



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 050 347.9**
(22) Anmeldetag: **02.10.2008**
(43) Offenlegungstag: **08.04.2010**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **20.01.2011**

(51) Int Cl.⁸: **A61B 5/055** (2006.01)
G01R 33/46 (2006.01)

Innerhalb von drei 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 Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Ruff, Jan, Dr., 80799 München, DE; Röhl, Stefan, Dr., West Chester, Pa., US; Schmidt, Sebastian, Dr., 91085 Weisendorf, DE

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

EP 17 05 579 A1

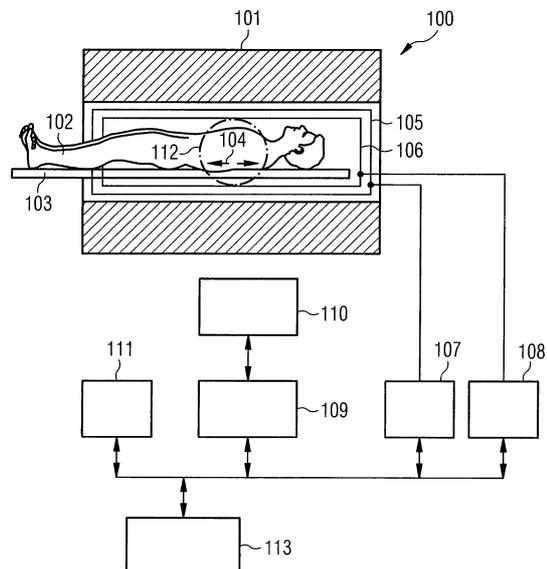
Johannes T. Heverhagen, Till Hartlieb, Dominik Boehm, Klaus-Jochen Klose, Hans-Joachim Wagner: "Magnetic resonance cystometry: accurate assessment of bladder volume with magnetic resonance imaging", IN: Urology, Volume 60, Issue 2, August 2002, S.309-314

N.Grenier et al: "Measurement of glomerular filtration rate with magnetic resonance imaging: principles, limitations, and expectations", IN: Semin Nucl Med 38 2008 47 55

(54) Bezeichnung: **Verfahren, Magnetresonanztomographieanlage und Datenträger zur Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson (102) mit Hilfe der Magnetresonanztomographie, mit den folgenden Schritten:

- Durchführen von mindestens einer Magnetresonanzmessung in einem Untersuchungsbereich (112) der Untersuchungsperson (102), der eine Harnblase der Untersuchungsperson umfasst, zur Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten aus dem Untersuchungsbereich, die mindestens Bilddaten umfassen,
- automatisches Bestimmen der Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Untersuchungsperson (102) auf Grundlage der aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten,
- automatisches Bestimmen eines Volumens der Harnblase auf Grundlage der aufgenommenen Bilddaten, und
- automatisches Bestimmen des Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson (102) auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson mit Hilfe der Magnetresonanztomographie und eine Magnetresonanztomographie hierfür.

[0002] Die Niere ist ein Organ, das der Ausscheidung von Endprodukten des Stoffwechsels dient. Die Niere filtert diese so genannten harnpflichtigen Substanzen aus dem Blutkreislauf und bildet Harn, welcher nach Zwischenspeicherung in der Harnblase über die Harnwege aus dem Körper ausgeschieden wird. Dabei wird zunächst Primärharn aus dem Blut ausgefiltert, wobei wertvolle Plasmabestandteile, wie beispielsweise Zucker, Aminosäuren und Elektrolyte, in den Blutkreislauf resorbiert werden. Außerdem wird ein Großteil des abgefilterten Wasser rückresorbiert, wobei der Primärharn zum Endharn konzentriert wird, welcher schließlich über den Harnleiter zur Harnblase geleitet wird. Parameter, die die Funktion der Niere charakterisieren, sind zum Beispiel die Konzentrationen der harnpflichtigen Substanzen im Blut oder die renale Clearance, wie beispielsweise die Inulin-Clearance oder die Kreatinin-Clearance. Da Kreatin oder Inulin im Wesentlichen weder sezerniert noch rückresorbiert werden, kann aus der renalen Clearance dieser Substanzen die glomeruläre Filtrationsrate der Nieren bestimmt werden. Diese gibt im Wesentlichen an, welches Plasmavolumen pro Zeiteinheit von der harnpflichtigen Substanz befreit wird. Somit lässt sich die Nierenfunktion mit Hilfe physikalischer Größen charakterisieren.

[0003] Die Bestimmung dieser Größen ist für verschiedene Anwendungen von Bedeutung. Ein Bestimmen der vorab genannten Parameter kann beispielsweise für wissenschaftliche Studien sowie für die Erstellung von Statistiken nützlich sein. Es können weiter beispielsweise Datenbanken aufgebaut werden, die einer gewissen glomerulären Filtrationsrate ein Alter oder ein Gewicht einer Person zuordnen. Auch können solche Parameter verwendet werden um festzustellen, ob eine Niere in ihrem normalen Parameterbereich arbeitet.

[0004] Herkömmliche Verfahren zur Charakterisierung der Nierenfunktion verwenden beispielsweise eine Bestimmung des Kreatininspiegels im Blut. Dieses ist jedoch sehr zeitaufwändig, da einem Patienten zunächst Blut entnommen werden muss und dieses an ein Labor zur Analyse gesendet werden muss. Das Ergebnis der Blutuntersuchung ist dann im Allgemeinen erst am nächsten Tag verfügbar. Weiterhin ist die Ungenauigkeit einer derartigen Kreatinin-Messung nachteilig. Dies liegt vor allem daran, dass der Zusammenhang zwischen Kreatinin-Spiegel im Blut und der glomerulären Filtrationsrate der Nieren über große Bereiche nur indirekt ist, so dass nur eine sehr

ungenau Bestimmung der Filtrationsrate möglich ist. Eine Variation der glomerulären Filtrationsrate wirkt sich beispielsweise erst ab einer Änderung in der Größenordnung von 50% auf den Kreatinin-Wert im Blut aus.

[0005] Ein weiteres bekanntes Verfahren verwendet ein GD-haltiges Kontrastmittel, um die Nierenfunktion eines Patienten zu charakterisieren. Das Kontrastmittel wird einem Patienten verabreicht, und die Ausscheidung des Kontrastmittels wird gemessen. Wenn der Patient jedoch an einer Niereninsuffizienz leidet, ist die Gabe eines derartigen Kontrastmittels gefährlich, insbesondere da dadurch das Risiko steigt, eine nephrogene systematische Fibrose (NSF) zu entwickeln. Mit der Feststellung eines Zusammenhangs zwischen der Gabe von Kontrastmitteln und dem Auftreten einer NSF dürfen mittlerweile einige Kontrastmittel nicht mehr an Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion verabreicht werden.

[0006] Aus der Druckschrift „Magnetic Resonance Cystometrie: Accurate Assessment of Bladder Volume with Magnetic Resonance Imaging“, J. T. Heverhagen et al., Urology 2002, 60(2): 309–14, ist des Weiteren ein Verfahren bekannt, bei dem mit der Magnetresonanztomographie Bilddaten der Harnblase eines Patienten aufgenommen werden, um aus diesen das Volumen der Harnblase zu bestimmen.

[0007] Die Druckschrift EP 1 705 579 A1 offenbart ein Verfahren zur Verarbeitung eines Satzes von Spektren, insbesondere Magnetresonanzspektren, bei dem eine balkenweise Division eines Spektrums mit einem Referenzspektrum erfolgt, sowie ein Test zur Erkennung von Ausreißern.

[0008] Die Druckschrift „Measurement of Glomerular Filtration Rate with Magnetic Resonance Imaging: Principles, Limitations and Expectations“, N. Grenier et al., Semin. Nucl. Med. 2008, 38(1): 47–55 offenbart ein Verfahren, bei dem nach Kontrastmittelgabe die glomeruläre Filtrationsrate mittels der Magnetresonanztomographie bestimmt wird.

