



Ein neues Konzept zur Bestimmung der optimalen Röntgenspannung für die ZfP mit digitaler Radiographie

U. Ewert, K. Heyne, U. Zscherpel, M. Jechow, BAM, Berlin  
K. Bavendiek, YXLON International, Hamburg

uwe.ewert@bam.de

Optimale Röntgenspannung in der Digitalen Radiographie Mai, 2010



1

### Motivation

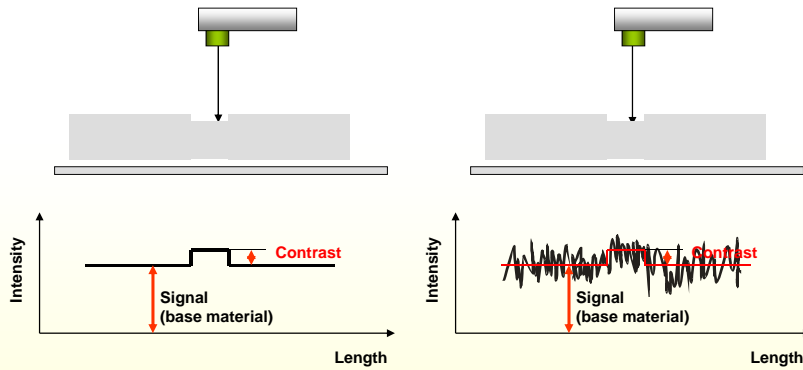
- Schwierigkeiten bei der Radiographie mit Speicherfolien und Flachdetektoren machten es erforderlich, einige Grundlagen aus den Z-RT-Kursen für digitale Anwendungen zu überprüfen.
- Anlass war unter anderem das Problem, dass Anwender nicht immer die Klasse B (Drahtstegerkennbarkeit) beim Einsatz von Speicherfolien erreichen konnten.
- Mit Flachdetektoren wurde eine deutlich höhere Bildqualität als mit Filmen erreicht, obwohl diese meist erheblich unschärfere Bilder liefern.
- Es sollte überprüft werden, warum die Bildqualität (Drahterkennbarkeit) ansteigt, wenn
  - mit Speicherfolien im Vergleich zur Filmmradiographie die Röhrenspannung abgesenkt wird und
  - mit DDAs im Vergleich zur Filmmradiographie die Röhrenspannung erhöht wird.

Revision der Standards für die Radiographie mit Speicherfolien erforderlich

- In den neuen Vorschlägen zu **EN 14784-2** und der **ISO 17636-2** (äquivalent zu EN 1435-2) wurde die Angabe der maximal zulässigen Grenzenergie zu einer Empfehlung umformuliert.
- Weiterhin sollten Erfahrungsberichte aus dem E.07-Komitee von ASTM (USA) überprüft werden:
  - Hier wurde berichtet, dass die Bildqualität steigt (höhere Bildgüte), wenn mit höheren Dosisleistungen gearbeitet wird. Das erschien uns unlogisch, wenn doch mit der Belichtungszeit kompensiert werden kann.
  - Neue Revision von **ASTM E 2033**: „6.2.4. Sub-optimal conditions to avoid include: *low intensity X-ray or gamma-ray exposure sources, excessively low or high X-ray energy levels*“

