



(10) **DE 11 2020 002 013 T5** 2022.01.27

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/212244**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 002 013.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2020/060138**

(86) PCT-Anmeldetag: **09.04.2020**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.10.2020**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **27.01.2022**

(51) Int Cl.: **A61B 5/055 (2006.01)**  
**G01R 33/48 (2006.01)**  
**G06N 3/08 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**19170373.5**      **19.04.2019**      **EP**

(71) Anmelder:  
**Koninklijke Philips N.V., Eindhoven, NL**

(74) Vertreter:  
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte  
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

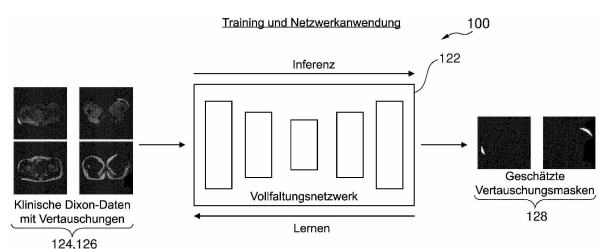
(72) Erfinder:  
**Sommer, Karsten, Eindhoven, NL; Weiss, Steffen,  
Eindhoven, NL; Eggers, Holger, Eindhoven, NL**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Automatisierte Detektion von Wasser-Fett-Vertauschungen in der Dixon-Magnetresonanzbildgebung**

(57) Zusammenfassung: Hierin offenbart ist ein medizinisches System (100, 300, 500), das einen Speicher (110), der maschinenausführbare Anweisungen (120) speichert, und ein neuronales Faltungsnetzwerk (122) umfasst. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes (124, 126) als Eingabe konfiguriert. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen (128) in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert.

Das medizinische Bildgebungssystem umfasst ferner einen Prozessor (104) zum Steuern des medizinischen Bildgebungssystems. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor zum Empfangen eines Magnetresonanzbildes (200); und Empfangen (204) der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk.



**Beschreibung**

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf die Magnetresonanzbildgebung, insbesondere die Dixon-Verfahren der Magnetresonanzbildgebung.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Ein großes statisches Magnetfeld wird von Magnetresonanztomographen (MRT) verwendet, um die Kernspins der Atome als Teil des Verfahrens zur Erzeugung von Bildern im Körper eines Patienten auszurichten. Dieses große statische Magnetfeld wird als B0-Feld bezeichnet.

**[0003]** Während eines MRT-Scans bewirken Hochfrequenz(HF)-Impulse, die durch eine Senderspule erzeugt werden, Störungen des lokalen Magnetfelds, und von den Kernspins emittierte HF-Signale werden von einer Empfängerspule erfasst. Diese HF-Signale werden verwendet, um die MRT-Bilder zu erstellen. Diese Spulen können auch als Antennen bezeichnet werden. Ferner können die Sender- und die Empfängerspule auch in einer einzigen Sender-/Empfängerspule integriert sein, die beide Funktionen erfüllt. Es versteht sich, dass sich die Verwendung des Begriffs Senderspule auch auf Systeme bezieht, bei denen separate Sender- und Empfängerspulen verwendet werden. Dieses übertragene Magnetfeld wird als B1-Feld bezeichnet.

**[0004]** Magnetresonanztomographen sind in der Lage, Bilder von Scheiben oder Volumina zu erstellen. Eine Scheibe ist ein dünnes Volumen, das nur einen Voxel dick ist. Ein Voxel ist ein kleines Volumen, über welches das MR-Signal gemittelt wird, und stellt die Auflösung des MR-Bildes dar. Ein Voxel kann hierin auch als Pixel bezeichnet werden.

**[0005]** Dixon-Verfahren der Magnetresonanzbildgebung schließen eine Familie von Techniken zum Erzeugen separater Wasser- und Lipid- (Fett-) Bilder ein. Die verschiedenen Dixon-Techniken, wie etwa ohne Beschränkung darauf das Zweipunkt-Dixon-Verfahren, das Dreipunkt-Dixon-Verfahren, das Vierpunkt-Dixon-Verfahren und das Sechspunkt-Dixon-Verfahren, werden hierin kollektiv als Dixon-Techniken oder -Verfahren bezeichnet. Bei der Rekonstruktion der Wasser- und Fettbilder gibt es in der Regel mehrere Lösungen. Es ist möglich, versehentlich Voxel zwischen den Wasser- und Fettbildern umzuschalten; dies wird hierin als Wasser-Fett-Vertauschung bezeichnet.

**[0006]** Aus der US-Patentanmeldung US20170082713A1 sind ein Verfahren und eine Einrichtung zur automatischen Zuordnung mindestens eines Kombinationsbildes eines Untersuchungsob-

jekts zu einer in dem Kombinationsbild dargestellten Spin-Spezies bekannt, Beziehungen, die aus einer bestehenden Datenbank ermittelt wurden und die Zuordnung von Spin-Spezies zu Kombinationsbildern betreffen, werden in einen Computer geladen. Dem Computer werden mindestens zwei MR-Datensätze zu jeweils einer von mindestens zwei Echozeiten nach einer Anregung unter Verwendung einer Multikontrastmessung zugeleitet. Aus den mindestens zwei MR-Datensätzen wird im Computer mindestens ein Kombinationsbild ermittelt. Die Zuordnung der in dem mindestens einen Kombinationsbild dargestellten Spin-Spezies erfolgt in dem Computer anhand der geladenen Beziehungen. Durch die Verwendung von aus einer vorhandenen Datenbank ermittelten Beziehungen wird eine automatische eindeutige globale Zuordnung der richtigen Spin-Spezies ermöglicht.

**[0007]** In dem Aufsatz , Correction of fat-water swaps in Dixon MRI' von B. Glocker et al. in MICCAI 2016 wird das Problem der Fett-Wasser-Erfindung in Dixon-MRI angesprochen. Dies entspricht der Aufgabe der vorliegenden Erfindung. In diesem Aufsatz wird jedoch eine Lösung (Dixon-Fix) vorgeschlagen, die auf einem Regressionsansatz und auf dem Lernen einer bedingten Verteilung des Erscheinens im Bild basiert.

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Die Erfindung stellt in den unabhängigen Ansprüchen ein medizinisches System, ein Computerprogrammprodukt und ein Verfahren bereit. Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

**[0009]** Eine Schwierigkeit bei der Rekonstruktion von Fett- und Wasserbildern während eines Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokolls sind Wasser-Fett-Vertauschungen. Eine Wasser-Fett-Vertauschungsregion ist eine Region oder Gruppe von Voxeln, in der innerhalb eines Dixon-Magnetresonanzbildes (oder Dixon-Bildes) die Wasser- und Fettregionen falsch identifiziert wurden. Ausführungsformen stellen ein Verfahren zum automatischen Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungen unter Verwendung eines neuronalen Faltungsnetzwerks bereit. Die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungen sind die Identifizierung von Voxeln in dem Magnetresonanzbild. Die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungen können zum Beispiel in Form der Lage von Voxeln gegeben sein. Zweckmäßiger können die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungen unter Verwendung einer Maske identifiziert werden. Masken sind Bilder, die die Lage der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungen identifizieren können. Sind keine Wasser-Fett-Vertauschungen vorhanden, so kann die Maske leer sein und/oder

anzeigen, dass keine Wasser-Fett-Vertauschungen vorhanden sind. Wenn hierin auf Masken Bezug genommen wird, so beziehen sie sich auf Bilder, die verwendet werden können, um die Position von Wasser-Fett-Vertauschungen zu identifizieren, wenn Wasser-Fett-Vertauschungen in einem Dixon-Magnetresonanzbild vorhanden sind.

**[0010]** Das neuronale Faltungsnetzwerk kann die Lage der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen identifizieren, um ein menschliches Interpretieren oder Korrigieren von Dixon-Bildern zu unterstützen. Das neuronale Faltungsnetzwerk kann auch in automatisierte Algorithmen integriert werden, die iterativ die Wasser-Fett-Vertauschungsregionen aus Dixon-Bildern entfernen.

**[0011]** Die Erfindung stellt ein medizinisches System bereit, das einen Speicher, der maschinenausführbare Anweisungen speichert, und ein neuronales Faltungsnetzwerk umfasst. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes als Eingabe konfiguriert oder trainiert. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert.

**[0012]** Das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild, wie hierin verwendet, umfasst ein Fett- und/oder ein Wasserbild und/oder ein Fettanteilbild und/oder ein  $R2^*$ -Bild, das gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll rekonstruiert wurde. Wasser-Fett-Vertauschungen sind in beliebigen dieser Bilder sichtbar, die unter Verwendung von Dixon-Verfahren rekonstruiert wurden. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist konfiguriert, um verschiedene Arten von Eingaben zu akzeptieren. Die Eingabe in das neuronale Faltungsnetzwerk kann zum Beispiel eine der Folgenden sein: ein Wasser-Dixon-Bild, ein Fett-Dixon-Bild oder sowohl ein Wasser-Dixon-Bild als auch ein Fett-Dixon-Bild, ein Fettanteilbild, ein  $R2^*$ -Bild und Kombinationen davon. Es ist möglich, eine Wasser-Fett-Vertauschungsregion durch Betrachten nur eines Wasser-Dixon-Bildes zu identifizieren, ähnlich wie es durch Betrachten nur eines Fett-Dixon-Bildes möglich ist. Es kann leichter trainierbar sein und eine höhere Genauigkeit aufweisen, wenn das neuronale Faltungsnetzwerk trainiert wird, ein gepaartes Wasser- und Fett-Dixon-Magnetresonanzbild als Eingabe zu akzeptieren. Dies ist jedoch nicht erforderlich, da das neuronale Faltungsnetzwerk auch dazu trainiert werden kann, nur das Wasser- oder nur das Fettbild zu betrachten.

**[0013]** Ein medizinisches System wie hierin verwendet umfasst ein System, das zum Durchführen von Bildverarbeitung und/oder numerischen Techniken an medizinischen Daten oder medizinischen Bildgebungsdaten konfiguriert ist.

**[0014]** Das medizinische System umfasst ferner einen Prozessor, der zum Steuern des medizinischen Systems konfiguriert ist. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor, das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild zu empfangen. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk zu empfangen. Diese Ausführungsform kann vorteilhaft sein, da sie ein automatisches Mittel zum Identifizieren von Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in Dixon-Magnetresonanzbildern bereitstellen kann. Dies kann zum Beispiel bei der Qualitätskontrolle von Dixon-Magnetresonanzbildern nützlich sein sowie in automatisierte Algorithmen zum Rekonstruieren von Dixon-Magnetresonanzbildern integriert sein.

**[0015]** In einer anderen Ausführungsform veranlasst die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner, ein korrigiertes Dixon-Magnetresonanzbild unter Verwendung der empfangenen einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zu rekonstruieren. Diese Ausführungsform kann vorteilhaft sein, da sie ein Mittel zum Verbessern der Qualität von Dixon-Magnetresonanzbildern bereitstellen kann.

**[0016]** In einer anderen Ausführungsform wird das Dixon-Magnetresonanzbild durch Vertauschen von Voxeln der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zwischen dem Fettbild und dem Wasserbild korrigiert. Das Dixon-Magnetresonanzbild umfasst das Fettbild und das Wasserbild. In diesem Beispiel, das insbesondere auf ein Zweipunkt-Dixon-Verfahren anwendbar ist, werden die als Wasser-Fett-Vertauschungsregionen identifizierten Voxel einfach gegeneinander ausgetauscht. Dies kann eine einfache Möglichkeit zum Bereitstellen des korrigierten Dixon-Magnetresonanzbildes bereitstellen.

**[0017]** In einer anderen Ausführungsform wird das Dixon-Magnetresonanzbild durch Rekonstruieren des Dixon-Magnetresonanzbildes aus Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsdaten gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsrekonstruktionsalgorithmus korrigiert. Der Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsrekonstruktionsalgorithmus ist konfiguriert, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen als Einschränkungen und/oder zum Korrigieren einer  $B0$ -Inhomogenitätsschätzung zu verwenden. In dem Fall, in dem Einschränkungen vorliegen, kann der Algorithmus eingeschränkt werden, um die Regionen richtig als Wasser oder Fett zu identifizieren, wenn die Lösungen bestimmt werden. Ebenso kann die Verwendung

der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zum Korrigieren der B0-Inhomogenitätsschätzung auch für ein korrigiertes Dixon-Magnetresonanzbild sorgen.

**[0018]** Die Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsdaten sind Magnetresonanz-Bildgebungsdaten, die gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll erfasst wurden und gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll in ein Wasser- und Fettbild rekonstruiert werden können.

