

Digitales Röntgen in der Medizin

THOMAS MERTELMEIER | ARNULF OPPELT

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum gleichnamigen Artikel in **Physik in unserer Zeit**, 40. Jahrgang 2009, Nr. 1, S. 40.

Bilddigitalisierung

Ein digitales Bild kann als regelmäßiges, zweidimensionales Raster von Bildelementen (Pixel) angesehen werden, in dem jedem Pixel ein Intensitätswert (Grauwert) zugeordnet ist. Die Bildmatrix ist durch den Abstand der Bildelemente (Abtastintervall p) und die Pixelfläche (Apertur a^2) gekennzeichnet. Die Digitalisierung eines Röntgenbildes beinhaltet für jedes Pixel die Integration der einfallenden Photonen und die Umwandlung in ein digitales Signal. Diesen Vorgang nennt man Abtasten. Die Zahl der erforderlichen Digitalisierungsstufen (Bit-Tiefe) ergibt sich aus dem maximalen zu erwartenden SRV.

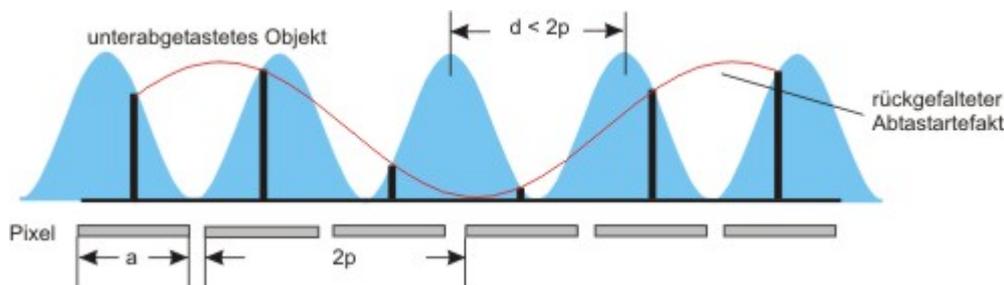


Abb. 1 Digitale Abtastung eines Objekts, in diesem Fall ein Sinusgitter (blau gezeichnet). Realistische Objekte kann man sich als Überlagerung vieler solcher Sinusgitter mit verschiedener Periode vorstellen (Fourier-Synthese). Die Bildelemente (Pixel) sind als graue Balken unter dem Objekt angedeutet. Ist die Digitalisierung zu „grob“ (die Abtastfrequenz zu niedrig) wie hier dargestellt, wird das Objekt mit einer viel größeren Periode als der tatsächlich abgebildet, wie als rote Linie angedeutet. Man erhält Artefakte.

Die Abtastparameter müssen dem Bildinhalt angepasst sein (Abbildung 1). Wenn zwei Punkte im Abstand d vor der Digitalisierung gerade noch getrennt erscheinen, muss das Abtastintervall mindestens $p \leq d/2$ sein, damit der Zwischenraum zwischen den Punkten noch erfasst wird. Mit einer Abtast(orts)frequenz $f_{\text{Abtast}} = 1/p$ kann also nur ein Objekt richtig dargestellt werden, das keine höheren Ortsfrequenzen als $1/d \leq f_{\text{Nyquist}} = f_{\text{Abtast}}/2$ beinhaltet. Diese Grenzfrequenz nennt man Nyquist-Frequenz.

Kommen im abzutastenden Objekt höhere Ortsfrequenzen als die halbe Abtast- oder Nyquist-Frequenz vor, treten Bildartefakte, sogenannte Überfaltungen auf.

Schärfere Bilder

Wie scharf eine Röntgenaufnahme ist, bedingt die Größe des Brennflecks der Röntgenröhre, die Ortsauflösung des Detektors und die Aufnahmegeometrie. Streustrahlung vermindert zudem den Kontrast. Den Einfluss des Brennflecks kann ein kleinerer Fokus und den der Streustrahlung ein Streustrahlraster so minimieren, dass schließlich die Ortsauflösung des Detektors entscheidend ist. Diese Auflösung kann man messen. Man bildet dazu ein linienförmiges, stark absorbierendes Objekt oder eine stark absorbierende Kante ab. Die auftretende Unschärfe wird durch die Linienbildfunktion ausgedrückt.