## Bildqualität in der digitalen Radiologie

## Einfluss des Bildrauschens auf die Detailerkennbarkeit



**Nute sichtbar!**

**Kontrast/Rauschen ist hoch  
Signal/Rauschen ist hoch**

**Nute nicht sichtbar!**

**Kontrast/Rauschen ist niedrig  
Signal/Rauschen ist niedrig**

## Grundlagen der digitalen Radiographie

Bildgüte (Drahtstege, Stufe-Loch),  
bei gegebener Objektgröße

$$\frac{CNR}{\Delta w} = SNR_{Total} \cdot \mu_{eff}$$

Material,  
keV, Strahlertyp  
Streustrahlung  
Folien und Filter

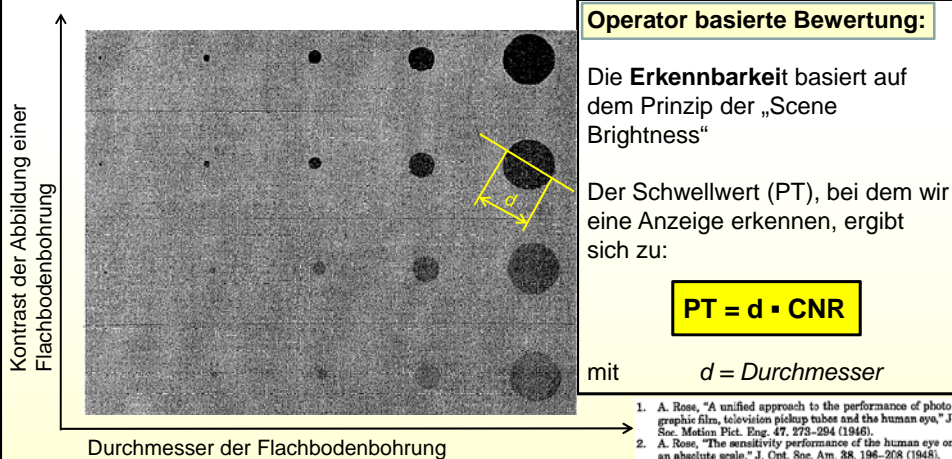
Specific CNR

Belichtungszeit, FFA  
Röhrenstrom, Aktivität  
Detektorempfindlichkeit

## Rauschquellen

- **Photonenrauschen** – ändert sich mit der Belichtungsdosis (z.B. mA·s or GBq·min)
- **Strukturrauschen** von Speicherfolien („Rauheit“ oder Körnigkeit der strahlungsempfindlichen Schicht und Homogenität der Schutzschicht)
- **Kristalline Struktur** des Materials (z.B. nickelbasierte Legierungen, Mottling)
- **Oberflächenrauheit** des Prüfobjektes (z.B. Gussteile)

## Grundlagen der digitalen Radiographie



### Operator basierte Bewertung:

Die **Erkennbarkeit** basiert auf dem Prinzip der „Scene Brightness“

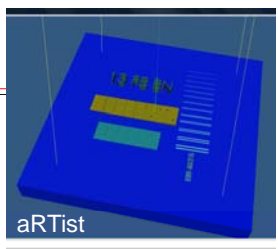
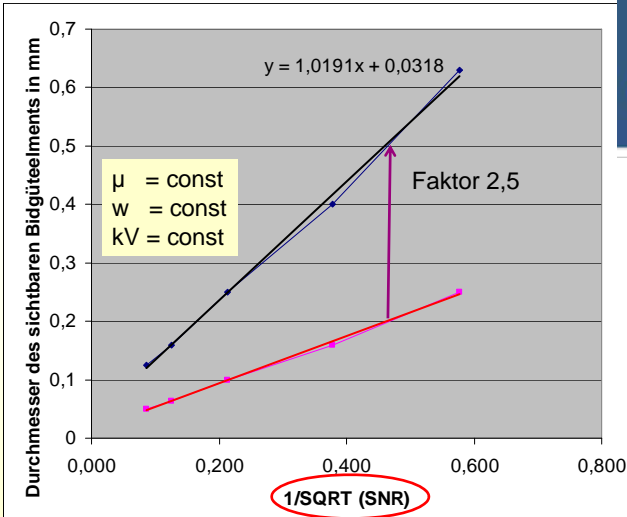
Der Schwellwert (PT), bei dem wir eine Anzeige erkennen, ergibt sich zu:

$$PT = d \cdot CNR$$

mit  $d = \text{Durchmesser}$

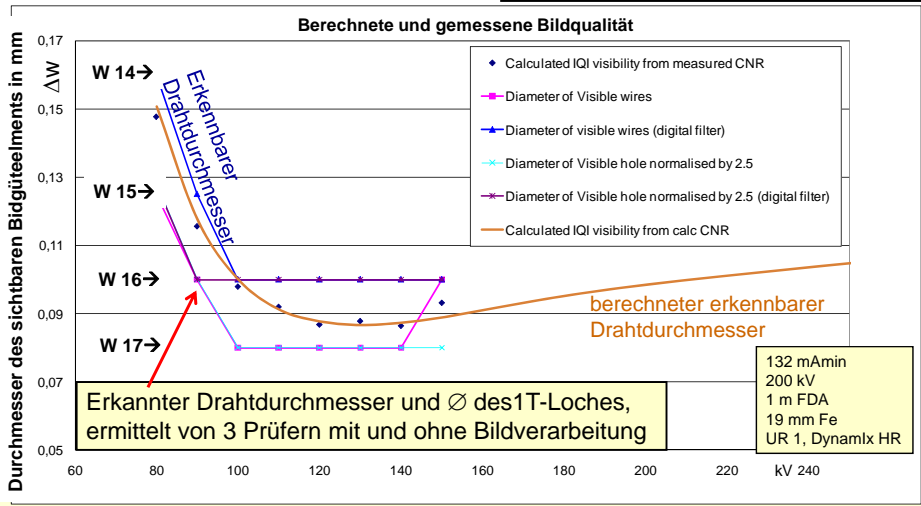
1. A. Ross, "A unified approach to the performance of photographic film, television pickup tubes and the human eye," J. Soc. Motion Pict. Eng. 47, 273-294 (1946).
2. A. Ross, "The sensitivity performance of the human eye on an absolute scale," J. Opt. Soc. Am. 38, 196-208 (1948).
3. A. Ross, "Television pickup tubes and the problem of vision," in *Advances in Electronics and Electron Physics*, L. Marten, ed (Academic, New York, 1948), Vol. 1, pp. 131-166.

**Überprüfung für Drähte und Löcher**  
 → Modellierte Radiographie einer Fe-Platte mit verschiedenen Bildgütekörpern



**Übereinstimmung von berechneter und gemessener Bildqualität**

$\Delta w = \text{const} / \text{Wurzel}(\mu(kV, w) \cdot \text{SNR}(GV))$



## Empfehlungen zur Prüfanweisung

## Grundlagen der digitalen Radiographie

Alle Standards der Filmradiographie erfordern weltweit:

### Film

- Minimale optische Dichte (z.B.  $> 2.0$ )
- Maximale Filmsystem-Klasse (z.B.  $\leq C5$ )

- Maximale Unschärfe ( $< 0.1$  mm)

- Nachweis der Bildgüte mit
  - Drähten,
  - Stufe-Loch-Bildgütekörpern oder
  - Lochplättchen

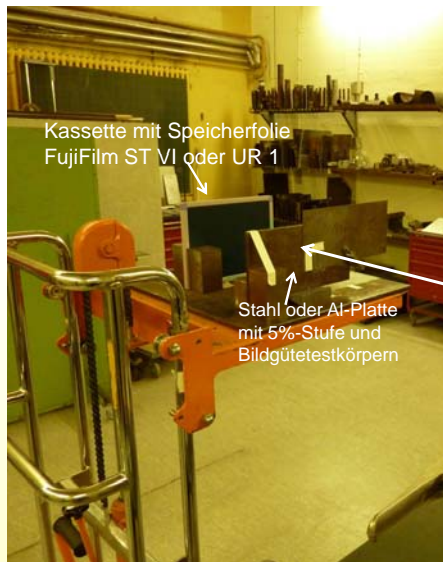
### Digitaler Detektor

} Signal-zu-Rauschverhältnis  
oder Grauwert ?

→ Geometrie und Detektor

} Kontrast-zu-Rauschverhältnis

## Versuchsaufbau zur Bestimmung der optimalen Durchstrahlungsenergie

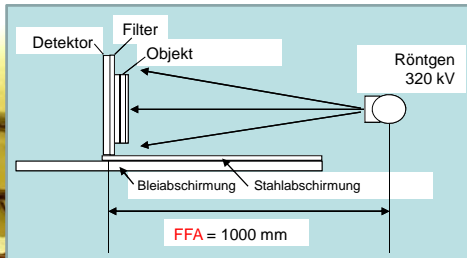


Kassette mit Speicherfolie  
FujiFilm ST VI oder UR 1

Stahl oder Al-Platte  
mit 5%-Stufe und  
Bildgütestestkörpern

320 kV-Röhre,  
Seifert, Isovolt

FDA = 1 m  
a) ODA = 25 cm  
b) ODA = 0 cm



Optimale Röntgenspannung in der  
Digitalen Radiographie Mai, 2010



13

## Filmersatzprozedur - Mindestbelichtungs-dosis

### Belichtung der Speicherfolie in Äquivalenz zur minimalen opt. Dichte des Films

- a) bis ein Mindest-SNR im auswertbaren Bereich erreicht wird (nach Norm EN 14784-2)
- b) bis ein Mindestgrauwert im auswertbaren Bereich erreicht wird

- Variante b) ist zur Zeit nicht zulässig, soll aber in der nächsten Revision der EN 14784-2 erlaubt werden.
- Der Nutzer muss dann allerdings sein System kalibrieren (siehe nächste Folie)!

