



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 213 439.4**
(22) Anmeldetag: **29.11.2021**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.03.2023**

(51) Int Cl.: **A61B 6/03 (2006.01)**
G06T 7/00 (2017.01)
G16H 50/20 (2018.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens Healthcare GmbH, München, DE

(72) Erfinder:
Nowak, Tristan, Dr., 91056 Erlangen, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2011 004 120	A1
DE	10 2015 218 928	A1
DE	10 2016 221 684	A1

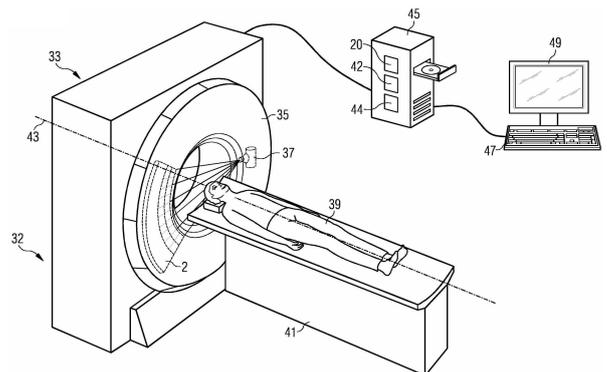
MANNIL, Manoj, et al. Modified dual-energy algorithm for calcified plaque removal: evaluation in carotid computed tomography angiography and comparison with digital subtraction angiography. Investigative Radiology, 2017, 52. Jg., Nr. 11, S. 680-685.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten umfassend die Schritte

- Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung,
- Erstes Ermitteln einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes,
- Zweites Ermitteln eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes,
- Anpassen von Werten der ermittelten Untergrundbilddatensätze in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils ein einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden, Untergrundbilddatensatzes angewendet wird,
- Drittes Ermitteln einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes, wobei vor dem Dritten Ermitteln jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste

Untergrundbilddatensatz auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird, - Erzeugen eines Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten ein Bildgebungsgerät umfassend eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes, sowie ein zugehöriges Computerprogrammprodukt und computerlesbares Speichermedium.

[0002] Mit Hilfe moderner bildgebender Verfahren werden häufig zwei- oder dreidimensionale Bilddaten erzeugt, die zur Visualisierung eines abgebildeten Untersuchungsobjekts und darüber hinaus auch für weitere Anwendungen genutzt werden können. Häufig basieren die bildgebenden Verfahren auf der Erfassung von Röntgenstrahlung, wobei sogenannte Projektionsmessdaten erzeugt werden. Beispielsweise können Projektionsmessdaten mit Hilfe eines Computertomographie-Geräts (CT-Gerät) akquiriert werden. Bei CT-Systemen läuft gewöhnlich eine an einer Gantry angeordnete Kombination aus Röntgenquelle und gegenüberliegend angeordnetem Röntgendetektor um einen Messraum um, in dem sich das Untersuchungsobjekt (das im Folgenden ohne Beschränkung der Allgemeinheit als Patient bezeichnet wird) befindet. Das Drehzentrum (auch „Isozentrum“ genannt) fällt dabei mit einer sogenannten Systemachse, auch z-Achse genannt, welche sich in z-Richtung erstreckt, zusammen. Bei einem oder mehreren Umläufen wird der Patient mit Röntgenstrahlung der Röntgenquelle durchstrahlt, wobei mit Hilfe des gegenüberliegenden Röntgendetektors Bilddatensätze im Form von Projektionsmessdaten bzw. Röntgenprojektionsdaten erfasst werden. Basierend auf den Projektionsmessdaten können mittels eines geeigneten Rekonstruktionsalgorithmus Bilddatensätze für eine räumliche Darstellung des Patienten im Bildraum erzeugt werden. Bei einer Rekonstruktion bzw. einem Rekonstruktionsalgorithmus handelt es sich um einen, beliebigen, in der Fachwelt bekannten Bildrekonstruktionsalgorithmus, z.B. eine gewichtete, gefilterte Rückprojektion (WFBP), wie sie z.B. bei der Computertomographie häufig zum Einsatz kommt. Alternative Rekonstruktionsalgorithmen sind gleichfalls möglich und ihre Anwendung liegt innerhalb des fachmännischen Könnens.

[0003] In der Computertomographie und ebenso auch in anderen radiographischen Verfahren können z.B. durch Einsatz verschiedener Röhrenspannungen oder Einsatz eines energieauflösenden Detektors mehrere Bilder desselben Objektvolumens rekonstruiert werden, die sich in der durch das vorliegende Material verursachte Röntgenschwächung aufgrund der unterschiedlichen vom Detektor aufgenommenen Röntgenspektren, d.h. Röntgenquantenenergieverteilung, unterscheiden. Darauf basierend kann dann beispielsweise eine Identifikation von

wenigstens zwei Materialien mittels einer Materialzerlegung durchgeführt werden.

[0004] Bei Verfügbarkeit von mindestens zwei unterschiedlichen Röntgenquantenenergieverteilungen ist es beispielsweise möglich, bei Aufnahmen mit iodhaltigem Kontrastmittel eine Zerlegung der spektralen Eingangsvolumen in ein Calcium- und ein Iodvolumen durchzuführen. Bei geeigneter Wahl der Materialparameter ist daraufhin im Iodvolumen die durch Calcium verursachte Schwächung entfernt, um beispielsweise darauf basierend eine verbesserte Bewertung ohne störende Einflüsse durch calciumhaltigen Strukturen zu ermöglichen. Dies kann beispielsweise relevant sein für die Bewertung von Stenosen. Als Nebeneffekte der Materialzerlegung kann allerdings eine ungünstige CT-Wert-Verschiebung von insbesondere Fett- und Luft-haltigen Volumenelementen oder auch eine Erhöhung des Bildrauschens auftreten.

[0005] Die Druckschrift DE 10 2011 004 120 A1 offenbart ein Verfahren zur Korrektur von Bilddaten eines Untersuchungsobjekts, welche einen ersten Bilddatensatz, der unter Verwendung einer ersten Röntgenenergie gewonnen wurde, und einen zweiten Bilddatensatz, der unter Verwendung einer zweiten Röntgenenergie gewonnen wurde, umfassen. Dabei werden zur Erzeugung eines korrigierten Bilddatensatzes von Bildpunktwerten an bestimmten Bildpunktpositionen des ersten Bilddatensatzes mit einem Gewichtungsfaktor multiplizierte Bildpunktwerte, die den entsprechenden Bildpunktpositionen im zweiten Bilddatensatz zugeordnet sind, subtrahiert. Der Gewichtungsfaktor ist in Abhängigkeit von der verwendeten ersten Röntgenenergie und der verwendeten zweiten Röntgenenergie so gewählt, dass bei der Subtraktion ein Kalzium-Anteil aus den Bildpunktwerten entfernt wird.

[0006] Die Druckschrift DE 10 2015 218 928 A1 offenbart ein Verfahren zur Erzeugung von Röntgenbilddaten eines Untersuchungsobjektes, wobei die Röntgenbilddaten aus Röntgenprojektionsdaten berechnet werden, welche einen ersten und wenigstens einen zweiten Röntgenprojektionsdatensatz umfassen, die mit einem energieselektiven Röntgendetektor und jeweils bezüglich eines bestimmten Energiefensters erfasst wurden. Das Verfahren umfasst das Bestimmen eines Calcium-Anteils in den Röntgenprojektionsdaten mittels einer Basismaterialzerlegung, wobei der Calcium-Anteil den Calcium-bedingten Teil der durch das Untersuchungsobjekt verursachten Röntgenschwächung beschreibt, das Erzeugen eines Misch-Röntgenprojektionsdatensatzes mit mittels eines Gewichtungsfaktors kleiner ein unterdrücktem Calcium-Anteil, und das Rekonstruieren der Röntgenbilddaten aus dem Misch-Projektionsdatensatz durch Anwenden eines Rekonstruktionsalgorithmus.

[0007] Die Druckschrift DE 10 2016 221 684 A1 offenbart ein Verfahren zum Verarbeiten eines ersten Bilddatensatzes, welcher basierend auf einer multispektralen Computertomographie-Bildgebung erzeugt wurde und welcher ein erstes Bildwerte-Tupel aufweist, welches einem Volumenelement eines abzubildenden Bereichs eines Objekts zugeordnet ist, wobei basierend auf dem ersten Bilddatensatz ein zweiter Bilddatensatz erzeugt wird, welcher ein dem Volumenelement zugeordnetes zweites Bildwerte-Tupel aufweist, wobei basierend auf dem zweiten Bilddatensatz und basierend auf einem Basismaterialien-Satz eine Basismaterialzerlegung ausführbar ist, wobei ein Startbereich und ein Zielbereich abhängig von dem Basismaterialien-Satz ausgewählt werden, wobei sich das erste Bildwerte-Tupel in dem Startbereich befindet, wobei das zweite Bildwerte-Tupel basierend auf dem ersten Bildwerte-Tupel ermittelt wird, wobei dem ersten Bildwerte-Tupel mittels einer Bildwerte-Tupel-Abbildung das zweite Bildwerte-Tupel zugeordnet wird, wobei sich das zweite Bildwerte-Tupel in dem Zielbereich befindet.

[0008] Weiterhin wird auf die Druckschrift von Mannil, Manoj, et al. „Modified dual-energy algorithm for calcified plaque removal: evaluation in carotid computed tomography angiography and comparison with digital subtraction angiography“ (Investigative Radiology, 2017, 52. Jg., Nr. 11, S. 680-685) hingewiesen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es ein verbessertes Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten bereitzustellen, welche die auftretenden Nebeneffekte zumindest teilweise adressiert.

[0010] Die Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren und die Vorrichtungen, die in den unabhängigen Patentansprüchen beschrieben sind. Vorteilhafte und für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten umfassend die Schritte des Erfassens, des ersten Ermittlens, des zweiten Ermittlens, des Anpassens, des dritten Ermittlens, des Erzeugens und des Ausgebens.

[0012] Der Schritt des Erfassens umfasst ein Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung mittels einer ersten Schnittstelle. Damit wird ein erster Bilddatensatz darstellend eine erste Röntgenschwä-

chungsverteilung des Patienten entsprechend der ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens ein zweiter Bilddatensatz darstellend wenigstens eine zweite Röntgenschwächungsverteilung des Patienten entsprechend wenigstens der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung erfasst.

[0013] Die Bilddatensätze können mit einem erfindungsgemäßen Bildgebungsgerät erzeugt werden, das weiter unten näher beschrieben wird, und im Schritt des Erfassens mittels der ersten Schnittstelle für die weiteren Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens erfasst werden. Sie können beispielsweise auch auf einem computerlesbaren Speichermedium gespeichert oder auf einem Netzwerk oder Server hinterlegt vorliegen und mittels der ersten Schnittstelle im Schritt des Erfassens ausgelesen und für die weiteren Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens erfasst werden.

[0014] Der erste Bilddatensatz und der zweite Bilddatensatz können insbesondere tomographische Bilddatensätze sein, welche basierend auf einer Vielzahl von aus unterschiedlichen Projektionswinkeln aufgenommenen Projektionsdatensätzen ermittelt, d.h. rekonstruiert, wurden. Dies können Computertomographie-Bilddatensätze sein, welche mittels eines Computertomographie-Geräts ermittelt wurden. Der erste und der zweite Bilddatensatz kann jedoch auch auf anderen radiographischen Verfahren, beispielsweise mittels eines C-Bogen-Röntgengeräts ermittelt worden sein.

