26. Februar 2016

METHODENVERGLEICH VON CT-ANALYSEN AN XXL-CFK-BAUTEILEN.

PETER JAHNKE, BMW LABORTECHNIK MÜNCHEN.
WOLFGANG HOLUB, FRAUNHOFER EZRT.

BMW GROUP

Rolls-Royce Motor Cars Limited

INHALT.

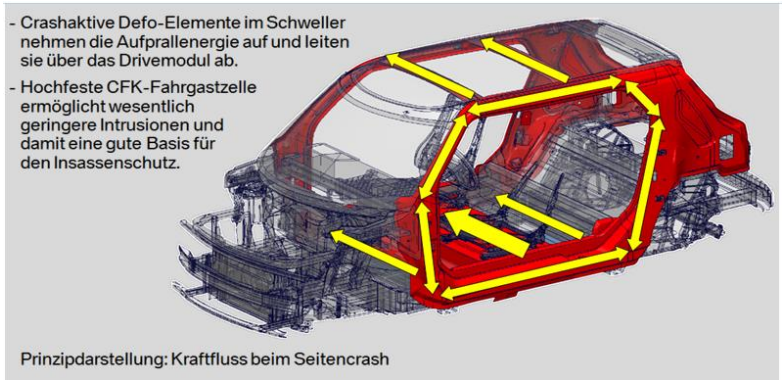
- Motivation.
- Studienprinzip.
- Untersuchte Techniken.
  - CLARA.
  - Limited Angle CT.
  - RoboCT.
  - Tomosynthese.
- Vergleich der Ergebnisse.
- Fazit.

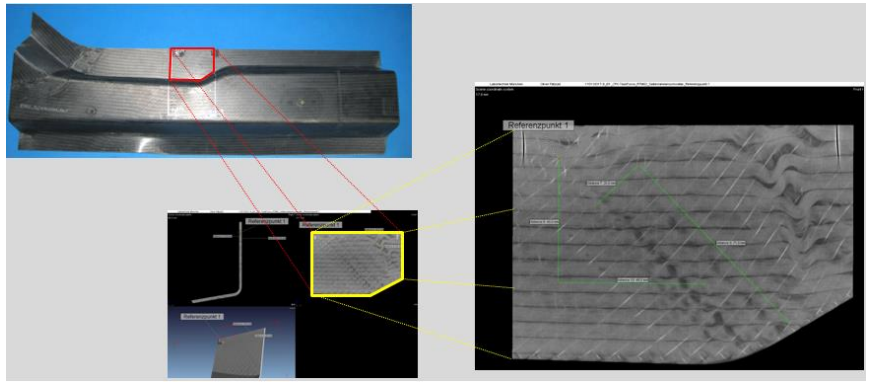
© Fraunhofer / BMW Group

MOTIVATION.

- Im Automobilbau gibt es Faserverbundbauteile mit mehreren Metern Bauteillänge.
- An den Objekten soll eine ZfP zur Darstellung der Struktur bis auf Rovingebene (<100µm) erfolgen.
- Computertomographie ist hierfür Verfahren der Wahl.
- Objekte dieser Größen sind jedoch bisher kaum handhabbar (vorbehaltlich XXXL-CT am Gesamtfahrzeug)

→ Evaluierung verschiedener Aufnahmetechniken zur hochaufgelösten CT einzelner Regionen solch großer Bauteile.

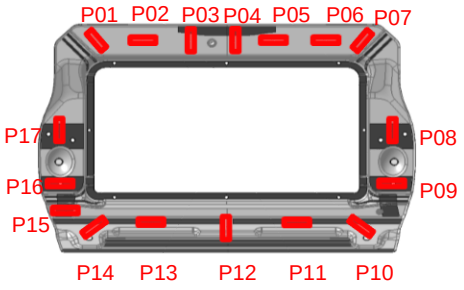


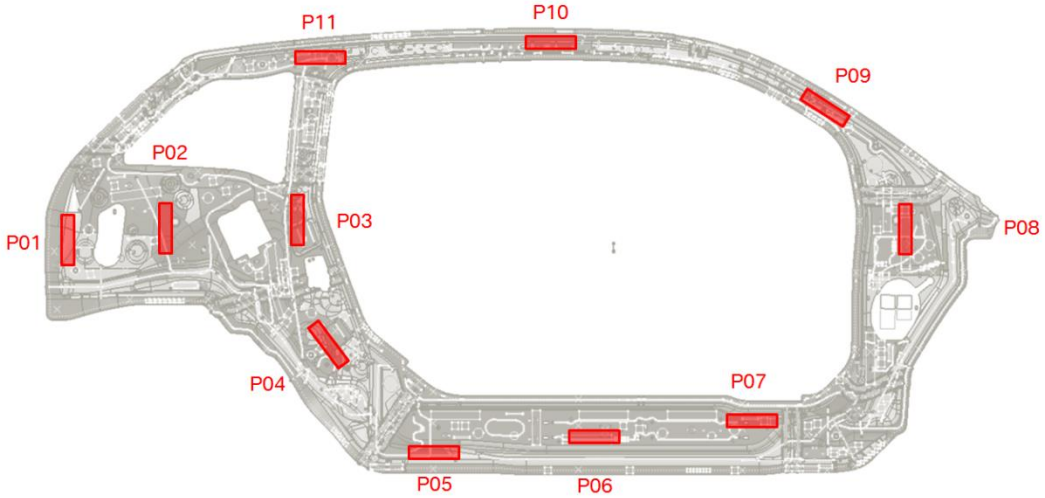


© Fraunhofer / BMW Group

STUDIENPRINZIP.

- Aufnahme von vorgescannten Probenplättchen mit bekannter innerer Struktur und/oder Merkmalen.
- Anbringung an CFK-Großbauteilen des BMW i3
  - Ringträger circa 1,2m x 0,9m
  - Seitenrahmen circa 3,1m x 1,5m
- Markierte Positionen mit verschiedener Zugänglichkeit und Ausrichtung.
- Vergleich der relevanten Aufnahmesysteme und –verfahren.



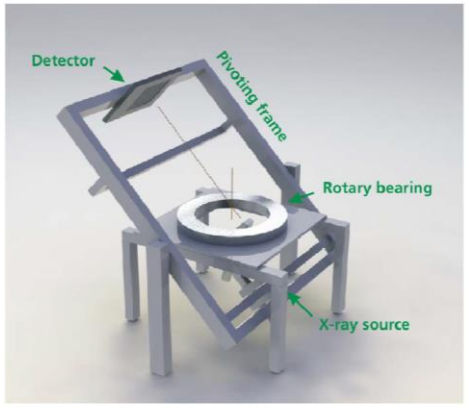


© Fraunhofer / BMW Group

UNTERSUCHTE TECHNIKEN.

