

# Ausgewählte Anwendungen der Durchstrahlungsprüfung im Leichtbau

Thomas WENZEL \*, Thomas STOCKER \*

\* Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Fürth

## Kurzfassung

Energieersparnis und effizienter Einsatz von Ressourcen - dieses Thema steht im Automobil- und Luftfahrzeugbau ganz oben auf der Agenda. Dabei geht es auch darum, das richtige Material an der richtigen Stelle einzusetzen und dabei auch die Grenzen der Werkstoffe zu gehen: Geringe Wandstärken, hohe Festigkeiten, hoher Materialmix und die entsprechenden Füge-technologien sind einige wichtige Schlagworte in diesem Zusammenhang. Diese Schlagworte stellen auch an die zerstörungsfreie Prüfung besondere Herausforderungen, um die Funktionalität und Sicherheit von Komponenten (z. B. komplexen Gussteile) und Fügestellen mit unterschiedlichen Materialien zu gewährleisten.

Um die Ziele in Bezug auf die Produktqualität zu erreichen, ist der Einsatz verbesserter ZfP-Methoden notwendig. Gleichzeitig müssen diese Verfahren besser mit dem Produktionsprozess verzahnt werden. Es gilt also auch Feedback-Schleifen zur Vermeidung von Ausschuss aufzubauen. Dies muss einen ebenso hohen Stellenwert haben.

Für den Bereich der ZfP-Verfahren, welche die Röntgentechnik einsetzen, bietet vor allem die Computertomographie ein großes Potenzial, um die oben genannten Zielsetzungen zu erreichen. Die Informationsdichte, die in den erzeugten Volumendaten enthalten ist, ermöglicht es, über die qualitative Aussage (Bauteil gut/schlecht) hinaus, auch quantitative Merkmale bestimmen. Diese sind für den Aufbau von Feedbackschleifen extrem wichtig.

Der Vortrag zeigt an ausgewählten Beispielen aus den Bereichen der automatischen Radioskopie, Inline-CT und XXL-CT welchen Beitrag die ZfP leisten kann, um Leichtbau zu realisieren und die Produktion energie- und ressourceneffizienter zu gestalten.

---

# AUSGEWÄHLTE ANWENDUNGEN DER DURCHSTRAHLUNGSPRÜFUNG IM LEICHTBAU

---



Dr. Thomas Wenzel, Dipl.-Inf. Thomas Stocker, Fraunhofer EZRT  
16. Seminar Aktuelle Fragen der Durchstrahlungsprüfung und des Strahlenschutzes  
3. April 2014, Leinfelden-Echterdingen

---

© Fraunhofer IIS

## Übersicht

- Motivation
  - Was bedeutet Leichtbau?
  - Warum Leichtbau?
  - Was Leichtbau mit ZfP zu tun?
- Was kann eine moderne ZfP leisten
  - Beiträge der ZfP zur Ressourcenschonung und Energieeffizienz
- Anwendungsbeispiele
  - Automatische Gussteilprüfung
  - InlineCT
  - XXL-CT
- Zusammenfassung und Ausblick

---

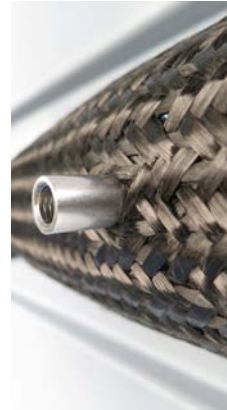
© Fraunhofer IIS 2 14.02.2014



## Motivation

### Was bedeutet Leichtbau?

- Mit dem Begriff Leichtbau ist Ziele verbunden, durch den Einsatz „neuer Materialien“ und Verwendung optimierter Herstellungsverfahren, eine Gewichtsersparnis bei Fahr- und Flugzeugen zu erreichen.
- Verstärker Einsatz von Faserverbundwerkstoffen (z. B. CFK), aber auch Leichtmetalle (Al + Mg) sowie Materialverbünde (Metall + CFK)
- Notwendigkeit nach verbesserten Herstellungsverfahren (z. B. Fügetechniken)



Mischbauweise: Stahl  
+ CFK

## Motivation

### Was bedeutet Leichtbau?

- Oberstes Ziel des Leichtbaus: Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses der Fahrzeuge durch verringerten Verbrauch.
- Leichtbau bedeutet jedoch auch erhöhten Energieaufwand in der Produktion!
- Wie funktioniert das Recycling von Verbundwerkstoffen am Ende des Produktlebens?
- Welchen Einfluss hat der Leichtbau auf den gesamten Fußabdruck eines Produkts aus Sicht des Energie und Ressourceneinsatzes?