[0015] Ergebnis solcher radiographischer Verfahren, wie beispielsweise der Computertomographie ist die Darstellung der (Röntgen-)Schwächung eines Röntgenstrahls entlang seines Weges von einer Röntgenquelle zu einem Röntgendetektor. Diese Röntgenschwächung wird von den durchstrahlten Medien bzw. Materialien entlang des Strahlengangs verursacht. Die Schwächung wird üblicherweise als der Logarithmus des Verhältnisses der Intensität der geschwächten zur Primärstrahlung definiert und bezogen auf ein Wegnormal als Schwächungskoeffizient des Materials bezeichnet. In einigen radiographischen Bildgebungsanwendungen, insbesondere jedoch in Anwendungen der Computertomographie, verwendet man zur Darstellung der Schwächungsverteilung eines Röntgenstrahls in einem Untersuchungsgegenstand statt des Schwächungskoeffizienten selbst einen auf den Schwächungskoeffizienten von Wasser normierten Wert, die CT-Zahl in Hounsfield-Einheiten (HU). Diese berechnet sich in allgemein bekannter Weise aus einem aktuell durch Messung ermittelten Schwächungskoeffizienten und dem Referenz-Schwächungskoeffizienten von Wasser. Der erste bzw. zweite Bilddatensatz kann insbesondere eine räumliche Verteilung des Schwächungskoeffizienten bzw. der CT-Zahl, d.h. die Röntgenschwächungsver-

teilung des Patienten, wiedergeben. Da beide Darstellungen ineinander transformierbar bzw. äquivalent sind, bezeichnet im Folgenden der allgemein gewählte Begriff Röntgenschwächungsverteilung sowohl die Verteilung des Schwächungskoeffizienten p als auch die Verteilung des CT-Werts.

[0016] Die erfassten Bilddatensätze können einen Teilbereich des Körpers des Patienten betreffen, beispielsweise eine bestimmte Körperregion des Patienten, die mittels des Ergebnisbilddatensatzes abgebildet werden soll. In diesem Fall enthalten die Bilddatensätze Informationen über die Röntgenschwächungsverteilung des Patienten nur bezüglich des abzubildenden Teilbereichs, beispielsweise bezüglich des Thorax oder des Beckens. Die Bilddatensätze betreffen alternativ den gesamten Körper des Patienten. In diesem Fall enthalten die Bilddatensätze Informationen über die Röntgenschwächungsverteilung des Patienten bezüglich des gesamten Patientenkörpers.

[0017] Eine Röntgenquantenenergieverteilung bezeichnet das energetische Spektrum der Röntgenstrahlung, die zur Aufnahme eines der Bilddatensätze verwendet wurde. Die wenigstens zwei Bilddatensätze werden mit Röntgenstrahlung erzeugt, die voneinander abweichende Röntgenquantenenergieverteilungen aufweist. Die Röntgenquantenenergieverteilungen können sich beispielsweise in ihrer mittleren Röntgenquantenenergie oder in ihrer Peak-Energie unterscheiden, sie können teilweise spektral überlappen oder vollständig separiert sein, also keine Schnittmenge aufweisen.

[0018] Die wenigstens zwei Bilddatensätze können mit einem Dual- oder Multi-Energie-Bildgebungsgerät erzeugt werden. Die verschiedenen Röntgenquantenenergieverteilungen werden dabei durch unterschiedliche Beschleunigungsspannungen an der oder den entsprechend eingesetzten Röntgenquellen der Röntgenbildaufnahmeverrichtung erzeugt. Alternativ können die unterschiedlichen Röntgenquantenenergieverteilungen mit unterschiedlichen, spektralen Filtern hinter der Röntgenquelle erzeugt und/oder energieselektive Detektoren eingesetzt werden. Energieselektiv ist dabei als spektral auflösend bzw. spektral separierend zu verstehen. Energieselektive Detektoren sind eingerichtet, einfallende Röntgenquanten entsprechend ihrer Quantenenergie zu klassifizieren. Ein energieselektiver Röntgendetektor kann insbesondere als photonenzählender, direktkonvertierender Röntgendetektor ausgebildet sein.

[0019] Die für die Aufnahme der Bilddatensätze verwendeten Röntgenquantenenergieverteilungen können insbesondere vorab durch das verwendete Bildgebungsgerät und deren eine oder mehrere Beschleunigungsspannungen oder andere System-

parameter, beispielsweise Parameter eines energieselektiven Röntgendetektors, vorgegeben bzw. fest eingestellt sein.

[0020] Es ist bekannt, dass unterschiedliche Materialien bzw. Gewebetypen, beispielsweise Wasser oder Knochen, unterschiedlich stark mit Röntgenstrahlung wechselwirken. Darüber hinaus ist auch die Energie-Abhängigkeit der Röntgenschwächung beim Durchlaufen von Materie bekannt. Das bedeutet, dass niederenergetische Röntgenstrahlung stärker von Materie absorbiert wird als höherenergetische Röntgenstrahlung. So repräsentiert der erste Bilddatensatz die räumliche Röntgenschwächungsverteilung des Patienten zu dem ersten Röntgenenergiespektrum, d.h. Röntgenquantenenergieverteilung, und der wenigstens eine zweite Bilddatensatz die Röntgenschwächungsverteilung des Patienten zu dem wenigstens einen zweiten Röntgenenergiespektrum.

[0021] Der Schritt des ersten Ermitteln umfasst ein Ermitteln einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes mittels einer Recheneinheit. Die erste räumliche Verteilung des zumindest ersten Materials kann im Wesentlichen mit einem Anteil der durch das erste Material im Patienten verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Sie kann einer räumlichen Dichteverteilung für das erste Material bzw. einer Konzentration des ersten Materials im Patienten entsprechen. Die räumliche Verteilung des ersten Materials ist dazu geeignet das Vorkommen des ersten Materials im Patienten bildlich darzustellen. Die räumliche Verteilung des ersten Materials kann den Anteil des ersten Materials im Patienten in einem Datensatz mit den gleichen räumlichen Dimensionen wie der erfindungsgemäße erste bzw. zweite Bilddatensatz räumlich wiedergeben. Insbesondere kann das erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung eine Basismaterialzerlegung in zumindest das erste und zumindest ein zweites Material basierend auf dem ersten und dem zumindest einen zweiten Bilddatensatz umfassen, so dass im Schritt des ersten Ermitteln eine erste räumliche Verteilung des ersten Materials und eine erste räumliche Verteilung des zweiten Materials resultiert. Die räumliche Verteilung eines zweiten Materials kann im Wesentlichen dann mit einem Anteil der durch das zweite Material im Patienten verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Vorteilhaft kann basierend auf der ermittelten ersten räumlichen Verteilung eine Karte des ersten Materials bereitgestellt werden, worauf basierend Bereiche vorteilhaft identifiziert werden können, in welchen das erste Material vorliegt.

[0022] Es kann für die Ermittlung der räumlichen Verteilung eine an sich bekannte lineare Material- bzw. Basismaterialzerlegung basierend auf den

wenigsten zwei Bilddatensätzen in wenigstens zwei Materialien durchgeführt werden. Bei der Materialzerlegung wird von der Überlegung ausgegangen, dass ein mittels einer Röntgenbildaufnahmeverrichtung gemessener Röntgenschwächungswert als Linearkombination von Röntgenschwächungswerten von sogenannten Basismaterialien bezüglich der besagten Röntgenquantenenergieverteilung beschrieben werden kann. Gemessene Röntgenschwächungswerte ergeben sich aus den wenigstens zwei Bilddatensätzen zu unterschiedlichen Röntgenquantenenergieverteilungen. Material bzw. Basismaterial kann jeder Stoff oder jedes beliebige Gewebe sein, insbesondere Wasser, Kontrastmittel wie Iod, Weichteilgewebe, Knochen und dergleichen. Die Röntgenschwächung eines Basismaterials in Abhängigkeit der Energie der Röntgenstrahlung ist grundsätzlich bekannt oder kann durch vorherige Messungen an Phantomen bestimmt werden und in Form von Tabellen zum Abruf im Rahmen der Materialzerlegung hinterlegt sein. Ergebnis der Materialzerlegung kann eine räumliche Verteilung der wenigstens zwei Materialien im Patienten sein, woraus sich für jedes Bildelement in der abzubildenden Körperregion des Patienten die Basismaterialanteile bzw. die Basismaterialienkombination ermitteln lassen. Es sei beispielsweise auf W. Kalender et. al „Materialelektive Bildgebung und Dichtemessung mit der Zwei-Spektren-Methode, I. Grundlagen und Methodik, W. Kalender, W. Bautz, D. Felsenberg, C. Süß und E. Klotz, Digit. Bilddiagn. 7, 1987, 66-77, Georg Thieme Verlag“, in welcher ein Verfahren zur Basismaterialzerlegung bei Röntgenaufnahmen beschrieben wird. Eine Basismaterialzerlegung können für den Fachmann in naheliegender Weise sowohl im Bildraum als auch im Projektionsraum ausgeführt werden. Beide Vorgehensweisen sind im Hinblick auf das erfindungsgemäße Verfahren gleichwertig, jedoch lassen sich die Rechenschritte im Bildraum vorteilhaft einfach durchführen, da hier eine Berechnung Bildelement für Bildelement erfolgen kann.

[0023] Gemäß einem Aspekt der Erfindung, umfasst das erste Material insbesondere Calcium. Das erste Material kann beispielsweise Hydroxylapatit oder ein anderes calciumhaltiges Material sein, welches im menschlichen Körper beispielsweise in Kalzifikationen oder im Skelettgewebe vorkommt, umfassen. Das zweite Material kann insbesondere ein dem Patienten verabreichtes Kontrastmittel sein. Unter einem Kontrastmittel werden im Zusammenhang mit der Erfindung jegliche Mittel verstanden, welche nach Zugabe in das Untersuchungsobjekt, insbesondere nach Injektion in einen Patienten, zu einer Kontrastverbesserung oder Kontrastverstärkung in der Absorption, also im Röntgenbild, führen. Vorzugsweise wird ein Kontrastmittel mit einer Ordnungszahl größer als 20 oder größer als 40 verwendet. Das Kontrastmittel weist insbesondere eine Ordnungs-

zahl kleiner als 83 oder kleiner als 70 auf. Besonders vorteilhafte Kontrastmittel enthalten beispielsweise Iod. Es kann aber auch beispielsweise ein Kontrastmittel basierend auf Gadolinium oder einem anderen Material sein. Das erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung umfasst dann insbesondere eine Basismaterialzerlegung in Calcium und das verwendete Kontrastmittel. In diesem Fall erfolgt das Erzeugen des ersten und des wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes des Patienten insbesondere unter Kontrastmittelgabe. Bei einer Materialzerlegung in Material umfassend Calcium und Kontrastmittel im Rahmen des ersten Ermitteln sind basierend auf der ersten räumlichen Verteilung Materialbereiche, welche dem calciumhaltigen Material zuzuordnen sind, vorteilhaft von Bereichen mit Kontrastmittel zu unterscheiden.