CLARA-Laminographie
(EZRT Saarbrücken)

- Große und schwere Objekte:
  - 1,4 m Durchmesser
  - 300 kg Gewicht
- Nur eine Bewegungsachse:
  - Kostengünstig
  - Kleine Stellfläche
- Verstellbar:
  - Laminographiewinkel
  - Vergrößerung
- Rekonstruktion:
  - SART auf GPU

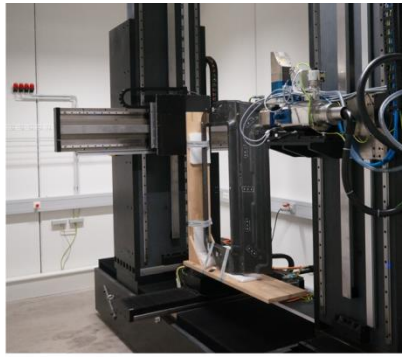


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer EZRT

Limited Angle CT

- Limited Angle CT
  - Reguläre axiale Computertomographie
  - das Objekt rotiert auf einem Drehteller um weniger als 360°
  - sehr hohe Bildqualität (vollständige CT ab 180° + x)
  - geringe Trunkierungsartefakte
  - erfordert Anlage mit langen Verfahrwegen aller Achsen

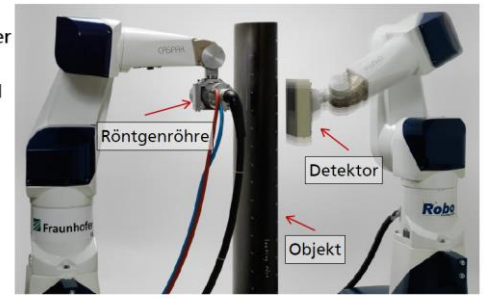


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer EZRT

Roboter-CT

- System aus gekoppeltem Roboterpaar
- Koordinierte Bewegung von Quelle und Detektor um das Objekt herum
- erfordert komplexe Kalibrierung und Erfassung der Akquisitionsgeometrie
- Teil des EU-Projektes QUICOM

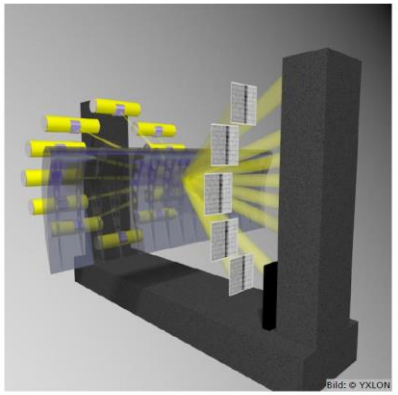


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer EZRT

Laminographie
Yxlon Y.CT Solution 600

- 600 kV Quelle
- planare Trajektorien parallel zum Objekt
- Datensätze mathematisch nicht vollständige, für viele Anwendungen jedoch dennoch sehr aussagekräftig
- Rekonstruktion mit der Technologie des EZRT



© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer EZRT

© Fraunhofer / BMW Group

Rolls-Royce Motor Cars Limited

Fraunhofer

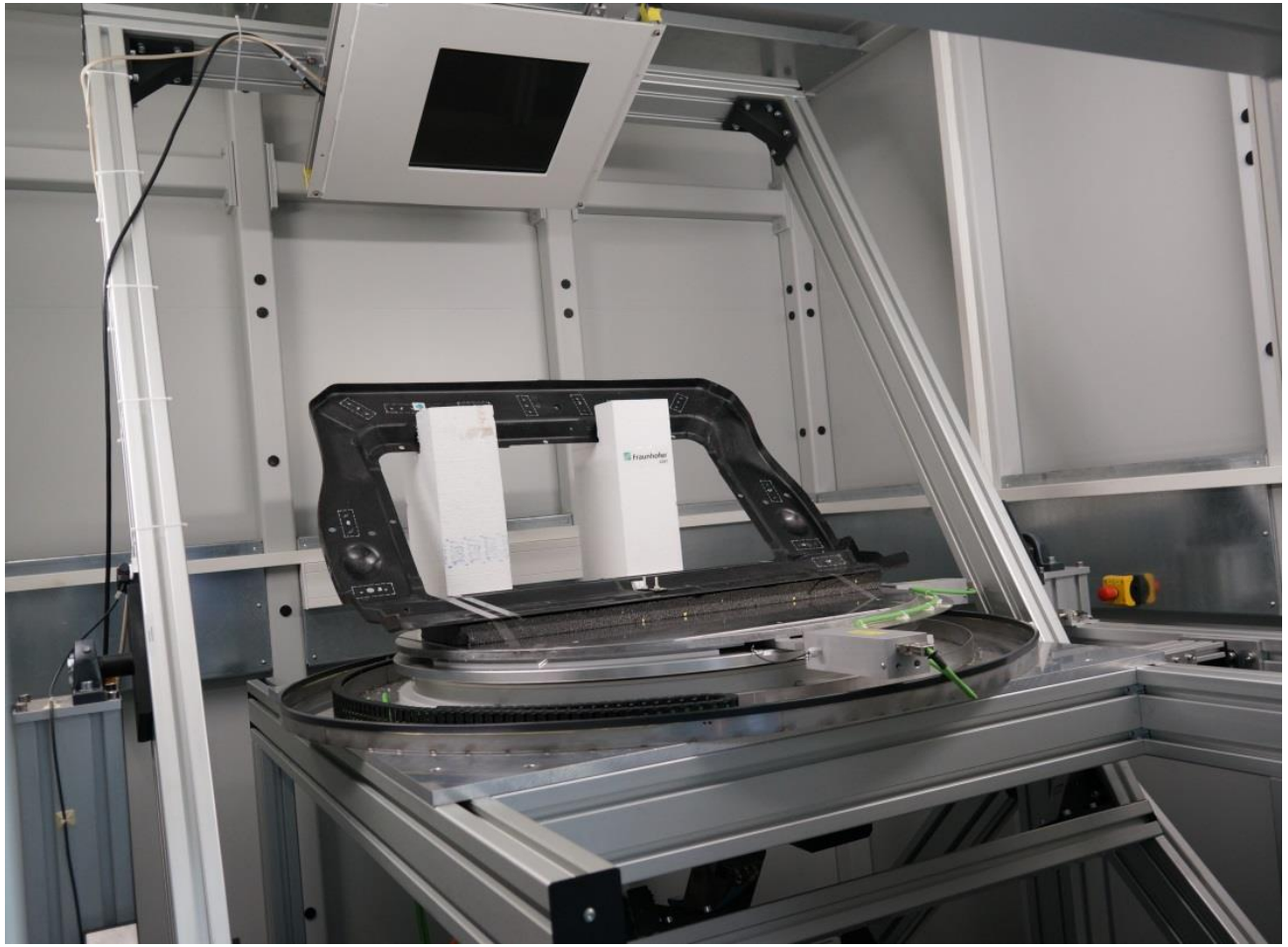
UNTERSUCHTE TECHNIKEN.

Beauftragung IIS durch BMW

© Fraunhofer / BMW Group

CLARA – Laminographie Saarbrücken – i3 Ringträger.

