

Anwendung hochenergetischer Strahlungsquellen

Norman UHLMANN*, Uwe EWERT**, Wilfried HANSEN***

* Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT (Dr.-Mack-Str. 81, 90762 Fürth, norman.uhlmann@iis.fraunhofer.de)

** Bundesanstalt für Materialprüfung BAM (Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, uwe.ewert@bam.de)

*** GfR Gesellschaft für Radiographie mbH (Am Walzwerk 41, 45527 Hattingen, w.hansen@gfr-hattingen.de)

Kurzfassung. Der Vortrag beschäftigt sich zunächst mit den Grundlagen der Strahlungserzeugung unter Nutzung eines Vergleichs der niederenergetischen Röntgentechnik mit hochenergetischer Strahlungserzeugung (Linarbeschleuniger, Betatron) und geht kurz auf die Besonderheiten der Wechselwirkungen hochenergetischer Röntgenstrahlung mit Bezug auf die Bildgebung ein. Anschließend werden verschiedene Anwendungsszenarien zweidimensionaler Techniken mit Diskussion zur Bildqualität vorgestellt (Schweißnahtprüfung, Funktionsprüfung). Im Zuge eines vor-Ort-Einsatzes eines Betatrons wird auch auf Aspekte des Strahlenschutzes eingegangen. Den Abschluss bilden Anwendungen sowie ein Ausblick in die Zukunft mit 3D-Verfahren (Linarbeschleuniger) an Gussteilen (Zylinderkopf, Bleilegierung), in der Sicherheitstechnik (Containerprüfung) und in der Prototyp-Erstbemusterung (PKW).

ANWENDUNG HOCHENERGETISCHER STRAHLUNGSQUELLEN

Grundlagen und Beispiele



Dr. N. Uhlmann, Prof. Dr. U. Ewert, W. Hansen

© Fraunhofer EZRT



ANWENDUNG HOCHENERGETISCHER STRAHLUNGSQUELLEN

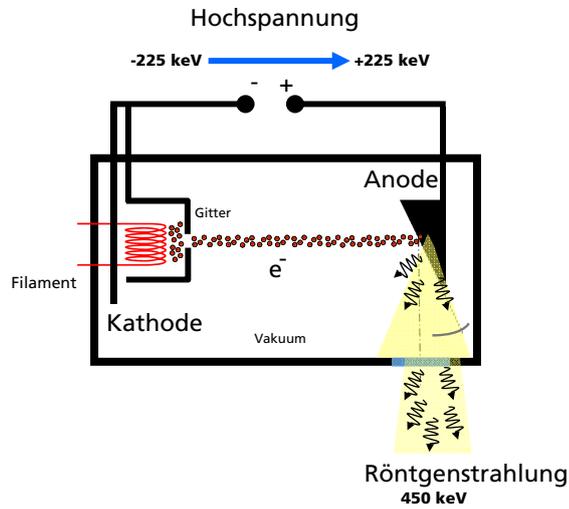
1. Physik und Grundlagen
 - Betatron
 - Linearbeschleuniger
2. Anwendungen in der Radiographie
 - Schweißnahtprüfung
 - Film, Speicherfolien und digitale Detektoren
 - Funktionsprüfung
3. 3D-Anwendungen
 - Untersuchung von Gussteilen
 - Sicherheit – Untersuchung von Frachtcontainern
 - Erstbemusterung von PKW-Prototypen

