



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2008 045 720 A1 2010.03.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2008 045 720.5

(22) Anmeldetag: 04.09.2008

(43) Offenlegungstag: 18.03.2010

(51) Int Cl.⁸: G03B 42/02 (2006.01)

H05G 1/64 (2006.01)

G21K 4/00 (2006.01)

H04N 5/325 (2006.01)

H01J 31/50 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 10 2004 028403 A1

DE 43 14 768 A1

US 2005/02 07 539 A1

US 2004/00 15 077 A1

(72) Erfinder:

Behrens, Ralf, 96114 Hirschaid, DE; Hannemann, Thilo, Dr., 91052 Erlangen, DE

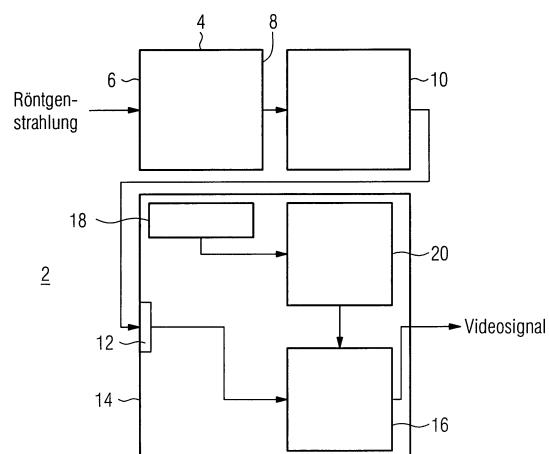
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern eines Röntgenbildverstärkersystems sowie zu gehöriges Röntgenbildverstärkersystem**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern, insbesondere von Verzeichnungen, bei einem Röntgenbildverstärkersystem (2), welches eine Bildwandlerröhre (4) zur Umwandlung von einfallender Röntgenstrahlung in sichtbares Licht und ein der Bildwandlerröhre (4) optisch nachgeschaltetes digitales Kamerasystem (14) umfasst, wobei das Kamerasystem (14) einen Bildsensor (12) zur Umwandlung des einfallenden sichtbaren Lichtes in Digitalbilder aufweist und wobei eine elektronische Bildverarbeitungseinheit (16) zur Nachbearbeitung der Digitalbilder vorgesehen ist, soll bei hoher Zuverlässigkeit besonders einfach und kostengünstig implementierbar sein. Dieses Ziel wird erfindungsgemäß erreicht, indem

- mit Hilfe einer innerhalb der Bildwandlerröhre (4) oder in ihrer Umgebung angeordneten Magnetfeldsonde (18) Kenndaten eines in der Bildwandlerröhre (4) anwesenden Magnetfeldes ermittelt werden,
- anhand der ermittelten Kenndaten ein aus der Anwesenheit des Magnetfeldes resultierender Abbildungsfehler quantitativ bestimmt wird,
- darauf basierend, dass ein oder mehrere Parameter einer zur Korrektur des Abbildungsfehlers führenden Korrekturabbildung bestimmt werden und
- die so festgelegte Korrekturabbildung in der elektronischen Bildverarbeitungseinheit (16) auf die Digitalbilder angewandt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern, insbesondere von Verzeichnungen, bei einem Röntgenbildverstärkersystem, welches eine Bildwandlerröhre zur Umwandlung von einfallender Röntgenstrahlung in sichtbares Licht und ein der Bildwandlerröhre optisch nachgeschaltetes digitales Kamerasystem umfasst, wobei das Kamerasystem einen Bildsensor zur Umwandlung des einfallenden sichtbaren Lichtes in Digitalbilder aufweist, und wobei eine elektronische Bildverarbeitungseinheit zur Nachbearbeitung der Digitalbilder vorgesehen ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein zugehöriges Röntgenbildverstärkersystem.

[0002] Ein Röntgenbildverstärker wird bevorzugt in der medizinischen Röntgendiagnostik aber auch in der Materialprüfung eingesetzt. Er wandelt in einer auch als Bildwandlerröhre (kurz: Bildwandler oder Bildverstärker) bezeichneten Elektronenröhre einfallende Röntgenstrahlung in sichtbares Licht um und verstärkt analog zu einem optischen Bildverstärker das Signal. Dabei erfolgt eine Abbildung des Röntgen-Eingangsfensters auf ein zumeist kleineres optisches Ausgangsfenster. Durch geeignete Wahl der Parameter des Bildverstärkers (z. B. Beschleunigungsspannung, Elektronenoptik) lässt sich die Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Bildes vom Eingangs- zum Ausgangsschirm steuern. Dies wird auch „Zoom“ genannt. Das aus dem Ausgangsfenster der Bildwandlerröhre austretende sichtbare Licht wird durch eine Optik auf den Bildaufnehmer oder Bildsensor einer Digitalkamera abgebildet und dort in elektronisch verarbeitbare Digitalbilder oder Videosequenzen umgewandelt, die sich auf einem Display einer zugehörigen Anzeigevorrichtung anzeigen lassen.

