



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

DGZfP-Jahrestagung 10. - 12. Mai 2010, Erfurt



IAEA
Meeting
Juni 2009
Wien

Entwicklung und Optimierung eines kosteneffektiven digitalen bildgebenden Röntgendetektors

U. Zscherpel, U. Ewert, D. Fratzscher, O. Alekseychuk, BAM, Berlin

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung: radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung




1

Ziele des IAEA-Projektes (CRP):

- Entwurf, Bau, Erprobung und Validierung eines einfachen und preiswerten Systems für die digitale industrielle Radiographie (DIR) in jedem der IAEA-Mitgliedsländer des CRP, leicht nachbaubar und frei von Patentrechten.
- Veröffentlichung der Bauanleitung
- Sammlung von radiologischen Bildern verschiedener Objekte, um einen DIR-Anwendungskatalog zusammenzustellen.
- Vergleich der Leistungsfähigkeit der DIR-Systeme, die in den teilnehmenden Mitgliedsstaaten hergestellt wurden, durch Ringversuche und Auswahl des kosteneffektivsten Systems unter den Aspekt von Bildqualität und Kosten.
- Entwicklung und Erprobung von optimalen Quellen – Detektor – Konfigurationen und ihrer Validierung für verschiedene Materialien und Defekte.
- Unterlagen zur Ausbildung von ZfP-Personal für industrielle Anwendungen in den Mitgliedsstaaten.

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung: radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung

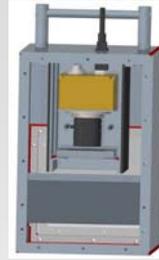
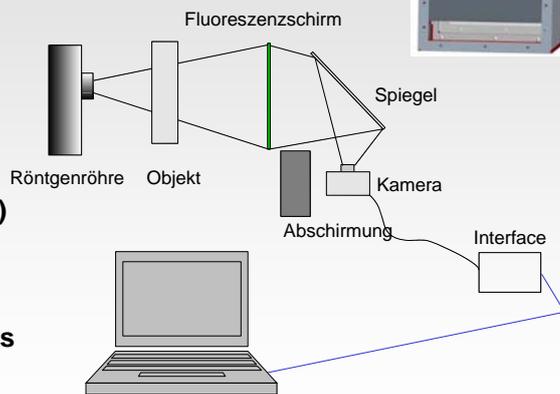



2

BAM - Konzept "kosteneffektive DIR" - Radio 5000 - in 2005

Entwurf eines Fluoreszenzsystems für < 5000 \$

- **Hardware**
 - Fluoreszenzschirm
 - Spiegel
 - Kamera
 - Abschirmgehäuse
 - Computer
- **Röntgenröhre (verfügbar!)**
- **Software**
 - Datenerfassung
 - Bildverarbeitung
- **Prozeduren und Standards**
- **Training**
- **Objekte**



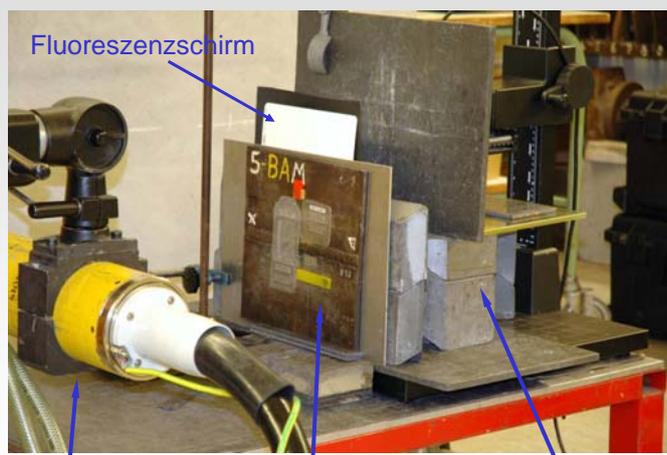
3

BAM Labor-Aufbau 2007 für erstes CRP-Treffen

10 mm Fe
180 kV Röhre

$CS_{wire} = 0,8 \%$
 $SR_b = 200 \mu m$
 $SNR_N = 350$

Schirmgröße
 $FOV = 10 \times 15 \text{ cm}^2$



Röntgenröhre

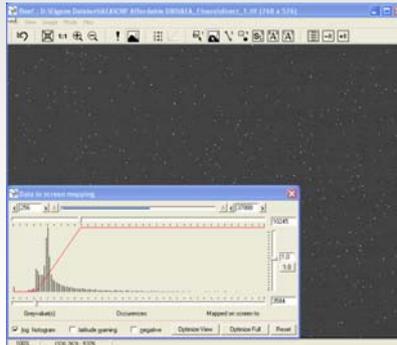
Testobjekt

Fluoroskop

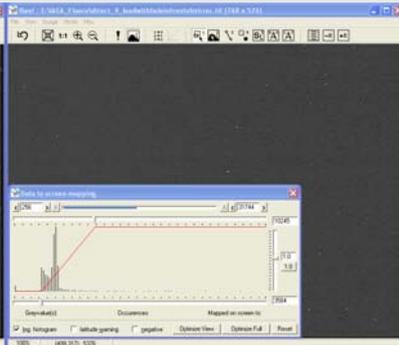
4

Abschirmung des CCD-Sensors gegen Röntgen-Streustrahlung (10 mm Bleiglas vor Objektiv)

