

Hochauflösende Röntgenrückstreutechnik zur zerstörungsfreien Untersuchung von Komponenten für die Luftfahrt

Sanjeevareddy KOLKOORI¹, Norma WROBEL¹, Uwe ZSCHERPEL¹, Uwe EWERT¹
¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
(sanjeevareddy.kolkoori@bam.de)

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine neue hochauflösende Röntgenrückstreutechnik für die zerstörungsfreie Untersuchung von Materialien für die Luftfahrt bei nur einseitigem Zugang. Dabei wird ein speziell geschwungener Schlitzkollimator verwendet, der die Untersuchung des gesamten Objektes durch die Änderung der Einstrahlrichtung der Röntgenrückstreukamera ermöglicht. Dazu wurden Experimente an komplex geformten Stringern und Honeycomb-Strukturen aus Faser-Verbund-Werkstoffen (CFK) durchgeführt, die die Anwendbarkeit der vorliegenden Technik zeigt, um geringe Änderungen in der Materialdicke abzubilden sowie Einschlüsse von Materialien mit geringer Dichte (z.B. Wasser) zu detektieren. Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass die verwandte Technik in der Lage ist innenliegende Wellenstrukturen abzubilden und Beschädigungen durch Einschläge in dicke Komposit-Bauteile aufzuzeigen. Um die Prüfzeit von Stunden auf einige Sekunden zu reduzieren und die Bildqualität der Röntgenrückstreutechnik zu verbessern, wurden die Messungen mit einem Matrixdetektor mit hoher Ortsauflösung (180µm) durchgeführt. Ebenfalls wurde der Einfluss der Röntgenenergie sowie die Breite der Schlitzöffnung auf die Bildgebung untersucht. Bei weiteren Messungen wurde mit verschiedenen Testobjekten gearbeitet, um die Kontrastempfindlichkeit, die geometrische Auflösung und das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) im Röntgenrückstreubild quantitative zu beurteilen. Damit können Fehlergrößen im Sub-millimeter Bereich, abhängig von der Breite der Schlitzöffnung der Kamera, detektiert werden. Abschließend werden wesentliche Anwendungen dieser Röntgenrückstreutechnik für eine Real-Time ZfP für Luftfahrtmaterialien diskutiert.



Hochauflösende Röntgenrückstreutechnik zur zerstörungsfreien Untersuchung von Komponenten für die Luftfahrt