**[0019]** In einer weiteren Ausführungsform veranlasst die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner, Trainingsdaten zu empfangen. Die Trainingsdaten umfassen jeweils ein Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild und eine Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske. Die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske kann eine Ground Truth der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen identifizieren. Einige der Trainings-Dixon-Magnetresonanzbilder weisen keine Wasser-Fett-Vertauschungen auf, und ihre Masken können dies anzeigen. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, das neuronale Faltungsnetzwerk unter Verwendung der Trainingsdaten zu trainieren. Ebenso kann in dieser Ausführungsform das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild einfach ein Wasserbild, ein Fettbild oder eine Kombination aus einem Wasser- und Fettbild sein. Somit kann das neuronale Faltungsnetzwerk trainiert werden, mit einem Bild oder mit zwei Bildern als Eingabe zu arbeiten. Liegt ein einziges Bild als Eingabe vor, so kann es sich nur um das Wasser- oder das Fettbild handeln. Wenn es beide sind, so wird ein einander zugeordnetes Paar aus einem Wasser- und einem Fettbild eingegeben.

**[0020]** In einer anderen Ausführungsform veranlasst die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner, vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbilder zu empfangen. Die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder sind Dixon-Magnetresonanzbilder, die insofern korrekt sind, als dass sie keine Regionen aufweisen, bei denen die Wasser- und Fettregionen vertauscht sind. Wiederum könnten die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder nur ein vertauschungsfreies Wasser-Dixon-Magnetresonanzbild, ein vertauschungsfreies Fett-Dixon-Magnetresonanzbild oder ein einander zugeordnetes Paar sowohl eines Wasser- als auch eines Fettbildes sein. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, die Trainingsdaten durch Erzeugen synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in jedem der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder und Konstruieren der Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungs-

maske zu erzeugen. Diese Ausführungsform kann vorteilhaft sein, da sie von Bildern ausgeht, die mit Sicherheit keine Wasser-Fett-Vertauschungsregionen aufweisen. Zur Erstellung der Trainingsdaten fügt der Algorithmus dann diese Wasser-Fett-Vertauschungsregionen künstlich hinzu. Dies kann auf vielfältige Weise durchgeführt werden, zum Beispiel können die Regionen einfach vertauscht werden, oder es kann gemäß einem der folgenden Algorithmen erfolgen, der nachstehend ausführlich beschrieben wird.

**[0021]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt, indem mindestens einige der einen oder mehreren synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen bestimmt werden, indem zuerst eine oder mehrere Zufallsvariablen bestimmt werden, dann durch Eingeben der einen oder der mehreren Zufallsvariablen in eine räumlich variable Funktion, und dann durch Schwellenwertverarbeitung der räumlich variablen Funktion, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen für das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild zu bestimmen. Bei dieser Ausführungsform wird die Lage der Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zufällig bestimmt.

**[0022]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Identifizieren von Vertauschungszonen mit hohem Wasser-Fett-Gehalt in dem Dixon-Magnetresonanzbild mit sowohl einem Fettgehalt als auch einem Wassergehalt über einem vorbestimmten Wasser-Fett-Schwellenwert erzeugt. Die Trainingsdaten werden mindestens teilweise erzeugt, indem zumindest ein Teil der Zonen mit hohem Wasser-Fett-Gehalt als die synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen ausgewählt wird. Die Zonen mit hohem Wasser-Fett-Gehalt sind Regionen oder Voxel, die sowohl einen hohen Wasser- als auch Fettgehalt enthalten. Wenn das Voxel gleiche Anteile an Wasser und Fett enthält, gäbe es 50 % Wasser und 50 % Fett. In diesem Fall ist es wahrscheinlicher, dass das Dixon-Magnetresonanzbild Fehler aufweist, wenn es durch einen automatischen Algorithmus rekonstruiert wird. Diese Voxel, die sowohl einen hohen Wasser- als auch Fettgehalt aufweisen, verursachen dann wahrscheinlich Wasser-Fett-Vertauschungen, wenn ein automatisierter Algorithmus verwendet wird. Das Identifizieren dieser Zonen mit hohem Fett-Wasser-Gehalt und das anschließende Auswählen zumindest eines Teils davon ist eine Möglichkeit, realistische Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zu erzeugen.

**[0023]** Zum Beispiel können Voxel mit einem nicht zu vernachlässigenden Gehalt an Wasser und Fett, d. h. mit einem Gehalt von über 30 % für beide Bestandteile, in Frage kommen. Dies kann zum Bei-

spiel an Gewebegrenzen oder bei Zuständen wie einer Fettlebererkrankung auftreten.

**[0024]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Empfangen einer B0-Inhomogenitätskarte für das vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbild erzeugt. Wenn zum Beispiel die Magnetresonanzdaten für das vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbild erfasst wurden, kann an dieser Stelle auch eine B0-Inhomogenitätskarte gespeichert und verwendet werden. Die Trainingsdaten werden mindestens teilweise ferner durch Identifizieren von Zonen hoher B0-Inhomogenität in dem vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbild durch Schwellenwertverarbeitung der B0-Inhomogenitätskarte mit einem vorbestimmten B0-Inhomogenitätsschwellenwert erzeugt. Die Trainingsdaten werden mindestens teilweise ferner durch Auswählen zumindest eines Teils der Zonen hoher B0-Inhomogenität als die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsregionen erzeugt. Diese Ausführungsform kann vorteilhaft sein, da in Regionen, in denen es eine höhere B0-Inhomogenität gibt, automatisierte Algorithmen wahrscheinlicher eine Region falsch als Wasser oder Fett identifizieren.

**[0025]** Dies könnte auch als Entwickeln eines Risikofaktors oder einer Vertauschungswahrscheinlichkeit angesehen werden, dass eine bestimmte Region in einem realen Dixon-Magnetresonanzbild vertauscht werden kann. Diese künstlichen oder synthetischen Vertauschungsregionen können dann basierend auf dieser Karte oder der B0-Inhomogenitätskarte erzeugt werden. Dies kann zu einem realistischeren Trainingsdatensatz führen als zum Beispiel zufällige Regionen.

**[0026]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Identifizieren von Gewebegrenzzonen in dem vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbild unter Verwendung eines Bildsegmentierungsalgorithmus erzeugt. Zum Beispiel können standardmäßige Bildsegmentierungstechniken verwendet werden, um unterschiedliche Geweberegionen zu identifizieren. Die Trainingsdaten werden ferner mindestens teilweise erzeugt, indem zumindest ein Teil der Gewebegrenzzonen oder eine Region, die diese umgibt, als die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsregionen ausgewählt wird. Diese Ausführungsform kann auch weiter vorteilhaft sein, da es in den Zonen, die an Übergänge zwischen Gewebetypen angrenzen, auch wahrscheinlich oder möglich ist, dass ein automatisierter Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsalgorithmus eine Region falsch als Wasser oder Fett identifiziert. Der Grund dafür ist, dass es zu starken lokalen Signalgradienten kommen kann, die es erschweren können, die Gleichungen richtig zu

lösen und zwischen Fett- und Wasser-Regionen zu unterscheiden.

**[0027]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Bestimmen einer räumlich abhängigen Signal-Rausch-Karte für das Dixon-Magnetresonanzbild erzeugt. Die Trainingsdaten werden ferner mindestens teilweise durch Auswählen mindestens eines Teils der Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zur Aufnahme in den Trainingsdatensatz unter Verwendung eines Signal-Rausch-Gewichtungsfaktors erzeugt, der unter Verwendung der räumlich abhängigen Signal-Rausch-Karte bestimmt wird. Der Signal-Rausch-Gewichtungsfaktor nimmt mit abnehmender räumlich abhängiger Signal-Rausch-Karte zu. Je niedriger zum Beispiel das Signal-Rausch-Verhältnis ist, desto wahrscheinlicher tritt eine Wasser-Fett-Vertauschung in einem automatisierten Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsalgorithmus auf.

**[0028]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Empfangen einer Isozentrumsposition für das vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbild erzeugt. Die Trainingsdaten werden ferner mindestens teilweise durch Auswählen mindestens eines Teils der Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zur Aufnahme in die Trainingsdaten unter Verwendung eines Abstands-Gewichtungsfaktors erzeugt, der unter Verwendung eines Abstands von der Isozentrumsposition bestimmt wird. Der Abstands-Gewichtungsfaktor nimmt mit zunehmendem Abstand von der Isozentrumsposition zu. Im Allgemeinen nimmt eine Wasser-Fett-Vertauschung mit zunehmendem Abstand vom Isozentrum eher zu. Oft ist dies mit einer Erhöhung der B0-Inhomogenität verbunden. Die Verwendung des Abstands vom Isozentrum als Gewichtungsfaktor ermöglicht jedoch eine bessere Auswahl von Regionen, um synthetische Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zu erzeugen.

**[0029]** In einer anderen Ausführungsform werden die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Vergrößern der Trainingsdaten durch Erzeugen zusätzlicher Trainings-Magnetresonanzbilder durch Anwenden einer Bildtransformation auf die Trainings-Dixon-Magnetresonanzbilder sowie auf die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske für jedes der Trainings-Dixon-Magnetresonanzbilder erzeugt. Die Bildtransformation umfasst eines der Folgenden: eine Bildtranslation, eine Bilddrehung, eine Bilddeformation, eine Bildumkehrtransformation, eine Spiegelbildtransformation und Kombinationen davon. Dies kann eine Möglichkeit sein, die Trainingsdatenbank oder Daten, die zum Training des neuronalen Faltungsnetzwerks verwendet werden, zu vergrößern. Dies kann ein Training mit einer geringeren Menge an Trainingsdaten ermöglichen.

**[0030]** Das medizinische Bildgebungssystem umfasst ferner ein Magnetresonanz-Bildgebungssystem. Der Speicher enthält ferner Impulssequenzbefehle, die zum Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems konfiguriert sind, um Magnetresonanz-Bildgebungsdaten gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll zu erfassen. Die Ausführung der maschinenausführbaren Befehle veranlasst den Prozessor ferner, das Magnetresonanzbild durch Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems mit den Impulssequenzbefehlen zu erfassen.

**[0031]** Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild unter Verwendung der Magnetresonanzbildgebungsdaten gemäß dem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll zu rekonstruieren. Diese Ausführungsform kann vorteilhaft sein, da, wenn die Magnetresonanz-Bildgebungsdaten durch das Magnetresonanz-Bildgebungssystem erfasst werden, das neuronale Faltungsnetzwerk verwendet wird, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen automatisch zu identifizieren, und kann zum Beispiel verwendet werden, um die Qualität der Dixon-Magnetresonanzbilder automatisch zu verbessern.

**[0032]** In der vorstehenden Ausführungsform war das medizinische System ein Magnetresonanz-Bildgebungssystem. Ausführungsformen können auch in anderen Arten von Systemen ausgeführt sein. Zum Beispiel ist in einer Ausführungsform das medizinische System ein Online-Dienst, der eine Korrektur des Fett- und/oder Wasserbildes als Teil einer Bildrekonstruktionssoftware bereitstellt. In einer anderen Ausführungsform ist das medizinische System ein retrospektives Wasser-Fett-Vertauschungskorrektur-Tool, das zum Beispiel an einem Diagnosearbeitsplatz ausgeführt werden kann. In noch einem anderen Beispiel kann das medizinische System ein Vertauschungskorrekturverfahren sein, das unabhängig von dem jeweiligen Anbieter oder Hersteller des medizinischen Systems sein kann. Dies kann zum Beispiel als bereitstellbarer cloudbasierter Dienst implementiert oder vertrieben werden.

**[0033]** In einem anderen Gesichtspunkt stellt die Erfindung ein Computerprogrammprodukt bereit, das maschinenausführbare Anweisungen zum Ausführen durch einen Prozessor umfasst, der das medizinische System und ein neuronales Faltungsnetzwerk steuert. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes als Eingabe konfiguriert. Wiederum kann das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild ein Fett-Dixon-Magnetresonanzbild, ein Wasser-Dixon-Magnetresonanzbild oder ein einander zugeordnetes Paar aus einem Fett-Wasser-Dixon-Magnetresonanzbild sein. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist

zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild zu empfangen. Die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen veranlasst den Prozessor ferner, die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk zu empfangen. Die Vorteile dieses Systems wurden bereits diskutiert.

**[0034]** Unter einem anderen Gesichtspunkt stellt die Erfindung ein Verfahren zum Trainieren eines neuronalen Faltungsnetzwerks bereit. Das neuronale Faltungsnetzwerk wird zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes als Eingabe konfiguriert. Das neuronale Faltungsnetzwerk wird zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert oder trainiert. Das Verfahren umfasst das Empfangen von Trainingsdaten. Die Trainingsdaten umfassen jeweils ein Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild und eine Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske. Das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild umfasst die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen. Die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske identifiziert eine Ground Truth der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen.

**[0035]** Das Verfahren umfasst ferner das Trainieren des neuronalen Faltungsnetzwerks unter Verwendung der Trainingsdaten. Wie vorstehend erwähnt, könnte das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild zum Beispiel ein Wasser-Dixon-Magnetresonanzbild, ein Fett-Dixon-Magnetresonanzbild oder ein Paar einander zugeordnete Bilder sein, wobei eines ein Wasser-Dixon-Magnetresonanzbild und das andere ein Fett-Dixon-Magnetresonanzbild ist.