Gestreute Röntgen-Photonen im CCD-Chip (ohne Licht!):



Zusätzliche Bleiabschirmung zur Streustrahlen-Reduktion:



Gehäusematerial – wichtig: Stahl, Aluminium vermeiden (Streustrahlung!)

5

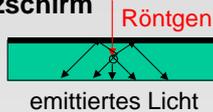
Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung: radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



Auswahl der Komponenten nach Optimierung:

Fluoreszenzschirm



- bestimmt Unschärfe + Empfindlichkeit
- DRZ-PLUS (2.8 lp/mm, $SR_B = 200 \mu m$)
- $Gd_2O_2S:Tb$ (Gadox) von Kasei, Japan
- www.kasei-optonix.jp, 200 €

Spiegel



- Al auf 1mm Glas „First Surface“
- Edmund Optics 20 €

Objektiv



- Fix-Fokus, Megapixel, C-Mount
- 12 mm / 1:1,8, Gauss-korrigiert
- Edmund Optics, 200 €

CCD- Kamera



- 1800 €
- „FOculus“ FO442 B www.net-gmbh.com
- 1024x1280 Pixel, 2/3“
- Sony ICX285 AL CCD (Graustufen)
- Belichtungszeit einstellbar
- 12 bit, 15 Bilder/s
- Firewire digital zum PC
- Microsoft WDM Treiber

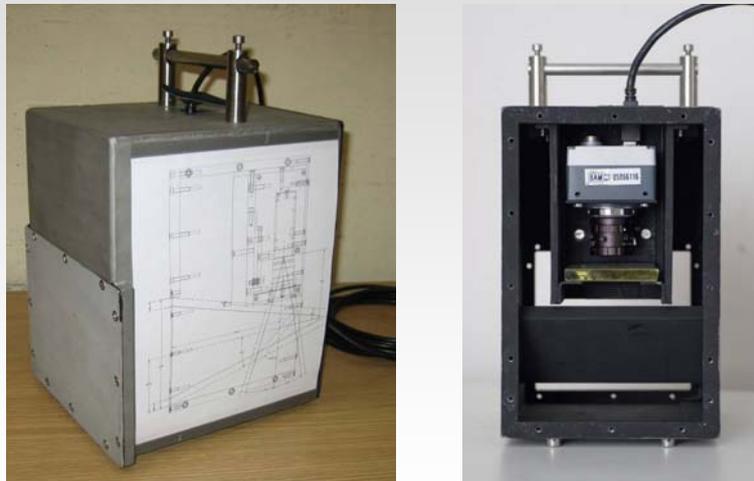
6

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung: radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



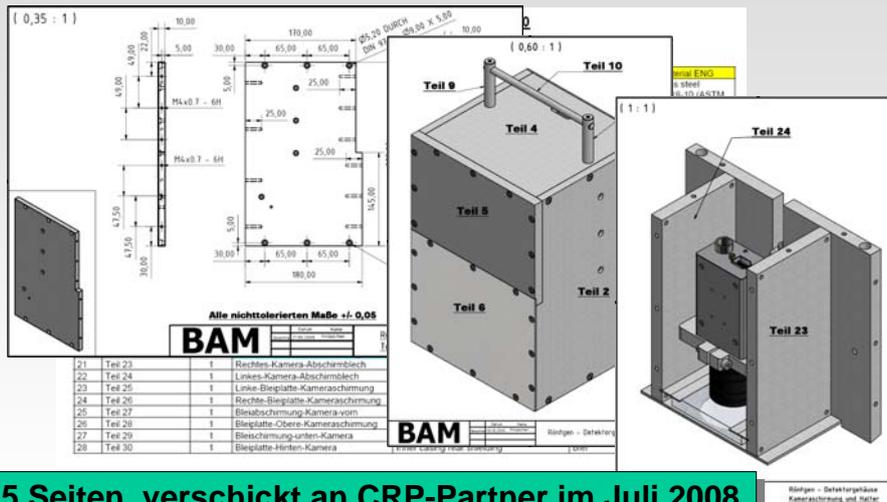
Finales Design 2008: BAM-Prototyp des Fluoroskops