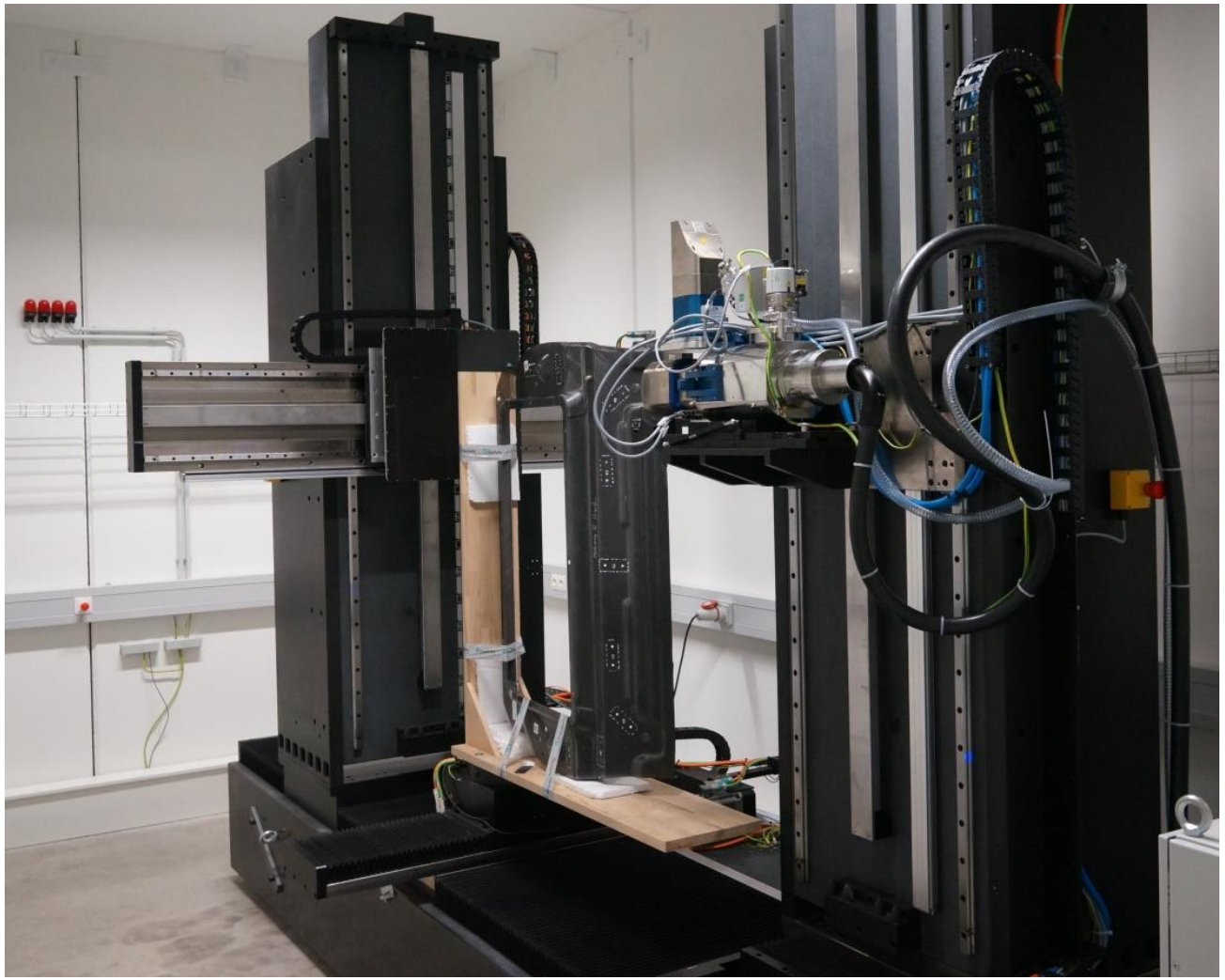
- Laminographie mit feststehender Anordnung von Röntgenröhre und Detektor
- das Objekt rotiert auf einem Drehteller
- mechanisch unkompliziert
- hoher Platzbedarf



© Fraunhofer / BMW Group

Limited Angle–CT – i3 Seitenrahmen.

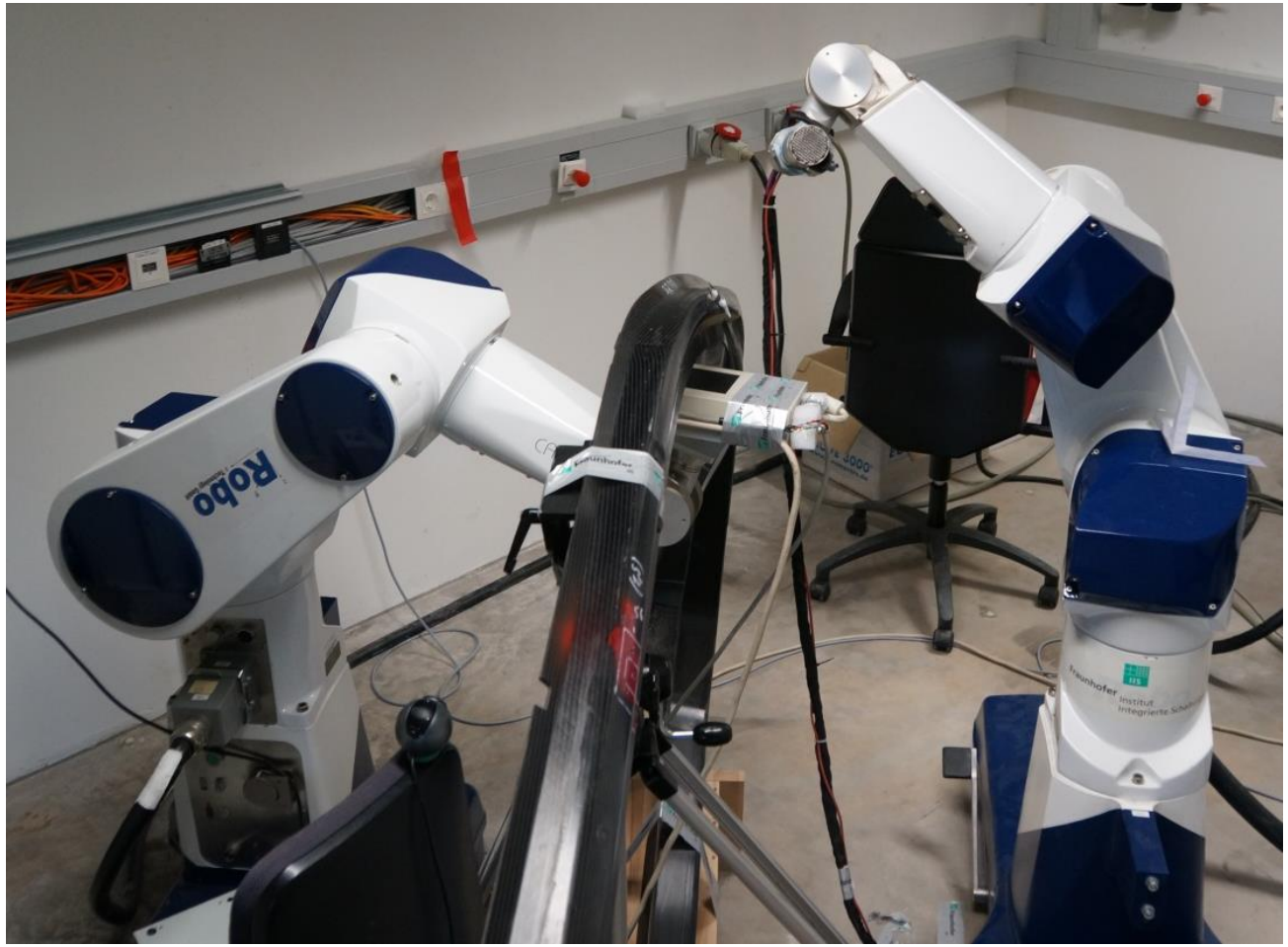
- auch ROI-Short-Scan genannt,
- bei Winkeln < 180°
- Reguläre axiale Computertomographie
- das Objekt rotiert auf einem Drehteller um weniger als 360°
- sehr hohe Bildqualität (vollständige CT ab 180° + x)
- erfordert Anlage mit langen Verfahrwegen ALLER Achsen



© Fraunhofer / BMW Group

ROBOTER-CT – i3 Seitenrahmen.

