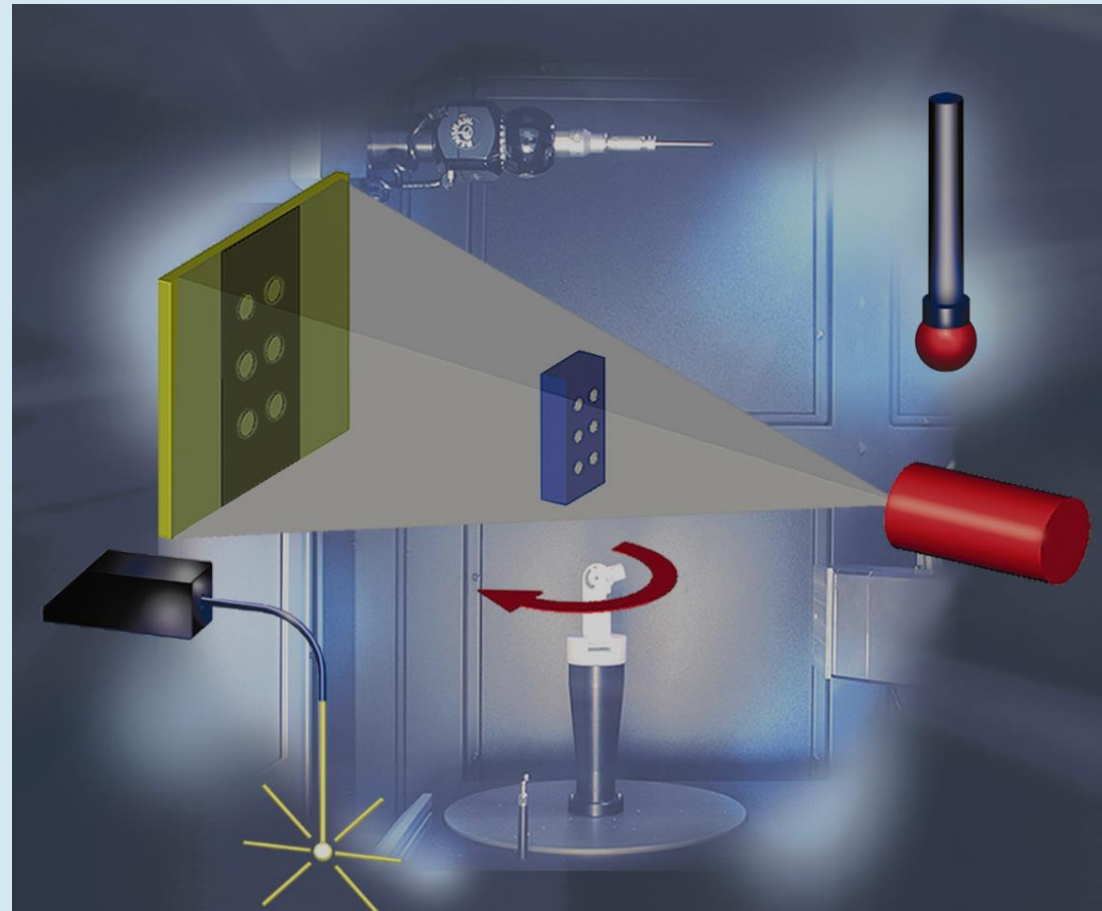


Koordinatenmesstechnik mit Röntgen- Computertomografie – Qualitätssicherung wirtschaftlich und genau

Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph, Dr.-Ing. Raoul Christoph

Werth Messtechnik GmbH



Koordinatenmesstechnik mit Taster, Optik, Röntgen-Tomografie und Multisensorik - Geräte



VideoCheck® UA
Neu:
MPE $E_{uni} = (0.15 + L/2000) \mu m$

VideoCheck® S
Neu:
Bis zu 3 unabhängige
Sensorachsen

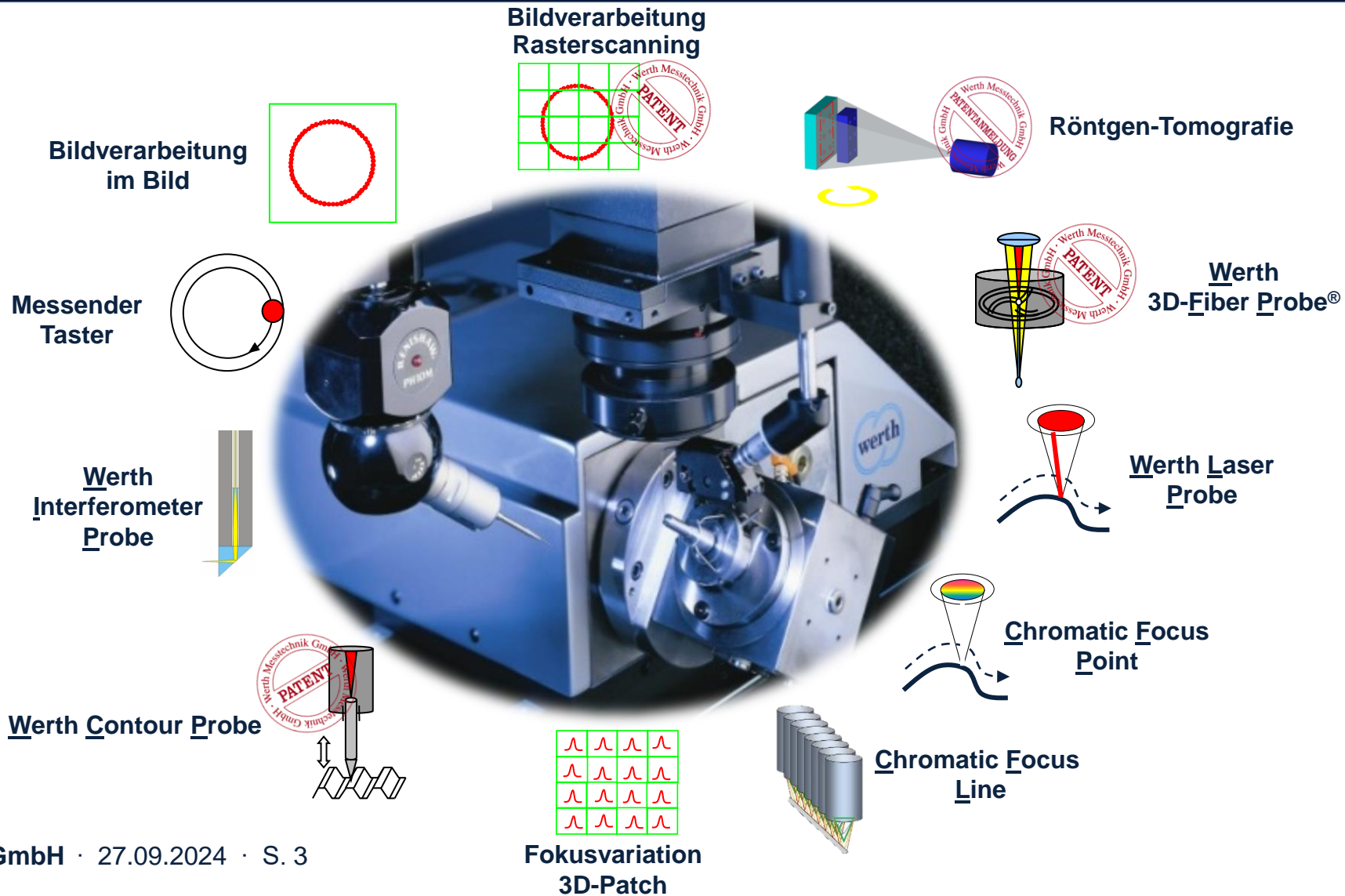
TomoScope® S Plus
Neu:
Gleiche Größe,
doppelter Messbereich

Optik → Taktile → Computertomografie → Multisensorik

MPE: 5 μm bis 0,15 μm

Messbereich von 50 mm × 50 mm × 50 mm bis 3500 mm × 1500 mm × 800 mm

Koordinatenmesstechnik mit Taster, Optik, Röntgen-Tomografie und Multisensorik - Sensoren



Erstes Koordinatenmessgerät mit Röntgen-Tomografie



Eigenschaften:

- 2005 - TomoScope® 200
- Technologie von konventionellen Koordinatenmessgeräten und Computertomografen vereint
- Rückgeführte Messunsicherheit
- MPE für E: $4,5 \mu\text{m} + L/75 \mu\text{m}$
- Einheitliche Software
- Messen vollständig und genau