S. Kolkoori, N. Wrobel, U. Zscherpel, U. Ewert

**BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Berlin**

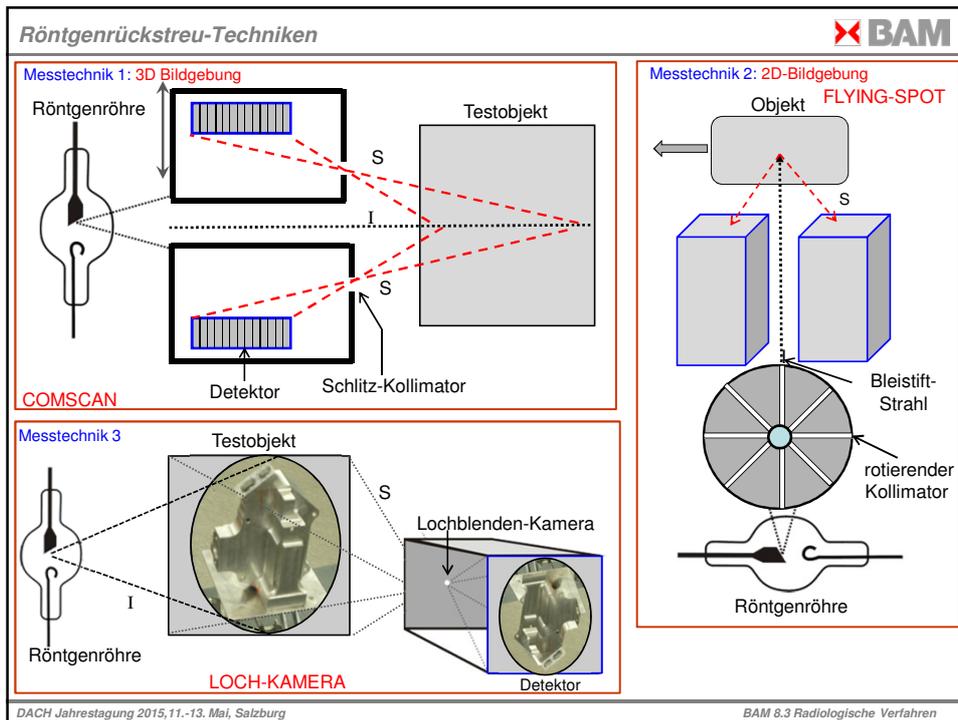
Motivation

Vorteile der Röntgenrückstreu-Technik für die ZfP

- Untersuchung komplexer Strukturen bei einseitigem Zugang
- Detektion von Materialien mit geringer Kernladungszahl (Wassereinschlüsse)
- Detektion von Korrosion unter Isolierungen
- Detektion von Beschädigungen in CFK Strukturen

Stand der Technik:

- ComScan: Compton backscatter scanner (YXLON)
- Flying-spot Röntgenrückstreu-System (AS&E)
- Pin-hole-Kamera und spezielle Blenden



BAM

Motivation

Vorteile der Röntgenrückstreu-Technik für die ZfP

- Untersuchung komplexer Strukturen bei einseitigem Zugang
- Detektion von Materialien mit geringer Kernladungszahl (Wassereinschlüsse)
- Detektion von Korrosion unter Isolierungen
- Detektion von Beschädigungen in CFK Strukturen

Stand der Technik:

- ComScan: Compton backscatter scanner (YXLON)
- Flying-spot Röntgenrückstreu-System (AS&E)
- Pin-hole-Kamera und spezielle Blenden

Ziele:

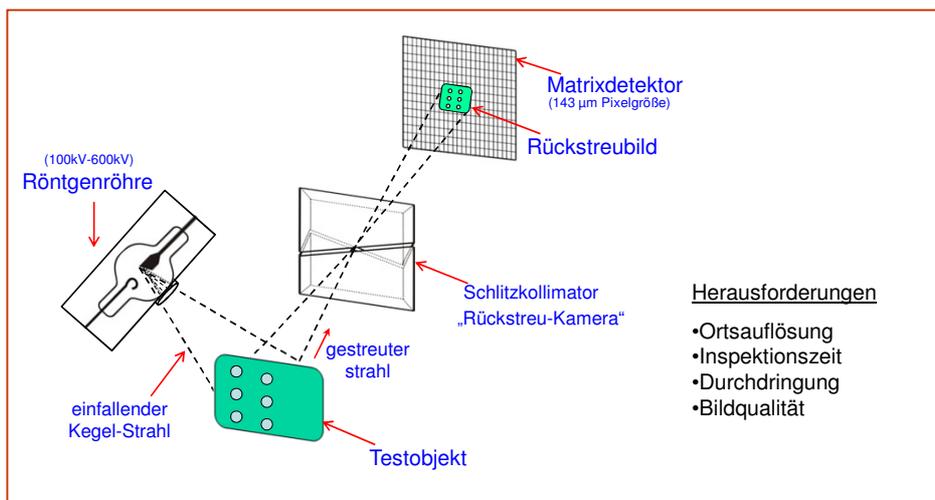
- Hochauflösende Röntgenrückstreu-Bildgebung
- Empfindliche und schnelle Rückstreu-Bildgebung mit Matrixdetektor
- Detektion von Fehlern in Luftfahrt-Komponenten

