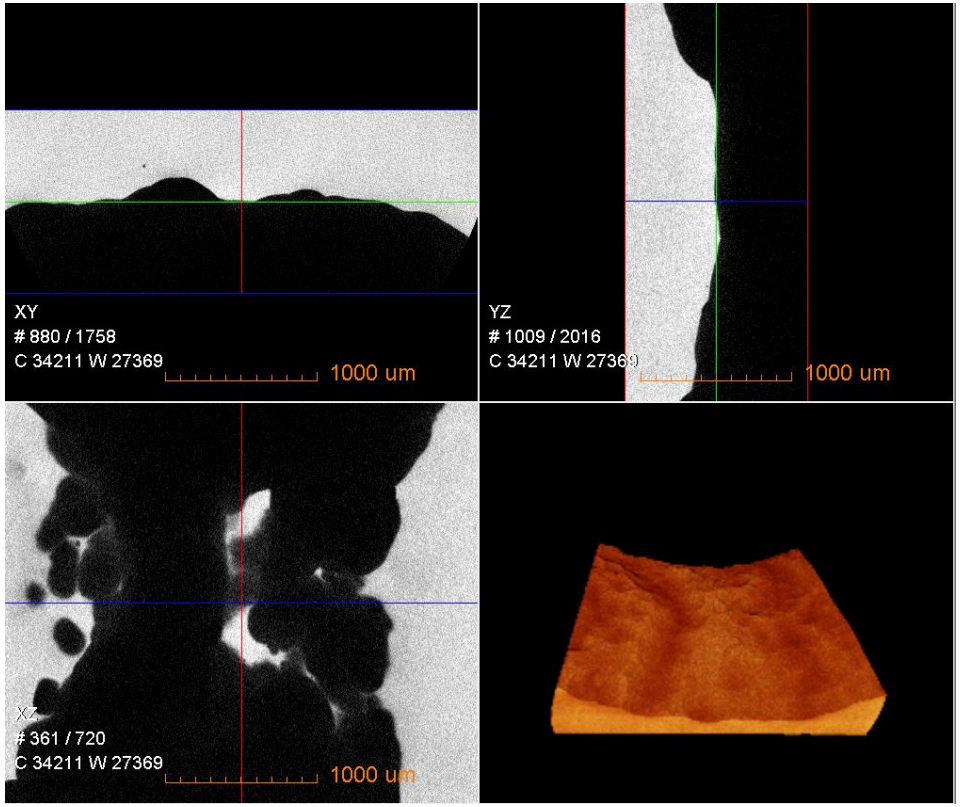
Maß- und Oberflächenprüfung

Analyse innenliegender Defekte und Oberpflächenprüfung // **Röntgen-CT**

Vor dem Sandstrahlen

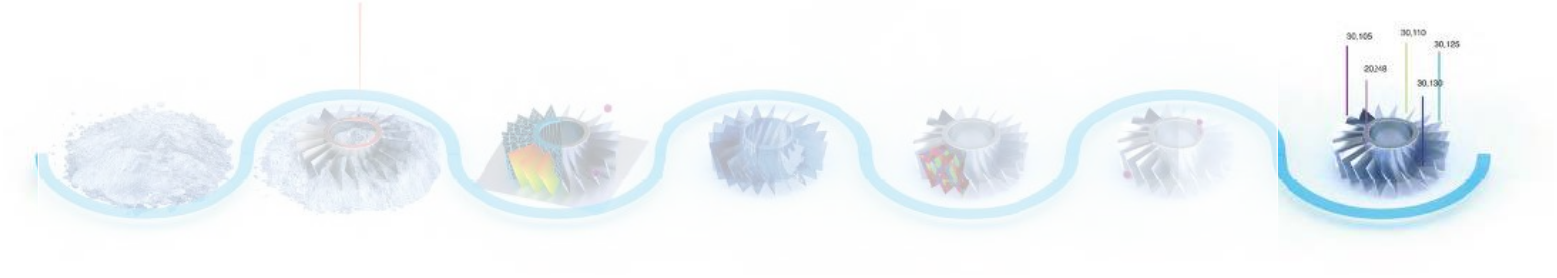


Nach dem Sandstrahlen



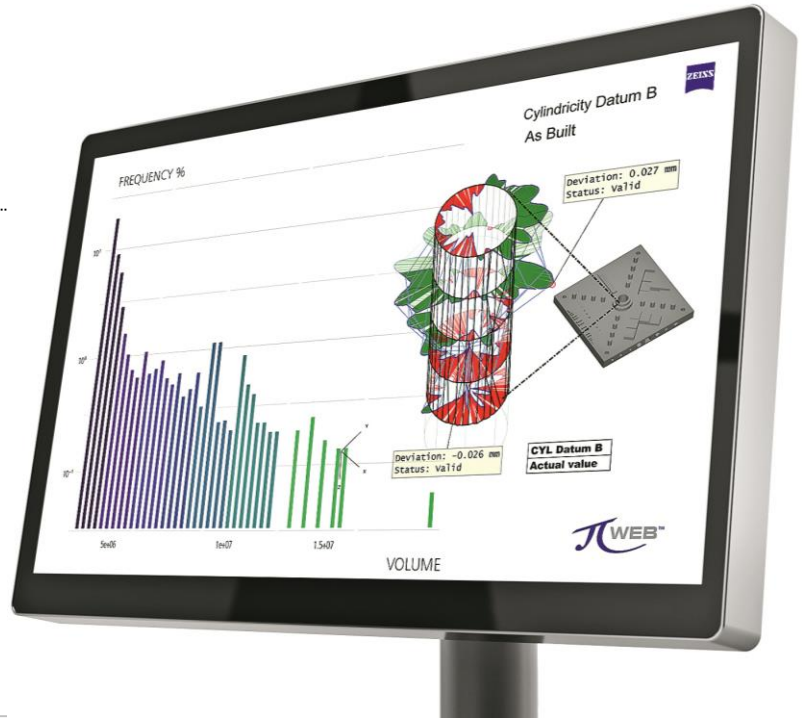
From Powder to Performance

Qualitätslösungen für die Additive Fertigung // **HOW**



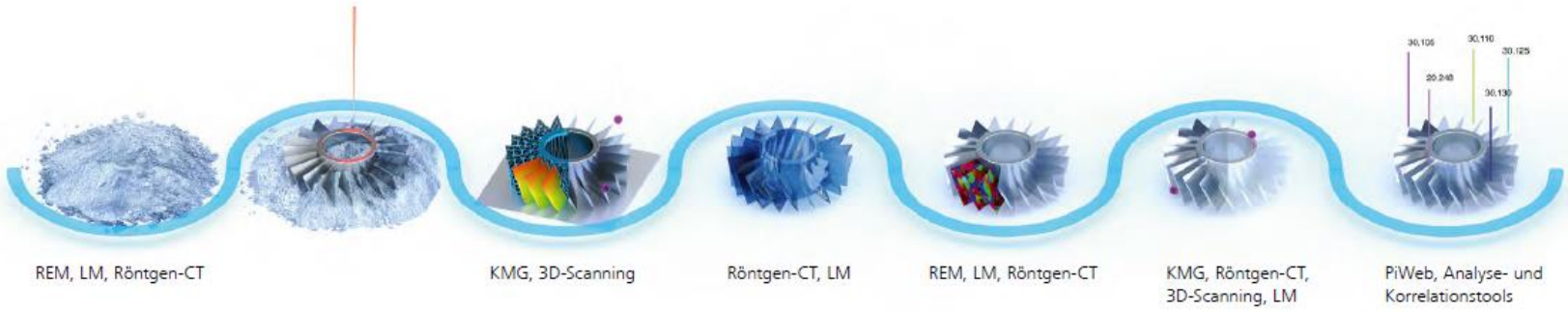
Prozessdatenstatistik und -analyse

Die Erfassung und Analyse von Daten sowie die Korrelation der Ergebnisse mit ZEISS PiWeb über die gesamte Prozesskette hilft, schnell und effizient Druckstrategien zu entwickeln und die Leistungsrate zu steigern.



ZEISS 3D ManuFACT

Die Komplettlörung für gesteigerte Produktivität // **WHAT**



Rasterelektronen-mikroskop (REM)

ZEISS Sigma

ZEISS EVO

Lichtmikroskop (LM)

ZEISS Smartproof 5

ZEISS Axio Obser

ZEISS Smartzoom

Röntgen-Computer-tomografie (Röntgen-CT)

ZEISS Xradia Versa

ZEISS METROTOM

ZEISS VoluMax

Koordinaten-messgerät (KMG)

ZEISS DuraMax HTG

3D-Scanning

ZEISS COMET

ZEISS PiWeb

ZEISS PiWeb