Koordinatenmesstechnik mit Röntgen-Computertomografie

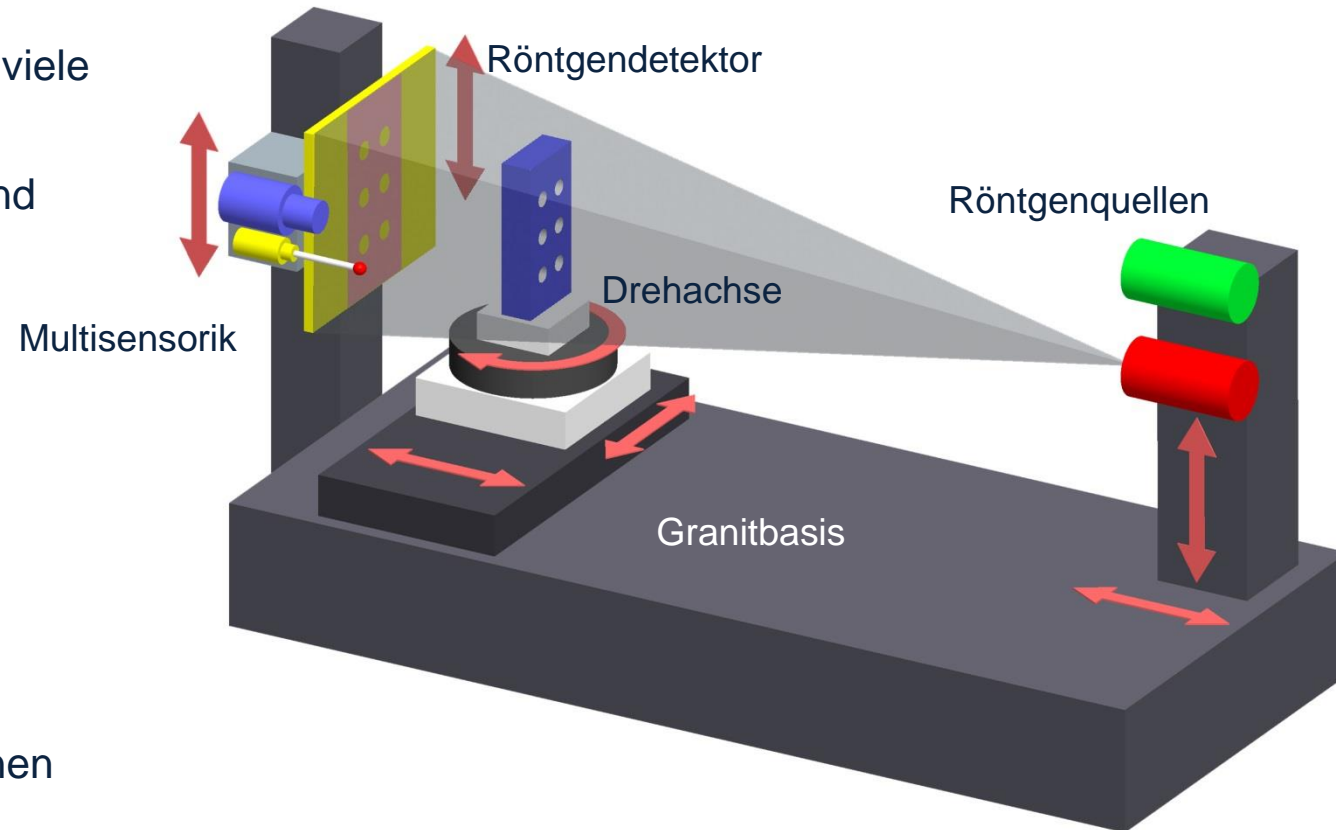
Prinzip und Gerätetechnik

Funktionsprinzip:

- Punktförmige Röntgenquelle
- Werkstück wird durchstrahlt
- Während Drehung des Objekts werden viele 2D-Durchstrahlungsbilder gespeichert
- Grauwerte repräsentieren Materialart und Durchstrahlungslänge

Mechanische Achsen:

- Werkstück drehen
- Vergrößerung einstellen
- Werkstück positionieren
- Kegelwinkel einstellen
- Multisensorintegration, weitere Funktionen

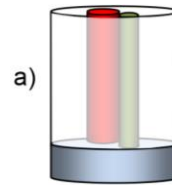


Koordinatenmesstechnik mit Röntgen-Computertomografie

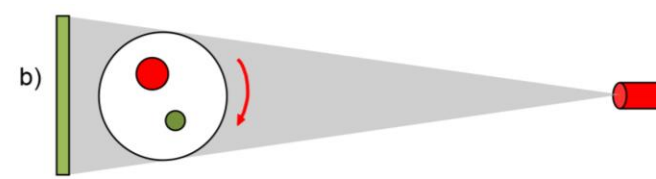
Vom Durchstrahlungsbild zum Volumendatensatz

Berechnung von Volumendaten aus Durchstrahlungsbildern:

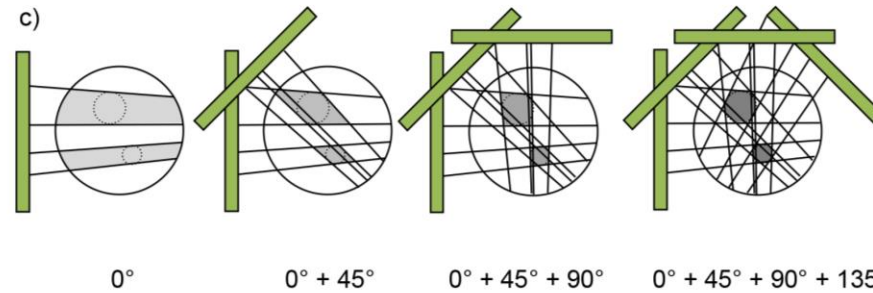
a) Messobjekt



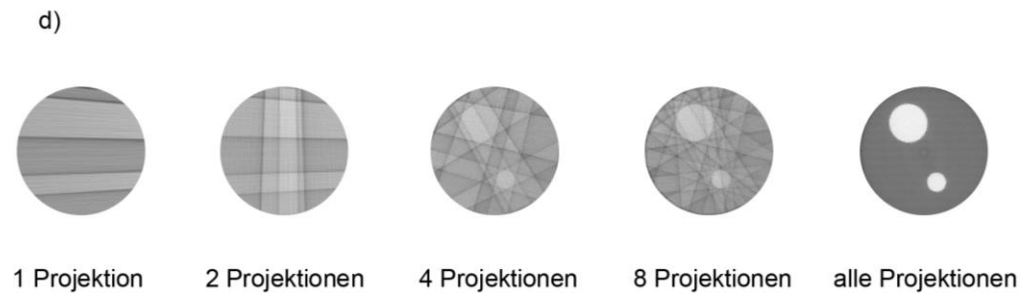
b) Röntgenstrahlengang in der Schnittebene



c) Mathematische Rückprojektion für jeden Drehschritt und Überlagerung



d) Rekonstruktion eines realen Werkstücks bei unterschiedlicher Anzahl von Drehschritten



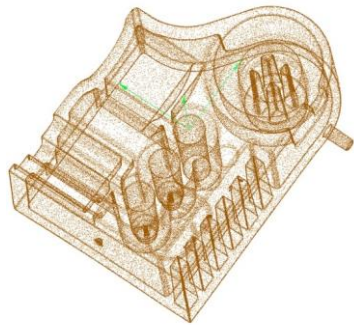
Koordinatenmesstechnik mit Röntgen-Computertomografie



