



BAM Berlin, Hauptgebäude

Anwendung hochenergetischer Strahlenquellen in der Durchstrahlungsprüfung

B. Redmer, W. Przybilla, M. Föllner, H.-J. Malitte, U. Ewert
BAM Berlin

1

Einleitung

Ziel der Durchstrahlungsprüfungen mit hoher Energie ist es, den Nachweis der Prüfteilintegrität und Funktionalität, insbesondere bei sicherheitsrelevanten Bauteilen, wie z.B. bei Druckgeräten und –behältern, Pumpen und Ventilen sowie dickwandigen Schweißnähten und vorgespannten Brückengliedern und Armierungen, zu erbringen. Der ortsveränderliche Einsatz von hochenergetischen Strahlenquellen ermöglicht dabei die Prüfung von dickwandigen Objekten mit Materialstärken von bis zu 230 mm Stahl oder bis zu 900 mm Beton.

Zur ortsveränderlichen Prüfung werden Betatrons eingesetzt. Im Betatron werden Elektronen in einem Transformator kern zirkular beschleunigt und treffen mit hoher Energie auf ein Target. Beim Auftreffen auf das Target wird die Beschleunigungsenergie in Röntgenstrahlungsenergie (Bremsstrahlung) umgewandelt und über das Emissionsfenster abgestrahlt. Betatrons mit einer Energie bis zu 7,5 MeV sind am Markt verfügbar.

Der Beitrag stellt die Technik der Betatrons, Anwendungsbeispiele und Erfahrungen aus ersten vor-Ort-Prüfeinsätzen vor. Ein Vergleich mit anderen Strahlenquellen (z.B. Cobalt-60) wird aufgezeigt. Die Prüfung mit Röntgenfilm und digitalen Detektoren wird beschrieben. Bei der Prüfung mit Speicherfolien wird die Bildgüte wesentlich durch die eingesetzten Zwischenfilter bestimmt. Durch Messung des erreichbaren Kontrastes und Kontrast/Rauschverhältnisses sowie durch Anwendung spezieller Kollimatoren konnten die Einsatzbedingungen optimiert werden.

Die F&E-Arbeiten zum mobilen (ortsveränderlichen) Einsatz von Betatrons in der Durchstrahlungsprüfung wurden im Rahmen des EU-Forschungsprojektes „HEDRad“ gefördert.

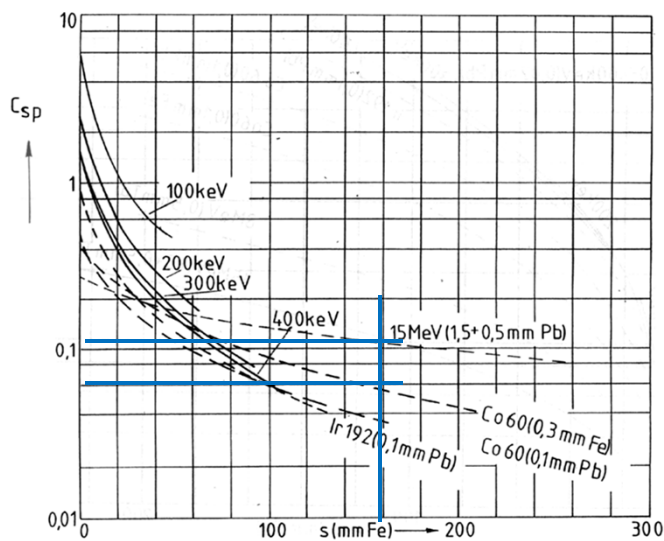
2

Motivation

- EU- Projekt "HEDRad – High Energy Digital Radiography"
- großer Wanddickenbereich = DIN 17636: (A) w>50 mm, (B) w>80 mm
- portable / mobile Röntgenstrahler (2,5 MeV und 7,5 MeV)
- besserer spezifischer Kontrast bzw. Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis
- druckführende, dickwandige Komponenten
 - Ersatz manueller Wartungsarbeiten, Funktionsprüfungen
 - Ventil- und Pumpenhäuser
- Ersatzvariante für Co60- Gammastrahler
 - * 2,5 MeV vergleichbar mit Co60, 1500 GBq