© Fraunhofer EZRT



1. Physik und Grundlagen

Klassische Röntgenstrahlung

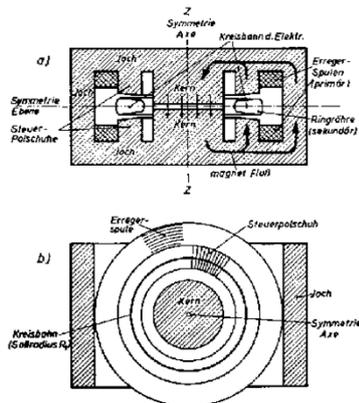


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

1. Physik und Grundlagen

Betatron



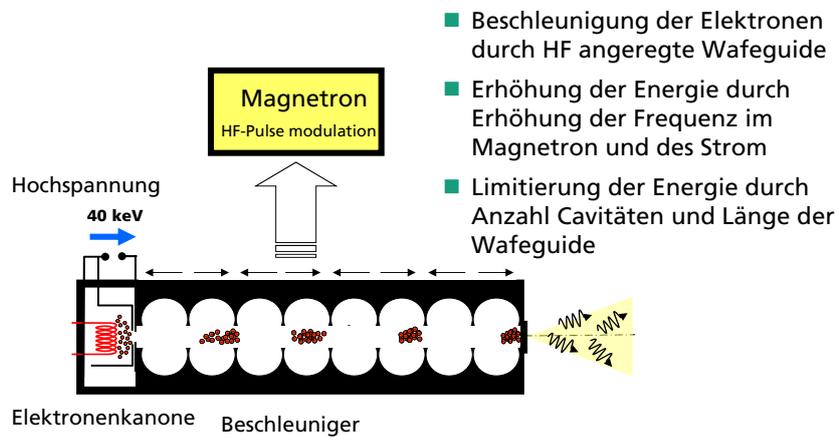
Funktionsprinzip
sich zeitlich änderndes Magnetfeld

- induziert ein elektrisches Feld in der Vakuumröhre
- Elektronen werden auf Kreisbahn ' beschleunigt
- Elektronen »streifen« das Target – Röntgenstrahlung entsteht

© Fraunhofer EZRT

BAM Fraunhofer
EZRT

1. Physik und Grundlagen Linearbeschleuniger (Linac)

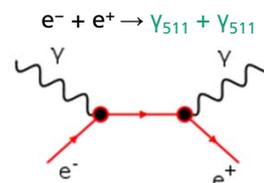
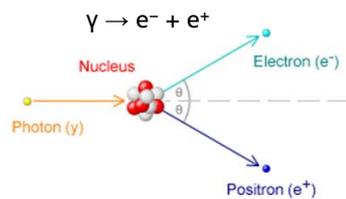


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

1. Physik und Grundlagen Linearbeschleuniger (Linac)

- Klassische Absorptionsmechanismen bei niedriger Energie:
 - Photoelektrischer Effekt
 - Compton- und Rayleighstreuung
- Absorption durch Paarbildung von Photonen oberhalb 1,022 MeV
- Elektron-Positron-Annihilation →
Erzeugung von Röntgenstrahlung in durchdrungener Materie



© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

1. Physik und Grundlagen Betatron

Am High Energy X-Ray Laboratorium (HEXY-Lab) der BAM stehen zur Verfügung

- Portable / mobile Röntgenstrahler (2,5 MeV und 7,5 MeV)
- Ersatzvariante für Co60- Gammastrahler
2,5 MeV vergleichbar mit Co60, 1500 GBq
- großer Wanddickenbereich = DIN 17636: (A) $w > 50$ mm, (B) $w > 80$ mm
- besserer spezifischer Kontrast bzw. Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis
- Prüfung druckführender, dickwandiger Komponenten
 - Ersatz manueller Wartungsarbeiten,
 - Funktionsprüfungen
 - Inspektion von Ventil- und Pumpenhäusen

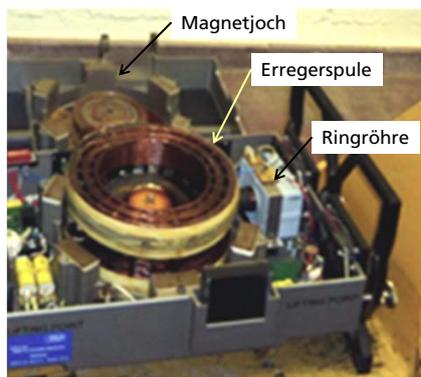
© Fraunhofer EZRT



1. Physik und Grundlagen Betatron



Ringröhre



Magnetjoch

Erregerspule

Ringröhre

© Fraunhofer EZRT



1. Physik und Grundlagen

Betatron

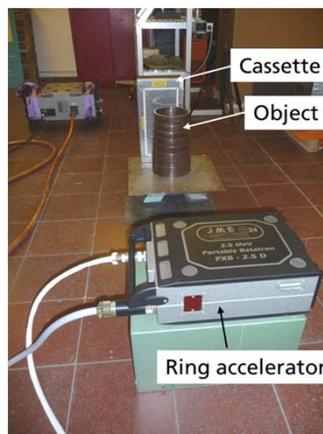
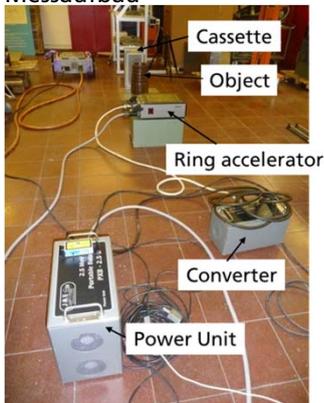


