

Rauschquellen und ihre Konsequenzen für die industrielle Radiographie

Uwe ZSCHERPEL¹, Uwe EWERT², Peter WILLEMS³

¹ BAM, Berlin

² DGZfP-Fachausschuss Durchstrahlungsprüfung, Berlin

³ I&S-C, Stekene, Belgien

Kontakt E-Mail: uwe.zscherpel@bam.de

Kurzfassung

Heute sind 3 unterschiedliche Detektionsprinzipien in der industriellen Radiographie etabliert:

1. Radiographische Filmsysteme mit Metallfolien im direkten Kontakt mit den doppelseitigen Filmemulsionen,
2. Lumineszenz-Speicherfolien (Computer-Radiographie) mit und ohne Metallfolien,
3. Digitale Matrixdetektoren (DDAs) mit verschiedenen Detektionsprinzipien (Energie integrierend, Photonen zählend, direkt wandelnd oder mit Szintillator etc.).

Ihre Charakterisierung für industrielle Anwendungen sind mittlerweile von verschiedenen Gremien (Filme: ISO 11699, Speicherfolien (CR): ISO 16371, DDAs: ASTM E 2597) genormt.

Aufgrund der Quantennatur der Röntgenstrahlung erzeugen alle Detektoren Rauschen in ihren Bildern. Die verschiedenen Detektionsprinzipien und die Begrenzungen in der Herstellung transferieren diese Rauschquellen unterschiedlich. Im Ergebnis kommt es zu unterschiedlichen Grenzen in der erreichbaren Bildqualität für die unterschiedlichen Detektoren. Der Beitrag leitet ausgehend von den Grundlagen praktische Regeln ab, um die Bildqualität zu optimieren.

Rauschquellen und ihre Konsequenzen für die industrielle Radiographie

U. Zscherpel¹, U. Ewert², P. Willems³

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), ² DGZfP-Fachausschuss „Durchstrahlungsprüfung“, ³ I&S-C, Stekene, Belgien

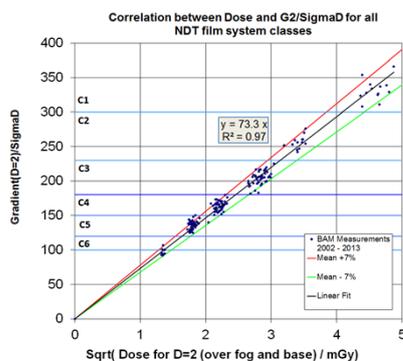
Einführung

Heute sind 3 unterschiedliche Detektionsprinzipien in der industriellen Radiographie etabliert:

1. Radiographische Film-Systeme mit Metallfolien im direkten Kontakt mit den doppelseitigen Filmemulsionen,
2. Lumineszenz-Speicherfolien (Computer-Radiographie) mit und ohne Metallfolien,
3. Digitale Matrixdetektoren (DDAs) mit verschiedenen Detektionsprinzipien (Energie integrierend, Photonen zählend, direkt wandelnd oder mit Szintillator etc.).

Ihre Charakterisierung für industrielle Anwendungen sind mittlerweile von verschiedenen Standardgremien (Filme: ISO 11699, Speicherfolien: ISO 13761, DDAs: ASTM E 2597) genormt. Aufgrund der Quantennatur der Röntgenstrahlung erzeugen alle Detektoren Rauschen in ihren Bildern. Die verschiedenen Detektionsprinzipien und die Begrenzungen in der Herstellung beinhalten zusätzliche Rauschquellen. Im Ergebnis kommt es zu unterschiedlichen Grenzen in der erreichbaren Bildqualität (Kontrastempfindlichkeit) für die unterschiedlichen Detektoren.

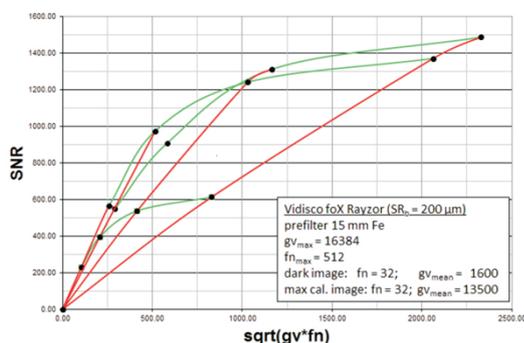
Normiertes Signal/Rausch-Verhältnis (SNR) industrieller Filmsysteme mit Metallfolien



Abhängigkeit des normierten SNR aus [1] für verschiedene Film-Systeme. Das Gradient/Granularitäts-Verhältnis (bei D=2 und 220kV, 8mm Cu) entspricht etwa dem normierten SNR für Filme. Die optische Film-Dichte ist der Belichtungsdosis proportional, das SNR ist proportional zur Wurzel(Dosis). Der Dynamikbereich der Filmdosis ist auf ca. 1:3 begrenzt, die Auswahl des max. erreichbaren SNR erfolgt über die Filmsystemklasse, was vorrangig von der Filmsorte abhängt!