3

Hochenergie – Spezifischer Kontrast



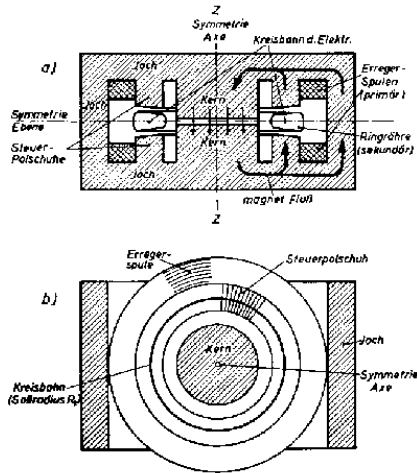
$$C_{sp} = \frac{\mu}{1+k}$$

für 160 mm Eisen:

Erhöhung des spezifischen Kontrastes um den Faktor 2 zwischen Cobalt-60 und 15 MeV- Linearbeschleuniger

4

Funktionsprinzip



- zeitlich änderndes Magnetfeld
- Elektronen bewegen sich auf einer Kreisbahn
- Magnetfeld induziert ein elektrisches Feld in der Ringröhre
- Elektronen werden auf der Kreisbahn beschleunigt
- Elektronen "streifen" das Target - Röntgenstrahlung entsteht

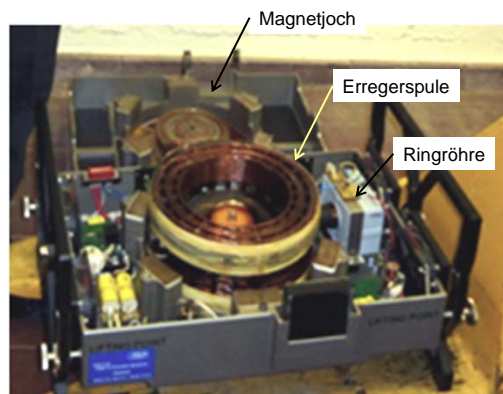
Quelle: <http://www.e18.physik.tu-muenchen.de/skript/Betatron.html#fig.Betatron>

5


Funktionsprinzip



Ringröhre



6




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

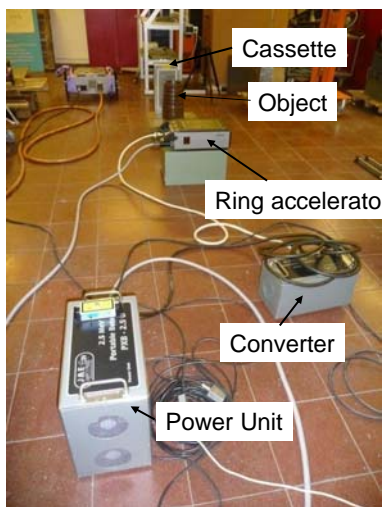
7

Radiologische Verfahren
VIII.3

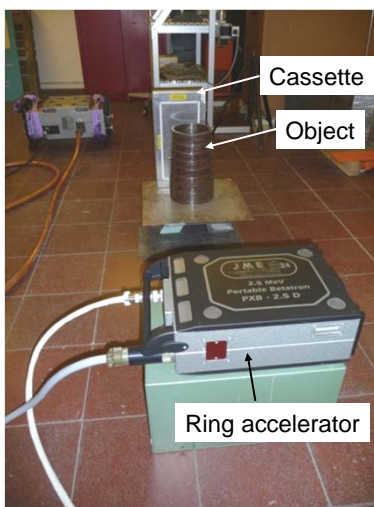
Betatrons – Mobile Durchstrahlungsprüfung
Redmer u.a. – DGZIP Jahrestagung 2011, Bremen



Messaufbau – 2,5 MeV



Cassette
Object
Ring accelerator
Converter
Power Unit




Cassette
Object
Ring accelerator

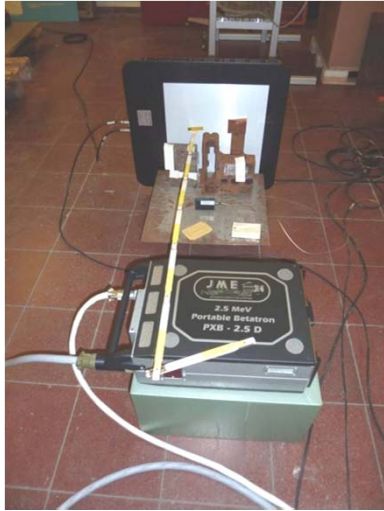
8

Radiologische Verfahren
VIII.3

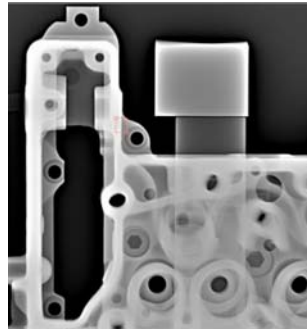
Betatrons – Mobile Durchstrahlungsprüfung
Redmer u.a. – DGZIP Jahrestagung 2011, Bremen