[0024] Das Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials kann insbesondere umfassen, vor einer Basismaterialzerlegung einen jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewert von dem ersten und dem wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes zu subtrahieren. Das heißt, in diesem Fall wird ein der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert vom ersten Bilddatensatz und ein der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert vom zweiten Bilddatensatz subtrahiert. Der Gewebewert kann als Gewebeausgangspunkt für eine folgende, von dem ersten Ermitteln umfasste lineare Basismaterialzerlegung dienen. Mittels der Subtraktion eines Gewebewertes von dem ersten bzw. zweiten Bilddatensatz vor einer Basismaterialzerlegung kann eine unphysikalische Materialzerlegung in Bereichen mit Materialien vermieden werden, welche nicht den Basismaterialien entsprechen. Der Gewebewert kann insbesondere derart ermittelt sein, dass er Gewebe charakterisiert, welches in einem für eine Diagnose basierend auf dem Ergebnisbilddatensatz relevanten Bereich der Bilddatensätze gemeinsam mit dem ersten Material vorliegt oder erwartet wird. Der Gewebewert kann insbesondere Gewebe charakterisieren, welches in Kombination mit dem ersten Material oder in der unmittelbaren Umgebung des ersten Materials in einem relevanten, interessierenden Bereich der Bilddatensätze vorliegt oder erwartet wird. Der jeweiligen Gewebewert kann einem Bildwert für dieses Gewebe entsprechen, welcher in einem Bilddatensatz abbildend das Gewebe mit der jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zu erwarten wäre. Der Gewebewert kann einem zu erwartenden Bildwert für das Gewebe in dem ersten bzw. zweiten Bilddatensatz in Abhängigkeit der ersten bzw. zweiten Röntgenquantenenergieverteilung entsprechen, welcher in einer Datenbank abrufbar bereitgestellt wird. Ein erwarteter Bildwert kann anhand des Wissens über die erste und zweite Röntgenquantenenergie-

verteilung und den bekannten energieabhängigen Röntgenschwächungskoeffizient des verwendeten Gewebematerials berechnet werden. Dabei kann auch eine energetische Aufhärtung der Röntgenquantenenergieverteilungen bei Durchgang durch den Patienten berücksichtigt werden. Beispielsweise kann in einfachen Ausführungen ein Faktor in Abhängigkeit eines Patientendurchmessers berücksichtigt werden, worauf basierend eine Schätzung für eine leicht angepasste erste bzw. zweite Röntgenquantenenergieverteilung erhalten werden kann, um damit einen verbesserten Erwartungswert für den jeweiligen zugeordneten Gewebewert zu erhalten. In einer Ausbildungsvariante des Verfahrens ist es auch denkbar, dass der jeweilige Gewebewert auch direkt aus dem ersten bzw. zweiten Bilddatensatz ermittelt wird. Soll beispielsweise mittels des Ergebnisbilddatensatzes eine bestimmte Struktur, beispielsweise ein Plaque, aufweisend eine Kalzifikation, bewertet werden, und ist Vorwissen über die Zusammensetzung dieser Struktur bekannt, wäre denkbar, basierend auf einer Segmentierung der Struktur und einer darauf angewendeten Materialzerlegung in zum einen das Material der Kalzifikation und ein weiteres bekanntes Material, welches vorwiegend in der relevanten Struktur vorliegt, einen vorliegenden Anteil des weiteren Materials und daraus einen Bildwert (in Abhängigkeit der Röntgenquantenenergieverteilungen) abzuleiten, welchem dem zweiten Material zugeordnet ist. Dieser Bildwert könnte dann beispielsweise als bessere Schätzung für den Gewebewert angewendet werden.

[0025] Der Gewebewert kann insbesondere abhängig sein von der medizinischen Fragestellung und dem daraus resultierenden abzubildenden Bereich bzw. der interessierenden Struktur des Patienten. Dient der Ergebnisbilddatensatz beispielsweise einer Bewertung von einer Stenose bzw. einem Plaque in einem Blutgefäß eines Patienten, so kann der Gewebewert insbesondere einem Bildwert von Blut entsprechen. Dabei wird angenommen, dass die Struktur von Blut durchströmt ist. Eine alternative Wahl kann beispielsweise Fett sein. Liegt der Fokus des Ergebnisbilddatensatz im Bereich von Organgewebe, so kann der Gewebewert insbesondere einem Bildwert des entsprechenden Organgewebes entsprechen. Insbesondere kann der Gewebewert in Abhängigkeit einer medizinischen Fragestellung durch einen Anwender wählbar sein. Es ist dabei denkbar, dass durch Auswahl der medizinischen Fragestellung bzw. einer zugehörigen Bildgebungsanwendung der Gewebewert automatisch ermittelt wird. Vorteilhaft ist eine an die medizinische Fragestellung angepasste Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes möglich.

[0026] Der Schritt des zweiten Ermitteln umfasst ein Ermitteln eines Untergrundbilddatensatzes, welche der ersten Röntgenquantenenergieverteilung

zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, mittels der Recheneinheit und auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes. Der Untergrundbilddatensatz kann einen allgemeinen Weichgewebebilddatensatz oder diesen zumindest näherungsweise darstellen. Auch das zweite Ermitteln kann insbesondere eine Basismaterialzerlegung auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes umfassen. Beispielsweise kann eine Zwei-Material-Zerlegung in ein Ziel- Untergrundmaterial und ein Begleitmaterial, insbesondere ein (Ziel-) Untergrundmaterial und das zweite Material, durchgeführt werden. Die daraus resultierende räumliche Verteilung des (Ziel-)Untergrundmaterials kann dann anhand des Wissens über die erste und zweite Röntgenquantenenergieverteilung und den bekannten energieabhängigen Röntgenschwächungskoeffizient des (Ziel-)Untergrundmaterials in einen Untergrundbilddatensatz, welche der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und einen Untergrundbilddatensatz, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, umgerechnet werden. Auch in diesem Fall können Aufhärtungseffekte auf die erste bzw. zweite Röntgenquantenenergieverteilung bei der Ermittlung der Untergrundbilddatensätze berücksichtigt werden, beispielsweise anhand eines Faktors in Abhängigkeit des Patientendurchmessers.

[0027] Dabei werden vorteilhafte Ergebnisse erreicht, wenn die Materialzerlegung zum Ermitteln der räumlichen Verteilung des Untergrundmaterials neben dem Untergrundmaterial insbesondere auch auf dem zweiten Material basiert, für welches im nachfolgenden Schritt des Dritten Ermitteln eine räumliche Verteilung ermittelt wird.

[0028] Eine räumliche Verteilung des Untergrundmaterials kann in einer vorteilhaften Umsetzung mit einem Wasser-bedingten Anteil der durch den Patienten verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Die Untergrundverteilung kann beispielsweise mittels einer Basismaterialzerlegung in Wasser und das zweite Material, insbesondere ein verwendetes Kontrastmittel, beispielweise Iod, ermittelt werden. Der Untergrundbilddatensatz, welche der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, kann in einer Ausgestaltungsvariante dem Untergrundbilddatensatz, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, entsprechen. In diesem Fall wird durch Ermitteln des einen Untergrundbilddatensatzes auch der andere Untergrundbilddatensatz ermittelt. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn als Untergrundmaterial Wasser gewählt, so dass der Untergrundbilddatensatz per Definition für alle Röntgenquantenenergieverteilungen gleich ist, sofern mit CT-Werten in HU-Einheiten gerechnet wird.

[0029] Vorteilhaft kann mittels bekannter Verfahren ein Untergrundbilddatensatz zur weiteren Verwendung in den folgenden Verfahrensschritten bereitgestellt werden, welcher letztendlich eingesetzt werden kann, um eine vorteilhafte Materialzerlegung zu erhalten und ungewollte Bildwertverschiebungen zu vermeiden.

[0030] Der Schritt des Anpassens umfasst ein Anpassen von Werten des ermittelten Untergrundbilddatensatzes mittels der Recheneinheit in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils der einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Untergrundbilddatensatzes angewendet wird. Der hier angewendete Gewebewert entspricht insbesondere dem oben im Bezug zum ersten Ermitteln bereits beschriebenen Gewebewert. Das Gewebe, auf welchem der jeweilige Gewebewert basiert, umfasst insbesondere ein anderes Material als das Untergrundmaterial. Insbesondere werden im Schritt des Anpassens Werte des ermittelten Untergrundbilddatensatzes, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, mittels des hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewerts, d.h. welcher ebenfalls der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, angepasst. Weiterhin werden Werte des ermittelten Untergrundbilddatensatzes, welcher der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, mittels des hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewerts, d.h. welcher ebenfalls der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, angepasst.

[0031] Eine Identifikation der Bereiche, welche dem ersten Material zuzuordnen sind, ist dabei besonders einfach anhand der ermittelten ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials möglich, da hier eine verbesserte Unterscheidbarkeit des ersten Materials, beispielsweise die Unterscheidung zwischen einem ersten Material aufweisend Calcium und einem ebenfalls vorliegenden Kontrastmittel, exakt und einfach möglich ist. Für die Identifikation der Bereiche, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, kann ein Segmentierungsverfahren auf die erste räumliche Verteilung angewendet werden. Die Segmentierung kann beispielsweise pixelbasiert, voxelbasiert, kantenbasiert, flächenbasiert und/oder regionenbasiert erreicht werden. Der Segmentierung kann auch ein modellbasiertes Verfahren zu Grunde liegen, wobei Annahmen über das zu segmentierende Objekt eingehen. Die Segmentierung kann durch die Recheneinheit automatisiert oder halbautomatisiert umgesetzt sein. Beispielsweise können

Startpunkte oder Keimzellen oder eine grobe Kontureninformation für die Segmentierung manuell gesetzt werden. In einer bevorzugt einfachen Umsetzung wird ein schwellwertbasiertes Segmentierungsverfahren eingesetzt, wobei die Werte der ersten räumlichen Verteilung mit zumindest einem Schwellwert verglichen werden. Darauf basierend kann eine Unterscheidung getroffen werden, ob ein Raumpunkt der räumlichen Verteilung mit hoher Wahrscheinlichkeit dem ersten Material zuzuordnen ist oder nicht. Zur Steigerung der Spezifität oder Sensitivität können optional weitere aus der ersten räumlichen Verteilung berechnete Zwischenbilder gebildet werden, z.B. mittels einer Grauwert-Dilatation, auf die ebenfalls ein geeignet gewählter Schwellwert angewendet wird. Basierend auf einer solchen Segmentierung kann beispielsweise eine binäre Karte abbildend das räumliche Vorkommen des ersten Materials im Patienten bereitgestellt werden, mittels derer in einfacher Weise die Bereiche, welche dem ersten Material zuzuordnen sind, in der Untergrundkarte identifizierbar sind.

[0032] Das jeweilige Anpassen der Werte des ermittelten Untergrundbilddatensatzes kann insbesondere umfassen, in den Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, die Werte des Untergrundbilddatensatzes durch den jeweiligen bestimmten Gewebewert zu ersetzen oder zumindest gewichtet zu ersetzen, d.h. die Werte des Untergrundbilddatensatzes mit dem Gewebewert zu kombinieren. Dabei kann insbesondere in Randbereichen der identifizierten Bereiche ein gewichtetes Ersetzen vorteilhaft sein, so dass harte Kanten zwischen den ersetzten Bereichen und den umliegenden Bereichen des Untergrundbilddatensatzes vermieden werden. Beispielsweise kann ein begrenzter Gaußfilter für ein gewichtetes Kombinieren eingesetzt werden. Der Untergrundbilddatensatz wird insbesondere dort modifiziert, wo basierend auf dem Ergebnis des ersten Ermitteln mit hoher Wahrscheinlichkeit das erste Material vorliegt. Dadurch kann erreicht werden, dass insbesondere in diesen Bereichen eine möglichst detailgetreue Zerlegung im folgend beschriebenen dritten Ermitteln erfolgen kann und auftretende Übergangsartefakte im Ergebnisbild unterdrückt werden.

[0033] Der Schritt des dritten Ermitteln umfasst ein Ermitteln einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des wenigsten einen zweiten Bilddatensatzes, mittels der Recheneinheit. Die zweite räumliche Verteilung des zweiten Materials kann im Wesentlichen mit einem Anteil der durch das zweite Material im Patienten verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Dabei wird vor dem dritten Ermitteln jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste

Untergrundbilddatensatz auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet. Das heißt, der der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare, angepasste Untergrundbilddatensatz wird auf den ersten Bilddatensatz angewendet und der der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare, angepasste Untergrundbilddatensatz wird auf den zweiten Bilddatensatz angewendet.

[0034] Das Anwenden des angepassten Untergrundbilddatensatzes auf den ersten bzw. den zumindest einen zweiten Bilddatensatz kann umfassen, die räumlich korrespondierenden Werte eines jeweiligen Untergrundbilddatensatzes und eines jeweiligen ersten bzw. zweiten Bilddatensatzes zu kombinieren. Insbesondere kann das Anwenden des angepassten Untergrundbilddatensatzes auf den ersten bzw. wenigstens einen zweiten Bilddatensatz umfassen, den jeweiligen angepassten Untergrundbilddatensatz von dem ersten bzw. dem wenigstens einen zweiten Bilddatensatz zu subtrahieren.

