

Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik

Abbildende Systeme

DIN
6814
Teil 14

Terms and definitions in the field of radiological technique; imaging systems

Aufgestellt vom Normenausschuß Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft.

Die Norm gilt für abbildende Systeme in der Röntgendiagnostik und der nuklearmedizinischen Diagnostik. Für Begriffe abbildender Systeme der Optik gilt speziell DIN 58 185 Teil 1.

1 Abbildung

1.1 Abbildungssystem

Ein Abbildungssystem ist eine Einrichtung zur Übertragung einer Objektverteilung in ein Bild.

1.2 Objektverteilung

Die Objektverteilung ist die Verteilung der die Bildinformation liefernden physikalischen Größen im Objektraum des Abbildungssystems.

1.3 Bild

Das Bild ist die Verteilung der die Bildinformation tragenden physikalischen Größen im Bildraum.

Anmerkung 1: Bei Abbildungssystemen mit mehreren einzelnen Systemen ist das Bild eines Systems gleichzeitig Objektverteilung des darauf folgenden Systems.

Anmerkung 2: Der Bildraum ist meist geometrisch zu definieren unter Orientierung an die Geometrie des Eingangsschirms, Ausgangsschirms, Filmebene, Ladungsspeichereinheit einer Fernsehaufnahmeröhre usw.

Als Bildraum kann auch der Ort eines virtuellen Bildes und in sinngemäßer Erweiterung des Begriffs der Speicher eines das Bild verarbeitenden Rechners verstanden werden.

1.4 Bezugsachse

Die Bezugsachse ist eine durch eindeutig bestimmbare geometrische Eigenschaften des Abbildungssystems festgelegte Achse des Systems.

Beispiel:

Kollimatorachse, Zentralstrahl eines Röntgenstrahlers.

1.5 Bezugsebene

Die Bezugsebene ist eine Ebene, auf die alle zur Beschreibung des Systems benötigten geometrischen Größen (wie Positionsangaben und Ortsfrequenzen) bezogen sind.

Anmerkung: Die Bezugsebene ist für jedes abbildende System festzulegen, z.B.: Eingangsebene des Röntgenbildverstärkers.

1.6 Punktbild

Das Punktbild ist das Bild einer punktförmigen Objektverteilung. Auch die Funktion zur mathematischen Beschreibung des Bildes einer punktförmigen Objektverteilung wird als Punktbild bezeichnet. Punktförmige Objektverteilungen werden auch als Punktquellen bezeichnet.

Anmerkung: Die Art der punktförmigen Objektverteilung hängt vom Abbildungssystem ab. Beispiele: Schnittpunkt eines Röntgenstrahls mit der Eingangsebene eines Röntgenbildverstärkers, punktförmige radioaktive Quelle.

Zur mathematischen Beschreibung punktförmiger Objektverteilungen verwendet man die Delta-Funktion.

1.7 Linienbild

Das Linienbild ist das Bild einer homogenen und gradlinig linienförmigen Objektverteilung.

Auch die Funktion zur mathematischen Beschreibung des Bildes einer homogenen und gradlinig linienförmigen Objektverteilung wird als Linienbild bezeichnet.

Homogene und gradlinig linienförmige Objektverteilungen werden auch Linienquellen genannt.

Anmerkung: Zur mathematischen Beschreibung von Linienquellen verwendet man die linienförmige Delta-Funktion.

Für linienförmige Delta-Funktionen gilt:

$$\delta(x, y) = 0 \text{ für } x \neq 0$$

$$\text{wobei } \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x, y) dx = 1 \text{ für alle } y$$

1.8 Lineares Abbildungssystem

Ein lineares Abbildungssystem ist ein System, bei dem das Bild zweier beliebiger additiv zusammengesetzter Objektverteilungen gleich ist der Addition der separaten Bilder, die von jeder der beiden Objektverteilungen allein unter den gleichen Bedingungen erzeugt werden.

Anmerkung: Im allgemeinen haben Abbildungssysteme einen begrenzten Bereich, in dem sie als lineare Abbildungssysteme angesehen werden können.

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

1.9 Ortsinvariantes Abbildungssystem

Ein ortsinvariantes (synonym: isoplanatisches) Abbildungssystem ist ein System, bei dem sich bei Änderung der Lage einer Punktquelle in einer ausgewählten Fläche im Objektraum ausschließlich die Lage des zugehörigen Punktbildes ändert.

1.10 Isotropes Abbildungssystem

Ein isotropes Abbildungssystem ist ein System, bei dem das Punktbild rotationssymmetrisch ist.

2 Bildfunktionen

2.1 Punktbildfunktion

Die Punktbildfunktion eines Abbildungssystems ist gegeben durch das normierte Punktbild bezogen auf die Bezugsebene.