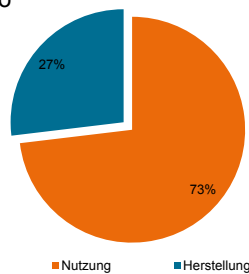


Leichtbaurad aus  
faserverstärkten  
Kunststoffen

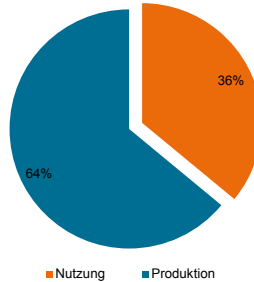
## Energiebilanz in der PKW-Produktion

### Leichtbau und seine Folgen

- Grundregel: Verbesserte Verbrauchswerte von Kraftfahrzeugen erhöhte Lebenszyklus-CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Produktion
- Energieaufwand bei der Produktion am Beispiel des VW Golf A4, 1.4 l 55 kW Otto



Quelle: Sachbilanz des Golf A4



Quelle: BMBF-Projekt „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“

© Fraunhofer IIS 5 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## Auswirkungen des Einsatzes neuer Materialien auf die Energiebilanz

### Leichtbau und seine Folgen

- Gegenüberstellung Nutzung <-> Herstellung / CO<sub>2</sub> Bilanz
- Pro kohlenfaserverstärktem Kunststoff (CFK):
  - Reduzierung des Verbrauchs
  - Reduzierung der Emissionen während des Betriebs
- Contra CFK:
  - Produktionsbedingter CO<sub>2</sub>-Ausstoss im Vergleich<sup>1</sup>:
 

pro Kilogramm Stahl	➔	2-6 Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente
pro Kilogramm Aluminium	➔	20-22 Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente
pro Kilogramm CFK-Werkstoff	➔	30-40 Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente

<sup>1</sup> Quelle: auto.de

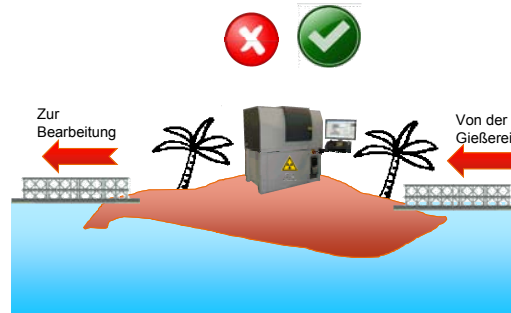
© Fraunhofer IIS 6 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## ZfP und Leichtbau

### Serien-Röntgenprüfung von Leichtmetallgussteilen heute

- Bewertung eines Bauteils im Sinne einer Gut/Schlecht-Entscheidung
- Rückmeldung der Stückzahlen in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE)
- Punktuell: Informationsübertragung an die Gießmaschine (Röntgen-bilder) und Erfassen von Trends
- → Umsetzung der Serien-ZfP ist als Insellösung realisiert



## ZfP und Leichtbau

### Was kann eine moderne ZfP im Leichtbau leisten?

- Um Leichtbau erfolgreich zu etablieren, müssen das Material bis an seine Grenzen beansprucht werden:
  - Verringerung der Wandstärken
  - Erhöhung der Festigkeitswerte durch spezielle Ur- und Umformverfahren
  - Unkonventionelle Materialverbünde inklusive der notwendigen Fügeverfahren
- Eine moderne ZfP insbesondere Produktionsintegrierte Verfahren müssen die Sicherheit dieser Leichtbauteile sicherstellen.
  - Erhöhung der Aussagekraft der Prüfergebnisse muss einen differenzierten Umgang mit potentielltem Ausschuss ermöglichen.
    - → Erhöhung der Energieeffizienz
    - → Ressourcenschonung
- Einsatz neuer Technologien muss zur Energie- und damit CO2-Einsparung führen
  - → Durchsatzerhöhung durch schnellere und gleichzeitig bessere Inspektionsverfahren
- Bessere Integration der ZfP in den Produktionsprozess hilft Ausschuss zu vermeiden, bevor er entsteht → Trenderkennung statt Reaktion