[0009] Folglich ist es wünschenswert, die Funktion von Nieren einer Untersuchungsperson zu charakterisieren, ohne dass ein unverträgliches Kontrastmittel verabreicht werden muss. Insbesondere ist es wünschenswert, eine genaue Charakterisierung in einer relativ kurzen Zeit durchzuführen.

[0010] Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung eines die Nierenfunktion charakterisierenden Parameters bereitzustellen.

[0011] Diese Aufgabe wird mit Hilfe der Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind bevorzugte Ausführungsfor-

men der Erfindung beschrieben.

[0012] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson mit Hilfe der Magnetresonanztomographie bereitgestellt. Bei dem Verfahren wird mindestens eine Magnetresonanzmessung in einem Untersuchungsbereich der Untersuchungsperson, der eine Harnblase der Untersuchungsperson umfasst, zur Aufnahme von Magnetresonanzdaten aus dem Untersuchungsbereich, die mindestens Bilddaten umfassen, durchgeführt. Auf Grundlage der aufgenommenen Magnetresonanzdaten wird die Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Untersuchungsperson automatisch bestimmt. Weiterhin wird auf Grundlage der aufgenommenen Bilddaten ein Volumen der Harnblase automatisch bestimmt. Das Verfahren umfasst weiterhin ein automatisches Bestimmen des Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase.

[0013] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens umfassen die Magnetresonanzmessdaten des Weiteren Spektroskopiedaten, wobei das Bestimmen der Konzentration der harnpflichtigen Substanz auf Grundlage der Spektroskopiedaten erfolgt. Bei einer anderen Ausführungsform kann das Bestimmen der Konzentration der harnpflichtigen Substanz auf Grundlage der Bilddaten erfolgen. Somit kann zur Bestimmung der Konzentration beispielsweise ein aufgenommenes Spektrum ausgewertet werden, oder es können Intensitäten in Bilddaten analysiert werden.

[0014] Mit einem solchen Verfahren kann in einer relativ kurzen Zeit eine genaue Bestimmung des Nierenfunktionsparameters vorgenommen werden. Nach Aufnahme der Magnetresonanzmessdaten mit den Bilddaten kann der Nierenfunktionsparameter unmittelbar automatisch bestimmt werden. Auch ist dafür keine Gabe eines Kontrastmittels notwendig. Der Nierenfunktionsparameter kann anschließend beispielsweise in einer Datenbank abgelegt werden oder sofort für die Durchführung eines weiteren Verfahrens zur Verfügung gestellt werden.

[0015] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine Magnetresonanzspektroskopiemessung zur Aufnahme der Spektroskopiedaten und eine bildgebende Magnetresonanzmessung zur Aufnahme der Bilddaten. Die Spektroskopiedaten müssen somit nicht räumlich aufgelöst werden, wohingegen die bildgebende Magnetresonanzmessung eine hoch aufgelöste Abbildung der Harnblase ermöglicht.

[0016] Die harnpflichtige Substanz ist beispielsweise Inulin. Die harnpflichtige Substanz kann eine vorbestimmte Zeit vor der Durchführung der mindestens einen Magnetresonanzmessung in den Blutkreislauf der Untersuchungsperson eingebracht werden. Die vorbestimmte Zeit kann dann für das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters verwendet werden. Beispielsweise kann die Menge der harnpflichtigen Substanz, die pro Zeiteinheit von den Nieren ausgefiltert wird, auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase bestimmt werden. Diese Größe stellt bereits einen die Nierenfunktion charakterisierenden Parameter dar.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Nierenfunktionsparameter eine glomeruläre Filtrationsrate der Nieren der Untersuchungsperson. Die glomeruläre Filtrationsrate kann dabei mit verschiedenen Methoden bestimmt werden. Beispielsweise erfolgt ein Zuordnen einer glomerulären Filtrationsrate zu der bestimmten pro Zeiteinheit ausgefilterten Menge der harnpflichtigen Substanz anhand einer Eichkurve, die beispielsweise auf Grundlage von historischen Daten erstellt wurde. Mit dem Bestimmen der Menge der Substanz, die pro Zeiteinheit von den Nieren ausgefiltert wird, kann somit unmittelbar auf die glomeruläre Filtrationsrate geschlossen werden. Die Eichkurve kann beispielsweise durch ähnliche Messungen mit Hilfe von Probanden erstellt werden.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Bestimmen der glomerulären Filtrationsrate dadurch, dass zunächst eine Abschätzung eines Gesamtplasmavolumens der Untersuchungsperson durchgeführt wird. Basierend auf dem Gesamtplasmavolumen und einer Menge der harnpflichtigen Substanz, die in den Blutkreislauf der Untersuchungsperson eingebracht wurde, wird anschließend eine Konzentration der harnpflichtigen Substanz in dem Blutplasma der Untersuchungsperson bestimmt. Basierend auf der bestimmten pro Zeiteinheit ausgefilterten Menge der harnpflichtigen Substanz und der Konzentration der harnpflichtigen Substanz in dem Blutplasma kann anschließend die glomeruläre Filtrationsrate bestimmt werden. Dadurch kann die glomeruläre Filtrationsrate mit einer hohen Genauigkeit bestimmt werden.

[0019] Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit lässt sich beispielsweise dadurch erzielen, dass die mindestens eine Magnetresonanzmessung mehrere Magnetresonanzmessungen zur mehrmaligen Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten in vorbestimmten zeitlichen Abständen umfasst. Das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters erfolgt dann auf Grundlage der in vorbestimmten zeitlichen Abständen aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten.

[0020] Für das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters können auch weitere Parameter verwendet werden, wie beispielsweise eine magnetresonanztomographisch bestimmte Konzentration der harnpflichtigen Substanz im Gewebe der Untersuchungsperson, ein Herzzeitvolumen der Untersuchungsperson oder ein Blutfluss in einer Nierenarterie der Untersuchungsperson. Die Genauigkeit der Bestimmung des Nierenfunktionsparameters lässt sich dadurch gegebenenfalls weiter erhöhen.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase auf Grundlage von charakteristischen spektralen Eigenschaften der harnpflichtigen Substanz in den aufgenommenen Spektroskopiedaten bestimmt. Auch kann die harnpflichtige Substanz mit einem Markeratom markiert werden, wobei die Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase dann auf Grundlage von charakteristischen spektralen Eigenschaften des Markeratoms in Spektroskopiedaten, die die aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten umfassen, oder auf Grundlage von durch Markeratome hervorgerufene Intensitäten in den Bilddaten bestimmt werden kann. Mit Hilfe eines Markeratoms lässt sich die Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung erhöhen. Die Konzentration kann beispielsweise durch Verwenden eines Vergleichswerts bestimmt werden. Dafür umfasst die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten eines Phantoms, wobei das Phantom die harnpflichtige Substanz in einer vorbestimmten Konzentration enthält. Die Bestimmung der Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase kann dann unter Verwendung der Magnetresonanzmessdaten aus dem Untersuchungsbereich und der Magnetresonanzmessdaten des Phantoms erfolgen.

[0022] Wenn die aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten Spektroskopiedaten zur Konzentrationsbestimmung umfassen, kann somit eine Eichung der Spektroskopiedaten mit vom Phantom aufgenommenen Spektroskopiedaten erfolgen. Wenn andererseits die Konzentration auf Grundlage der Bilddaten ermittelt wird, so können die Intensitäten in den aufgenommenen Bilddaten auf Grundlage der von dem Phantom aufgenommenen Bilddaten geeicht werden. In beiden Fällen ermöglicht somit die Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten des Phantoms eine Verbesserung der Konzentrationsbestimmung.