Die Normierung bezieht sich auf das Flächenintegral des Punktbildes:

$$P(x, y) = \frac{F_p(x, y)}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F_p(x, y) dx dy}$$

Hierin bedeuten:

x, y kartesische Bildortkoordinaten

$P(x, y)$ Punktbildfunktion

$F_p(x, y)$ Punktbild

2.2 Linienbildfunktion

Die Linienbildfunktion ist das Faltungsintegral der Punktbildfunktion mit einer linienförmigen Delta-Funktion

$$\begin{aligned} L(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x', y) \delta(x - x', y) dx' dy \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) dy \end{aligned}$$

Hierin bedeutet:

$L(x)$ Linienbildfunktion

Anmerkung: Bei einem linearen ortsinvarianten Abbildungssystem ist die Linienbildfunktion durch das normierte Linienbild $F_l(x)$ gegeben.

Die Linienbildfunktion ist unabhängig von der Koordinate in Linienrichtung und ist daher eindimensional.

3 Übertragungsfunktionen

3.1 Optische Übertragungsfunktion

Bei einem linearen ortsinvarianten Abbildungssystem ist die optische Übertragungsfunktion die Fouriertransformierte der Punktbildfunktion.

3.2 Ortsfrequenz

Die Ortsfrequenzen sind die Variablen (z. B. kartesische Koordinaten r und s) im zweidimensionalen Fourierraum. Im eindimensionalen Fall ist die Ortsfrequenz einer örtlich sinusförmigen Objektverteilung oder eines örtlich sinusförmigen Bildes das Reziproke ihrer Periode. Als Einheit der Ortsfrequenz wird mm^{-1} empfohlen.

Anmerkung: Die optische Übertragungsfunktion ist eine komplexe Funktion der (reellen) Ortsfrequenzen. Aus der Normierung der Punktbildfunktion folgt für die optische Übertragungsfunktion der Wert 1 bei der Ortsfrequenz Null (z. B. $r = s = 0$).

3.3 Optischer Übertragungsfaktor

Der optische Übertragungsfaktor ist der (komplexe) Wert der optischen Übertragungsfunktion bei vorgegebenen Werten der Ortsfrequenzen.

3.4 Modulationsübertragungsfunktion

Die Modulationsübertragungsfunktion ist der Betrag der optischen Übertragungsfunktion. Sie hat den Wert 1 bei der Ortsfrequenz Null.

Anmerkung: In der Röntgentechnik ist die Abkürzung MÜF für die Modulationsübertragungsfunktion gebräuchlich, sonst MTF (modulation transfer function).

3.5 Modulationsübertragungsfaktor

Der Modulationsübertragungsfaktor ist der Betrag des optischen Übertragungsfaktors.

3.6 Phasenübertragungsfunktion

Die Phasenübertragungsfunktion ist das Argument der optischen Übertragungsfunktion.

3.7 Phasenverschiebung

Die Phasenverschiebung ist das Argument des optischen Übertragungsfaktors.

3.8 Eindimensionale optische Übertragungsfunktion

Eindimensionale optische Übertragungsfunktionen ergeben sich aus der zweidimensionalen optischen Übertragungsfunktion durch Schnitte, die durch den Koordinatenursprung gelegt werden.

Bei einem linearen ortsinvarianten Abbildungssystem ist die eindimensionale optische Übertragungsfunktion die Fouriertransformierte der Linienbildfunktion.

Anmerkung: Die Angabe der eindimensionalen optischen Übertragungsfunktionen für alle Richtungen ist gleichwertig mit der Angabe der vollständigen zweidimensionalen optischen Übertragungsfunktion eines Abbildungssystems.

3.9 Eindimensionale Modulationsübertragungsfunktion

Die eindimensionale Modulationsübertragungsfunktion ist der Betrag der eindimensionalen optischen Übertragungsfunktion.

3.10 Eindimensionale Phasenübertragungsfunktion

Die eindimensionale Phasenübertragungsfunktion ist das Argument der eindimensionalen optischen Übertragungsfunktion.

3.11 Modulation

Die Modulation M einer Objektverteilung oder eines Bildes ist gegeben durch

$$M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

$I_{\max}$ und $I_{\min}$ sind Maximum bzw. Minimum der Objektverteilung oder des Bildes.

3.12 Sinusförmige Verteilungen

Sinusförmige Verteilungen sind Objektverteilungen oder Bilder mit sinusförmigem Verlauf in einer Richtung und konstanten Werten in dazu senkrechter Richtung.

Anmerkung: Bei einem ortsinvarianten linearen Abbildungssystem ist der Modulationsübertragungsfaktor gleich dem Verhältnis der Modulation des Bildes zur Modulation der Objektverteilung, wenn es sich um sinusförmige Verteilungen handelt.

Bei einem ortsinvarianten linearen Abbildungssystem ist die Phasenverschiebung die Verschiebung des Bildes einer sinusförmigen Verteilung bezogen auf die Bezugsebene gegenüber der Objektverteilung bezogen auf die gleiche Ebene.

Bei annähernd ortsinvarianten Systemen gelten beide Aussagen nur näherungsweise.

