



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 210 292.0**  
(22) Anmeldetag: **03.06.2015**  
(43) Offenlegungstag: **08.12.2016**

(51) Int Cl.: **G01R 33/483 (2006.01)**  
**A61B 5/055 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Siemens Healthcare GmbH, 91052 Erlangen, DE**

(72) Erfinder:  
**Grodzki, David, Dr., 91054 Erlangen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

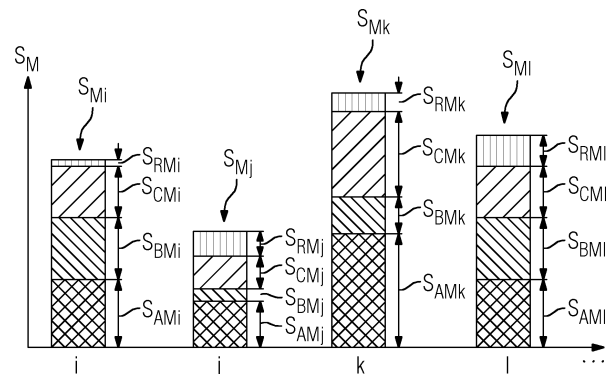
**US 2006 / 0 293 587 A1**  
**US 2008 / 0 284 433 A1**  
**US 2014 / 0 167 754 A1**  
**WO 2014/ 047 326 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Ermittlung von Substanzgewichtungen anhand von Magnetresonanzsignalen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements sowie eine Magnetresonanzvorrichtung und Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens. Das Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Magnetresonanzsignalen, die durch Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit zumindest einer Komponente des Volumenelements erzeugt werden, umfasst folgende Schritte: Es werden mehrere Signalverläufe bereitgestellt, die einen Auswertungssignalverlauf der Magnetresonanzsignale und zumindest einen Datenbanksignalverlauf umfassen. Anhand der Signalverläufe werden für die zumindest eine Komponente des Volumenelements Gewichtungsfaktoren ermittelt. Dabei umfasst jeder Signalverlauf jeweils mehrere korrespondierende Auswertungspunkte, denen jeweils ein Signalwert zugeordnet ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Magnetresonanzsignalen sowie eine Magnetresonanzvorrichtung und Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens.

**[0002]** Im Vergleich zur Computertomographie (CT) können mittels Magnetresonanztomographie (MRT) in der klinischen Bildgebung Abbildungen von Untersuchungsobjekten mit einem deutlich höheren Weichteilkontrast erzeugt werden. Während jedoch bei der CT quantitative Werte, wie Hounsfield-Einheiten, gemessen werden können, wird in der MR-Bildgebung meist nur ein qualitativ gewichtetes Bild geliefert. Quantitative MRT-Bildgebungsverfahren, bei denen z.B. die Relaxationszeiten gemessen werden, haben sich bisher nicht durchgesetzt, da sie oft zu ungenau und/oder zu langsam sind.

**[0003]** Ein neues und vielversprechendes quantitatives MR- Bildgebungsverfahren, das die beschriebenen Probleme lösen könnte, ist die Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode (MRF). Eine mögliche MRF-Methode ist beispielsweise aus der Druckschrift Ma et al., Magnetic Resonance Fingerprinting, Nature 495 (2013) 187–192 bekannt. In diesem Verfahren wird durch pseudorandomisierte Verläufe von unter anderem Flipwinkel und/oder HF-Pulsphase und/oder Repetitionszeit TR und/oder Echozeit TE und/oder Inversionszeit TI über eine große Anzahl von Bildern, beispielsweise 1000 bis 5000, pixel- und/oder voxelweise ein spezifischer Signalverlauf, d.h. ein Fingerabdruck (engl. fingerprint) generiert. Dieser Fingerabdruck kann mit Hilfe einer Datenbank eineindeutig einem bestimmten n-Tupel physikalischer Werte, wie z.B. T1-Zeit, T2-Zeit, Off-Resonance, und damit einem einzelnen Stoff, wie etwa Liquor, graue Gehirnmasse usw., zugeordnet werden.

