

Industrielle CT für den 3D-Druck

Beispiele für den Einsatz im 3D-Druck und der Produktion

Kamil D. Szepanski

Industrielle Computertomographie

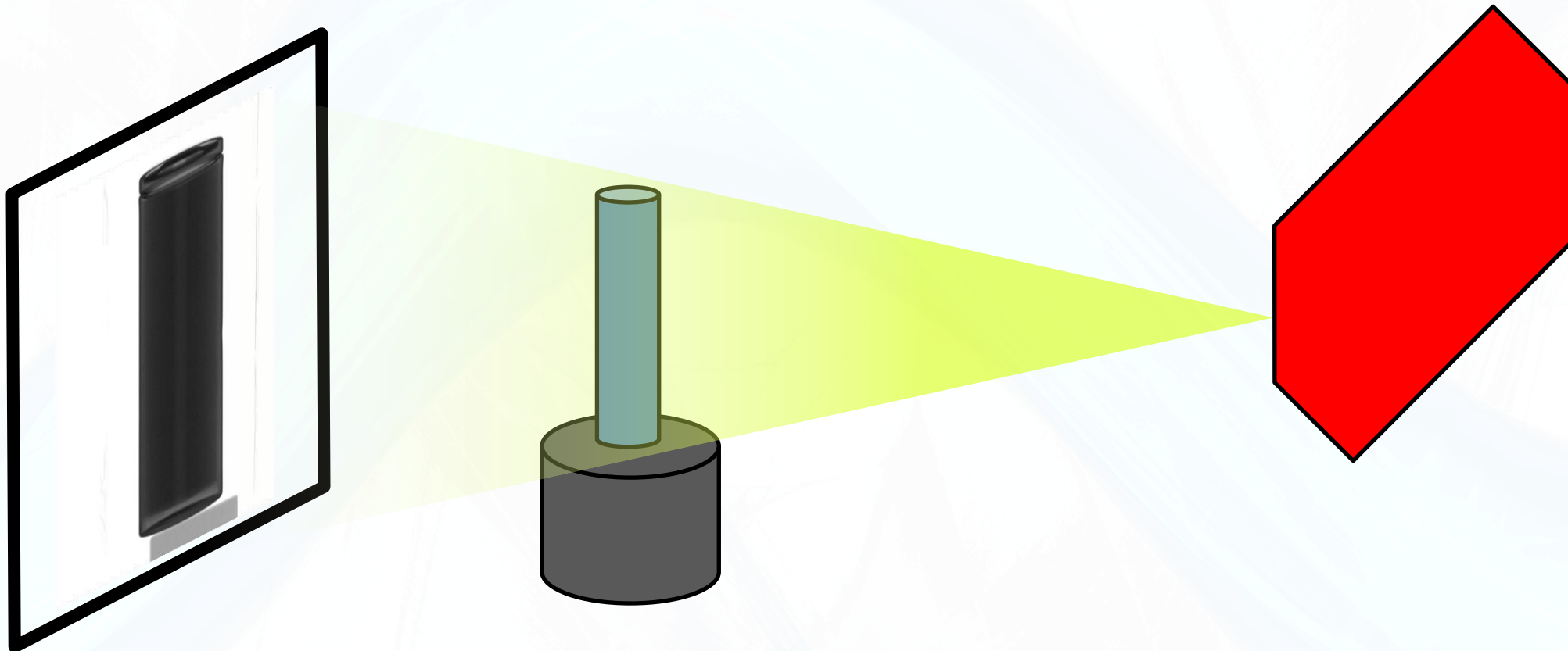
Wer sind wir?

- 2008 als interne QS-Erweiterung innerhalb der F. & G. Hachtel GmbH & Co. KG installiert
- Angebot der Überkapazität als Dienstleistung für andere Unternehmen im Formenbau und Spritzguss
- 2022 als erstes Dienstleistungslabor in der Airbus QSPL für die Prüfung 3D-gedruckter Flugzeugteile gelistet
- 2025 Ausgründung des CT-Labors in die Hachtel CTmatter GmbH

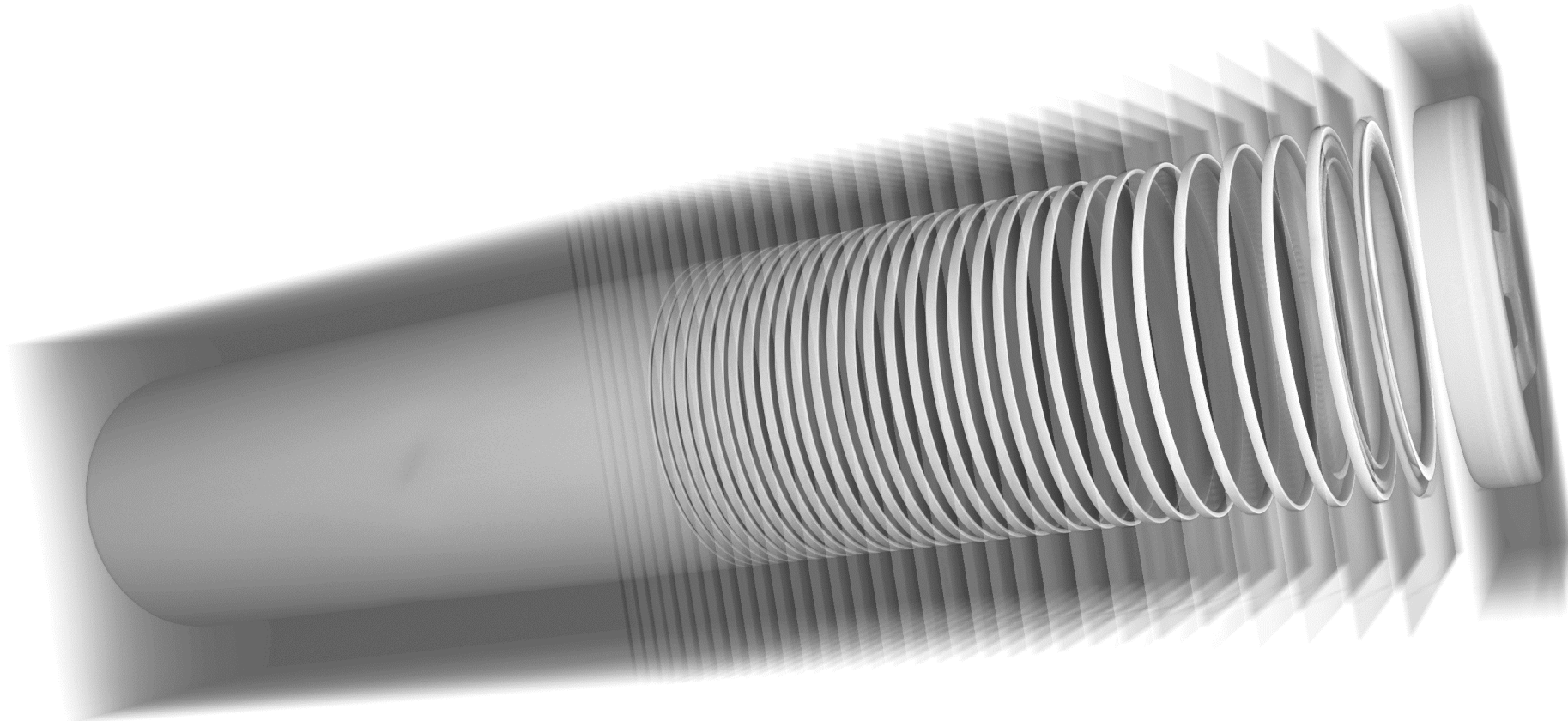


Industrielle Computertomographie

Wie wir zu unseren Daten kommen



Industrielle Computertomographie



Industrielle Computertomographie

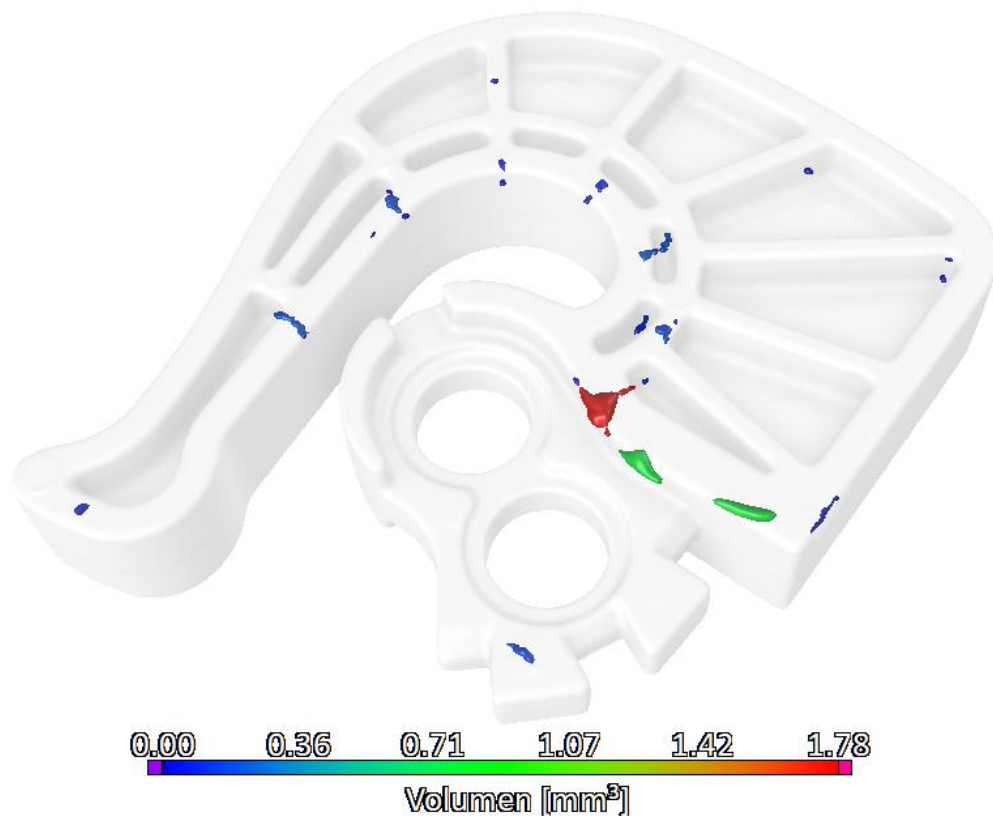
Das klassische Röntgenbild, die Projektion, zeigt alle Strukturen aus einer Richtung überlagert an. Es ist nicht möglich eine Struktur in der Tiefe zu identifizieren.



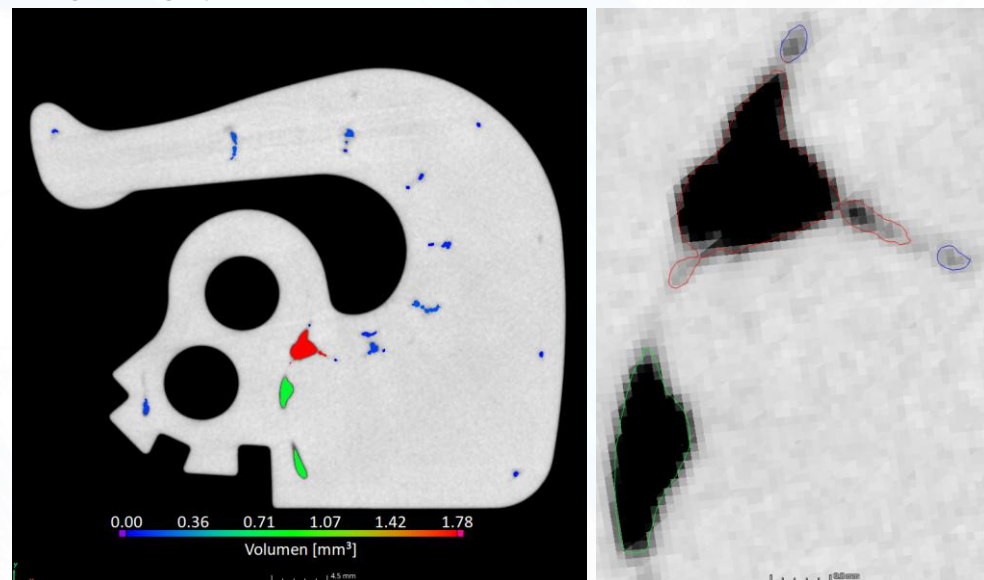
Im Volumen kann man einzelne Schnitte durch beliebige Ebenen legen und sieht nur die Strukturen, die in der Schnittebene liegen.

Industrielle Computertomographie

Wir durchschauen Technik!

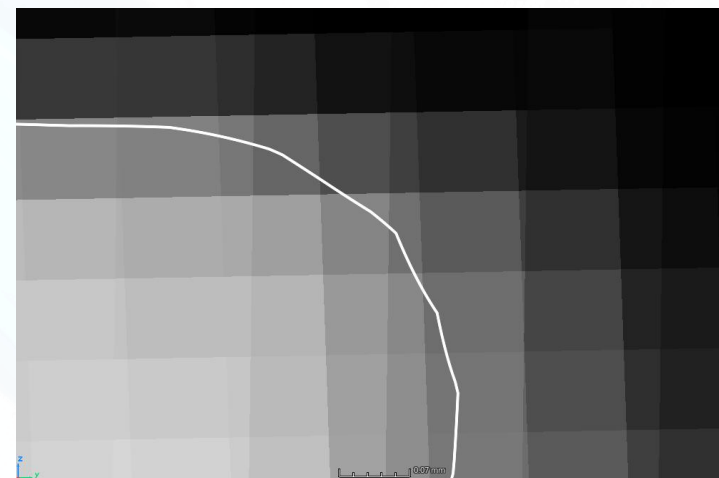
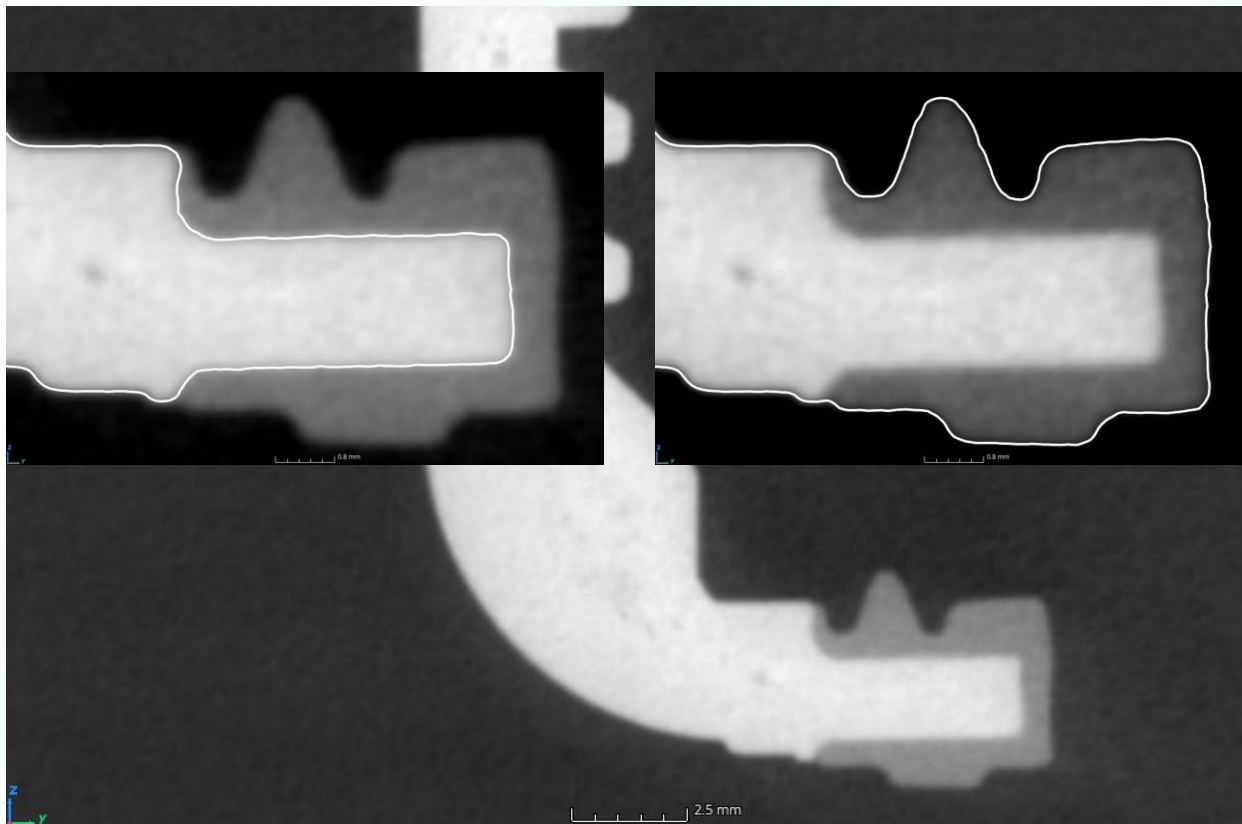


Die Durchstrahlung mit Röntgenstrahlen ermöglicht die Einsicht in Verborgenes – wie etwa Poren und Lunker.