Technische Parameter	Betatron 2,5 MeV	Betatron 7,5 MeV
Energy	1,0 and 2,5 MeV	2,0 and 7,5 MeV
Exposure Dose Rate	0,7 R/min @ 1 m	5 R/min @ 1 m (measured: 6 R/min)
Focal Spot size	0,2 x 2 mm	0,3 x 3 mm
Duty cycle	45 min. operation 15 min. break	40 min. operation 20 min. break
Power consumption AC (1-phase)	1 kW	2 kW
Weight of the radiator	31 kg	105 kg

1. Physik und Grundlagen

Betatron

Messaufbau



1. Physik und Grundlagen Fraunhofer in Fürth

CT Portable



50 keV



XXL-CT

9 MeV

© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

1. Physik und Grundlagen Linearbeschleuniger (Linac)

Testhalle Fraunhofer EZRT:

■ Abschirmung:
Beton und Elektroofenschlacke

■ Abmessungen:
20 x 20 x 16 m

Röntgenquelle:

■ SILAC – 9 MeV

Detektoren:

Perkin Elmer Flat-Panel

■ 840

■ 1640



© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

2. Anwendungen in der Radiographie Schweißnahtprüfung

Für die Schweißnahtprüfung kann man einen 9 MeV-Linac im Bereich von 30 mm bis 500 mm sinnvoll einsetzen.

Beispiel für die Wirtschaftlichkeit des Beschleunigers für die Prüfung einer Stützeinschweißung:

Linearbeschleuniger:

Abstand: FFA = 2000 mm
 Filmtyp: Agfa D3
 Zeit: 20 Sekunden

Kobalt 60 (3700 GBq):

Abstand: FFA = 1200 mm
 Filmtyp: Agfa D5
 Zeit: 50 Minuten



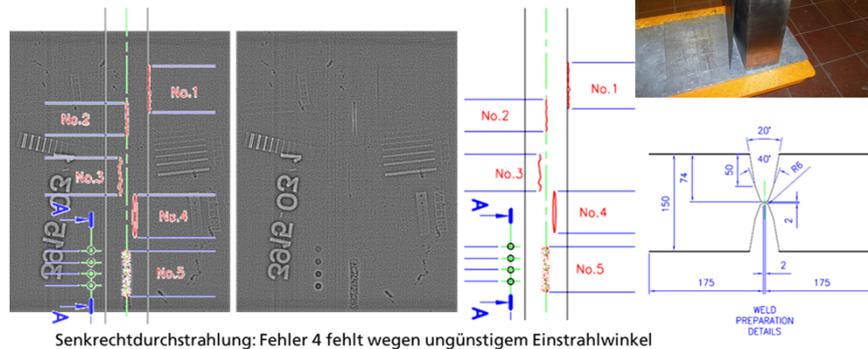
© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Schweißnahtprüfung

LINAC, 10,5 MeV, Sn-filter 1 mm, Fe-Folien 0,5 mm

Schweißprobe: 150 mm, Speicherfoliensystem: Dürr, ST VI



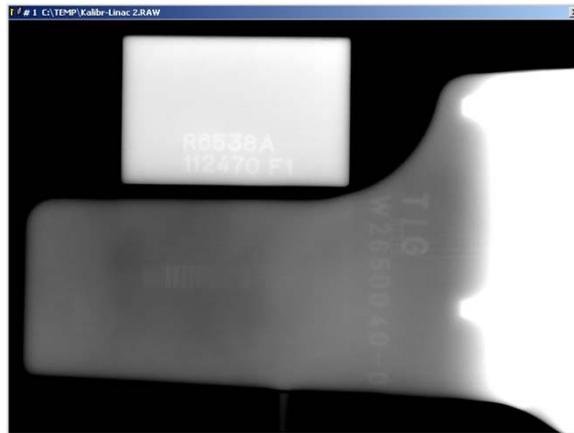
© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Film, Speicherfolien und digitale Detektoren