[0003] Vor der Anzeige auf dem Display werden die Rohdaten des Bildaufnehmers oder Bildsensors üblicherweise in einer elektronischen Bildverarbeitungseinheit aufbereitet. In der Bildverarbeitungseinheit werden verschiedene Bildverarbeitungsalgorithmen auf das Kamerabild angewandt, z. B. Dunkelstromkorrektur, Hellbildkorrektur, Schärfenkorrektur, Drehen, etc. Die Ausgestaltung der Bildverarbeitung hängt vom Einsatzzweck des Bildverstärkersystems ab. Es müssen nicht alle der aufgeführten Funktionen realisiert sein. Die Bildverarbeitung kann in die Kamera (und damit in das Bildverstärkersystem) integriert sein oder getrennt aufgebaut sein. Es ist auch möglich, dass nur einige Funktionen intern in der Kamera realisiert werden, andere Funktionen aber extern. Bei einfachen Aufgabenstellungen kann die Bildverarbeitungseinheit auch komplett entfallen, bei den meisten Anwendungen werden aber mindestens rudimentäre Bildverarbeitungsfunktionen bereit gestellt.

[0004] Die Bildwandlerröhre des Röntgenbildverstärkers beruht auf den Prinzipien der Elektronenoptik. Er ist daher sehr empfindlich gegenüber einem Magnetfeld, da dieses die Elektronen durch die Lorentzkraft von ihrer Bahn ablenkt. Dies äußert sich in Abbildungsfehlern, insbesondere in Bildverzerrungen oder Verzeichnungen (z. B. kissenförmige oder tonnenförmige Verzeichnungen). Das zu lösende Problem besteht darin, die durch ein Magnetfeld erzeugten Bildverzerrungen zu vermeiden oder zu kompensieren. Bereits das Erdmagnetfeld hat einen sichtbaren Einfluss auf die Bildverzerrung. Daher kann auf entsprechende Maßnahmen in der Regel nicht verzichtet werden.

[0005] Ein Lösungsansatz ist, die Magnetfelder gegenüber dem Bildverstärker abzuschirmen. Dazu wird z. B. so genanntes μ -Metall verwendet, das eine Hülle um den Bildverstärker bildet. Dieser Ansatz wird bisher vornehmlich verwendet, auch in Verbindung mit anderen, im Folgenden vorgestellten Lösungsansätzen. Das größte Problem stellt bei diesem Ansatz das Eintrittsfenster dar. In diesem Bereich ist der Einsatz eines Abschirmmaterials in der notwendigen Materialstärke nicht möglich, da die hohe Röntgenabsorption an der Metallfolie eine starke Erhöhung der einfallenden Röntgenintensität erforderlich machen würde, um eine akzeptable Bildqualität zu erzielen. Dies ist entweder prinzipiell nicht ohne weiteres möglich oder etwa in der medizinischen Röntgendiagnostik sehr unerwünscht, weil dies zu einer stark erhöhten Patientendosis führen würde. Aus diesem Grund sind in der Regel nur die Seitenflächen des Röntgenbildverstärkers ausreichend stark abgeschirmt, das Eingangsfenster ist jedoch nicht oder nur sehr schwach abgeschirmt. In diesem Bereich werden allenfalls Folien mit einer Stärke von 25 μm verwendet, die in der Herstellung sehr aufwendig und teuer sind.

[0006] Zusätzlich oder alternativ zur Abschirmung mit μ -Metall gibt es den Ansatz, die äußeren Magnetfelder durch ein geeignet erzeugtes Gegenfeld zu kompensieren. Durch eine Spulenanordnung um den Bildverstärker wird ein zusätzliches Magnetfeld erzeugt, das den Einfluss des Erdmagnetfeldes auf das Bild aufhebt. Dazu wird das äußere Magnetfeld durch eine Magnetfeldsonde vermessen und über eine Elektronik ein passender Strom für die Spulenanordnung erzeugt. Allerdings ist die Ausrüstung des Bildverstärkers mit geeigneten Spulen und mit einer verlässlichen Regelanordnung für deren Strombeaufschlagung relativ aufwendig und kostenintensiv. Insbesondere bei nicht-stationären Systemen kann sich nämlich das Magnetfeld und damit die Art und die Stärke der Bildverzerrung je nach Verfahrweg und Ausrichtung der Anlage im Raum schnell ändern.

[0007] Auch ohne ein Magnetfeld zeigt ein Bildverstärker eine Bildverzerrung. Die dem Bildverstärker

folgende Optik kann das Bild ebenfalls verzerrn. Diese statischen Verzerrungen sollten nach Möglichkeit ebenfalls unterdrückt oder kompensiert werden.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern, insbesondere von magnetfeldbedingten Verzeichnungen, anzugeben, welches sich bei einem Röntgenbildverstärkersystem der eingangs genannten Art besonders einfach und kostengünstig implementieren lässt, und welches auch bei nicht-stationären Anlagen jederzeit zuverlässige Resultate liefert. Des Weiteren soll ein zugehöriges Röntgenbildverstärkersystem angegeben werden, das für eine besonders zuverlässige Korrektur von Abbildungsfehlern ausgelegt ist.