[0035] Im Schritt des dritten Ermitteln kann neben der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials eine weitere räumliche Verteilung des ersten Materials, d.h. eine zweite räumliche Verteilung des ersten Materials, ermittelt werden. Insbesondere kann sowohl das erste als auch das dritte Ermitteln eine Basismaterialzerlegung in zumindest das erste und das zweite Material umfassen, so dass jeweils eine räumliche Verteilung des ersten Materials und eine räumliche Verteilung des zweiten Materials resultiert. Insbesondere kann dabei jeweils das erste Material Calcium umfassen und das zweite Material ein für das Erzeugen der Bilddatensätze verwendetes Kontrastmittel, beispielsweise Iod, umfassen, wobei das erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung und das dritte Ermitteln der zweiten räumlichen Verteilung dann jeweils eine Basismaterialzerlegung in das Material aufweisend Calcium und das Kontrastmittel umfasst. Insbesondere kann das Ermitteln des Untergrundbilddatensatzes eine Basismaterialzerlegung in Wasser und das verwendete Kontrastmittel umfassen. Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Material aufweisend Calcium, beispielsweise Hydroxylapatit, und ein Kontrastmittel stellt einen besonders wichtigen Anwendungsfall dar, beispielsweise bei der Beurteilung von Plaques bzw. Stenosen.

[0036] Der Schritt des Erzeugens umfasst ein Erzeugen eines Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials mittels der Recheneinheit. Das Erzeugen kann lediglich die abrufbare Bereitstellung der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials in Form einer räumlichen Darstellung umfassen. Damit kann die zweite räumliche Vertei-

lung im Wesentlichen direkt dem Ergebnisbilddatensatz entsprechen, welcher mittels einer zweiten Schnittstelle ausgegeben werden kann. Es können jedoch auch noch weitere Verarbeitungsschritte basierend auf der zweiten räumlichen Verteilung vom Schritt des Erzeugens umfasst sein. Wird im Schritt des dritten Ermitteln neben der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials auch eine weitere räumliche Verteilung des ersten Materials, d.h. die zweite räumliche Verteilung des ersten Materials, ermittelt, kann ein Ergebnisbilddatensatz basierend auf der ermittelten zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials und der ermittelten zweiten, räumlichen Verteilung des ersten Materials erzeugt werden. Beispielsweise kann ein gewichtetes Mischbild erzeugt werden. Beispielsweise kann ein sogenanntes „Virtual monoenergetic image“(-VMI, dt: virtuelles monoenergetisches Bild) basierend auf der ermittelten zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials und der ermittelten weiteren, d.h. zweiten, räumlichen Verteilung des ersten Materials berechnet und als Ergebnisbilddatensatz ausgegeben werden. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der DE 10 2015 204 450 A1 beschrieben.

[0037] Insbesondere kann im Schritt des Erzeugens als Ergebnisbilddatensatz eine Darstellung des Patienten zumindest basierend auf der räumlichen Verteilung des zweiten Materials bereitgestellt werden, in welchen das erste Material entfernt oder zumindest teilweise unterdrückt ist. Beispielsweise kann im Schritt des dritten Ermitteln eine Darstellung des Patienten zumindest basierend auf der räumlichen Verteilung des zweiten Materials, z.B. Iod, erzeugt werden, in welchen das erste Material, z.B. insbesondere Kalzifikationen, entfernt ist. Vorteilhaft wird dabei mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erreicht, dass in dieser Darstellung, die durch das erste Material verursachte Schwächung entfernt ist, ohne dass die durch das zweite Material verursachte Schwächung, d.h. die Bildwerte korrespondierend zu der durch zweite Material verursachten Schwächung, beeinflusst ist. Weiterhin kann besonders vorteilhaft eine Bildwert-Verschiebung in Bereichen mit Materialien, welche keine Basismaterialien sind, vermieden werden. Dies betrifft beispielsweise eine Kontrastinversion bei Fett oder Luft. Die Vorteile werden insbesondere durch das vorteilhafte Ermitteln und Anwenden der erfindungsgemäß angepassten Untergrundkarte vor dem dritten Ermitteln erreicht. Dabei entspricht das Anwenden, insbesondere eine Subtraktion, der jeweiligen angepassten Untergrundkarte vor Durchführung einer Materialzerlegung beim dritten Ermitteln einer Projektion der Bildwerte des ersten bzw. zweiten Bilddatensatzes auf den Materialvektor des zweiten Materials. Durch die besondere Erzeugung der Untergrundkarte kann erreicht werden, dass insbesondere in relevanten Bereichen, in welchen das

erste Material vorliegt, eine besonders detailgetreue Zerlegung durchgeführt und sonst häufig auftretende Übergangsartefakte im Ergebnisbild vorteilhaft unterdrückt werden.

[0038] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann vor dem ersten Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials eine Registrierung des ersten Bilddatensatzes auf den zweiten Bilddatensatz erfolgen. Dies kann insbesondere dann zu vorteilhaft verbesserten Ergebnissen führen, wenn der erste und der zweite Bilddatensatz nicht exakt dieselbe Zeit und denselben Ort repräsentieren und eine Bewegung des aufgenommenen Objekts zum Zeitpunkt der Aufnahme des ersten und des zweiten Bilddatensatz nicht ausgeschlossen werden kann. Dies ist insbesondere beispielsweise dann der Fall, wenn der erste Bilddatensatz und der zweite Bilddatensatz mittels eines sogenannten Dual-Energy-Verfahrens unter Verwendung zweier Röntgenspektren aufgenommen wurden. Besonders vorteilhaft kann dies durch Einsatz eines energieselektiven, d.h. energieauflösenden, Röntgendetektor ausgeschlossen werden, welcher ausgebildet ist, gleichzeitig die Daten für den ersten und den zweiten Bilddatensatz in einem ersten Energiebereich, d.h. entsprechend einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung, und einem zweiten Energiebereich, d.h. entsprechend einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung, aufzunehmen.

[0039] Unter einer Registrierung werden hierbei Verfahren verstanden, mit denen bei zwei Abbildern, die denselben oder einen ähnlichen Gegenstand wiedergeben, eine eindeutige topographische Beziehung oder Korrelation zwischen ihren Bildelementen (Pixel bzw. Voxel) hergestellt wird. Die Ermittlung der Korrelation erfolgt zumeist über markante Merkmale, sogenannten Landmarken („engl.: „landmarks“), die entweder von einem Benutzer interaktiv oder von einem System automatisch ermittelt werden. Die Landmarken können dabei eindimensionale Strukturen, wie z.B. spezielle anatomische Punkte, oder mehrdimensionale Strukturen, wie zB. Oberflächen bestimmter Organe, die zuvor in den Abbildern segmentiert wurden, sein. Die Registrierung kann aber auch über in den Abbildern gespeicherte Intensitätswertverteilungen erfolgen. Die Bildregistrierung ist eine gängige Aufgabenstellung in der medizinischen Bildverarbeitung, für die es zahlreiche Lösungsvorschläge gibt. Als Beispiele für verwendbare Optimierungsverfahren für Registrierungsverfahren seien Gradientenabstiegsverfahren, Downhill-Simplex-Verfahren, Hillclimb-Verfahren und Simulated Annealing genannt. Für die Registrierung kann insbesondere eine nicht-rigide, flexible oder elastische Registrierung verwendet werden. Unter einem elastischen Registrierungsverfahren wird ein Bildregistrierungsverfahren verstanden, bei dem elastische Transformationen, engl. auch „non-rigid transforma-

tions“ genannt, wie spline- oder polynomialbasierte Transformationen, anwendbar sind.

[0040] Insbesondere kann in einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung vor dem ersten Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung ein Verfahren der Entrauschung auf den ersten und den zumindest zweiten Bilddatensatz angewendet werden und/oder ein Verfahren der Entrauschung auf den Ergebnisbilddatensatz zumindest in Bereichen angewendet werden, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt. Das Anwenden eines Verfahrens der Entrauschung auf den Ergebnisbilddatensatz kann umfassen, dass vor dem Erzeugen und der Ausgabe eines finalen Ergebnisbilddatensatzes ein vorläufiger Ergebnisbilddatensatz mittels der Recheneinheit erzeugt wird, welcher auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials basiert, wobei ein Verfahren der Entrauschung auf den vorläufigen Ergebnisbilddatensatz, zumindest in Bereichen angewendet wird, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt. Der vorläufige Ergebnisbilddatensatz kann dem (finalen) Ergebnisbilddatensatz entsprechen, wobei lediglich das Anwenden des Entrauschungsverfahrens den vorläufigen Ergebnisbilddatensatz vom (finalen) Ergebnisbilddatensatz unterscheidet. Es können für die Erzeugung eines finalen Ergebnisbilddatensatzes auch noch weitere Verarbeitungsschritte nach dem Anwenden des Entrauschungsverfahrens folgen, beispielsweise das Erzeugen eines gewichteten Mischbilds wie oben beschrieben.

[0041] Ein Verfahren der Entrauschung entspricht insbesondere einem rauschreduzierenden Verfahren. Bei den rauschreduzierenden Verfahren existieren sowohl solche, die einen einzelnen Bilddatensatz behandeln als auch solche, die mehrere korrelierte Bilddatensätze gleichzeitig behandeln oder sich aus einer Kombination der zu behandelnden Bilddatensätze ein Zwischenergebnis berechnen, das in der Entrauschung aller Bilddatensätze als Seitenkanal verwendet wird. Vorzugsweise wird ein Verfahren der Entrauschung eingesetzt, welches kantenerhaltend arbeitet. Vorzugsweise wird ein Verfahren eingesetzt, welches mit multispektral erzeugten Bilddatensätzen, d.h. mindestens zwei Bilddatensätzen jeweils auf der Basis einer anderen Röntgenquantenenergieverteilungen, arbeitet. Vorzugsweise kann ein Verfahren eingesetzt werden wie in der Druckschrift DE 10 2019 210 355 A1 beschrieben. Beispielsweise kann ein Verfahren wie in den Druckschriften DE 10 2009 010 501 A1 oder DE 10 2008 063 311 A1 beschrieben eingesetzt werden.

[0042] Vorteilhaft kann das erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung basierend auf entrausch-

ten Bilddatensätzen verbesserte und robustere Ergebnisse liefern. Vorteilhaft kann ein Anpassen der Untergrundbilddatensätze in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, verbessert durchgeführt werden, da fehlerhaft identifizierte Bereiche verbessert vermieden werden können.

[0043] Im Ergebnisbilddatensatz kann insbesondere in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, ein erhöhter Rauschwert auftreten. Vorteilhaft kann mittels eines Verfahrens der Entrauschung ein erhöhtes Rauschen im Ergebnisbilddatensatz insbesondere in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, vermieden werden. Vorzugsweise wird dabei die Stärke der Entrauschung so auf die Umgebung der Bereiche, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, angepasst, so dass das finale Rauschen im Ergebnisbilddatensatz einheitlich ist. Vorteilhaft kann ein besonders hochqualitativer Ergebnisbilddatensatz basierend zumindest auf der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials erreicht werden. Insbesondere kann hier die zweite räumliche Verteilung einem vorläufigen Ergebnisbilddatensatz entsprechen, auf welchen das Verfahren der Entschrauschung angewendet wird.

[0044] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten, umfassend eine erste Schnittstelle, eine Recheneinheit und eine zweite Schnittstelle.

[0045] Die erste Schnittstelle ist ausgebildet zum Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung. Das heißt, die erste Schnittstelle ist ausgebildet zum Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten darstellend eine erste Röntgenschwächungsverteilung des Patienten entsprechend einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten darstellend wenigstens eine zweite Röntgenschwächungsverteilung des Patienten entsprechend wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung.