## ZfP und Leichtbau

### Beispiel Gussteileprüfung in der Serie

- Worin kann der Beitrag liegen?
  - Differenzierter Umgang mit potenziellem Ausschuss
    - → 3D-Lageabhängige Fehlergrößenkriterien
    - → Bewertung der Fehlerausprägung (z. B. Fadenlunker vs. kugelförmiger Lunker)
  - Berücksichtigung von Bearbeitungszugaben
  - Rückschluss auf Ursachen der Fehlerentstehung
    - Aufbau eines Regelkreises Gießerei
  - Trenderkennung
    - Frühzeitiges Erkennen von Anomalien, bevor eine Fehlerschwelle überschritten wird
  - Potenzial: Reduktion des Ausschusses um 30 %



## Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung

### Wo liegen die Aufgaben für die Umsetzung?

- Auf der Kundenseite (Automobilhersteller, Zulieferer, ...)
  - Veränderung der Toleranzgrenzen in Bezug auf relevante Defektgrößen
    - Lageabhängige Definition
    - Bewertung des „Effect of Defect“
  - Prüfgerechtes Design
- Auf der Seite der Gerätehersteller
  - Bereitstellung von Prüfsystemen, die die Vorgaben umsetzen können
    - → Im Anwendungsbereich der Röntgentechnik stellt Inline-CT eine leistungsstarke Lösung dar.
- Gemeinsam
  - Erarbeitung der notwendigen Standards

## Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung Inline-CT

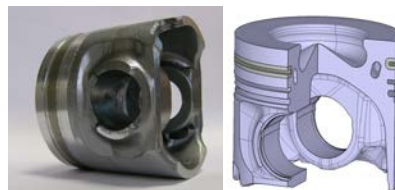
- Die Inline-CT kann die Aufgabenstellung erfüllen
  - Die Erfassung und Charakterisierung des Defektvolumens ist möglich
  - Informationen für die Ermittlung des „Effect of defect“ können abgeleitet werden
  - Ein differenzierter Umgang mit potenziellen Defekten ist realisierbar



3D-Visualisierung einer innenliegenden Ungänze

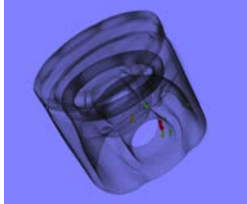
## Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung Inline-CT

- Umsetzung der InlineCT bei der Fa. MAHLE zur Kolbenprüfung
  - Ziele:
    - Ausschussreduktion
    - Verringerung Pseudofehleranfälligkeit (gegenüber Radioskopie)
    - Erhöhung der Anforderungen in der Prüfspezifikation
    - Ersatz von anderen Prüfmethode und Integration von mehreren Prüfaufgaben in einem System
  - Umsetzung: Prüfung von Dieselkolben in <30 s, Fehlerkennung und dimensionelle Messaufgabe
  - Ergebnis: Ziele erreicht, Messmittelfähigkeit nachgewiesen

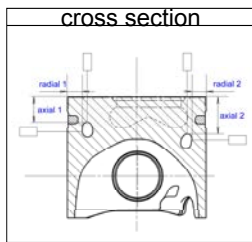
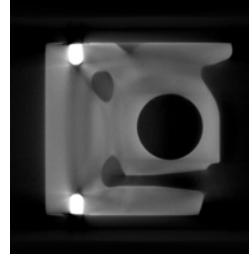


Diesel-Kolben der Fa. MAHLE

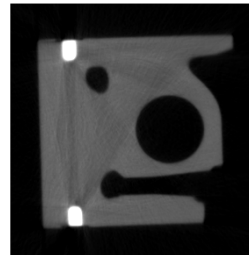
## Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung Inline-CT



Links: Visualisierung  
eines Ergebnisvolumens  
und Definition der  
Prüfaufgaben über CAD



Rechts:  
Qualitätsverbesserung bei  
Multimaterial-Kolben



© Fraunhofer IIS 13 14.02.2014

**MAHLE**  **Fraunhofer**  
Driven by performance **EZRT**

## Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung Inline-CT: Der Blick nach vorne