[0009] In Bezug auf das Verfahren wird die genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem

- mit Hilfe einer innerhalb der Bildwandröhre oder in ihrer Umgebung angeordneten Magnetfeldsonde Kenndaten eines in der Bildwandröhre anwesenden Magnetfeldes ermittelt werden,
- anhand der ermittelten Kenndaten ein aus der Anwesenheit des Magnetfeldes resultierender Abbildungsfehler quantitativ bestimmt wird,
- darauf basierend ein oder mehrere Parameter einer zur Korrektur des Abbildungsfehlers führenden Korrekturabbildung bestimmt werden, und
- die so festgelegte Korrekturabbildung in der elektronischen Bildverarbeitungseinheit auf die Digitalbilder angewandt wird.

[0010] Das derart nachbearbeitete, um die Abbildungsfehler bereinigte Digitalbild kann dann beispielsweise auf einem Display einer zugehörigen Anzeigeeinheit angezeigt oder auf sonstige Weise elektronisch weiter verarbeitet werden.

[0011] Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass in erster Linie das Erdmagnetfeld und andere statische Magnetfelder für die Bildverzerrung im Röntgenbildverstärkersystem verantwortlich sind. Aufgrund ihrer Inhomogenität wirken sich diese Magnetfelder je nach Position des Bildverstärkers im Raum unterschiedlich aus. Es wäre daher bei einem nicht-stationären, verfahrbaren System beispielsweise möglich, die Bildverzerrung für verschiedene Raumpositionen, etwa für die Endpunkte möglicher Verfahrwege, experimentell zu bestimmen und mittels elektronischer Bildverarbeitung auszugleichen. Die Bildverzerrung würde also für eine Anzahl von vorab festgelegten Verfahrpositionen einmalig in der Art einer Eichmessung bestimmt und die so ermittelten, positionsbezogenen Verzerrungsparameter würden entsprechend abgespeichert. Anhand dieser Daten ließen sich die später an diesen Positionen aufgenommenen Bilder korrigieren. Eine derartige Vorgehensweise hätte aber den Nachteil, dass nur bestimmte Raumpositionen hinsichtlich der dort vorlie-

genden Bildverzerrung vermessen wären. Die Anlagensteuerung müsste sicherstellen, dass bevorzugt nur die vorab vermessenen Raumpositionen angefahren werden. Dynamische Variationen der lokalen Magnetfeldstärke, z. B. aufgrund umliegender elektrischer Anlagen und Installationen oder durch eine zeitlich variierende Abschirmung des Erdmagnetfeldes, könnten auf diese Weise jedoch gar nicht erfasst und bei der Korrektur der Abbildungsfehler berücksichtigt werden.

[0012] Zur Vermeidung derartiger Schwierigkeiten wird daher vorliegend in der Nähe oder auch innerhalb des Bildverstärkers, d. h. der Bildwandröhre, eine Magnetfeldsonde montiert. Basierend auf den Messwerten der Sonde wird mittels eines physikalischen/mathematischen Modells die aus der Anwesenheit des Magnetfeldes in der Bildwandröhre resultierende Bildverzerrung berechnet. Durch „Rückrechnen“ wird dann eine geeignete Korrekturabbildung bzw. Bildtransformation ermittelt. Diese Korrekturabbildung wird in der Art eines Graphikfilters in der elektronischen Bildverarbeitungseinheit auf die von der Digitalkamera aufgenommenen Digitalbilder angewandt. Das heißt, die magnetfeldbedingte Bildverzerrung wird durch eine zielgerichtete und automatisierte elektronische Bildverarbeitung kompensiert.

[0013] Das Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen gemessener Magnetfeldstärke und -richtung und der resultierenden Bildverzerrung unter Berücksichtigung des aktuellen Zoom-Formates des Bildverstärkers. Für die Realisierung dieses Modells gibt es verschiedene Lösungsansätze. Der Zusammenhang kann beispielsweise durch mathematische Formeln beschrieben werden, die sich aus der Physik des Bildverstärkers ergeben, etwa in der Art einer ersten Näherung, eventuell ergänzt durch Korrekturterme höherer Ordnung. Es ist auch möglich, die Bildverzerrung für verschiedene Magnetfeldstärken und -richtungen sowie Zoom-Faktoren experimentell auszumessen und in einer Tabelle bzw. in einer Datenbank abzulegen. Vorzugsweise wird diese Messung nur an einem Muster aus einer Serie von Bildverstärkern durchgeführt und lässt sich dann auf die ganze Serie übertragen. Es ist auch möglich, mathematische und experimentelle Verfahren zu kombinieren. Dabei werden nur Teilespekte der Bildverzerrung mathematisch beschrieben, andere Teilespekte aufgrund der experimentell ermittelten, empirischen Werte.