[0046] Die Recheneinheit ist ausgebildet zum ersten Ermitteln einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes. Die Recheneinheit ist weiterhin ausgebildet zum zweiten Ermitteln eines Untergrundbilddatensatzes, welche der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuor-

denbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes. Die Recheneinheit ist außerdem ausgebildet zum Anpassen von Werten der Untergrundbilddatensätze, in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils ein einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden räumlichen Untergrundbilddatensatzes, angewendet wird, zum dritten Ermitteln einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes, wobei vor dem dritten Ermitteln jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste Untergrundbilddatensatz, auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird, und zum Erzeugen des Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials.

[0047] Die zweite Schnittstelle ist ausgebildet zum Ausgeben des Ergebnisbilddatensatzes.

[0048] Eine solche Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes kann insbesondere dazu ausgebildet sein, die zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes und ihre Aspekte auszuführen. Die Vorrichtung kann dazu ausgebildet sein, die Verfahren und ihre Aspekte auszuführen, indem die Schnittstellen und die Recheneinheit ausgebildet sind, die entsprechenden Verfahrensschritte auszuführen.

[0049] Insbesondere kann die Recheneinheit ausgebildet sein im Rahmen des ersten Ermitteln und des dritten Ermitteln jeweils eine Basismaterialzerlegung in das erste und das zweite Material durchzuführen. Insbesondere kann die Recheneinheit ausgebildet sein im Rahmen des zweiten Ermitteln eine Basismaterialzerlegung in ein Untergrundmaterial und beispielsweise das zweite Material durchzuführen.

[0050] Bei der Vorrichtung bzw. der Recheneinheit kann es sich insbesondere um einen Computer, einen Mikrocontroller oder um einen integrierten Schaltkreis handeln. Alternativ kann es sich dabei um einen realen oder virtuellen Verbund von Computern handeln (ein englischer Fachbegriff für einen realen Verbund ist „Cluster“, ein englischer Fachbegriff für einen virtuellen Verbund ist „Cloud“). Die Vorrichtung kann auch als virtuelles System ausgebildet sein, das auf einem realen Computer oder einem

realen oder virtuellen Verbund von Computern ausgeführt wird (engl. virtualization).

[0051] Bei einer Schnittstelle kann es sich um eine Hardware- oder Softwareschnittstelle handeln (beispielsweise PCI-Bus, USB oder Firewire). Eine Recheneinheit kann Hardware-Elemente oder Software-Elemente aufweisen, beispielsweise einen Mikroprozessor oder ein sogenanntes FPGA (englisches Akronym für „Field Programmable Gate Array“).

[0052] Die Schnittstellen können insbesondere mehrere Unterschnittstellen umfassen. Mit anderen Worten können die Schnittstellen auch eine Vielzahl von Schnittstellen umfassen. Die Recheneinheit können insbesondere mehrere Unterrecheneinheiten umfassen, die unterschiedliche Schritte der jeweiligen Verfahren ausführen. Mit anderen Worten kann die Recheneinheit auch als Vielzahl von Recheneinheiten aufgefasst werden.

[0053] Die Vorrichtung kann außerdem auch eine Speichereinheit umfassen. Eine Speichereinheit kann als nicht dauerhafte Arbeitsspeicher (Random Access Memory, kurz RAM) oder als dauerhafter Massenspeicher (Festplatte, USB-Stick, SD-Karte, Solid State Disk) realisiert sein.

[0054] Die Vorteile der vorgeschlagenen Vorrichtung entsprechen im Wesentlichen den Vorteilen des vorgeschlagenen Verfahrens zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes. Hierbei erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen können ebenso auch auf die Vorrichtung übertragen werden und umgekehrt.

[0055] Weiterhin betrifft die Erfindung ein Bildgebungsgerät umfassend eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes und umfassend zumindest eine Röntgenquelle in Gegenüberstellung zu zumindest einem Röntgendetektor, wobei zwischen der Röntgenquelle und dem Röntgendetektor ein Patient anordenbar ist.

[0056] Dabei ist das Bildgebungsgerät vorteilhafterweise zur Ausführung einer Ausführungsform des vorgeschlagenen Verfahrens zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes ausgebildet. Die Vorteile des vorgeschlagenen Bildgebungsgerät entsprechen im Wesentlichen den Vorteilen des vorgeschlagenen Verfahrens zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes. Hierbei erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen können ebenso auch auf das Bildgebungsgerät übertragen werden und umgekehrt.

[0057] Bei dem Bildgebungsgerät kann es sich insbesondere um ein Röntgengerät handeln, welches zur Aufnahme einer Vielzahl von Röntgenprojekti-

onen aus unterschiedlichen Projektionswinkeln ausgelegt ist, beispielsweise ein Computertomographiegerät mit einem ringförmigen Drehrahmen oder um ein C-Bogen-Röntgengerät. Die Aufnahmen können während einer, insbesondere kontinuierlichen, Rotationsbewegung einer Aufnahmeeinheit umfassend die Röntgenquelle und den mit der Röntgenquelle zusammenwirkenden Röntgendetektor erzeugt werden. Bei einer Röntgenstrahlungsquelle kann es sich insbesondere um eine Röntgenröhre mit Drehanode handeln. Bei einem Röntgendetektor für ein Computertomographiegerät handelt es sich beispielsweise um einen Zeilendetektor mit mehreren Zeilen. Bei einem Röntgendetektor für ein C-Bogen-Röntgengerät handelt es sich beispielsweise um einen Flachdetektor.

[0058] Der Röntgendetektor kann einem spektral separierenden Röntgendetektor entsprechen. Dieser ist eingerichtet, einfallende Röntgenquanten entsprechend ihrer Quantenenergie zu klassifizieren und jeweils einem der Bilddatensätze zuzuordnen. Derart benötigt man für das erfindungsgemäße Verfahren nur eine Röntgenquelle mit einem vorgegebenen bzw. festen Emissionsspektrum. Gemäß diesem Aspekt der Erfindung erfolgt die Aufnahme der Bilddatensätze besonders schnell und ohne zusätzliche Dosisbelastung für den Patienten. Der Röntgendetektor kann ein quantenzählenden Detektor oder einem Zwei-Schicht-Detektor sein. Unter einem quantenzählenden Detektor ist typischerweise ein direkt konvertierender Detektor zu verstehen, der ein einfallendes Röntgenquant mittels geeignetem Detektormaterial direkt in ein elektrisches Signal umwandelt. Quantenzählende Detektoren können energieauflösend betrieben werden, wobei die Energieauflösung mittels sogenanntem Binning einstellbar ist. Mit anderen Worten können beliebige Energiebereiche festgelegt werden, bezüglich derer einfallende Röntgenquanten klassifiziert werden können. Der erste und der wenigstens eine zweite Bilddatensatz werden jeweils durch Signale innerhalb eines oder mehrerer Energiebereiche gebildet. Die Zuordnung von Energiebereichen zu den Bilddatensätzen kann in Abhängigkeit der ersten und/oder wenigstens einen zweiten Röntgenquantenenergieverteilung erfolgen. Als Detektormaterialien für quantenzählende Detektoren eignen sich insbesondere die Halbleiter Cadmium-Tellurid, Cadmium-Zink-Tellurid oder Gallium-Arsenid oder, im Falle eines Flachdetektors, amorphes Selen oder dergleichen. Ein Zwei-Schicht-Detektor oder auch Dual oder Double Layer Detektor ist ausgestaltet, das einfallende Röntgenröhrenspektrum in einen niederenergetischen und einen hochenergetischen Anteil zu zerlegen. Dazu ist der Zwei-Schicht-Detektor aus zwei Schichten aufgebaut. Eine der Röntgenstrahlungsquelle zugewandte Detektorschicht misst Photonen der einfallenden Röntgenstrahlung mit niedriger Energie und weist die gemessenen Signale dem ersten Bild-

datensatz zu. Sie wird von hochenergetischer Röntgenstrahlung durchdrungen. Photonen mit höherer Quantenenergie werden in der darunter bzw. dahinter, also von der Röntgenstrahlungsquelle abgewandt angeordneten Detektorschicht gemessen und dem zweiten Bilddatensatz zugeordnet. Typischerweise umfassen beide Detektorschichten einen Szintillator, folglich handelt es sich bei dem Zwei-Schicht-Detektor um einen indirekt konvertierenden Detektor. Als Szintillationsmaterial kommen Kristalle wie Cäsium-Iodid, Cadmium-Wolframat oder keramische Stoffe, wie beispielsweise Gadoliniumoxysulfid oder dergleichen zum Einsatz.

[0059] Das Bildgebungsgerät kann auch zwei Quelle-Detektor-Systeme umfassen, die mit verschiedenen Emissionsspektren arbeiten. In diesem Fall umfasst das Bildgebungsgerät zwei Röntgenquellen und zwei Röntgendetektoren, wobei jeder Detektor zur Aufnahme der von einer der Röntgenstrahlungsquellen ausgehenden Röntgenstrahlung eingerichtet ist. Man spricht hier auch von einer Dual-Source-Röntgenbildgebungsanordnung. Wenigstens eine der beiden Röntgenquellen kann außerdem einen Filter zur Verbesserung der spektralen Trennung der ausgehenden Röntgenstrahlung, insbesondere einen Zinnfilter umfassen.

[0060] Das Bildgebungsgerät kann auch zum sogenannten „kV-Switching“ ausgebildet sein, wobei die Röntgenquelle in schneller Abfolge verschiedene Emissionsspektren in Richtung eines Röntgendetektors emittiert.

[0061] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in einen Speicher einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte eines der zuvor beschriebenen Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes und ihre Aspekte auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Vorrichtung ausgeführt werden.

[0062] Ein Computerprogrammprodukt kann ein Computerprogramm sein oder ein Computerprogramm umfassen. Dadurch kann das erfindungsgemäße Verfahren schnell, identisch wiederholbar und robust ausgeführt werden. Das Computerprogrammprodukt ist so konfiguriert, dass es mittels der Vorrichtung die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte ausführen kann. Die Vorrichtung muss dabei jeweils die Voraussetzungen wie beispielsweise einen entsprechenden Arbeitsspeicher, eine entsprechende Grafikkarte oder eine entsprechende Logikeinheit aufweisen, so dass die jeweiligen Verfahrensschritte effizient ausgeführt werden können. Das Computerprogrammprodukt ist beispielsweise auf einem computerlesbaren Medium gespeichert oder auf einem Netzwerk oder Server hinterlegt, von wo es in eine

Recheneinheit der Vorrichtung geladen werden kann.

[0063] Die Erfindung betrifft ein computerlesbares Speichermedium, auf welchem von der Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes lesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte eines der zuvor beschriebenen Verfahrenen zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes oder ihre Aspekte auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Vorrichtung ausgeführt werden.

[0064] Beispiele für ein computerlesbares Speichermedium sind eine DVD, ein Magnetband, eine Festplatte oder ein USB-Stick, auf welchem elektronisch lesbare Steuerinformationen, insbesondere Software, gespeichert ist.

[0065] Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher verwendete Vorrichtungen und Recheneinheiten auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Ein Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile wie z. B. eine Dokumentation und/oder zusätzliche Komponenten, sowie Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen

[0066] Im Rahmen der Erfindung können außerdem Merkmale, welche in Bezug auf unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung und/oder unterschiedliche Anspruchskategorien (Verfahren, Verwendung, Vorrichtung, System, Anordnung usw.) beschrieben sind, zu weiteren Ausführungsformen der Erfindung kombiniert werden. Beispielsweise kann ein Anspruch, der eine Vorrichtung betrifft, auch mit Merkmalen, die im Zusammenhang mit einem Verfahren beschrieben oder beansprucht sind, weitergebildet werden und umgekehrt. Funktionale Merkmale eines Verfahrens können dabei durch entsprechend ausgebildete gegenständliche Komponenten ausgeführt werden.

[0067] Die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ schließt nicht aus, dass das betreffende Merkmal auch mehrfach vorhanden sein kann. Die Verwendung des Ausdrucks „aufweisen“ schließt nicht aus, dass die mittels des Ausdrucks „aufweisen“ verknüpften Begriffe identisch sein können. Beispielsweise weist die medizinische Bildgebungsanordnung die medizinische Bildgebungsanordnung auf. Die Verwendung des Ausdrucks „Einheit“ schließt nicht aus, dass der Gegenstand, auf den sich der Ausdruck „Einheit“ bezieht, mehrere Komponenten aufweisen kann, die räumlich voneinander separiert sind.