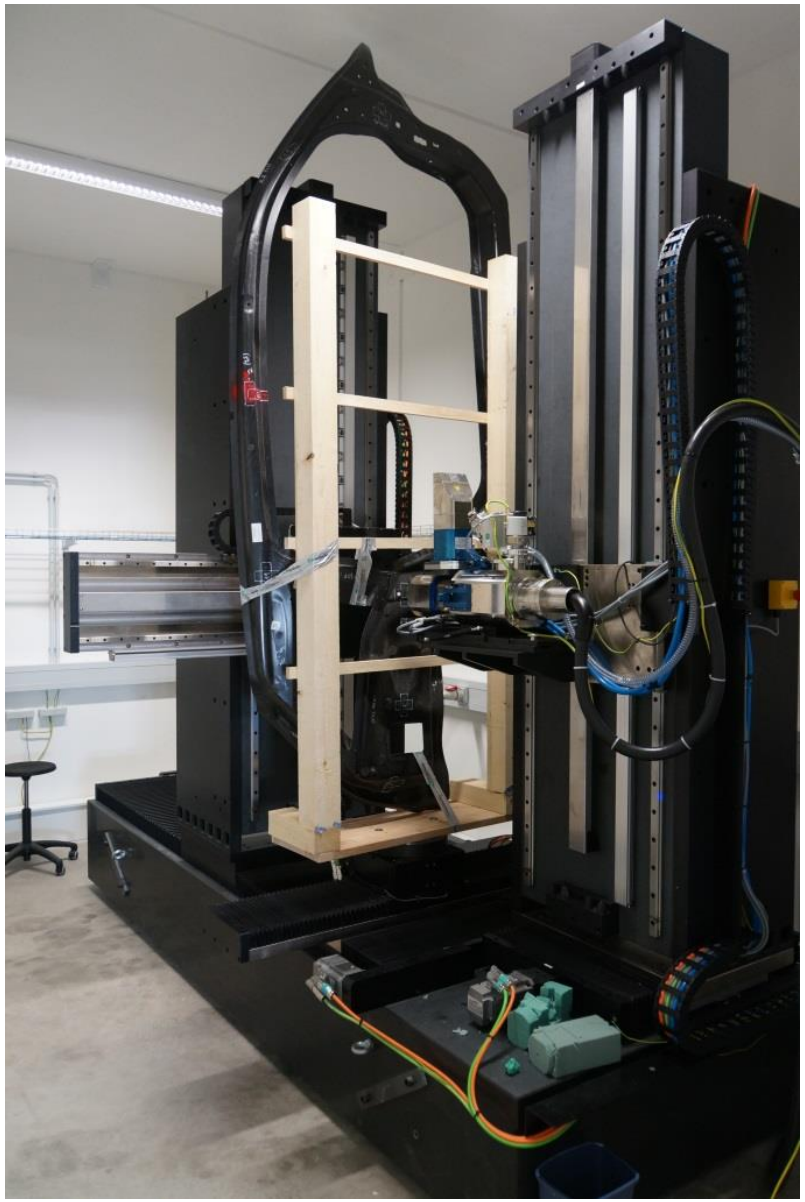
- Röhre und Detektor werden von mechanisch nicht verbundenen Robotern auf freien Trajektorien bewegt
- Hohe Zugänglichkeit
- Laminographie
- Limited Angle CT
- Kalibrierung auf wenige µm nicht endgültig gelöst



© Fraunhofer / BMW Group

TOMOSYNTHESE – i3 Seitenrahmen.

- Ähnlich Laminographie
- Röhre und Detektor fahren Trajektorien in parallelen Ebenen beidseits des Bauteils ab
- eingeschränkte Tiefenauflösung
- erfordert Anlage mit langen Verfahrwegen ALLER Achsen
- abgesehen von Achslängen etablierter Anlagenbau



© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

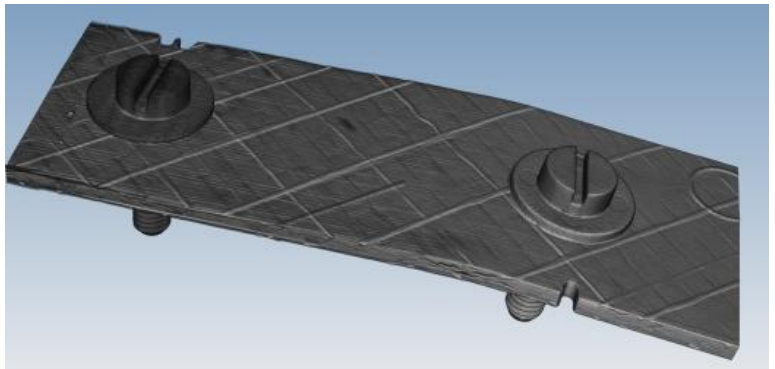
Beispielprobe #28

- Aus Realbauteil
- Gelege CFK
  +/-45°, 0°-Orientierungen
- Glasfaserhilfsfäden

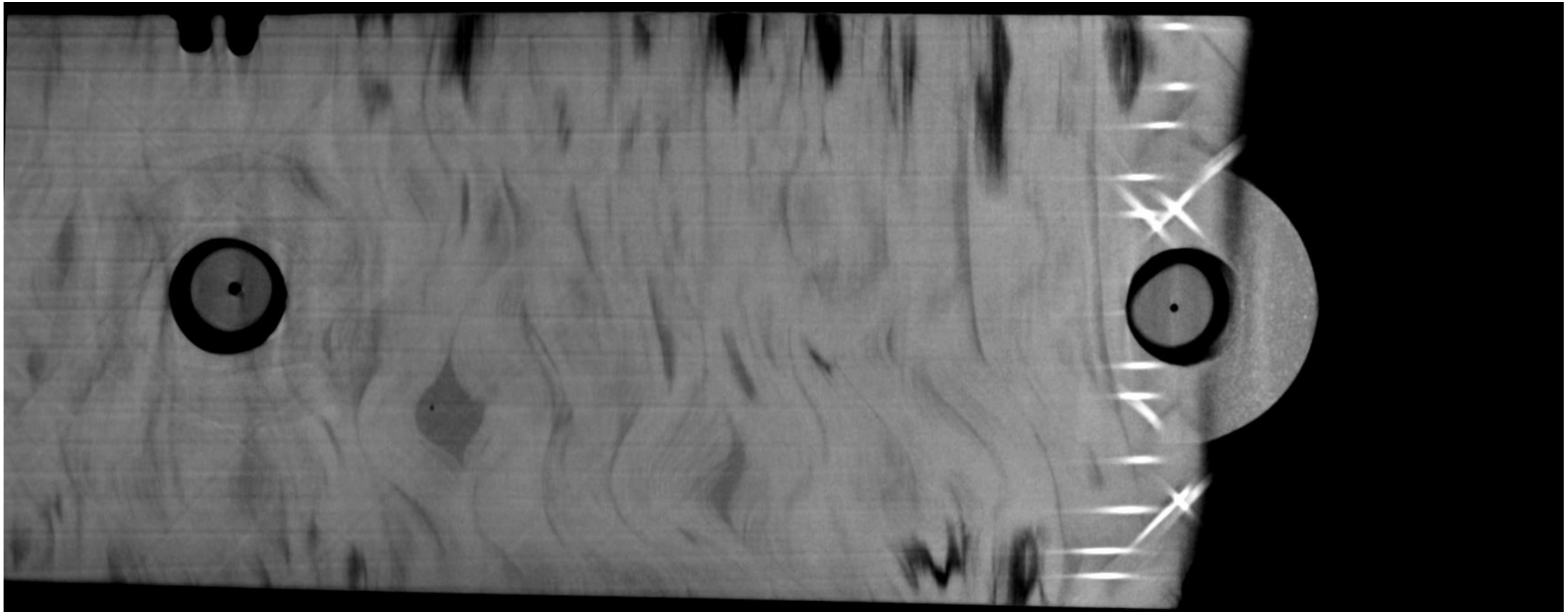
- In-plane - Ondulationen
- Trockenstellen

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.