3.13 Mehrstufige Abbildungssysteme

Mehrstufige Abbildungssysteme setzen sich aus mehreren einzelnen hintereinandergeschalteten Systemen zusammen.

Die optische Übertragungsfunktion eines linearen und ortsinvarianten mehrstufigen Abbildungssystems ist bei rückwirkungsfreier Koppelung (z. B. optisch inkohärenter Kopplung) gegeben durch das Produkt der optischen Übertragungsfunktionen seiner linearen ortsinvarianten Systeme. Bei annähernder Ortsinvarianz gilt diese Produktregel nur näherungsweise.

Erläuterungen

Übertragungsfunktion

Im folgenden wird beschrieben, wie sich Abbildungseigenschaften von bildübertragenden Systemen bzw. von Teilsystemen durch Angabe der optischen Übertragungsfunktion darstellen lassen. Ohne die im Normtext gegebenen Begriffsdefinitionen zu wiederholen, wird das der Norm zugrundeliegende mathematische Gerüst veranschaulicht. Die Darstellung kann weder vollständig sein, noch alle theoretischen Feinheiten berücksichtigen. Sie soll vielmehr dazu dienen, das Verständnis für die angewendete Methode zu wecken.

Die optische Übertragungsfunktion (ÖÜF) und ihr Betrag – die Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) – finden zur Kennzeichnung der Abbildungsgüte von abbildenden Geräten und ihren Komponenten Verwendung. Diese Funktionen enthalten Informationen, aus denen sich quantitative Angaben wie z. B. für die Auflösung oder die Kantenschärfe ableiten lassen. Darüber hinaus ist es möglich, bei Kenntnis der optischen Übertragungsfunktion der einzelnen Komponenten eines Abbildungssystems durch Multiplikation die optische Übertragungsfunktion des Gesamtsystems zu berechnen. Neben der optischen Übertragungsfunktion gibt es noch weitere Parameter, die die Qualität eines Abbildungssystems oder eines abbildenden Gerätes kennzeichnen und die hier nicht behandelt sind.

Eine optische Übertragungsfunktion läßt sich strenggenommen nur für lineare und isoplanare Systeme (siehe folgenden Absatz) angeben. Abbildende Systeme erfüllen diese Bedingungen nie exakt. Die Bestimmung der optischen Übertragungsfunktion ist daher stets mit Ungenauigkeiten behaftet. Die mit der optischen Übertragungsfunktion durchgeführten Berechnungen geben also nie das wirkliche Verhalten exakt wieder. Die Größe der Abweichungen hängt von der Größe der jeweiligen Nichtlinearität und der Nichtisoplanasie ab. In dem Normtext sind Begriffsdefinitionen angegeben, die sich auf die verschiedenen in der Radiologie verwendeten Abbildungssysteme, wie geometrische Röntgenabbildung, Röntgenbildverstärker, Gammakamera, rechnergestützte Rekonstruktionstomographie usw., anwenden lassen. Die Erläuterung bezieht sich vorwiegend auf das Beispiel des Röntgenbildverstärkers.

Bildübertragung

Bei der geometrischen Röntgenabbildung ist das Objekt der zu diagnostischen Zwecken durchstrahlte Teil des Patienten. Gekennzeichnet ist das Objekt durch die räumliche Verteilung der chemischen Elemente und deren Dichte. Das Bild ist die Verteilung der Photonenflußdichte in der Fläche des Bildfängers (z. B. Leuchtschirm, Film). Analog ist bei der Szintigraphie das Objekt durch die Verteilung radioaktiver Substanzen im Körper des Patienten gekennzeichnet und das Bild ist z. B. bei der Gammakamera die Helligkeitsverteilung der Szintillationen im Detektorkristall der Kamera bzw. in einer folgenden Abbildungsstufe das registrierte Szintigramm.

Bei einem Röntgenbildverstärker ist das Bild, das am Bildverstärkereingang entsteht, zugleich das Objekt, von dem durch eine Bildwandlung (im allgemeinen mit Bildverstärkung) ein Bild in der Ausgangsfläche des Bildverstärkers erzeugt wird. Dieses Bild kann seinerseits zugleich Objektverteilung für die nachfolgende Optik zur Abbildung auf dem Film oder der Fernsehaufnahmeröhre sein.

Generell ist bei zusammengesetzten Abbildungssystemen das (Ausgangs-) Bild des einen Teilsystems das Objekt (Eingangsbild) des folgenden Teilsystems. Die Zusammensetzung von Systemen aus Teilsystemen ist bei lichtoptischen Systemen nicht zulässig, wenn kohärente Abbildungskopplung (wie z. B. bei den Objektiven einer Tandemoptik) vorliegt.

Das Bild eines im Verhältnis zum Auflösungsvermögen des Systems kleinen Flächen- oder Volumenelements des Objekts wird Punktbild genannt (ein Element des Objekts ist in diesem Sinne klein, wenn sein Bild unabhängig von der speziellen Form ist; siehe Bild 1 a und 1 b).