Vom Durchstrahlungsbild zum Messergebnis



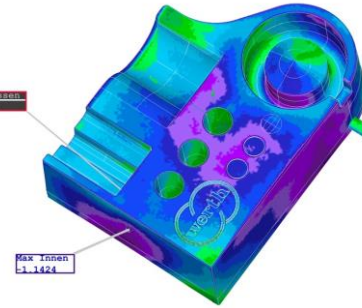
Volumendaten



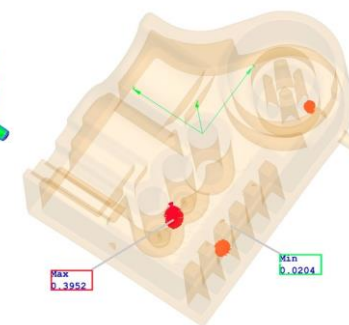
Punktewolke



Geometrische Eigenschaften



Farbcodierte Abweichungsdarstellung



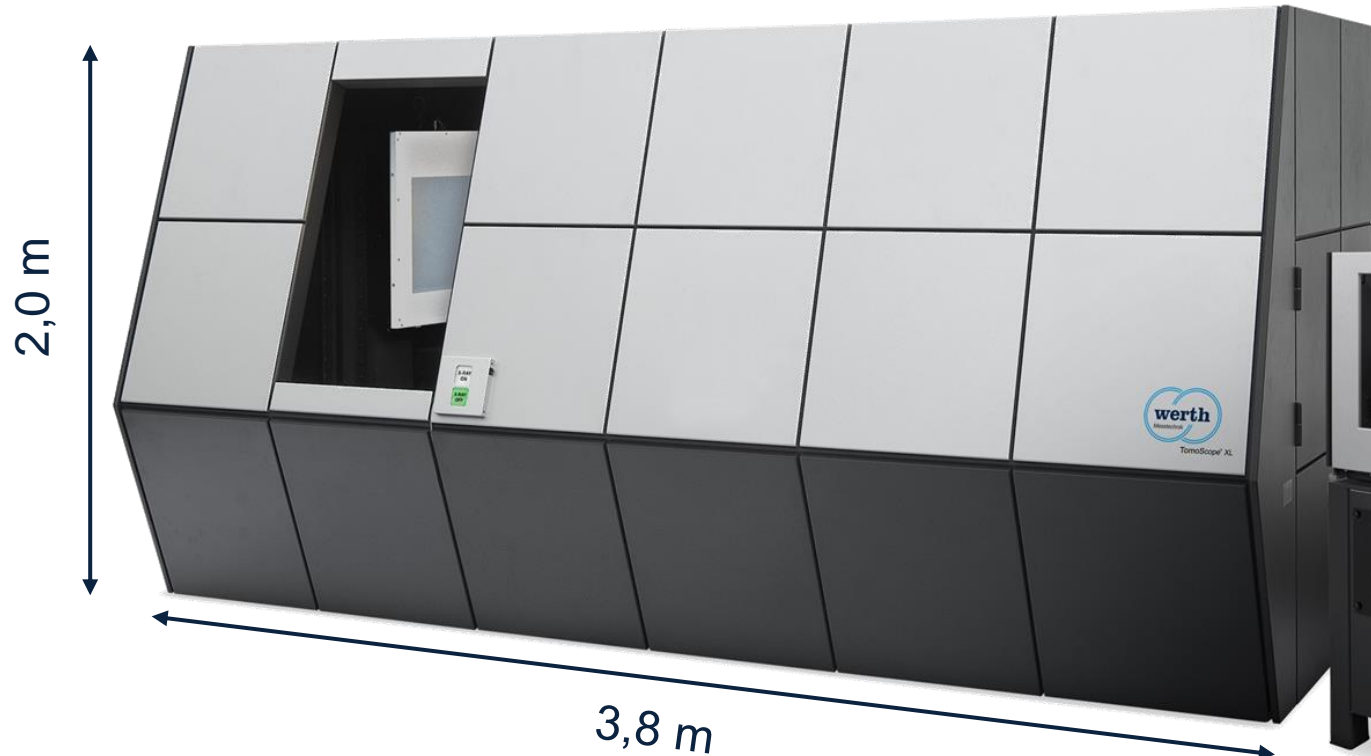
Defekterkennung

Koordinatenmesstechnik mit Röntgen-Computertomografie

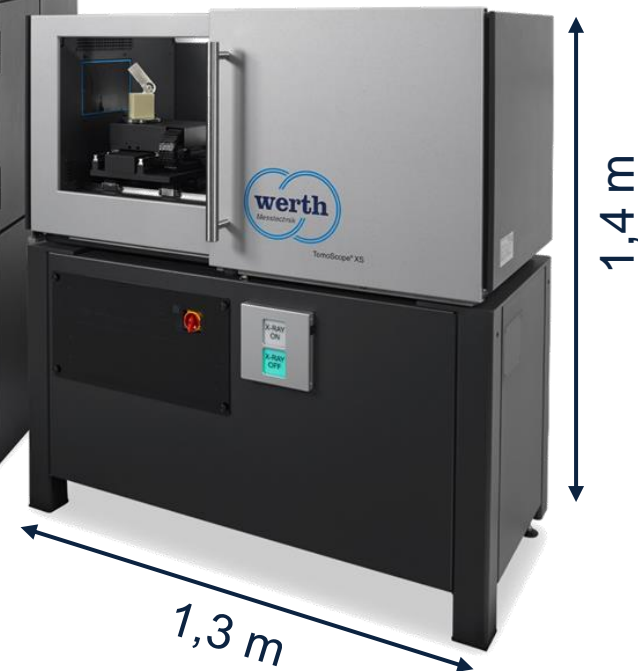
Geräte im Größenvergleich



TomoScope® XL



TomoScope® XS

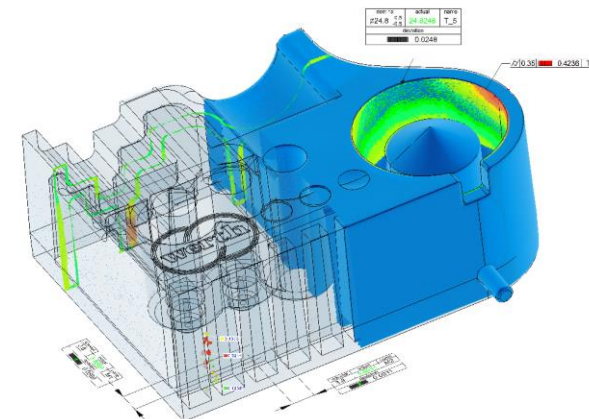
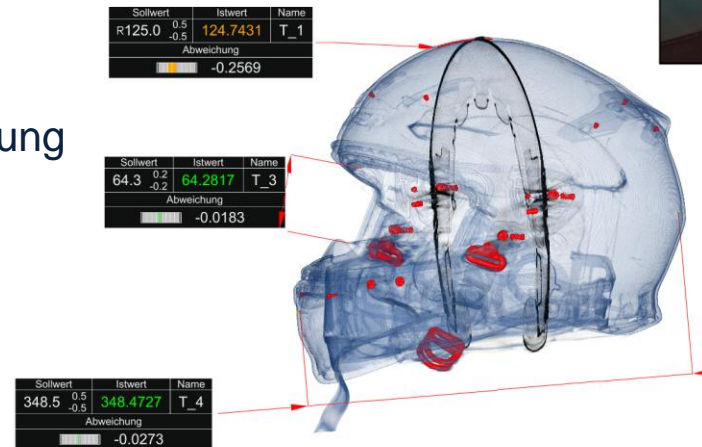
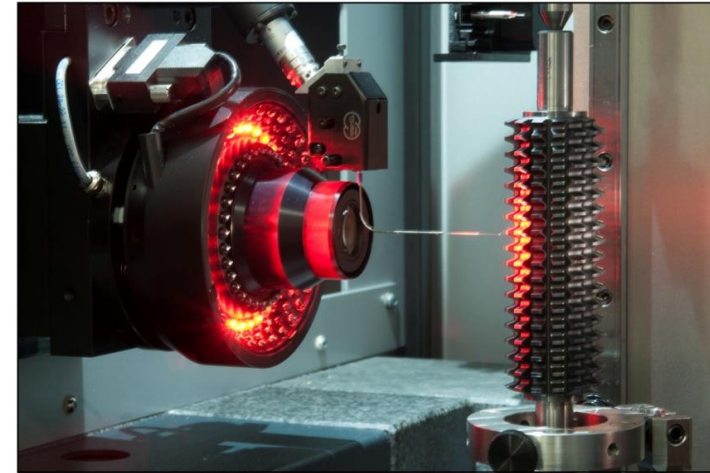


Einheitliches Softwarekonzept



Derzeit einzige einheitliche Software für:

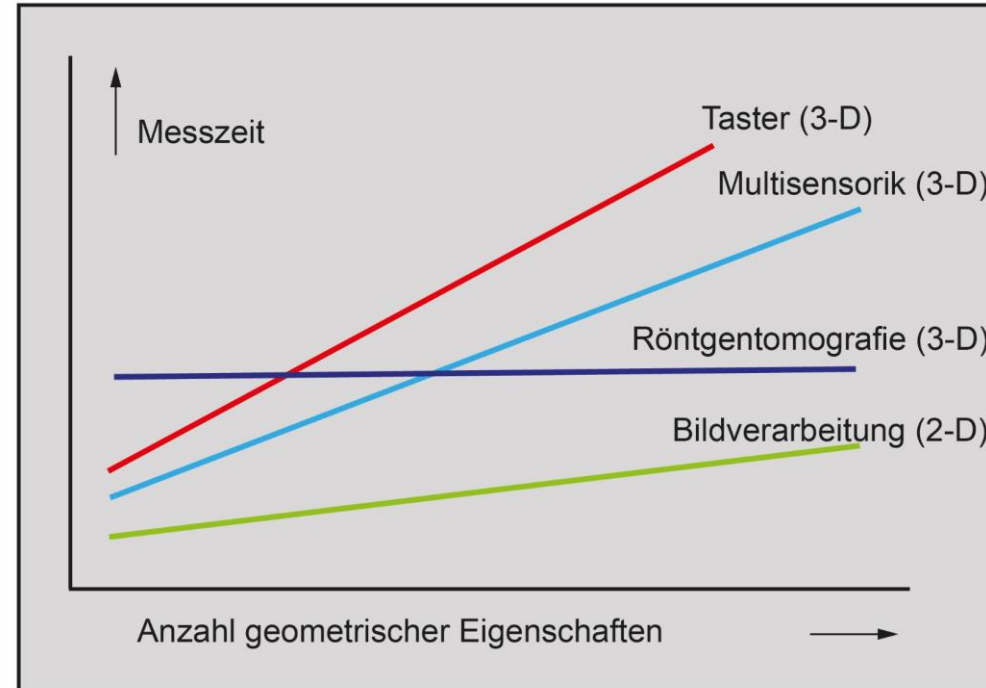
- Multisensorik
- Computertomografie
- CAD-Unterstützung
- Volumen-Rendering
- Punktwolkenberechnung
- Farbkodierte Abweichungsdarstellung
- Geometrische Eigenschaften
- Inspektion
- Statistische Auswertung



Multisensorik und Röntgen-Tomografie im Vergleich

Messgeschwindigkeit mit verschiedenen Sensoren 2011

- Bildverarbeitung:
50 Bilder / s
- Chromatic Focus Point Sensor:
300 bis 4000 Punkte / s
- Taster:
200 Punkte / s
- Computertomografie:
10 bis einige Zehntausend Punkte / s