µCT-Scan am Probeplättchen - Auflösung 45µm

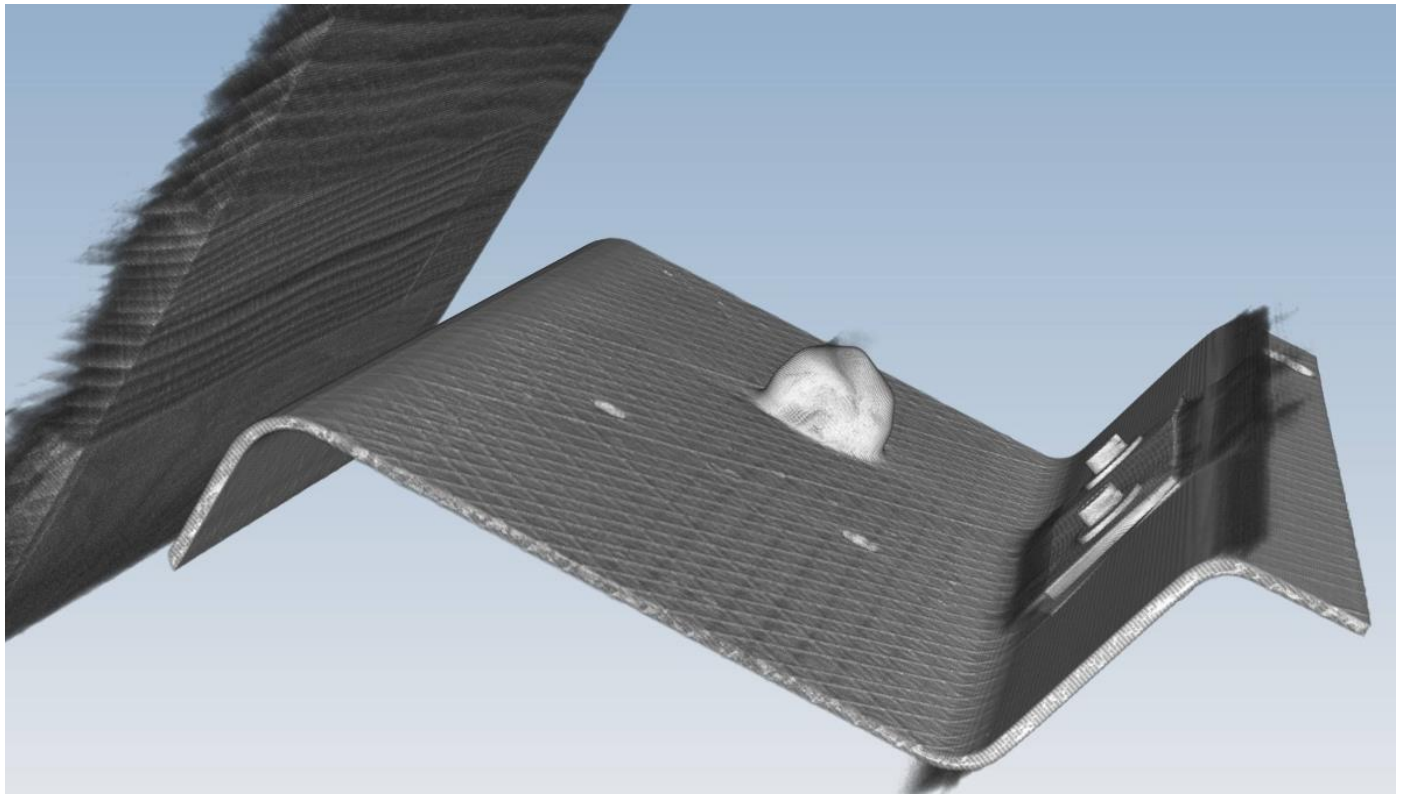


© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Short Scan am i3 Ringträger – Auflösung 100µm

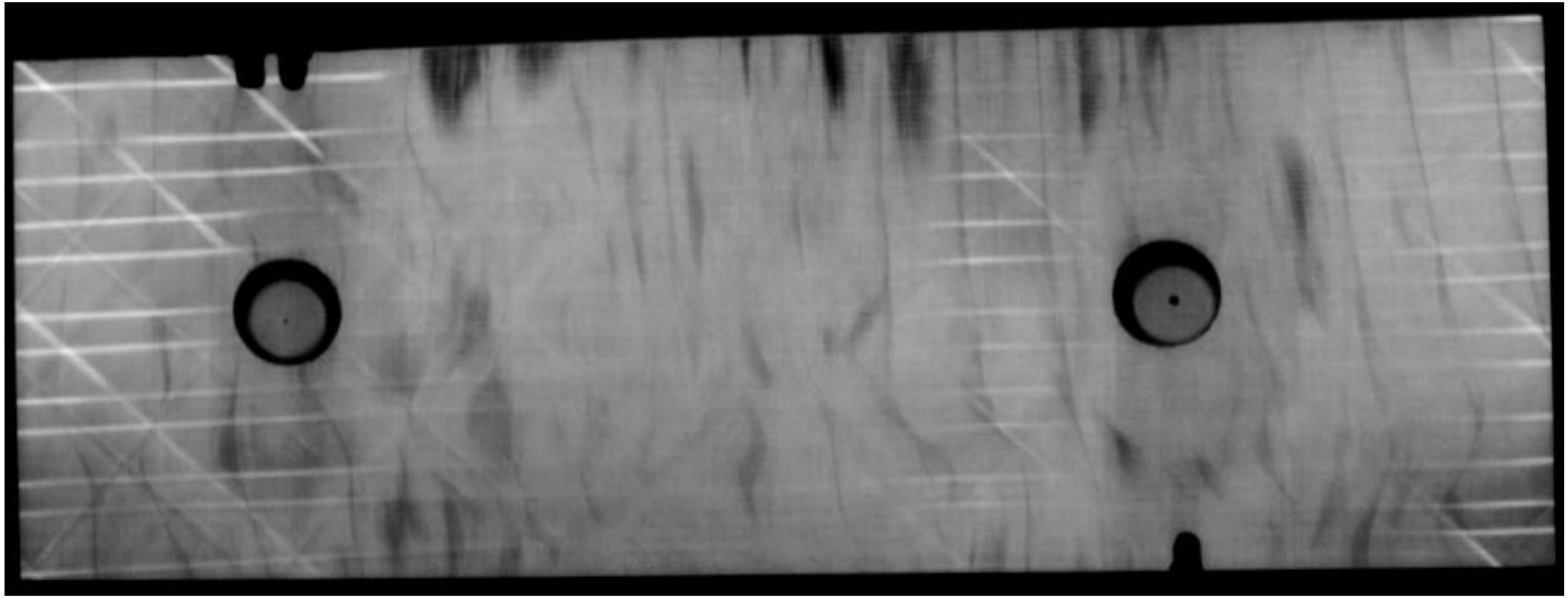
Probe #28; Messposition i3 Ringträger P18



© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Short Scan am i3 Ringträger – Auflösung 100µm