**[0036]** In einer anderen Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner das Empfangen von vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern. Das Verfahren umfasst ferner das Erzeugen der Trainingsdaten durch Erzeugen synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in den vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern. Die synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen fungieren dann als Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske.

**[0037]** Es versteht sich, dass eine oder mehrere der zuvor genannten Ausführungsformen der Erfindung kombiniert werden können, solange sich die kombi-

nierten Ausführungsformen nicht gegenseitig ausschließen.

**[0038]** Wie der Fachmann erkennen wird, können Gesichtspunkte der vorliegenden Erfindung als eine Einrichtung, ein Verfahren oder ein Computerprogrammprodukt ausgeführt sein.

**[0039]** Dementsprechend können Aspekte der vorliegenden Erfindung die Form einer vollständigen Hardware-Ausführungsform, einer vollständigen Software-Ausführungsform (einschließlich Firmware, residenter Software, Mikrocode usw.) oder eine Ausführungsform, die Software- und Hardware-Aspekte kombiniert, annehmen, die alle hierin allgemein als „Schaltung“, „Modul“ oder „System“ bezeichnet werden können. Des Weiteren können Gesichtspunkte der vorliegenden Erfindung die Form eines Computerprogrammprodukts annehmen, das in einem oder mehreren computerlesbaren Medium (Medien) mit einem darauf ausgeführten computerausführbaren Code ausgeführt ist.

**[0040]** Es kann jede Kombination aus einem oder mehreren computerlesbaren Medium (Medien) verwendet werden. Das computerlesbare Medium kann ein computerlesbares Signalmedium oder ein computerlesbares Speichermedium sein. Ein „computerlesbares Speichermedium“, wie hierin verwendet, beinhaltet jedes gegenständliche Speichermedium, das Anweisungen speichern kann, die durch einen Prozessor einer Rechenvorrichtung ausführbar sind. Das computerlesbare Speichermedium kann als ein computerlesbares nichttransitorisches Speichermedium bezeichnet werden. Das computerlesbare Speichermedium kann auch als ein gegenständliches computerlesbares Medium bezeichnet werden. In einigen Ausführungsformen kann ein computerlesbares Speichermedium auch in der Lage sein, Daten zu speichern, auf die durch den Prozessor der Rechenvorrichtung zugegriffen werden kann. Beispiele von computerlesbaren Speicherungsmedien schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf: eine Diskette, ein magnetisches Festplattenlaufwerk, eine Solid-State-Festplatte, Flash-Speicher, einen USB-Stick, einen Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM), einen Nur-Lese-Speicher (ROM), eine optische Platte, eine magneto-optische Platte und die Registerdatei des Prozessors. Beispiele von optischen Platten schließen Compact Disks (CD) und Digital Versatile Disks (DVD), zum Beispiel CD-ROM-, CD-RW-, CD-R-, DVD-ROM-, DVD-RW- oder DVD-R-Platten, ein. Der Begriff computerlesbares Speichermedium bezieht sich auch auf verschiedene Arten von Aufzeichnungsmedien, auf die von der Computervorrichtung über ein Netzwerk oder eine Kommunikationsverbindung zugegriffen werden kann. Zum Beispiel können Daten über ein Modem, über das Internet oder über ein lokales Netzwerk abgerufen werden. Ein computerausführ-

barer Code, der auf einem computerlesbaren Medium ausgebildet ist, kann unter Verwendung jedes geeigneten Mediums übertragen werden, einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf, drahtlose, drahtgebundene, optische Faserkabel, HF usw. oder jede geeignete Kombination des Vorstehenden.

**[0041]** Ein computerlesbares Signalmedium kann ein verbreitetes Datensignal mit einem darin ausgeführten computerausführbaren Code einschließen, zum Beispiel im Basisband oder als Teil einer Trägerwelle. Ein solches verbreitetes Signal kann jede einer Vielfalt von Formen annehmen, einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf, elektromagnetisch, optisch oder jeder geeigneten Kombination davon. Ein computerlesbares Signalmedium kann ein beliebiges computerlesbares Medium sein, das kein computerlesbares Speichermedium ist und das ein Programm zur Verwendung durch oder in Verbindung mit einem System, einer Einrichtung oder einer Vorrichtung zur Anweisungsausführung kommunizieren, verbreiten oder transportieren kann.

**[0042]** „Computer Hauptspeicher“ oder „Hauptspeicher“ ist ein Beispiel eines computerlesbaren Speichermediums. Ein Computerspeicher ist ein beliebiger Speicher, der für einen Prozessor direkt zugänglich ist. „Computerdatenspeicher“ oder „Datenspeicher“ ist ein weiteres Beispiel eines computerlesbaren Speichermediums. Ein Computerdatenspeicher ist ein beliebiges nichtflüchtiges computerlesbares Speichermedium. In einigen Ausführungsformen kann eine Computerspeicherung auch ein Computerspeicher sein oder umgekehrt.

**[0043]** Ein „Prozessor“, wie hierin verwendet, beinhaltet eine elektronische Komponente, die in der Lage ist, ein Programm oder eine maschinenausführbare Anweisung oder einen computerausführbaren Code auszuführen. Bezugnahmen auf die Rechenvorrichtung, die „einen Prozessor“ umfasst, sollten so interpretiert werden, dass sie möglicherweise mehr als einen Prozessor oder Verarbeitungs-kern enthalten. Der Prozessor kann zum Beispiel ein Mehrkernprozessor sein. Ein Prozessor kann sich auch auf eine Sammlung von Prozessoren in einem einzelnen Computersystem oder unter mehreren Computersystemen verteilt beziehen. Der Begriff Rechenvorrichtung sollte auch so interpretiert werden, dass er sich möglicherweise auf eine Sammlung oder ein Netzwerk von Rechenvorrichtungen, jeweils einen Prozessor oder Prozessoren umfassend, bezieht. Der computerausführbare Code kann durch mehrere Prozessoren ausgeführt werden, die sich innerhalb der gleichen Rechenvorrichtung befinden können oder die sogar über mehrere Rechenvorrichtungen verteilt sein können.

**[0044]** Ein computerausführbarer Code kann maschinenausführbare Anweisungen oder ein Pro-

gramm umfassen, die den Prozessor veranlassen, einen Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung durchzuführen. Computerausführbarer Code zum Ausführen von Operationen für Aspekte der vorliegenden Erfindung kann in einer beliebigen Kombination von einer oder mehreren Programmiersprachen, einschließlich einer objektorientierten Programmiersprache, wie beispielsweise Java, Smalltalk, C++ oder ähnliche, und herkömmlicher prozeduraler Programmiersprachen, wie beispielsweise der Programmiersprache C oder ähnlicher Programmiersprachen geschrieben und in maschinenausführbare Anweisungen kompiliert werden. In einigen Fällen kann der computerausführbare Code in der Form einer High-Level-Sprache oder in einer vorkompilierten Form vorliegen und in Verbindung mit einem Interpreter verwendet werden, der die maschinenausführbaren Anweisungen im laufenden Betrieb erzeugt.

**[0045]** Der computerausführbare Code kann vollständig auf dem Computer des Benutzers, teilweise auf dem Computer des Benutzers, als eigenständiges Softwarepaket, teilweise auf dem Computer des Benutzers und teilweise auf einem entfernten Computer oder vollständig auf dem entfernten Computer oder Server ausgeführt werden. In dem letzteren Szenario kann der entfernte Computer mit dem Computer des Benutzers über jede Art von Netzwerk, einschließlich eines lokalen Netzwerks (LAN) oder eines Weitverkehrsnetzwerks (WAN) verbunden sein, oder die Verbindung kann zu einem externen Computer (z. B. über das Internet unter Verwendung eines Internetdiensteanbieters) hergestellt werden.

**[0046]** Gesichtspunkte der vorliegenden Erfindung werden unter Bezugnahme auf Flussdiagrammdarstellungen und/oder Blockdiagramme von Verfahren, einer Einrichtung (Systeme) und Computerprogrammprodukten gemäß den Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es versteht sich, dass jeder Block oder ein Teil der Blöcke des Flussdiagramms, der Veranschaulichungen und/oder der Blockdiagramme durch Computerprogrammanweisungen in Form von einem computerausführbaren Code, falls zutreffend, implementiert werden kann. Es versteht sich ferner, dass, wenn sie sich nicht gegenseitig ausschließen, Kombinationen von Blöcken in den verschiedenen Flussdiagrammen, Veranschaulichungen und/oder Blockdiagrammen kombiniert werden können. Diese Computerprogrammanweisungen können einem Prozessor eines Universalcomputers, Spezialcomputers, oder einer anderen programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung zur Herstellung einer Maschine bereitgestellt werden, so dass die Anweisungen, die über den Prozessor des Computers oder einer anderen programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführt werden, Mittel zum Implementieren der Funktionen/Handlungen, die in dem Block oder den

Blöcken des Flussdiagramms und/oder des Blockdiagramms angegeben sind, erzeugen.

**[0047]** Diese Computerprogrammanweisungen können auch in einem computerlesbaren Medium gespeichert sein, das einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung oder andere Vorrichtungen anweisen kann, auf eine bestimmte Weise zu funktionieren, so dass die in dem computerlesbaren Medium gespeicherten Anweisungen einen Herstellungsartikel erzeugen, einschließlich Anweisungen, die die Funktion/Aktion implementieren, die in dem Block oder den Blöcken des Flussdiagramms und/oder des Blockdiagramms angegeben sind.

**[0048]** Die Computerprogrammanweisungen können auch auf einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung oder andere Vorrichtungen geladen werden, um zu bewirken, dass eine Reihe von Betriebssystemschritten auf dem Computer, der anderen programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung oder den anderen Vorrichtungen durchgeführt werden, um einen computerimplementierten Prozess zu erzeugen, so dass die Anweisungen, die auf dem Computer oder der anderen programmierbaren Einrichtung ausgeführt werden, Prozesse zum Implementieren der Funktionen/Aktionen bereitstellen, die in dem Block oder den Blöcken des Flussdiagramms und/oder des Blockdiagramms angegeben sind.

**[0049]** Eine „Benutzerschnittstelle“, wie hierin verwendet, ist eine Schnittstelle, die es einem Benutzer oder Bediener ermöglicht, mit einem Computer oder Computersystem zu interagieren. Eine „Benutzerschnittstelle“ kann auch als eine „menschliche Schnittstellenvorrichtung“ bezeichnet werden. Eine Benutzeroberfläche kann dem Bediener Informationen oder Daten bereitstellen und/oder Informationen oder Daten vom Bediener empfangen. Eine Benutzerschnittstelle kann eine Eingabe von einem Bediener ermöglichen, die durch den Computer empfangen werden soll, und kann dem Benutzer eine Ausgabe von dem Computer bereitstellen. Mit anderen Worten kann es die Benutzerschnittstelle einem Bediener ermöglichen, einen Computer zu steuern oder zu bedienen, und die Schnittstelle kann es dem Computer ermöglichen, die Wirkungen der Steuerung oder Bedienung des Bedieners anzuzeigen. Die Anzeige von Daten oder Informationen auf einem Bildschirm oder einer graphischen Benutzeroberfläche ist ein Beispiel eines Bereitstellens von Informationen an einen Bediener. Das Empfangen von Daten durch eine Tastatur, Maus, Trackball, Touchpad, Zeigestock, Graphik-Tablet, Joystick, Gamepad, Webcam, Headset, Pedale, drahtgebundener Handschuh, Fernbedienung und Beschleunigungsmesser sind alle Beispiele für Benutzerschnittstellenkomponenten.

ten, die das Empfangen von Informationen oder Daten von einem Bediener ermöglichen.

**[0050]** Eine „Hardwareschnittstelle“, wie hierin verwendet, beinhaltet eine Schnittstelle, die es dem Prozessor eines Computersystems ermöglicht, mit einer externen Rechenvorrichtung und/oder -einrichtung zu interagieren und/oder diese zu steuern. Eine Hardwareschnittstelle kann es einem Prozessor ermöglichen, Steuersignale oder Anweisungen an eine externe Rechenvorrichtung und/oder -einrichtung zu senden. Eine Hardwareschnittstelle kann es einem Prozessor auch ermöglichen, Daten mit einer externen Rechenvorrichtung und/oder -einrichtung auszutauschen. Beispiele einer Hardwareschnittstelle schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf: einen universellen seriellen Bus, einen IEEE-1394-Anschluss, einen parallelen Anschluss, einen IEEE-1284-Anschluss, einen seriellen Anschluss, einen RS-232-Anschluss, einen IEEE-488-Anschluss, eine Bluetooth-Verbindung, eine drahtlose lokale Netzwerkverbindung, eine TCP/IP-Verbindung, eine Ethernet-Verbindung, eine Steuerspannungsschnittstelle, eine MIDI-Schnittstelle, eine analoge Eingabeschnittstelle und eine digitale Eingabeschnittstelle.