Industrielle Computertomographie

Ganz feine Sache.

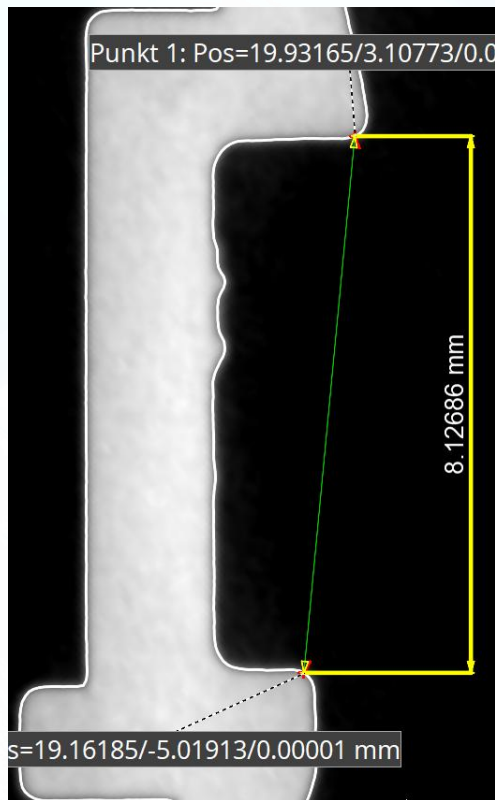
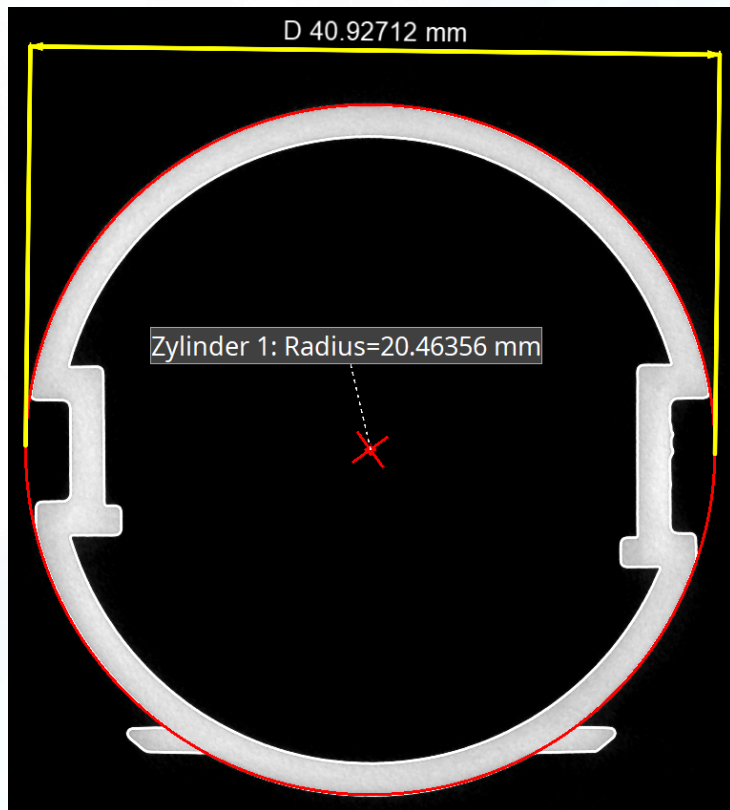


Die Oberfläche eines Objekts wird nicht entlang des Voxelgitters erfasst sondern sub-Voxel-genau.

Das ermöglicht präzise Metrologie auf den gescannten Teilen.

Industrielle Computertomographie

For the numbers-people



Auf der präzisen Oberfläche können Maße und Form- und Lagetoleranzen zuverlässig und präzise ausgewertet werden.

Durch die digitale Verarbeitung kann stets nachvollzogen werden, wie ein Maß entstanden ist. Messungen weiterer Teile sind sehr schnell abbildbar.

Rekonstruktion mit CT



Rekonstruktion mit CT

Das ist der Plan



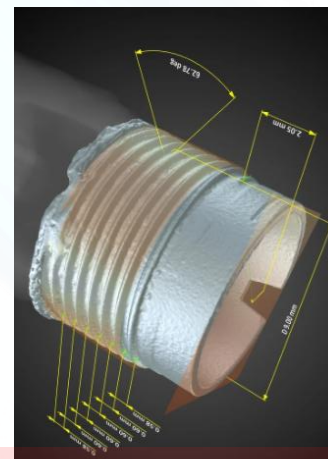
Defektes Teil



CT-Scan



Analyse



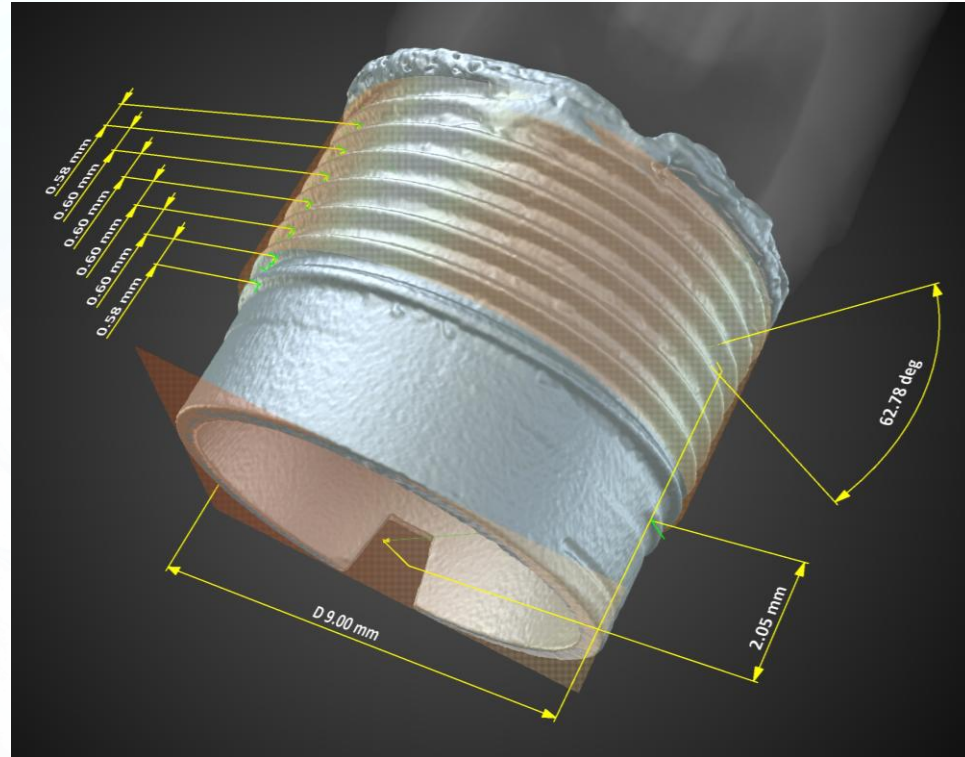
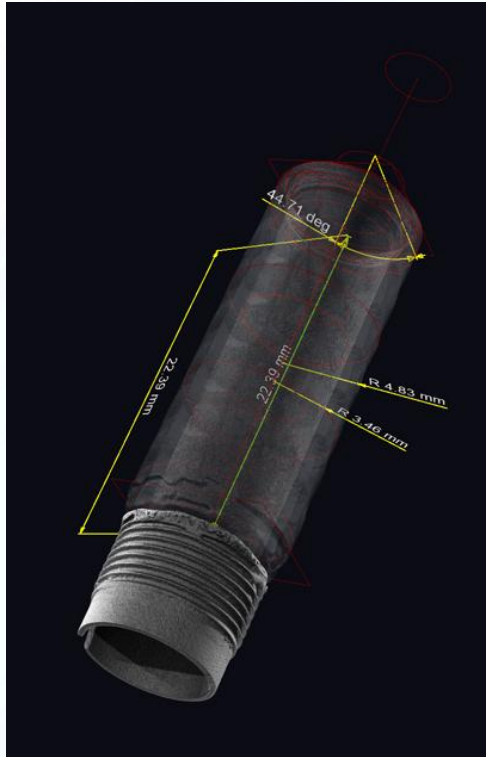
Rekonstruktion



3D-Druck

Rekonstruktion mit CT

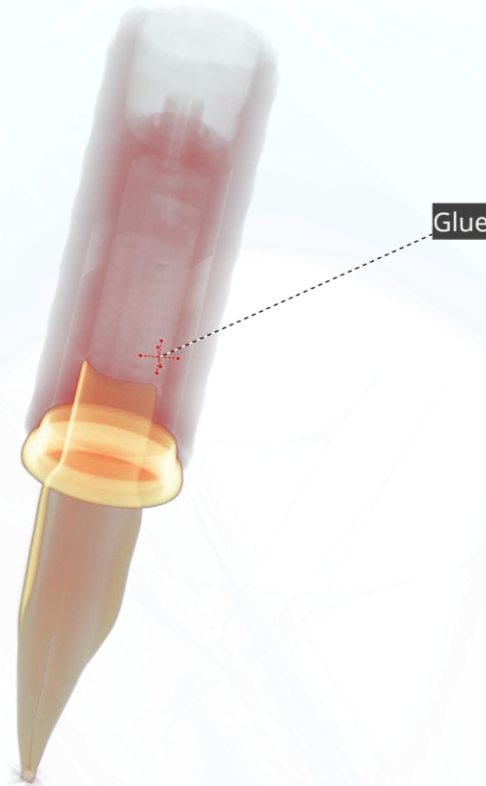
Size matters.



Renderings: Henry Weber (Volume Graphics) für Hachtel

Rekonstruktion mit CT

Demontage-Anleitung

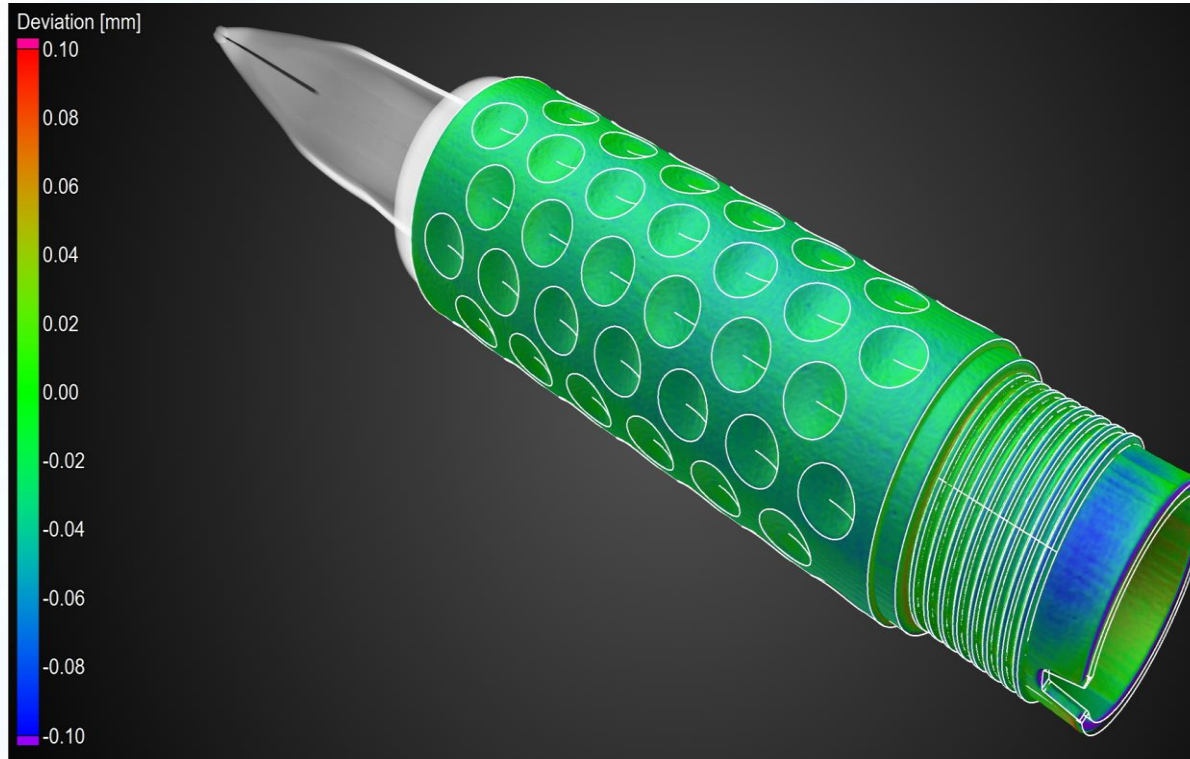


Die Demontage war nicht möglich – obwohl verfügbare Quellen diese gut genug beschrieben haben. Hier half der CT-Scan zu lernen, wieso es nicht funktioniert und was man tun muss, um den Griff vom Tinten-Feder-Teil zu trennen.