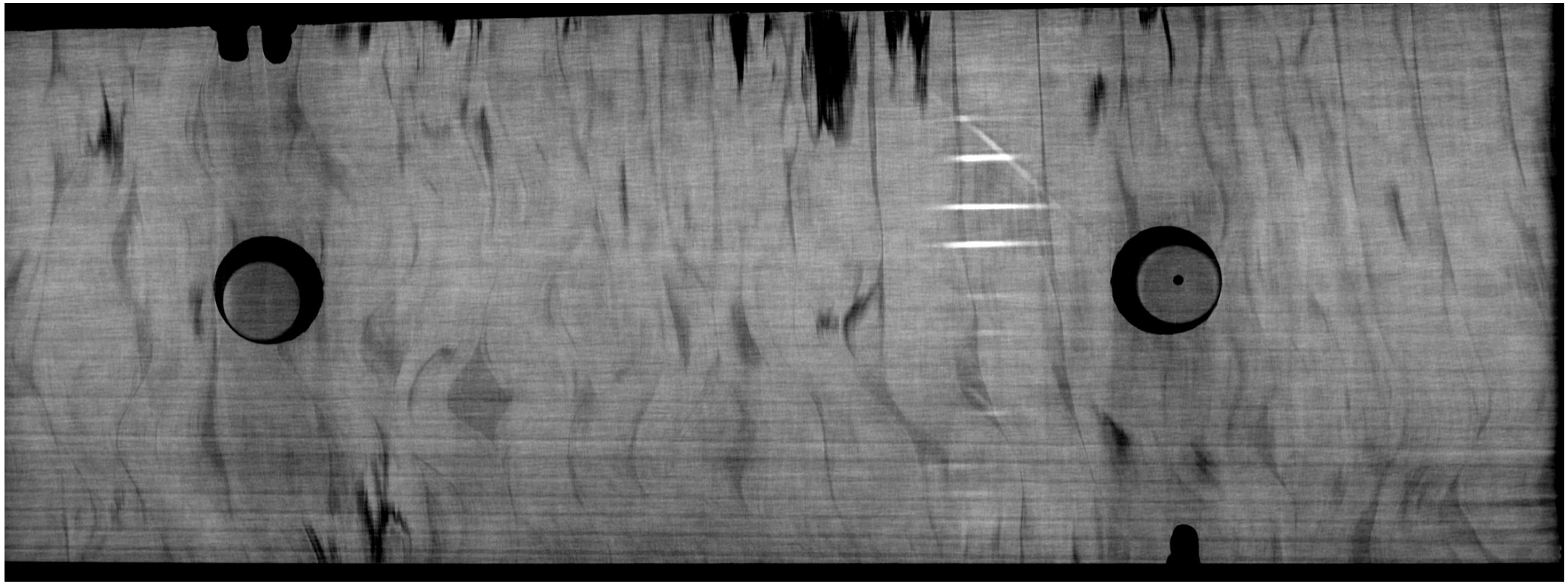


Probe #28; Messposition i3 Ringträger P18

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Short Scan am i3 Ringträger – Auflösung 40µm

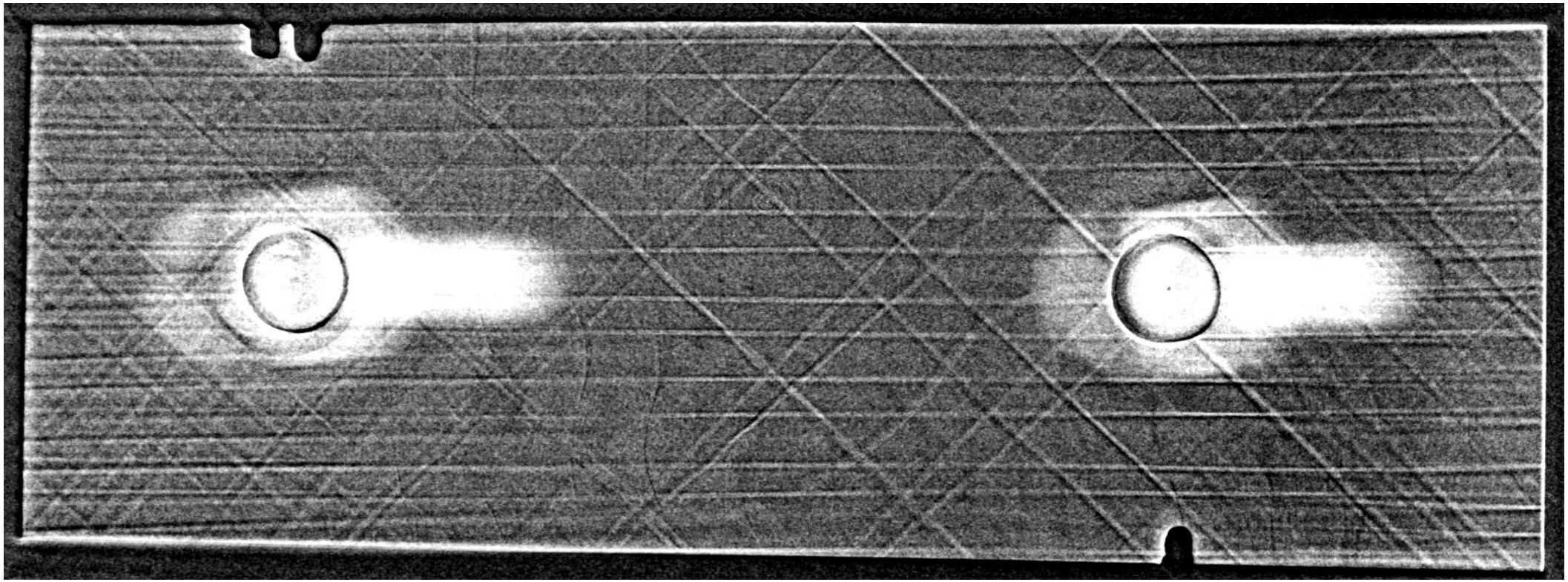


Probe #28; Messposition i3 Ringträger P18

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

CLARA-Scan am i3 Ringträger – Auflösung 50µm

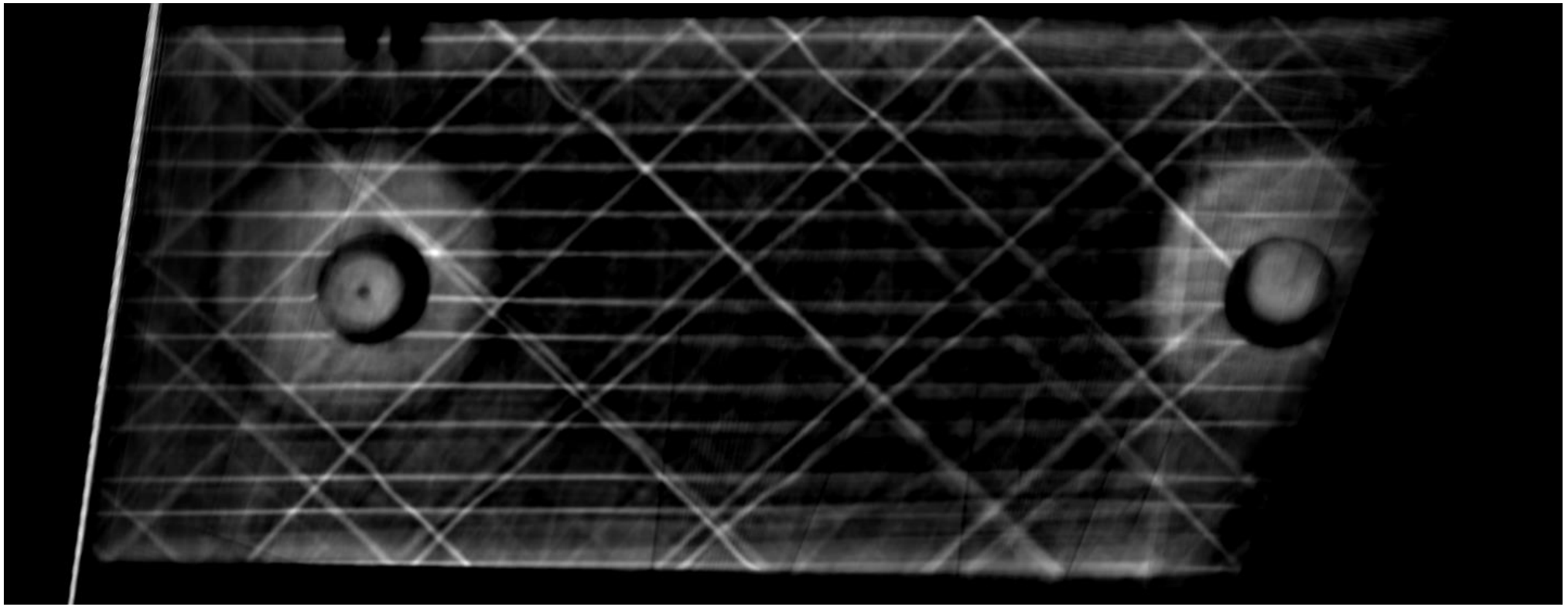


Probe #28; Messposition i3 Ringträger P12

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Robo-CT - Laminographie am i3 Seitenrahmen – Auflösung ca. 150µm