Speicherfolienaufnahme
(Linac 9 MeV) von einem
45 bis 70 mm dicken
Prüfabschnitt

Unscharf dargestellte
Kanten bei Aufnahmen
mit Speicherfolie



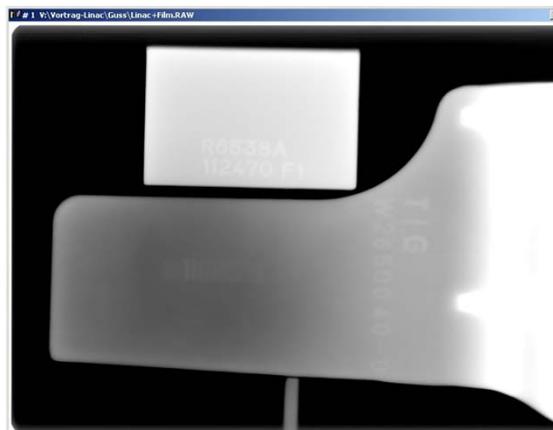
© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Film, Speicherfolien und digitale Detektoren

Filmaufnahme
(Linac 9 MeV) von einem
45 bis 70 mm dicken
Prüfabschnitt

Schärfere Kanten, weil der
Film eine geringere
Empfindlichkeit gegenüber
weicherer Streustrahlung hat.



© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Film, Speicherfolien und digitale Detektoren

Die aufwendige Maskierung bei kompliziert geformten Gussteilen sowie die hohen Anforderungen an die zu erreichende Auflösung nach EN 462 Teil 5 führen dazu, dass in der Hochenergie-technik immer noch mit Röntgenfilmen gearbeitet wird.

In der Schweißnahtprüfung kann wegen der im Vergleich zum Guss einfachen Bauteilgeometrie allerdings in naher Zukunft daran gedacht werden, die Filme durch Speicherfolien zu ersetzen. Voraussetzung hierfür ist das in Kraft treten der neuen

DIN-EN- ISO 17636 Teil 2

Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung und Gammastrahlungstechniken unter Anwendung digitaler Detektoren

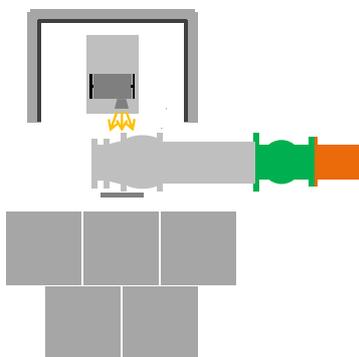


© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Funktionsprüfung

Betatron Vor-Ort-Einsatz – Kühlmittelpumpe im KKW

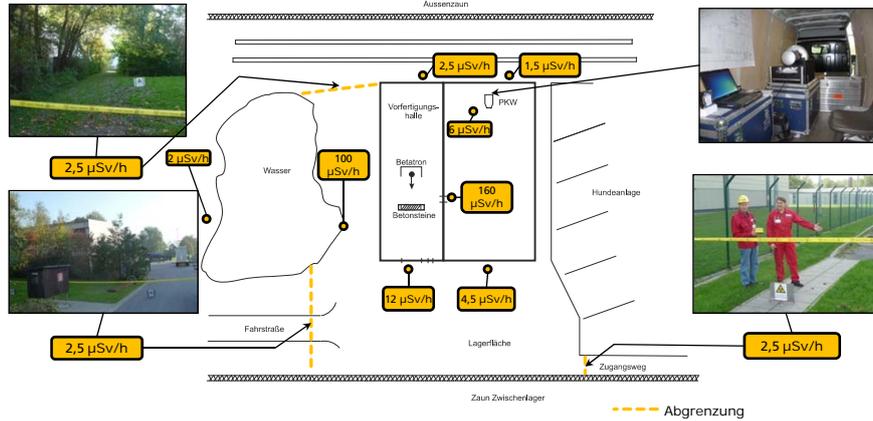


© Fraunhofer EZRT



2. Anwendungen in der Radiographie Funktionsprüfung

Betatron Vor-Ort-Einsatz – Kühlmittelpumpe im KKW – Strahlenschutz (7,5 MeV)

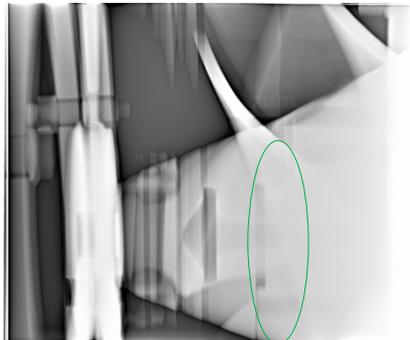


© Fraunhofer EZRT

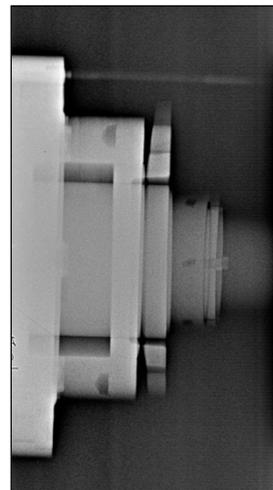


2. Anwendungen in der Radiographie Funktionsprüfung

Betatron Vor-Ort-Einsatz – Kühlmittelpumpe im KKW
Funktionsprüfung anstatt manueller Wartungsprüfung



Abstandmaß zwischen Welle und Rotorblatt



Verschraubung und Sitz der Muffenverbindung

© Fraunhofer EZRT



3. 3D-Anwendungen Ausbaustufe »0« in Fürth



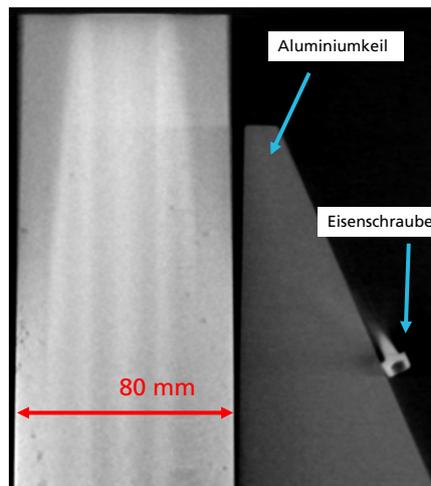
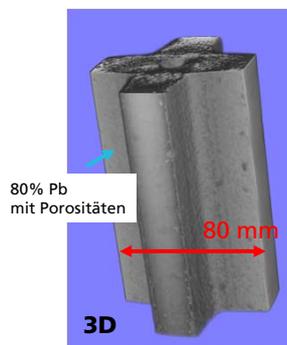
- Objekte bis 100 kg
- Messfeld für CT bis zu \varnothing 60 cm
- Objekthöhe pro Scan 35 cm
- Energien: < 9 MeV
- Durchstrahlbare Materialdicken:
 - Eisen: > 15 cm
 - Aluminium: > 60 cm Al
- Auflösungen: > 350 μ m / pro Voxel
- Messdauer je nach Anwendung ab 45 Min.

© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

3. 3D-Anwendungen Untersuchung von Gussteilen

Bleilegierung

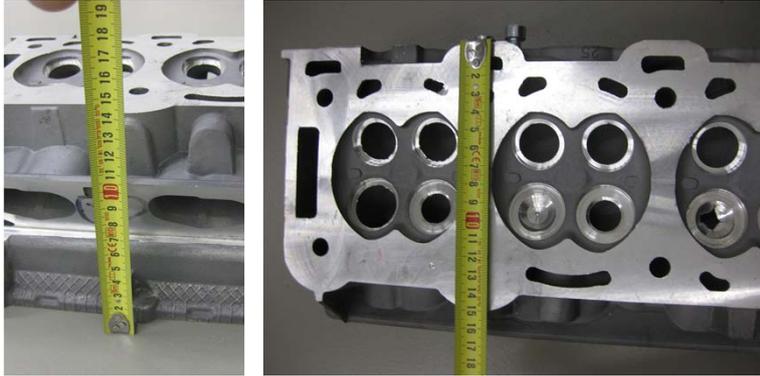


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

3. 3D-Anwendungen Untersuchung von Gussteilen

Leichte Materialien mit großen
Durchstrahlungslängen

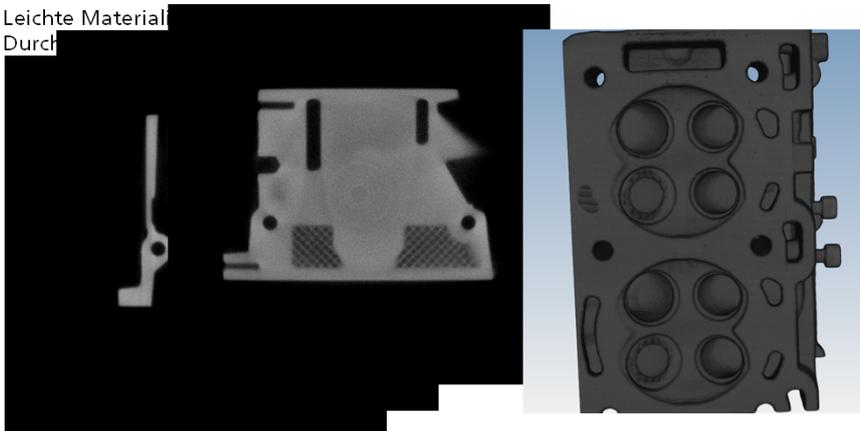


© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

3. 3D-Anwendungen Untersuchung von Gussteilen

Leichte Material
Durch



© Fraunhofer EZRT

Fraunhofer
EZRT

3. 3D-Anwendungen

Untersuchung von Frachtcontainern – Projekt ECSIT



Erhöhung der Containersicherheit durch berührungslose Containerinspektion im Hafenterminal



Erhöhung der Containersicherheit durch berührungslose Inspektion im Hafenterminal

Teilvorhaben EZRT: 3-D Röntgenscanner-Stufe

Innovatives Entwicklungsziel:

3-D Bildgebung für Containerinspektion

Untersuchung, Konzipierung und Demonstration technischer Möglichkeiten zur Gewinnung von überlagerungsfreien räumlichen Ansichten des Containerinhaltes



Quelle: bremenports

Anwendungszweck:

Aufklärung von Containerbereichen, die in den vorangegangenen Hochdurchsatzstufen unklar geblieben sind

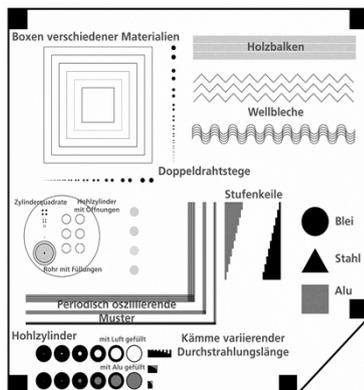
© Fraunhofer EZRT



3. 3D-Anwendungen

Untersuchung von Frachtcontainern

Querschnitt eines virtuellen Containermodells:



Seitenlänge: 1 Meter

Tiefe: 10 cm mit unveränderlichem Querschnitt

Beladung: Testkörper unterschiedlicher Materialien und Dicken

Durchmesser und Abstände der Doppeldrahtstege:

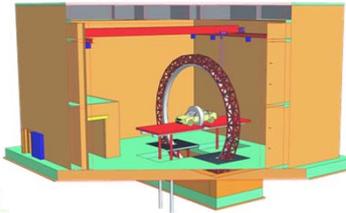
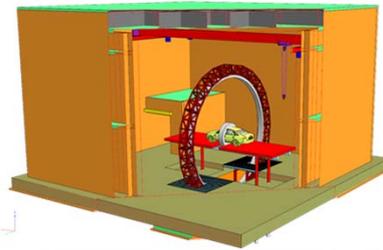
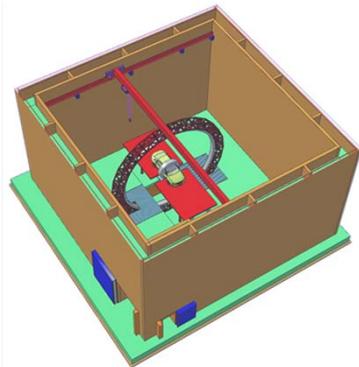
12 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, 5 mm, 4 mm, ...

© Fraunhofer EZRT



3. 3D-Anwendungen Erstbemusterung von Prototypen

Tomographie an ganzen PKW – ab 2013



© Fraunhofer EZRT

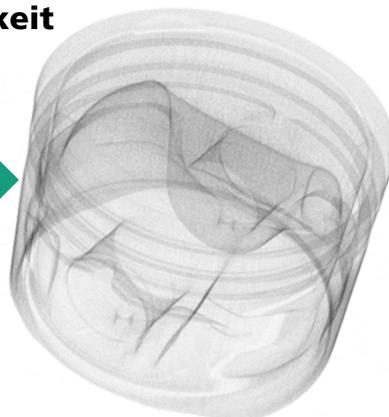
Fraunhofer
EZRT

Danksagung

Danke für die Aufmerksamkeit



LINAC-CT



Dr. Norman Uhlmann
Fraunhofer EZRT
Dr.-Mack-Str. 81
90762 Fürth
Norman.Uhlmann@iis.fraunhofer.de

© Fraunhofer EZRT

GfR BAM Fraunhofer
EZRT