Messaufbau mit DDA - PE XRD 1621



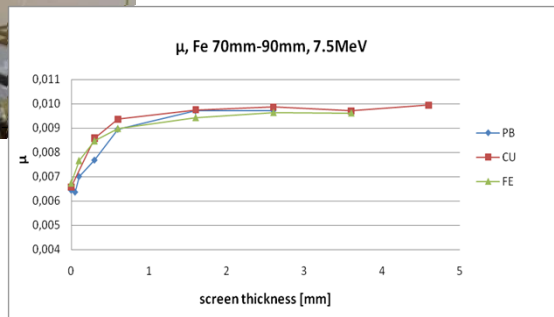
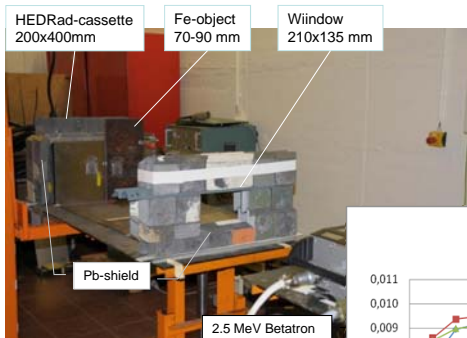
PI-200 Gadox Scintillator
 LWL-Computer Interface
 Unschärfe MTF-20%: 1lp/mm @ 2.5 MeV
 200 µm oder 400 µm Pixelgröße
 maximal 7 Bilder pro Sekunde



Motorblock

9

HEDRad: Welche Filter für optimales μ und k ?



10

HEDRad: Welche Filter für optimales μ und k ?

Bedingung

1. Maximierung des Schwächungskoeffizienten μ
2. Minimierung des Streuverhältnisses k

	Zwischenfilter		Vorderfolie an 1. IP				IP- Folie	
	no	Sn	no	Pb 0. 3	Cu 0. 5	Fe 0. 5	Fe 0.5	no
Kontrast (max)		x		x	x		x	
Grauwerte (max)		x	x	x			x	x
SNR (max)	x					x	x	
Draht IQI (max)	x					x	x	
Duplex IQI (max)		x		x	x	x	x	
Kantenunschärfe (min)		x		x			x	

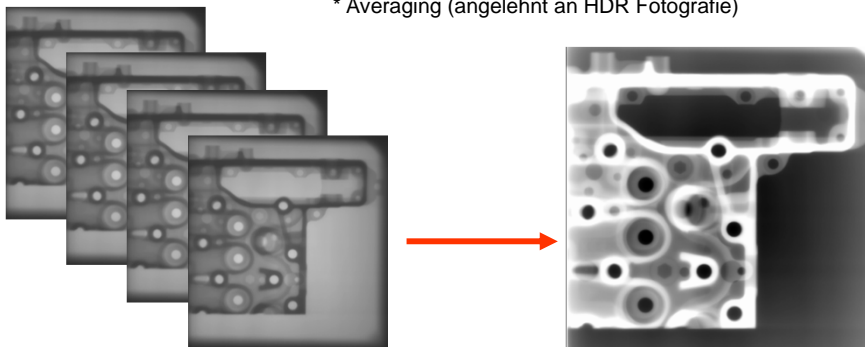
	Optimaler Zwischenfilter		
Energie	Fe	Cu	Pb
2.5 MeV		0.3 - 0.8 mm	0.6 - 1.6 mm
5 - 7.5 MeV		0.6 - 1.6 mm	