DACH Jahrestagung 2015, 11.-13. Mai, Salzburg
BAM 8.3 Radiologische Verfahren

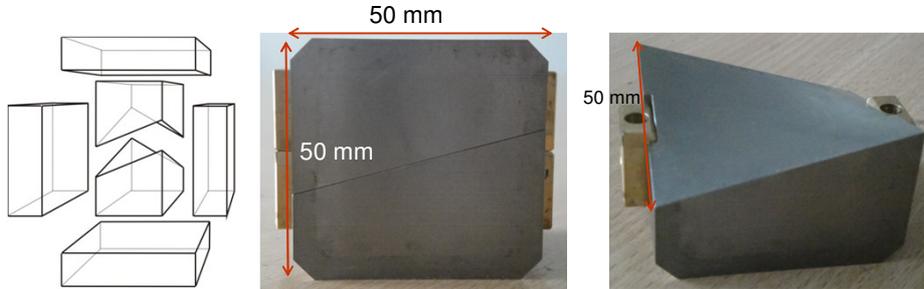
Gliederung:

- Prinzip der Röntgenrückstreu-Bildgebung
- Untersuchungen an dicken Honeycomb-Strukturen aus CFK
- Messergebnisse von komplex strukturierten Stringern
- Hochauflösende Röntgenrückstreu-Scanverfahren
- Messergebnisse mobiler Röntgenrückstreu-Technik
- Quantitative Beurteilung von Kontrastempfindlichkeit und Ortsauflösung
- Zusammenfassung und Ausblick

Prinzip der Röntgenrückstreu-Technik:

Herausforderungen

- Ortsauflösung
- Inspektionszeit
- Durchdringung
- Bildqualität

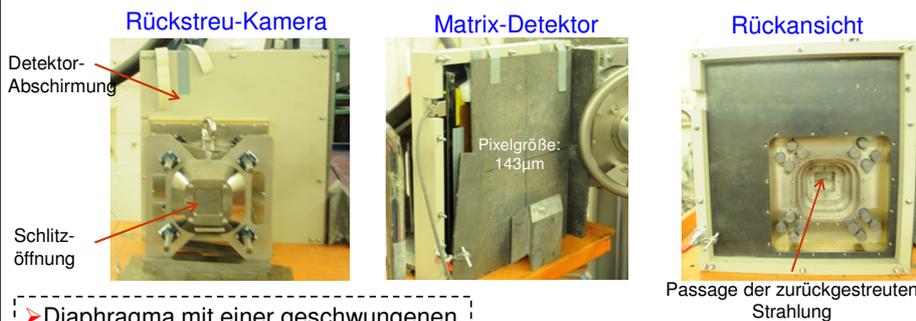


- Passage der gestreuten Strahlung durch einen speziell geschwungenen Schlitz in Analogie zu einer Mehrfachlochblende

* K. Osterloh et al., Schlitzkollimator für Röntgenrückstreu-Bildgebung, Patent, DE102005029674, BAM.

DACH Jahrestagung 2015, 11.-13. Mai, Salzburg

BAM 8.3 Radiologische Verfahren



- Diaphragma mit einer geschwungenen Schlitzblende
- weitwinklige Blendenöffnung
- kurze Belichtungszeit (< 60 s)
- geeignet für die Abschirmung von hoch energetischer Röntgenstrahlung und Gamma-Strahlung
- verbesserte Bildqualität

Eigenschaften der Rückstreu-Kamera

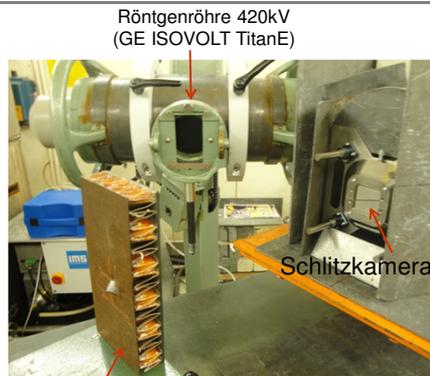
Variable Schlitzbreite (0.1 mm-2 mm)
 Gewicht : ~ 50 kg
 Material: Wolfram
 Belichtungszeit: < 60 sec
 Strahlungsenergie: 50 keV to 1 MeV
 Anwendung: ZFP und Security