[0068] Der Ausdruck „basierend auf“ kann im Kontext der vorliegenden Anmeldung insbesondere im Sinne des Ausdrucks „unter Verwendung von“ verstanden werden. Insbesondere schließt eine Formulierung, der zufolge ein erstes Merkmal basierend auf einem zweiten Merkmal erzeugt (alternativ: ermittelt, bestimmt etc.) wird, nicht aus, dass das erste Merkmal basierend auf einem dritten Merkmal erzeugt (alternativ: ermittelt, bestimmt etc.) werden kann.

[0069] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von beispielhaften Ausführungsformen unter Hinweis auf die beigefügten Figuren erläutert. Die Darstellung in den Figuren ist schematisch, stark vereinfacht und nicht zwingend maßstabsgetreu. Es zeigen:

Fig. 1 einen beispielhaften Ablauf eines Verfahrens zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes als Flussdiagramm,

Fig. 2 eine beispielhafte, schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes, und

Fig. 3 ein beispielhaftes Bildgebungsgerät.

[0070] **Fig. 1** zeigt einen beispielhaften Ablauf eines Verfahrens zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten 39 als Flussdiagramm.

[0071] Das Verfahren umfasst das Erfassen S1 eines ersten Bilddatensatzes des Patienten 39 darstellend eine erste Röntgenschwächungsverteilung des Patienten 39 entsprechend einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten 39 darstellend wenigstens eine zweite Röntgenschwächungsverteilung des Patienten 39 entsprechend wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung mittels einer ersten Schnittstelle 21. Die Bilddatensätze können mit einem erfindungsgemäßen Bildgebungsgerät, wie beispielsweise in **Fig. 3** gezeigt, erzeugt werden und über die Schnittstelle erfasst und damit für die weiteren Verfahrensschritte bereitgestellt werden. Der erste Bilddatensatz und der zweite Bilddatensatz können dann insbesondere tomographische Bilddatensätze sein, welcher basierend auf einer Vielzahl von aus unterschiedlichen Projektionswinkeln aufgenommenen Projektionsdatensätzen ermittelt, d.h. rekonstruiert, wurden. Die erfassten Bilddatensätze können einen Teilbereich des Körpers des Patienten 39 betreffen, beispielsweise eine bestimmte Körperregion des Patienten 39, die mittels des Ergebnisbilddatensatzes abgebildet werden soll. Soll beispielsweise eine Stenose eines Blutgefäßes des Patienten anhand des Ergebnisbilddatensatzes beurteilt werden, so umfasst der erste und der zweite Bilddatensatz, genauso wie der Ergebnisbilddatensatz zumindest den Bereich der Stenose.

[0072] Optional kann in einem Schritt S12 eine Registrierung des ersten Bilddatensatz auf den zweiten Bilddatensatz erfolgen. Dies kann insbesondere dann zu vorteilhaft verbesserten Ergebnissen führen, wenn der erste und der zweite Bilddatensatz nicht exakt dieselbe Zeit und denselben Ort repräsentieren und eine Bewegung des aufgenommenen Objekts zum Zeitpunkt der Aufnahme des ersten und des zweiten Bilddatensatz nicht ausgeschlossen werden kann. Für die Registrierung kann insbesondere eine nicht-rigide, flexible oder elastische Registrierung verwendet werden.

[0073] Weiterhin wird optional auf den ersten und den zweiten Bilddatensatz in einem Schritt S13 ein Verfahren der Entrauschung angewendet. Vorzugsweise wird dabei ein Verfahren der Entrauschung eingesetzt, welches kantenerhaltend arbeitet und mit multispektral erzeugten Bilddatensätzen, d.h. mindestens zwei Bilddatensätzen jeweils auf der Basis einer anderen Röntgenquantenenergieverteilungen, arbeitet. Vorzugsweise wird ein Verfahren eingesetzt wie in der Druckschrift DE 10 2019 210 355 A1 beschrieben. Vorteilhaft kann das folgende erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung basierend auf entrauschten Bilddatensätzen eine verbesserte Identifikation von Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt, gewährleistet werden.

[0074] In einem weiteren Schritt S2 erfolgt das erste Ermitteln einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten 39 auf Basis des, optional entrauschten, ersten und des wenigstens einen, optional entrauschten, zweiten Bilddatensatzes, mittels einer Recheneinheit 23. Die erste räumliche Verteilung des zumindest ersten Materials kann im Wesentlichen mit einem Anteil der durch das erste Material im Patienten 39 verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Das erste Ermitteln umfasst insbesondere eine lineare Basismaterialzerlegung in zumindest das erste Material basierend auf dem ersten und dem zweiten Bilddatensatz. Insbesondere wird eine lineare Basismaterialzerlegung in das erste Material und das für das im Schritt des dritten Ermitteln relevante zweite Material durchgeführt, so dass im Schritt des ersten Ermitteln eine erste räumliche Verteilung des ersten Materials und eine erste räumliche Verteilung des zweiten Materials resultiert. Vorteilhaft kann basierend auf der ermittelten ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials eine Karte des ersten Materials bereitgestellt werden, worauf basierend Bereiche vorteilhaft identifiziert werden können, in welchen das erste Material vorliegt und welche besonders geeignet von dem zweiten Material abgegrenzt werden können. Beispielsweise umfasst das erste Material insbesondere Calcium oder entspricht Hydroxylapatit. Insbesondere umfasst das erste Ermitteln S2

eine Basismaterialzerlegung in ein Material aufweisend Calcium als erstes Material und ein Kontrastmittel, insbesondere Iod, als zweites Material.

[0075] Das erste Ermitteln S2 kann dabei umfassen vor der Basismaterialzerlegung, einen jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewert von dem ersten und dem wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes zu subtrahieren. Das heißt, es wird ein der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert vom ersten Bilddatensatz und ein der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert vom zweiten Bilddatensatz subtrahiert. Der Gewebewert dient als Gewebeausgangspunkt für eine folgende lineare Basismaterialzerlegung, wobei eine unphysikalische Materialzerlegung in Bereichen mit Materialien vermieden werden, welche nicht der Basismaterialzerlegung zugrunde gelegten Basismaterialien entsprechen. Der Gewebewert kann insbesondere Gewebe charakterisieren, welches in Kombination mit dem ersten Material oder in der unmittelbaren Umgebung des ersten Materials in einem relevanten, interessierenden Bereich der Bilddatensätze vorliegt oder erwartet wird. Beispielsweise kann dies Blut oder Fett betreffen. Der Gewebewert kann insbesondere von einer medizinischen Fragestellung abhängig sein. Der Gewebewert kann in Abhängigkeit einer Anwendung/medizinischen Fragestellung durch einen Anwender wählbar sein. Beispielsweise kann ein zu erwartender Gewebewert in Abhängigkeit der ersten bzw. zweiten Röntgenquantenenergieverteilung in einer Datenbank abrufbar bereitgestellt sein und im Rahmen des Verfahrens abgerufen werden. Dabei können Aufhärtungseffekte auf die ersten bzw. zweiten Röntgenquantenenergieverteilung durch den Patienten berücksichtigt werden

[0076] In einem weiteren Schritt S3 erfolgt ein zweites Ermitteln eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, mittels der Recheneinheit 23 auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes. Der Untergrundbilddatensatz kann einen allgemeinen Weichgewebewert oder diesen zumindest näherungsweise darstellen. Beispielsweise kann der Untergrundbilddatensatz insbesondere einem Wasser-bedingten Anteil der durch den Patienten 39 verursachten Röntgenschwächung korrespondieren. Auch das zweite Ermitteln kann insbesondere eine Basismaterialzerlegung auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes umfassen. Beispielsweise kann eine Zwei-Material-Zerlegung in ein Ziel-Untergrundmaterial und vorteilhafterweise das zweite Material, durchgeführt werden. Die daraus resultierende räumliche Verteilung des (Ziel-

)Untergrundmaterials kann dann anhand des Wissens über die erste und zweite Röntgenquantenenergieverteilung und den bekannten energieabhängigen Röntgenschwächungskoeffizient des (Ziel-) Untergrundmaterials in einen Untergrundbilddatensatz, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und einen Untergrundbilddatensatz, welcher der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, umgerechnet werden. Auch in diesem Fall können Aufhärtungseffekte auf die erste bzw. zweite Röntgenquantenenergieverteilung bei der Ermittlung der Untergrundbilddatensätze berücksichtigt werden, beispielsweise anhand eines Faktors in Abhängigkeit des Patientendurchmessers.

[0077] In einem Schritt S4 erfolgt ein Anpassen von Werten des ermittelten Untergrundbilddatensatzes mittels der Recheneinheit in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegenden des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils der einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte der jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden räumlichen Untergrundbilddatensatzes angewendet wird. Der hier angewendete Gewebewert entspricht insbesondere dem oben im Bezug zum ersten Ermitteln bereits beschriebenen Gewebewert. Das jeweilige Anpassen der Werte des ermittelten Untergrundbilddatensatzes kann insbesondere umfassen, in den Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegenden des ersten Materials anzeigt, die Werte des Untergrundbilddatensatzes durch den jeweiligen bestimmten Gewebewert zu ersetzen oder zumindest gewichtet zu ersetzen, d.h. die Werte des Untergrundbilddatensatzes mit dem Gewebewert zu kombinieren. Eine Identifikation der Bereiche, welche dem ersten Material zuzuordnen sind, ist dabei besonders einfach anhand der ermittelten ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials möglich, da hier eine verbesserte Unterscheidbarkeit des ersten Materials im Bilddatensatz, beispielsweise die Unterscheidung zwischen einem ersten Material aufweisend Calcium und einem ebenfalls vorliegenden Kontrastmittel, exakt und einfach möglich ist. Für die Identifikation der Bereiche, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegenden des ersten Materials anzeigt, kann ein Segmentierungsverfahren auf die erste räumliche Verteilung angewendet werden.

[0078] In einem Schritt S5 erfolgt ein drittes Ermitteln einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten 39 auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basismaterialzerlegung mittels der Recheneinheit 23. Dabei wird vor dem dritten Ermitteln der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare, angepasste Untergrundbilddatensatz auf den

ersten Bilddatensatz angewendet, insbesondere davon subtrahiert, und der der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare, angepasste Untergrundbilddatensatz wird auf den zweiten Bilddatensatz angewendet, insbesondere davon subtrahiert. Insbesondere kann sowohl das erste als auch das dritte Ermitteln eine Basismaterialzerlegung in zumindest das erste und das zweite Material umfassen, so dass jeweils eine räumliche Verteilung des ersten Materials und eine räumliche Verteilung des zweiten Materials resultiert. Insbesondere kann dabei jeweils das erste Material Calcium umfassen und das zweite Material ein für das Erzeugen der Bilddatensätze verwendetes Kontrastmittel, beispielsweise Iod, umfassen, wobei das erste Ermitteln der ersten räumlichen Verteilung und das dritte Ermitteln der zweiten räumlichen Verteilung dann jeweils eine Basismaterialzerlegung in das Material aufweisend Calcium und das Kontrastmittel umfasst.