[0014] Das Magnetfeld ist ein Vektorfeld mit drei Komponenten. Vorzugsweise wird die Magnetfeldsonde so eingerichtet und am Bildverstärker angebracht, dass die von ihr ermittelten Komponenten des Magnetfeldes zueinander orthogonale Bildverzerrungen verursachen. Dadurch reduziert sich der Rechenaufwand für das Modell, da durch die damit bewirkte Entkopplung – jedenfalls in guter Näherung –

jede Raumrichtung einzeln betrachtet werden kann. Je nach geforderter Qualität der Kompensation kann es auch ausreichend sein, lediglich eine oder zwei der Magnetfeldkomponenten zu bestimmen.

[0015] Das „Rückrechnen“ von der magnetfeldbedingten Bildverzerrung auf die zur Korrektur benötigte Abbildung erfolgt beispielsweise durch direkte, iterative oder numerische Invertierung der zugrunde liegenden Modellgleichungen oder anhand von Tabellen bzw. Datenbankrelation. Das Rückrechnen der Bildverzerrung wird vorzugsweise so realisiert, dass es in einem Schritt mit einer eventuell vorhandenen Korrektur der statischen Bildverzerrung des Bildverstärkers und der angeschlossenen Optik sowie mit einer eventuell implementierten Bilddrehung vorgenommen wird. Vorteilhafterweise werden derartige Operationen in Echtzeit vorgenommen, so dass auf dem zugehörigen Display stets das aktuelle, fehlerbereinigte Bild zu sehen ist.

[0016] Es ist vorteilhaft, wenn die Korrektur der Bildverzerrung durch Bildverarbeitung direkt in der Kamera vorgenommen wird, die zugehörige Auswerteinheit mit dem in ihr implementierten Modellsystem also in die Kamera integriert ist. Weiterhin bietet es sich an, die Magnetfeldsonde ebenfalls als Bestandteil der Kamera, also außerhalb der Bildwandlerröhre, zu montieren. Auch bei einer Montage der Magnetfeldsonde an der Kamera ist die Magnetfeldsonde im Normalfall fest mit der Bildwandlerröhre verbunden und folgt damit deren Bewegung im Raum.

[0017] Dabei ist es insbesondere in dem Fall, dass die Bildwandlerröhre mit μ -Metall magnetisch von der Umgebung abgeschirmt ist, vorteilhaft, wenn die charakteristischen Kenndaten für das im Inneren der Bildwandlerröhre anwesende Magnetfeld anhand eines bekannten Abschirmfaktors oder einer bekannten Abschirmfunktion aus dem außerhalb der Bildwandlerröhre gemessenen Magnetfeld abgeleitet werden. Derartige Abschirmfaktoren oder Abschirmfunktionen können insbesondere im Auswertemodell enthalten sein. Sie können gegebenenfalls im Rahmen einer einmaligen Eichmessung vorab ermittelt werden. Abgesehen von derartigen Abschirmungseffekten ist die vergleichsweise geringfügige räumliche Diskrepanz zwischen dem Anbringungsort der Magnetfeldsonde am Kamerasytem und dem Innenraum der Bildwandlerröhre in der Regel zu vernachlässigen, da sich natürlichen Inhomogenitäten des (Erd-)Magnetfeldes üblicherweise auf derart kleinen Skalen kaum bemerkbar machen.

[0018] In Bezug auf die Vorrichtung wird die oben genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch ein Röntgenbildverstärkersystem der eingangs genannten Art, wobei

- innerhalb der Bildwandlerröhre oder in ihrer Umgebung eine Magnetfeldsonde angeordnet ist, die

Kenndaten eines in der Bildwandlerröhre anwesenden Magnetfeldes ermittelt,

- eine dateneingangsseitig mit der Magnetfeldsonde und datenausgangsseitig mit der Bildverarbeitungseinheit verbundene elektronische Auswertungseinheit vorgesehen ist, die derart konfiguriert ist, dass sie anhand der ermittelten Kenndaten einen aus der Anwesenheit des Magnetfeldes resultierenden Abbildungsfehler quantitativ bestimmt und darauf basierend einen oder mehrere Korrekturparameter einer zur Korrektur des Abbildungsfehlers führenden Korrekturabbildung bestimmt, und
- die Bildverarbeitungseinheit derart konfiguriert ist, dass sie die durch die übermittelten Korrekturparameter festgelegte Korrekturabbildung auf die Digitalbilder anwendet.

[0019] Vorteilhafterweise ist dabei die Magnetfeldsonde in das Kamerasytem integriert, ebenso die elektronische Auswerteinheit mit dem in ihr beispielweise softwaremäßig implementierten Auswertungsmodell.