S. Kolkoori et al., Journal of Instrumentation, Vol.8 , pp: 1-17, 2013

DACH Jahrestagung 2015, 11.-13. Mai, Salzburg

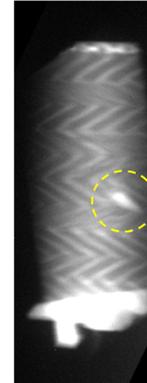
BAM 8.3 Radiologische Verfahren

Anwendung für die Luftfahrt



CFRP Sandwichplatte
(10cm x 20cm x 3.3cm)

Rückstreubild

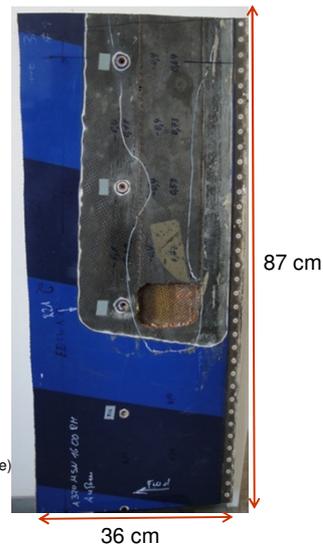
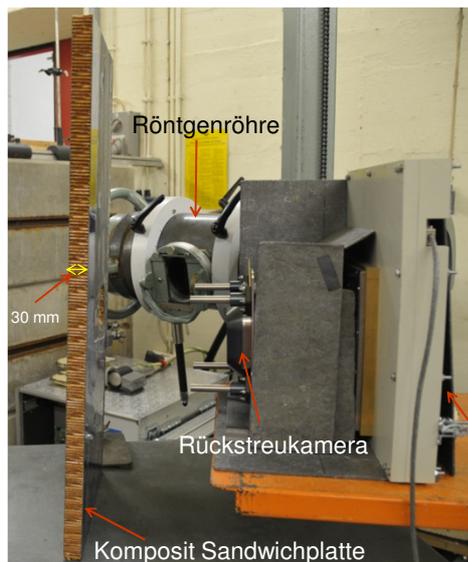


Messparameter:

420 kV, 10mA, 3 min
Schlitzbreite: 0,9 mm
Source-object-distance (SDD): 61 cm
Object-slit-distance (SOD): 47 cm
Slit-detector-distance: 22 cm

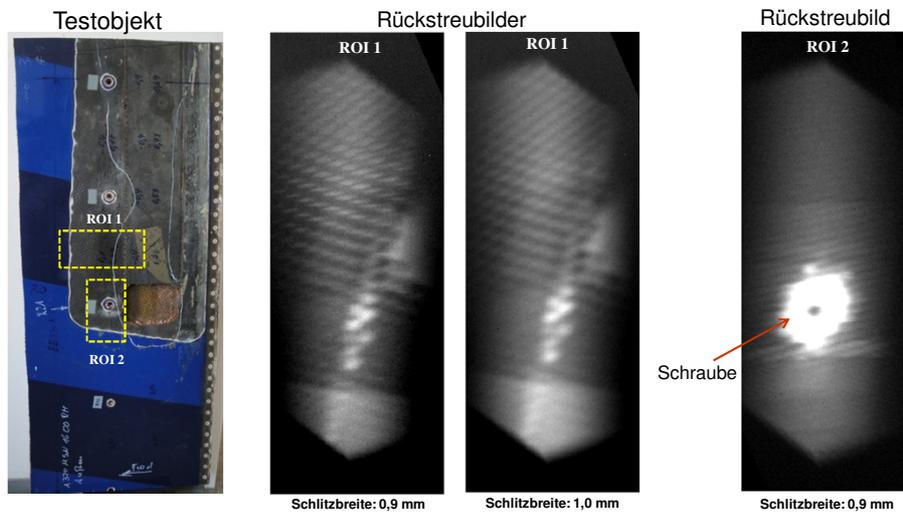
- Beschädigungen in der Oberfläche der CFRP Struktur können identifiziert werden.
- Wassereinschlüsse zwischen der CFRP Oberfläche und dem Inneren können detektiert werden
- Strukturelle Integrität der innenliegenden Wellenstruktur kann abgebildet werden