Geschweißtes Gehäuse, Konstruktion später für geschraubtes Gehäuse

7

Konstruktionsunterlagen für Gehäuse, Abschirmung und Bildjustierung



35 Seiten, verschickt an CRP-Partner im Juli 2008

8

Hergestellte Einzelteile in Usbekistan



2nd RCM of CRP on DIR, Vienna, July '09

Navoi Mining and Metallurgy Combinat



9

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung:
radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



Fluoroskop-Aufbau in Syrien, ohne Gehäuse



10

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung:
radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



Gemeinsame Herstellung in Argentinien und Uruguay



Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung:
radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung

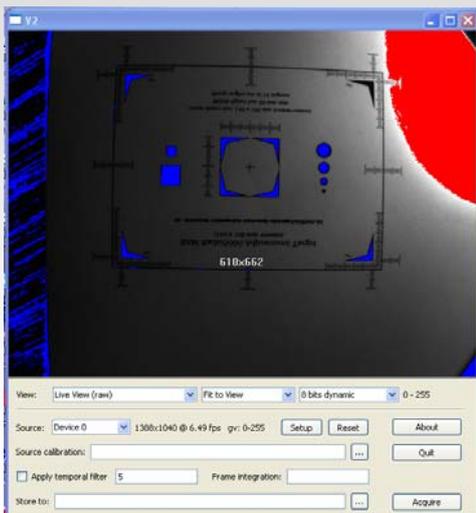


Software zur Bildintegration und Pixelkalibrierung

V2.exe (frei verfügbar unter GPL)

Hauptfunktionen:

1. Echtzeit-Videodarstellung, farbige Übersteuerungsanzeige
 2. Unterstützt alle „DirectShow“-Kameratreiber unter Windows
 3. Kameraeinstellung von Dunkelstrom und Belichtungszeit über „Setup“
 4. Integration von 8-Bit-Bildern zu 16-Bit TIFF-Dateien
 5. Zeitliche Medianfilterung der Einzelbilder bei Bildintegration zur Unterdrückung direktumgesetzter Röntgenphotonen im CCD-Sensor
 6. Auswahl von Ort und Namen des Ergebnisbildes der Integration
 7. Unbegrenzte Anzahl von Bildintegrationen
 8. Funktionalität zur Pixelkalibrierung
- Bildarstellung und Auswertung des Integrationsergebnisses mit ISee!



Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung:
radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



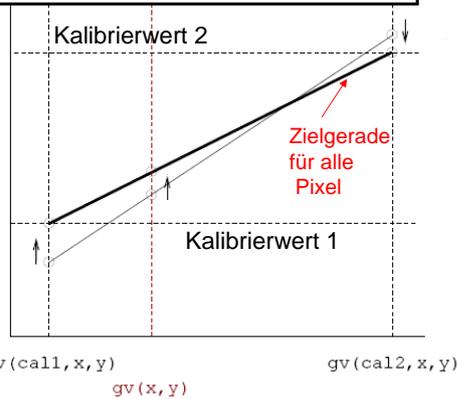
Software zur Pixelkalibrierung

Kalibrierung über Text-File mit Namen der Kalibrierbilder:

```
$adjust_black
Dark2-200ms-240s.tif
Fe5mm-220kV-1mA-700mm-200ms-180s.tif
Fe5mm-220kV-2mA-700mm-200ms-120s.tif
Fe5mm-220kV-4mA-700mm-200ms-120s.tif
Fe5mm-220kV-8mA-700mm-200ms-60s.tif
```

- **V2** führt die Pixelkalibrierung nach der Bildintegration aus und speichert das kalibrierte Bild, wenn ein gültiges Textfile unter „Source calibration“ angegeben ist.
- **Isee!** erlaubt die Anwendung beliebiger Kalibrierdaten, dazu müssen aber die unkalibrierten Rohdaten abgespeichert werden.
- Der Nutzer kann den optimalen Weg selbst bestimmen.

Korrektur der Übertragungsfunktion für jedes Bildpixel einzeln:



13

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung
radiologischer Verfahren

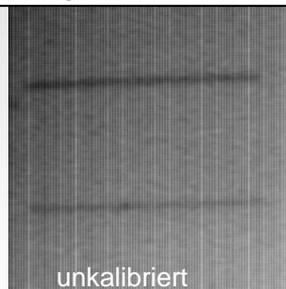
Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



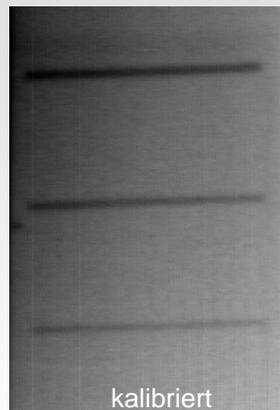
Software für Datenaufnahme und Pixelkalibrierung

Software V2 + ISee!