[0020] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass je nach Qualitätsanforderungen auf eine bislang obligatorische μ -Metall Abschirmung des Bildverstärkers verzichtet oder diese einfacher ausgeführt werden kann. Da die μ -Metall Abschirmung sowohl hohe Materialkosten als auch aufwendige Prozessschritte erfordert, lässt sich so eine Kostenreduktion erreichen. Alternativ kann das erfindungsgemäße Konzept zusätzlich zu einer μ -Metall Abschirmung eingesetzt werden, um die Bildqualität weiter zu verbessern.

[0021] Gegenüber der Kompensation der Magnetfelder durch eine Spulenanordnung hat die Erfindung den Vorteil, dass sie sich kostengünstiger realisieren lässt. Die Kosten für die Spulenanordnung und die Elektronik zum Erzeugen und Regeln der Ströme entfallen. Falls eine Korrektur der statischen Bildverzerrung ohnehin bereits in der Bildverarbeitungselektronik vorgesehen ist, muss abgesehen von der hardwaremäßigen Anbindung der Magnetfeldsonde – im Wesentlichen das Modell für die Bildverzerrung zusätzlich implementiert werden. Die Magnetfeldsonde lässt sich in die Kamera integrieren, die auf den Bildverstärker montiert wird. Es wird keine Modifikation des Bildverstärkers selber notwendig. Das heißt, die erfindungsgemäße Art der Kompensation lässt sich bei allen Bildverstärkertypen anwenden.

[0022] Bei der erfindungsgemäßen Implementierung muss die Position des Bildverstärkers im Raum beziehungsweise relativ zu den vorhandenen Magnetfeldern nicht bekannt sein. Dies ist ein Vorteil gegenüber solchen Verfahren, die aus der bekannten Position im Raum auf die magnetfeldbedingten Verzerrungen schließen. Gegenüber solchen Verfahren

hat die erfindungsgemäße Realisierung den Vorteil, dass die aufwendige vorherige Bestimmung der Bildverzerrungen entfällt. Eine Kommunikation der Raumposition des Bildverstärkers durch die Anlagensteuerung an die Bildverarbeitungselektronik ist nicht nötig, was eine entsprechende Anpassung der Anlagensteuerung unnötig macht. Nicht zuletzt ist bei der erfindungsgemäßen Realisierung auch ein Einsatz bei nicht-stationären Anlagen möglich.

[0023] Wird die Magnetfeldsonde auf der Kamera montiert, so sind alle nötigen Module für die Korrektur der Bildverzerrung auf bzw. in der Kamera implementiert. Dadurch ist keine Umkonstruktion der Bildverstärkerinheit nötig und es fallen bei der Fertigung keine zusätzlichen Montageschritte an. Auch dies spart Kosten.

[0024] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

[0025] [Fig. 1](#) eine stark vereinfachte, diagrammatische Darstellung des Signal- bzw. Informationsflusses in einem Röntgenbildverstärkersystem gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung, und

[0026] [Fig. 2](#) eine ebensolche Darstellung für ein Röntgenbildverstärkersystem gemäß einer zweiten, besonders bevorzugten Ausführungsform.

[0027] Gleiche Komponenten sind in beiden Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0028] Das in [Fig. 1](#) schematisiert dargestellte Röntgenbildverstärkersystem **2** ist Bestandteil eines hier ansonsten nicht weiter dargestellten medizinischen Röntgendiagnostiksystems. Das Röntgenbildverstärkersystem **2** umfasst eine auch kurz als Bildwandler oder Bildverstärker bezeichnete Bildwandröhre **4**. Die Bildwandröhre **4** umfasst in ihrer einfachsten Form ein als Photokathode wirksames Eintrittsfenster **6**, aus dem die beim Betrieb einfallende Röntgenstrahlung Elektronen herauslöst. Innerhalb der evakuierten Bildwandröhre **4** werden die so freigesetzten Elektronen durch eine zwischen der Kathode und einer zugehörigen Anode angelegte Hochspannung beschleunigt und gegebenenfalls durch eine Mikrokanalplatte oder dergleichen vervielfacht (Sekundärelektronenvervielfachung). Die derart beschleunigten Elektronen treffen schließlich austrittsseitig auf einen Leuchtschirm **8**. Dabei erfolgt eine elektronenoptische Abbildung der räumlichen Intensitätsverteilung der auf das Eintrittsfenster **6** einfallenden Röntgenstrahlung auf den Leuchtschirm **8** des Austrittsfensters, wobei die für das menschliche Auge nicht sichtbare Röntgenstrahlung in ein sichtbares Abbild umgewandelt und verstärkt wird. Bei entsprechender Ausgestaltung der spektralen Empfindlichkeit der Photokathode kann der Bildwandler

oder Bildverstärker auch für die Sichtbarmachung von infraroter oder ultravioletter Strahlung ausgelegt sein.