**[0004]** Oft enthält jedoch ein Volumenelement des Untersuchungsobjekts, das durch einen Pixel und/oder einen Voxel repräsentiert wird, nicht nur einen einzelnen Stoff, sondern mehrere Komponenten.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, auf vorteilhafte Weise eine Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Magnetresonanzsignalen zu quantifizieren.

**[0006]** Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

**[0007]** Ein bevorzugtes Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Ma-

gnetresonanzsignalen, die durch Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit zumindest einer Komponente des Volumenelements erzeugt werden, umfasst folgende Schritte: Es werden mehrere Signalverläufe bereitgestellt, die einen Auswertungssignalverlauf der Magnetresonanzsignale und zumindest einen Datenbanksignalverlauf umfassen. Anhand der Signalverläufe werden für die zumindest eine Komponente des Volumenelements Gewichtungsfaktoren ermittelt. Dabei umfasst jeder Signalverlauf jeweils mehrere korrespondierende Auswertungspunkte, denen jeweils ein Signalwert zugeordnet ist.

**[0008]** Die Bereitstellung der mehreren Signalverläufe kann mit Hilfe einer Bereitstellungseinheit erfolgen. Die Bereitstellungseinheit kann einen oder mehrere Datenspeicher, z.B. eine Festplatte, umfassen, auf der die Magnetresonanzsignale abgelegt sind.

**[0009]** Die Gewichtungsfaktoren einer bestimmten Komponente stellen vorteilhafterweise jeweils ein Maß für einen Anteil der entsprechenden Komponente an der Gesamtheit aller Komponenten dar, die von dem Volumenelement des Untersuchungsobjekts umfasst wird. Der Anteil einer Komponente kann sich beispielsweise auf das Gewicht und/oder auf die Stoffmenge und/oder auf das Volumen und/oder die Protonenzahl der Komponente beziehen. Die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren kann mit Hilfe einer Auswerteeinheit erfolgen. Um die Gewichtungsfaktoren zu ermitteln, können beispielsweise die Magnetresonanzsignale von einer Festplatte abgerufen werden und mittels einer Datenübertragungseinheit an die Auswerteeinheit übermittelt werden.

**[0010]** Ein Signalverlauf basiert üblicherweise auf einer Pulssequenz, mit der Signalwerte ermittelt werden, die vom Signalverlauf umfasst werden. Zur Bereitstellung des Auswertungssignalverlaufs werden vorteilhafterweise in einem vorangehenden Schritt Magnetresonanzsignale mittels einer Magnetresonanzvorrichtung unter Anwendung der Pulssequenz gemessen. Die Datenbanksignalverläufe können unter Anwendung der Pulssequenz beispielsweise in einer Kalibrierungsmessung ermittelt werden und/oder simuliert und/oder berechnet werden.

**[0011]** Jeder Signalverlauf umfasst üblicherweise mehrere Signalwerte, beispielsweise 1000 bis 5000 Signalwerte. Die Signalwerte sind insbesondere abhängig zwei Einflussgrößen: Einerseits von der durch die Pulssequenz bedingten Anregung und Erfassung etwaiger Magnetresonanzsignale, wobei sich diese Einflussgröße an korrespondierenden Auswertungspunkten von Signalverlauf zu Signalverlauf idealerweise nicht unterscheidet, und andererseits von der Wechselwirkung der eingestrahlten elektromagnetischen Wellen mit der zumindest einen Komponente des Volumenelements des Untersuchungsobjekts.

**[0012]** Demzufolge sind insbesondere die resultierenden Signalwerte an korrespondierenden Auswertungspunkte identisch, sofern auch das Volumenelement des Untersuchungsobjekts, in dem das Magnetresonanzsignal erzeugt wird, identisch ist, also insbesondere die gleichen Komponenten umfasst.