Die Klebeschicht zwischen beiden Teilen war hauchdünn aber stark. Der CT-Scan zeigt das Ausmaß und die Position des Klebstoffs.

Rekonstruktion mit CT

Der Druck sitzt. 3D-CT



Verifikation der Druckqualität über einen Soll-Ist-Vergleich erlaubt die Überprüfung des Ergebnisses ohne genaue Kenntnis des Zusammenbaus oder der Funktion.

Rendering: Henry Weber (Volume Graphics) für Hachtel

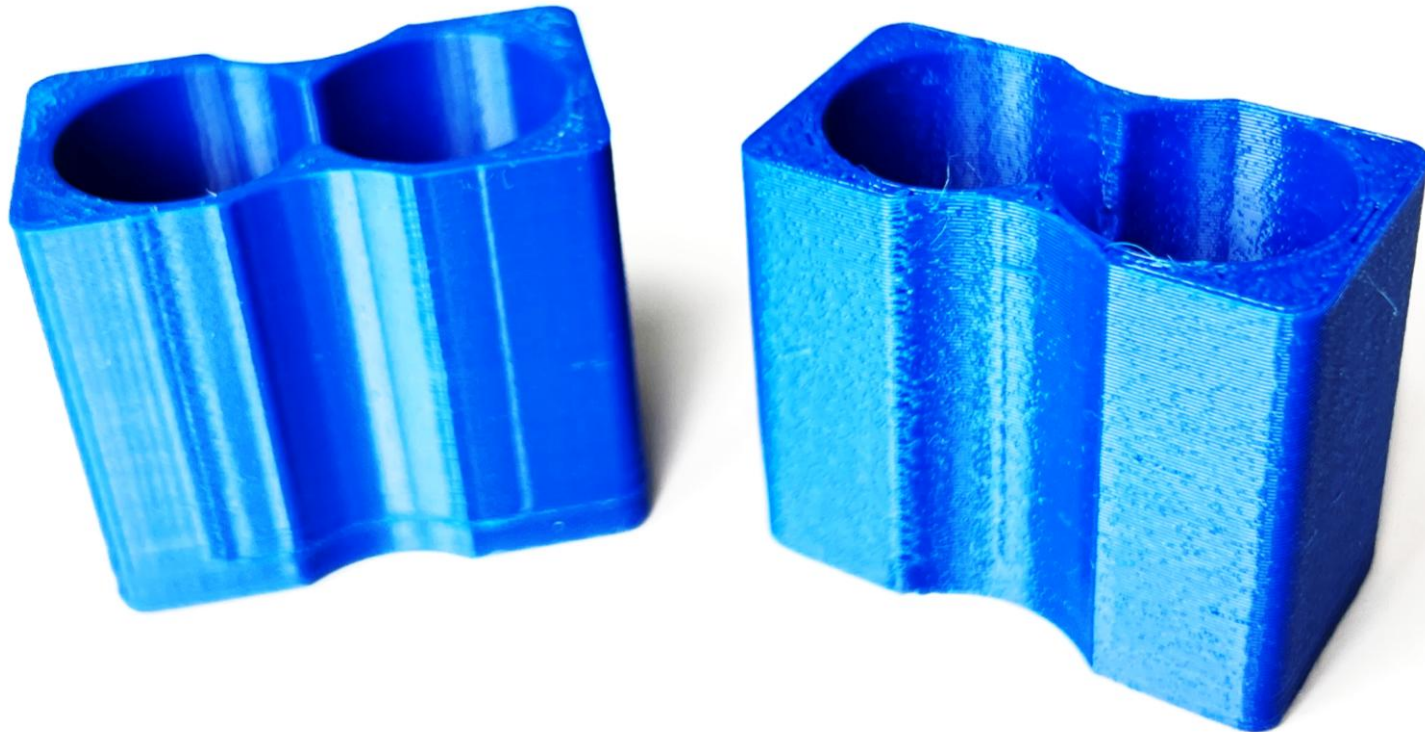
Rekonstruktion mit CT

Fertiger Zusammenbau.



FDM-Druck durchschauen

Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck



Bei Drucken für High-End-Anwendungen und/oder aus High-End Materialien werden wir regelmäßig konsultiert, um die tatsächliche Struktur der Teile zu sehen und um die Performance(Probleme) zu verstehen und abzustellen.

FDM-Druck durchschauen

Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck

Um unterschiedliche Einflüsse zeigen zu können, wurde ein Teil konstruiert das Dünne Wandstärken mit unterschiedlichen Formen zeigt.

Drucker: Prusa XL

Software: Prusa Slicer

Druckerstandort: CT-Labor (20°C +-1°C), ca. 40% RLF

Material: PETG gelb



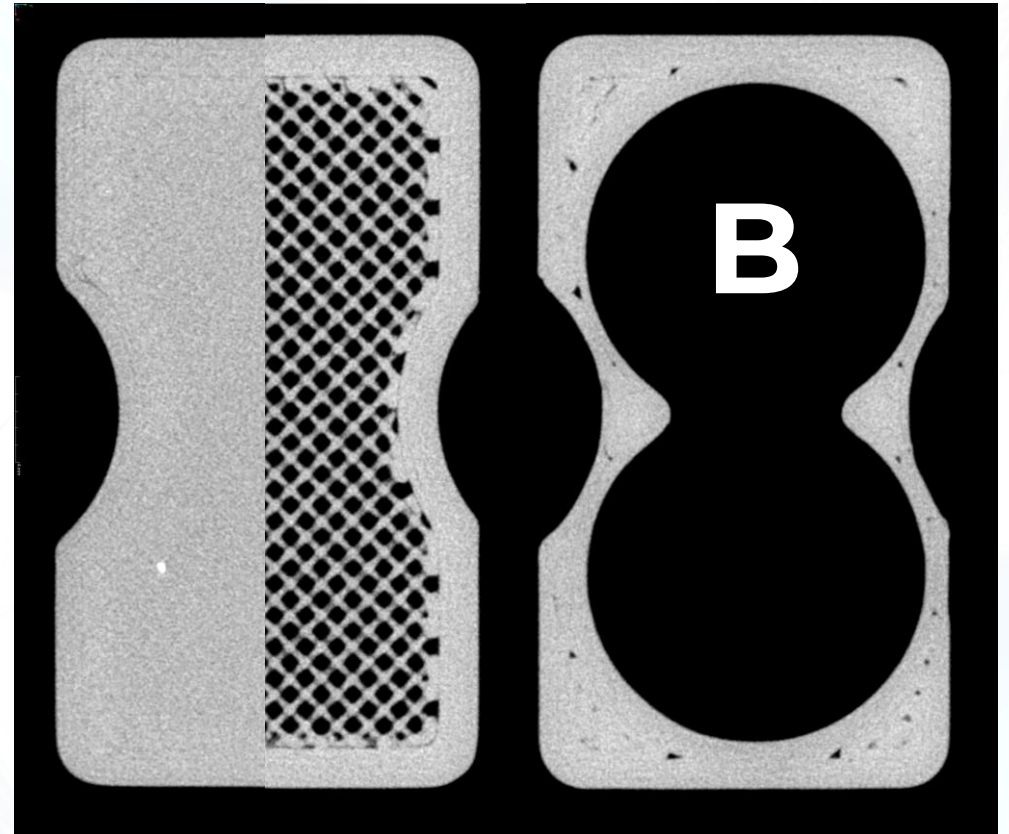
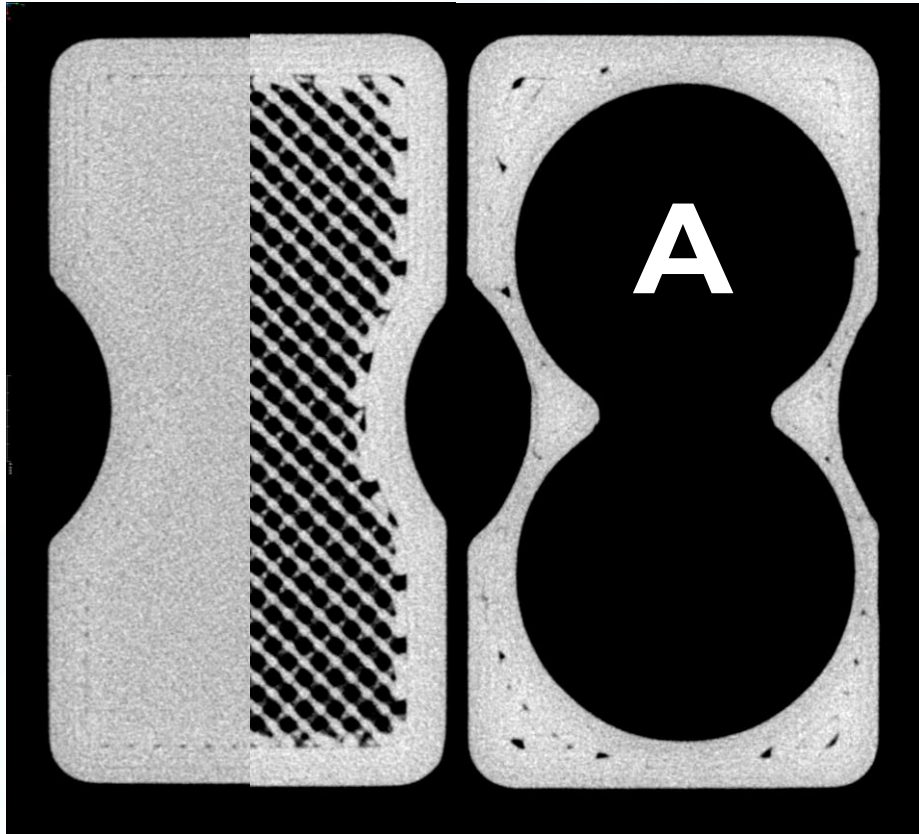
FDM-Druck durchschauen

Druckeigenschaften

	A	B	C	D
Schichthöhe	0,10 mm	0,15 mm		
Materialfluss	1,2x	1,2x		
Perimeter	3	3		
Infill	40%	40%		
Perimeter- überlappung	15%	15%		

FDM-Druck durchschauen

Druckeigenschaften



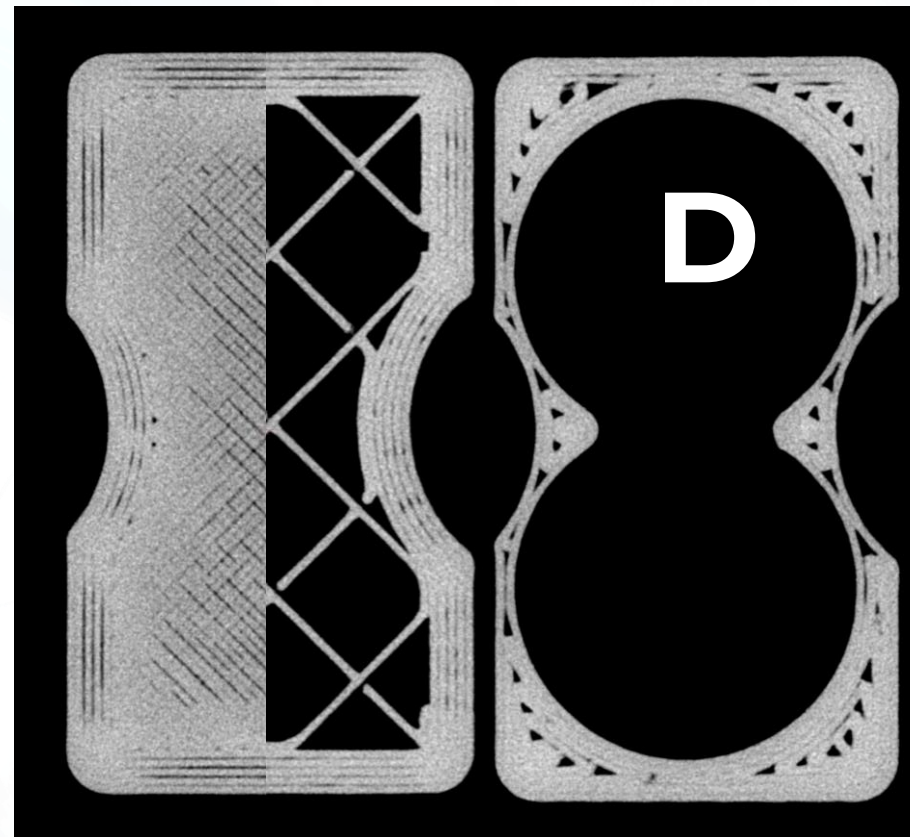
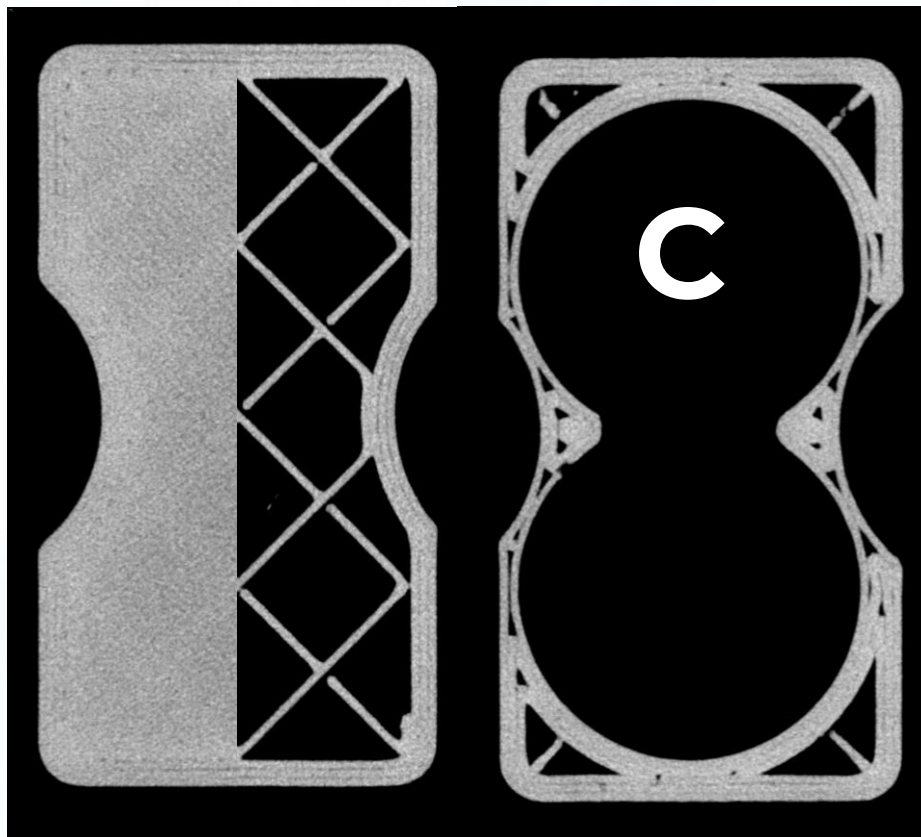
FDM-Druck durchschauen