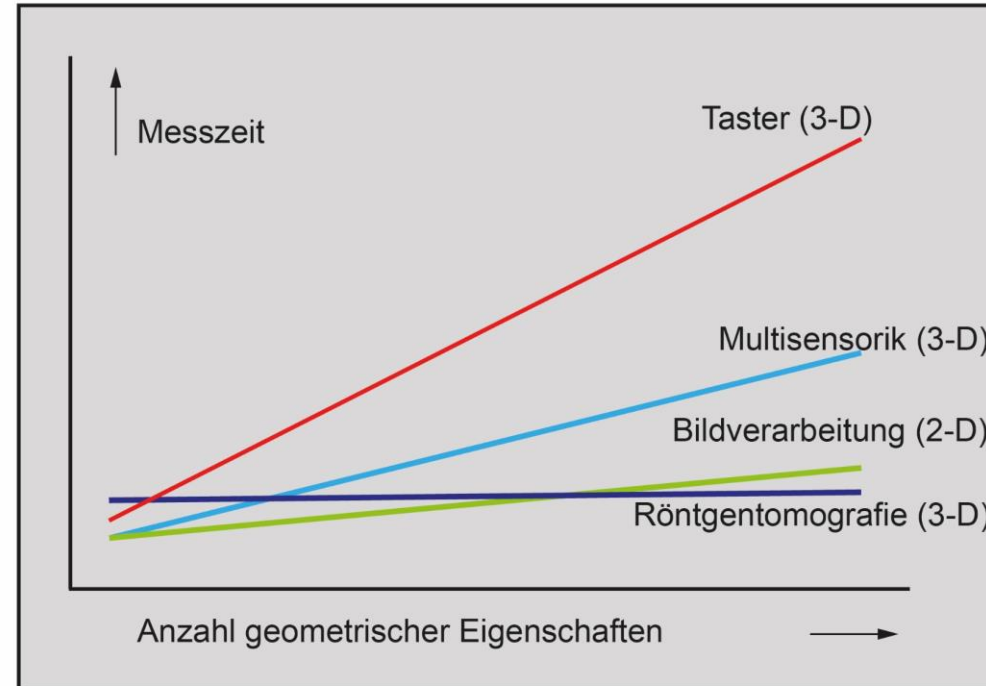


Abhängigkeit der Messzeit von der Anzahl geometrischer Eigenschaften 2011 [11]

Multisensorik und Röntgen-Tomografie im Vergleich

Messgeschwindigkeit mit verschiedenen Sensoren 2023

- Bildverarbeitung:
700 Bilder / s
- Chromatic Focus Line Sensor:
384 000 Punkte / s
- Taster:
200 Punkte / s
- Computertomografie:
1500 bis einige Millionen Punkte / s



Abhängigkeit der Messzeit von der Anzahl geometrischer Eigenschaften 2023

Multisensorik und Röntgen-Tomografie im Vergleich

Wesentliche Eigenschaften

Multisensor-Koordinatenmessgeräte:

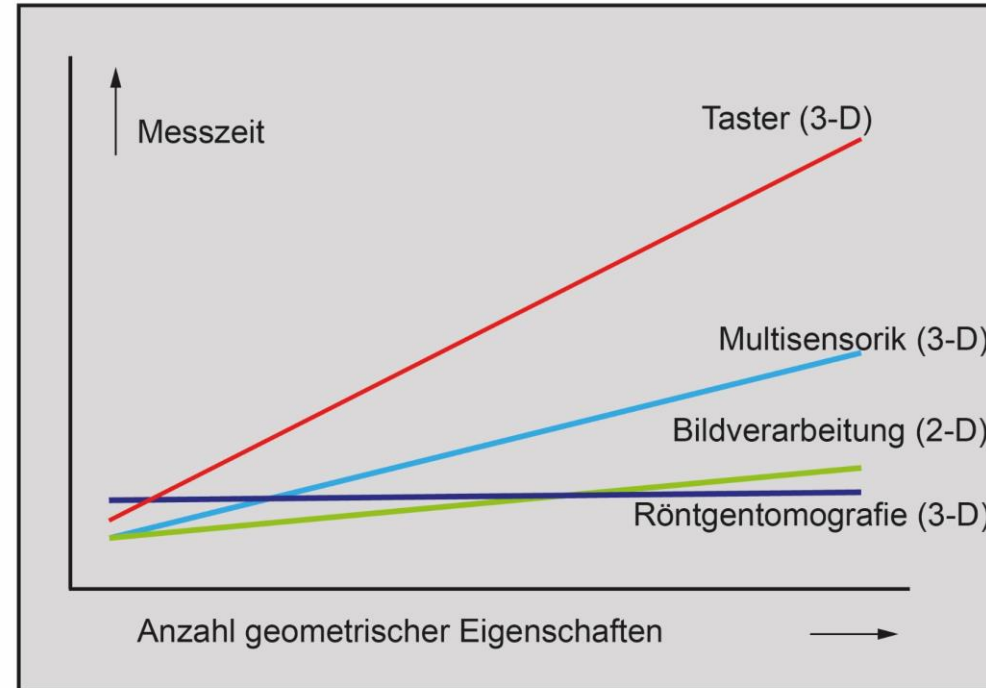
- Messzeit abhängig von Anzahl zu messender geometrischer Eigenschaften
- Messzeit wenig abhängig von gewünschter Präzision
- Messung innenliegender Geometrien nur eingeschränkt möglich

Computertomografie:

- Messzeit abhängig von gewünschter Präzision
- Messzeit unabhängig von Anzahl zu messender geometrischer Eigenschaften
- Vollständige Erfassung inklusive innen- und außenliegender Geometrien

Multisensorik mit Computertomografie (selten)

- Vorteile beider Messprinzipien kombiniert



Abhängigkeit der Messzeit von der Anzahl geometrischer Eigenschaften 2023



Werth TomoScope® L
L = 419 mm; Ø = 212 mm

DAkkS-Kalibrierung von Koordinatenmessgeräten mit:

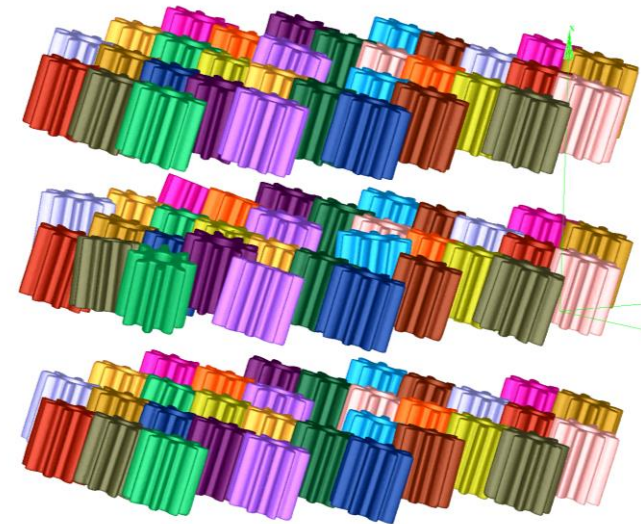
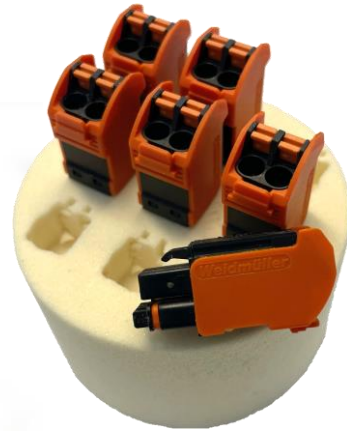
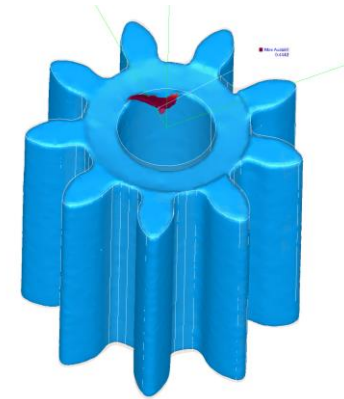
- Multisensorik
- Röntgen-Computertomografie



DAkkS

Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-K-15006-01-00

Anwendungsbeispiele für kleinere Werkstücke



Eingesetzte Gerätetechnik

TomoScope® XS Baureihen – Kompaktgeräte, hochauflösend, schnell, genau und wartungsarm

Eigenschaften:

- Fünf Mal schnelleres Messen im Vergleich zu konventionellen Geräten bei gleicher Auflösung
- Hohe Verfügbarkeit und niedrige Kosten durch Wartungszyklus von 12 Monaten
- Kompakte Bauweise für großen Messbereich
- Messen mit Strukturauflösung von wenigen Mikrometern
- Messen von Werkstücken aus dichteren Materialien
- Unbegrenzte Lebensdauer der Röntgenquelle
- Einheitliche Software
- Kalibriert, MPE für E: $4,5 \mu\text{m} + L/75 \mu\text{m}$



Schnelle Prozessüberwachung für Spritzgussteile

Beispiel: kleine Kunststoffzahnräder

Anforderungen:

- Anwender:
 - Geheimhaltung
- Werkstücke:
 - Kunststoffzahnräder
 - Werkstückgröße 5 mm – 80 mm
- Aufgabenstellung:
 - Vollständige Messung aller Zähne hinsichtlich Zahngeometrie (Geräuschentwicklung)
 - Erkennung von Defekten (Grate oder Lunker)
- Geforderte Messzeit:
 - Kurze Taktzeiten der Fertigung einhalten
 - wenige Sekunden / Werkstück
- Geforderte Messunsicherheit:
 - 5 μm bis mehrere 10 μm