**[0013]** Insbesondere bei Signalverläufen, die viele, beispielsweise mehr als 10 oder mehr als 100 oder mehr als 1000, Signalwerte umfassen, werden zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren vorteilhafterweise jedoch nicht alle, sondern nur ein Teil der Signalwerte ausgewertet, d.h. es werden nur Signalwerte an den jeweils mehreren Auswertungspunkten verwendet. Durch diese Beschränkung der zu verarbeitenden Eingangswerte kann die notwendige Rechenzeit und/oder der Berechnungsaufwand zur Quantifizierung der Zusammensetzung minimiert werden. Dadurch können einem Bediener einer Magnetresonanzvorrichtung, beispielsweise einem Arzt, die ermittelten Gewichtungsfaktoren schnell zur Verfügung gestellt werden. Bevorzugt werden also in einem weiteren Schritt die ermittelten Gewichtungsfaktoren einem Bediener bereitgestellt.

**[0014]** Die mehreren korrespondierenden Auswertungspunkte entsprechen sich von Signalverlauf zu Signalverlauf, d.h. die zu einem korrespondierenden Auswertungspunkt zugehörigen Signalwerte verschiedener Signalverläufe resultieren üblicherweise aus denselben Aufnahmeparametern und/oder Simulationsparametern. Für korrespondierende Auswertungspunkte werden also typischerweise dieselbe Art und Weise der Anregung und Erfassung etwaiger Magnetresonanzsignale zugrunde gelegt, wobei die Anregung und Erfassung etwaiger Magnetresonanzsignale experimentell gemessen, insbesondere mittels einer Magnetresonanzvorrichtung, und/oder theoretisch simuliert, insbesondere mittels eines Computers, werden kann.

**[0015]** Insbesondere können korrespondierende Auswertungspunkte zweier Signalverläufe an unterschiedlichen Stellen innerhalb der Signalverläufe auftreten. Dies kann beispielsweise dadurch bedingt sein, weil die Pulssequenzen, die den zwei Signalverläufe zugrunde liegen, identische Abschnitte aufweisen, die an unterschiedlichen Stellen innerhalb der Pulssequenz angeordnet sind.

**[0016]** Vereinfachend bietet es sich jedoch an, die Signalverläufe, beispielsweise einen ersten und einen zweiten Signalverlauf, auf Basis derselben Pulssequenz zu erzeugen, um korrespondierende Auswertungspunkte zu erhalten. Daraus resultieren Signalverläufe mit jeweils einem ersten Signalwert, einem zweiten Signalwert, usw. Einem korrespondierenden Auswertungspunkt des ersten Signalverlaufs ist dann beispielsweise der zweite Signalwert des ersten Signalverlaufs zugeordnet. Dieser Auswer-

tungspunkt des ersten Signalverlaufs korrespondiert mit einem Auswertungspunkt des zweiten Signalverlaufs, der dem zweiten Signalwert des zweiten Signalverlaufs zugeordnet ist, da sich der erste und der zweite Signalverlauf aus derselben Pulssequenz ergeben.

**[0017]** Bevorzugt werden die Signalverläufe gemäß einer Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode erzeugt, da sich diese besonders gut für quantitative Messungen eignen. So weist üblicherweise eine der Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode zugrunde liegende Pulssequenz eine abschnittsweise Variation von zumindest einem, bevorzugt von zumindest zwei, besonders bevorzugt von zumindest drei der folgenden Parameter von Abschnitt zu Abschnitt: ein Flipwinkel, eine Phase eines HF-Pulses, eine Repetitionszeit TR, eine Echozeit TE, eine Inversionszeit TI, ein Abtastmuster. Eine derartige Variation von Aufnahmeparametern erlaubt eine sehr freie und flexible Gestaltung der pseudozufälligen Anregungssequenz.