Druckeigenschaften

	A	B	C	D
Schichthöhe			0,15 mm	0,15 mm
Materialfluss			1,0x	0,8x
Perimeter			3	5
Infill			15%	15%
Perimeter- überlappung			15%	25%

FDM-Druck durchschauen

Druckeigenschaften



FDM-Druck durchschauen

Druckeigenschaften

	A	B	C	D
Schichthöhe	0,10 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm
Materialfluss	1,2x	1,2x	1,0x	0,8x
Perimeter	3	3	3	5
Infill	40%	40%	15%	15%
Perimeter- überlappung	15%	15%	15%	25%

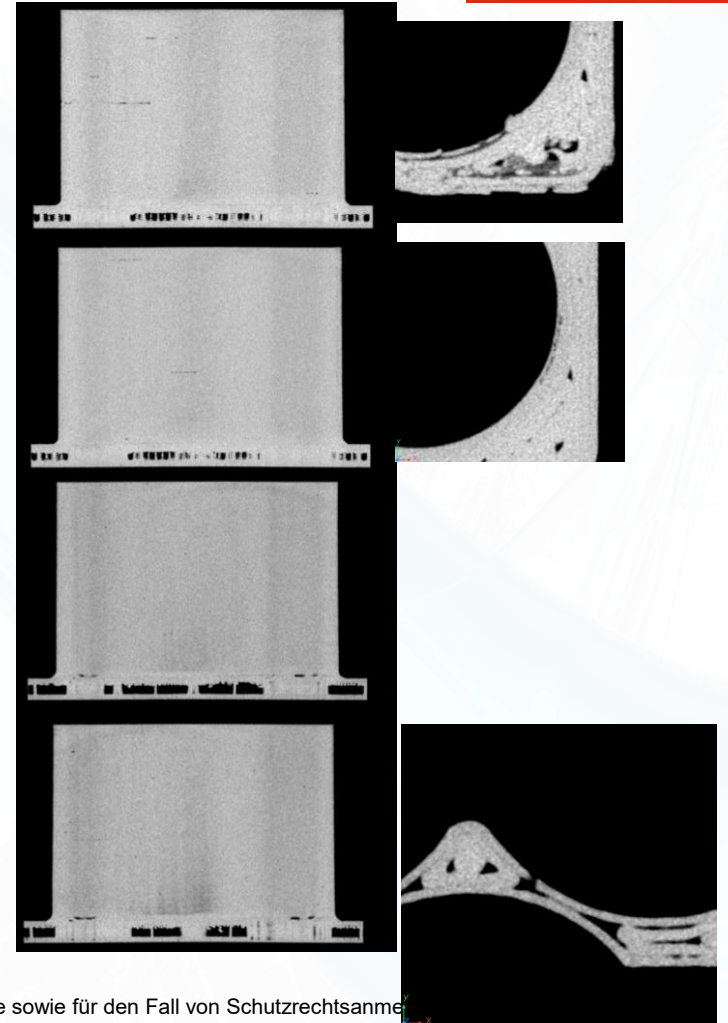
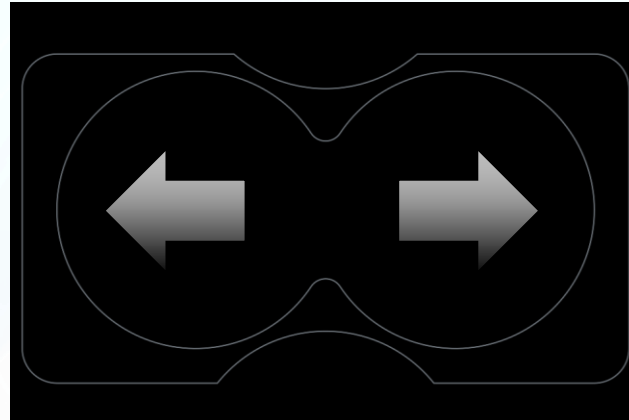
FDM-Druck durchschauen

A

B

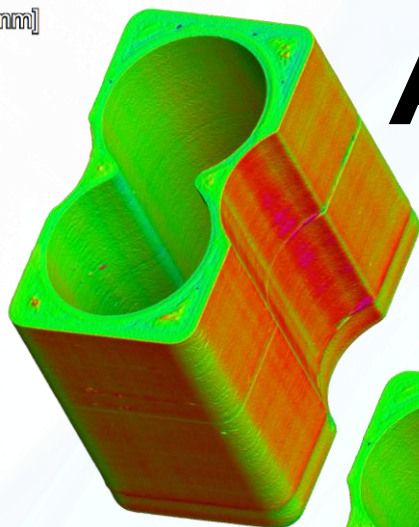
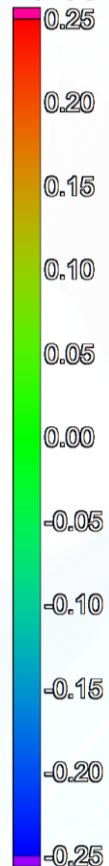
C

D

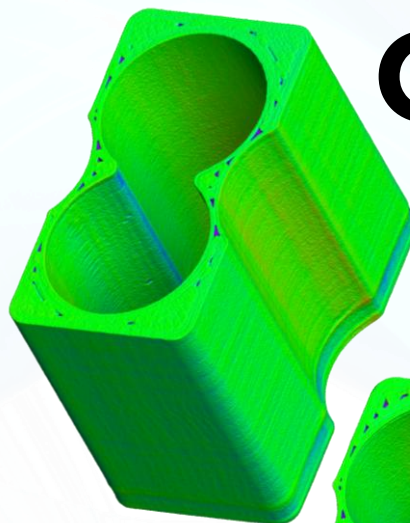


FDM-Druck durchschauen

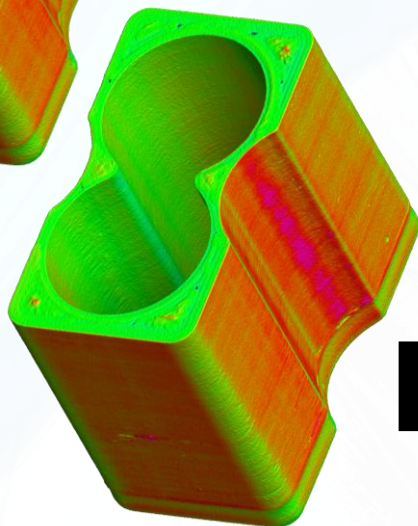
Abweichung [mm]



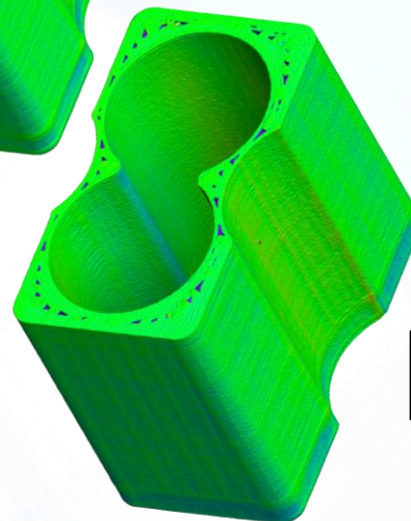
A



C



B

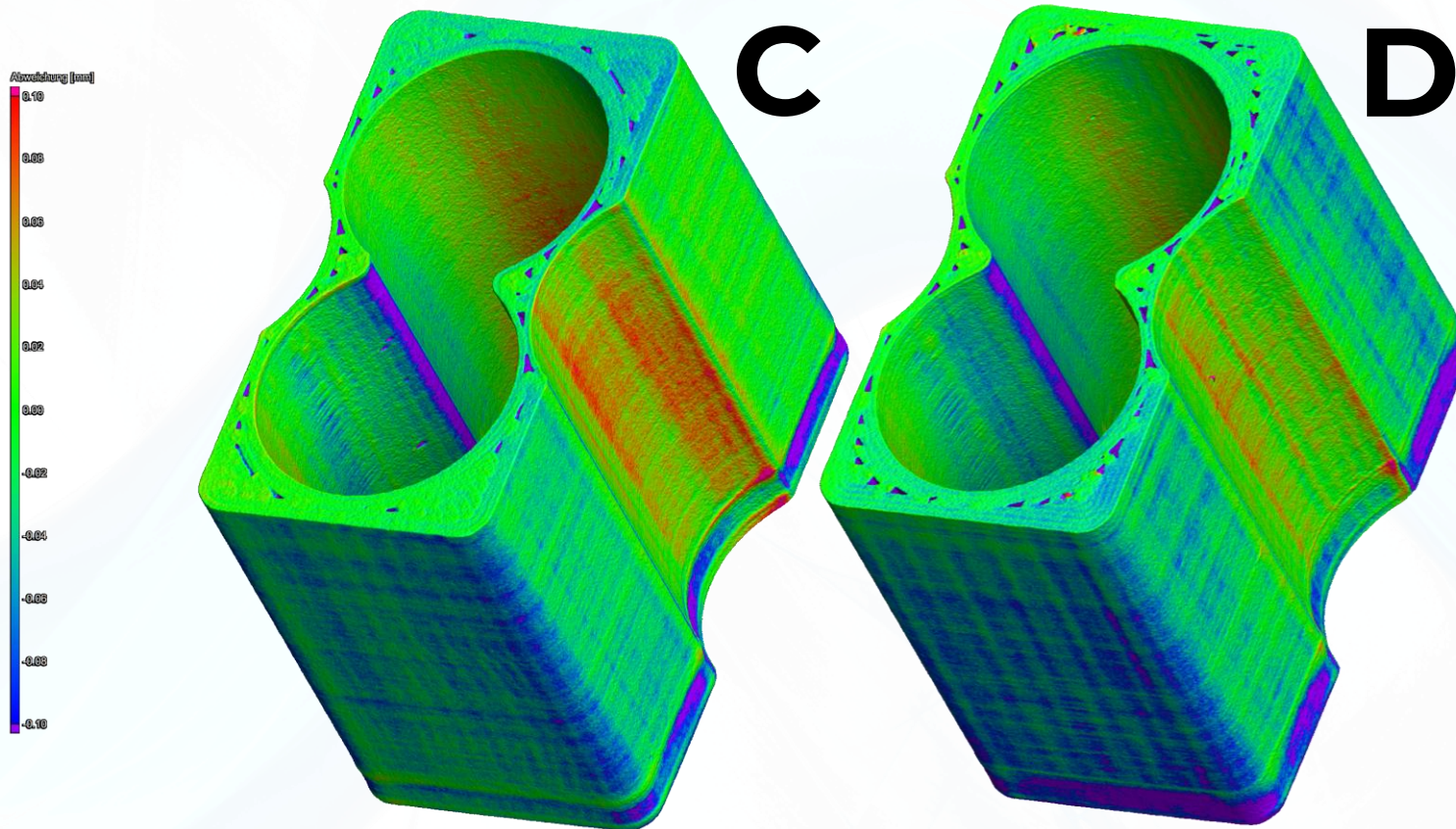


D

Die Überextrusion lässt die Bauteile außen zu groß werden, die innenliegenden Konturen werden gut abgebildet.

Teile C und D passen maßlich deutlich besser und brauchen eine andere Skala für die Bewertung.

FDM-Druck durchschauen



Die Unterextrusion von Teil D wird bei der Innenkontur gut ausgeglichen, außen fehlt Material.

Die maßlichen Unterschiede sind jedoch sehr gering.

FDM-Druck durchschauen

Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck

Um unterschiedliche Einflüsse zeigen zu können, wurde ein Teil konstruiert das Dünne Wandstärken mit unterschiedlichen Formen zeigt.

Drucker: Prusa XL

Software: Prusa Slicer

Druckerstandort: CT-Labor (20°C +-1°C), ca. 40% RLF

Material: PETG blau

Schichthöhe: 0,10 mm

Materialfluss: 1,2x

Sonst Standardeinstellungen der Slicer Software



FDM-Druck durchschauen

Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck



N



R



T

Variation der Feuchte im
Material mit
Standardeinstellungen

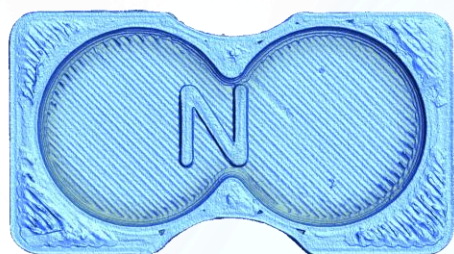
Nass = Filament für mehrere Stunden in warmes Wasser eingelegt

Raum = Filament regulär im Labor gelagert

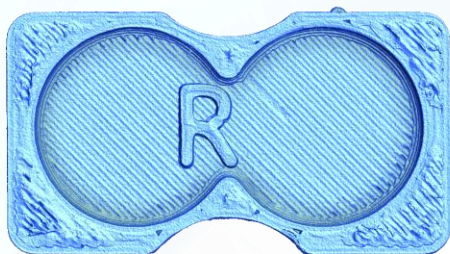
Trocken = Filament für 8 h bei 55°C im Laborofen getrocknet

FDM-Druck durchschauen

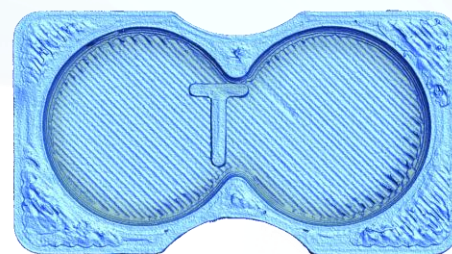
Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck



N



R

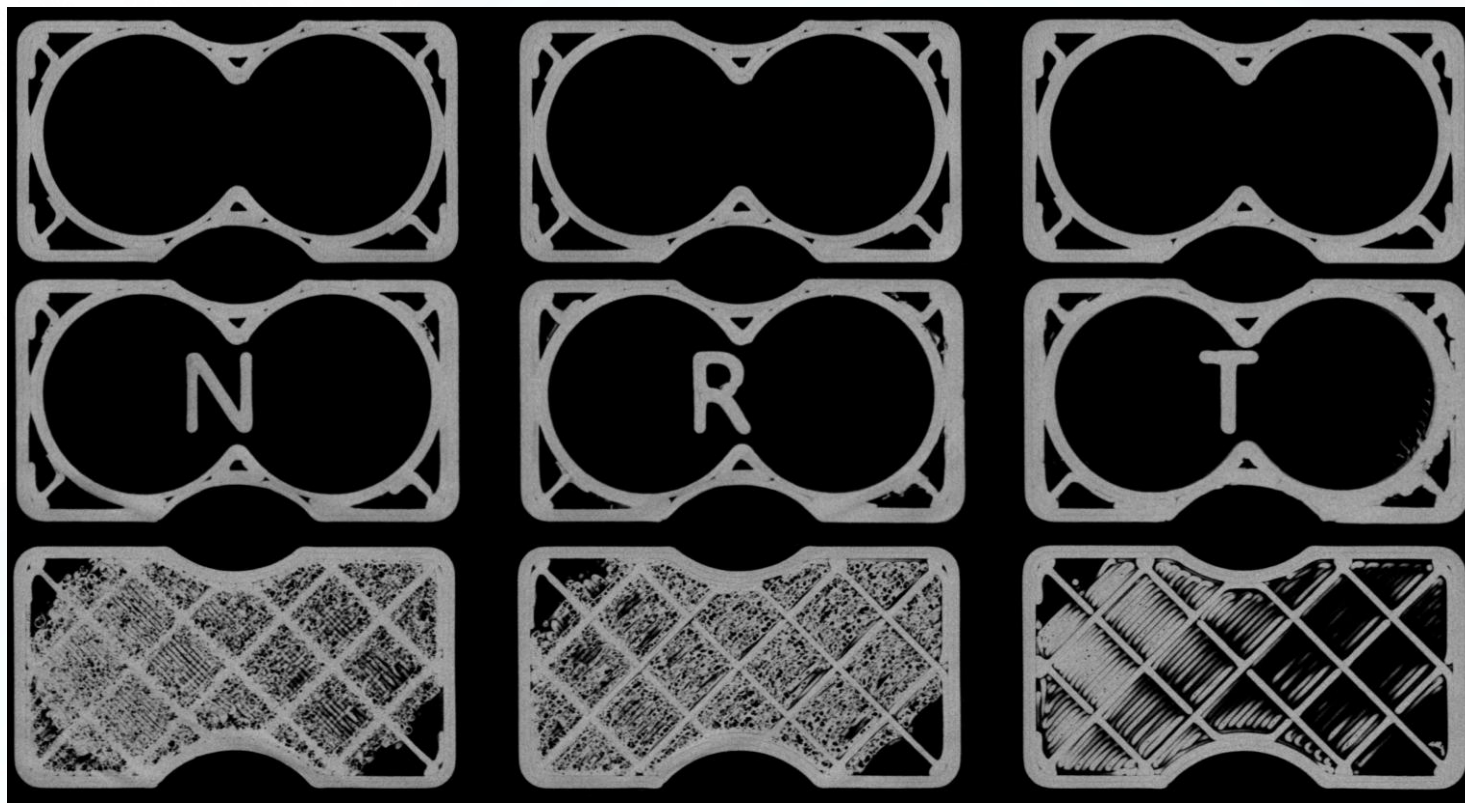


T

Die äußerlich sichtbaren Unterschiede sind gering.

FDM-Druck durchschauen

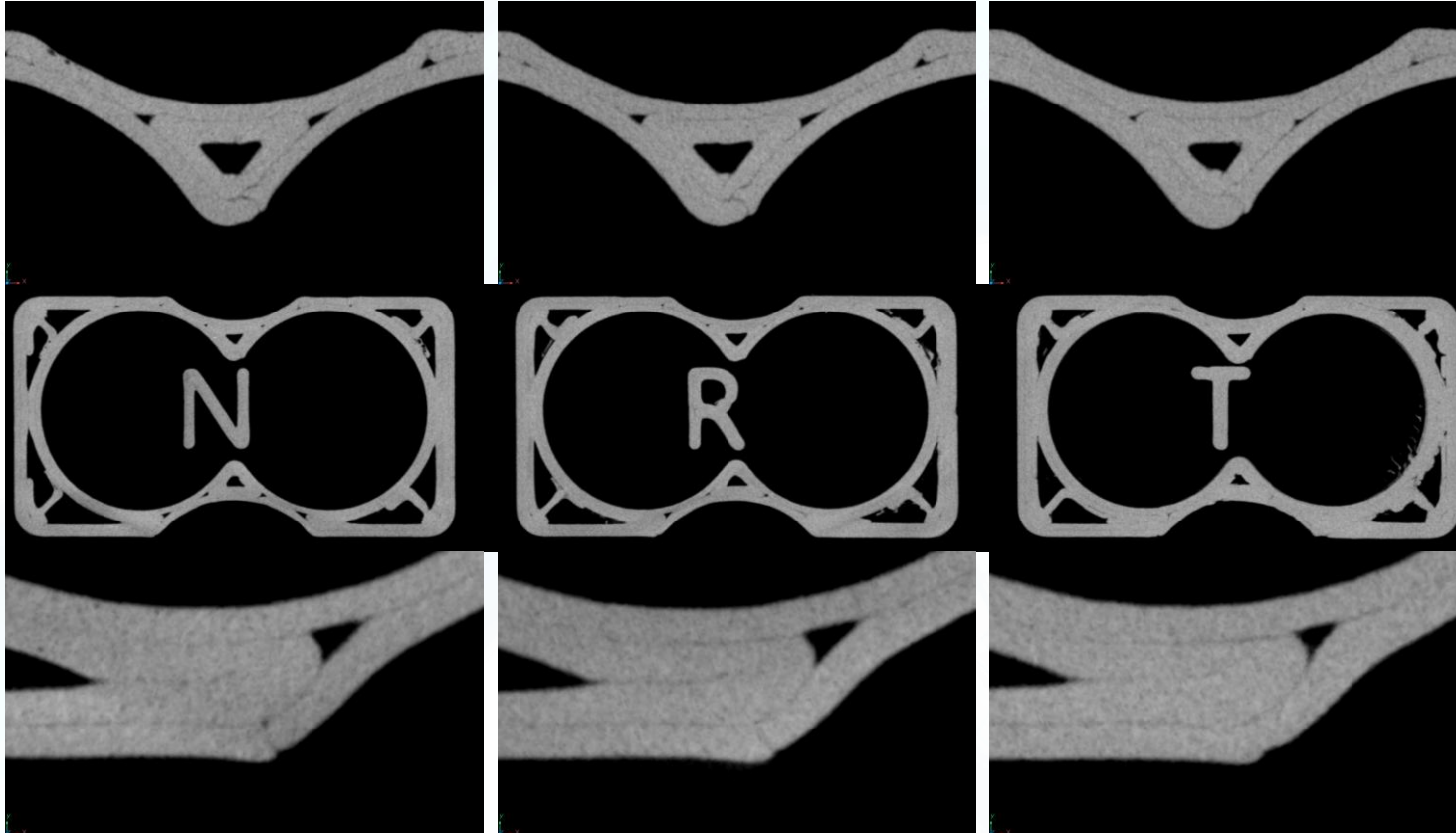
Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck



In den losen Schichten sind die Unterschiede klar erkennbar. Die restlichen Bereiche weisen kaum Poren auf.

FDM-Druck durchschauen

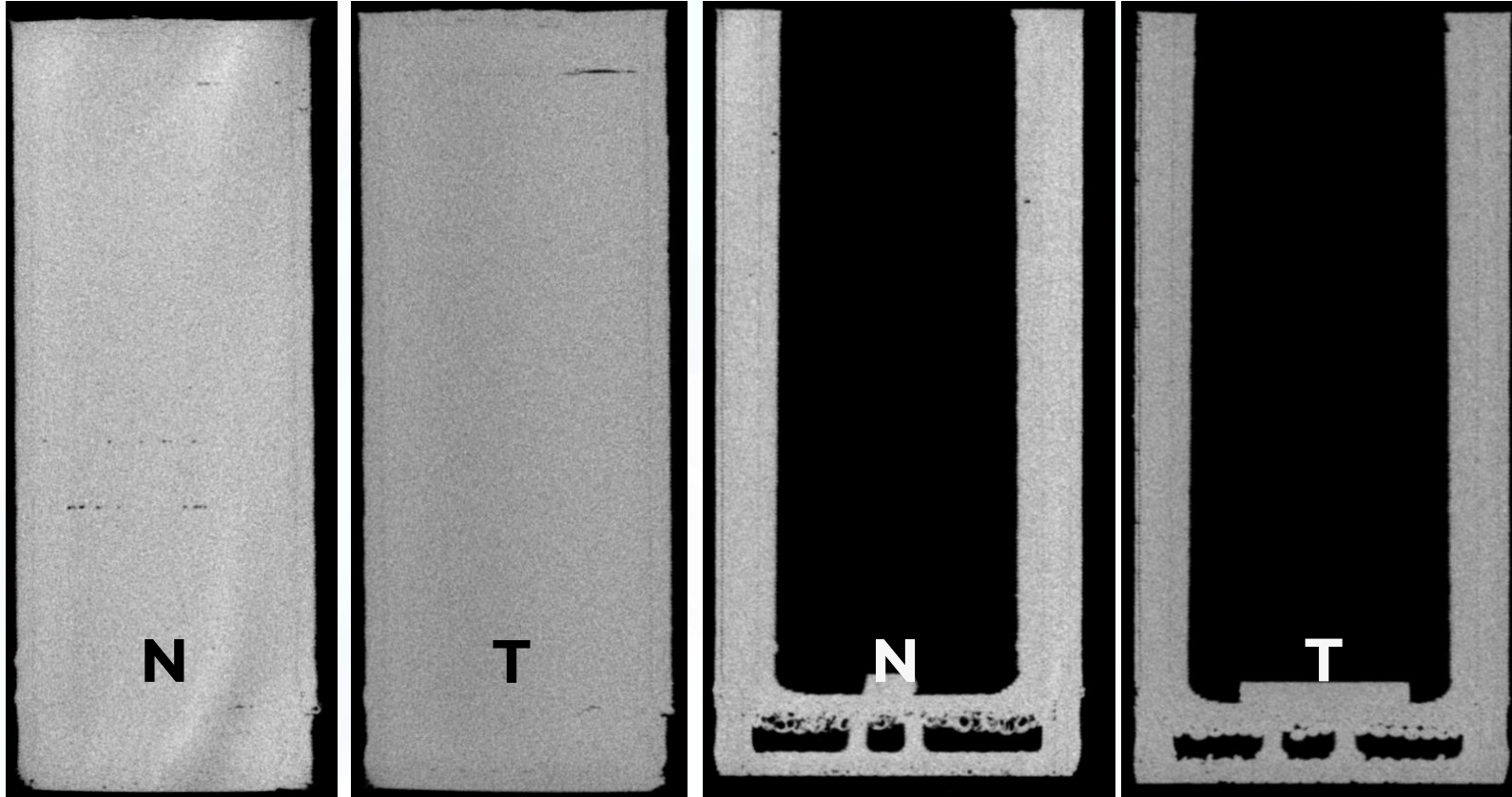
Dichtigkeit von Bauteilen aus dem FDM-Druck



In den restlichen Stellen sind Unterschiede subtil an den Nahten zu sehen.

FDM-Druck durchschauen

Materialtrocknung also überbewertet?

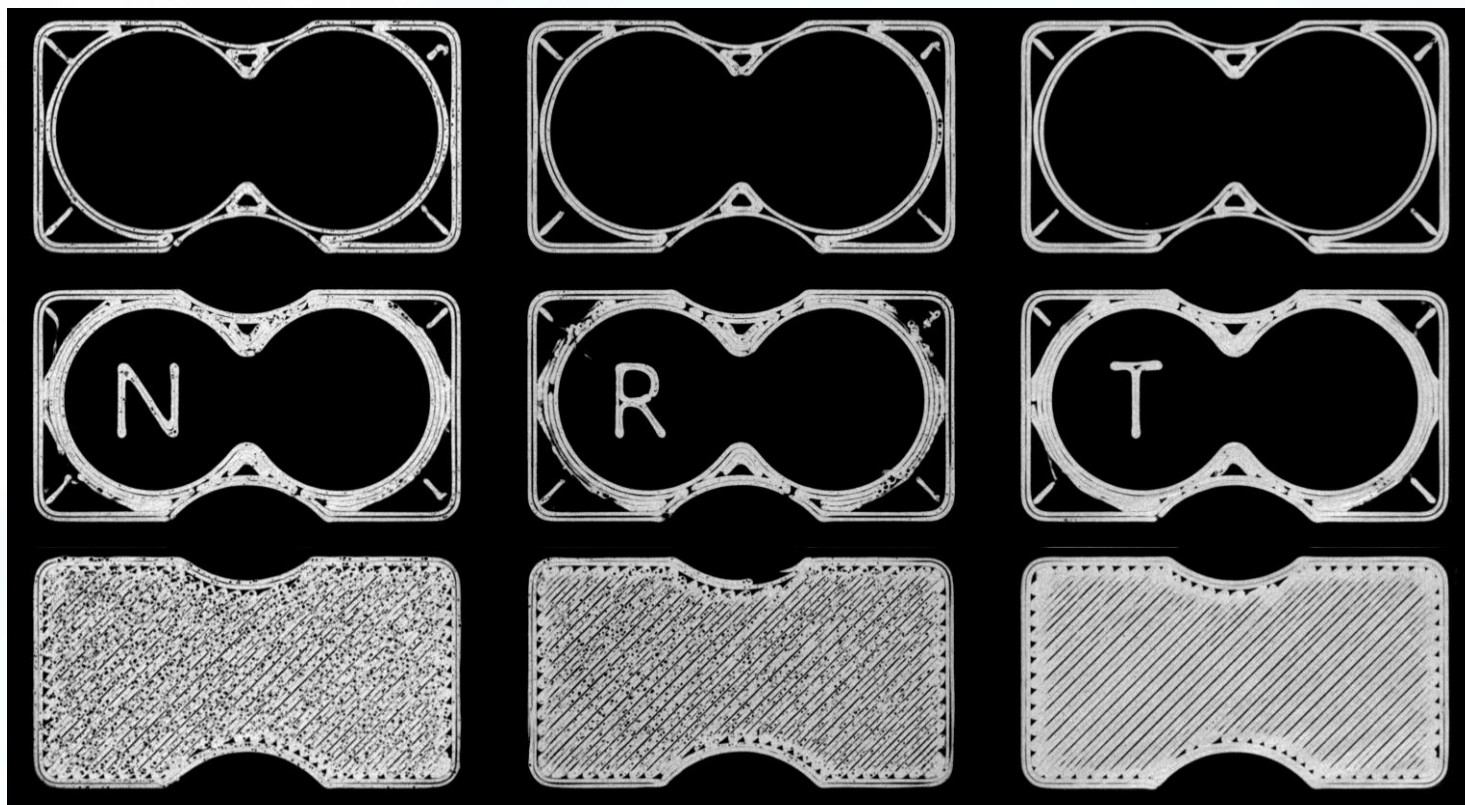


Es sind nur wenige Poren im gedruckten Teil sichtbar. Ist das Trocknen also nicht wichtig?

Doch! Die Druck-einstellungen sind hier die Ursache dafür, dass der Unterschied zwischen den Stufen so klein erscheint.