[0023] Für das Bestimmen des Volumens der Harnblase wird beispielsweise eine Segmentierung der Harnblase in den Bilddaten durchgeführt. Die Bilddaten können zum Beispiel während einer bildgebenden Messung aufgenommen werden, die für eine selektive Darstellung des Harnblasenvolumens konfi-

guriert ist. Eine derartige bildgebende Messung kann beispielsweise eine T_2 -gewichtete Messung sein. Die Harnblase, die im Wesentlichen Wasser enthält, kann in einem Protonenbild sehr hell mit starkem Kontrast erscheinen, wodurch eine automatische Segmentierung der Harnblase ermöglicht wird. Ein hoher Kontrast der Harnblase kann auch durch Markieren der harnpflichtigen Substanz mit einem Markeratom erreicht werden, wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung dann eine bildgebende Messung umfasst, die für eine selektive Darstellung des Markeratoms konfiguriert ist. Beispielsweise kann Inulin mit ^{13}C markiert werden, welches dann bei einer Kohlenstoffmessung selektiv dargestellt werden kann.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die harnpflichtige Substanz ein körpereigener Metabolit der Untersuchungsperson. Die harnpflichtige Substanz kann beispielsweise Kreatinin sein. Somit kann eine Bestimmung des Nierenfunktionsparameters erfolgen, ohne dass zuvor eine harnpflichtige Substanz in den Blutkreislauf der Untersuchungsperson eingebracht werden muss.

[0025] Weiter kann anhand des bestimmten Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson eine Feststellung erfolgen, ob eine Einschränkung der Nierenfunktion vorliegt. Dies kann beispielsweise automatisch durch Vergleichen mit in einer Datenbank gespeicherten Nierenfunktionsparametern erfolgen. Damit kann festgestellt werden, ob der bestimmte Nierenfunktionsparameter in einem Parameterbereich normaler Nierenfunktion liegt oder außerhalb dieses Parameterbereichs.

[0026] Weiterhin kann auf Grundlage des bestimmten Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson eine Feststellung erfolgen, ob der Untersuchungsperson ein Kontrastmittel für eine nachfolgende Magnetresonanztomographieuntersuchung verabreicht werden darf. Beispielsweise kann bei einer eingeschränkten Nierenfunktion ein Verabreichen eines solchen Kontrastmittels nachteilig sein, insbesondere kann es zu einer nephrogenen systemischen Fibrose führen. Eine derartige Feststellung ist somit vorteilhaft, da eine Kontrastmittelgabe bei bestehender eingeschränkter Nierenfunktion verhindert werden kann. Weiterhin kann der Nierenfunktionsparameter unmittelbar vor einem Durchführen der Magnetresonanztomographieuntersuchung mit relativ hoher Genauigkeit bestimmt werden, was wie vorab erläutert mit herkömmlichen Verfahren nicht möglich war. Die Feststellung, ob ein Kontrastmittel verabreicht werden darf, kann dabei automatisch erfolgen, beispielsweise wiederum durch Vergleich des bestimmten Nierenfunktionsparameters mit Werten, die in einer Datenbank gespeichert sind.

[0027] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorlie-

genden Erfindung wird eine Magnetresonanzenanlage für eine Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson bereitgestellt. Die Magnetresonanzenanlage umfasst eine Aufnahmeeinheit, die zur Durchführung von Magnetresonanzmessungen in einem Untersuchungsbereich einer Untersuchungsperson ausgestaltet ist. Des Weiteren ist eine Steuereinheit vorgesehen, die die Aufnahmeeinheit derart ansteuert, dass aus einem Untersuchungsbereich der Untersuchungsperson, der die Harnblase der Untersuchungsperson umfasst, bei mindestens einer Magnetresonanzmessung Magnetresonanzmessdaten, die mindestens Bilddaten umfassen, aufgenommen werden. Weiterhin umfasst die Magnetresonanzenanlage eine Rechereinheit, die automatisch die Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Untersuchungsperson auf Grundlage der aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten, sowie ein Volumen der Harnblase auf Grundlage der aufgenommenen Bilddaten bestimmt. Weiterhin führt die Rechereinheit ein automatisches Bestimmen des Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase durch. Die vorab mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren genannten Vorteile können ebenfalls mit der erfindungsgemäßen Magnetresonanzenanlage erzielt werden.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform ist die Magnetresonanzenanlage derart ausgestaltet, dass sie gemäß einem der vorab genannten Verfahren arbeitet.

[0029] Beispielweise kann ein Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches bei Ausführung in einem Rechnersystem eines der vorab beschriebenen Verfahren ausführt, in einem mit einer herkömmlichen Magnetresonanzenanlage funktionsfähig verbundenen Rechnersystem verwendet werden. Weiterhin wird ein elektronisch lesbare Datenträger mit darauf gespeicherten elektronisch lesbaren Steuerinformationen bereitgestellt, wobei die Steuerinformationen derart ausgestaltet sind, dass sie bei Verwenden des Datenträgers in einem Rechnersystem eines der vorab genannten Verfahren durchführen.

[0030] Merkmale der vorstehend und nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können kombiniert werden. Insbesondere können sie nicht nur in den beschriebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder für sich genommen verwendet werden.

[0031] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

[0032] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Magnetreso-

nanzenanlage für eine Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] **Fig. 2** zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0034] **Fig. 3** zeigt ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] **Fig. 4** zeigt ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0036] Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung genauer anhand von Ausführungsformen beschrieben, bei welchen sowohl Spektroskopiedaten als auch Bilddaten zur Bestimmung des Nierenfunktionsparameters aufgenommen werden. Es sollte jedoch klar sein, dass die beschriebenen Ausführungsformen ebenso ohne Aufnahme von Spektroskopiedaten realisiert werden können, indem beispielsweise die Konzentration der harnpflichtigen Substanz anhand aufgenommenener Bilddaten bestimmt wird. Die nachfolgend gegebenen Erklärungen sind somit auch auf andere Ausführungsformen anwendbar, bei denen keine Aufnahme von Spektroskopiedaten erfolgt.

[0037] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Magnetresonanzen-(MR-)Anlage. Die Magnetresonanzenanlage ist für eine einfache Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters durch Durchführen und Auswerten von Magnetresonanzmessungen ausgestaltet. Eine derartige MR-Anlage weist einen Magneten **101** zur Erzeugung eines Polarisationsfeldes B_0 auf. Eine Untersuchungsperson **102** wird auf einer Liege **103** in den Magneten geschoben, wie schematisch durch die Pfeile **104** dargestellt. Die MR-Anlage **100** weist weiterhin ein Gradientensystem **105** zur Erzeugung von Magnetfeldgradienten auf, die für die Bildgebung und Ortskodierung verwendet werden. Zur Anregung der sich im Hauptmagnetfeld ergebenden Polarisation ist eine Hochfrequenzspulenanordnung **106** vorgesehen, die ein Hochfrequenzfeld in die untersuchte Person **102** einstrahlt, um die Magnetisierung aus der Gleichgewichtslage auszulenken. Zur Steuerung der Magnetfeldgradienten ist eine Gradienteneinheit **107** vorgesehen, und zur Steuerung der eingestrahlten Hochfrequenz-(HF-)Pulse ist eine HF-Einheit **108** vorgesehen. Eine Steuereinheit **109** steuert zentral die Magnetresonanzenanlage, die Auswahl von Bildgebungssequenzen erfolgt ebenfalls in der Steuereinheit **109**. Über eine Eingabeeinheit **110** kann eine Bedienperson ein Sequenzprotokoll auswählen und Bildgebungsparameter eingeben und abändern, die auf einer Anzeige **111** angezeigt werden. Steuereinheit **109** kann weiterhin die Durchführung einer Mag-

netresonanzspektroskopiemessung mit der Magnetresonanztanlage **100** steuern. Die Magnetresonanztanlage **100** ist somit sowohl für die Aufnahme von Bilddaten aus einem Untersuchungsbereich **112** der Untersuchungsperson **102** geeignet als auch zur Aufnahme von Spektroskopiedaten. Aus dem Untersuchungsbereich **112** aufgenommene Magnetresonanzsignale werden anschließend in Rechneinheit **113** ausgewertet. Rechneinheit **113** kann dabei sowohl Berechnungen zur Auswertung von Spektroskopiedaten durchführen als auch eine Rekonstruktion von aufgenommenen Bilddaten.