**[0018]** Bevorzugt wird das Volumenelement durch ein Voxel und/oder Pixel einer MR-Abbildung abgebildet. Beispielsweise können aus etwaigen in einem vorangehenden Schritt gemessenen Magnetresonanzsignalen eine oder mehrere MR-Abbildungen erzeugt werden. Diese MR-Abbildungen können zumindest ein Voxel und/oder Pixel umfassen, welche jeweils ein Volumenelement abbilden.

**[0019]** Vorteilhafterweise können einem Bediener einer Magnetresonanzvorrichtung voxel- und/oder pixelabhängig zusätzliche Informationen die quantifizierte Zusammensetzung des zugehörigen Volumenelements betreffend bereitgestellt werden. Es ist z.B. denkbar, dass dem Bediener durch Bewegen eines Mauszeigers (engl. cursor) auf ein Voxel und/oder Pixel der MR-Abbildung zusätzliche Information über die Komponenten des entsprechenden Volumenelements angezeigt werden. Ferner ist denkbar, dass dem Bediener Zusammensetzungsarten des Untersuchungsobjekts angezeigt werden, die beispielsweise eine ortsabhängige Konzentration einer Komponente farbkodiert visualisieren.

**[0020]** Eine Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest eine Gesamtanzahl an möglichen Komponenten festgelegt wird. Durch diese Randbedingung kann die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren vereinfacht werden. Die Anzahl tatsächlich von dem Volumenelement umfassten Komponenten kann selbstverständlich auch größer oder kleiner sein als die a priori festgelegte Gesamtzahl möglicher Komponenten. Vorteilhafter werden bei der Festlegung der Gesamtanzahl an möglichen Komponenten Erfahrungswerte und/oder andere A-priori-Informationen herangezogen, die beispielsweise von der Lage des be-

trachteten Volumenelements innerhalb des Untersuchungsobjekts abhängig sind. Je nach Untersuchungsregion können möglicherweise verschiedene Gewebetypen unterstellt werden, wodurch eine sinnvolle Eingrenzung der Gesamtanzahl an möglichen Komponenten ermöglicht werden kann.

**[0021]** Bevorzugt wird zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest eine postulierte Komponente festgelegt. Dabei ist vorteilhafterweise jeder der zumindest einen postulierten Komponente jeweils ein Datenbanksignalverlauf zugeordnet. Durch diese Randbedingung kann die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren vereinfacht werden. Bei der zumindest einen postulierten Komponente handelt es sich sinnvollerweise um eine oder mehrere Komponenten, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vom betrachteten Volumenelement des Untersuchungsobjekts umfasst werden. Bevorzugt wird bei der Ermittlung von Gewichtungsfaktoren davon ausgegangen, dass postulierten Komponenten in dem betrachteten Volumenelement vorhanden sind, d.h. es wird zu jeder postulierten Komponente ein Gewichtungsfaktor, insbesondere größer Null, ermittelt.

**[0022]** Vorteilhafter werden bei der Festlegung der postulierten Komponenten Erfahrungswerte und/oder andere A-priori-Informationen herangezogen, die beispielsweise abhängig sind von der Lage des betrachteten Volumenelements innerhalb des Untersuchungsobjekts. Je nach Untersuchungsregion können möglicherweise verschiedene Gewebetypen unterstellt werden, wodurch eine sinnvolle Eingrenzung postulierter Komponenten ermöglicht werden kann. Die Anzahl der festgelegten postulierten Komponenten ist bevorzugt kleiner oder gleich einer möglicherweise festgelegten Gesamtanzahl an möglichen Komponenten.

**[0023]** Eine Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren mehrere potentielle Komponenten festgelegt werden, wobei jeder der mehreren potentiellen Komponenten jeweils ein Datenbanksignalverlauf zugeordnet ist. Aus den mehreren potentiellen Komponenten wird zumindest eine resultierende Komponente ermittelt.