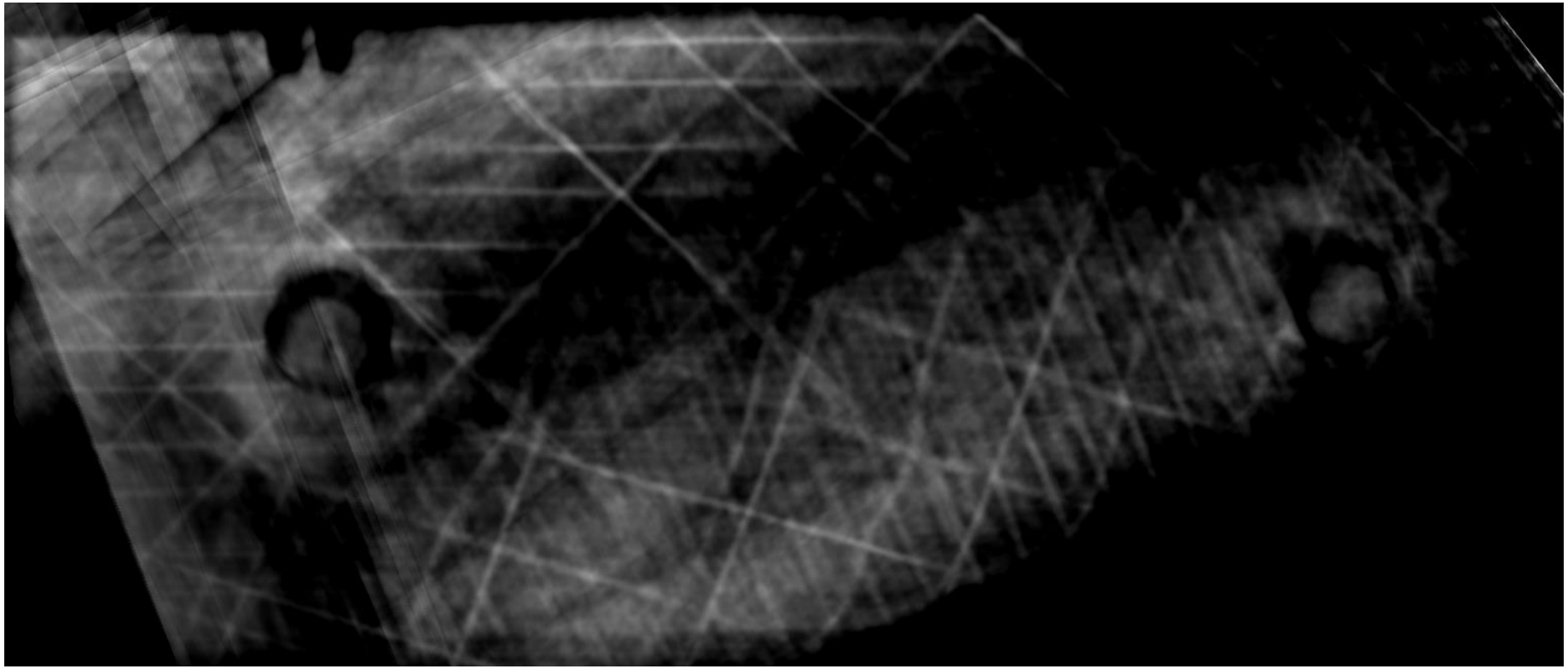


Probe #28; Messposition i3 Seitenrahmen P09

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Robo-CT - Short-Scan mit 140° am i3 Seitenrahmen – Auflösung ca. 150µm



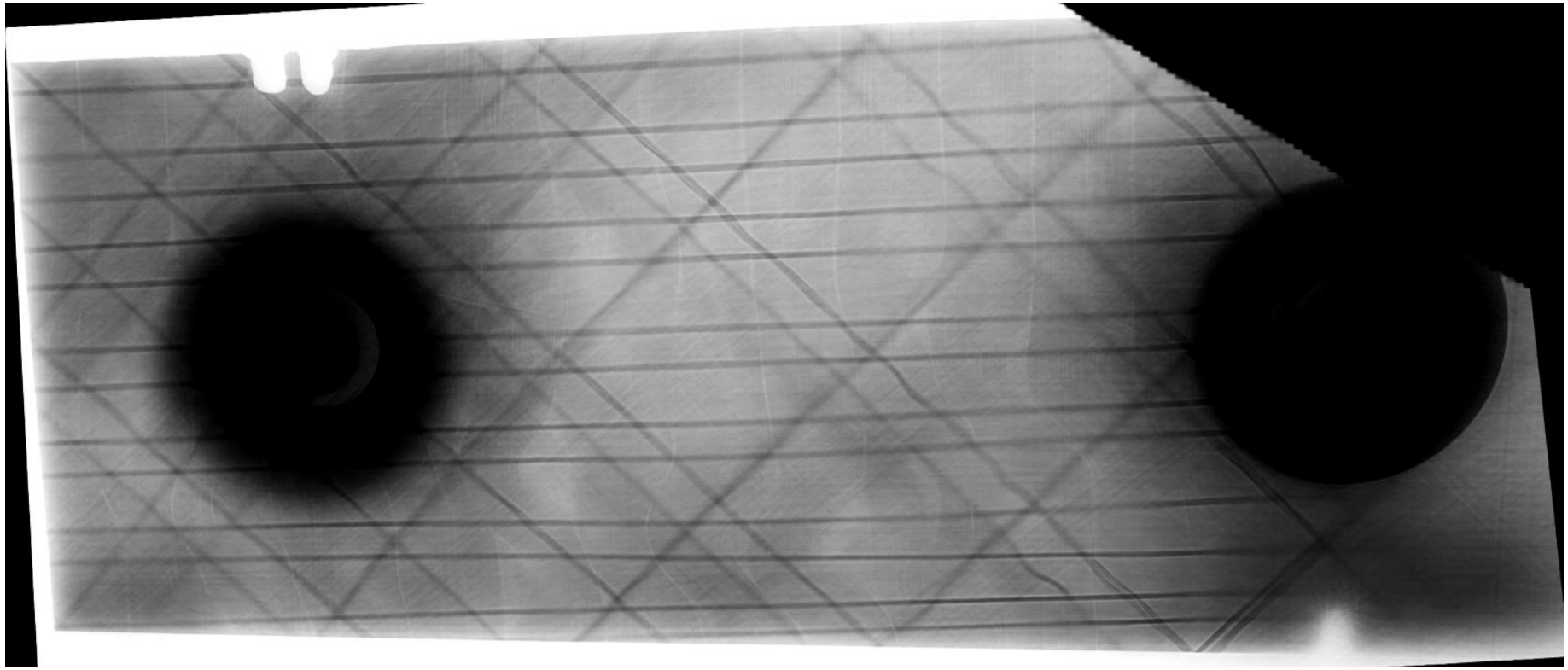
Probe #28; Messposition i3 Seitenrahmen P09

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Laminographie - Tomosynthese am i3 Seitenrahmen