Zur Charakterisierung des Auflösungsvermögens betrachtet man meist die Modulationsübertragungsfunktion (Modulation Transfer Function, *MTF*). Sie entspricht dem Betrag der Fourier-Transformierten der Linienbildfunktion, normiert auf 1 für die Ortsfrequenz $f = 0$. Sie gibt an, wie der Kontrast im Strahlenbild am Eingang des Detektors vom Bildgebungssystem bei verschiedenen Ortsfrequenzen ins Bild übertragen wird.

Bei digitalen Bildsystemen ist es leicht möglich, die Bilder schärfer wirken zu lassen. Dazu hebt man die *MTF* bei höheren Ortsfrequenzen durch Hochpassfilter-Operationen an. Kleinere Details werden dann hervorgehoben. Das geht natürlich nur, solange kein Bildrauschen sichtbar ist. Die *MTF* wird definitionsgemäß bei so großen Röntgenintensitäten gemessen, dass Rauschen keine Rolle spielt. Das ist bei echten Röntgenaufnahmen jedoch anders. Deshalb reicht die *MTF* alleine nicht aus, um die physikalischen Eigenschaften des Systems vollständig zu charakterisieren.

Eine Kenngröße, mit der sich verschiedene Röntgendetektoren inklusive Rauschen vergleichen lassen, liefert der Quantenwirkungsgrad (Detektive Quanteneffizienz, Detective Quantum Efficiency, *DQE*). Die *DQE* ist definiert als

$$DQE(f) = \frac{SRV^2(f) \text{ im Bild}}{SRV^2(f) \text{ am Detektoreingang}} = \frac{\text{Signalübertragungsfaktor}^2(f)}{\text{Rauschübertragungsfaktor}^2(f)}$$

Das *SRV* am Detektoreingang ist durch $\sqrt{\text{Photonenzahl}}$ gegeben. Absorbiert der Detektor nur den Bruchteil α der einfallenden Photonen, gilt idealerweise $DQE = \alpha$. Die *DQE* ist aber generell eine Funktion der Ortsfrequenz f , weil die Signalübertragungs- und die Rauschübertragungsfunktion im System verschiedenen Mechanismen unterliegen. Abbildung 2 zeigt Beispiele für die *MTF* und *DQE* verschiedener Systeme bei 60 keV Quantenenergie.

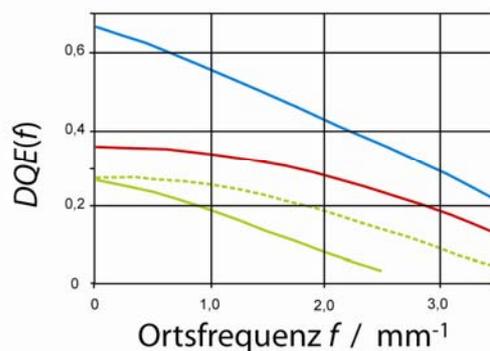
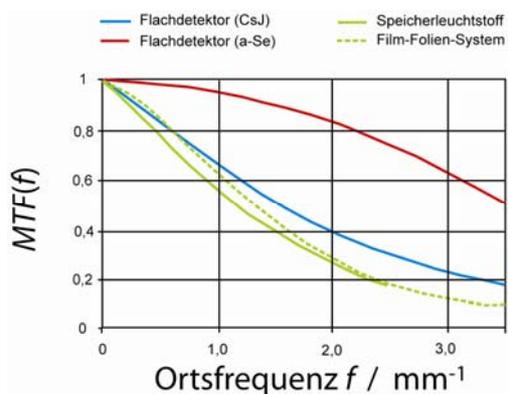


Abb. 2 MTF und DQE verschiedener Systeme bei 60 keV Quantenenergie.