Messzeit 16 sec



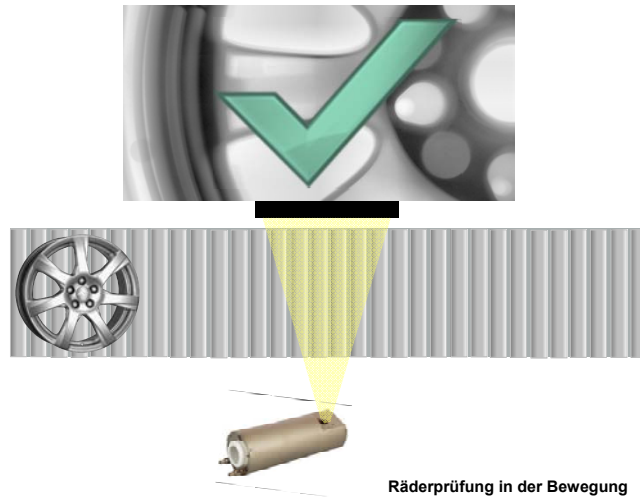
Messzeit 0,8 sec

© Fraunhofer IIS 14 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
**EZRT**



## Anwendungsbeispiel Räderprüfung Der Traum der Gießer: So soll die Prüfung ablaufen

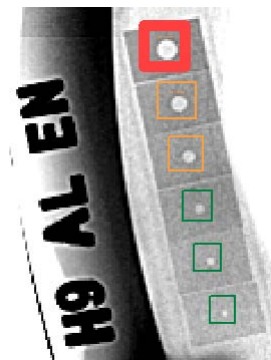


© Fraunhofer IIS 15 14.02.2014

**Fraunhofer**  
EZRT

## Anforderungen an moderne ADR Systeme Röntgenprüfung der nächsten Generation

- Ausnutzung der hohen Meßdynamik (16-Bit) moderner Detektoren (FlatPanel und XEye)
- Zuverlässige und Leistungsfähige automatische Detektionsverfahren
- Quantitative Analyse der Defektgrößen in Durchstrahlungsrichtung
- Prüfprogrammerstellung ohne Anlagenstopp
- Flexible und einfache Konfiguration durch den Benutzer



Darstellung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe des BPK gemäß EN 462

© Fraunhofer IIS 16 14.02.2014

**Fraunhofer**  
EZRT

## Einsatz moderner Detektortechnologie – XEye 4020

### Große Fläche, hoher Kontrast

Merkmale XEye 4020:

- Eingangsfläche 40 cm x 20 cm
- Deutlich höhere Dynamik als Bildverstärker, welche die gleichzeitige Abbildung großer Wandstärkenunterschiede erlaubt
- Nabenbereich und Speichen können in der selben Prüfposition aufgenommen werden
- Strahlenresistenz (Empfindliche Komponenten sind abgeschirmt), Haltbarkeit min. 10 Jahre
- Keine Verzerrungen und Helligkeitsschwankungen



XEye für die Räderprüfung

© Fraunhofer IIS 17 14.02.2014

**Fraunhofer**  
EZRT

## Gussteileprüfung: nächste Generation

### Mehr Durchsatz durch alternative Komponenten



Röntgenprüfung von Fahrwerksteilen in der Bewegung

© Fraunhofer IIS 18 14.02.2014

**Fraunhofer**  
EZRT

## Neue Möglichkeiten für große Bauteile High Energy XXL-CT Evolution



Umsetzung der XXL-CT beim Fraunhofer EZRT am Standort Fürth-Atzenhof

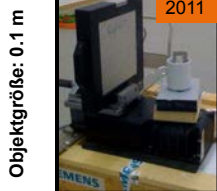
© Fraunhofer IIS 19 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT Evolution



Objektgröße: 1.8 m



Objektgröße: 0.1 m

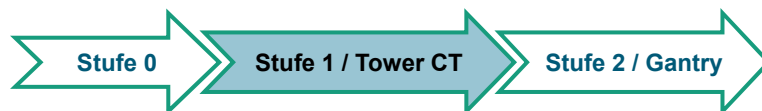


Objektgröße: 3.9 m

© Fraunhofer IIS 20 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT



## High Energy XXL-CT Tower-CT: 2D-Scan Motorrad I



Radioskopie eines Motorrads (330  $\mu\text{m}$  Pixelgröße)