11

HEDRad: Multi-Speicherfolien Anwendung

Softwareentwicklung NIRA3

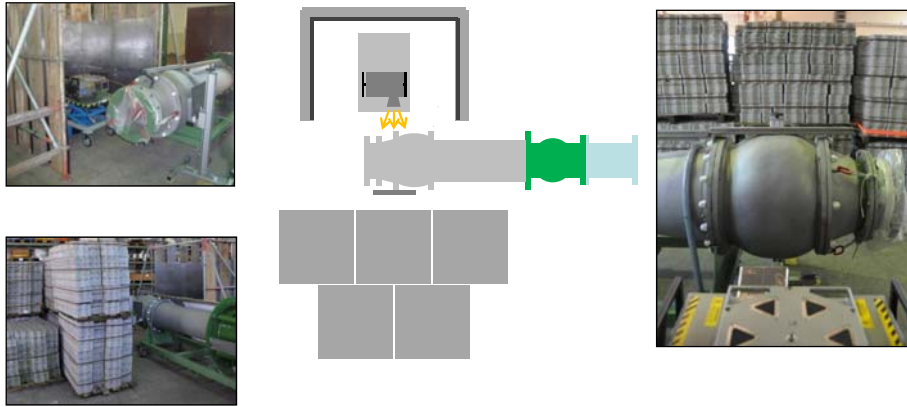
- * Positionskorrektur (Trans, Rot.)
- * Vergrößerungskorrektur Rohbilder
- * Averaging (angelehnt an HDR Fotografie)



Rohbilder, Positiv → 4faches Averaging erhöht SNR um 2 → Ergebnisbild in Negativdarstellung

12

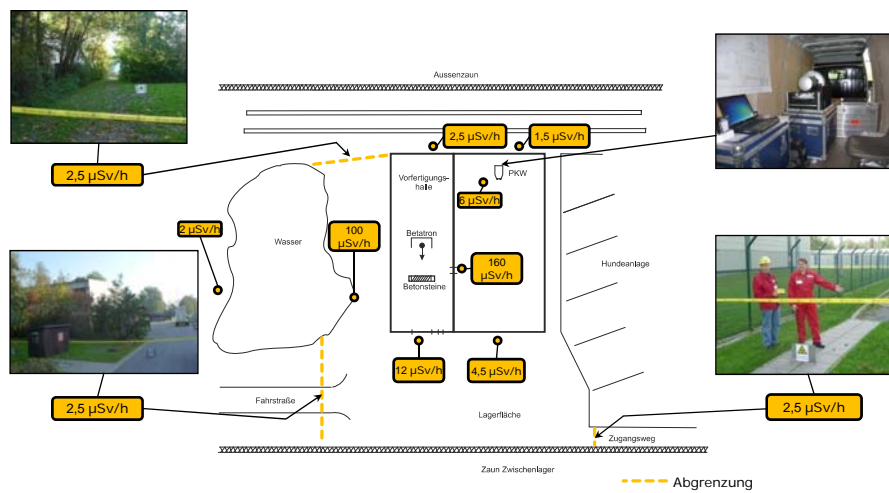
Vor Ort Einsatz - Kühlmittelpumpe



13

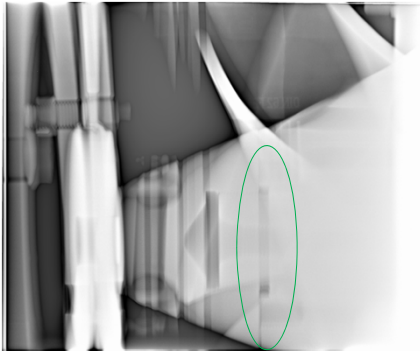
Vor Ort Einsatz - Kühlmittelpumpe

Strahlenschutz & Dosisleistung @ 7,5 MeV

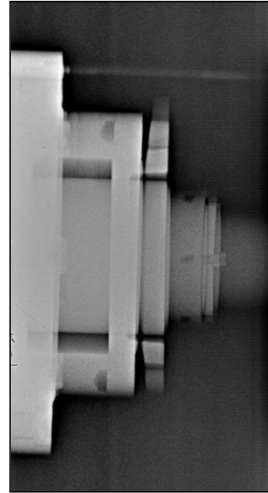


14

Funktionsprüfung
anstatt manueller Wartungsprüfung



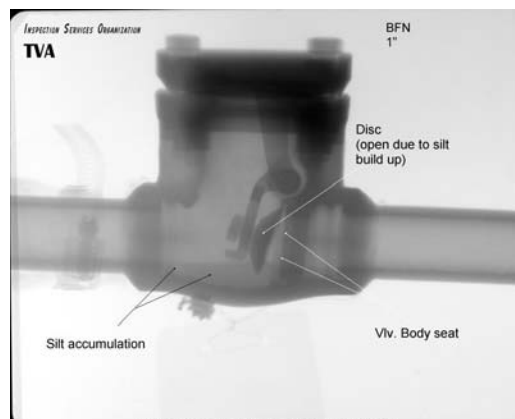
Abstandmaß zwischen Welle und Rotorblatt