FDM-Druck durchschauen

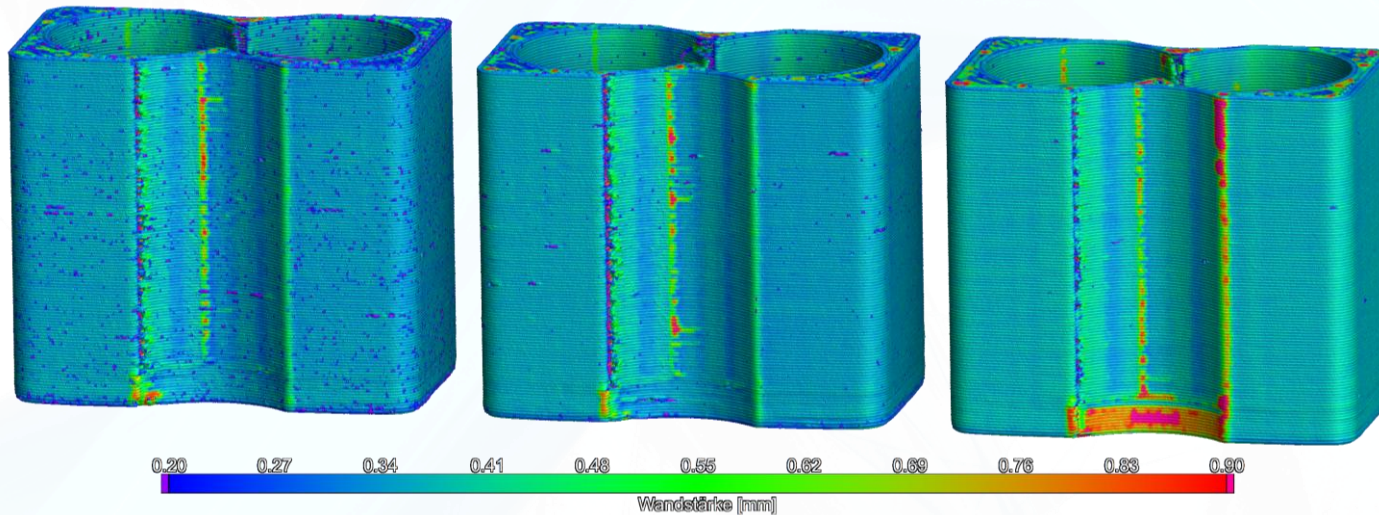
Veränderung der Schichthöhe



Das getrocknete Filament erzeugt auch bei höheren Schichtstärken ein schönes Druckbild mit geringer Porosität. Die nicht getrockneten Filamente erzeugen Poren im Schmelzestrang.

FDM-Druck durchschauen

Zusammenfassung



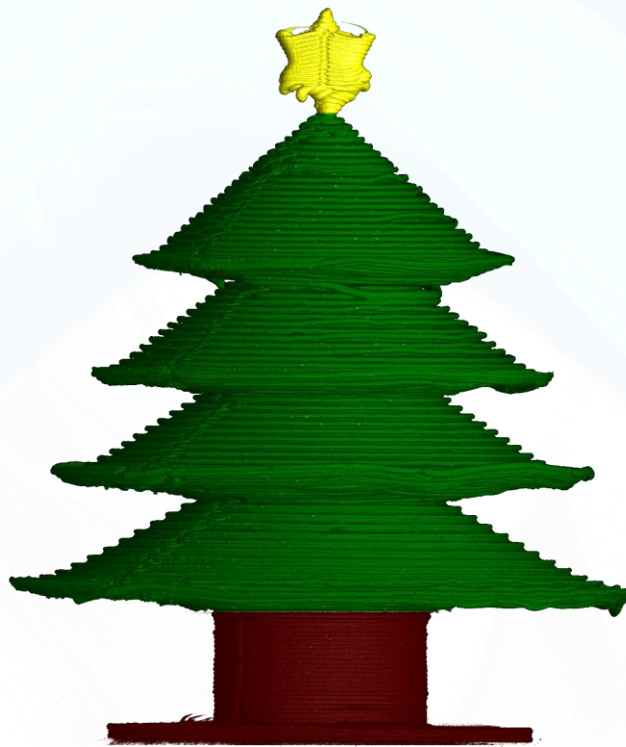
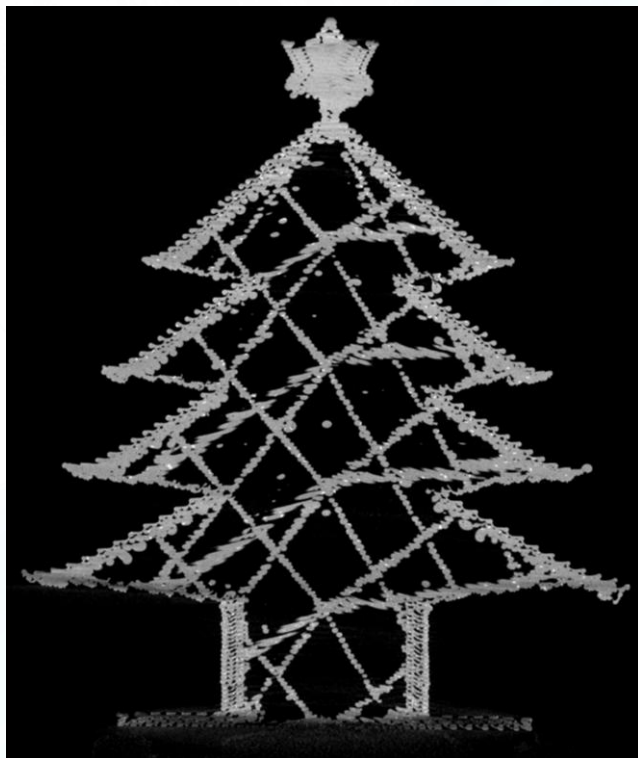
Überextrusion hilft, aber sie benötigt Kompensation für die dann abweichende Geometrie. Perimeterüberlapp ist eine gute Option aber nicht perfekt.

Getrocknetes Material bringt weniger Fehler und erlaubt den Druck in höheren Schichten.

Dichte Teile, die maßlich passen zu drucken ist möglich, es muss aber geplant sein.

FDM-Druck durchschauen

Spezialaparameter sehen



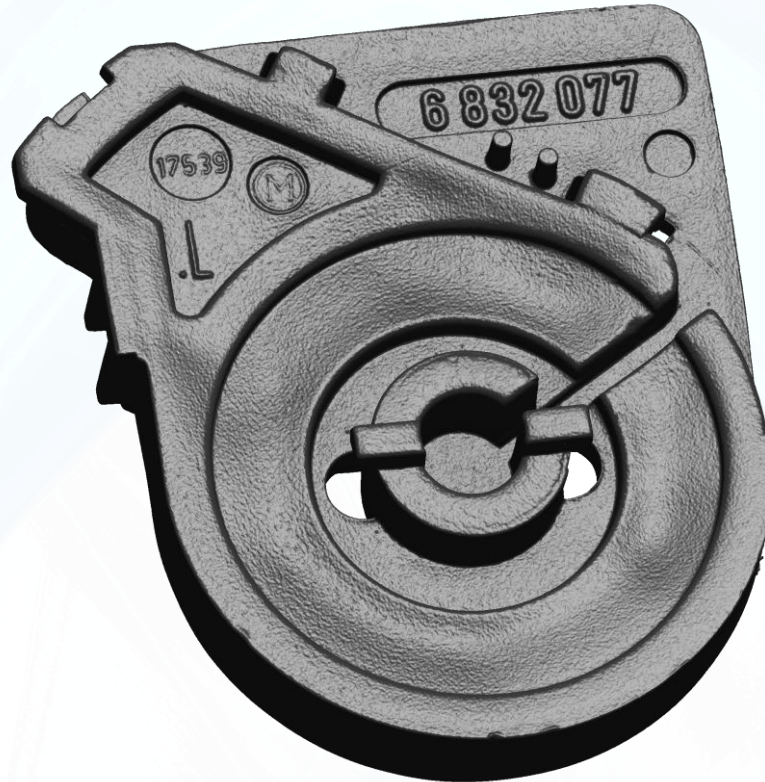
Neue Drucktrajektorien können mit Hilfe von CT sichtbar gemacht, verstanden und überprüft werden.

3D-Druck durch Stefan Hermann von CNC Kitchen



Herstellung von Ersatzteilen

Das initiale Teil



Herstellung von Ersatzteilen

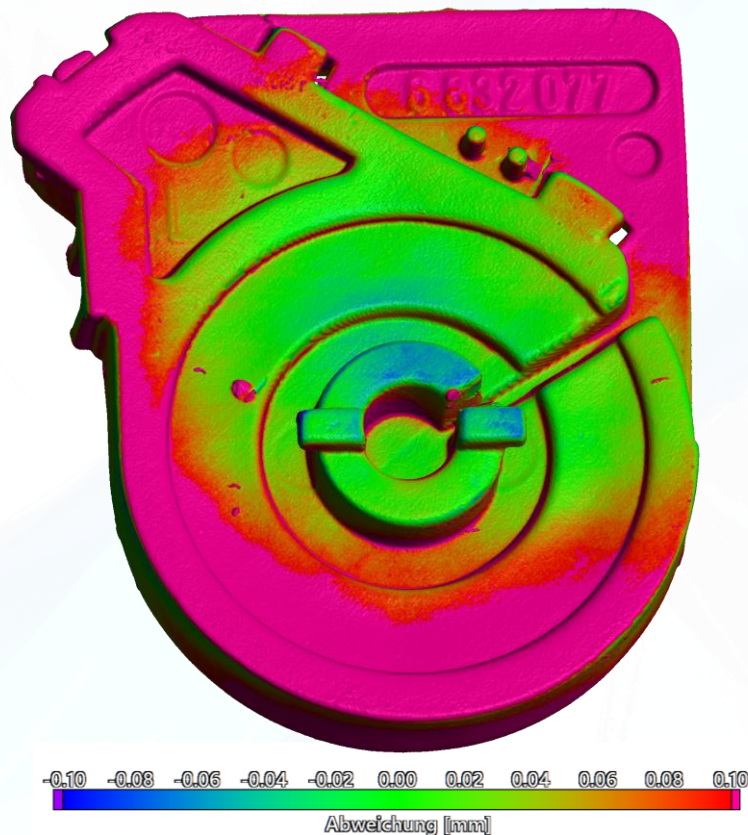
Ableitung der Druckgeometrie



Die Scan-Oberfläche wurde
geglättet und manche Features
des Teils wurden nach
Kundenwunsch modifiziert.

Herstellung von Ersatzteilen

Leider nicht spannend: der erste Druck

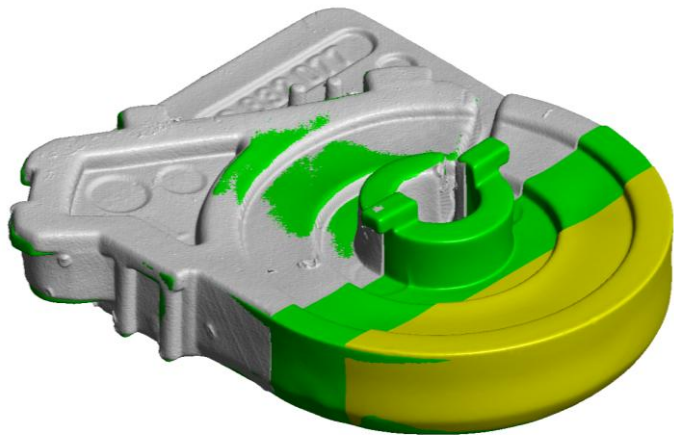


Trotz Rippen auf der Rückseite hat sich das Teil stark verzogen und es dadurch unbrauchbar gemacht.

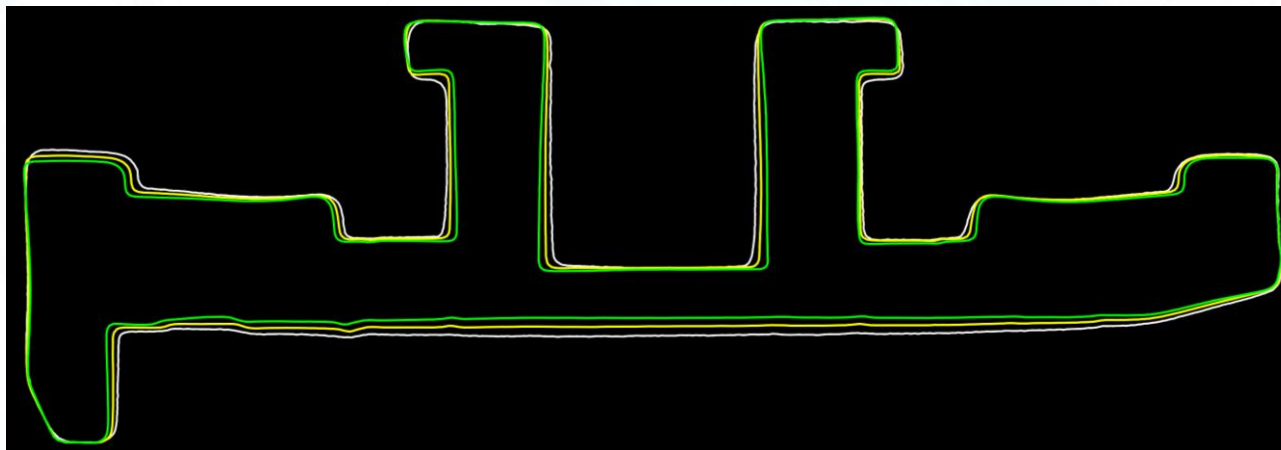
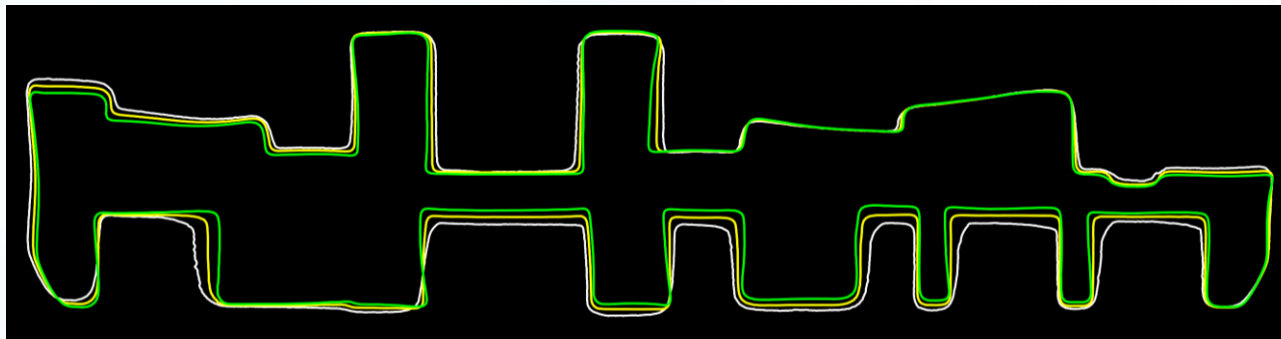
Der Materialschrumpf wurde aus Erfahrung vorgehalten, dennoch gibt es Skalierungsfehler.