**Verwendung des Grauwertes anstatt des Mindest-SNR-Wertes nach Norm ist nur möglich, wenn**

- der gleiche Speicherfolientyp verwendet wird
- der gleiche Scanner verwendet wird
- die gleichen Scannereinstellungen verwendet werden

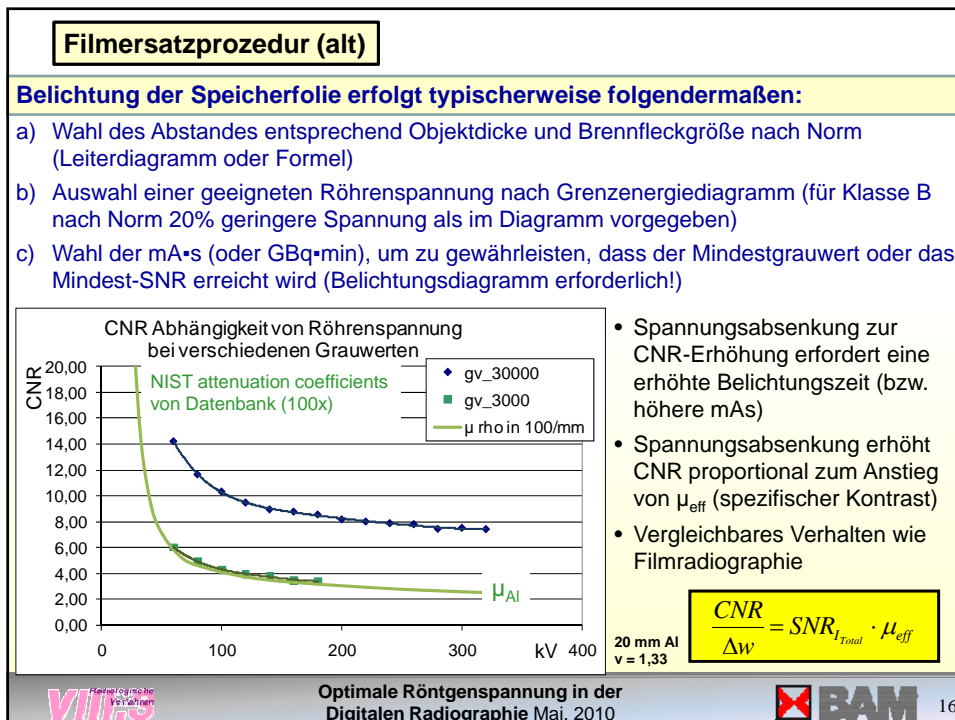
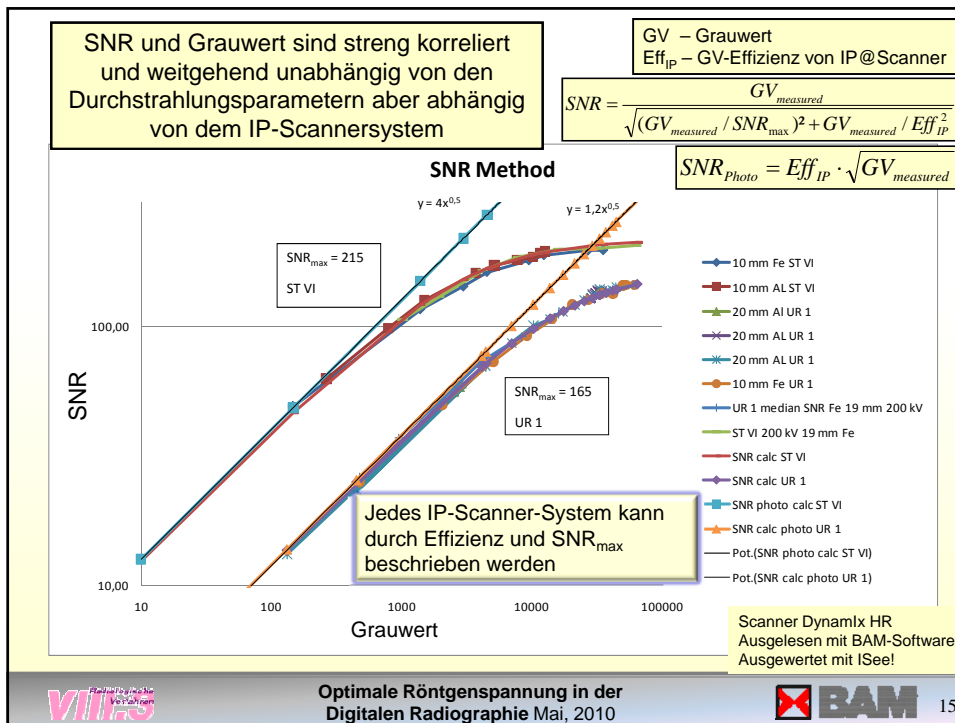
**Neukalibrierung zur Bestimmung des Mindestgrauwertes ist erforderlich, wenn**