[0038] Die allgemeine Funktionsweise einer MR-Anlage ist dem Fachmann bekannt, so dass auf eine detailliertere Beschreibung der allgemeinen Komponenten verzichtet wird.

[0039] Die in [Fig. 1](#) dargestellte MR-Anlage ist für die Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren der Untersuchungsperson **102** konfiguriert. Steuereinheit **109** veranlasst dabei die Aufnahme von sowohl Bilddaten als auch Spektroskopiedaten aus dem Untersuchungsbereich **112**. Diese werden mit Hilfe der Aufnahmeeinheit, die beispielsweise Magneten **101**, Gradientensystem **105**, Hochfrequenzspulenanordnung **106**, Gradienteneinheit **107** und HF-Einheit **108** umfasst, während einer oder mehreren Magnetresonanzmessungen aufgenommen. Zur Bestimmung des Nierenfunktionsparameters werden die aufgenommenen Spektroskopie- und Bilddaten anschließend in Rechneinheit **113** ausgewertet. Rechneinheit **113** ist dabei zur automatischen Durchführung einer Segmentierung der Bilddaten zum Bestimmen des Volumens der Harnblase der Untersuchungsperson, sowie zur Analyse der Spektroskopiedaten zur Bestimmung der Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Untersuchungsperson ausgestaltet. Rechneinheit **113** kann weiterhin eine Datenbank zum Speichern von historischen Werten von Nierenfunktionsparametern umfassen, beispielsweise zur Erstellung einer Eichkurve. Auch können anhand der Magnetresonanzmessung bestimmte Nierenfunktionsparameter in Rechneinheit **113** für eine spätere Verwendung gespeichert werden.

[0040] Zur Aufnahme der Spektroskopiedaten veranlasst Steuereinheit **109** beispielsweise die Durchführung eines Magnetresonanzspektroskopieverfahrens mit der Magnetresonanztanlage **100**. Beispielsweise kann ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren, wie Chemical Shift Imaging (CSI) durchgeführt werden, oder eine Einzelvolumentechnik, bei der ein Spektrum eines Zielvolumens im Untersuchungsbereich **112** aufgezeichnet wird. Die Anregung eines Zielvolumens kann beispielsweise durch aufeinanderfolgende selektive Anregung dreier orthogonaler Schichten erfolgen. Aus dem angeregten Zielvolumen wird dann beispielsweise ein sekundä-

res Spinecho aufgezeichnet, wobei das Spektrum durch nachfolgende Fourier-Transformation des aufgezeichneten Signals erhalten werden kann. Im Spektrum können anschließend in Rechneinheit **113** verschiedene Resonanzen, die von im Zielvolumen vorhandenen Substanzen hervorgerufen werden, identifiziert werden. Beispielsweise durch Auswerten einer Fläche unterhalb einer Resonanz im Spektrum kann weiterhin die Konzentration der zugehörigen Substanz im Zielvolumen bestimmt werden. Bei einem spektroskopischen Bildgebungsverfahren kann dies auch orts aufgelöst erfolgen. Dabei werden beispielsweise nach einem nicht selektiven 90° Hochfrequenzpuls eine Kombination magnetischer Feldgradienten in drei Raumrichtungen geschaltet, um eine Phasenkodierung in drei Dimensionen durchzuführen. Das Kernresonanzsignal kann dann in Abwesenheit von jeglichen Gradienten ausgelesen werden. Wiederholung der Sequenz mit einer Variation der Feldgradienten ergibt die gewünschte Ortsauflösung.

[0041] Die Magnetresonanzmessung zur Aufnahme der Bilddaten kann beispielsweise eine T_2 -gewichtete Spinechosequenz umfassen. Zur Darstellung der sich in der Blase der Untersuchungsperson befindenden Flüssigkeit mit hohem Kontrast werden dazu beispielsweise lange TR- und TE-Zeiten verwendet. Spinechosequenzen zur Erzeugung von Protonenbildern, in denen Flüssigkeit mit hohem Kontrast dargestellt wird, sind dem Fachmann bekannt und werden darum hier nicht näher erläutert. Selbstverständlich können auch andere Magnetresonanzsequenzen verwendet werden, solange sich aus den gewonnenen Bilddaten das Volumen der Harnblase der Untersuchungsperson zumindest näherungsweise bestimmen lässt. Insbesondere können auch Bilddaten von nur einer einzelnen Schicht aufgenommen werden, wobei eine Abschätzung des Volumens der Harnblase dann auf Grundlage eines Modells wie einer Kugel oder eines Spheroids erfolgen kann.

[0042] Das Flussdiagramm in [Fig. 2](#) veranschaulicht beispielhaft eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dieses Verfahren kann beispielsweise vollautomatisch mit der in [Fig. 1](#) gezeigten MR-Anlage **100** durchgeführt werden. Dabei erfolgt zunächst in Schritt **201** eine Magnetresonanzmessung zur Aufnahme von Bilddaten sowie in Schritt **202** eine Magnetresonanzmessung zur Aufnahme von Spektroskopiedaten. Die Bilddaten als auch die Spektroskopiedaten werden aus einem Bereich der Untersuchungsperson aufgenommen, der die Harnblase der Untersuchungsperson enthält. Die Durchführung dieser MR-Messungen wird von Steuereinheit **109** gesteuert. Die gewonnenen Daten werden anschließend in Rechneinheit **113** ausgewertet. Dabei erfolgt in Schritt **203** ein automatisches Bestimmen der Konzentration einer harnpflichtigen Substanz, die die Harnblase der Untersuchungsper-

son enthält, anhand der Spektroskopiedaten. Das Bestimmen der Konzentration kann beispielsweise durch Zuordnen von Peaks im Spektrum zu spezifischen Substanzen sowie durch Abschätzen der Fläche unter den Peaks im Spektrum erfolgen. Die Peaks im Spektrum können anhand ihrer charakteristischen Resonanzfrequenz identifiziert werden, wobei beispielsweise durch vorangegangene Eichmessungen eine Konzentrationsbestimmung ermöglicht wird.

[0043] Wie bereits erwähnt, ist Schritt **202** optional, und die Bestimmung der Konzentration kann ebenfalls anhand der aufgenommenen Bilddaten erfolgen. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn die harnpflichtige Substanz mit einem Markeratom markiert ist, so dass die Bilddaten im Wesentlichen die harnpflichtige Substanz abbilden. Die Intensität des aufgenommenen Magnetresonanzsignals und somit die Intensität eines Bilddatenpunktes hängt dann von der Konzentration der harnpflichtigen Substanz am Ort des Bildpunkts ab. Bei einer derartigen Ausführungsform des Verfahrens kann in Schritt **203** die Konzentration also mit Hilfe einer Bildverarbeitung bestimmt werden, wobei gegebenenfalls eine Eichmessung an einem Phantom zur Eichung der Intensitäten verwendet werden kann.

[0044] Ein automatisches Bestimmen des Volumens der Harnblase anhand der Bilddaten erfolgt in Schritt **204**. Hier kann beispielsweise eine Segmentierung der Harnblase in einem oder mehreren Schichtbildern erfolgen. Dazu können allgemein bekannte Segmentieralgorithmen verwendet werden, beispielsweise ein „Edge Detection“ Algorithmus. Die Harnblase kann zur Volumenbestimmung in einem dreidimensionalen Bilddatensatz segmentiert werden, jedoch ist auch wie erwähnt eine Abschätzung des Volumens anhand eines einzelnen Schichtbilds unter Verwendung eines Modells möglich.