[0079] In einem Schritt S6 erfolgt ein Erzeugen eines Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials mittels der Recheneinheit 23 und anschließendes Ausgeben des Ergebnisbilddatensatzes mittels einer zweiten Schnittstelle 27. Das Erzeugen kann lediglich die abrufbare Bereitstellung einer räumlichen Darstellung der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials als Ergebnisbilddatensatz umfassen. Damit kann die zweite räumliche Verteilung im Wesentlichen direkt dem Ergebnisbilddatensatz entsprechen, welcher mittels einer zweiten Schnittstelle ausgegeben werden kann. Es können jedoch auch noch weitere Verarbeitungsschritte basierend auf der zweiten räumlichen Verteilung vom Schritt des Erzeugens umfasst sein. Wird im Schritt des dritten Ermittelns neben der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials auch eine weitere räumliche Verteilung des ersten Materials, d.h. die zweite räumliche Verteilung des ersten Materials, ermittelt, kann ein Ergebnisbilddatensatz basierend auf der ermittelten zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials und der ermittelten zweiten, räumlichen Verteilung des ersten Materials erzeugt werden. Beispielsweise kann eine gewichtetes Mischbild erzeugt werden. Beispielsweise kann ein sogenanntes „Virtual monoenergetic image“ (VMI, dt: virtuelles monoenergetisches Bild) basierend auf der ermittelten zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials und der ermittelten weiteren, d.h. zweiten, räumlichen Verteilung des ersten Materials berechnet und als Ergebnisbilddatensatz ausgegeben werden.

[0080] Insbesondere kann im Schritt des Erzeugens als Ergebnisbilddatensatz eine Darstellung des Patienten zumindest basierend auf der räumlichen Verteilung des zweiten Materials bereitgestellt werden, in welchen das erste Material entfernt oder zumindest teilweise unterdrückt ist. Beispielsweise

kann im Schritt des dritten Ermittelns eine Darstellung des Patienten zumindest basierend auf der räumlichen Verteilung des zweiten Materials, z.B. Iod, erzeugt werden, in welcher das erste Material, z.B. insbesondere Kalzifikationen, entfernt ist. Die Anwendung des Verfahrens auf die Materialien Iod und Kontrastmittel betrifft Anwendungsgebiete, in denen insbesondere beide Materialien im abzubildenden Bereich, insbesondere auch in direkter Nachbarschaft, vorliegen und eine präzise Unterscheidung der calciumhaltigen Bildanteile und der Kontrastmittelhaltigen Bildanteile voneinander getrennt bzw. unterschieden werden sollen. Insbesondere kann eine Darstellung von Calcium-entfernten Bilddatensätzen angestrebt werden, um eine verbesserte Bewertung von kalzifizierten Plaques und daraus resultierenden Stenosen zu ermöglichen. Es kann jedoch auch andere Anwendungsgebiete geben.

[0081] Optional kann in einem Schritt S14 vor dem Erzeugen und der Ausgabe des finalen Ergebnisbilddatensatzes ein vorläufiger Ergebnisbilddatensatz mittels der Recheneinheit 23 erzeugt wird, welcher auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials basiert, wobei ein Verfahren der Entrauschung auf den vorläufigen Ergebnisbilddatensatz, zumindest in Bereichen angewendet wird, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung des Vorliegen des ersten Materials anzeigt. Der vorläufige Ergebnisbilddatensatz kann dem (finalen) Ergebnisbilddatensatz entsprechen, wobei lediglich das Anwenden des Entrauschungsverfahrens den vorläufigen Ergebnisbilddatensatz vom (finalen) Ergebnisbilddatensatz unterscheidet. Es können für die Erzeugung eines finalen Ergebnisbilddatensatzes auch noch weitere Verarbeitungsschritte nach dem Anwenden des Entrauschungsverfahrens folgen, beispielsweise das Erzeugen eines gewichteten Mischbilds wie oben beschrieben. Vorzugsweise kann ein Verfahren der Entrauschung eingesetzt wie in der Druckschrift DE 10 2019 210 355 A1 beschrieben.

[0082] Fig. 2 zeigt eine Vorrichtung 20 zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten 39, umfassend eine erste Schnittstelle 21 ausgebildet zum Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten 39 darstellend eine erste Röntgenschwächungsverteilung des Patienten 39 entsprechend einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten 39 darstellend wenigstens eine zweite Röntgenschwächungsverteilung des Patienten 39 entsprechend wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung.

[0083] Weiterhin umfasst die Vorrichtung eine Recheneinheit 23, ausgebildet

○ zum ersten Ermitteln S2 einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten 39 auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basis-materialzerlegung,

○ zum zweiten Ermitteln S3 eines Untergrundbilddatensatzes, welche der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welche der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes,

○ zum Anpassen S4 von Werten der ermittelten Untergrundbilddatensätze in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils ein einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden, ermittelten Untergrundbilddatensatzes angewendet wird,

○ zum dritten Ermitteln S5 einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten 39 auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basis-materialzerlegung, wobei vor dem dritten Ermitteln jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste Untergrundbilddatensatz auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird, und

○ zum Erzeugen S7 des Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials.

[0084] Weiterhin umfasst die Vorrichtung eine zweite Schnittstelle 27, ausgebildet zum Ausgeben des Ergebnisbilddatensatzes.

[0085] Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Vorrichtung mit einem Bildgebungsgerät 32 verbunden. Die Vorrichtung kann beispielsweise über ein Netzwerk mit dem Bildgebungsgerät verbunden sein. Insbesondere kann die Vorrichtung auch von dem Bildgebungsgerät 32 umfasst sein. Das Bildgebungsgerät kann beispielsweise ein Computertomographie-Gerät sein.

[0086] Beim Netzwerk kann es sich um ein lokales Netzwerk (ein englischer Fachbegriff ist „Local Area Network“, kurz „LAN“) oder um ein großräumiges Netzwerk (ein englischer Fachbegriff ist „Wide Area Network“, kurz „WAN“) handeln. Ein Beispiel für ein lokales Netzwerk ist ein Intranet, ein Beispiel für ein großräumiges Netzwerk ist das Internet. Das Netzwerk kann insbesondere auch drahtlos ausgeführt sein, insbesondere als WLAN (für „wireless LAN“,

im englischen ist die Abkürzung „WiFi“ gebräuchlich) oder als Bluetooth-Verbindung. Das Netzwerk kann auch als Kombination der genannten Beispiele ausgeführt sein.

[0087] Weiterhin kann eine Kommunikation zwischen der Vorrichtung und einem Bildgebungsgerät 32 auch offline erfolgen, beispielsweise durch einen Austausch von Datenträgern.

[0088] Fig. 3 zeigt ein Bildgebungsgerät 32 in Form eines Computertomographie-Geräts.

[0089] Das CT-Gerät weist eine Gantry 33 mit einem Rotor 35 auf. Der Rotor 35 umfasst zumindest eine Röntgenquelle 37, insbesondere eine Röntgenröhre, und in Gegenüberstellung dazu zumindest einen Röntgendetektor 2. Der Röntgendetektor 2 und die Strahlungsquelle 37 sind um eine gemeinsame Achse 43 (auch Rotationsachse genannt) rotierbar. Der Patient 39 ist auf einer Patientenliege 41 gelagert und ist entlang der Rotationsachse 43 durch die Gantry 33 bewegbar. Im Allgemeinen kann der Patient 39 beispielsweise einen tierischen Patienten und/oder einen menschlichen Patienten umfassen.

[0090] Das CT-Gerät 32 umfasst ein Computersystem 45 umfassend eine Vorrichtung 20 Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes. Das Computersystem 45 umfasst außerdem eine Rekonstruktionseinheit 42 zur Rekonstruktion von Bilddatensätzen basierend auf den von dem Bildgebungsgerät 32 ermittelten Daten. Das Computersystem 45 weist außerdem eine Steuereinheit 44 auf zur Ansteuerung des Bildgebungsgeräts.

[0091] Des Weiteren ist eine Eingabeeinrichtung 47 und eine Ausgabeeinrichtung 49 mit dem Computersystem 45 verbunden. Die Eingabeeinrichtung 47 und die Ausgabeeinrichtung 49 können beispielsweise eine Interaktion, beispielsweise eine manuelle Konfiguration, eine Bestätigung oder ein Auslösen eines Verfahrensschritts durch einen Anwender ermöglichen. Beispielsweise können dem Nutzer auf dem Ausgabevorrichtung 49 umfassend ein Monitor Computertomograph-Projektionsdatensätze und/oder ein zweidimensionaler Bilddatensatz oder ein dreidimensionaler Bilddatensatz angezeigt werden.

[0092] Üblicherweise werden aus einer Vielzahl an Projektionswinkeln während einer relativen Rotationsbewegung zwischen der Strahlungsquelle und dem Patienten Messdaten in Form von einer Mehrzahl an (Roh-) Projektionsdatensätze des Patienten 39 aufgenommen, während der Patient 39 kontinuierlich oder sequentiell durch die Gantry 33 mittels der Patientenliege 41 bewegt wird. Anschließend kann basierend auf den Projektionsdatensätzen mittels eines mathematischen Verfahrens, beispiels-

weise umfassend eine gefilterte Rückprojektion oder ein iteratives Rekonstruktionsverfahren, ein Schichtbilddatensatz für eine jeweilige z-Position entlang der Rotationsachse innerhalb eines Untersuchungsbereichs rekonstruiert werden.

[0093] Die von dem Computersystem 45 umfasste Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes ist insbesondere ausgebildet ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes durchzuführen.

[0094] Das Bildgebungsgerät 32 ist insbesondere ausgebildet einen ersten Bilddatensatz in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens einen zweiten Bilddatensatz in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung bereitzustellen. Dazu kann der Röntgendetektor 2 beispielsweise einem spektral separierenden Röntgendetektor entsprechen und/oder das Bildgebungsgerät zum sogenannten „kV-Swichting“ ausgebildet sein. In anderen Ausbildungen kann das Bildgebungsgerät auch ein sogenanntes „Dual Source“-Gerät mit zwei versetzt angeordneten Quelle-Detektor-Systemen umfassen, die mit verschiedenen Emissionsspektren arbeiten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten (39) umfassend die Schritte

- Erfassen (S1) eines ersten Bilddatensatzes des Patienten (39) in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten (39) in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung,
- Erstes Ermitteln (S2) einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten (39) auf Basis des ersten und des wenigstens einen zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basismaterialzerlegung,
- Zweites Ermitteln (S3) eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes,
- Anpassen (S4) von Werten der ermittelten Untergrundbilddatensätze in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils ein einer jeweiligen Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Untergrundbilddatensatzes angewendet wird,
- Drittes Ermitteln (S5) einer zweiten räumlichen

Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten (39) auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basismaterialzerlegung, wobei vor dem Dritten Ermitteln (S5) jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste Untergrundbilddatensatz auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird,

- Erzeugen (S6) eines Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Ermitteln (S2) der ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials jeweils eine Subtraktion des hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewerts von dem ersten beziehungsweise dem wenigstens einen zweiten Bilddatensatz umfasst.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das Anwenden des jeweiligen angepassten Untergrundbilddatensatzes auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz umfasst, den jeweiligen hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden, angepassten Untergrundbilddatensatz von dem ersten beziehungsweise dem wenigstens einen zweiten Bilddatensatz zu subtrahieren.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das erste Material Calcium und das zweite Material ein Kontrastmittel umfasst, und das erste Ermitteln (S2) der ersten räumlichen Verteilung und das dritte Ermitteln (S5) der zweiten räumlichen Verteilung jeweils eine Basismaterialzerlegung in das erste und das zweite Material umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das zweite Ermitteln (S3) der räumlichen Untergrundbilddatensätze eine Basismaterialzerlegung in Wasser und das zweite Material umfasst.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Anpassen (S4) von Werten des jeweiligen ermittelten Untergrundbilddatensatzes umfasst, die Werte durch den hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierenden Gewebewert zu ersetzen oder gewichtet zu kombinieren.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei vor dem ersten Ermitteln (S2) der ersten räumlichen Verteilung des ersten Materials eine Registrierung des ersten Bilddatensatzes auf den zweiten Bilddatensatz erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei vor dem ersten Ermitteln (S2) der ersten räumlichen Verteilung ein Verfahren der Entrau-

schung auf den ersten und den zumindest einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird und/oder wobei ein Verfahren der Entrauschung auf den Ergebnisbilddatensatz zumindest in Bereichen angewendet wird, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei im Schritt des Dritten Ermitteln (S5) neben der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials eine weitere räumliche Verteilung des ersten Materials ermittelt wird und wobei der Ergebnisbilddatensatz basierend auf der ermittelten zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials und der ermittelten weiteren räumlichen Verteilung des ersten Materials erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der jeweilige der ersten bzw. zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare Gewebewert einem Bildwert von Blut oder Organgewebe umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der jeweilige der ersten bzw. zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbare Gewebewert in Abhängigkeit einer Bildgebungsanwendung oder medizinischen Fragestellung wählbar ist.