Einseitige Inspektion von Komposit-Strukturen



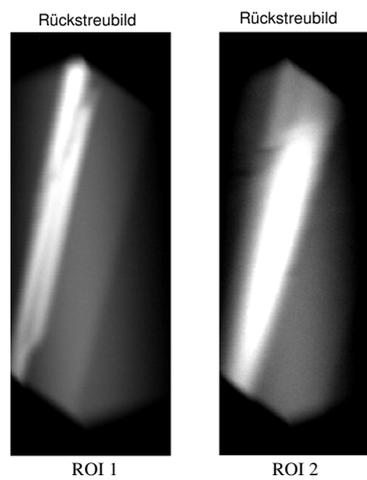
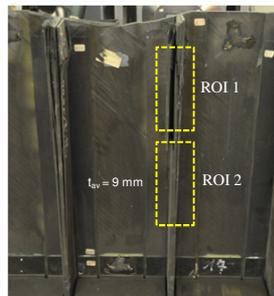
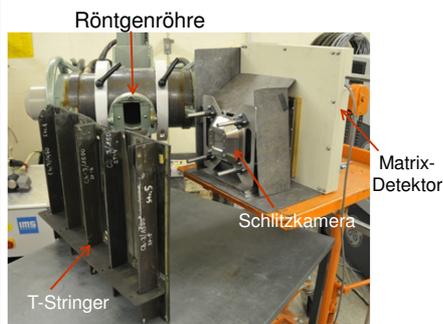
Matrix-Detektor
(143 µm pixel gröÙe)

Messergebnisse



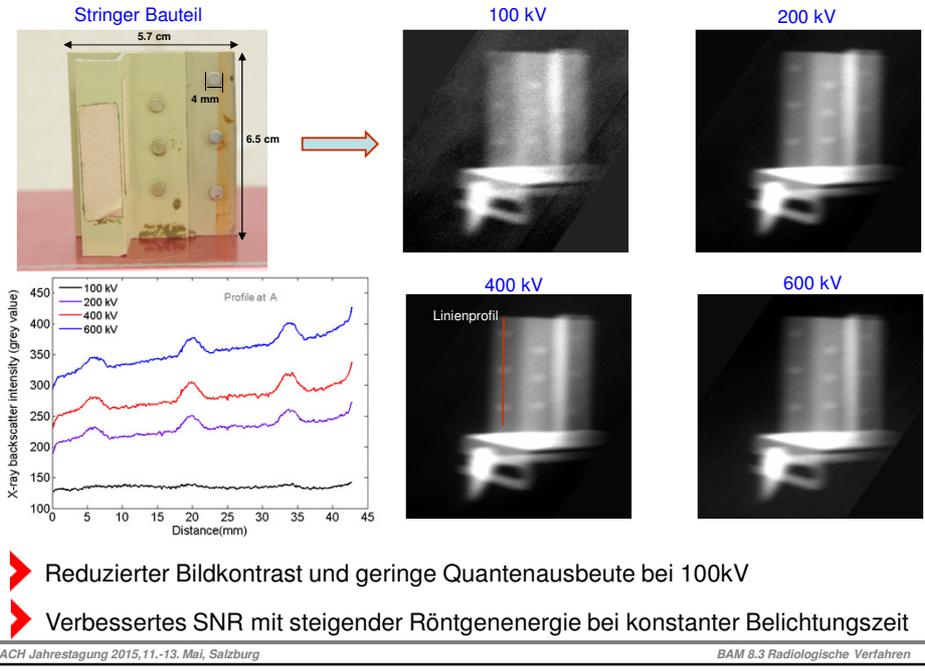
Messparameter:
 300 kV, 14 mA, 3 min
 Source-object-distance (SDD): 48 cm
 Object-slit-distance (SOD): 28 cm
 Slit-detector-distance: 23 cm