**[0051]** Eine „Anzeige“ oder „Anzeigevorrichtung“, wie hierin verwendet, beinhaltet eine Ausgabevorrichtung oder eine Benutzerschnittstelle, die zum Anzeigen von Bildern oder Daten angepasst ist. Eine Anzeige kann visuelle, Audio- und oder taktile Daten ausgeben. Beispiele einer Anzeige schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf: einen Computermonitor, einen Fernsehschirm, einen Touchscreen, eine taktile elektronische Anzeige, einen Braille-Bildschirm, eine Kathodenstrahlröhre (CRT), eine Speicherröhre, eine bistabile Anzeige, ein elektronisches Papier, eine Vektoranzeige, einen Flachbildschirm, eine Vakuumfluoreszenzanzeige (VF), eine Anzeige Licht emittierender Dioden (LED-Anzeige), eine Elektrolumineszenzanzeige (ELD), eine Plasmabildschirmanzeige (PDP), eine Flüssigkristallanzeige (LCD), eine Anzeige organischer Licht emittierender Dioden (OLED), einen Projektor und eine an einem Kopf angebrachte Anzeige.

**[0052]** Magnetresonanz(MR)-Daten sind hierin als die aufgezeichneten Messungen von Hochfrequenzsignalen definiert, die von Atomspins unter Verwendung der Antenne einer Magnetresonanzeinrichtung während eines Magnetresonanz-Bildgebungsscans emittiert werden. Magnetresonanzdaten sind ein Beispiel für medizinische Bildgebungsdaten. Ein Magnetresonanzbild (MRI) oder MR-Bild wird hierin als die rekonstruierte zwei- oder dreidimensionale Visualisierung von anatomischen Daten definiert, die innerhalb der Magnetresonanzbilddaten enthalten sind. Diese Visualisierung kann unter Verwendung eines Computers durchgeführt werden.

## Figurenliste

**[0053]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung nur beispielhaft und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei:

**Fig. 1** ein Beispiel eines medizinischen Systems veranschaulicht;

**Fig. 2** ein Flussdiagramm zeigt, das ein Verfahren zum Betreiben des medizinischen Systems von **Fig. 1** veranschaulicht;

**Fig. 3** ein weiteres Beispiel eines medizinischen Systems veranschaulicht;

**Fig. 4** ein Flussdiagramm zeigt, das ein Verfahren zum Betreiben des medizinischen Systems von **Fig. 1** veranschaulicht;

**Fig. 5** ein weiteres Beispiel eines medizinischen Systems veranschaulicht;

**Fig. 6** ein Flussdiagramm zeigt, das ein Verfahren zum Betreiben des medizinischen Systems von **Fig. 1** veranschaulicht;

**Fig. 7** ein Verfahren zum Erzeugen synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungen veranschaulicht;

**Fig. 8** ein medizinisches System mit einem neuronalen Faltungsnetzwerk veranschaulicht; und

**Fig. 9** die Verwendung des neuronalen Faltungsnetzwerks von **Fig. 8** zeigt.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0054]** Gleiche nummerierte Elemente in diesen Figuren sind entweder äquivalente Elemente oder führen die gleiche Funktion durch. Elemente, die zuvor erläutert wurden, werden in späteren Figuren nicht unbedingt erörtert, wenn die Funktion äquivalent ist.

**[0055]** **Fig. 1** veranschaulicht ein Beispiel eines medizinischen Systems 100. In diesem Beispiel umfasst das medizinische System einen Computer 102, der einen Prozessor 104 aufweist. Der Prozessor ist so gezeigt, dass er mit einer optionalen Hardwareschnittstelle 106 verbunden ist. Die Hardware-Schnittstelle 106 kann es zum Beispiel dem Prozessor 104 ermöglichen, mit anderen Komponenten des medizinischen Systems 100 zu kommunizieren oder sogar Daten mit anderen Computersystemen oder Informationssystemen auszutauschen. Der Prozessor 104 ist ferner so gezeigt, dass er mit einer optionalen Benutzerschnittstelle 108 und einem Speicher 110 verbunden ist. Der Speicher 110 kann zum Beispiel verschiedene Speichertypen darstellen, auf die ein Prozessor 104 Zugriff haben kann.

**[0056]** Der Speicher 110 kann jede Kombination von Speicher sein, die für den Prozessor 104 zugänglich ist. Dies kann solche Dinge wie einen Hauptspeicher, Cache-Speicher und auch nichtflüchtigen Speicher, wie Flash-RAM, Festplatten oder andere Datenspeichervorrichtungen, einschließen. In manchen Beispielen kann der Speicher 110 als ein nichttransitorisches computerlesbares Medium betrachtet werden.

**[0057]** Der Speicher 110 ist als maschinenausführbare Anweisungen 120 enthaltend gezeigt. Die maschinenausführbaren Anweisungen 120 ermöglichen es dem Prozessor 104, verschiedene Steuerfunktionen und/oder Datenverarbeitungs- und Bildverarbeitungstechniken durchzuführen. Der Speicher 110 ist ferner so gezeigt, dass er eine Implementierung eines neuronalen Faltungsnetzwerks 122 enthält. Das neuronale Faltungsnetzwerk ist konfiguriert, um eine oder mehrere Wasser-Fett-Vertauschungsregionen als Reaktion darauf zu identifizieren, dass ein anfängliches Dixon-Magnetresonanzbild darin eingegeben wird. Der Speicher 110 ist so gezeigt, dass er ein anfängliches Dixon-Fett-Magnetresonanzbild 124 und ein anfängliches Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild 126 enthält.

**[0058]** Das neuronale Faltungsnetzwerk 122 könnte so konfiguriert sein, dass es entweder mit dem anfänglichen Fett-Magnetresonanzbild 124 oder dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild 126 arbeitet. In einigen anderen Fällen akzeptiert das neuronale Faltungsnetzwerk 122 sowohl das anfängliche Dixon-Fett-Magnetresonanzbild 124 als auch das anfängliche Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild 126 als Eingabe. In diesen verschiedenen Beispielen gibt das neuronale Faltungsnetzwerk dann als Reaktion eine oder mehrere Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 aus. Der Speicher 110 ist so gezeigt, dass er die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 enthält. Die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 sind eine Identifikation von Voxel oder Voxeln innerhalb des anfänglichen Dixon-Fett-Magnetresonanzbildes 124 oder anfänglichen Dixon-Wasser-Magnetresonanzbildes 126, wo die Wasser- und Fettregionen vertauscht wurden. Die Identifizierung der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 ist bei der Auswertung der Dixon-Magnetresonanzbilder 124, 126 nützlich.

**[0059]** In einigen Fällen sind die maschinenausführbaren Anweisungen 120 ferner programmiert, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 zu akzeptieren und ein korrigiertes Dixon-Fett-Magnetresonanzbild 130 und ein korrigiertes Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild 132 zu berechnen. In manchen Fällen kann dies nur ein Vertauschen des Voxels zwischen den beiden Bildern 130 und 132 beinhalten. In anderen Fällen werden die Magnetresonanzdaten, die verwendet wurden,

um die anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbilder 124, 126 zu konstruieren, in einen Algorithmus eingegeben, der die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 verwendet, um Korrekturen vorzunehmen. Zum Beispiel könnten die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 als eine Einschränkung dienen oder könnten verwendet werden, um eine B0-Inhomogenitätsschätzung zu korrigieren.

**[0060]** Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Betreiben des medizinischen Systems 100 von Fig. 1 veranschaulicht. Zuerst wird in Schritt 200 das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild 124 und/oder 126 empfangen. Als Nächstes wird in Schritt 202 das anfängliche Dixon-Magnetresonanzbild 124 und/oder 126 in das neuronale Faltungsnetzwerk 122 eingegeben und als Ausgabe die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 empfangen. In einigen Beispielen wird der Schritt 204 durchgeführt. In Schritt 204 wird das korrigierte Dixon-Magnetresonanzbild 130 und/oder 132 unter Verwendung der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 berechnet.

**[0061]** Fig. 3 veranschaulicht ein weiteres Beispiel des medizinischen Systems 300. Es sei darauf hingewiesen, dass die Merkmale des medizinischen Systems 300 frei mit den Merkmalen des in Fig. 1 dargestellten medizinischen Systems 100 kombiniert werden können. Der Speicher 110 enthält in diesem Beispiel wiederum die maschinenausführbaren Anweisungen 120 und das neuronale Faltungsnetzwerk 122. Zusätzlich 110 ist der Speicher so gezeigt, dass er vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbilder 302 enthält. Die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder sind Dixon-Magnetresonanzbilder, die keine Wasser-Fett-Vertauschungen enthalten. Die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder 302 könnten Wasserbilder, Fettbilder oder sowohl Wasser- als auch Fettbilder als ein Paar sein. Der Speicher 110 ist ferner so gezeigt, dass er synthetische Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 304 enthält. Die verschiedenen Algorithmen können auf die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder 302 angewendet werden, um Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 304 für jedes von ihnen zu erzeugen.

**[0062]** Der Speicher 110 ist ferner so gezeigt, dass er Trainingsdaten enthält, die das Trainings-Magnetresonanzbild 306 und die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmasken 308 kombinieren. Wiederum könnte das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild 306 entweder Fett oder Wasser sein, oder beide Arten von Bildern sein, übereinstimmend mit der Art der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder 302. Die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske 308 kennzeichnet die Lage der synthetischen

Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 304. Die Trainingsdaten 306, 308 können dann verwendet werden, um das neuronale Faltungsnetzwerk 122 zum Beispiel durch Deep Learning zu trainieren.

**[0063]** Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm, welches das Verfahren zum Verwenden des medizinischen Systems 300 von Fig. 3 veranschaulicht. Das Verfahren von Fig. 4 kann mit dem Verfahren von Fig. 2 kombiniert werden. Zum Beispiel könnte das Verfahren von Fig. 4 zuerst durchgeführt werden, dann gefolgt von den Schritten des in Fig. 2 veranschaulichten Verfahrens.

**[0064]** Das Verfahren von Fig. 4 beginnt mit Schritt 400. In Schritt 400 werden die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder 302 empfangen. Als Nächstes werden in Schritt 402 die Trainingsdaten 306, 308 erzeugt, indem synthetische Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 304 für die vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder 302 erzeugt werden. Als Nächstes werden in Schritt 404 die Trainingsdaten 306, 308 empfangen. Dann wird schließlich in Schritt 406 das neuronale Faltungsnetzwerk 122 mit den Trainingsdaten 306, 308 trainiert.

**[0065]** Fig. 5 veranschaulicht ein weiteres Beispiel eines medizinischen Systems 500. Das medizinische System 500 ähnelt dem medizinischen System, das in Fig. 1 veranschaulicht ist, abgesehen davon, dass es zusätzlich ein Magnetresonanz-Bildgebungssystem 502 enthält. Das medizinische Bildgebungssystem 500 ist auch optional als die Merkmale des medizinischen Bildgebungssystems 300 von Fig. 3 einschließlich gezeigt.

**[0066]** Das Magnetresonanz-Bildgebungssystem 502 umfasst einen Magneten 504. Der Magnet 504 ist ein supraleitender Magnet eines zylindrischen Typs mit einer Bohrung 506 durch ihn hindurch. Die Verwendung unterschiedlicher Arten von Magneten ist ebenfalls möglich; beispielsweise ist es auch möglich, sowohl einen geteilten zylindrischen Magneten als auch einen sogenannten offenen Magneten zu verwenden. Ein geteilter zylindrischer Magnet ist ähnlich einem standardmäßigen zylindrischen Magneten, außer dass der Kryostat in zwei Sektionen geteilt worden ist, um Zugang zu der Isoebene des Magneten zu ermöglichen, solche Magneten können beispielsweise in Verbindung mit einer Strahlentherapie mit geladenen Teilchen verwendet werden. Ein offener Magnet weist zwei Magnetsektionen auf, eine über der anderen mit einem Zwischenraum dazwischen, der groß genug ist um ein Subjekt aufzunehmen: Die Anordnung des Bereichs der zwei Sektionen ist ähnlich der einer Helmholtzspule. Offene Magnete sind beliebt, weil das Subjekt weniger eingeschränkt ist. Innerhalb des Kryostaten des zylindrischen Magneten besteht eine Sammlung von supraleitenden Spulen.

**[0067]** Innerhalb der Bohrung 506 des zylindrischen Magneten 504 befindet sich eine Bildgebungszone 508, wo das Magnetfeld ausreichend stark und gleichförmig ist, um eine Magnetresonanz-Bildgebung durchzuführen. Eine Region von Interesse 509 ist innerhalb der Bildgebungszone 508 gezeigt. Die erfassten Magnetresonanzdaten werden üblicherweise für die Region von Interesse erfasst. Ein Subjekt 518 ist so gezeigt, dass es von einem Subjektträger 520 getragen wird, sodass sich zumindest ein Abschnitt des Subjekts 518 innerhalb der Bildgebungszone 508 und der Region von Interesse 509 befindet.