- Scanner-Scan-Geschwindigkeit verändert wird
- Scannerempfindlichkeit (gain) verändert wird
- Multiplier-Spannung verändert wird
- Laserintensität verändert wird
- ein anderer Speicherfolientyp im gleichen Scanner verwendet wird.

Optimale Röntgenspannung in der  
Digitalen Radiographie Mai, 2010



14





## Alternative Filmersatzprozedur (neu für Röntgenanwendungen)

### Belichtung des digitalen Detektors:

- a) Wahl des Abstandes entsprechend Objektdicke und Brennfleckgröße nach Norm (Leiterdiagramm oder Formel)
- b) Auswahl der maximalen mA-Einstellung und einer wirtschaftlichen Belichtungszeit
- c) Einstellung der Röhrensorgung, um zu gewährleisten, dass der Mindestgrauwert oder das Mindest-SNR bei voreingestellter mA-Auswahl erreicht wird
- d) **Ist eine obere Begrenzung oder Optimierung der Röhrensorgung überhaupt erforderlich?**



### Stufenkeilexperiment

Fe 1,25 – 12 mm  
mit ASTM  
Bildgütestestkörpern



Optimale Röntgensorgung in der  
Digitalen Radiographie Mai, 2010



17

## Kompensationsprinzip I

80kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	1	2	1	1	1
0,07 in	4	2	2	2	1
0,10 in	-	2	2	2	1
0,12 in	4	4	2	2	1
0,15 in	-	-	2	2	2
0,20 in	kein Loch sichtbar		-	2	2
0,25 in	-		-	-	4

100kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	2	1	1	1	1
0,07 in	2	2	1	1	1
0,10 in	2	2	1	1	1
0,12 in	2	2	1	1	1
0,15 in	4	2	2	1	1
0,20 in	-	4	2	1	1
0,25 in	-	-	1	?	1

150kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	2	1	1	?	?
0,07 in	2	1	1	?	übersteuert
0,10 in	2	2	1	?	?
0,12 in	2	2	2	1	?
0,15 in	2	2	2	1	1
0,20 in	4	2	2	1	1
0,25 in	4	2	2	1	2

### Sichtbarkeit von IQIs in Abhängigkeit von der Belichtungsdose und der Röhrensorgung

- Ansteigende Röhrensorgung reduziert den spezifischen Kontrast  $\mu_{eff}$ , aber steigert die Belichtungsdose am Detektor
- Der Anstieg des SNR bei höherer Röhrensorgung kompensiert den Kontrastverlust.