[0029] Die Leuchtverteilung am Austrittsfenster (Leuchtschirm **8**) des Bildverstärkers **4** wird über eine Optik **10** auf einen Bildaufnehmer oder Bildsensor **12** einer Digitalkamera **14** fokussiert. Der Bildsensor **12** kann beispielsweise ein CCD-Sensor oder ein CMOS-Sensor sein. Die Digitalkamera **14** ist zweckmäßigerweise eine Videokamera, die einen kontinuierlichen digitalen Videostream mit vergleichsweise hoher Bildrate von z. B. 25 Einzelbildern pro Sekunde oder mehr ausgibt. Es ist aber auch denkbar, anstelle einer Videokamera einen für eine Einzelbildaufnahme ausgelegten digitalen Fotoapparat vorzusehen. Die so aufgenommenen „rohen“ Digitalbilder bzw. das digitale Videosignal werden einer elektronischen (digitalen) Bildverarbeitungseinheit **16** zugeführt, um sie vor ihrer Anzeige oder Weiterverarbeitung mit Mitteln der digitalen Bildverarbeitung geeignet aufzubereiten, z. B. um eine Helligkeitskorrektur vorzunehmen, die Bilder zu drehen, etc. Das auf diese Weise nachbearbeitete Videosignal wird dann beispielsweise auf einem Display oder Monitor (nicht dargestellt) eines zugehörigen Anzeigesystems angezeigt.

[0030] Das Röntgenbildverstärkersystem **2** gemäß [Fig. 1](#) ist für eine besonders zuverlässige und verhältnismäßig einfach realisierbare Korrektur von Abbildungsfehlern innerhalb der Bildwandröhre **4** ausgelegt. Dazu zählen vor allem Bildverzerrungen durch die Anwesenheit von Magnetfeldern im evakuierten Innenraum der Bildwandröhre **4**, die infolge der Lorentzkraft die Flugbahn der an der Kathode emittierten Elektronen beeinflussen und die sich trotz eines μ -Metall-Schirms um den Röhrenkörper in der Regel nicht vollständig abschirmen lassen.

[0031] Zu diesem Zweck weist das Röntgenbildverstärkersystem **2** gemäß [Fig. 1](#) eine innerhalb der Bildwandröhre **4** oder außerhalb in ihrer Nähe montierte Magnetfeldsonde **18** auf, die die am Anbringungsort herrschende Magnetfeldstärke und -richtung misst. Die Messwerte werden einer elektronischen Auswertungseinheit **20** als Eingangsgrößen zugeführt. Dabei kann es sich beispielsweise um ein spezialisiertes Elektronikmodul oder um eine frei programmierbare Rechnereinheit handeln, in der die vorgesehenen Auswertungsroutinen als ausführbare Programme hinterlegt sind und bei Bedarf ablaufen. Die so implementierte Auswertung umfasst eine modellmäßige und/oder tabellarische Beschreibung zwischen dem gemessenen Magnetfeld und der dadurch hervorgerufenen Bildverzerrung in der Bildwandröhre **4**. Die Zusammenhänge können beispielsweise empirisch fundiert oder „theoretisch“ aus physikalischen Gesetzmäßigkeiten abgeleitet sein. Bei einer Anbringung der Magnetfeldsonde **18** außerhalb der Bildwandröhre **4** wird dabei gegebenen-

falls auch die Abschirmung des Feldes am Röhrenkörper bzw. an seinem Abschirmmantel berücksichtigt. Des Weiteren können systematische, insbesondere magnetfeldunabhängige statische Abbildungsfehler, die durch die Bildwandröhre **4** selber oder durch die nachgeschaltete Optik **10** hervorgerufen werden, und die z. B. aus Eichmessungen oder aus theoretischen Erwägungen heraus bekannt sind, im Auswertungsmodell Berücksichtigung finden.

[0032] Auf der Basis des modellmäßig implementierten Zusammenhangs zwischen den Magnetfeldkenndaten und der daraus resultierenden Bildverzerrung wird in der Auswerteeinheit **20** eine geeignete Korrekturabbildung ermittelt, die die Bildverzerrung rückgängig macht („Entzerrung“). Dies kann z. B. in der Weise erfolgen, dass aus einer in der Bildverarbeitungseinheit **16** implementierten Grundmenge an Elementartransformationen – etwa Verzerrung, Skalierung, Drehung – eine geeignete Kombination ermittelt wird und zugehörige Transformationsparameter berechnet werden. Die so ermittelten Parameter werden an die Bildverarbeitungseinheit **16** übergeben, die die gewünschte Transformation dann ausführt, sprich auf die Einzelbilder des digitalen Video-streams anwendet. Die genannten Auswertungs- und Korrekturvorgänge laufen dabei bevorzugt – jedenfalls in guter Näherung – in Echtzeit ab, so dass von der Bildverarbeitungseinheit **16** ausgegebene Ausgangs-Videosignal stets ein aktuelles, verzerrungsbereinigtes Abbild der Helligkeitsverteilung am Leuchtschirm **8** der Bildwandröhre **4** (und somit der Röntgenintensitätsverteilung an deren Eintrittsfenster **6**) darstellt.