Von der Entwicklung bis zur Serienfertigung

Beispiel: Kunststoffspritzgussteile und -Werkzeuge

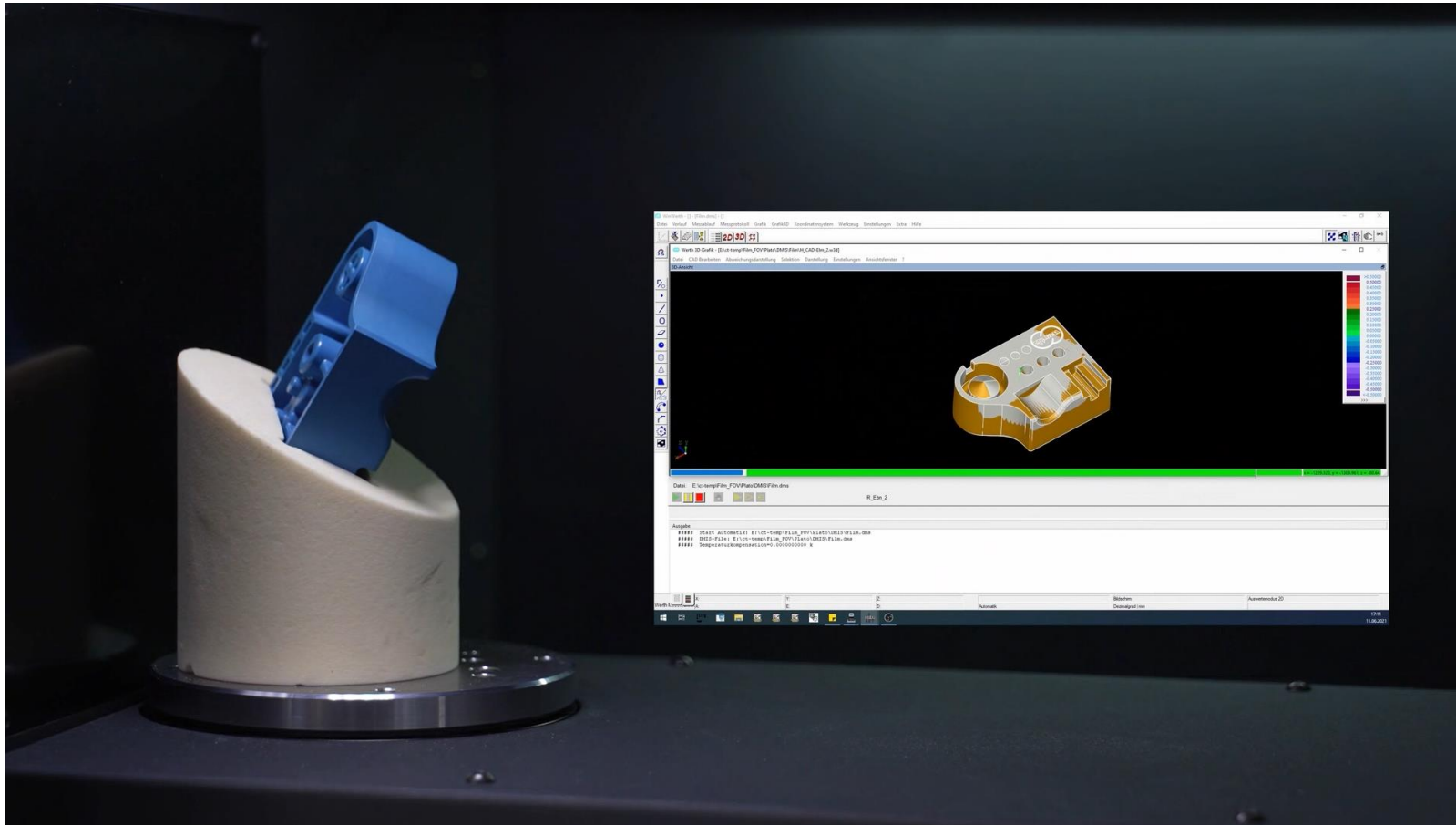
Anforderungen:

- Anwender:
 - Wild & Küpfer
- Werkstücke:
 - hochpräzise Kunststoffspritzgussteile
 - Spritzgusswerkzeuge mit vielen Kavitäten
- Aufgabenstellung:
 - Automatisierung mit Wechslersystem
 - Unterstützung bei Entwicklung von Spritzgusswerkzeugen
- Geforderte Messzeit:
 - wenige Sekunden pro Werkstück bei Einzelmessung
- Geforderte Messunsicherheit:
 - wenige 10 μm bis 100 μm



Schnelle Prozessüberwachung für Spritzgussteile

Tomografie in wenigen Minuten

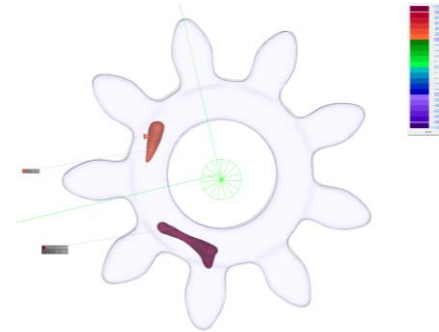


Schnelle Prozessüberwachung für Spritzgussteile

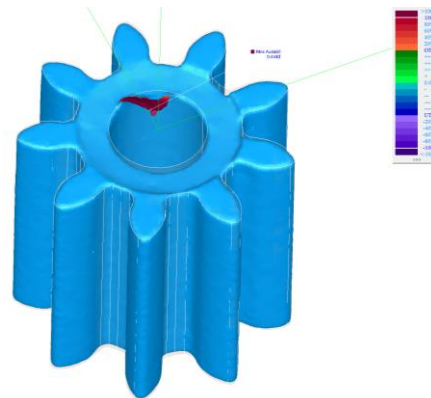
Kurze Messzeit durch Mehr-Objekt-Messung

Eigenschaften:

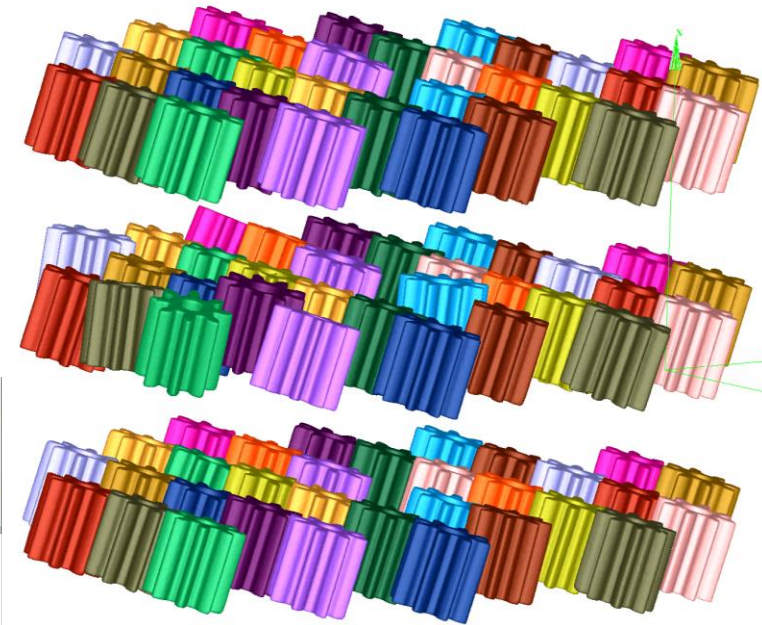
- Gleichzeitige Messung von 96 Werkstücken in 2,5 Minuten
 $150 \text{ s} / 96 = 1,56 \text{ s}$
- Berechnung von Geometrieelementen
- Ermittlung geometrischer Eigenschaften
- Automatische Grat- und Lunkerprüfung



Lunkeranalyse



Graterkennung



96 Punktwolken aus Mehr-Objekt-Messung

Anforderungen:

- Anwender:
 - Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt/M.
- Messobjekte:
 - Fossilien
 - Größe 0,1 mm – 100 mm
- Aufgabenstellung:
 - Digitalisierung und Archivierung
 - Höchste Auflösung für kleine Tiere
- Geforderte Messzeit:
 - Einige Minuten bis mehrere Stunden
- Geforderte Auflösung:
 - Wenige bis 1,5 Mikrometer

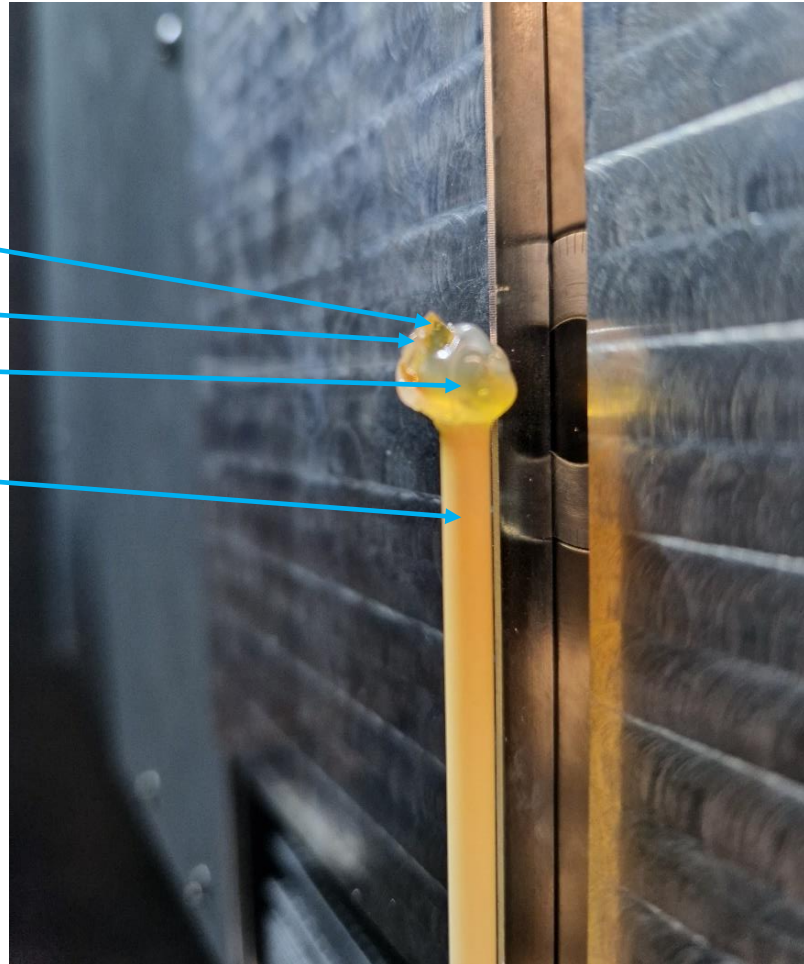


Digitales Archiv der Evolution

Messaufbau für hohe Auflösung - Submikrofokus-Röntgenröhre im Longlife-Design

Messaufbau:

- Insekt im Bernstein
- Bernstein
- Kunstharz
- Halter



Messparameter:

Größe	Einheit	Wert
Leistung	W	4
Messzeit	h	16
Auflösung	μm	1,5

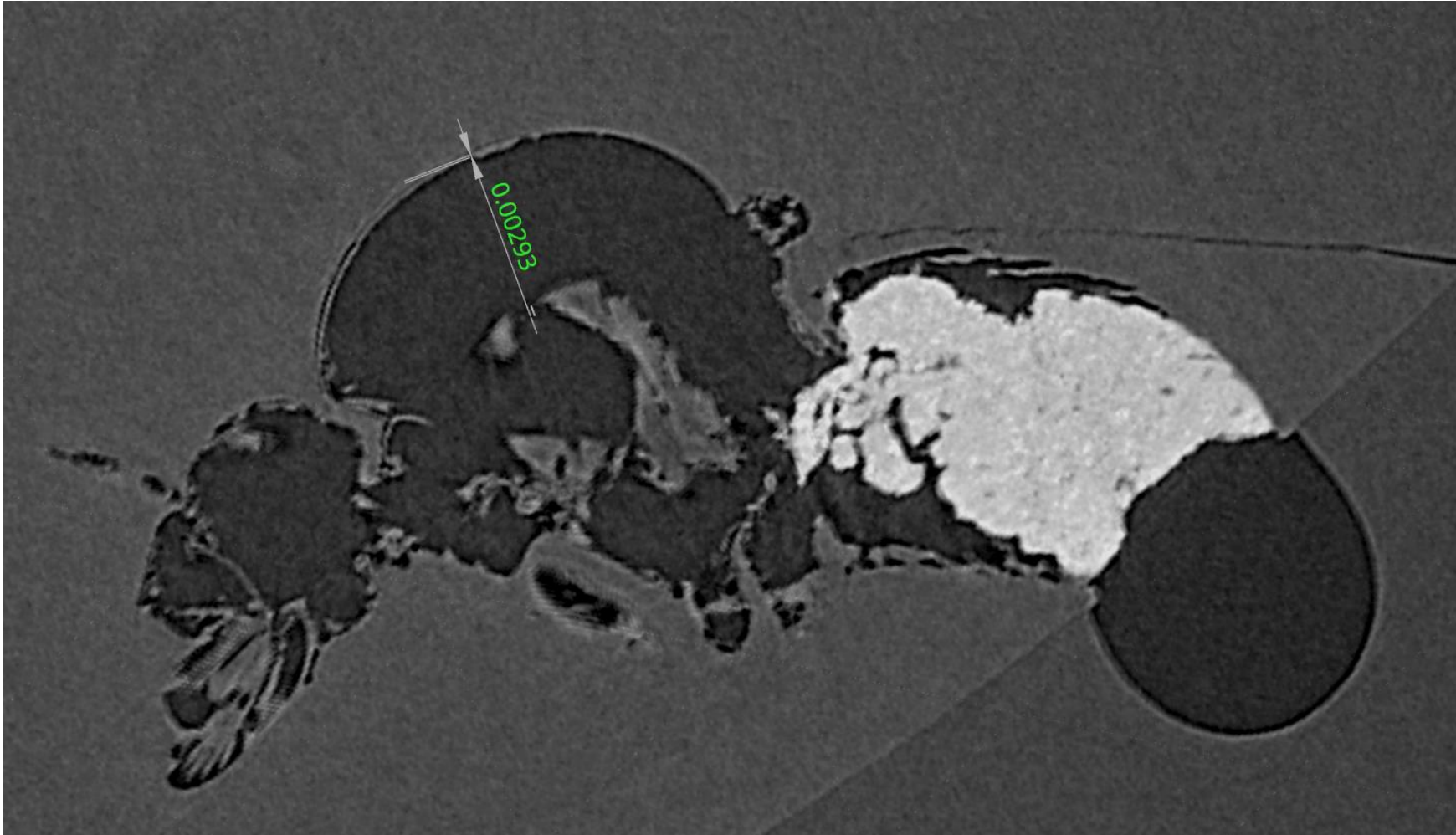
Digitales Archiv der Evolution

Insekt – Volumendarstellung gerendert



Digitales Archiv der Evolution

Insekt – Volumenschnitt sagittal



Atline-Kontrolle und -Geometrieprüfung

Beispiel: KFZ-Akkus

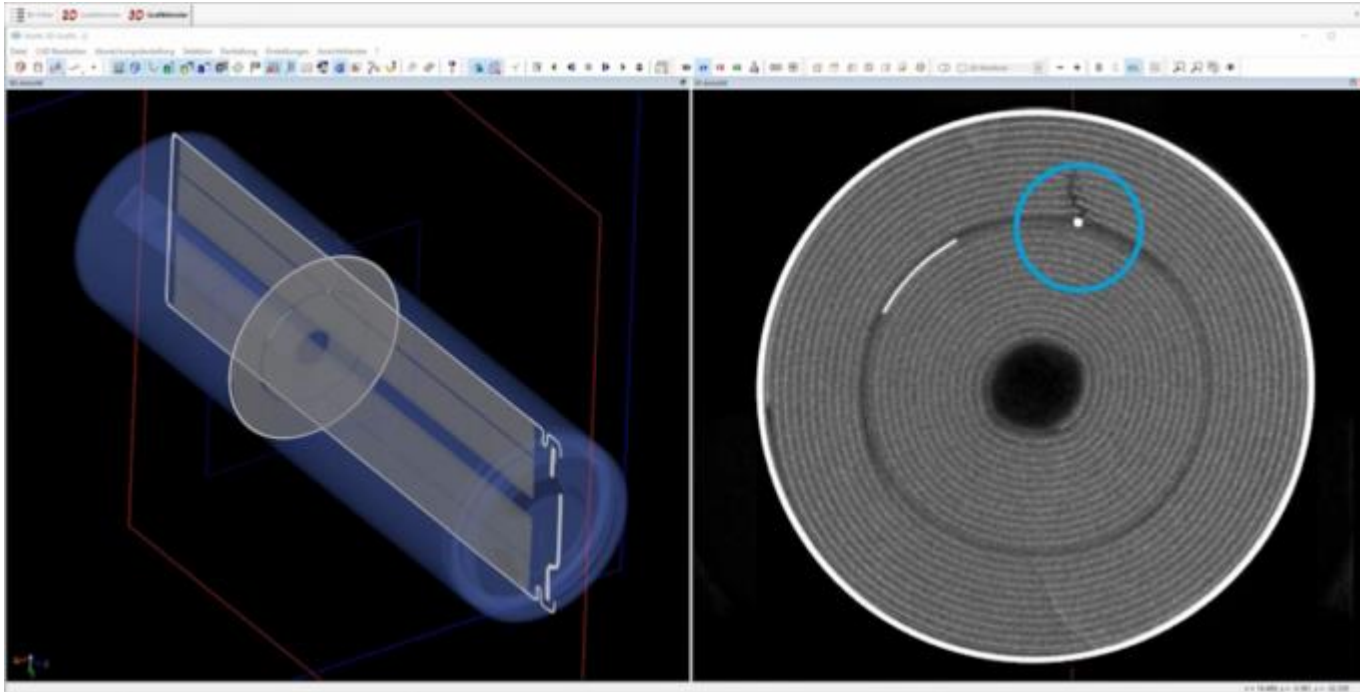
Anforderungen:

- Anwender:
 - Automobilindustrie - Geheimhaltung
- Werkstücke:
 - KFZ-Akkus
 - Werkstückgröße 20 mm – 50 mm
- Aufgabenstellung:
 - Maßhaltigkeit im Innern der Zelle
 - Erkennung von Fremdpartikeln und Fehlstellen
- Geforderte Messzeit:
 - 15 Sekunden / Werkstück bei Einzelmessung
- Geforderte Messunsicherheit:
 - wenige 10 μm bis 100 μm