Rückstreu-Inspektion einer T-Stringer Kompositplatte

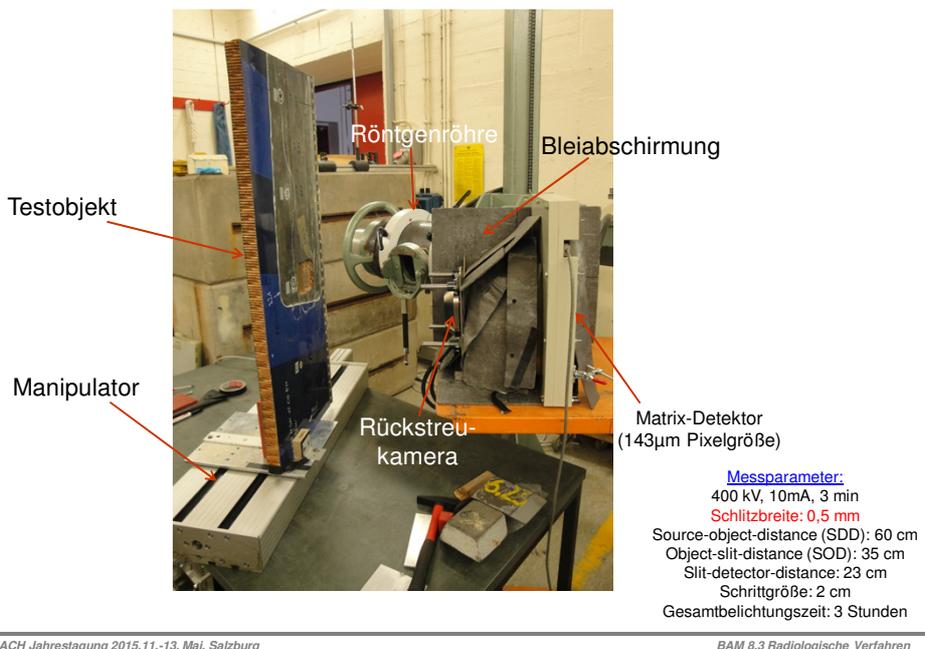


Messparameter:
 420 kV, 10mA, 3 min
 Schlitzbreite: 0,9 mm
 Source-object-distance (SDD): 58 cm
 Object-slit-distance (SOD): 32 cm
 Slit-detector-distance: 23 cm

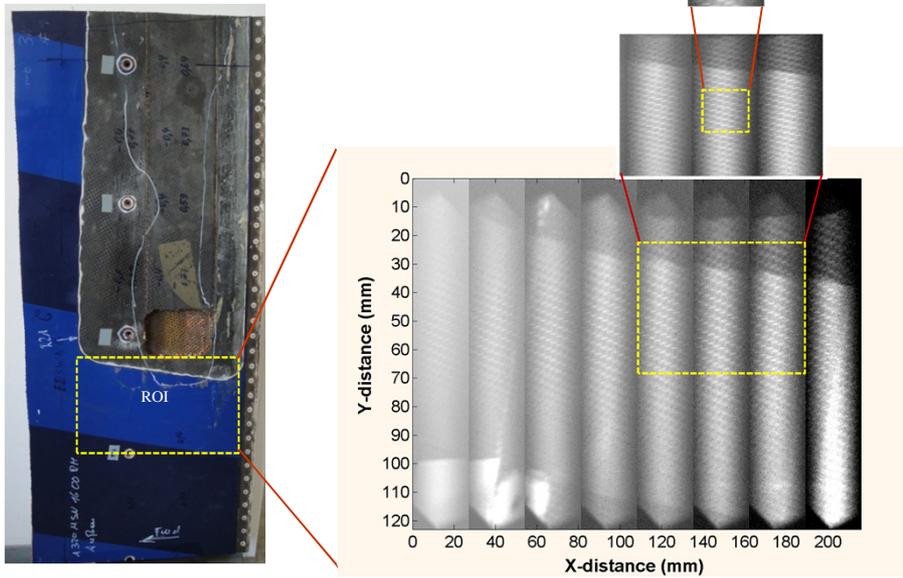
Energie-Abhängigkeit von Röntgenrückstreubildgebung



