

# Mobile Computertomographie – ein modulares System

Uwe EWERT \*, Kai-Uwe THIESSENHUSEN \*, Bernhard REDMER \*,  
Stefan HOHENDORF \*, David WALTER \*

\* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

## Kurzfassung

Die stationäre Computertomographie (CT) hat sich parallel zur digitalen Radiographie mit digitalen Matrixdetektoren von einer Spezialmethode zu einer Routinemethode entwickelt. In CT-Anlagen werden Bauteile in Hinblick auf Materialfehler, korrekte Montage und Maßhaltigkeit überprüft. In der Gussindustrie werden zunehmend stationäre Anlagen in den Produktionsprozess integriert. Es gibt in-line- und at-line- Anlagen. In den letzten Jahren wurde die CT auch für die Prüfung „nicht mobiler“ Objekte, wie Rohrleitungen, Flugzeugbauteile, Bauwerkstrukturen bis hin zu Straßenbäumen eingesetzt. Weiterhin kann es erforderlich werden, auch mobile CT-Anlagen mit modularem Aufbau vor Ort einzusetzen. Das Anwendungsspektrum reicht dabei von seltenen Kunstobjekten bis zur Kleinserienprüfung spezieller Bauteile. Dazu wurde eine modulare CT-Anlage bestehend aus mobiler Röhre mit Translationsschiene, Drehtisch und Matrixdetektor sowie schneller Rekonstruktionssoftware entwickelt. Es kann sowohl eine Laminographie als auch eine Rotations-CT an Bauteilen komplexer Geometrie durchgeführt werden. Anwendungsbeispiele von geschweißten Rohrleitungen, flachen Schweißproben, Faserkompositen und Kunstobjekten werden vorgestellt.



BAM



Berlin

## Mobile Computertomographie – ein modulares System -

Uwe Ewert, Kai-Uwe Thiessenhusen,  
Bernhard Redmer, Stefan Hohendorf,  
David Walter

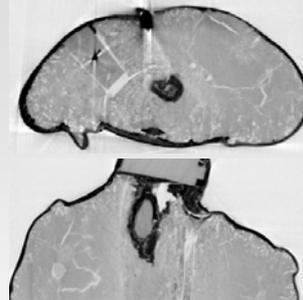
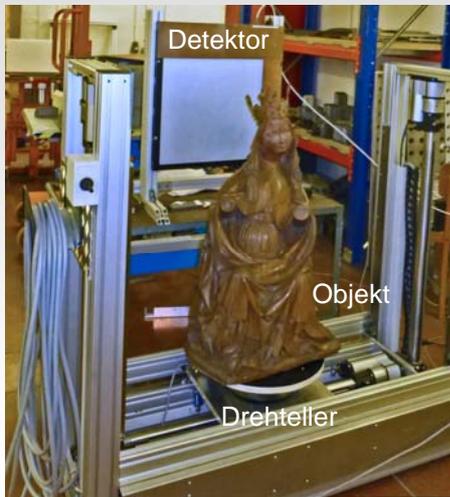
[uwe.ewert@bam.de](mailto:uwe.ewert@bam.de)

### Inhalt

- CT und Laminographie für Objekte, die nicht transportiert werden sollten oder können
  - Portable CT mit Standard-Profilen
- Mobile Planartomographie in der Kerntechnik
  - EU-Projekt TomoWELD mit photonenzählendem Detektor
- Portable CT für Kompositbauteile
  - Modellierung komplexer Röhren-, Detektor und Objektpositionierung zur Optimierung der Durchstrahlungsgeometrie der Tomosynthese
  - Portal-Tomograph
  - Detektion von Rissen, Hohlräumen und fehlerhafter Faserverteilung

## Mobile CT-Anlage für mittlere Auflösungen

CT einer Holzfigur mit portabler CT-Anlage



- Drehteller zur Rotation: 360°
- Röntgen 160 kV m. Vorfilter
- PE-Detektor 200  $\mu\text{m}$
- Datenerfassung
  - YXLON.IMAGE/3500
- Rekonstruktion:
  - Volume Graphics, VGStudio

8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
Ewert et al.



## Mobile Planar-Tomographie für Rohrschweißnähte

- EU-Projekt "TomoWELD" für die Kerntechnik mit neuen Komponenten
  - **Photonenzählender und energiediskriminierender Detektor (Ajat, XCCounter)**
  - **Flache Röntgenröhre (270kV) mit verkleinerter Stromversorgung und Kühlung (rtw)**
- **Rekonstruktions-Techniken,**
  - **Schnelle GPU-basierte „Filtered Shift Average“ Rekonstruktion (BAM, 8 Sekunden statt 35 Minuten für 100 MVoxel)**
  - **Multiplikative S-ART (next to base plane)**



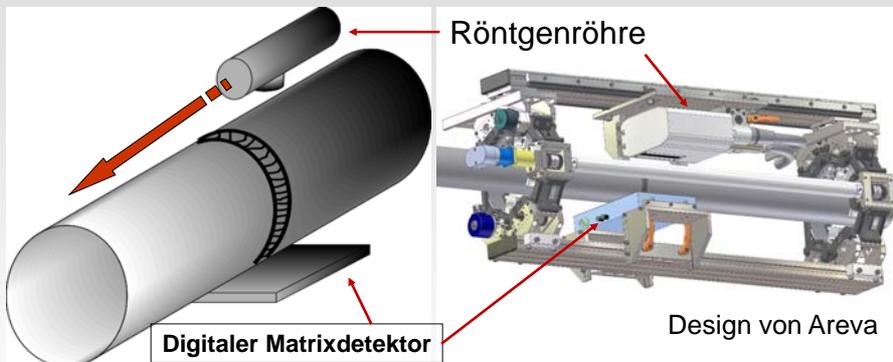
8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
Ewert et al.



## Planar Tomographie – Rekonstruktion von 3D-Bildern



- Bewegung der Röhre parallel zur Rohrachse oder im vorgegebenem Winkel
- Messung einiger hundert Projektionen
- Rekonstruktion

8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

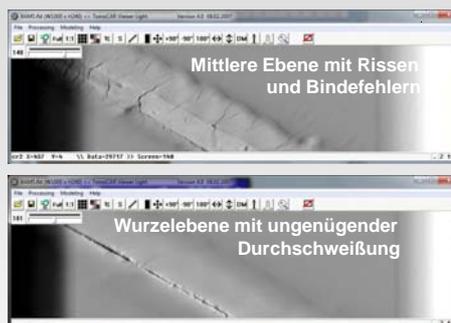
Mai 2014  
Ewert et al.



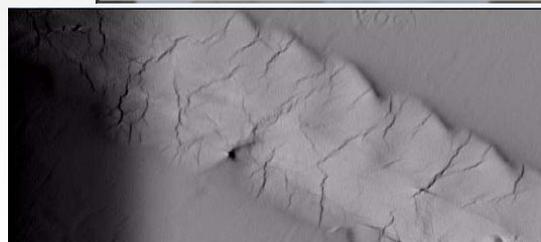
## 3D-Rekonstruktion einer Schweißnaht



BAM5 Testprobe mit verschiedenen BPKs



Virtuelle Kamerafahrt von der Wurzel bis zur Decklage.



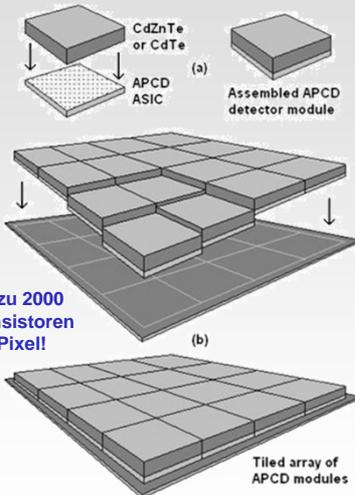
8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
Ewert et al.



## Photonenzählender und energiediskriminierender Matrixdetektor



Bis zu 2000 Transistoren per Pixel!

29 December 2010, SPIE Newsroom.  
DOI: 10.1117/2.1201011.003217

Für medizinische und ZfP-Anwendungen

- "Dual energy" - Prüfung
- Hohe Dickendynamik (32 bit)
- CdTe oder CdZnTe- Detektoren bis 300 kV für ZfP



"PDT 25" (XCounter/Ajat, Sweden/Finnland)  
 "WidePIX" (IEAP CTU in Prague, Czech)  
 "PILATUS" (PSI/SLS, Switzerland)  
 "XPAD" (CNRS, France)  
 "MEDIPIX" (CERN)  
 "LAD" (RAL, UK)  
 "MPEC" (Univ. Bonn, Germany)

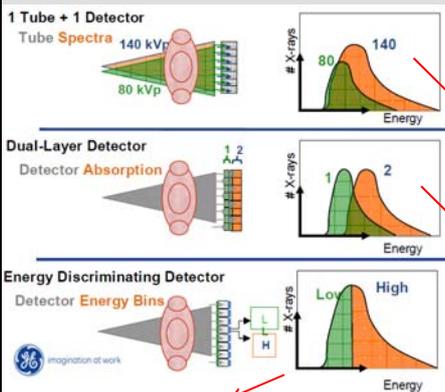
8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

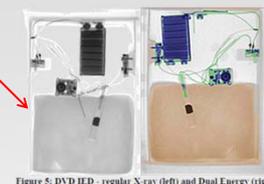
Mai 2014  
Ewert et al.



## Photonenzählender und energiediskriminierender Matrixdetektor



"Dual Energy" - Radiographie und CT



Material - Unterscheidung

Vidisco:  
Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtungen



Smiths Heimann:  
Gepäckprüfung



BAM:  
Glasfaser- verstärkte Polymer- Rohre  
Polymer: blue  
Glass: magenta

Blau – Metall  
Grün – Anorganische Materialien, sowie Cl, F, Br enthaltende Kunststoffe  
Orange bis gelb – organische Materialien und Sprengstoffe

8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

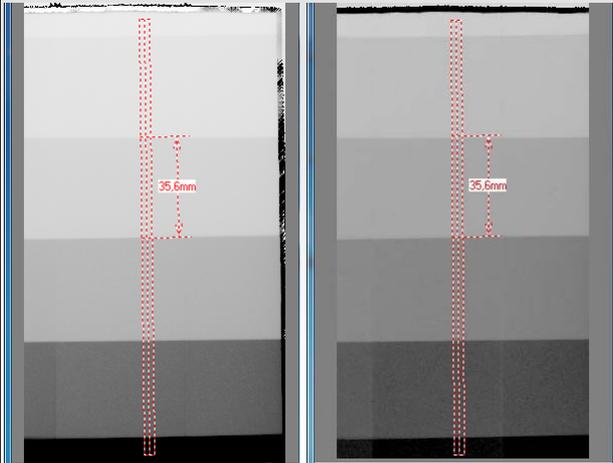
Mai 2014  
Ewert et al.



## Photonenzählender und energiediskriminierender Matrixdetektor

Beispiel: Reduktion der Streustrahlung

Fe-Stufenkeil, 160 kV, Schwellwert ca. 80 keV  
 Niedrigenergie-Bild < 80 keV Hochenergie-Bild > 80 keV



Niedrig- Energie-Profil  
 Hoch- Energie-Profil



8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
 Ewert et al.



## Planar-Tomographie: Probleme und Artefakte

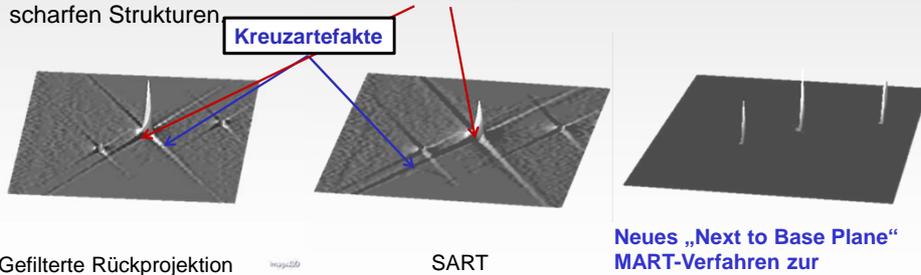
Reduktion der Artefakte durch „next to base plane“ multiplikative ART

### Limited View / Eingeschränktes Blickfeld

- Keine Information aus totem Winkel verfügbar
- Aber genügend Projektionen im Beobachtungsbereich vorhanden

### Artefakte

- Kreuzartefakte treten sowohl bei der „Filtered Shift Average“ - Methode als auch bei der SART auf.
- Bei beiden Verfahren gibt es ein „Überschwingen“ der Intensitäten an scharfen Strukturen



Gefilterte Rückprojektion

SART

Neues „Next to Base Plane“  
 MART-Verfahren zur  
 Unterdrückung von Artefakten

U. Ewert, B. Redmer, K.-U. Thiessenhusen, DGZFP-Jahrestagung, Dresden, Mai 2013.

8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
 Ewert et al.



## Modellierungswerkzeuge zur Experimentoptimierung: TomoSynth & TomoBox

### TomoSynth

- einfaches GUI
- Preview & Postview
- kann komplexe Bewegungen von Objekt, Röhre und Detektor modellieren
- integriert in aRTist

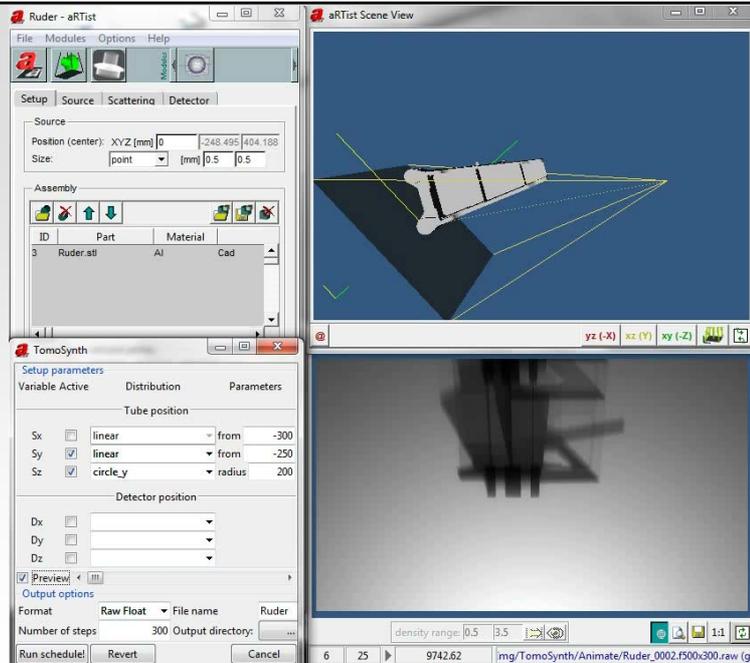
### TomoBox

- schnelle gefilterte und gewichtete Shift-Average-Rekonstruktion
- individuelle Einstellung der Filterung und Rekonstruktion

**Integrierte Umgebung  
für simulierte Tomosynthese**

U. Ewert, D. Fratzscher, B. Redmer, K.-U. Thiessenhusen, C. Bellon, Ch. Gollwitzer, Konferenz NDT in Aerospace, Hamburg, Nov. 2010.

**Animation einer Modellierungsserie mit verschiedenen Bewegungsabläufen von Objekt und Quelle**



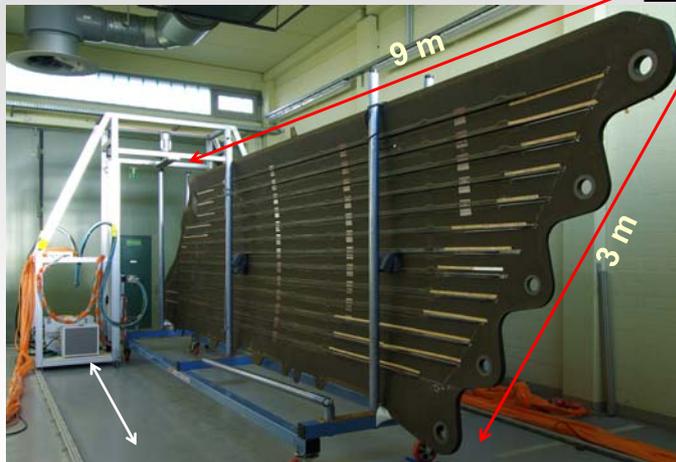
The screenshot shows the aRTist software interface. On the left, the 'TomoSynth' window is open, displaying 'Setup parameters'. Under 'Tube position', the following variables are active:

Variable	Active	Distribution	Parameters
Sx	<input type="checkbox"/>	linear	from -300
Sy	<input checked="" type="checkbox"/>	linear	from -250
Sz	<input checked="" type="checkbox"/>	circle_y	radius 200

Under 'Detector position', Dx, Dy, and Dz are all inactive. The 'Preview' checkbox is checked. The 'Output options' section shows 'Format: Raw Float', 'File name: Ruder', and 'Number of steps: 300'. The 'Run scheduled' button is visible.

The main 'aRTist Scene View' on the right shows a 3D model of a detector assembly (a cylindrical tube) positioned over a dark, rectangular object. A coordinate system with axes labeled 'yz (-X)', 'xz (Y)', and 'xy (-Z)' is visible at the bottom of the scene view.

## Verschiebbares Portal zur flexiblen Planar-Tomographie



Objektdimensionen

Gelb markiert:  
Messbereiche

Messungen 87  
Positionen mit  
jeweils 17 x 17 cm

geprüfte Stringer-  
länge: 14,8 m

8.3 Radiologische  
Verfahren

Mobile CT

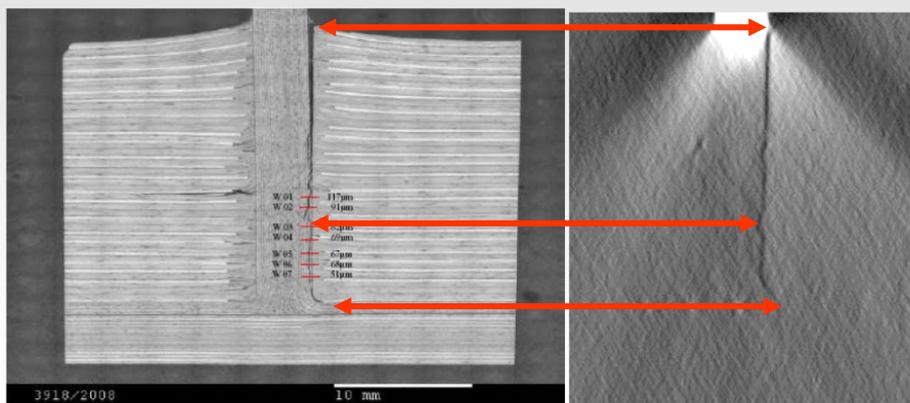
Mai 2014  
Ewert et al.



## Qualifikation durch Vergleich mit Schliffbild

Schliffbild

Planar-Tomogramm



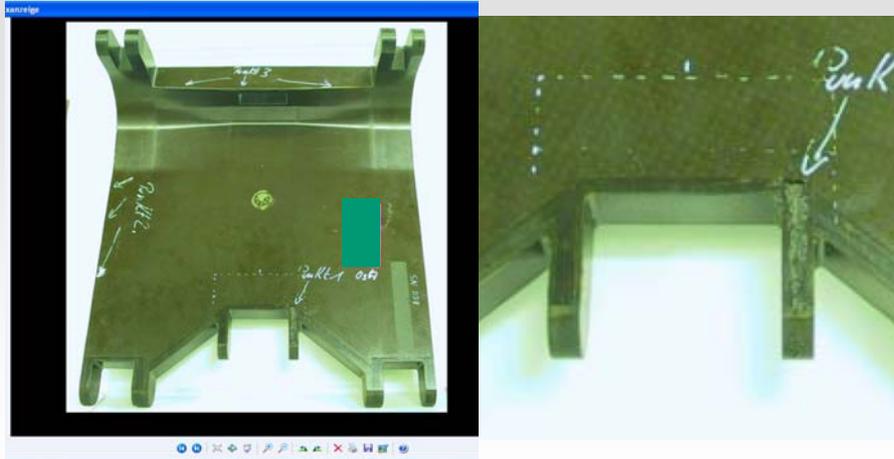
8.3 Radiologische  
Verfahren

Mobile CT

Mai 2014  
Ewert et al.



## Planar-Tomographie an Faserkompositen



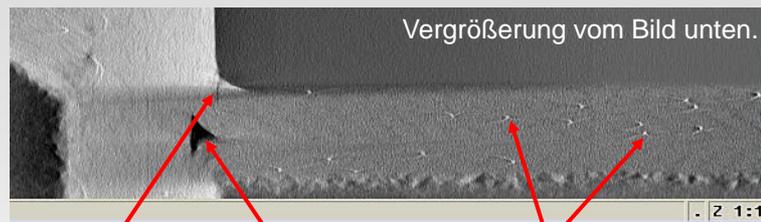
8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

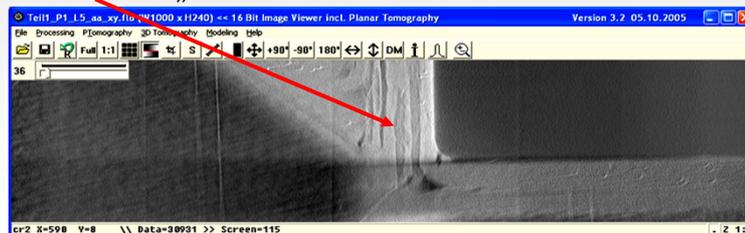
Mai 2014  
Ewert et al.



## Typische Anzeigen bei Inspektion mit Planar-Tomographie



Rissanzeige  
Hohlraum  
Glasfasern  
Füllprobleme oder „offene Delaminationen“



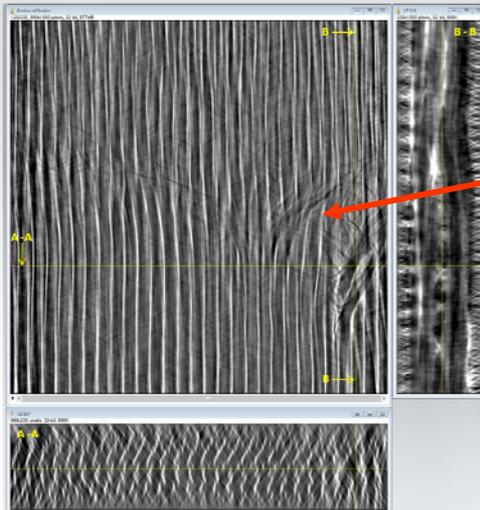
8.3 Radiologische Verfahren

Mobile CT

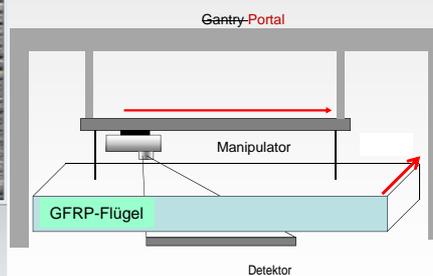
Mai 2014  
Ewert et al.



## Glasfaserkomposite mit fehlerhafter Faserverteilung Beispiel: Rotorblattprobe einer Windkraftanlage



Planar-Tomogramm  
einer glasfaserverstärkten  
Polymerprobe



8.3 Radiologische  
Verfahren

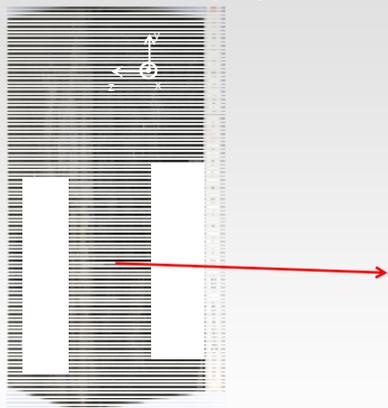
Mobile CT

Mai 2014  
Ewert et al.



## Visualisierung von Delaminationen in gebogenen CFK Strukturen

CFK Formteil mit Biegung



Laminogramm mit Delaminationen  
nach Stoßbelastung



U [kV]	I [mA]	frame rate [1/s]	frames	FDD [mm]	FOD [mm]	pixel size [mm <sup>2</sup> ]
28.5	15	4.3	1000	645	80	0.1 x 0.1

8.3 Radiologische  
Verfahren

Mobile CT

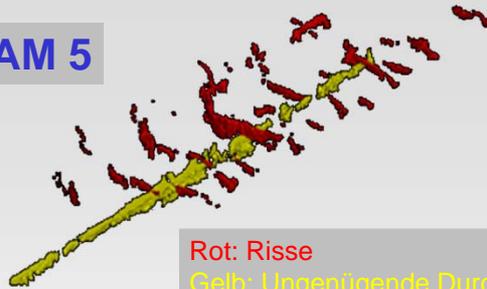
Mai 2014  
Ewert et al.



## Zusammenfassung

- Portable CT Anlagen können mit einfachen Mitteln aufgebaut und vor Ort eingesetzt werden.
- Das EU-Projekt TomoWELD zur mechanisierten Schweißnahtprüfung nutzt
  - photonenzählenden und energiediskriminierenden Detektor (Ajat, XCounter)
  - neue flache Röntgenröhre (rtw)
  - neue schnelle Rekonstruktionsprogramme (BAM)
  - neuen Manipulator (AREVA)
- Modellierung komplexer Röhren-, Detektor und Objektpositionierung zur Planung optimaler Tomosynthese-Algorithmen
  - Modellierung der Positionen und Bahnen von Objekt, Röhre und Detektor in aRTist realisiert
- Portal-CT für große flache Bauteile aus Faserkompositen wurde entwickelt und validiert
  - Untersuchung von Kohle- und Glasfaser verstärkten Materialien
  - Detektion von Rissen, Hohlräumen und fehlerhafter Faserverteilung
  - Detektion von Delaminationen

BAM 5



Rot: Risse

Gelb: Ungenügende Durchschweißung

**ENDE**

**Vielen Dank?**

[www.bam.de](http://www.bam.de)  
[uwe.ewert@bam.de](mailto:uwe.ewert@bam.de)