Atline-Kontrolle und -Geometrieprüfung

Computertomografie in wenigen 10 Sekunden

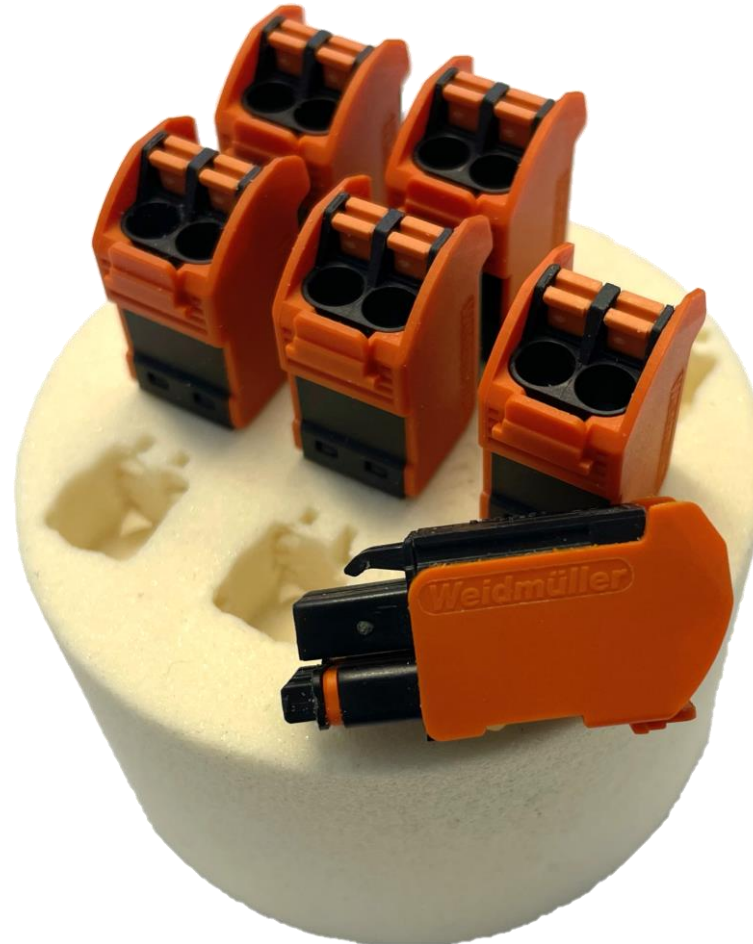


Stichprobenkontrolle von Kraftfahrzeugkomponenten

Beispiel: Stecker aus Kunststoff und Metall

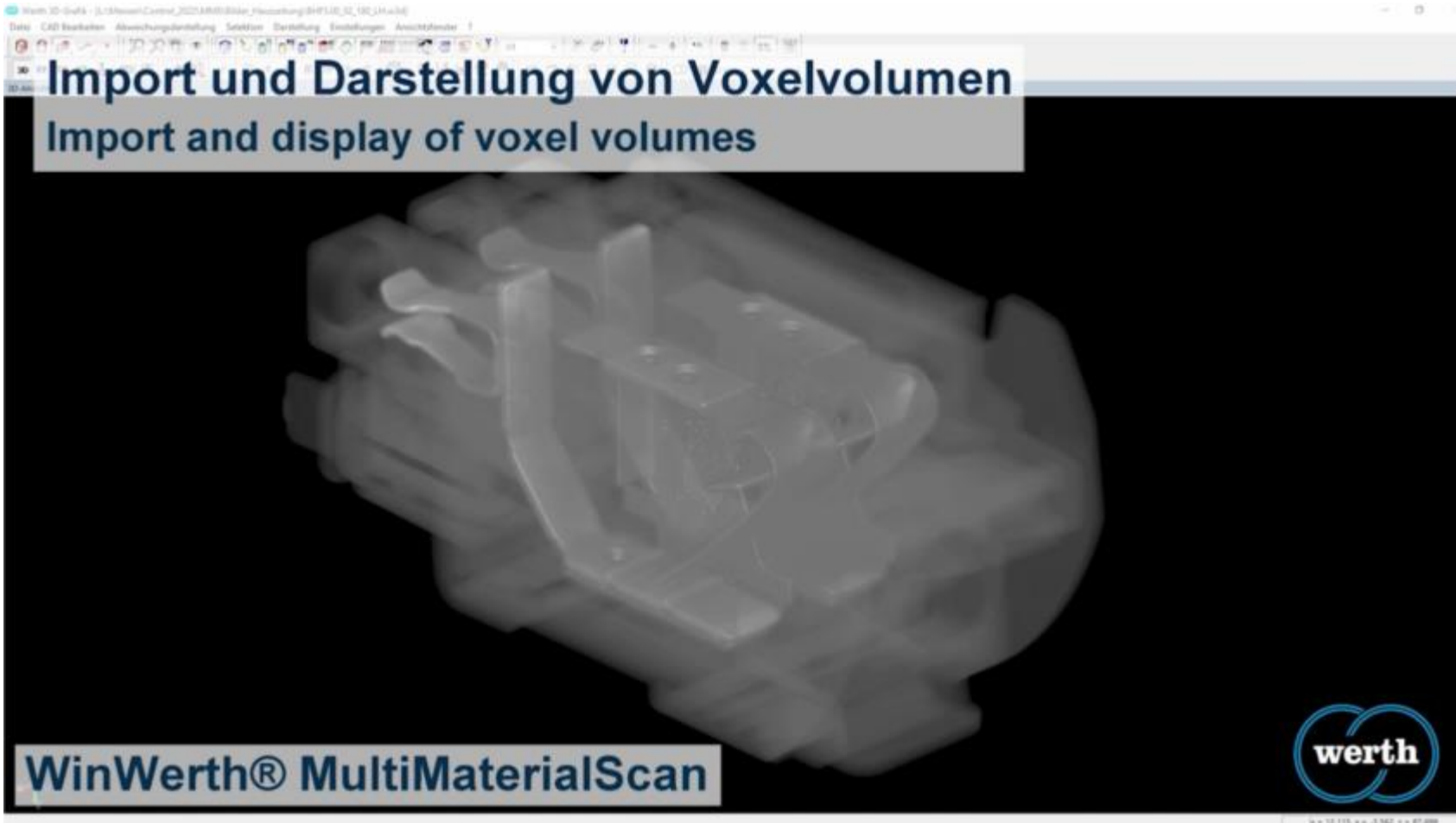
Anforderungen:

- Anwender:
 - Weidmüller AG
- Werkstücke:
 - Verbindungsklemmen
 - Werkstückgröße 20 mm – 50 mm
- Aufgabenstellung:
 - Maßhaltigkeit im verbauten Zustand
 - Erkennung von Fehlstellen und Graten
- Geforderte Messzeit:
 - 33 Sekunden / Werkstück
- Geforderte Messunsicherheit:
 - 10 µm bis 50 µm



Stichprobenkontrolle von Kraftfahrzeugkomponenten

Segmentierung von Komponenten aus verschiedenen Materialien

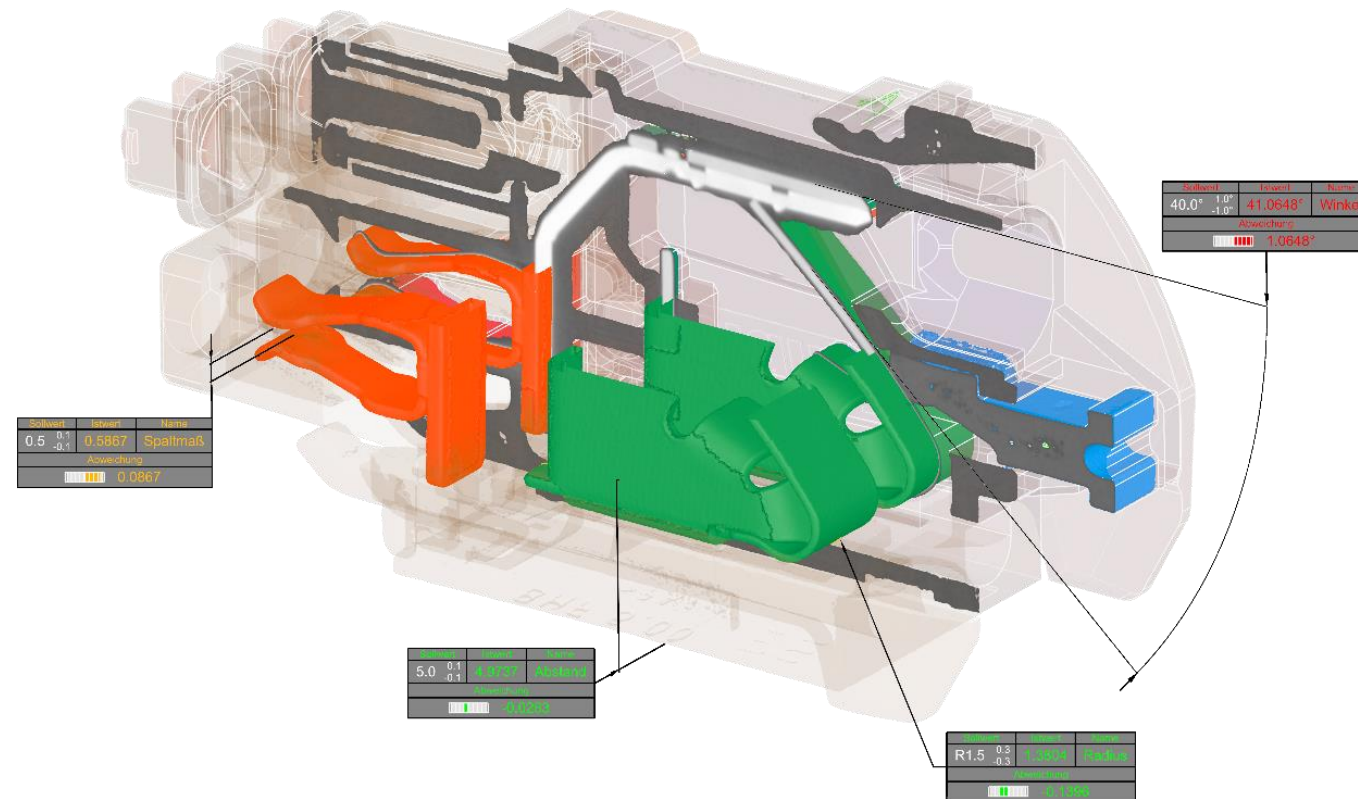


Stichprobenkontrolle von Kraftfahrzeugkomponenten

Segmentierung von Komponenten aus verschiedenen Materialien

Besonderheiten:

- Automatisch
- Bedienerunabhängig
- Subvoxelgenau
- Rückführbar
- Separate Punktwolken für jede Komponente



Wirtschaftliche Inline und Atline Messungen



Beispiel: Implantate

Anforderungen:

- Anwender:
 - Medizinprodukte - Geheimhaltung
- Werkstücke:
 - Knochenschrauben, Platten und Implantate
- Aufgabenstellung:
 - Messung vieler Maße
 - Stichproben- oder 100%-Prüfung
 - Farbkodierte Abweichungsdarstellung
- Geforderte Messzeit:
 - Wenige Sekunden bis einige Minuten
- Geforderte Messunsicherheit:
 - Von 10 µm bis 100 µm



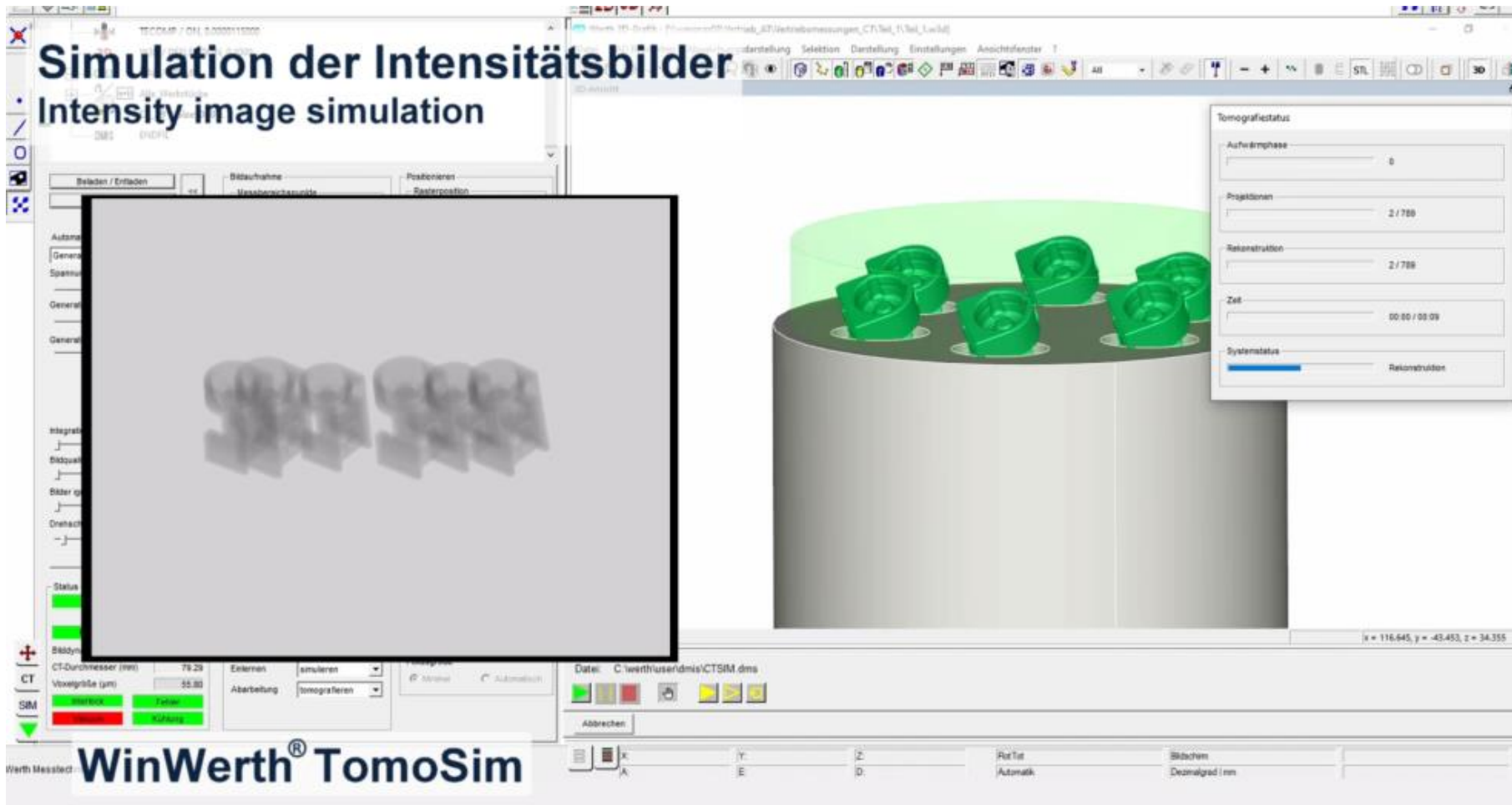
Wirtschaftliche Inline und Atline Messungen

Beispiel: Implantate



Sie haben (noch) keine Messobjekte?

Simulation mit TomoSim



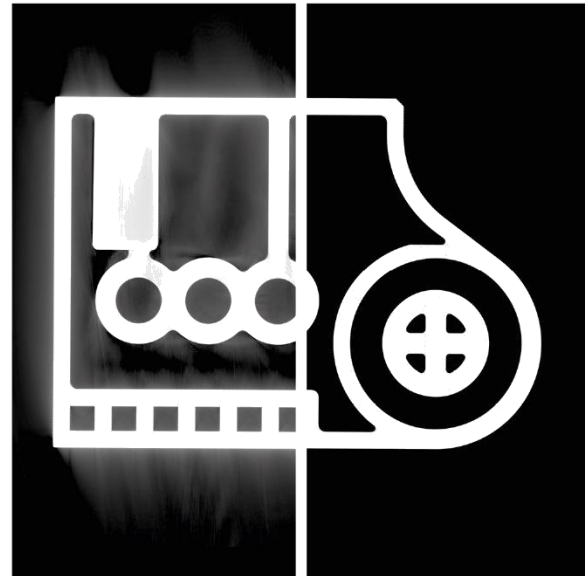
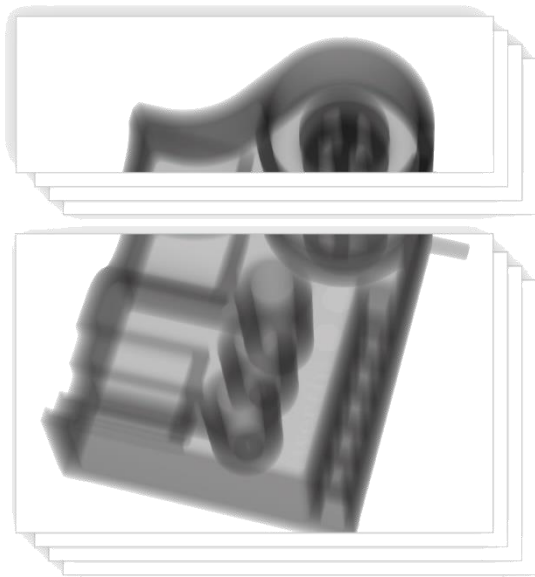
Simulation von Tomografien in die Messsoftware integriert

Artefaktkorrektur und Offline-Programmierung

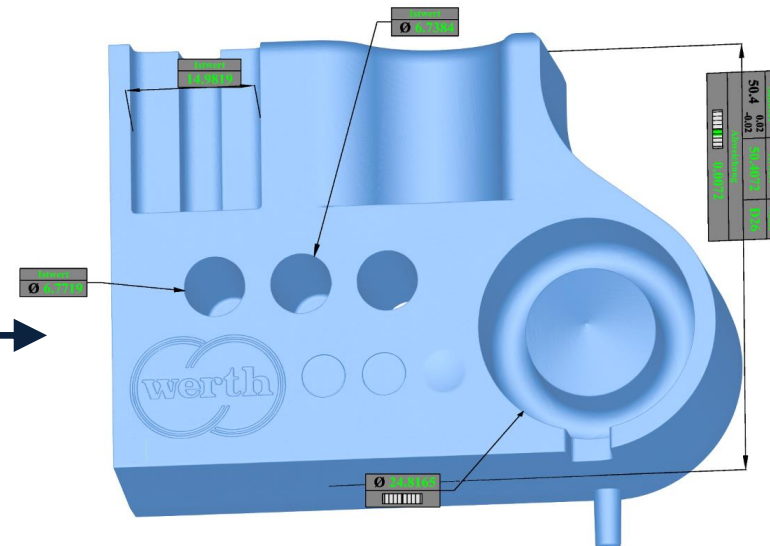
- Simulation unter Berücksichtigung eingestellter Parameter mit allen wesentlichen Artefakten.

Artefaktkorrektur

Simulierter Bilderstapel



Offline-Programmierung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!