Hochauflösende Röntgenrückstreu-Technik



Erreichte Basisortsauflösung (SR_b): 0,63 mm



Einsatzmöglichkeit der mobilen Röntgenrückstreu-Technik für ZiP-Anwendungen



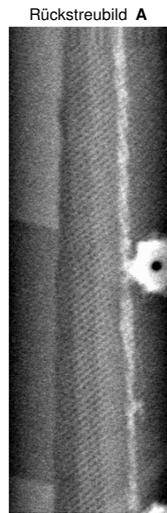
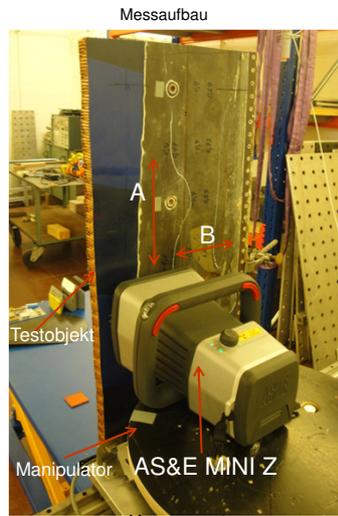
Rückstreugerät-MINI Z AS&E



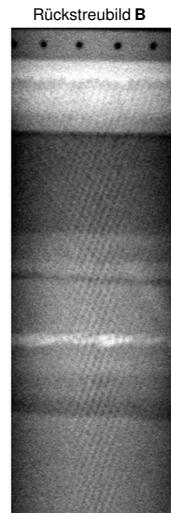
<http://www.as-e.com/products-solutions/cargo-vehicle-inspection/handheld-inspection-2/product-mini-z>

- Rückstreu-Bildgebung mit flying-spot Technik (Scangeschwindigkeit: 15cm/sec)
- Niedrige Röntgenenergie (70keV) und geringe Dosis
- Einsetzbar im Bereich Flughafensicherheit und Grenzkontrolle

Einseitige Inspektion von Komposit-Strukturen



(ohne digitalen Filter)



(ohne digitalen Filter)

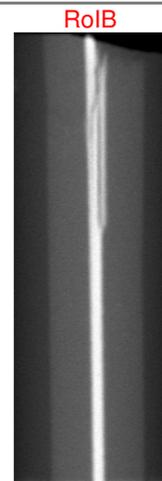
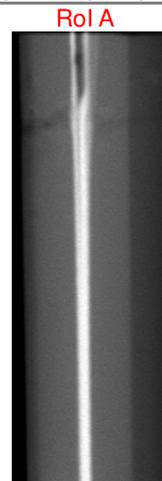
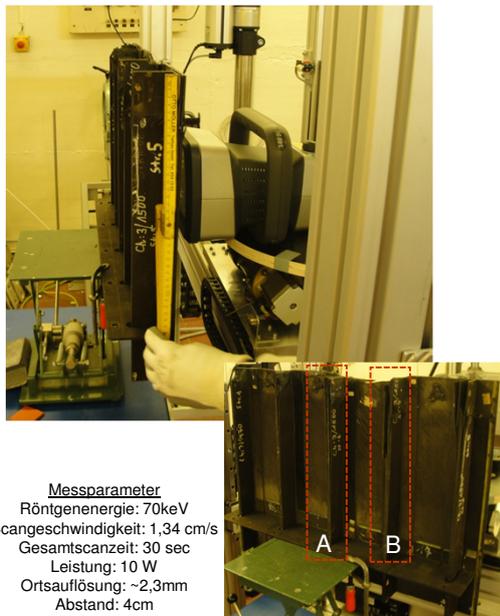
Messparameter

Röntgenenergie: 70keV
 Scangeschwindigkeit: 1,34 cm/s
 Gesamtscanzeit: 30 sec
 Leistung: 10 W
 Ortsauflösung: ~2,3mm, Abstand: 4 cm