Herstellung von Ersatzteilen

Wir drehen das Vorzeichen um

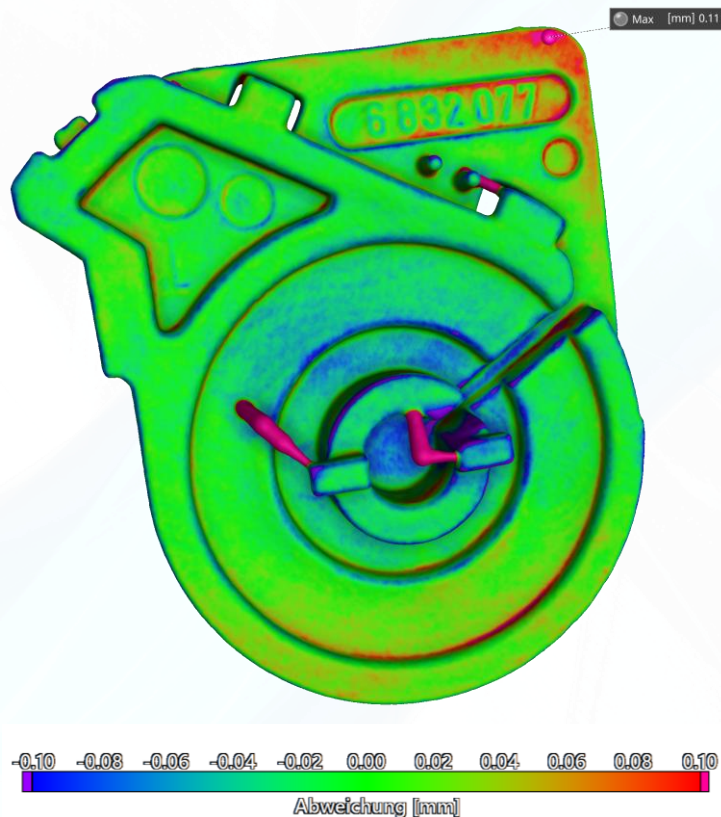


Scan
Soll-Geometrie
Kompensiert



Herstellung von Ersatzteilen

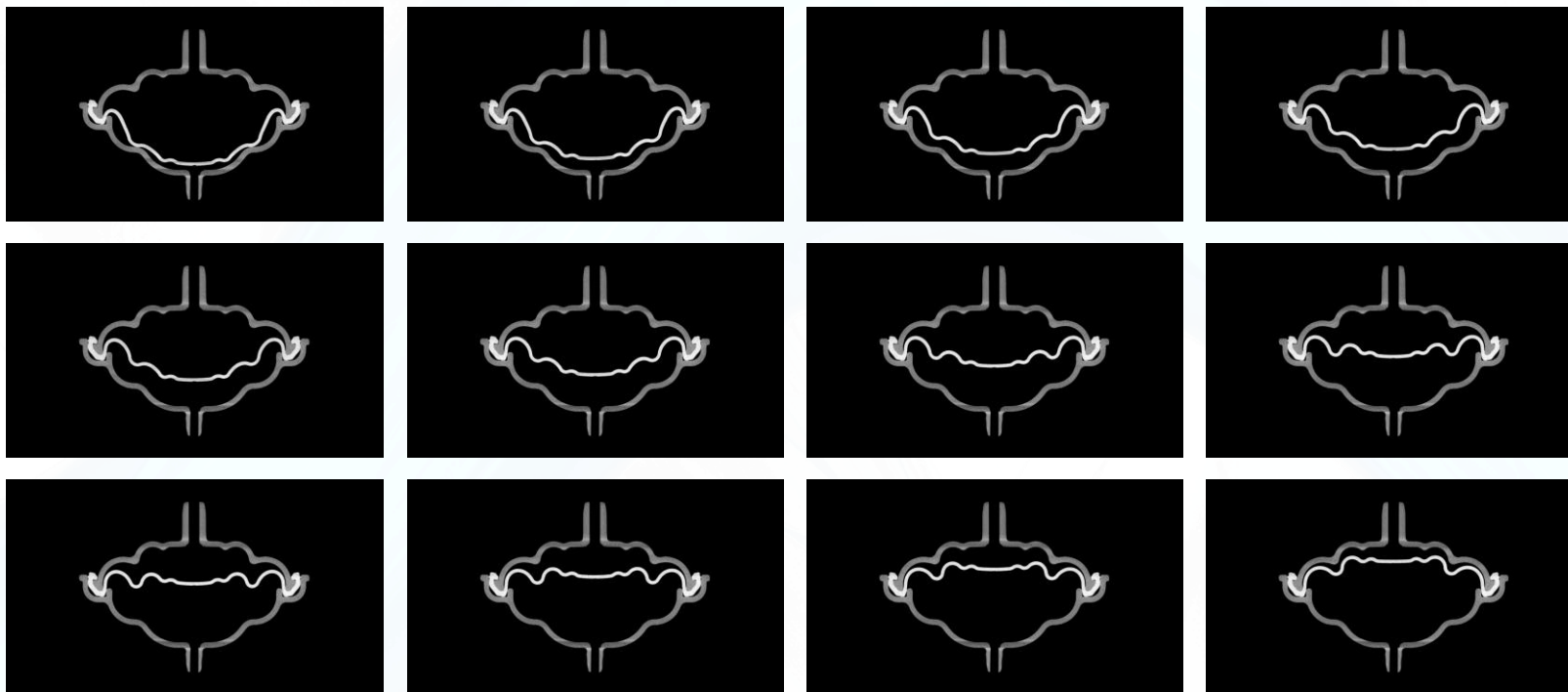
Passt, wackelt und funktioniert!



Die Kompensation des Teils hat gut funktioniert und die Teile funktionieren einwandfrei.

In-Situ Scans

Was passiert wenn...



Scans einer
pneumatischen
Pumpe in
unterschiedlichen
Zuständen.

Formeinsatz

Leck



Formeinsatz mit kleinem
Kühlwasser-Leck.

Ist das Leck sichtbar?

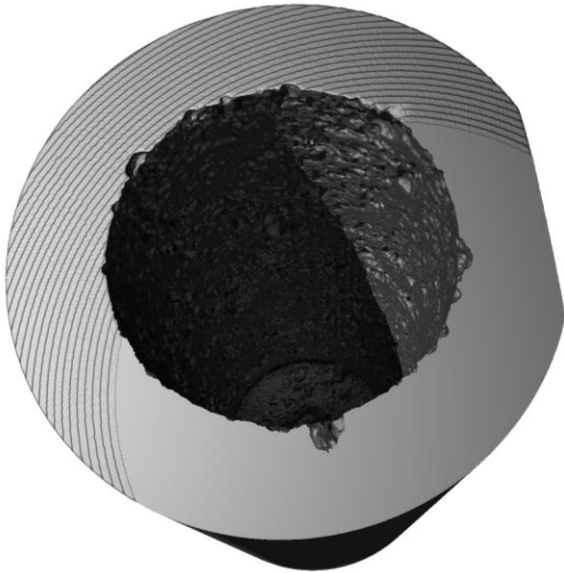
Herausforderungen:

- Stahl ist stark absorbierend
- Nur Risse mit einem Spalt sichtbar.

In Zusammenarbeit mit

Formeinsatz

Leck

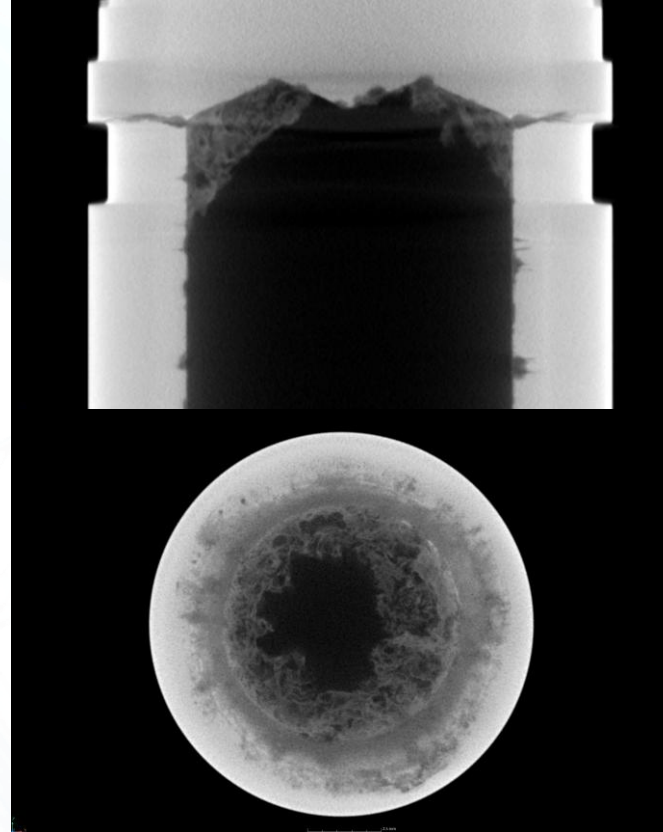
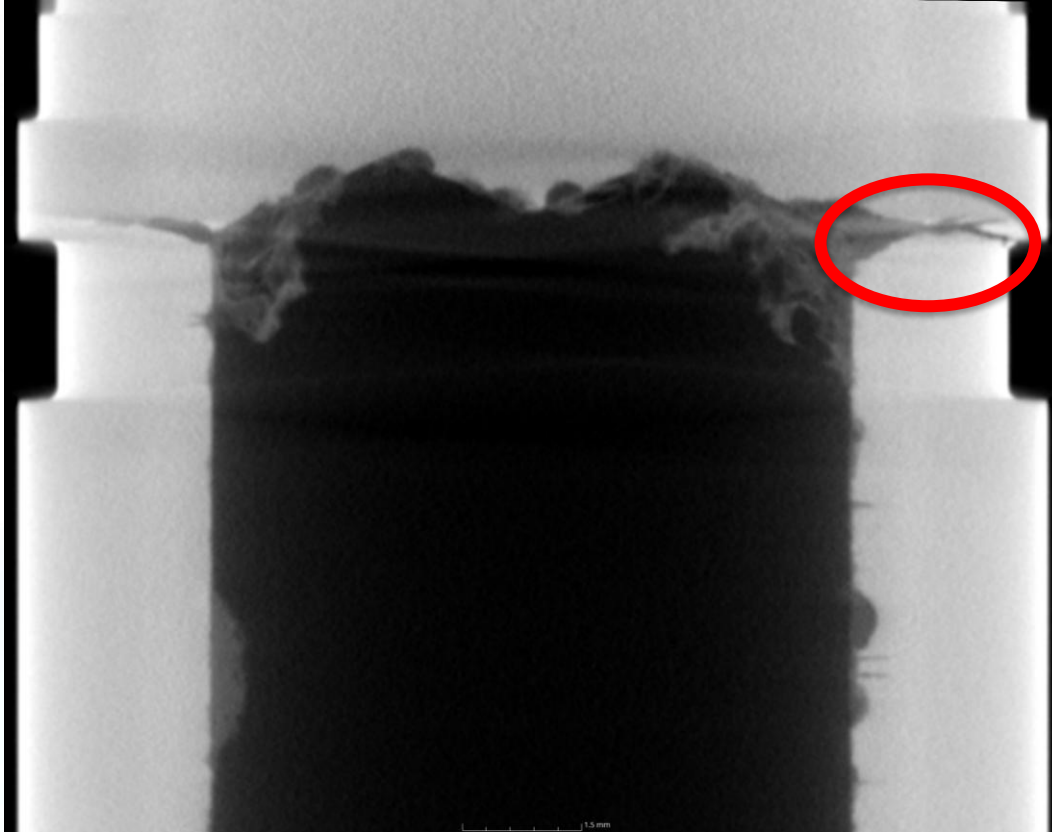


Optische Betrachtung zeigt eine stark korrodierte Oberfläche im Kern.

Das erste Röntgenbild zeigt eine auffällig helle Struktur an.

Formeinsatz

Leck



Erfassung des Ist-Zustands per Scan

High-End Motoren-Tuning für Profis



Eine Kooperation mit



Fotos: Lutz Volckart (3D Scan Academy)

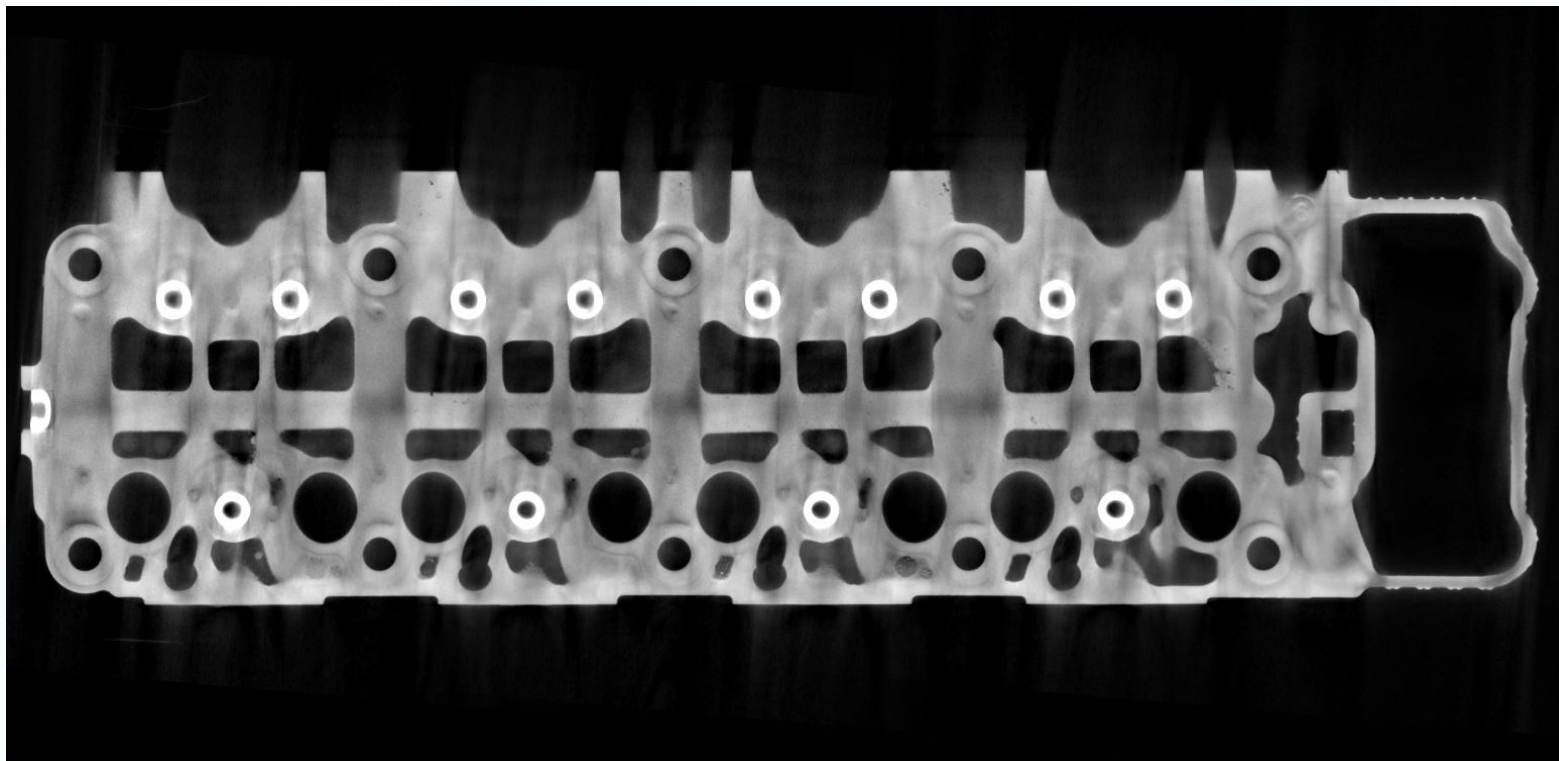
Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Der Röntgenblick



Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Visuelle Inspektion



Nahtlose Fusion der Einzelscans erlaubt eine komplette und korrekte Betrachtung und Vermessung des Motorkopfs

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Visuelle Inspektion

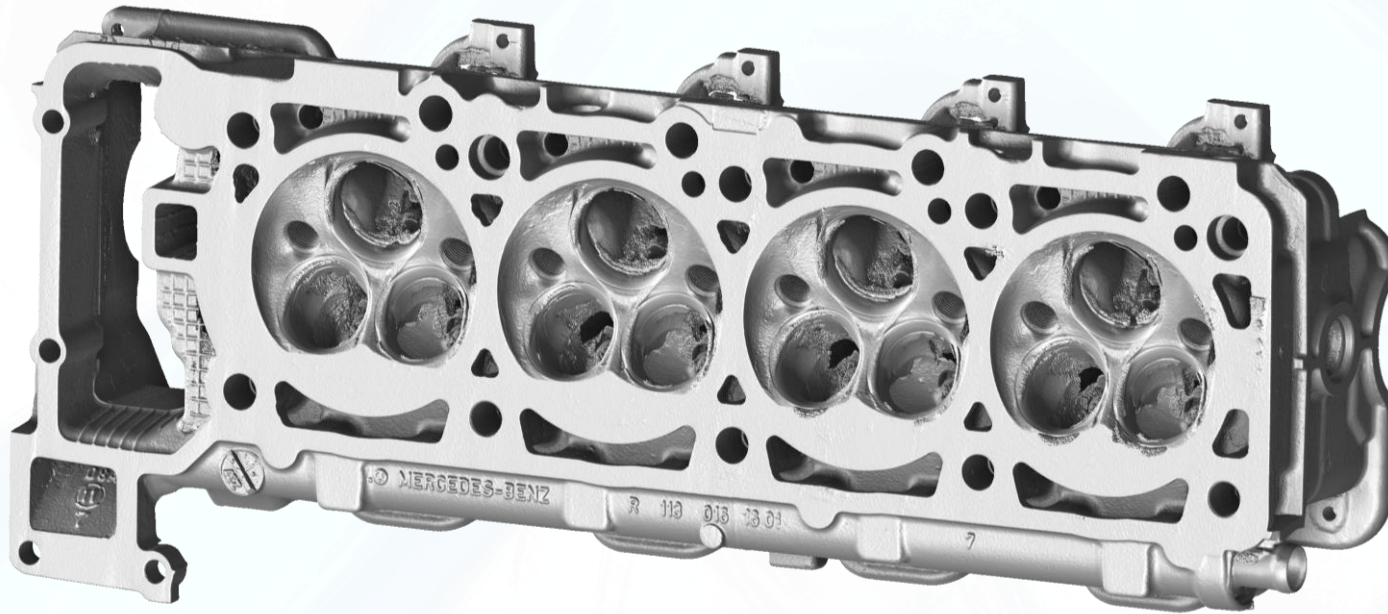


Die Wandstärken und der Wasserkanal sind im virtuellen 2D-Schnitt eindeutig zu erkennen.

Man sieht diverse Scan-Artefakte durch die Materialstärke und die eingelegten Teile aus dichterem Metall.

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Oberflächenbestimmung und Extraktion

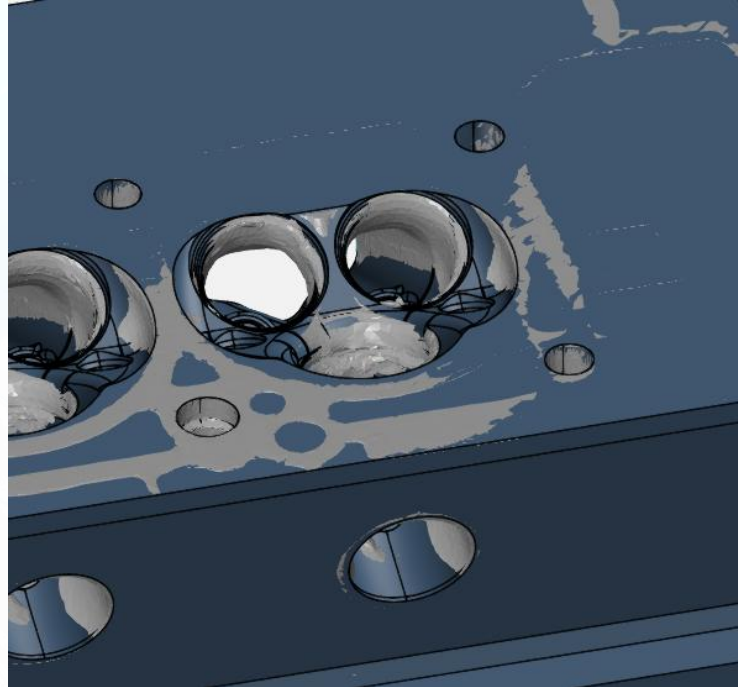
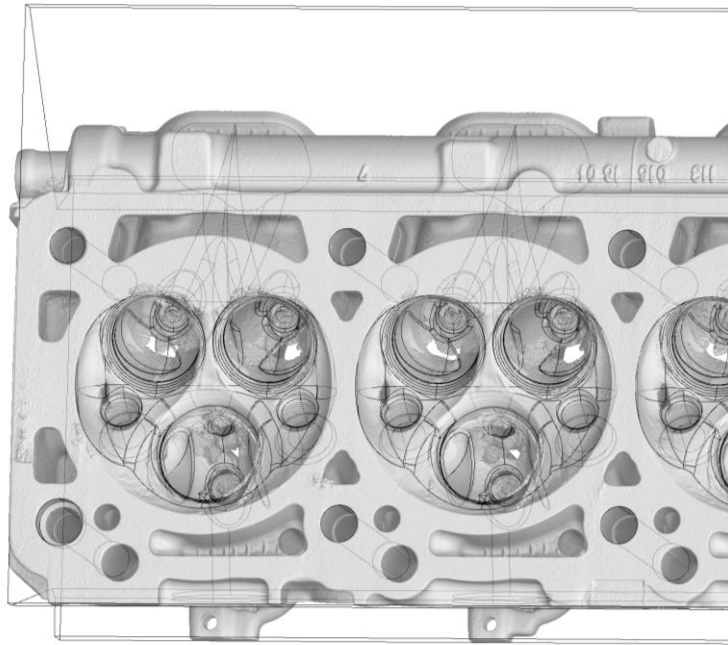


Sub-Voxel-genaue
Oberflächenbestimmung
direkt am CT-Scan in
VGSTUDIO MAX.

Anschließend eine
Extraktion der
Oberfläche per STL.

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

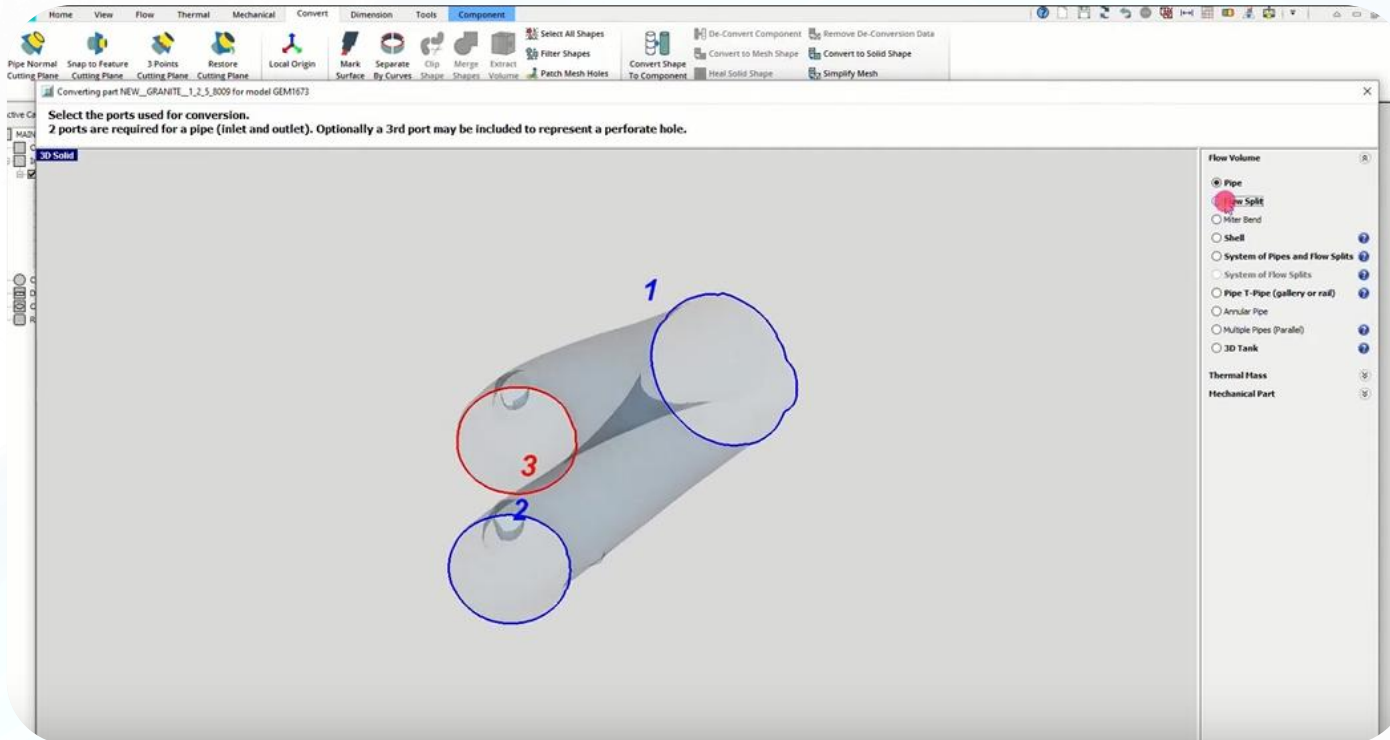
Ableitung von CAD-Geometrien



Ableitung der benötigten Geometrien als CAD-Objekt per SolidWorks durch 3D Scan Academy.

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

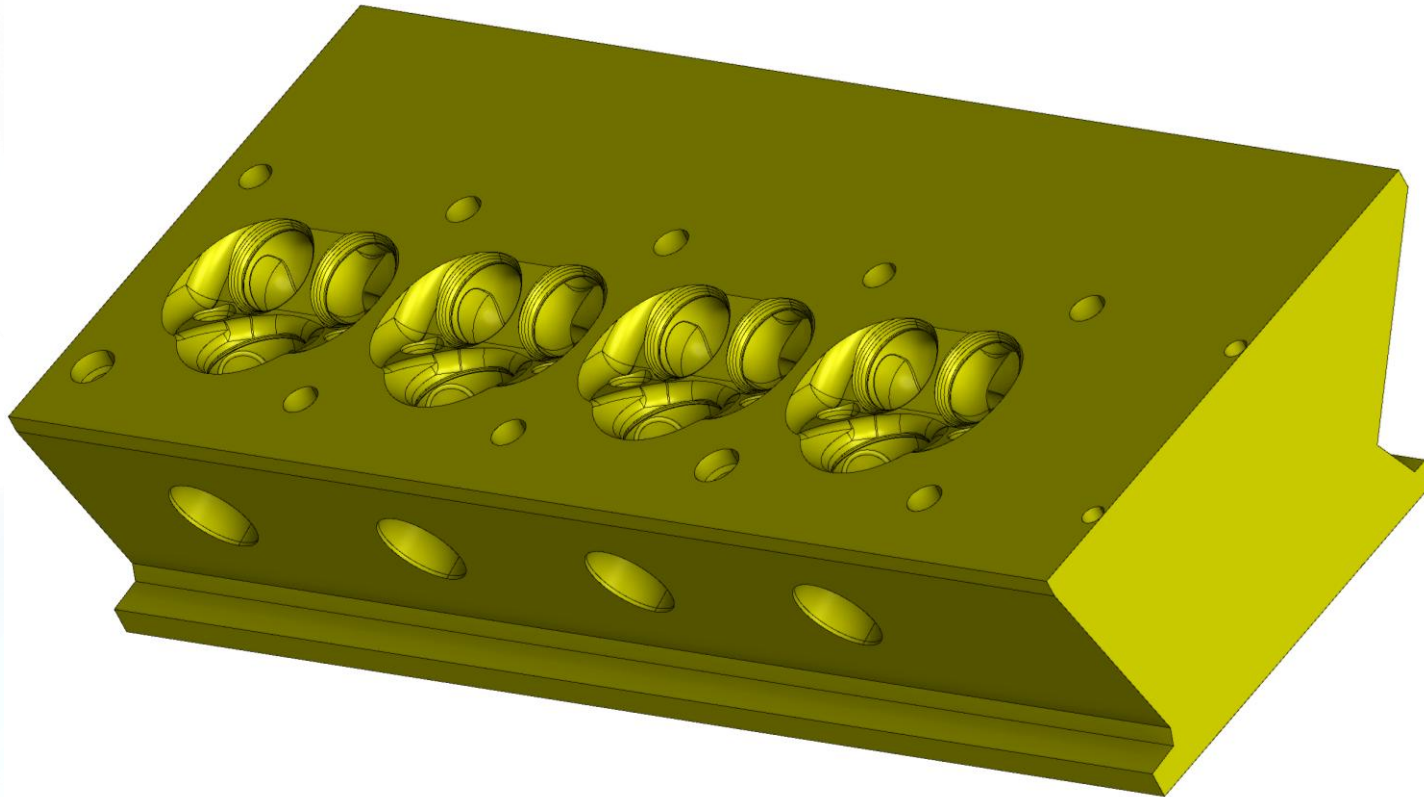
Simulation der optimalen Geometrien



Simulationen basierend auf abgeleiteter Ist-Geometrie um die optimierte Geometrie zu finden.

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Der Plan steht.



Fertiges CAD-Objekt
der optimierten
Geometrien für die
CAM-Programmierung.

Erfassung des Ist-Zustands per Scan

Wie geht es weiter?

Das Projekt ist noch nicht fertig
... wir zeigen bald mehr auf YouTube!



Ein CT für alle Fälle

Materialanalyse

Metrologie

Reverse Engineering

Visualisierung

Verzugskompensation

In-Situ-Scans

Archäologie

Biologie

Serienprüfung



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**