[0033] Die in [Fig. 2](#) dargestellte Variante entspricht funktionell gesehen derjenigen gemäß [Fig. 1](#). Bei dem System gemäß [Fig. 2](#) sind die Magnetfeldsonde **18**, die Auswertungseinheit **20** und die Bildverarbeitungseinheit **16** jedoch keine von der Digitalkamera **14** separaten Komponenten, sondern in der Art eines kompakten Verbundes in diese integriert. Es ist natürlich auch möglich, dass die Auswertungseinheit **20** von der Bildverarbeitungseinheit **16** nicht streng getrennt und über Schnittstellen verbunden ist, sondern teilweise oder ganz mit ihr zusammenfällt bzw. „Überschneidungen“ in Form von gemeinsam genutzten Softwaremodulen oder dergleichen aufweist. Die abbildende Optik **10** kann bei Bedarf ebenfalls in das Kamerasytem (oder auch in den Bildverstärker) integriert sein. Das Kamerasytem ist vorzugsweise fest am Bildverstärker bzw. an der zwischengeschalteten Optik **10** montiert, aber bei Bedarf lösbar und damit austauschbar. Das gesamte Röntgenbildverstärkersystem **2** ist vorzugsweise als eine Einheit im Raum schwenkbar bzw. verfahrbar, insbesondere in Abhängigkeit von der Stellung der (nicht dargestellten) Röntgenquelle.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern, insbesondere von Verzeichnungen, bei einem Röntgenbildverstärkersystem (**2**), welches eine Bildwandröhre (**4**) zur Umwandlung von einfallender Röntgenstrahlung in sichtbares Licht und ein der Bildwandröhre (**4**) optisch nachgeschaltetes digitales Kamerasytem (**14**) umfasst, wobei das Kamerasytem (**14**) einen Bildsensor (**12**) zur Umwandlung des einfallenden sichtbaren Lichtes in Digitalbilder aufweist, und wobei eine elektronische Bildverarbeitungseinheit (**16**) zur Nachbearbeitung der Digitalbilder vorgesehen ist, bei dem

- mit Hilfe einer innerhalb der Bildwandröhre (**4**) oder in ihrer Umgebung angeordneten Magnetfeldsonde (**18**) Kenndaten eines in der Bildwandröhre (**4**) anwesenden Magnetfeldes ermittelt werden,
- anhand der ermittelten Kenndaten ein aus der Anwesenheit des Magnetfeldes resultierender Abbildungsfehler quantitativ bestimmt wird,
- darauf basierend ein oder mehrere Parameter einer zur Korrektur des Abbildungsfehlers führenden Korrekturabbildung bestimmt werden,
- die so festgelegte Korrekturabbildung in der elektronischen Bildverarbeitungseinheit (**16**) auf die Digitalbilder angewandt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Zusammenhang zwischen den Kenndaten des Magnetfeldes und dem daraus resultierenden Abbildungsfehler zumindest teilweise durch ein physikalisch-mathematisches Modell formelhaft beschrieben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Modell die aktuellen Betriebsparameter der Bildwandröhre (**4**), insbesondere die Betriebsspannung sowie elektrooptische Parameter, in die Bestimmung des Abbildungsfehlers mit einbezieht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Zusammenhang zwischen den Kenndaten des Magnetfeldes und dem daraus resultierenden Abbildungsfehler zumindest teilweise aus Tabellen abgelesen wird, die zuvor im Rahmen von Eichmessungen empirisch ermittelt wurden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem eine oder mehrere Komponenten des Magnetfeldes gemessen werden, wobei die Komponenten derart festgelegt sind, dass sie zueinander orthogonale Bildverzerrungen in den Digitalbildern entsprechen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Magnetfeldsonde (**18**) außerhalb der Bildwandröhre (**4**) angeordnet ist, und wobei die charakteristischen Kenndaten für das im Inneren der Bildwandröhre (**4**) anwesende Magnetfeld anhand eines bekannten Abschirmfaktors oder einer bekann-

ten Abschirmfunktion aus dem außerhalb der Bildwandlerröhre (4) gemessenen Magnetfeld abgeleitet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Korrektur der Abbildungsfehler in Echtzeit vorgenommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem durch die digitale Bildverarbeitung über eine Korrektur der magnetfeldbedingten Abbildungsfehler hinaus auch eine Korrektur von weiteren Abbildungsfehlern, insbesondere von statischen Bildverzerrungen, vorgenommen wird.