Fokusebene parallel zur Probenfläche



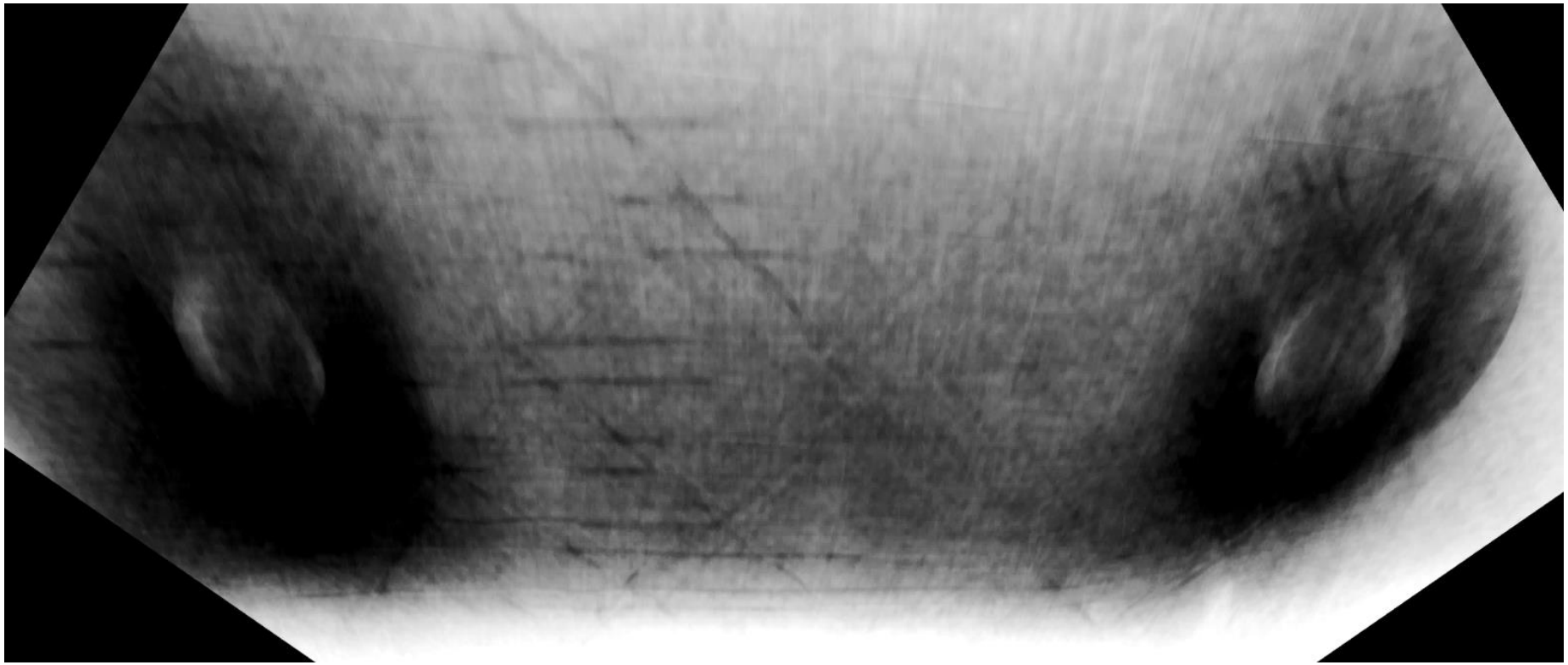
Probe #28; Messposition i3 Seitenrahmen P03

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse.

Laminographie - Tomosynthese am i3 Seitenrahmen

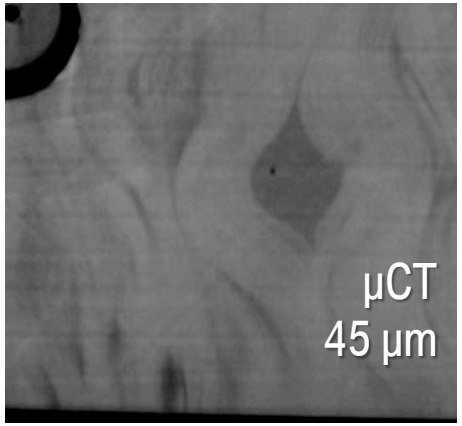
Fokusebene senkrecht zur Probenfläche

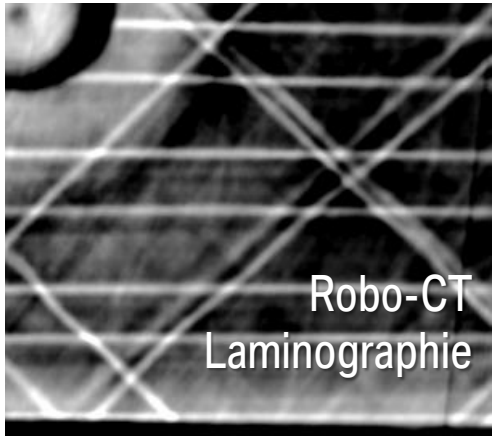


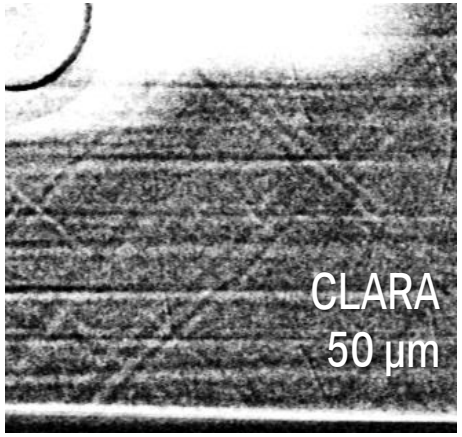
Probe #28; Messposition i3 Seitenrahmen P03

© Fraunhofer / BMW Group

Vergleich der Ergebnisse – Gegenüberstellung.

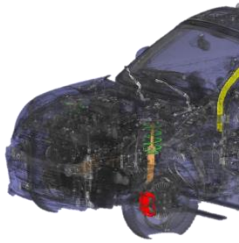






© Fraunhofer / BMW Group

FAZIT.



XXXL-CT am GFZ
MINI Roadster

- Robo-CT liefert bis auf ca.100 µm bis 200 µm bereits Ergebnisse, welche aber noch nicht den Ansprüchen genügen.
- Algebraische Rekonstruktion der Robo-CT reagiert sehr empfindlich auf die Kombination aus fehlender Information und Trunkierung des Bauteilröntgenbildes.
- Aussagekraft der laminographischen Methoden (CLARA, Tomosynthese, Robo-CT Lamino) ist stark von der Ausrichtung der ROI abhängig.
- CLARA liefert bei einem verhältnismäßig einfachen Anlagenaufbau schnell gute Ergebnisse, erfordert jedoch große Standflächen.
- Limited-Angle-CT bis hin zum Short-Scan liefern mit Abstand die besten Ergebnisse, die auch einer reinen µCT der einzelnen Probenplättchen kaum nachstehen, erfordern jedoch exotisch flexible und große Anlagen!

XXXL-CT am GFZ i3

© Fraunhofer / BMW Group

AUSBLICK.

- Positiver Abschluss des Projektes.
  - Alle BMW-CFK-Bauteile sind mittels ROI-Short-Scan-Messung auf diesem Auslösungsniveau am Fraunhofer Institut EZRT in Fürth zerstörungsfrei prüfbar.

- Laminographie als Potential für flächige Komponenten weiterhin als Entwicklungsprojekt am Laufen.
  - Geschätzte Zeitverkürzung auf bis 1/10 der normalen Scanzeit.

- Roboter-CT ist noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium.
  - Denkbar aber ist die Weiterentwicklung für eine wiederkehrende Inline-Prüfung mit Vorkenntnissen der zu prüfenden Merkmale.
  - Ein weiterer Benefit wäre ein vollautomatischer CT-Inline-Scan!
  - Weitere Entwicklungsprojekte gestartet.

© Fraunhofer / BMW Group

26. Februar 2016

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.

Dipl.-Ing.
Peter Jahnke
Teamleiter ZfP

Tel.: +49-89-382-13770
peter.jahnke@bmw.de

Technische Integration
Labortechnik München Nichtmetall - ZfP
80788 München, Petuelring 130

A major part of this paper was supported via a grant by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the frame of project MAIzfp within the leading edge cluster MAI Carbon (http://www.mai-carbon.de).

GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gefördert durch Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie