

Hochenergie-Röntgen-Labor „HEXYLab“ Die neue Anlage „HEXYTech“

Bernhard REDMER¹, Stefan HOHENDORF¹, Sanjeevareddy KOLKOORI¹,
Norma WROBEL¹, Uwe EWERT¹

¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Kurzfassung

Hochenergie-Radiographie wird traditionell für die Detektion von Defekten in dickwandigen, sperrigen Komponenten angewendet. Sie wird auch genutzt für die Prüfung der Komponentenintegrität bei zivilen und sicherheitsrelevanten Anwendungen (Container). Die Kombination von Hochenergie-Strahlern mit digitalen Detektorarrays oder Zeilenkameras ermöglicht die Prüfungsdurchführung in kürzerer Zeit im Vergleich zum Film oder mit höherer Kontrastempfindlichkeit.

Das Hochenergie-Röntgen-Labor „HEXYLab“ der BAM ist ein Joint Laboratorium, in dem zukünftige Anwender, Hersteller und Wissenschaftler gemeinsame Entwicklungsprojekte initiieren und entwickeln können. Das neue Universal-Manipulationssystem HEXYTech bildet die ingenieur-technische Basis für die unterschiedlichsten Anforderungen im HEXYLab (High Energy X-Ray Lab.).

Mit insgesamt 13 Rotations- und Linearachsen können die unterschiedlichsten Trajektorien für Röhre, Objekt und Detektor programmiert werden. So sind große Objekte mit komplexer Geometrie untersuchbar. Es können 2D- und 3D-Bilder mittels einfacher Durchstrahlung sowie Laminographie und Computer-Tomographie gemessen werden.

Die allgemeinen Regeln für die Anwendung der Hochenergie-Radiographie mit digitalen Detektoren (Speicherfolien, Digitale Detektor Arrays) wurden im Rahmen des europäischen Projektes „HEDRad“ (High Energy Digital Radiography) bestimmt und in die Norm DIN EN ISO 17636-2 aufgenommen.

Der Beitrag gibt einen Überblick zur Prüftechnik und stellt die Einsatzmöglichkeiten an Hand von Bildern und Experimenten vor.



Hochenergie – Röntgen – Labor „HEXYLab“ Die neue Anlage „HEXYTech“

Bernhard Redmer, Stefan Hohendorf, Sanjeevareddy Kolkoori, Norma Wrobel,
Uwe Ewert
BAM Berlin, FB 8.3 „Radiologische Verfahren“

Kontakt: bernhard.redmer@bam.de
Internet: www.bam.de

1



- Motivation
- Konzept und Parameter
- Durchstrahlungsgeometrie und Rekonstruktionsverfahren
 - Klassische CT (Feldkamp, Kompressor)
 - Limited-View Rotationslaminografie (Betonstruktur)
 - Scan-Laminografie (mehrere Detektoren)
 - Schwenk-Laminografie (Objekt/Detektor)
- Hochauflösende Luftfracht-Container Inspektion

2



Motivation

- Entwicklung einer universellen Prüfanlage für die technische Radiographie dickwandiger Komponenten
- Pilotanlage für F & E Aufgaben mit Industrie- Partner bzw. im Forschungsverbund
- Aufbau eines Joint-Laboratorium „HEXYLab“
- ZfP- Anwendungen im Safety- und Security- Bereich
(Cargo-Inspektion, Materialcharakterisierung mit Dual-Energy-Technik, Rückstreuung-Untersuchungen)
- Geräte: ortsfest und ortsveränderlich verfügbar zu halten



3



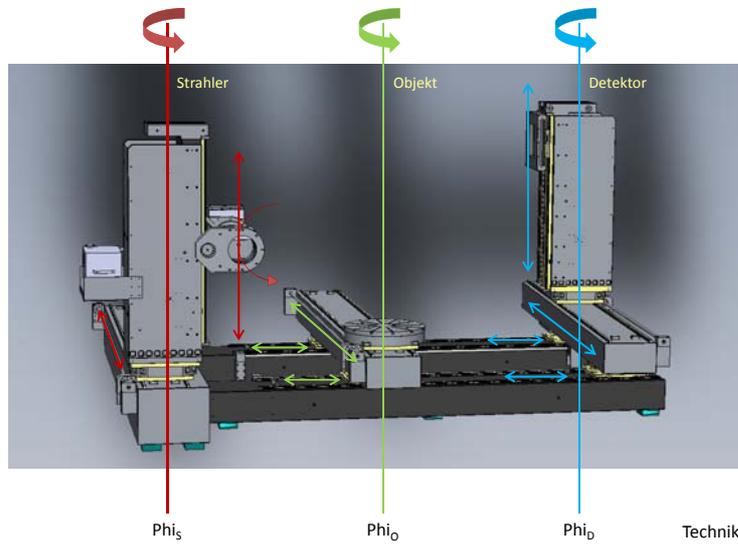
Konzept und Parameter

- Multiple Achsen-Geometrie Gesamt 13: 4 Rotation- + 9 Linearachsen
- Granitblöcke Einzelgewicht bis zu 8 t; Gesamtgewicht 32 t
- Objekt bis zu 4 m Länge, max. Gewicht: 2 t
- Spezial Geometrie Laminographie- Funktion
- Strahlenquellen 600 kV Röntgenquelle
7,5 MV Betatron
- Detektor Matrix-Detektor: PE 1620, 2048 x 2048 pixel,
0,2 mm/pixel
Zeilendetektor: 14 Module, 64 pixel/Modul,
Größe: 2,3 mm x 7 mm = ca. 2 m

4



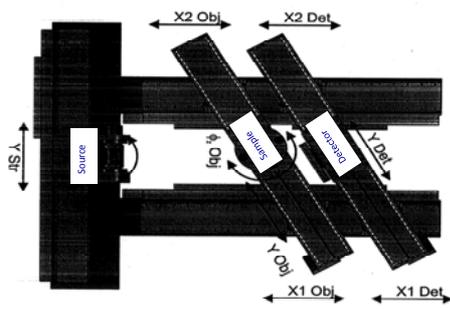
Konzept und Parameter



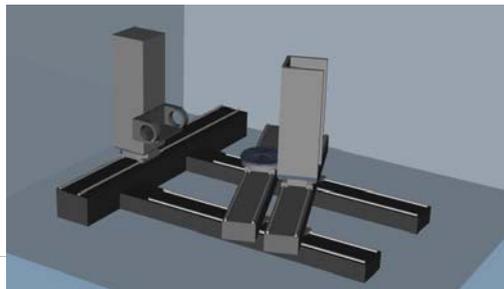
5



Schwenk-Laminografie (Objekt/Detektor)



- große, flächige Teile, an denen die Standard-CT nicht durchführbar ist
- Gewichtsschwerpunktlage nicht symmetrisch
- Variabilität der Messanordnung
- konstanter Abstand Objekt - Detektor
- Flugzeugteile, Rotorblätter (Windkraft, Helicopter), Luftfracht-Container



Darstellung der Anordnung Strahler-Objekt-Detektor mit aRTist.

6



Strahler



Röntgenröhre MXR-600HP/11

(www.comet-xray.com)

Spannungsbereich	20 – 600 kV
Strombereich	0 – 10 mA
Leistung	700 W / 1500 W
Brennfleck (EN12543)	0,7 mm / 2,0 mm
(ASTM E1165-2)	0,5 mm / 1,5 mm
System	bipolar, ölgekühlt
Target	Wolfram, 11°



Betatron PXB 7,5 MV

(www.jme.co.uk)

Spannungsbereich	2 – 7,5 MeV
Dosisleistung @1m(Luft)	>3 R/min
Brennfleckgröße	0,3 x 3,0 mm
gemessen	2,5 x 3,2 mm
Strahlöffnungswinkel	26°

Anwendung: ortsfest, ortsveränderlich

7



Detektoren



Matrixdetektor PE 1620

(www.PerkinElmer.com)

Energiebereich	20 kV – 15 MV
Szintillator	Gd ₂ O ₂ S:Tb
Pixelanzahl	2048 x 2048
Pixelgröße	0,2 mm
A/D-Auflösung	16 Bits
Interface	Ethernet
Bildrate	3,75 fps



Zeilendetektor-Modul X-LSC 2.3

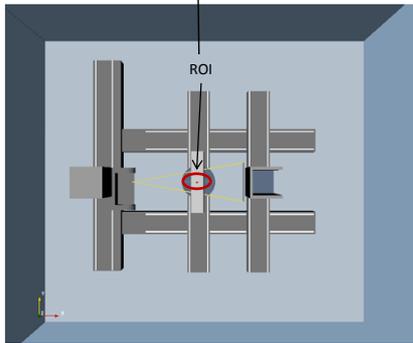
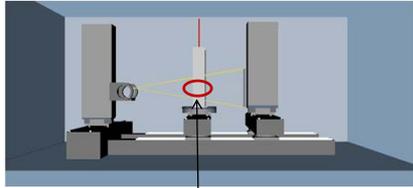
(www.DeeTee.com)

Energiebereich	450 kVp – 9 MeV
Szintillator	CdWO ₄
Kanäle/Modul	64
Pixelgröße	2,3 mm x 7 mm
Absorptionslänge	30 mm
A/D-Auflösung	18 Bits
Interface	Ethernet
Bildzeit (continuous)	1,0 ms – 128 ms

8



Klassische CT



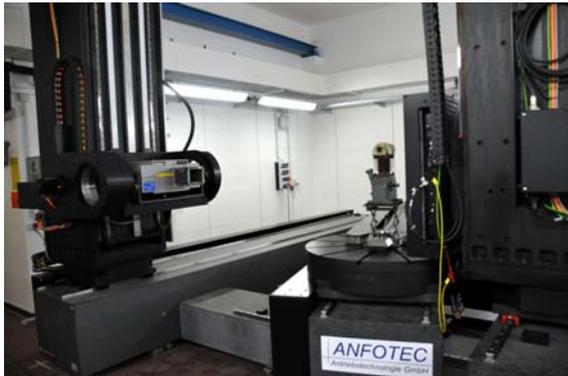
Beispiel: Kompressorpumpe, Guss

Detektion des freien Strahls auf dem Detektor

9



Klassische CT



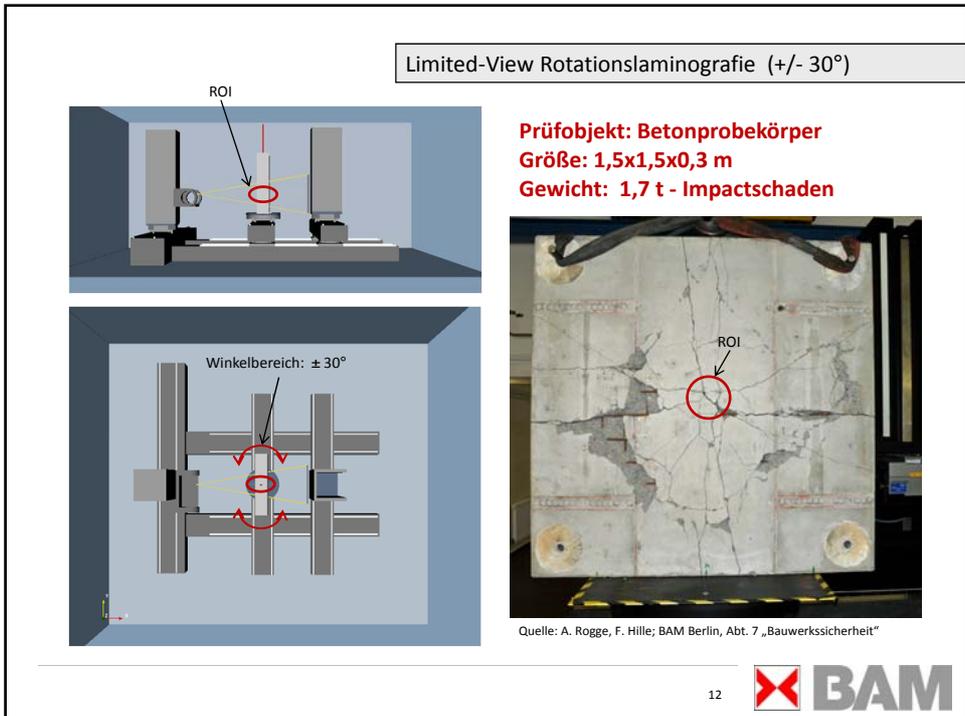
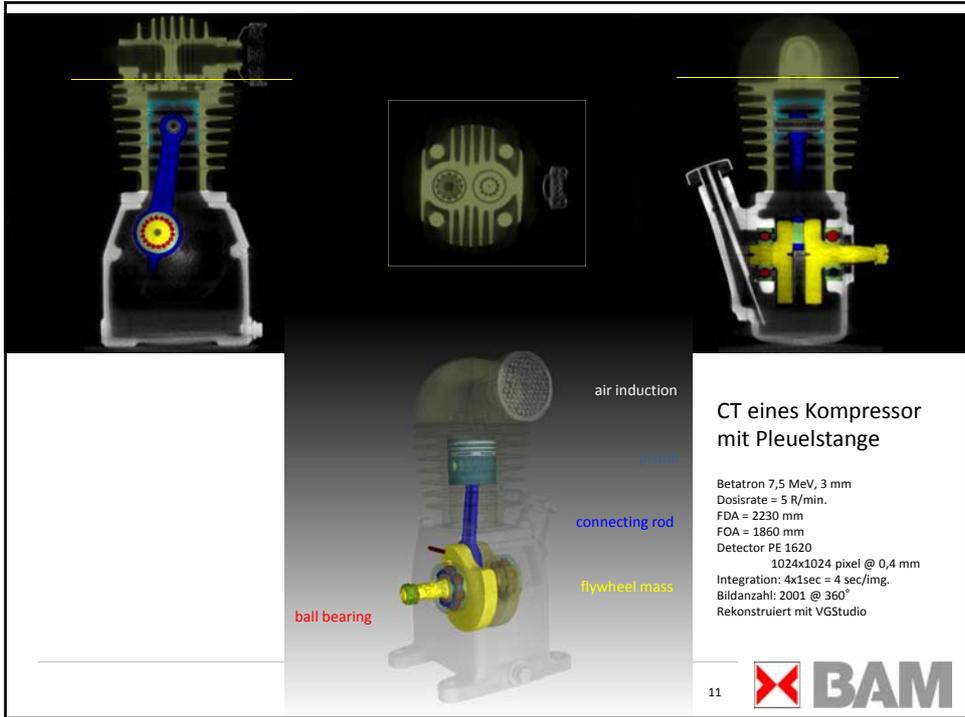
► Kompressorpumpe
Guss, Wanddicke bis zu 55 mm

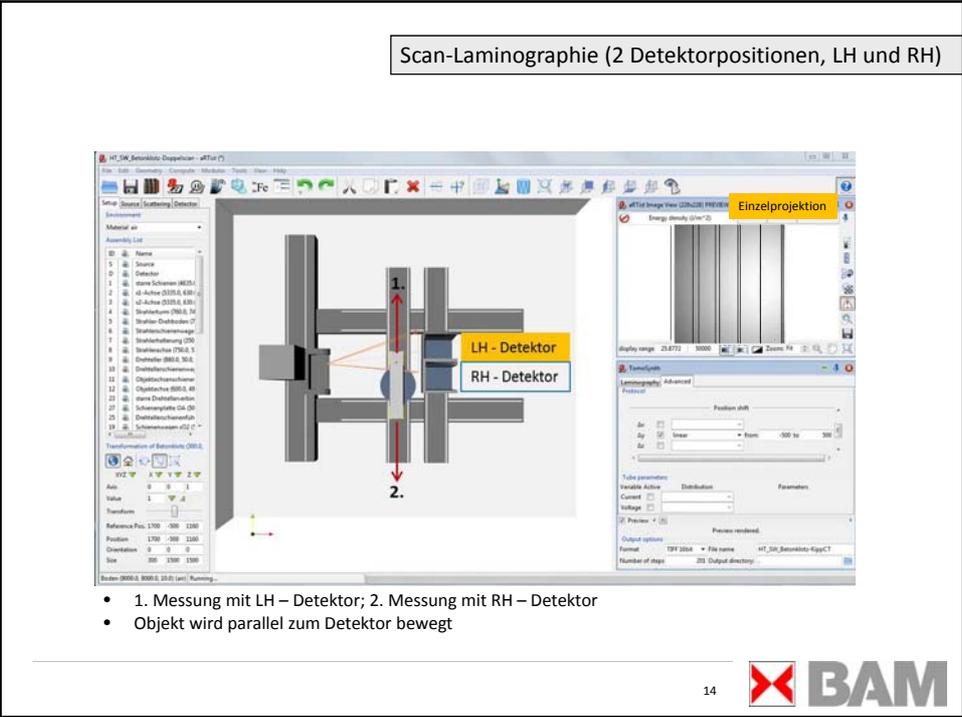
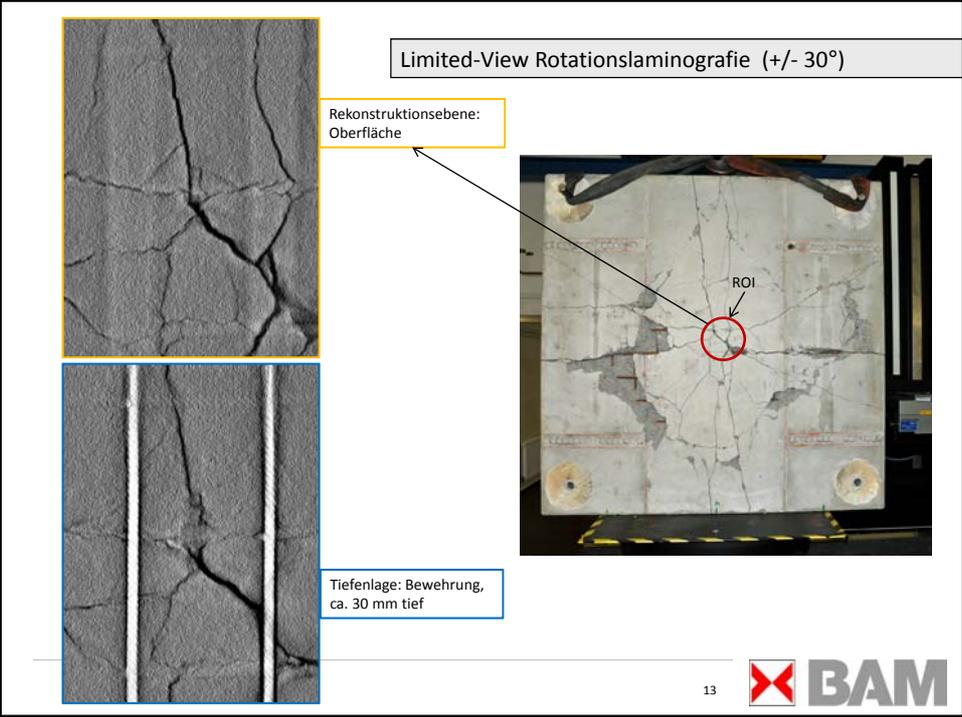
► Pilotanlage für F&E – Vorhaben und kundenspezifische Prüfungen



10



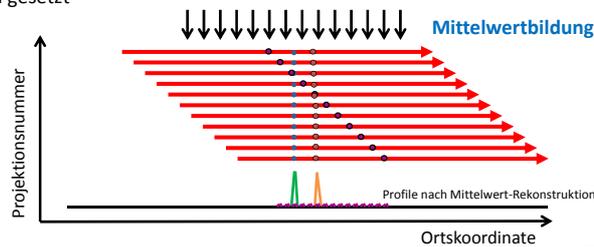




Scan-Laminographie (2 Detektoren)

Messparameter und Rekonstruktion

- Start-Stop Mode: $t_b = 3$ sec/Bild (3x 1sec, leichte Bildmittelung)
- Betatron 7,5 MeV; ca. 5 R/min
- Matrix-Detektor PE XRD 1620, mit Cu-Platte als Vorfilter
- modifizierte gefilterte Rückprojektion-Technik (TomoPlanGPU)
- Shift-Average –Algorithmus:** jede Projektion wird digital verschoben und eine Rückprojektion wird berechnet durch Mittelung der entsprechenden Projektionselemente.
- je eine Ausführung in horizontaler und/oder vertikaler Richtung
- Ergebnis: **Kreuz- oder einfache Translationslaminografie** aus mehreren Datensätzen zusammen gesetzt