**[0068]** Innerhalb der Bohrung 506 des Magneten gibt es auch einen Satz von Magnetfeldgradientenspulen 510, die zur Erfassung von vorläufigen Magnetresonanzdaten verwendet werden, um magnetische Spins innerhalb der Bildgebungszone 508 des Magneten 504 räumlich zu codieren. Die Magnetfeldgradientenspulen 510 sind mit einer Stromversorgung 512 für Magnetfeldgradientenspulen verbunden. Die Magnetfeldgradientenspulen 510 sollen repräsentativ sein. Üblicherweise enthalten die Magnetfeldgradientenspulen 510 drei separate Sätze von Spulen zum räumlichen Codieren in drei orthogonalen Raumrichtungen. Eine Stromversorgung für Magnetfeldgradienten liefert Strom an die Magnetfeldgradientenspulen. Der Strom, der an die Magnetfeldgradientenspulen 510 geliefert wird, wird in Abhängigkeit von der Zeit gesteuert und kann eine Rampenform aufweisen oder gepulst sein.

**[0069]** Angrenzend an die Bildgebungszone 508 befindet sich eine Hochfrequenzspule 514 zum Manipulieren der Ausrichtungen magnetischer Spins innerhalb der Bildgebungszone 508 und zum Empfangen von Funkübermittlungen von Spins auch innerhalb der Bildgebungszone 508. Die Hochfrequenzantenne kann mehrere Spulenelemente enthalten. Die Hochfrequenzantenne kann auch als ein Kanal oder eine Antenne bezeichnet werden. Die Hochfrequenzspule 514 ist mit einem Hochfrequenz-Transceiver 516 verbunden. Die Hochfrequenzspule 514 und der Hochfrequenz-Transceiver 516 können durch separate Sender- und Empfänger-spulen und einen separaten Sender und Empfänger ersetzt werden. Es versteht sich, dass die Hochfrequenzspule 514 und der Hochfrequenz-Transceiver 516 repräsentativ sind. Die Hochfrequenzspule 514 soll auch für eine dedizierte Sendeantenne und eine dedizierte Empfangsantenne stehen. Gleichermaßen kann der Transceiver 516 auch für einen separaten Sender und Empfänger stehen. Die Hochfrequenzspule 514 kann auch mehrere Empfangs-/Sendeelemente aufweisen, und der Hochfrequenz-Transceiver 516 kann mehrere Empfangs-/Sendekanäle aufweisen. Wenn zum Beispiel eine Parallelbildgebungstechnik wie SENSE durchgeführt wird, wird

die Hochfrequenz könnte 514 mehrere Spulenelemente aufweisen.

**[0070]** Der Transceiver 516 und die Gradientensteuereinheit 512 sind als mit der Hardwareschnittstelle 106 eines Computersystems 102 verbunden gezeigt. Der Speicher 110 ist ferner so gezeigt, dass er Impulssequenzbefehle enthält. Die Impulssequenzbefehle 530 sind Befehle oder Daten, die in Befehle übersetzt werden können, die das Magnetresonanz-Bildgebungssystem 502 steuern, um Magnetresonanz-Bildgebungsdaten gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll zu erfassen.

**[0071]** Der Speicher 110 ist ferner so gezeigt, dass er Magnetresonanz-Bildgebungsdaten 532 enthält, die durch Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems 502 mit den Impulssequenzbefehlen 530 erfasst wurden. Die Magnetresonanz-Bildgebungsdaten 532 können unter Verwendung eines Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokolls in das anfängliche Dixon-Fett-Magnetresonanzbild 124 und das anfängliche Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild 126 rekonstruiert werden.

**[0072]** Fig. 6 veranschaulicht ein Verfahren zum Betreiben des medizinischen Systems 500 von Fig. 5. Zuerst wird in Schritt 600 das Magnetresonanz-Bildgebungssystem 502 mit den Impulssequenzbefehlen 530 gesteuert, um die Magnetresonanz-Bildgebungsdaten 532 zu erfassen. Als Nächstes werden in Schritt 602 die Dixon-Magnetresonanzbilder 124 und 126 aus den Magnetresonanz-Bildgebungsdaten 532 rekonstruiert. Das Verfahren fährt dann mit den Schritten 200, 202 und 204 fort, wie sie in Fig. 2 veranschaulicht sind.

**[0073]** Beispiele können ein Verfahren zur automatischen Erkennung und Korrektur von Wasser-Fett-Vertauschungen in Dixon-Bildern bereitstellen. Beispiele können ein neuronales Netzwerk (neuronales Faltungsnetzwerk 122) verwenden, das trainiert wird, um Wasser-Fett-Vertauschungen unter Verwendung eines Datensatzes (Trainingsdaten 702) mit Ground-Truth-Vertauschungsmasken (Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske 308) zu identifizieren. Während der Verwendung kann die Ausgabe des Netzwerks entweder zur direkten Korrektur der Vertauschungen oder als Eingabe in eine zweite Dixon-Rekonstruktion verwendet werden, die Dixon-Bilder (korrigierte Dixon-Bilder 124, 126) ohne Wasser-Fett-Vertauschungen ergibt.

**[0074]** Die Fettunterdrückung ist ein wesentliches Element, um den diagnostischen Wert der Magnetresonanz(MR)-Bildgebung zu verbessern, da Fett aufgrund seiner hohen Signalintensität häufig Details anderer Strukturen verdeckt. Die Unterdrückung von Fett ist auch wichtig, da sie helfen kann, Strukturen

von benachbartem wässrigem Gewebe abzugrenzen. Zwei Drittel der MR-Studien nutzen eine gewisse Form der Fettunterdrückung. Die Dixon-Bildgebung ist zu einer weit verbreiteten Technik geworden, um eine zuverlässigere Fettunterdrückung zu erreichen als herkömmliche Verfahren, die auf Spektral- oder T1-Auswahl in der Erfassung basieren. Einige Implementierungen stellen eine verbesserte Fettunterdrückung über große Sichtfelder in onkologischen und muskuloskelettalen Anwendungen bereit, ermöglichen aber auch neue Anwendungen wie subtraktionsfreie MR-Angiographie basierend auf den mit einem Kontrastmittel erfassten Nur-Wasser-mDIXON-Bildern. Eine Trennung von Wasser und Fett auf der Basis von Zweipunkt-Dixon-Verfahren steht vor einem grundlegenden Zwiespalt: Zwei Lösungen für das Wasser- und Fettsignal, die unterschiedlichen Phasenfehlern entsprechen, stimmen mit den erfassten Signalen überein. Dies kann zu so genannten Wasser-Fett-Vertauschungen führen, d. h. Regionen des Bildes, in denen das Wassersignal fälschlicherweise dem Fettsignal zugeordnet ist, und umgekehrt.

**[0075]** Um eine zuverlässige Trennung der beiden Spezies zu erreichen, wurden viele Varianten des ursprünglichen Dixon-Verfahrens entwickelt, die oft auf der Annahme einer räumlich glatten Hauptmagnetfeld(B0)-Inhomogenität beruhen. Trotzdem kommt es immer noch zu Wasser-Fett-Vertauschungen. Sie erscheinen meist in Körperteilen, die sich fern vom Isozentrum befinden, in Regionen, in denen große B0-Inhomogenitäten vorhanden sind, oder in Regionen rund um schwach magnetische Materialien, z. B. Implantate.

**[0076]** Bei der Magnetresonanztomographie sind Wasser-Fett-Vertauschungen aus mehreren Gründen problematisch:

- Wird das Dixon-Verfahren zur Fettunterdrückung verwendet, so tritt in Regionen mit wässrigem Gewebe mit Vertauschungen ein Fettsignal mit hoher Signalintensität auf.
- In bestimmten Fällen, z. B. wenn Fettunterdrückung verwendet wird, um Kontrast zwischen wässrigem Gewebe, das in Fettgewebe eingebettet ist, bereitzustellen, ist die Bildinterpretation kompliziert und entsprechende Läsionen können übersehen werden.
- Die quantitative Analyse von Dixon-Scans, z. B. für die Gesamtanalyse der Wasser-Fett-Zusammensetzung, liefert falsche Ergebnisse in Anwesenheit von Wasser-Fett-Vertauschungen.
- Die Verwendung von Dixon-Bildern zur Berechnung von Strahlungsschwächungskarten in der Strahlentherapieplanung kann zu falschen Dosisberechnungen in Anwesenheit von

Wasser-Fett-Vertauschungen führen, da Wasser und Fett unterschiedliche Abschwächungseigenschaften aufweisen. Gleiches gilt für die Dämpfungskorrektur bei der PET-MR.

**[0077]** Um eines oder mehrere dieser Probleme zu beheben, wird in einem Beispiel ein neuronales Netzwerk 122 an einem künstlich erzeugten Datensatz trainiert (synthetische Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 304 und Training von Dixon-Magnetresonanzbildern 306), um automatisch Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in Dixon-Bildern zu erkennen und zu lokalisieren. Nach dem Training kann das Netzwerk auf unbeschene Daten angewendet werden, um Voxel mit vertauschtem Wasser-Fett-Signal zu identifizieren (902). Diese Informationen können entweder verwendet werden, um die Bilder direkt zu korrigieren (904), oder als Eingabe in eine zweite Dixon-Rekonstruktion, die Dixon-Bilder ohne Vertauschungen liefert.

**[0078]** Neuronale Faltungsnetzwerke bestehen in der Regel aus einer Folge von Faltungs- und Max-Pooling-Schichten, gefolgt von einer oder mehreren vollständig verbundenen Schichten. Zur Bildsegmentierung werden häufig Vollfaltungsnetzwerke verwendet. Im Gegensatz zu Klassifikationsnetzwerken weisen sie eine symmetrische Struktur auf (wobei entfaltende und Pooling-Schichten die vollständig verbundenen Schichten ersetzen), was die effiziente Erzeugung von Vorhersagen auf Pixelebene ermöglicht.

**[0079]** Für das Training eines solchen Netzwerks wird ein Datensatz mit geeigneten Bildern und Ground-Truth-Segmentierungen verwendet. Ein großer Datensatz mit künstlichen Wasser-Fett-Vertauschungen kann leicht basierend auf einem Satz von Dixon-Scans (vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbilder 302) der Anatomie von Interesse erzeugt werden.

**[0080]** Eine künstlich vertauschte Region kann z. B. durch Anwenden eines geeigneten Schwellenwerts auf eine zufällig erzeugte langsam variierende zweidimensionale Funktion (Polynom, radial, gaußförmig, ...) definiert werden. Die Wasser- und Fettsignale in dieser Region, beschrieben durch eine Vertauschungsmaske (Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske 308), werden dann zwischen den Dixon-Wasser- und Fettbildern vertauscht, und die Vertauschungsmaske stellt die Ground-Truth-Segmentierung dar. Die beiden Bilder sowie die Maske werden dann auf einer Disk gespeichert, um während des Trainings verwendet zu werden. Durch Anwenden von Datenerweiterungsschemata wie Translation, Rotation, Verformung oder Umdrehen auf die Dixon-Bilder vor dem Vertauschen kann ein großer Trainingsdatensatz mit hoher anatomischer Variabilität erzeugt werden.

**[0081]** Sobald diese Trainingsdaten vorliegen, kann eine geeignete Zielfunktion gewählt werden, welche die Genauigkeit der prädizierten Segmentierung repräsentiert. Eine häufige Wahl ist der pixelweise Kreuzentropieverlust. Die Gewichte des Netzwerks können dann unter Verwendung einer Optimierungstechnik, wie zum Beispiel einem rückausbreitungs-basierten stochastischen Gradientenabstieg, optimiert werden. Eine schematische Übersicht über das vorgeschlagene Verfahren ist in den nachfolgenden **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigt.

**[0082]** **Fig. 7** veranschaulicht das Verfahren zum Erzeugen von Trainingsdaten 702. In diesem Beispiel gibt es einen Generator 700 für künstliche Wasser-Fett-Vertauschungen, der ein Algorithmus ist. Der Generator 700 für künstliche Wasser-Fett-Vertauschungen akzeptiert vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbilder 302 als Eingabe. Er gibt dann die Trainings-Dixon-Magnetresonanzbilder 306 und die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmasken 308 als Ausgabe aus. Dies ist ein Beispiel für Trainingsdaten 702, die durch Erstellung synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen erzeugt wurden. In **Fig. 7** werden vertauschungsfreie Dixon-Daten (Wasser- und Fettbildpaare künstlich modifiziert, um Wasser-Fett-Vertauschungen zu enthalten). Für jedes Bildpaar wird eine Ground-Truth-Maske erzeugt.