[0045] Mit der berechneten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des abgeschätzten Volumens der Harnblase kann nun in Schritt **205** ein Nierenfunktionsparameter automatisch bestimmt werden. Beispielsweise lässt sich die Menge der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase bestimmen, und damit gegebenenfalls auch die ausgeschiedene Menge der harnpflichtigen Substanz pro Zeit. Auch lässt sich ein Nierenfunktionsparameter wie beispielsweise eine renale Clearance, insbesondere eine glomeruläre Filtrationsrate (GFR) bestimmen. Mit dem beschriebenen Verfahren kann die Bestimmung vollautomatisch in einer relativ kurzen Zeit und mit einer relativ hohen Genauigkeit erfolgen. Weiterhin kann der Nierenfunktionsparameter ohne eine Gabe von Kontrastmittel bestimmt werden. Der bestimmte Nierenfunktionsparameter kann in Rechenereinheit **113** weiter verarbeitet werden, er kann jedoch auch über Anzeige **111** ausgegeben werden

oder in einer Datenbank für eine spätere Verwendung gespeichert werden.

[0046] **Fig. 3** zeigt ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei dieser Ausführungsform wird Inulin als harnpflichtige Substanz verwendet. Vor der Durchführung des eigentlichen Verfahrens wird dabei zunächst in Schritt **301** einer Untersuchungsperson Inulin verabreicht, zum Beispiel intravenös. Die Untersuchungsperson wird anschließend nach einer vorbestimmten Zeit, beispielsweise 30 Minuten, auf der Patientenliege der Magnetresonanztanlage platziert, und eine Aufnahme von Spektroskopie- und Bilddaten wird wie vorab beschrieben durchgeführt (Schritt **302**). Während der vorbestimmten Zeit hat die Niere bereits einen Teil des Inulins aus dem Blutkreislauf der Untersuchungsperson herausgefiltert, wobei dieses zunächst vor einem Ausscheiden in der Harnblase gespeichert wird. Durch fortlaufende Filtration des Bluts durch die Nieren erfolgt dadurch eine Erhöhung der Konzentration des Inulins in der Harnblase der Untersuchungsperson mit der Zeit. Um die Genauigkeit der Bestimmung des Nierenfunktionsparameters zu verbessern, erfolgt in einem nächsten Schritt **303** ein erneutes Aufnehmen von Spektroskopie- und Bilddaten wiederum nach einer vorbestimmten Zeit, beispielsweise 35 oder 40 Minuten nach Verabreichung des Inulins in Schritt **301**. Je nach Anwendung können weitere Schritte folgen, bei denen Spektroskopie- und/oder Bilddaten aufgenommen werden.

[0047] In Schritt **304** wird nun die Konzentration von Inulin in der Harnblase der Untersuchungsperson sowie das Volumen der Harnblase wie vorab beschrieben bestimmt. Eine Verbesserung der Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung kann beispielsweise durch Markierung des Inulins mit ^{13}C erhalten werden. Die eine oder mehreren Magnetresonanzmessungen zur Aufnahme der Bild- und Spektroskopiedaten können beispielsweise mit einer dedizierten ^{13}C -Anregung durchgeführt werden. Damit lässt sich Inulin mit hohem Kontrast darstellen, ebenfalls wird eine Identifizierung des Inulins im aufgenommenen Spektrum sowie eine Bestimmung der Inulinkonzentration in der Harnblase vereinfacht. Werden die Bilddaten ebenfalls während einer Kohlenstoff-MR-Messung aufgenommen, so erfolgt die Darstellung der Harnblase durch das in ihr vorhandene ^{13}C mit starkem Kontrast, was wiederum eine Segmentierung und Volumenbestimmung vereinfacht. Zur Erzielung einer hohen Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung kann weiterhin die MR-Messung parallel an der Harnblase der Untersuchungsperson und an einem Phantom durchgeführt werden. Das Phantom ist beispielsweise eine Probenflasche, die die harnpflichtige Substanz, hier ^{13}C -markiertes Inulin, in einer vorbestimmten Konzentration enthält. Durch Aufnahme des MR-Spektrums des Phantoms lässt sich das von der Harnblase der Untersuchungsperson aufgenom-

mene Spektrum eichen, und folglich eine genaue Konzentrationsbestimmung des ^{13}C -markierten Inulins in der Harnblase durchführen.

[0048] Bei der vorliegenden Ausführungsform soll die glomeruläre Filtrationsrate (GFR) der Nieren als Nierenfunktionsparameter bestimmt werden. Dazu erfolgt zunächst in Schritt **305** das Bestimmen der Menge von Inulin, die von den Nieren der Untersuchungsperson pro Zeiteinheit ausgefiltert wird. Da der zeitliche Abstand zwischen Inulinverabreichung sowie Aufnahme der Spektroskopie- und Bilddaten bekannt ist sowie auf Grundlage des Harnblasenvolumens und der Konzentration von Inulin in der Harnblase die Menge von Inulin in der Harnblase berechnet werden kann, lässt sich die Bestimmung in Schritt **305** mit einfachen Mitteln durchführen. Insbesondere lässt sich für diese Bestimmung die Genauigkeit durch Verwenden der zusätzlich aufgenommenen Spektroskopiedaten und Bilddaten (Schritt **303**) zusätzlich erhöhen.

[0049] In Schritt **306** erfolgt eine Abschätzung des Gesamtplasmavolumens der Untersuchungsperson. Das Blutvolumen kann beispielsweise anhand Größe, Gewicht, Alter oder weiteren Eigenschaften der Untersuchungsperson abgeschätzt werden. Da die Menge an Inulin, die der Untersuchungsperson verabreicht wurde (Schritt **301**) bekannt ist, kann weiterhin in Schritt **307** die anfängliche Inulinkonzentration im Blut der Untersuchungsperson bestimmt werden. Durch Division der in Schritt **305** bestimmten ausgeschiedenen Inulinmenge pro Minute durch die Plasmakonzentration des Inulins kann in Schritt **308** die glomeruläre Filtrationsrate der Nieren der Untersuchungsperson bestimmt werden. Diese Bestimmung kann beispielsweise auch für die mehreren MR-Messungen (Schritt **303**) durchgeführt werden, wobei dann durch Mittelung eine glomeruläre Filtrationsrate mit höherer Genauigkeit bestimmt werden kann. Basierend auf den aufgenommenen Spektroskopiedaten und Bilddaten können allerdings auch andere Verfahren zur Bestimmung der GFR verwendet werden. Beispielsweise kann eine vorab mit Probanden erstellte Eichkurve verwendet werden, um die in Schritt **305** berechnete ausgeschiedene Inulinmenge pro Zeit in die GFR umzurechnen. Natürlich lässt sich die ausgeschiedene Inulinmenge pro Zeit auch direkt als Nierenfunktionsparameter angeben.

[0050] Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit kann dadurch erzielt werden, dass weitere beispielsweise in der MR-Anlage bestimmbare Parameter in die Berechnung mit eingezogen werden. Dazu können beispielsweise eine spektroskopisch bestimmte Konzentration der harnpflichtigen Substanz im Gewebe, ein Herzzeitvolumen der Untersuchungsperson oder ein Blutfluss in einer Nierenarterie der Untersuchungsperson (renaler Plasmafluss) verwendet werden. Eine Aufnahme der harnpflichtigen Substanz im

Gewebe verringert beispielsweise die Konzentration der Substanz im Blutplasma, was die in der Harnblase gemessene Konzentration der Substanz beeinflusst. Das Herzzeitvolumen der Untersuchungsperson ist der Blutfluss in der Aorta der Untersuchungsperson, dieser kann ebenfalls die Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters beeinflussen.

[0051] Selbstverständlich sind eine Vielzahl weiterer Ausführungsformen und Modifikationen der vorab beschriebenen Erfindung denkbar. Beispielsweise können körpereigene Metaboliten, wie zum Beispiel Kreatinin, anstelle von extern zugeführten harnpflichtigen Substanzen gemessen werden. Auch kann die harnpflichtige Substanz ohne Markierung, wie beispielsweise durch ^{13}C , gemessen werden oder unter Verwendung anderer Marker. Wie vorab erwähnt, können unmarkierte extern zugeführte Substanzen, wie Inulin, anhand charakteristischer Eigenschaften von deren Spektrum gemessen werden. Auch ist eine selektive Darstellung der Harnblase nicht nur durch Messung von ^{13}C , das zur Markierung des Inulins benutzt werden kann, erreichbar, sondern auch durch Aufnahme des Bilddatensatzes mit vorbestimmten Bildgebungsparametern.

[0052] [Fig. 4](#) zeigt ein Flussdiagramm einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei dieser Ausführungsform wird das erfindungsgemäße Verfahren vor der Durchführung einer kontrastmittelverstärkten MR-Untersuchung durchgeführt. Der zu untersuchenden Person wird in einem ersten Schritt **401** eine MR-spektroskopisch nachweisbare harnpflichtige Substanz verabreicht. Durch MR-Spektroskopie der ableitenden Harnwege wird in Schritt **402** die Ausscheidung der Substanz durch die Nieren bestimmt. Dies kann nach einem der vorab beschriebenen Verfahren erfolgen. In Schritt **403** erfolgt eine Abschätzung bzw. Berechnung der glomerulären Filtrationsrate der Nieren der Untersuchungsperson. Anhand der GFR kann bestimmt werden, ob die Nierenfunktion der Untersuchungsperson eingeschränkt ist. Diese Bestimmung kann beispielsweise durch Vergleich der GFR mit Werten erfolgen, die einer normalen Nierenfunktion entsprechen. In einem nächsten Schritt **404** erfolgt eine Feststellung, ob der Untersuchungsperson ein Kontrastmittel gegeben werden kann. Bei einer eingeschränkten Nierenfunktion ist beispielsweise eine Gabe bestimmter Kontrastmittel nicht zulässig. Beispielsweise kann in Schritt **404** bestimmt werden, dass eine Gabe von MR-Kontrastmittel zulässig ist, wenn die in Schritt **403** abgeschätzte GFR innerhalb eines vorbestimmten GFR-Bereichs liegt. Schritt **404** kann somit ebenfalls automatisch, zum Beispiel mit einer Rechneinheit, durchgeführt werden. Wurde in Schritt **404** festgestellt, dass Kontrastmittel gegeben werden kann, erfolgt in Schritt **405** die Kontrastmittelgabe und eine anschließende, kontrastmittelgestützte MR-Untersuchung. Darf kein Kontrastmittel gegeben werden,

wird Schritt **405** nicht durchgeführt.

[0053] Die in Bezug auf [Fig. 4](#) beschriebene Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens hat insbesondere Vorteile im Hinblick auf die Tatsache, dass seit dem Entdecken eines Zusammenhangs zwischen der Gabe von MR-Kontrastmittel und der Krankheit nephrogene systemische Fibrose (NSF) einige MR-Kontrastmittel nicht mehr an Untersuchungspersonen mit eingeschränkter Nierenfunktion verabreicht werden dürfen. Soll eine kontrastmittelgestützte MR-Untersuchung durchgeführt werden, ist die Einschränkung der Nierenfunktion jedoch oft zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht bekannt. Mit dem beschriebenen Verfahren lässt sich vor einer Kontrastmittelgabe feststellen, ob eine Einschränkung der Nierenfunktion vorliegt. Insbesondere kann eine Einschränkung der Nierenfunktion mit den zur Verfügung stehenden Mitteln, d. h. mit der MR-Anlage, unmittelbar bestimmt werden. Weiterhin kann die Bestimmung in einer relativ kurzen Zeit erfolgen, ohne dass zunächst auf Laborwerte gewartet werden müsste. Mit der Bestimmung, ob eine Einschränkung der Nierenfunktion vorliegt, lässt sich damit unmittelbar entscheiden, ob ein Kontrastmittel verabreicht werden darf. Diese Entscheidung kann gegebenenfalls auch automatisch erfolgen.

[0054] Selbstverständlich können die Merkmale der vorab beschriebenen Ausführungsformen kombiniert werden. Beispielsweise kann bei dem Verfahren von [Fig. 2](#) auch ein Injizieren einer harnpflichtigen Substanz erfolgen, sowie eine Durchführung weiterer MR-Messungen zur Erhöhung der Genauigkeit. Auch kann in dem anhand [Fig. 3](#) veranschaulichten Verfahren die Aufnahme von Spektroskopiedaten entfallen, und die Konzentrationsbestimmung kann auf Basis der Bilddaten erfolgen. Insbesondere ist dies vorteilhaft, wenn diese Art der Konzentrationsbestimmung mit einer ¹³C-Markierung des Inulins kombiniert wird.

[0055] Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mit der vorliegenden Erfindung ein genaues und schnelles Verfahren zum automatischen Bestimmen eines Nierenfunktionsparameters zur Verfügung gestellt wird. Insbesondere ist das Verfahren im Hinblick darauf vorteilhaft, dass es keine Kontrastmittelgabe erfordert. Bei einer automatischen Durchführung wird weiterhin der Aufwand für Bedienpersonal der MR-Anlage verringert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson (**102**) mit Hilfe der Magnetresonanztomographie, mit den folgenden Schritten:
– Durchführen von mindestens einer Magnetresonanzmessung in einem Untersuchungsbereich (**112**)

der Untersuchungsperson (**102**), der eine Harnblase der Untersuchungsperson umfasst, zur Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten aus dem Untersuchungsbereich, die mindestens Bilddaten umfassen,
– automatisches Bestimmen der Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Untersuchungsperson (**102**) auf Grundlage der aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten,
– automatisches Bestimmen eines Volumens der Harnblase auf Grundlage der aufgenommenen Bilddaten, und
– automatisches Bestimmen des Nierenfunktionsparameters der Nieren der Untersuchungsperson (**102**) auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Magnetresonanzmessdaten des Weiteren Spektroskopiedaten umfassen, und wobei das Bestimmen der Konzentration der harnpflichtigen Substanz auf Grundlage der Spektroskopiedaten erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine Magnetresonanzspektroskopiemessung zur Aufnahme der Spektroskopiedaten und eine bildgebende Magnetresonanzmessung zur Aufnahme der Bilddaten umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen der Konzentration der harnpflichtigen Substanz auf Grundlage der Bilddaten erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die harnpflichtige Substanz Inulin ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die harnpflichtige Substanz eine vorbestimmte Zeit vor der Durchführung der mindestens einen Magnetresonanzmessung in den Blutkreislauf der Untersuchungsperson eingebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die vorbestimmte Zeit für das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die harnpflichtige Substanz ein körpereigener Metabolit der Untersuchungsperson ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die harnpflichtige Substanz Kreatinin ist.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche und Anspruch 2, wobei die Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase auf Grundlage von charakteristischen spektralen Eigenschaften der harnpflichtigen Substanz in den aufgenommenen Spektroskopiedaten bestimmt wird.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die harnpflichtige Substanz mit einem Markeratom markiert ist, und wobei die Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase auf Grundlage von charakteristischen spektralen Eigenschaften des Markeratoms in Spektroskopiedaten, die die aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten umfassen, oder auf Grundlage von durch Markeratome hervorgerufene Intensitäten in den Bilddaten bestimmt wird.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten eines Phantoms umfasst, wobei das Phantom die harnpflichtige Substanz in einer vorbestimmten Konzentration enthält, und wobei die Bestimmung der Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase unter Verwendung der Magnetresonanzmessdaten aus dem Untersuchungsbereich und der Magnetresonanzmessdaten des Phantoms erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Volumens der Harnblase eine Segmentierung der Harnblase in den Bilddaten umfasst.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine bildgebende Messung zur Aufnahme der Bilddaten umfasst, die für eine selektive Darstellung des Harnblasenvolumens konfiguriert ist.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die harnpflichtige Substanz mit einem Markeratom markiert ist, und wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung eine bildgebende Messung umfasst, die für eine selektive Darstellung des Markeratoms konfiguriert ist.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters der Nieren den folgenden Schritt umfasst:

Bestimmen der Menge der harnpflichtigen Substanz, die pro Zeiteinheit von den Nieren ausgefiltert wird, auf Grundlage der bestimmten Konzentration der harnpflichtigen Substanz in der Harnblase und des bestimmten Volumens der Harnblase.

17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Nierenfunktionsparameter eine glomeruläre Filtrationsrate der Nieren der Untersuchungsperson ist.

18. Verfahren nach Anspruch 16 und 17, wobei die glomeruläre Filtrationsrate bestimmt wird durch Zuordnen einer glomerulären Filtrationsrate zu der bestimmten pro Zeiteinheit ausgefilterten Menge der

harnpflichtigen Substanz anhand einer Eichkurve, die auf Grundlage von historischen Daten erstellt wurde.

19. Verfahren nach Anspruch 16 und 17, wobei das Bestimmen der glomerulären Filtrationsrate der Nieren die folgenden Schritte umfasst:

- Durchführen einer Abschätzung eines Gesamtplasmavolumens der Untersuchungsperson,
- Bestimmen einer Konzentration der harnpflichtigen Substanz in dem Plasma der Untersuchungsperson basierend auf dem Gesamtplasmavolumen und einer Menge der harnpflichtigen Substanz, die in den Blutkreislauf der Untersuchungsperson eingebracht wurde, und
- Bestimmen der glomerulären Filtrationsrate basierend auf der bestimmten pro Zeiteinheit ausgefilterten Menge der harnpflichtigen Substanz und der Konzentration der harnpflichtigen Substanz in dem Plasma.

20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Magnetresonanzmessung mehrere Magnetresonanzmessungen zur mehrmaligen Aufnahme von Magnetresonanzmessdaten in vorbestimmten zeitlichen Abständen umfasst, und wobei das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters auf Grundlage der in vorbestimmten zeitlichen Abständen aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten erfolgt.

21. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei des Weiteren mindestens einer der folgenden Parameter für das Bestimmen des Nierenfunktionsparameters verwendet wird:

- eine magnetresonanzspektroskopisch bestimmte Konzentration der harnpflichtigen Substanz im Gewebe der Untersuchungsperson;
- ein Herzzeitvolumen der Untersuchungsperson;
- ein Blutfluss in einer Nierenarterie der Untersuchungsperson.

22. Magnetresonanzenanlage (**100**) für eine Bestimmung eines Nierenfunktionsparameters von Nieren einer Untersuchungsperson (**102**), umfassend:

- eine Aufnahmeeinheit, die zur Durchführung von Magnetresonanzmessungen in einem Untersuchungsbereich (**112**) einer Untersuchungsperson (**102**) ausgestaltet ist;
- eine Steuereinheit (**109**), die die Aufnahmeeinheit derart ansteuert, dass aus einem Untersuchungsbereich (**102**) der Untersuchungsperson, der die Harnblase der Untersuchungsperson umfasst, bei mindestens einer Magnetresonanzmessung Magnetresonanzmessdaten, die mindestens Bilddaten umfassen, aufgenommen werden;
- eine Rechneinheit (**113**), die zum Durchführen der folgenden Schritte ausgestaltet ist:
 - automatisches Bestimmen der Konzentration einer harnpflichtigen Substanz in der Harnblase der Unter-

suchungsperson auf Grundlage der aufgenommenen Magnetresonanzmessdaten,

- automatisches Bestimmen eines Volumens der Harnblase auf Grundlage der aufgenommenen Bild-
daten, und
- automatisches Bestimmen des Nierenfunktionspa-
rameters der Nieren der Untersuchungsperson auf
Grundlage der bestimmten Konzentration der harn-
pflichtigen Substanz in der Harnblase und des be-
stimmten Volumens der Harnblase.

23. Magnetresonanzanlage nach Anspruch 22, wobei die Magnetresonanzanlage derart ausgestaltet ist, dass sie gemäß einem Verfahren nach einem der Patentansprüche 2–21 arbeitet.

24. Elektronisch lesbare Datenträger mit darauf gespeicherten elektronisch lesbaren Steuerinformationen, welche derart ausgestaltet sind, dass sie bei Verwendung des Datenträgers in einem Rechnersystem das Verfahren nach einem der Ansprüche 1–21 durchführen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 1