Normiertes Signal/Rausch-Verhältnis von digitalen Matrixdetektoren (DDAs)

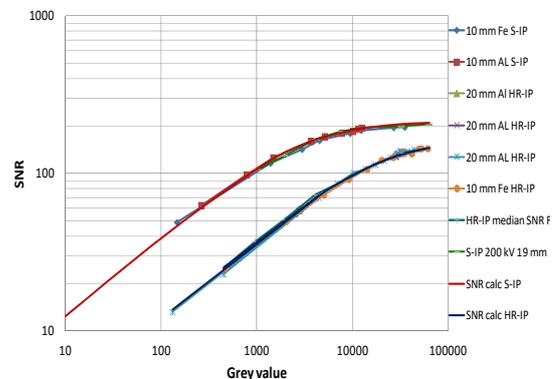
SNR vs. $gv \times fn$ (multi-gain 6-point correction)



Normiertes SNR aus [3] für verschiedene Detektor-Korrekturen. Aufgrund der Software-Mittelung mehrerer identischer Belichtungen (fn) muss das Produkt aus Grauwert gv und Framezahl fn aufgetragen werden, das der Belichtungsdosis proportional ist. Das SNR ist dabei anfänglich proportional der Wurzel ($gv \times fn$), sättigt jedoch bei hohen Dosen. Dieser Sättigungswert hängt von der Qualität der Detektor-Korrektur ab, d.h. vom Rauschen in den Korrektur-Bildern. Diese werden vom Nutzer aufgenommen, der Nutzer bestimmt jetzt die max. Bildqualität selbst!

Sicherheit in Technik und Chemie

Normiertes Signal/Rausch-Verhältnis von Speicherfolien-Systemen (CR)



Abhängigkeit des normierten SNR aus [2] für 2 verschiedene Speicherfolien (HR und Standard). Der Grauwert der Speicherfoliensysteme ist proportional der Belichtungsdosis, das SNR ist proportional zur Wurzel(Dosis). Der Dynamikbereich der auswertbaren Dosis mit einem Speicherfolien-System kann größer 1:1000 sein. Allerdings ist das max. erreichbare SNR im Bild durch Strukturrauschen aus der Folienherstellung begrenzt, wobei es auch heute nicht wesentlich höher als das mit dem Film erreichbare, auf die Basisortsauflösung normierte, SNR liegt.

Konsequenzen für die Detektor-Auswahl

- In der klassischen Filmradiographie ist das Rauschen visuell ohne Lupe in der Prüfkategorie B nicht sichtbar. Das erreichbare SNR wird über die Filmsystemklasse ausgewählt. Das hat sich seit Jahrzehnten bewährt. Der Film mit Metall-Folien ist flexibel und gegen Streustrahlung am unempfindlichsten.
- Speicherfolien sind ein typischer Filmersatz. In Plastikhüllen können sie auch flexibel eingesetzt werden. Allerdings sind sie gegen Streustrahlung stärker empfindlich. Bei gleichem normierten SNR kann die Belichtungszeit gegenüber Film verkürzt werden.
- DDAs eröffnen dem Nutzer neue Möglichkeiten und können beim normierten SNR die Filme um eine Größenordnung übertreffen. Allerdings erfordern sie vom Nutzer einen höheren Aufwand für eine gewissenhafte Detektor-korrektur, um diesen Vorteil auch auszuspielen zu können.
- Die bald erwarteten flexiblen DDAs werden weitere Vorteile der digitalen Technologie nutzbar machen.

Literaturquellen:

- [1] Zscherpel, Ewert, Kapitel 30 „Industrial Radiography“ in Russo: (Editor), „Handbook of X-ray Imaging – Physics and Technology“, 2018, CRC Press
- [2] Ewert, Zscherpel, Heyne, Jechow, Bavendiek, Materials Evaluation, August 2012, S. 961 -970
- [3] Jechow, Ewert, Redmer, Zscherpel, Poster P23 auf der DIR2011, siehe <http://www.dir2011.com/Portals/dir2011/BB/p23.pdf>