**[0083]** **Fig. 8** veranschaulicht die Funktion des neuronalen Faltungsnetzwerks 122. Das anfängliche Dixon-Fett-Magnetresonanzbild 124 und/oder das anfängliche Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild 126 können in das neuronale Faltungsnetzwerk 122 eingegeben werden, und als Ausgabe werden die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 ausgegeben. Die Dixon-Bilder 124 oder 126 werden als klinische Dixon-Daten mit Vertauschungen in dem Bild bezeichnet, und die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128 werden als geschätzte Vertauschungsmasken identifiziert. Bei Verwendung der Trainingsdaten 702 kann das neuronale Netzwerk 122 zum Beispiel durch Deep Learning verwendet oder trainiert werden. Während der Verwendung des neuronalen Netzwerks 122 ist das Netzwerk 122 in der Lage, bei Dixon-Daten mit Vertauschungen als Eingabe Vertauschungsregionen zu schätzen.

**[0084]** Während der Verwendung kann die vom Netzwerk vorhergesagte Vertauschungsmaske (eine oder mehrere Wasser-Fett-Vertauschungsregionen 128) auf zwei Arten verwendet werden. Zum einen kann bei Dixon-Bildern, bei denen eine echte Vertauschung der Wasser- und Fettsignale auftritt (zwei Echos, Single-Peak-Spektralmodell von Fett usw.), die Vertauschung leicht durch einfaches Vertauschen der beiden Signale in der vertauschten Region korrigiert werden. Zweitens kann in allen

anderen Fällen die intrinsische Schätzung der BO-Inhomogenität in der vertauschten Region korrigiert und die Wasser-Fett-Trennung wiederholt werden.

**[0085]** Fig. 9 veranschaulicht die Leistung des neuronalen Faltungsnetzwerks 122. Die Bilder in Spalte 900 sind Beispiele für Dixon-Wasserbilder mit einem Vertauschungsartefakt 900.

**[0086]** Die Vertauschungsartefakte in den Beispielen 900 sind künstlich. Spalte 902 zeigt die Ausgabe des neuronalen Faltungsnetzwerks, nachdem die Bilder 900 jeweils in dieses eingegeben wurden. Und 902 ist ein Beispiel einer Wasser-Fett-Vertauschungsregion 902, die durch das neuronale Netzwerk identifiziert wurde. Die Bilder in Spalte 904 zeigen ein korrigiertes Dixon-Wasserbild 904, das durch Vertauschen der Wasser-Fett-Signale innerhalb der Masken korrigiert wurde und ein nahezu artefakt-freies Ergebnis liefert.

**[0087]** In einem weiteren Beispiel werden die Vertauschungsmasken für den Trainingsdatensatz mindestens teilweise unter Verwendung manueller Segmentierungen erstellt. Während dies zusätzliche manuelle Arbeiten erfordert, kann davon ausgegangen werden, dass der resultierende Datensatz realistischer ist als ein künstlich erzeugter Datensatz, was möglicherweise zu einer verbesserten Netzwerkleistung führt.

**[0088]** In einem weiteren zusätzlichen Beispiel können alternativ B0-Karten, die mit standardmäßigen B0-Mapping-Techniken erfasst wurden, oder B0-Karten, die auf Darstellungen wie Legendre-Polynomen basieren, verwendet werden, da Wasser-Fett-Vertauschungen in der klinischen Praxis meist in Regionen mit großen B0-Abweichungen auftreten. Regionen, in denen die BO-Inhomogenität oder ein räumlicher Gradient davon oder eine Kombination von beiden einen definierten Schwellenwert überschreitet, können verwendet werden, um Vertauschungsmasken zu definieren.

**[0089]** In einem weiteren zusätzlichen Beispiel können eine oder mehrere von mehreren getrennten Regionen in den kombinierten Wasser-Fett-Bildern verwendet werden, um Vertauschungsmasken zu definieren.

**[0090]** Während die Erfindung im Detail in den Zeichnungen und der vorstehenden Beschreibung veranschaulicht und beschrieben wurde, sind eine derartige Darstellung und Beschreibung als veranschaulichend oder beispielhaft und nicht einschränkend zu betrachten; die Erfindung ist nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt.

**[0091]** Weitere Variationen der offenbarten Ausführungsformen können von einem Fachmann, der die

beanspruchte Erfindung umsetzt, durch Studieren der Zeichnungen, der Offenbarung und der beiliegenden Ansprüche verstanden und bewirkt werden. In den Patentansprüchen schließt das Wort „umfassen“ andere Elemente oder Schritte nicht aus, und der unbestimmte Artikel „ein“, „eine“ oder „eines“ schließt eine Vielzahl nicht aus. Ein einzelner Prozessor oder eine andere Einheit kann die Funktionen mehrerer in den Ansprüchen angegebener Punkte erfüllen. Die bloße Tatsache, dass bestimmte Maßnahmen in voneinander verschiedenen abhängigen Ansprüchen angegeben sind, gibt nicht an, dass eine Kombination dieser gemessen nicht vorteilhaft verwendet werden kann. Ein Computerprogramm kann auf einem geeigneten Medium, wie einem optischen Speichermedium oder einem Festkörpermedium, das zusammen mit oder als Teil anderer Hardware geliefert wird, gespeichert/verteilt werden, kann jedoch auch in anderen Formen verteilt werden, wie über das Internet oder andere drahtgebundene oder drahtlose Telekommunikationssysteme. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkungen des Schutzzumfangs auszulegen.

#### Bezugszeichenliste

100	medizinisches System
102	Computer
104	Prozessor
106	Hardwareschnittstelle
108	optionale Benutzerschnittstelle
110	Speicher
120	maschinenausführbare Anweisungen
122	neuronales Faltungsnetzwerk
124	anfängliches Dixon-Fett-Magnetresonanzbild
126	anfängliches Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild
128	eine oder mehrere Wasser-Fett-Vertauschungsregionen
130	korrigiertes Dixon-Fett-Magnetresonanzbild
132	korrigiertes Dixon-Wasser-Magnetresonanzbild
200	Empfangen des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes
204	Empfangen der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk

206	Rekonstruieren eines korrigierten Dixon-Magnetresonanzbildes unter Verwendung der empfangenen einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen	602	Rekonstruieren des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes unter Verwendung der Magnetresonanzbildungsdaten gemäß dem Dixon--Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll
300	medizinisches System	700	Generator für künstliche Wasser-Fett-Vertauschungen
302	vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbilder	702	Trainingsdatenbank
304	synthetische Wasser-Fett-Vertauschungsregionen	900	Dixon-Wasserbild mit Vertauschungsartefakt
306	Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild	902	Wasser-Fett-Vertauschungsregion
308	Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske	904	korrigiertes Dixon-Wasserbild
400	Empfangen von vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern		
402	Erzeugung der Trainingsdaten durch Erzeugen synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in jedem der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder und Konstruieren der Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske		
404	Empfangen von Trainingsdaten		
406	Trainieren des neuronalen Faltungnetzwerks unter Verwendung der Trainingsdaten		
500	medizinisches System		
502	Magnetresonanz-Bildgebungssystem		
504	Magnet		
506	Bohrung des Magneten		
508	Bildgebungszone		
509	Region von Interesse		
510	Magnetfeldgradientenspulen		
512	Stromversorgung für Magnetfeldgradientenspulen		
514	Hochfrequenzspule		
516	Transceiver		
518	Subjekt		
520	Subjekträger		
530	Impulssequenzbefehle		
532	Magnetresonanz-Bildgebungsdaten		
600	Erfassen der Magnetresonanz-Bildgebungsdaten durch Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems mit den Impulssequenzbefehlen		

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- US 20170082713 A1 [0006]

## Patentansprüche

1. Medizinisches System (100, 300, 500), umfassend:

- einen Speicher (110), der maschinenausführbare Anweisungen (120) und ein neuronales Faltungsnetzwerk (122) speichert, wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes (124, 126) als Eingabe konfiguriert ist, wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen (128) in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert ist;
- einen Prozessor (104) zum Steuern des medizinischen Bildgebungssystems, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor veranlasst zum:
  - Empfangen (200) des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes; und
  - Empfangen (204) der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk.

2. Medizinisches System nach Anspruch 1, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner veranlasst, ein korrigiertes Dixon-Magnetresonanzbild (130, 132) unter Verwendung der empfangenen einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zu rekonstruieren (206), wobei das Dixon-Magnetresonanzbild unter Verwendung eines der Folgenden korrigiert wird:

- wobei das Dixon-Magnetresonanzbild ferner ein Fettbild (124) und ein Wasserbild (126) umfasst, wobei das korrigierte Dixon-Magnetresonanzbild durch Vertauschen von Voxeln der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zwischen dem Fettbild und dem Wasserbild rekonstruiert wird; und
- wobei die korrigierte Dixon-Magnetresonanzbildgebung aus den Dixon-Magnetresonanzbildgebungsdaten gemäß einem Dixon-Magnetresonanz-Bildrekonstruktionsalgorithmus rekonstruiert wird, wobei der Dixon-Magnetresonanz-Bildrekonstruktionsalgorithmus konfiguriert ist, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen als Einschränkungen und/oder zum Korrigieren einer  $B_0$ -Inhomogenitätsschätzung zu verwenden.

3. Medizinisches Bildgebungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner veranlasst zum:

- Empfangen (404) von Trainingsdaten (702), wobei die Trainingsdaten jeweils ein Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild (306) und eine Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske (308) umfassen, wobei

die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske eine Ground-Truth-Position der einen oder mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen identifiziert; und

- Trainieren (406) des neuronalen Faltungsnetzwerks unter Verwendung der Trainingsdaten.

4. Medizinisches Bildgebungssystem nach Anspruch 3, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner veranlasst zum:

- Empfangen (400) von vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern (302); und
- Erzeugen (402) der Trainingsdaten durch Erzeugen synthetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in jedem vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbild der vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbilder und Konstruieren der Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske.

5. Medizinisches System nach Anspruch 4, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt werden, indem mindestens einige der einen oder mehreren synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen bestimmt werden durch:

- Bestimmen einer oder mehrerer Zufallsvariablen;
- Eingeben der einen oder mehreren Zufallsvariablen in eine räumlich variable Funktion;
- Schwellenwertverarbeitung der räumlich variablen Funktion, um die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen für das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild zu bestimmen.

6. Medizinisches System nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt werden durch:

- Identifizieren von Zonen mit hohem Wasser-Fett-Gehalt in dem Dixon-Magnetresonanzbild mit sowohl einem Fettgehalt als auch einem Wassergehalt über einem vorbestimmten Wasser-Fett-Schwellenwert;
- Auswählen mindestens eines Teils der Zonen mit hohem Wasser-Fett-Gehalt als die synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen.

7. Medizinisches System nach Anspruch 4, 5 oder 6, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt werden durch:

- Empfangen einer  $B_0$ -Inhomogenitätskarte für das vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbild;
- Identifizieren von Zonen hoher  $B_0$ -Inhomogenität in den Dixon-Magnetresonanzbildern durch Schwellenwertverarbeitung der  $B_0$ -Inhomogenitätskarte mit einem  $B_0$ -Inhomogenitätsschwellenwert; und
- Auswählen mindestens eines Teils der Zonen hoher  $B_0$ -Inhomogenität als die synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen.

8. Medizinisches System nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Trainingsdaten min-

destens teilweise erzeugt werden durch:

- Identifizieren von Gewebegrenzzonen in dem vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbild unter Verwendung eines Bildsegmentierungsalgorithmus; und
- Auswählen mindestens eines Teils der Gewebegrenzzonen als die synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen.

9. Medizinisches System nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt werden durch:

- Bestimmen einer räumlich abhängigen Signal-Rausch-Karte für das Dixon-Magnetresonanzbild; und
- Auswählen mindestens eines Teils der synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zur Aufnahme in die Trainingsdaten unter Verwendung eines Signal-Rausch-Gewichtungsfaktors, der unter Verwendung der räumlich abhängigen Signal-Rausch-Karte bestimmt wird, wobei der Signal-Rausch-Gewichtungsfaktor zunimmt, wenn die räumlich abhängige Signal-Rausch-Karte abnimmt.

10. Medizinisches System nach einem der Ansprüche 4 bis 9, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise erzeugt werden durch:

- Empfangen einer Isozentrumsposition für das vertauschungsfreie Dixon-Magnetresonanzbild; und
- Auswählen mindestens eines Teils von synthetischen Wasser-Fett-Vertauschungsregionen zur Aufnahme in die Trainingsdaten unter Verwendung eines Abstandsgewichtungsfaktors, der durch einen Abstand von der Isozentrumsposition bestimmt wird, wobei der Abstandsgewichtungsfaktor zunimmt, wenn der Abstand von der Isozentrumsposition zunimmt.

11. Medizinisches System nach einem der Ansprüche 3 bis 10, wobei die Trainingsdaten mindestens teilweise durch Vergrößern der Trainingsdaten durch Erzeugen zusätzlicher Trainings-Ground-Truth-Magnetresonanzbilder durch Anwenden einer Bildtransformation auf sowohl die Trainings-Dixon-Magnetresonanzbilder als auch die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske erzeugt werden, wobei die Bildtransformation eines der Folgenden umfasst: eine Bildtranslation, eine Bildrotation, eine Bilddeformation, eine Bildumkehrtransformation, eine Spiegelbildtransformation und Kombinationen davon.