## High Energy XXL-CT Tower-CT: 2D-Scan Schaufelbagger

Fraunhofer  
EZRT



Radioskopie eines Baggers

© Fraunhofer IIS 23 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT Hinterwagen PKW

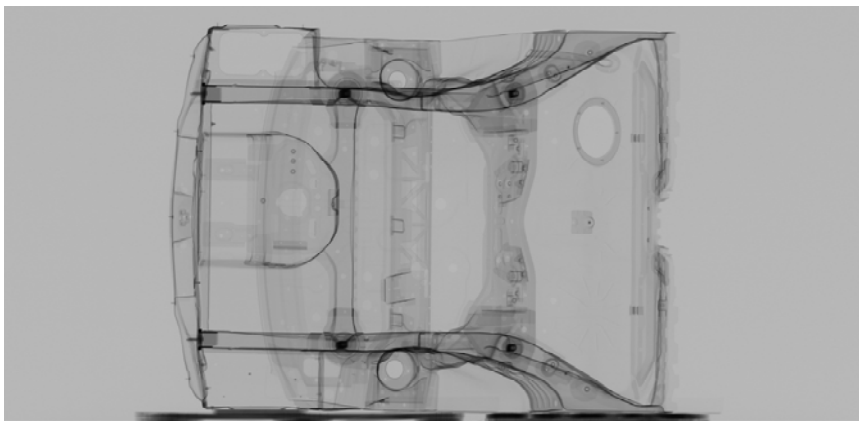


Messaufbau zur CT eines PKW-Hinterwagens

© Fraunhofer IIS 24 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT Hinterwagen PKW - Radioskopie



Radioskopie des Hinterwagens

© Fraunhofer IIS 25 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT Hinterwagen PKW - Rekonstruktion

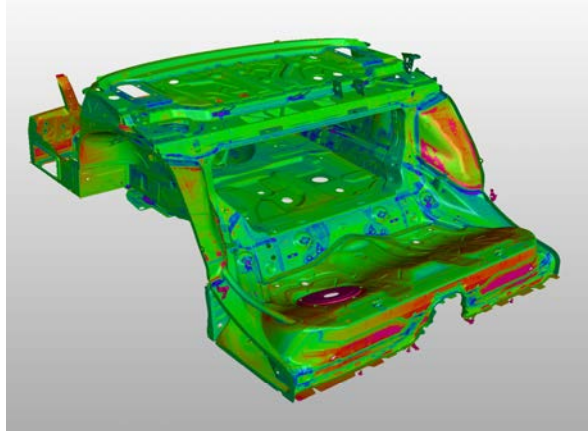


3D-Visualisierung der Rekonstruktion des Hinterwagens

© Fraunhofer IIS 26 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT Soll-Ist-Vergleich



3D-Visualisierung des Soll-Ist-Datenvergleiches des Hinterwagens

© Fraunhofer IIS 27 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT 10' Frachtcontainer

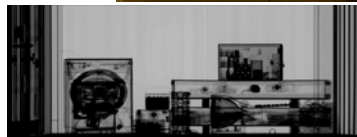
erhöhen von  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Erhöhung der Container-Sicherheit durch berührungslose Inspektion im Hafen-Terminal

### Erste Messungen an einem Testcontainer

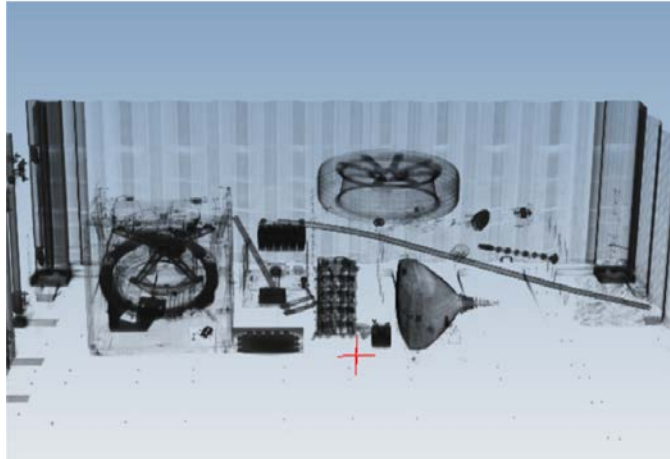
Inhalt:



© Fraunhofer IIS 28 14.02.2014

Fraunhofer  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT 10' Frachtcontainer

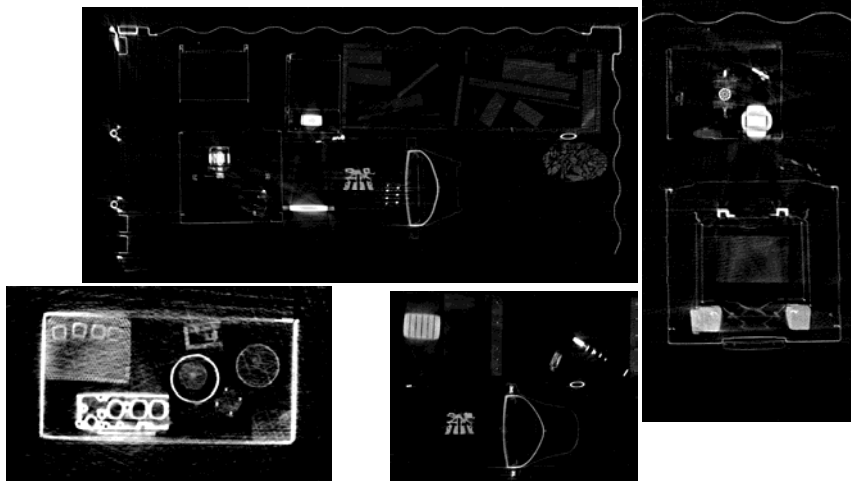


3D-Visualisierung einer Rekonstruktion des Testcontainers

© Fraunhofer IIS 29 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT

## High Energy XXL-CT Tower-CT 10' Frachtcontainer



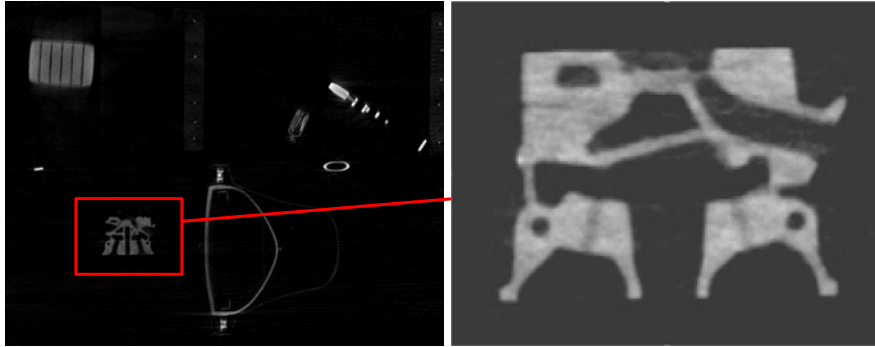
Ausgewählte Schichten aus der Rekonstruktion des Testcontainers

© Fraunhofer IIS 30 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT



## High Energy XXL-CT Tower-CT 10' Fracht-Container



Schichtweise Darstellung eines Zylinderkopfs im  
Gesamtdatensatz des Testcontainers

© Fraunhofer IIS 31 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT

## XXL CT Ein fahrbereites Auto: Audi A1



Aufbau zur CT-Messung eines fahrbereiten PKW

© Fraunhofer IIS 32 14.02.2014

 **Fraunhofer**  
EZRT

## High Energy XXL-CT



## XXL-CT Stage 2 – Gantry CT

Gantry-CT



34

## Zusammenfassung und Ausblick

- Leichtbau kann ohne moderne ZfP nicht erfolgreich umgesetzt werden
- ZfP kann um den Aspekt der Energieeffizienz und Ressourcenschonung erweitert werden und einen Beitrag dazu leisten.
- Die Inline-CT verfügt über den notwendigen Funktionsumfang.
- Notwendigkeit: die Schaffung der entsprechenden Qualitätsstandards, welche u. a. den „Effect of defect“ berücksichtigen.
- Das EZRT verfügt mit der XXL-CT und weiteren Verfahren und Systeme die den Anforderungen des Leichtbaus gerecht werden.
- Auswerteverfahren für komplexe Materialverbünde stehen im Zentrum der weiteren Entwicklung
- Durchsatzerhöhung durch Einsatz verbesserter Komponenten verbessert auch den Fußabdruck der Produktion

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