DACH Jahrestagung 2015, 11.-13. Mai, Salzburg

BAM 8.3 Radiologische Verfahren

Rückstreu-Inspektion einer T-Stringer Kompositplatte



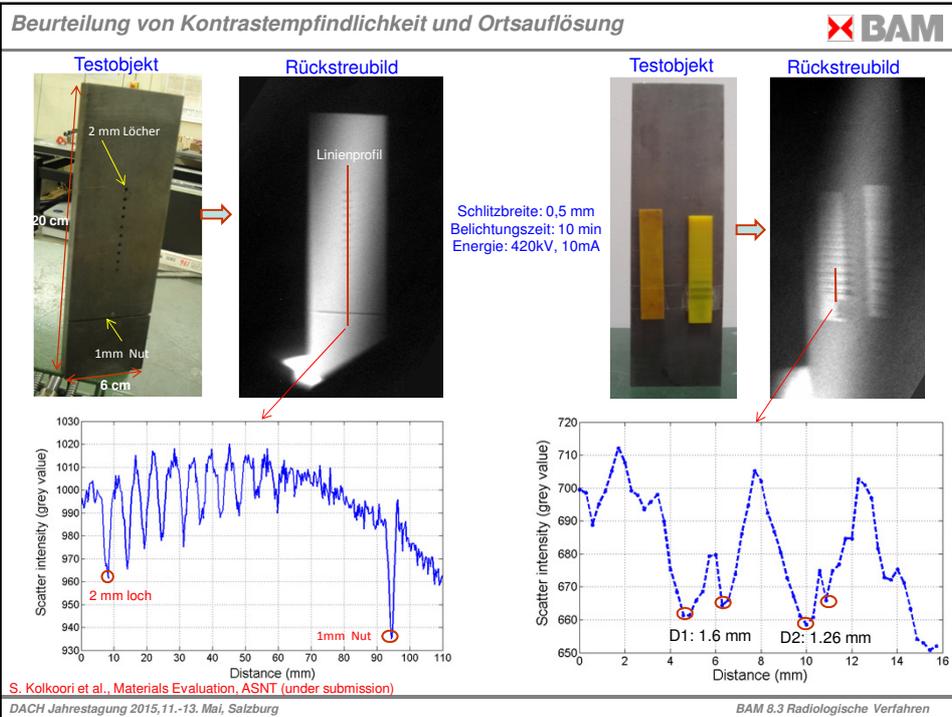
Messparameter
 Röntgenenergie: 70keV
 Scangeschwindigkeit: 1,34 cm/s
 Gesamtscanzeit: 30 sec
 Leistung: 10 W
 Ortsauflösung: ~2,3mm
 Abstand: 4cm

➤ Detektion von Beschädigungen im T-Stringer bei einseitigem Zugang ist möglich

DACH Jahrestagung 2015, 11.-13. Mai, Salzburg

BAM 8.3 Radiologische Verfahren

Quantitative Beurteilung von Kontrastempfindlichkeit und Ortsauflösung



Zusammenfassung

- ▶ Eine neue Messvorrichtung zur Bildgebung für Luftfahrt-Komponenten bei einseitigem Zugang
- ▶ Röntgenrückstreu-Messungen mit hochauflösendem Matrixdetektor
- ▶ Geeignet zur Detektion von Wassereinschlüssen und Beschädigungen in Honeycomb CFRP Platten
- ▶ Bildgebung interner Details von komplexen Bauteilen für die Luftfahrt
- ▶ Verbesserte Ortsauflösung, Kontrastempfindlichkeit und Durchdringung

Ausblick

- ▶ Mehrfach Schlitzblendenkamera für die Röntgenrückstreu-Bildgebung
- ▶ Röntgenrückstreu-Tomographie (CT)
- ▶ Dual-Energie Röntgenrückstreu-Bildgebung

Danksagung

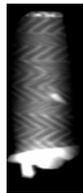
Diese Arbeit wurde finanziell unterstützt durch [AIRBUS Operations GmbH](#), [BAM](#) und [BMBF](#) im Rahmen der Projekte- [IPRO](#) und [ESecLog](#).

Dank an Herrn W. Bisle, Airbus Operations GmbH und Dr. K. Osterloh für hilfreiche Diskussionen und wertvolle Hinweise.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Vielen Dank!