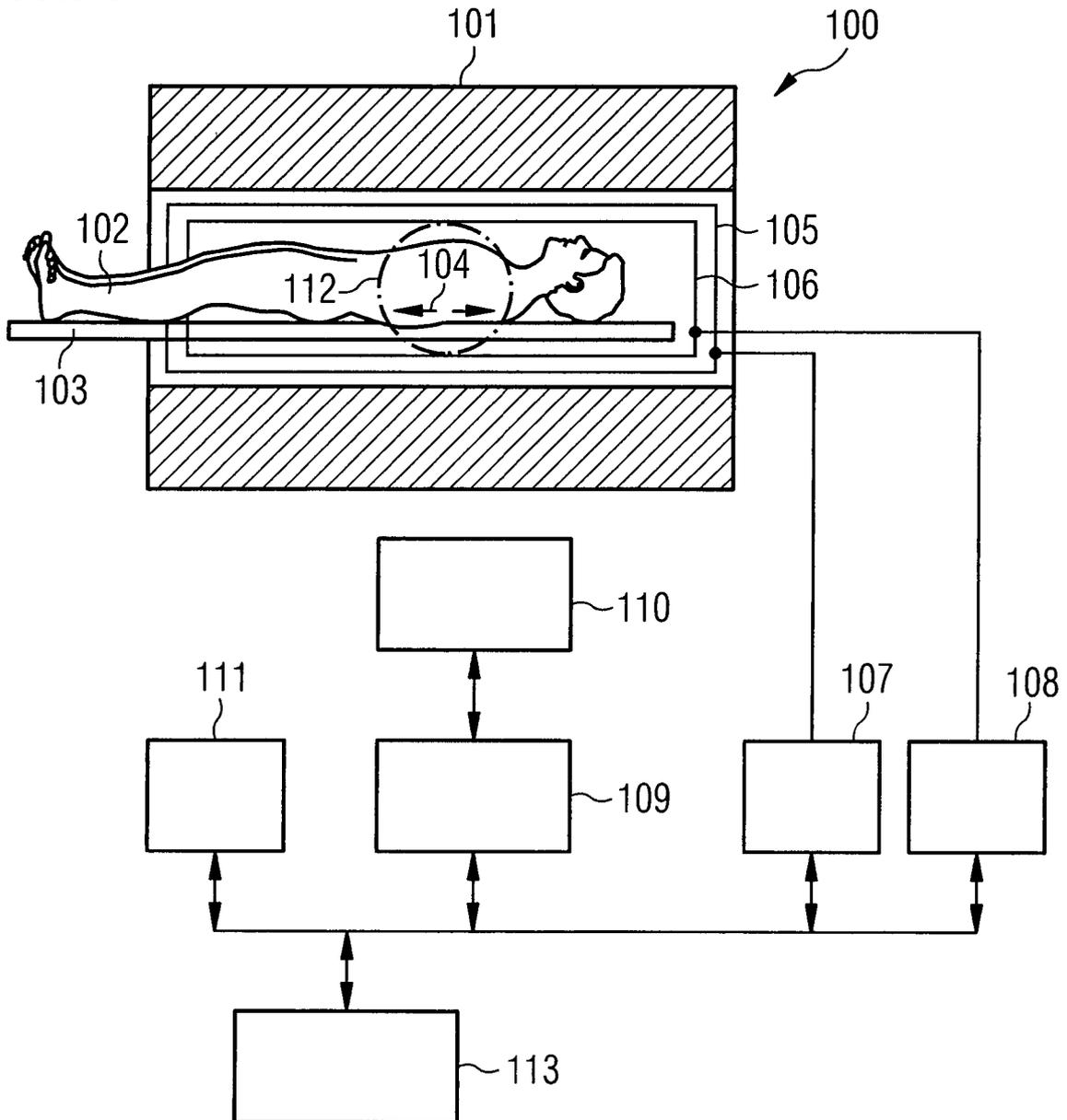


FIG 2

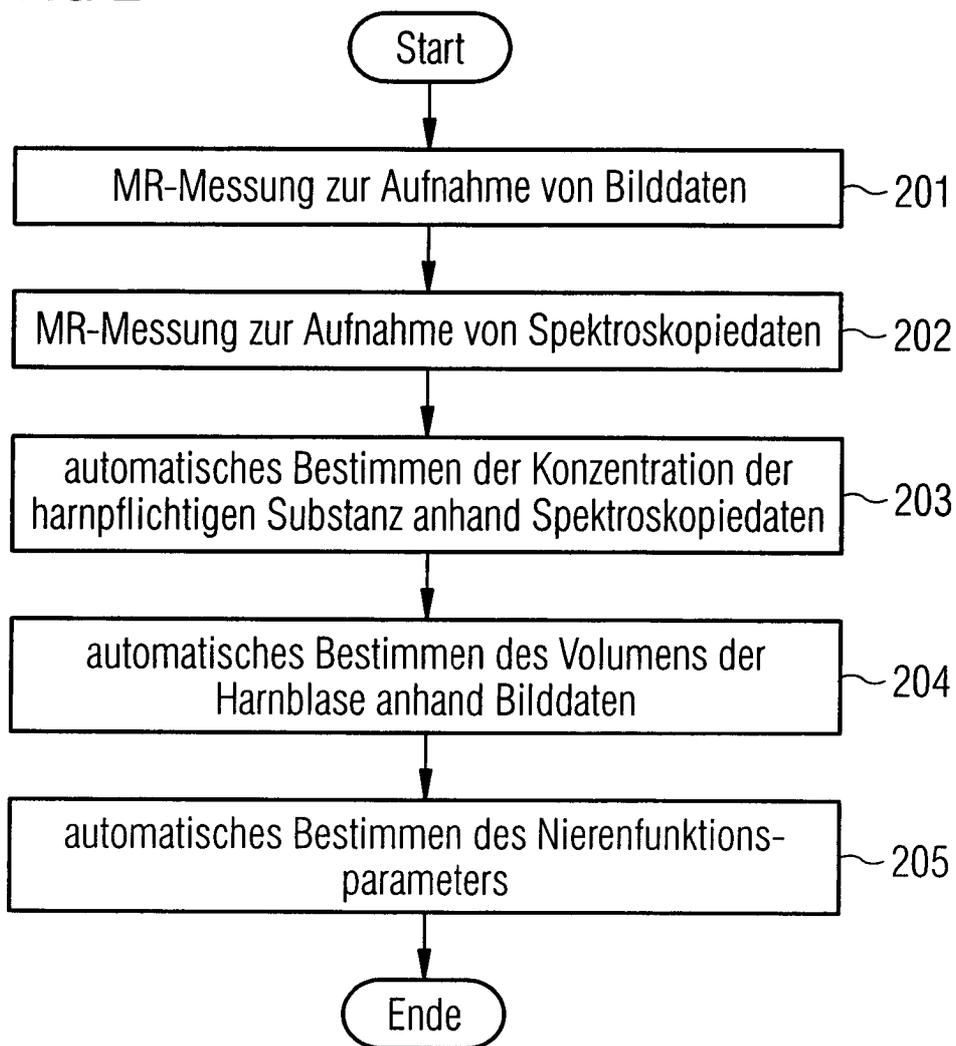


FIG 3

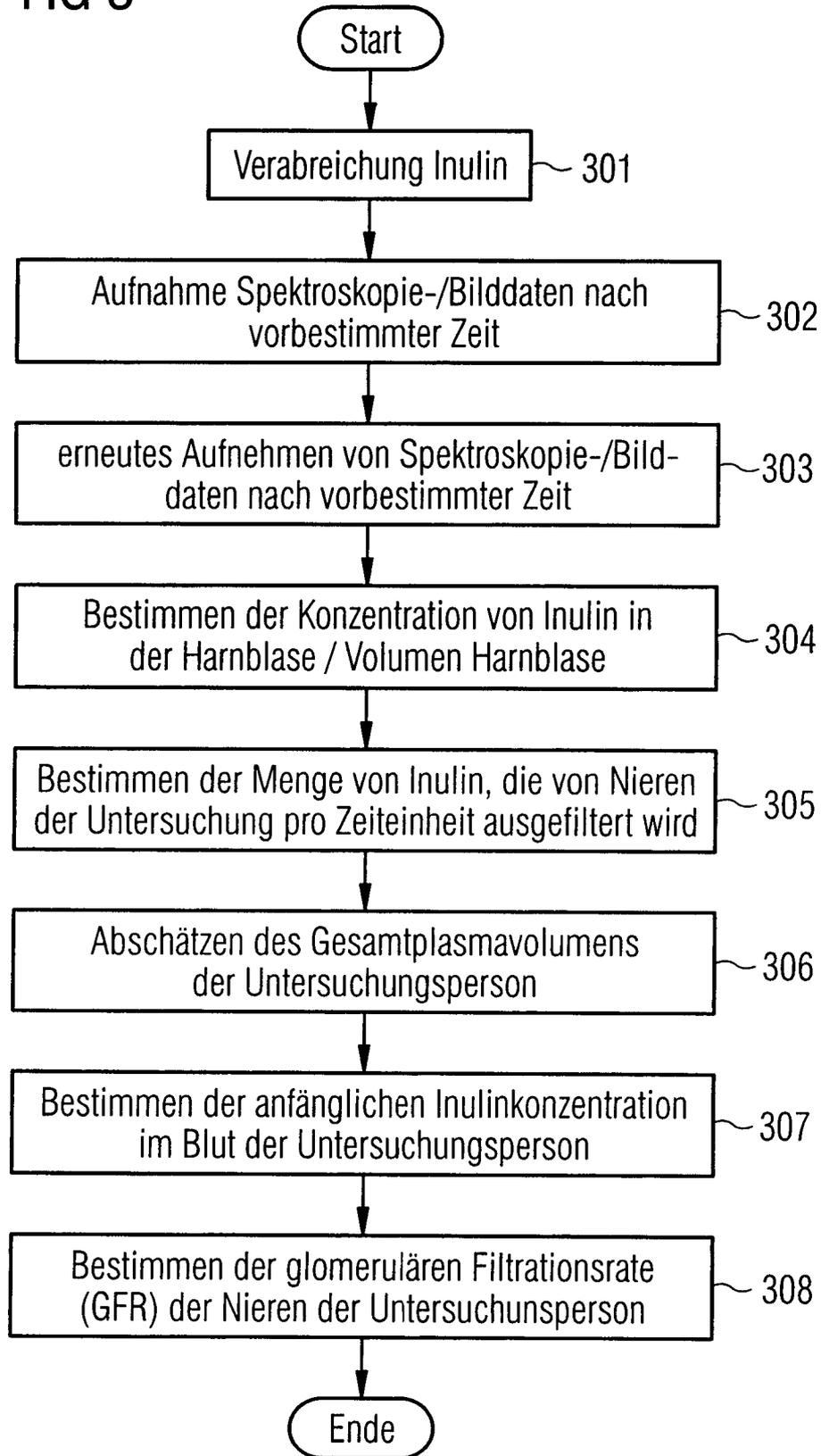


FIG 4