IQI-Sichtbarkeit

$$\frac{CNR}{\Delta w} = SNR_{Total} \cdot \mu_{eff}$$

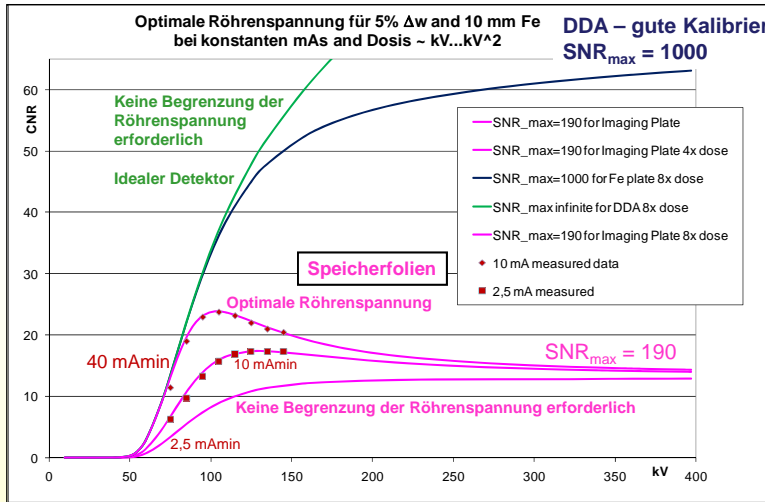


Optimale Röntgensorgung in der  
Digitalen Radiographie Mai, 2010



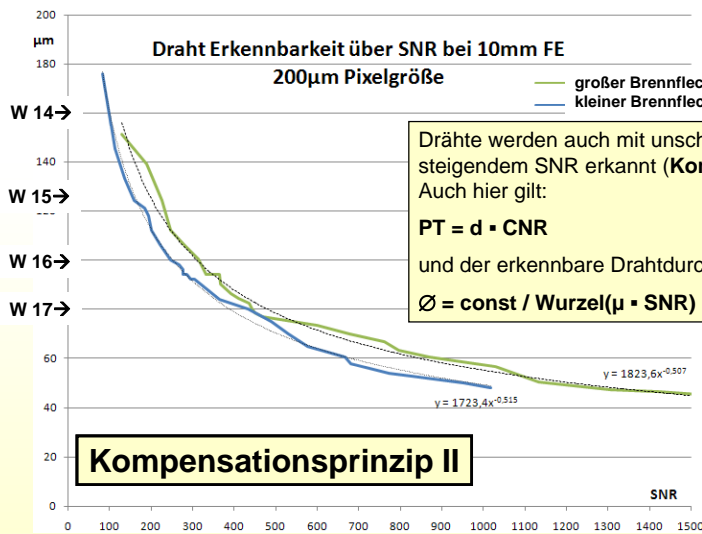
18

## Bildgüte (CNR) in Abhängigkeit von den Belichtungs- und Detektorparametern



CNR als Funktion der Röhrenspannung bei verschiedenen mAs-Einstellungen (100%, 25%, 6,25%) und konstanter Messanordnung mit Vergrößerung von 1,33.

## Erkennbarkeit von Drähten mit unscharfen Detektoren → hier DDA von PE mit 200 $\mu m$ Pixel-Größe



## Zusammenfassung

- In der digitalen Radiographie wird die Bildqualität vorrangig durch das Kontrast zu Rauschverhältnis (CNR) bestimmt.
- Betrachtungen zum Kontrast ohne das Rauschen zu berücksichtigen sind in der digitalen Radiographie nicht sinnvoll.
- Die maximal zulässige Röhrenspannung der Filmradiographie (EN 444, 1435) kann für digitale Detektoren überschritten werden.
- Bei gut kalibrierten DDAs verbessert sich die Bildqualität bei Erhöhung der Röhrenspannung über den maximal zulässigen Wert nach EN 444 hinaus..
- Bei Speicherfolien-Scanner-Systemen gibt es eine optimale Röhrenspannung, die eine maximale Bildqualität gewährt, wenn mit hohem und konstantem mA•min-Wert belichtet wird.
- Die Bildunschärfe begrenzt die Erkennbarkeit kleiner linearer Strukturen nur teilweise.
- Drähte werden auch erkannt, wenn die Basisortsauflösung des Detektors oder die geometrische Unschärfe größer ist als der Drahtdurchmesser.

## Versuchsaufbau zur Bestimmung der optimalen Durchstrahlungsenergie



Ende

Speicherfolienscanner  
FujiFilm  
Dynamix HR  
Ausgelesen mit  
BAM-Software