12. Medizinisches Bildgebungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das medizinische Bildgebungssystem ferner ein Magnetresonanz-Bildgebungssystem (502) umfasst, wobei der Speicher ferner Impulssequenzbefehle (530) enthält, die zum Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems konfiguriert sind, um Magnetresonanz-Erfassungsdaten (532) gemäß einem Dixon-

Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll zu erfassen, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor ferner veranlasst zum:

- Erfassen (600) der Magnetresonanz-Bildgebungsdaten durch Steuern des Magnetresonanz-Bildgebungssystems mit den Impulssequenzbefehlen; und
- Rekonstruieren (602) des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes unter Verwendung der Magnetresonanz-Bildgebungsdaten gemäß dem Dixon-Magnetresonanz-Bildgebungsprotokoll.

13. Computerprogrammprodukt, das maschinenausführbare Anweisungen (120) zur Ausführung durch einen Prozessor (104) umfasst, der ein medizinisches System (100, 300, 500) und ein neuronales Faltungsnetzwerk (122) steuert, wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes (124, 126) als Eingabe konfiguriert ist, wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen (128) in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert ist, wobei die Ausführung der maschinenausführbaren Anweisungen den Prozessor veranlasst zum:

- Empfangen des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes; und
- Empfangen der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen von dem neuronalen Faltungsnetzwerk als Reaktion auf das Eingeben des anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes in das neuronale Faltungsnetzwerk.

14. Verfahren zum Trainieren eines neuronalen Faltungsnetzwerks (122), wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Empfangen eines anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbildes (124, 126) als Eingabe konfiguriert ist, wobei das neuronale Faltungsnetzwerk zum Identifizieren einer oder mehrerer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen (128) in dem anfänglichen Dixon-Magnetresonanzbild konfiguriert ist, wobei das Verfahren umfasst:

- Empfangen von Trainingsdaten (404), wobei die Trainingsdaten jeweils ein Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild (306) und eine Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske (308) umfassen, wobei das Trainings-Dixon-Magnetresonanzbild die eine oder die mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen umfasst, wobei die Trainings-Wasser-Fett-Vertauschungsmaske eine Ground-Truth-Position der einen oder der mehreren Wasser-Fett-Vertauschungsregionen identifiziert; und
- Trainieren des neuronalen Faltungsnetzwerks unter Verwendung der Trainingsdaten.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Verfahren ferner umfasst:

- Empfangen von vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern (302);
- Erzeugen der Trainingsdaten durch Erzeugen syn-

thetischer Wasser-Fett-Vertauschungsregionen in den vertauschungsfreien Dixon-Magnetresonanzbildern.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