9. Röntgenbildverstärkersystem (2) mit einer Bildwandlerröhre (4) zur Umwandlung von einfallender Röntgenstrahlung in sichtbares Licht und mit einer der Bildwandlerröhre (4) optisch nachgeschalteten digitalen Kamerasystem (14), wobei das Kamerasystem (14) einen Bildsensor (12) zur Umwandlung des einfallenden sichtbaren Lichtes in Digitalbilder aufweist, wobei eine elektronische Bildverarbeitungseinheit (16) zur Nachbearbeitung der Digitalbilder vorgesehen ist, und wobei

- innerhalb der Bildwandlerröhre (4) oder in ihrer Umgebung eine Magnetfeldsonde (18) angeordnet ist, die Kenndaten eines in der Bildwandlerröhre (4) anwesenden Magnetfeldes ermittelt,
- eine dateneingangsseitig mit der Magnetfeldsonde (18) und datenausgangsseitig mit der Bildverarbeitungseinheit (16) verbundene elektronische Auswertungseinheit (20) vorgesehen ist, die derart konfiguriert ist, dass sie anhand der ermittelten Kenndaten einen aus der Anwesenheit des Magnetfeldes resultierenden Abbildungsfehler quantitativ bestimmt und darauf basierend einen oder mehrere Korrekturparameter einer zur Korrektur des Abbildungsfehlers führenden Korrekturabbildung bestimmt,
- die Bildverarbeitungseinheit (16) derart konfiguriert ist, dass sie die durch die übermittelten Korrekturparameter festgelegte Korrekturabbildung auf die Digitalbilder anwendet.

10. Röntgenbildverstärkersystem (2) nach Anspruch 9, bei dem die Magnetfeldsonde (18) in das Kamerasystem (14) integriert ist.

11. Röntgenbildverstärkersystem (2) nach Anspruch 9 oder 10, bei dem die Auswertungseinheit (20) in das Kamerasystem (14) integriert ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

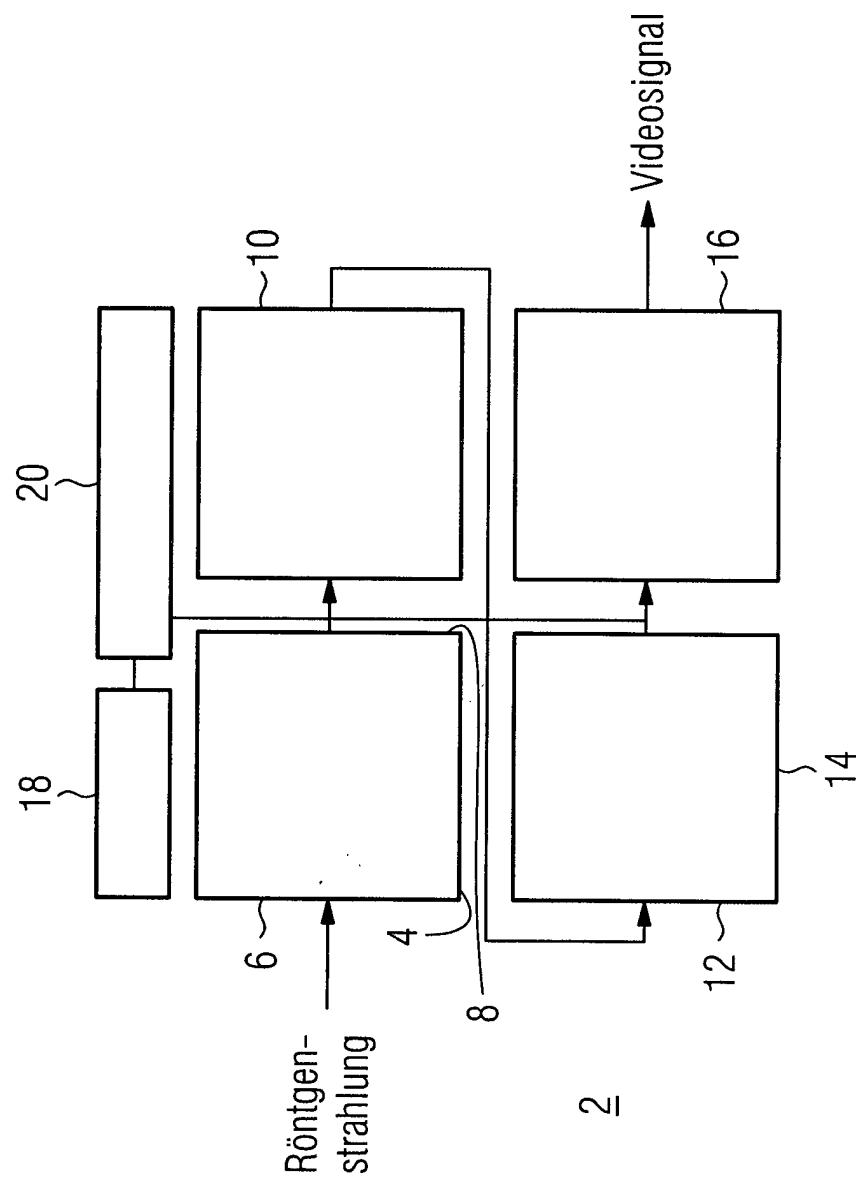


FIG 2