12. Vorrichtung (20) zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes eines Patienten (39), umfassend - eine erste Schnittstelle (21) ausgebildet zum Erfassen eines ersten Bilddatensatzes des Patienten (39) in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens eines zweiten Bilddatensatzes des Patienten (39) in Abhängigkeit wenigstens einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung,

- eine Recheneinheit (23), ausgebildet

○ zum ersten Ermitteln (S2) einer ersten räumlichen Verteilung zumindest eines ersten Materials im Patienten (39) auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basismaterialzerlegung,

○ zum zweiten Ermitteln (S3) eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der ersten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, und eines Untergrundbilddatensatzes, welcher der zweiten Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbar ist, auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes,

○ zum Anpassen (S4) von Werten der ermittelten Untergrundbilddatensätze in Bereichen, in welchen die ermittelte erste räumliche Verteilung das Vorliegen des ersten Materials anzeigt, wobei jeweils ein jeweiliger Röntgenquantenenergieverteilung zuordenbarer Gewebewert auf die Werte des jeweils hinsichtlich der Röntgenquantenenergiever-

teilung korrespondierenden Untergrundbilddatensatzes angewendet wird,

○ zum dritten Ermitteln (S5) einer zweiten räumlichen Verteilung zumindest eines zweiten Materials im Patienten (39) auf Basis des ersten und des zweiten Bilddatensatzes mittels einer Basismaterialzerlegung, wobei vor dem dritten Ermitteln jeweils der hinsichtlich der Röntgenquantenenergieverteilung korrespondierende, angepasste Untergrundbilddatensatz auf den ersten beziehungsweise wenigstens einen zweiten Bilddatensatz angewendet wird, und

○ zum Erzeugen (S7) des Ergebnisbilddatensatzes basierend auf zumindest der zweiten räumlichen Verteilung des zweiten Materials, und

- Eine zweite Schnittstelle (27), ausgebildet zum Ausgeben des Ergebnisbilddatensatzes.

13. Bildgebungsgerät (32) umfassend eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes nach Anspruch 12 und umfassend zumindest eine Röntgenquelle (37) in Gegenüberstellung zu zumindest einem Röntgendetektor (2), wobei zwischen der Röntgenquelle (37) und dem Röntgendetektor (2) ein Patient (39) anordenbar ist, und ausgebildet einen ersten Bilddatensatz in Abhängigkeit einer ersten Röntgenquantenenergieverteilung und wenigstens einen zweiten Bilddatensatz in Abhängigkeit einer zweiten Röntgenquantenenergieverteilung bereitzustellen.

14. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in einen Speicher (25) einer Vorrichtung (20) zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes nach Anspruch 12 ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Vorrichtung (20) ausgeführt werden.

15. Computerlesbares Speichermedium, auf welchem von einer Vorrichtung (20) zur Erzeugung eines Ergebnisbilddatensatzes nach Anspruch 12 lesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Vorrichtung (20) ausgeführt werden.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

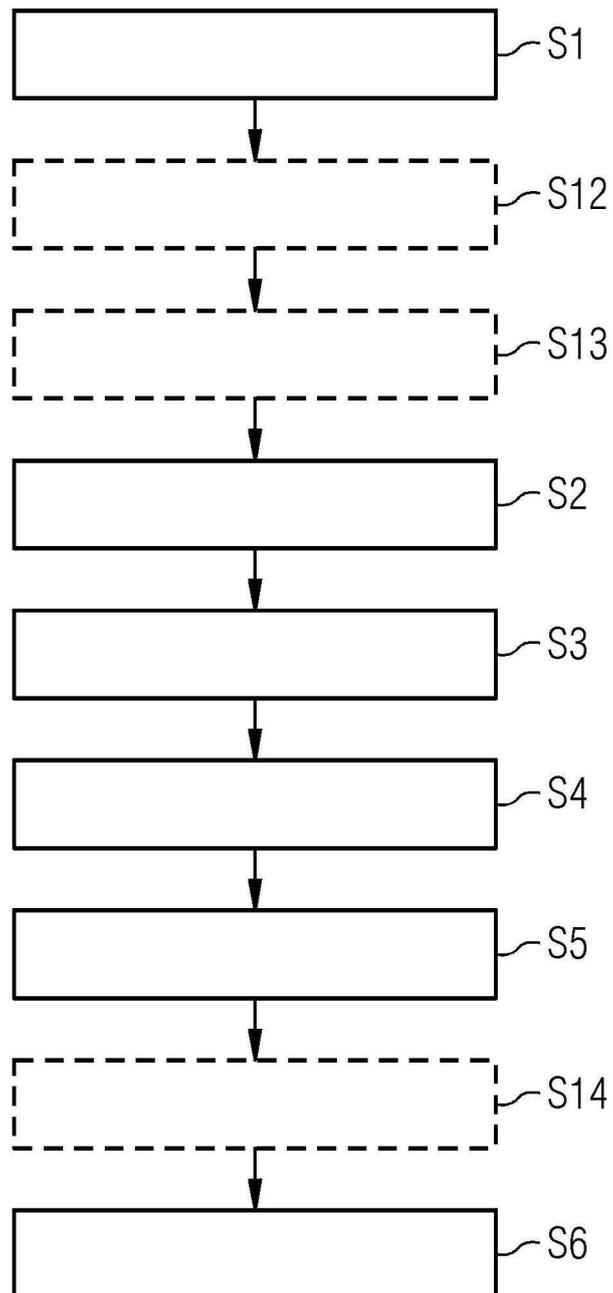
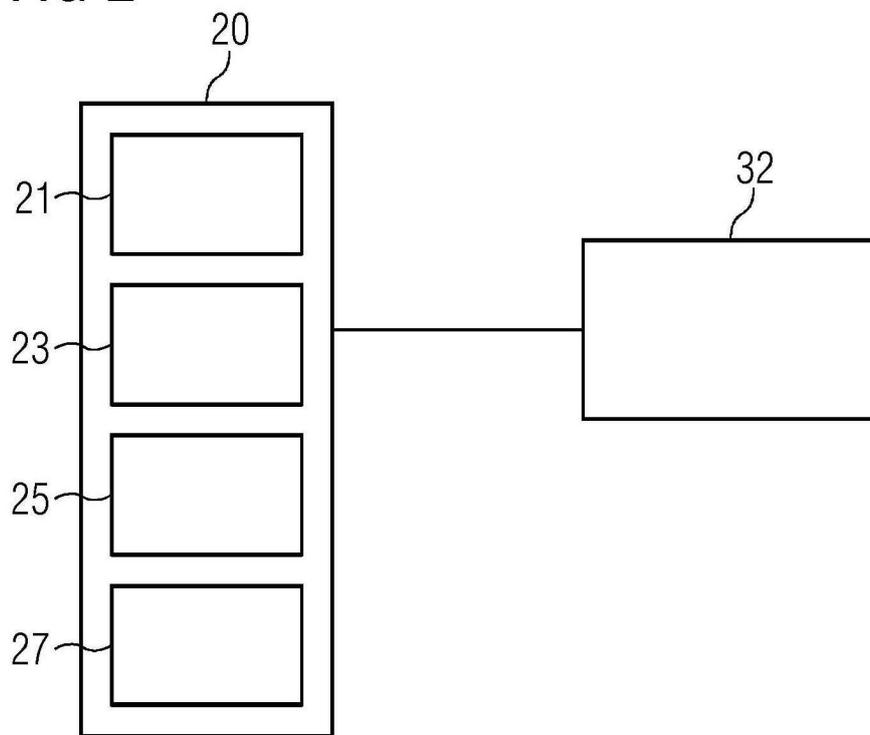


FIG 2



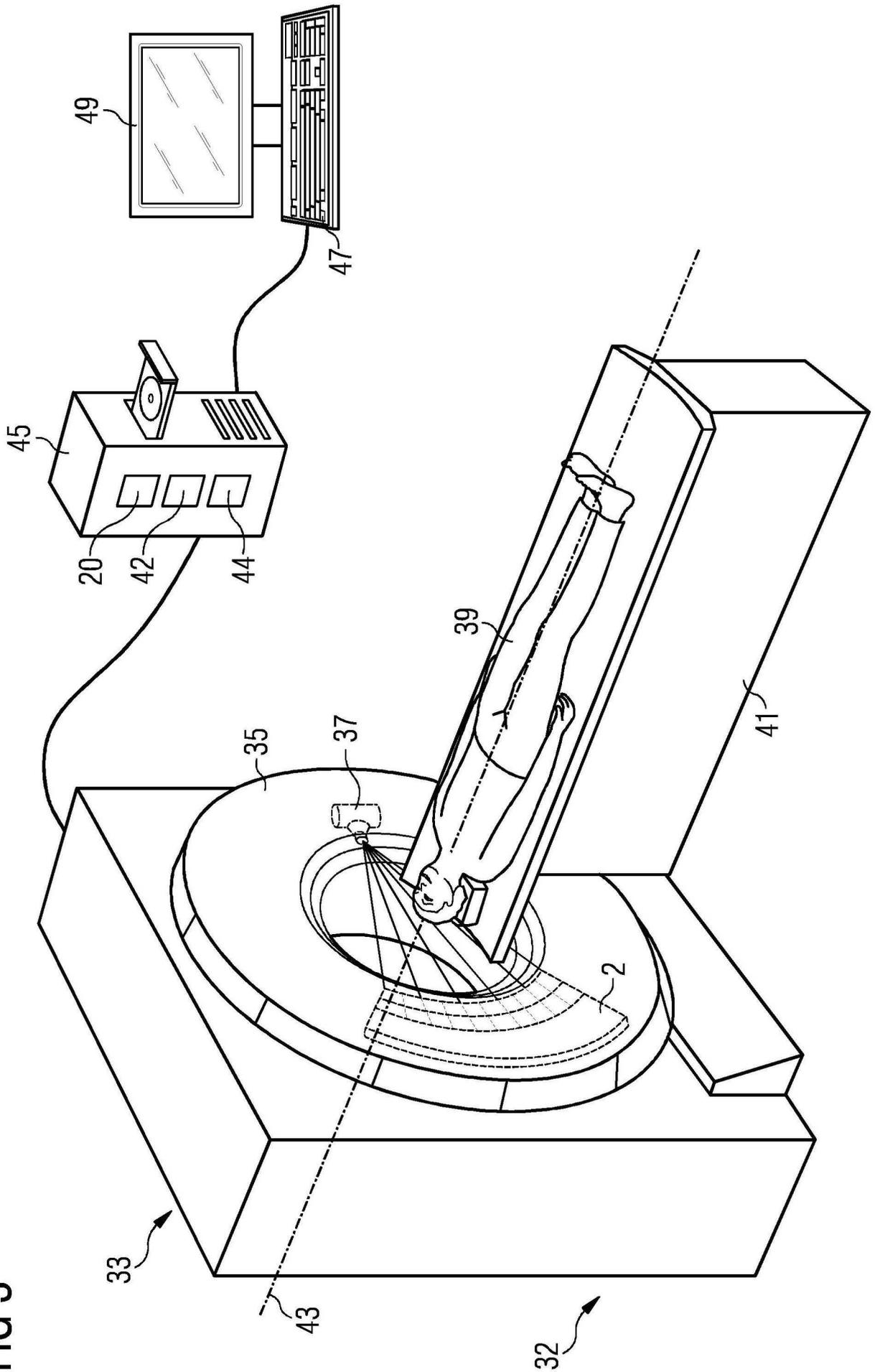


FIG 3