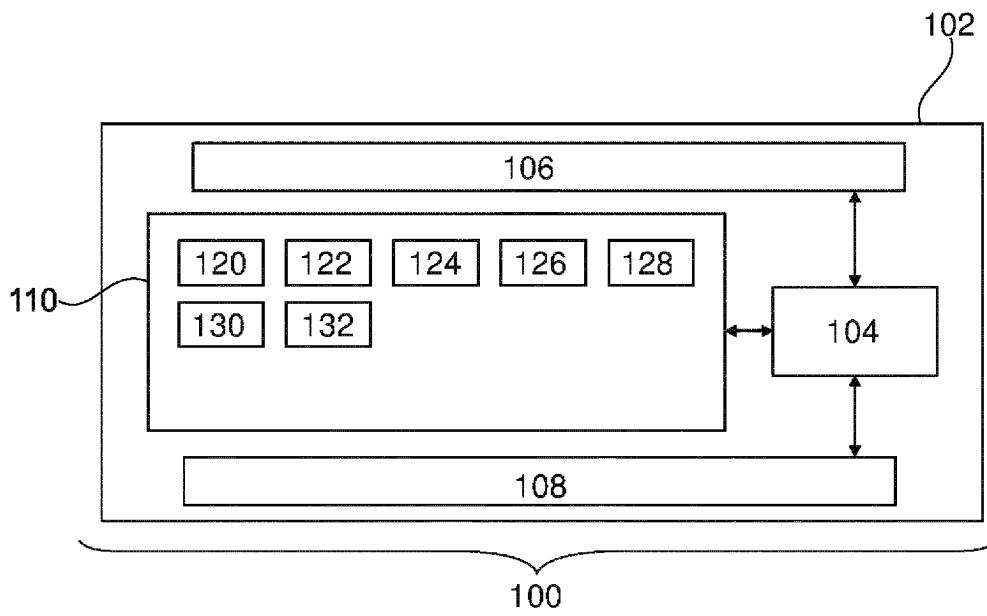


Fig. 1

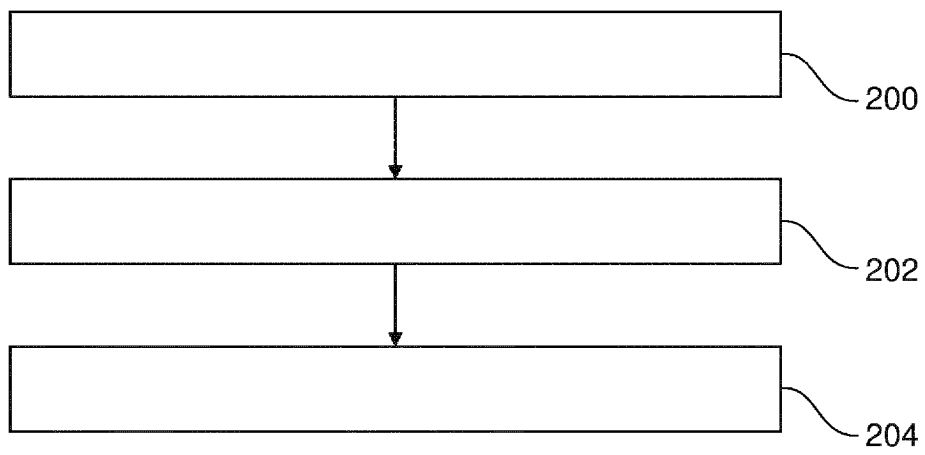


Fig. 2

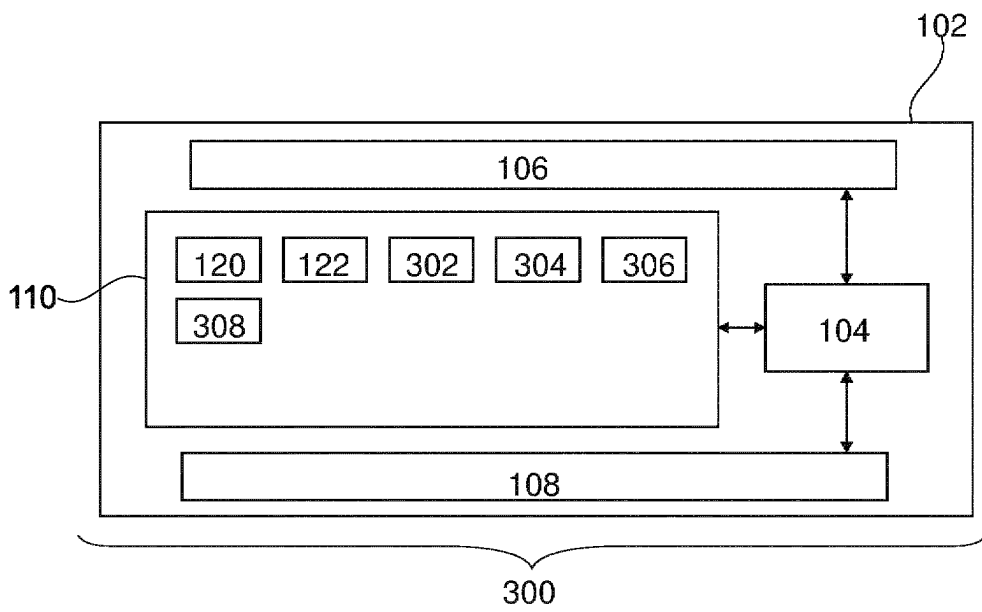


Fig. 3

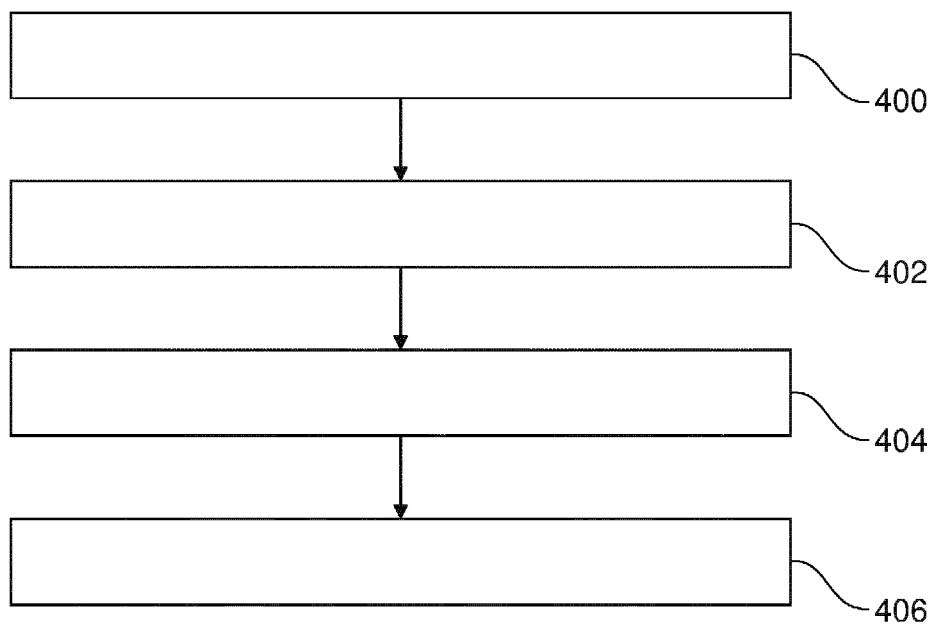


Fig. 4

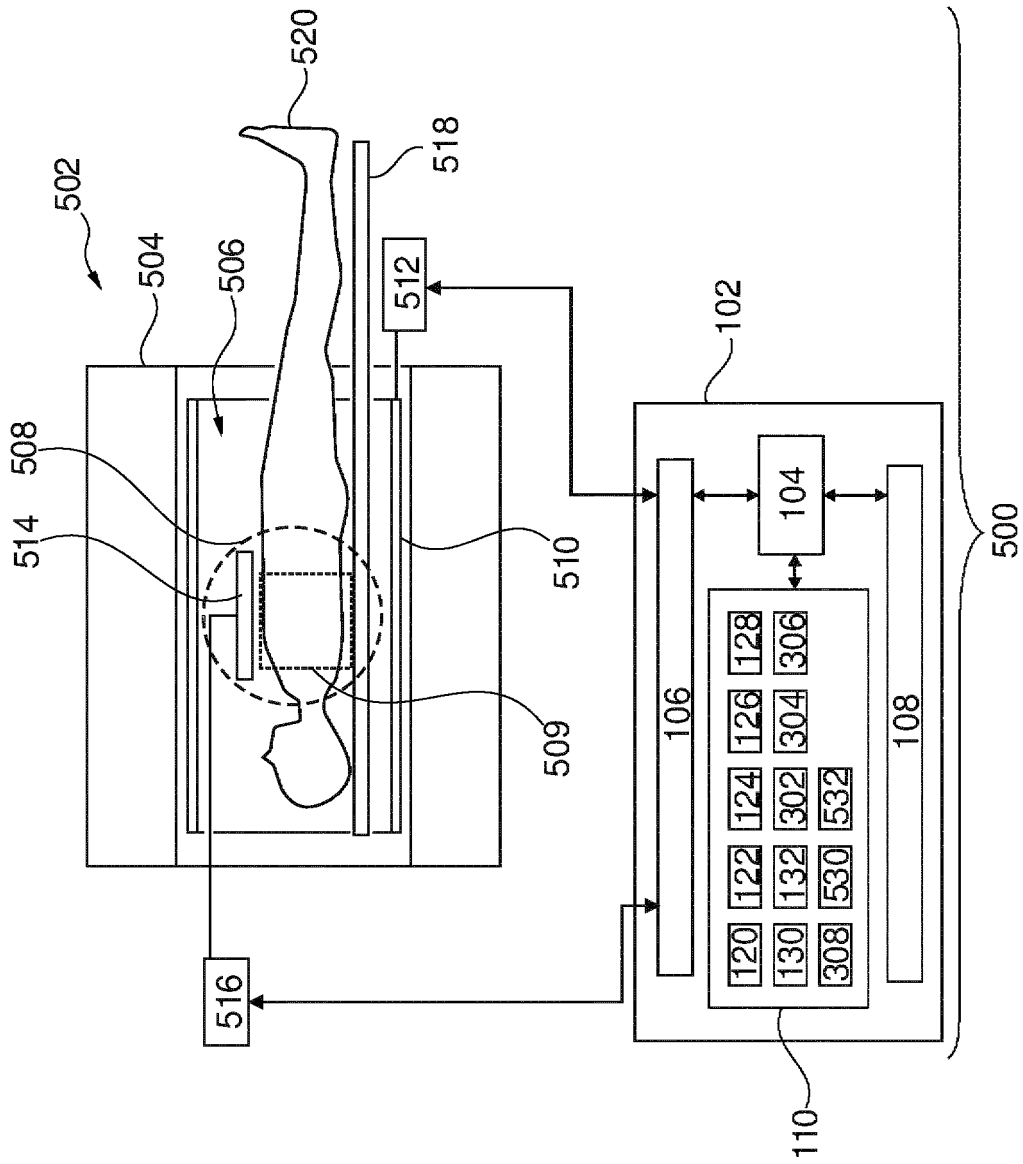


Fig. 5

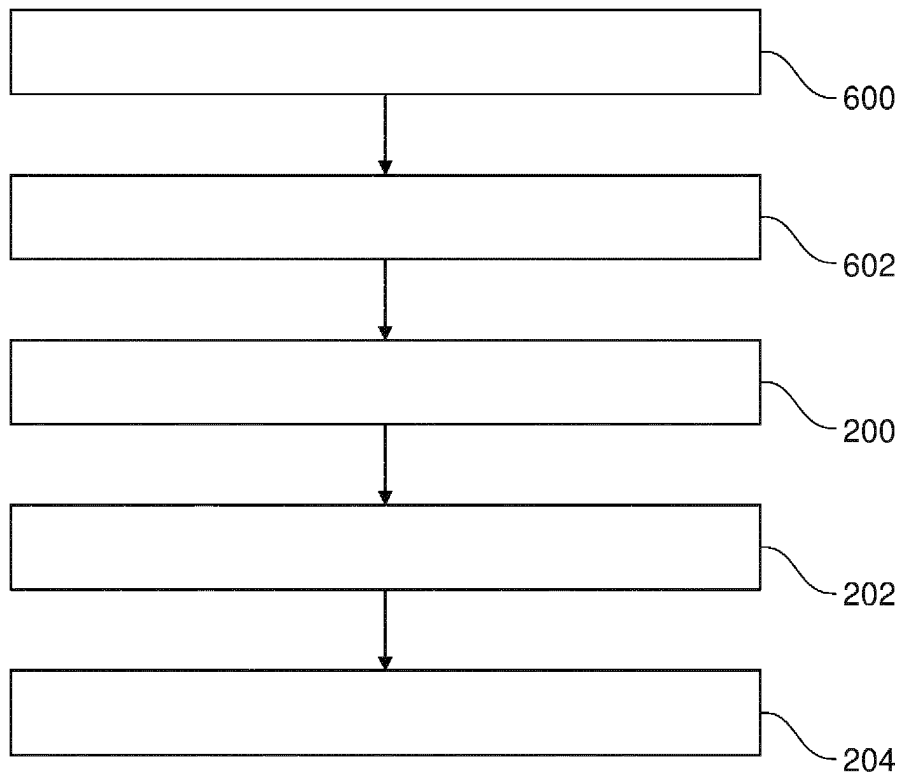


Fig. 6

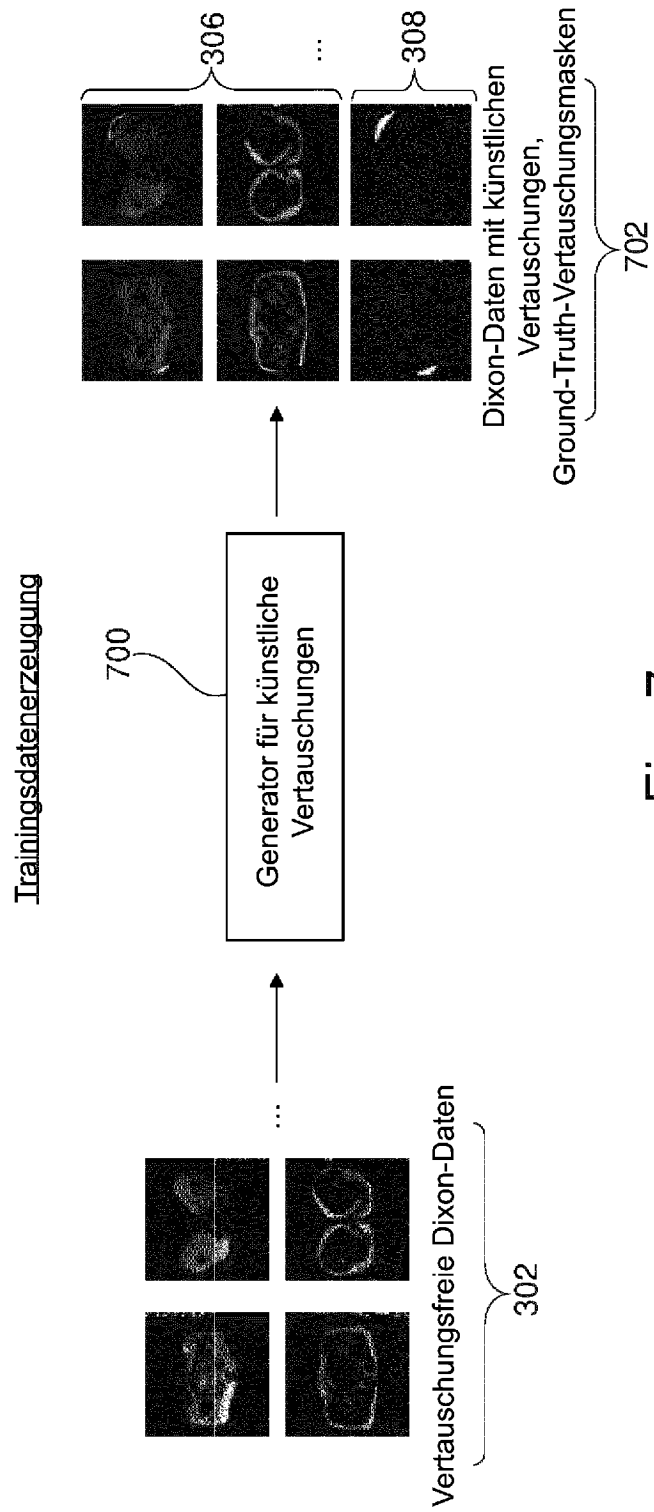


Fig. 7

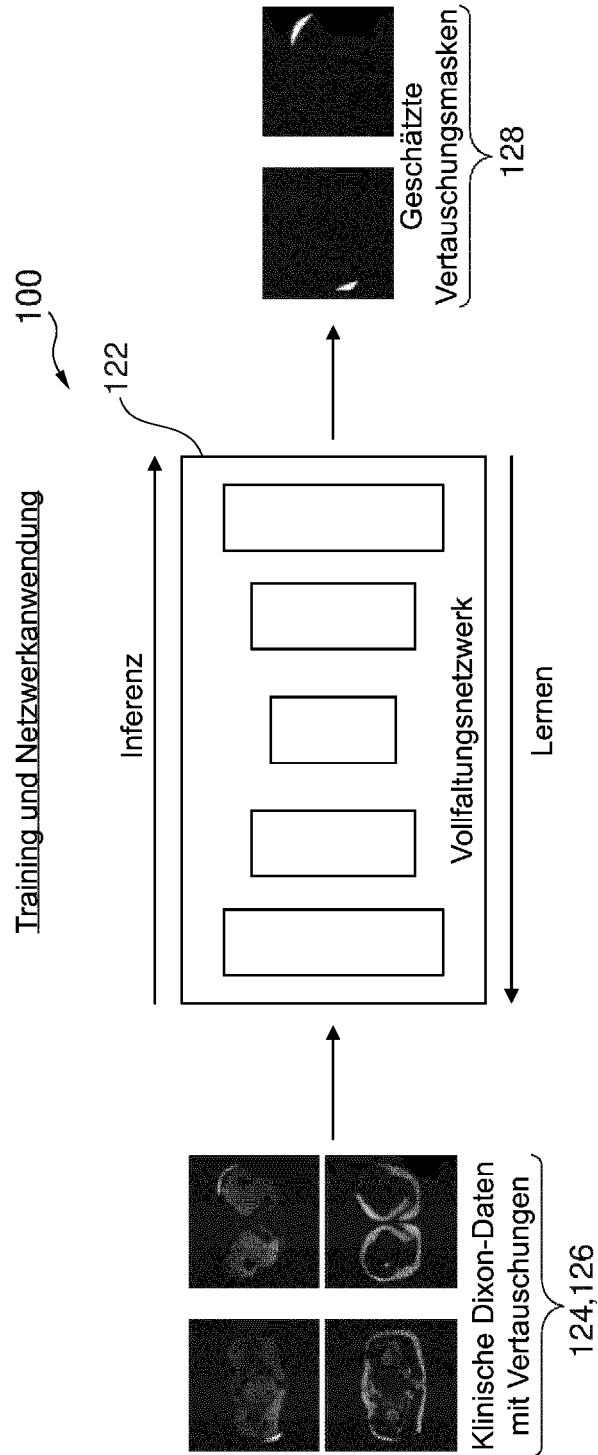


Fig. 8

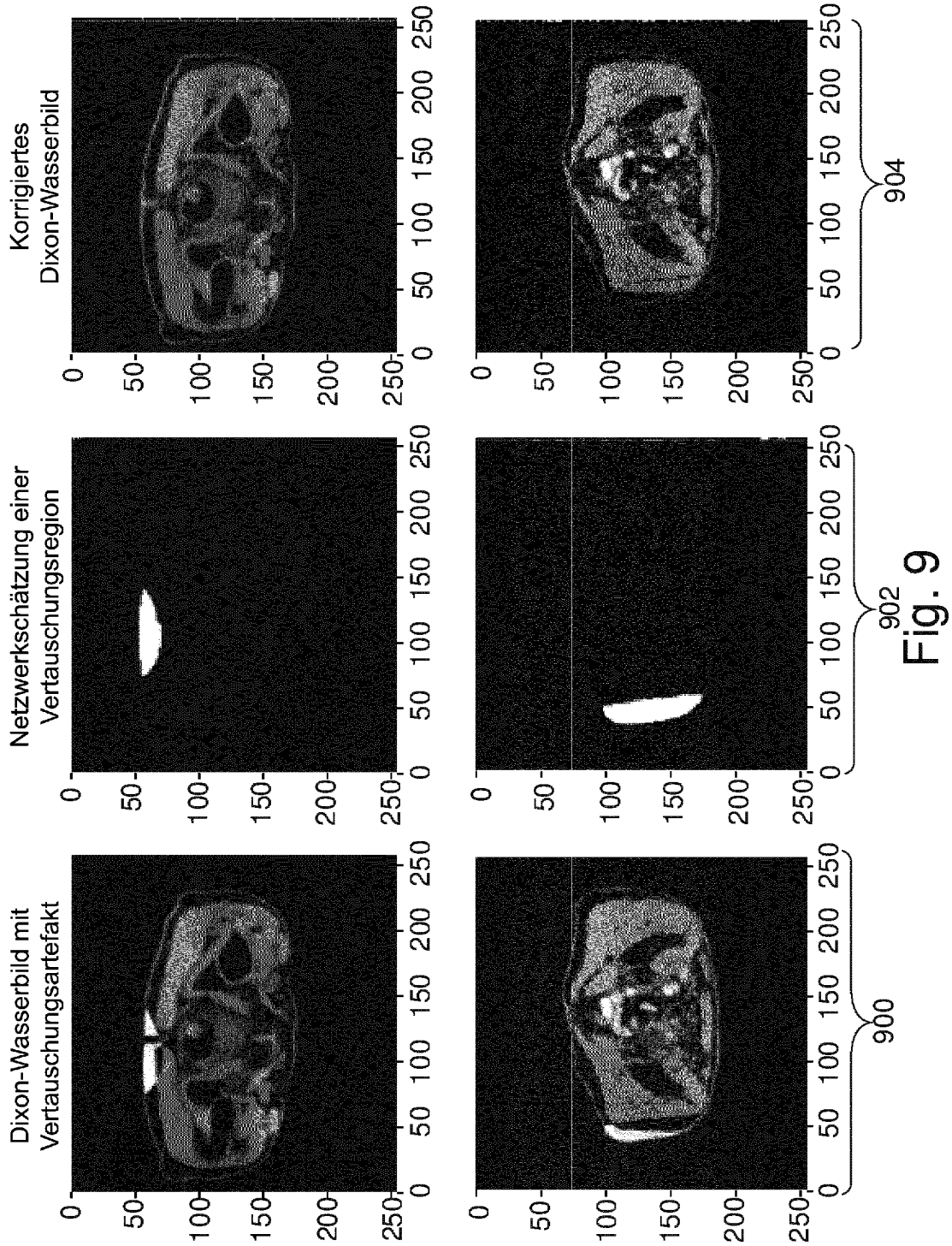


Fig. 9