Verschraubung und Sitz der Muffenverbindung

15

Funktionsprüfung
Geschlossenes Ventilgehäuse

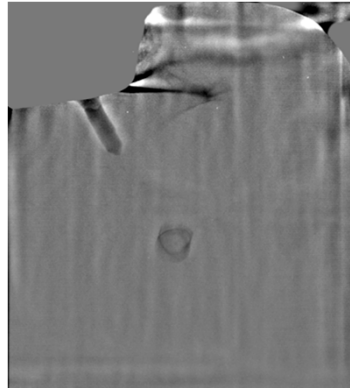
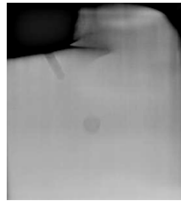


16

Vor Ort Einsatz

Kulturgut erhalten

Schildträger vom Grabmal Andrea Vendramin, Tullio Lombardo, Ende 15. Jh.
Bodemuseum Berlin, Marmor



17

Radio-logische Verfahren
VIII.3

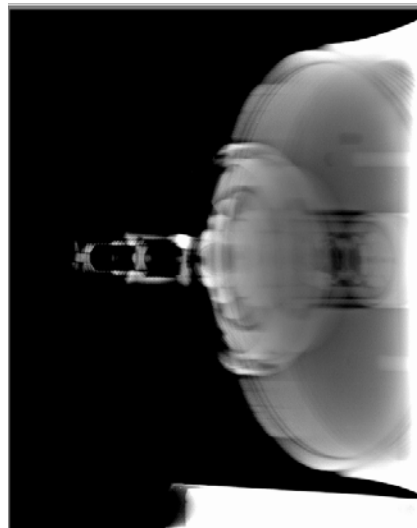
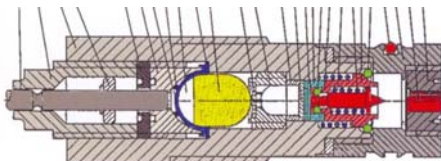
Betatrons – Mobile Durchstrahlungsprüfung
Redmer u.a. – DGZfP Jahrestagung 2011, Bremen



Anwendungen - Sicherheit

Fundmunition aus 2. WK

Beurteilung Zustand des Zündmechanismus



18

Radio-logische Verfahren
VIII.3

Betatrons – Mobile Durchstrahlungsprüfung
Redmer u.a. – DGZfP Jahrestagung 2011, Bremen

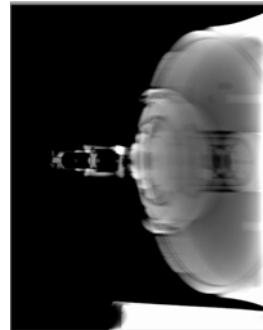
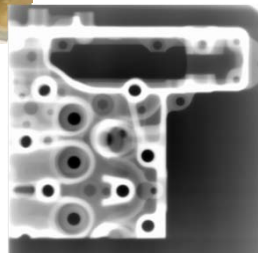


Zusammenfassung

- Betatrons (2,5 MeV und 7,5 MeV) sind als portable Röntgenstrahler für den ortsfesten und ortsveränderlichen Einsatz geeignet.
- Der Aufwand an Strahlenschutzmaßnahmen gegenüber Co60- Strahlern ist vergleichbar (siehe Poster P16).
- Das Betatron 2,5 MeV ist als Ersatzstrahlenquelle für den Co60- Gammastrahler (1500 GBq) geeignet. Es ist kein Transport nach ADR mehr nötig.
- großer Wanddickenbereich = bis zu 250 mm Stahl und 1000 mm Beton @ 7,5 MeV (Herstellerangaben)
- Besserer spezifischer Kontrast als konventionelle Röntgenstrahler, geringeres Streuverhältnis.
- Die mobile Prüfung und Inspektion druckführender, dickwandiger Komponenten eignen sich als klassische ZfP und für die Messung von Wandstärken, Korrosion und Erosion großer Komponenten.
- Die mobile Prüfung der Funktionalität von großen Baugruppen ersetzt die manuelle Routine-Wartung. In der Kerntechnik wird dadurch eine unnötige Strahlenbelastung des Wartungspersonals vermieden.

19

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



➤ Kontakt & Information

Dipl.-Ing. Bernhard Redmer
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
FG 8.3 „Radiologische Verfahren“
Unter den Eichen 87, D- 12205 Berlin
Telefon: 030-8104 1831
Fax: 030-8104 1837
Mobile: 0172-4522754

20