Quelle: Ewert, Redmer, Thiessenhusen: „Reduktion von Kreuzartefakten in der Laminographie“, DGZfP Jahrestagung 2013, Dresden, BB 141-CD

15



Hochauflösende Luftfracht-Container Inspektion

Untersuchungen von Luftfracht-Containern mit Hochenergie-Radiographie und HEXYTech- Anlage



Digital Matrix Detektor

Betatron (7.5 MeV)

Parameter

Detektor: PE XRD1620
Pixelanzahl: 1024x1024
@ 0,4 mm / pixel
Geschwindigkeit: kontinuierlich,
0.8mm / sec
Integrationszeit: 1000 ms / image
Gesamtzeit: ca. 2700 sec @ 1,9 m

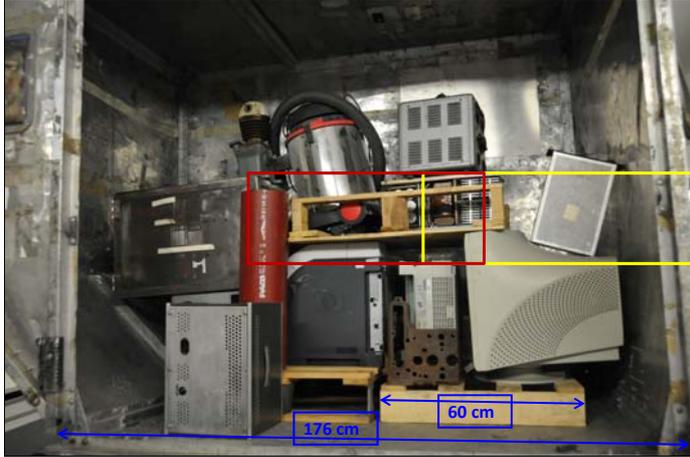
Betatron: 7.5 MeV
Dosisleistung: ~ 5,8 R / min.

Mit Unterstützung :
BMBF – Projekt ESecLog: Efficient and Secure Air-Cargo Logistics

16



Hochauflösende Luftfracht-Container Inspektion



Container-Inhalt:

Elektronische Geräte:
PC Monitor, Drucker,
Netzteile, Staubsauger,

Andere Materialien:
Holzpalette,
Dickwandige-
metallische
Komponenten, etc.

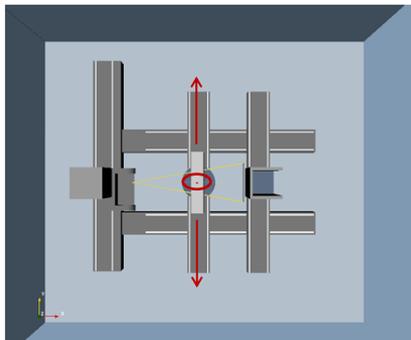
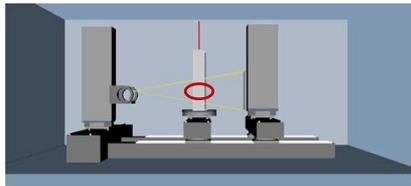


"Photo stitching" einer Einzelbildserie

17



Hochauflösende Luftfracht-Container Inspektion



Prüfobjekt: Luftfracht-Container

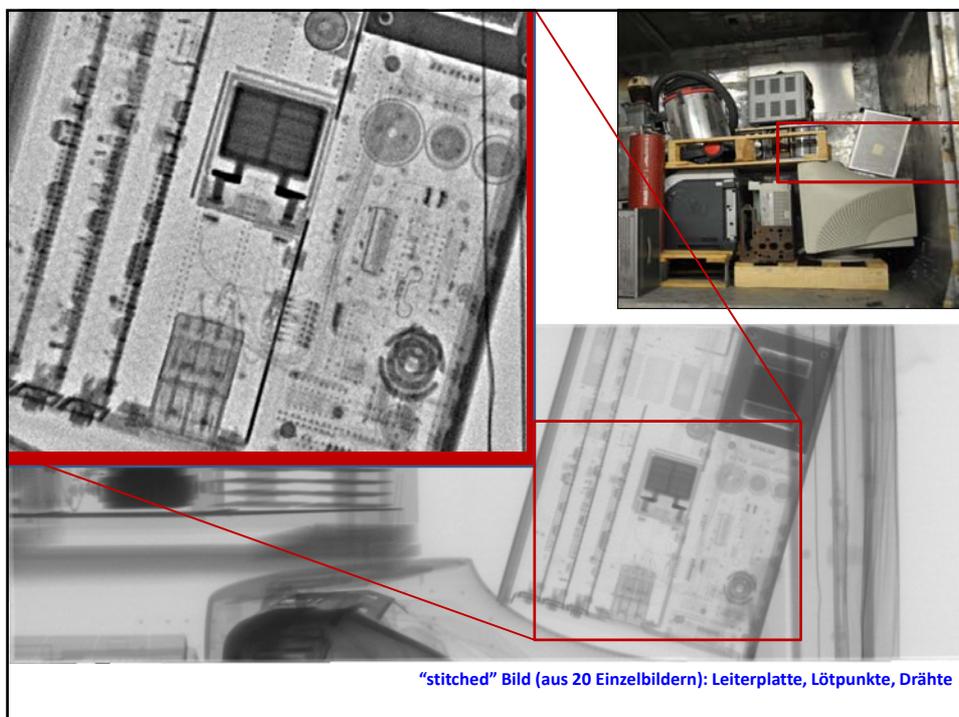
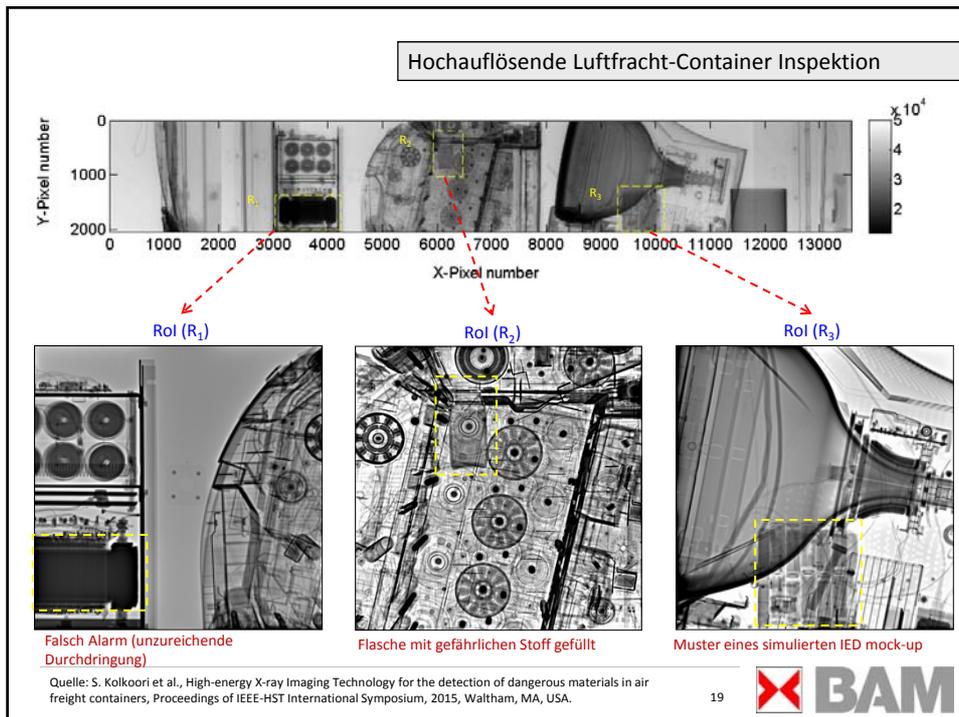
Größe: 1,5x1,5x0,3 m

Inhalt: diverse Geräte



18





Danksagung

Dr. Carsten Bellon
Martin Tschaikner
Andreas Deresch

Unterstützung **aRTist**-Simulation
Simulation mit **aRTist**, Visualisierung
Anpassung der Rekonstruktionsalgorithmen