- Datenaufnahme mit Bildintegration
- Image Calibration → Adjust Pixels ...
- Bildverarbeitung



unkalibriertes Bild:
- Linienstruktur begrenzt SNR im Bild



kalibriert:
- verbessertes SNR für ZfP-Qualität

14

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung
radiologischer Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



BAM 5 Schweißnaht

Feine Risse sichtbar!
DIN 462-3, Klasse B

- Drahtsteg
 - W 14 gefordert
 - W16 sichtbar
- Stufe-Loch-BPK
 - H5 gefordert
 - H4 sichtbar
- ASTM E1025
 - besser als 2-2T
- Doppeldrahtsteg EN 462-5, ASTM 2002
 - D 7 nicht aufgelöst
 - $SR_b = 200\mu\text{m}$

Hochpassgefiltert für bessere Darstellung

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung, radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung

15

BAM-Fluoroskop versus Speicherfoliensystem

BAM5 Schweißnaht (8mm Fe), 130 kV, 0.5 m, ~100 mAs

BAM Fluoroskop 17 mA, 6 sec

ST-VI, Dürr CR35V, 10 mA, 10 sec

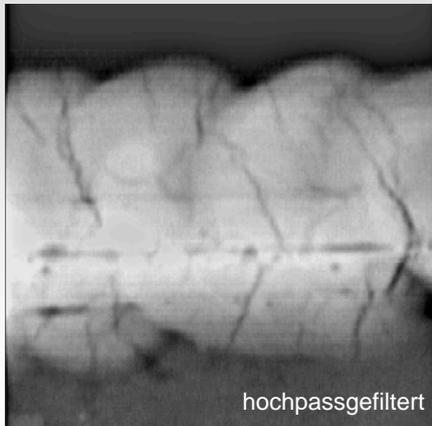
16

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung, radiologische Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung

BAM-Fluoroskop versus Speicherfoliensystem

BAM5 Schweißnaht (8mm Fe), 130 kV, 0.5 m, ~100 mAs



BAM Fluoroskop 17 mA, 6 sec

ST-VI, Dürr CR35V, 10 mA, 10 sec

17

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung
radiologischer Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



Vergleichstabelle mit typischen Kenngrößen

	ZfP-Film (ISO 11699-1)	BAM- Fluoroskop	Dürr CR35V mit ST-VI IP	PerkinElmer DDA: XRD 0820
Basisortsauflö- sung [μm]	15 μm abhängig von keV	200	130	200
normiertes Signal/ Rausch- Verhältnis (max.)	50 - 200	350 (für 10 mm Fe)	< 200	> 1000
Bildfläche, cm^2	40 x 30	10 x 15 (z. Z.) 22 x 15 (max.)	47 x 35	20 x 20
SNR_N bei 1 mGy (220 kV, 8 mm Cu)	30	30	90	200
Preis, €	Kosten von Filmen + Dunkelkammer	< 5 000	~30 000	~50 000

18

Zerstörungsfreie
Prüfung und
Charakterisierung
radiologischer Verfahren

Kosteneffektiver Röntgendetektor für DIR-Anwendung



Erwarteter Nutzen des IAEA-Projektes:

- Anleitung zum Eigenbau wird veröffentlicht.
- Bereitstellung von Informationen über die Möglichkeiten von einfachen und preiswerten Technologien der digitalen industriellen Radiologie für Entscheidungsträger in der Industrie sich entwickelnder Länder.
- Prozeduren und Protokolle zur Prüfung verschiedener Materialien (Stahl, Leichtmetallguss, Plastik) und Produktformen (Schweißnähte oder Gussteile) unter Verwendung eines einfachen und kosteneffektiven DIR-Systems.
- Hard- und Software für Ausbildung, Qualifizierung und Zertifizierung von ZfP-Personal unter Verwendung eines einfachen und kosteneffektiven DIR-Systems.
- Ausbildungsunterlagen in den Mitgliedsstaaten
- Reduzierte Prüfzeit und Verdeutlichung der Umweltschutzaspekte (keine Verbrauchsmittel) durch Filmersatz in den Mitgliedsstaaten.

19

IAEA-CRP mit Partnern aus:

*Algerien,
Argentinien,
Brasilien,
Kanada,
Deutschland,
Indien,
Israel,
Malaysia,
Pakistan,
Romänien,
Syrien,
Uruguay,
Uzbekistan.*

<http://www.kb.bam.de/ic.html>

ENDE

Besonderer Dank an Herrn Knöppchen (BAM VIII.4 Werkstatt)
für Bau des Prototypen und Erstellung der Konstruktionszeichnungen!

20