**[0024]** Bei der zumindest einen potentielle Komponente handelt es sich üblicherweise um eine oder mehrere Komponenten, die mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit vom betrachteten Volumenelement eines Untersuchungsobjekts umfasst werden. Bevorzugt wird bei der Ermittlung von Gewichtungsfaktoren davon ausgegangen, dass potentielle Komponenten in dem betrachteten Volumenelement möglicherweise vorhanden sind, d.h. die potentielle Komponenten sind im Gegensatz zu den postulierten Komponenten nur Kandidaten als Bestandteile des betrachteten Volumenelement des Untersuchungsobjekts. Demzufolge sollte üblicherweise die Wahrscheinlichkeit, vom

betrachteten Volumenelement eines Untersuchungsobjekts umfasst zu sein, für potentielle Komponenten geringer sein als für postulierte Komponenten.

**[0025]** Vorteilhafter werden bei der Festlegung der potentiellen Komponenten Erfahrungswerte und/oder andere A-priori-Informationen herangezogen, die beispielsweise abhängig sind von der Lage des betrachteten Volumenelements innerhalb des Untersuchungsobjekts. Je nach Untersuchungsregion können möglicherweise verschiedene Gewebetypen unterstellt werden, wodurch eine sinnvolle Eingrenzung potentieller Komponenten ermöglicht werden kann.

**[0026]** Die potentiellen Komponenten bilden eine Menge von potentiellen Komponenten. Bevorzugt weist die zumindest eine ermittelte resultierende Komponente aus der Menge der potentiellen Komponenten eine höhere Wahrscheinlichkeit auf, vom betrachteten Volumenelement eines Untersuchungsobjekts umfasst zu sein, als die übrigen Komponente aus der Menge der potentiellen Komponenten. Daher wird bei der Ermittlung der zumindest eine resultierende Komponente vorteilhafterweise ein Wahrscheinlichkeitsmaß ermittelt, anhand dessen die zumindest eine resultierende Komponente bestimmt wird.

**[0027]** Weiterhin wird vorgeschlagen, dass für jede der festgelegten potentiellen Komponenten mehrere Gewichtungsfaktoren berechnet werden, wobei die zumindest eine resultierende Komponente eine minimale Abweichung der mehreren Gewichtungsfaktoren aufweist.

**[0028]** Beispielsweise können die mehreren Gewichtungsfaktoren einer potentiellen Komponente berechnet werden, indem an mehreren korrespondierenden Auswertungspunkten und/oder für mehrere Gruppen von korrespondierenden Auswertungspunkten jeweils ein Gewichtungsfaktor berechnet wird.

**[0029]** Für die mehreren Gewichtungsfaktoren einer potentiellen Komponente kann eine Abweichung ermittelt werden, z.B. eine Standardabweichung (engl. standard deviation), und/oder eine Varianz (engl. variance). Auch weitere statistische Methoden zur Bestimmung der Abweichung sind vorstellbar. Insbesondere kann eine Standardabweichung und/oder Varianz in Relation zu einem Mittelwert der Gewichtungsfaktoren gesetzt werden. Die ermittelte Abweichung stellt vorteilhafterweise also ein Maß für die Streuung der Gewichtungsfaktoren dar und insbesondere ein Wahrscheinlichkeitsmaß, anhand dessen die zumindest eine resultierende Komponente bestimmt werden kann. So zeigt eine geringe Abweichung der Gewichtungsfaktoren einer potentiellen Komponente üblicherweise eine hohe Wahrscheinlichkeit an, dass die potentielle Komponente tatsächlich von dem

Volumenelement des Untersuchungsobjekts umfasst wird.

**[0030]** Wie bereits beschrieben kann unter Anwendung einer bestimmten Pulssequenz aus den üblicherweise ortskodierten Magnetresonanzsignalen für zumindest ein Volumenelement des Untersuchungsobjekts der Auswertungssignalverlauf ermittelt werden, der üblicherweise mehrere Signalwerte umfasst. Anhand des Auswertungssignalverlaufs wird üblicherweise jeweils ein Gewichtungsfaktor für die zumindest eine Komponente des Volumenelements, insbesondere für postulierte und/oder resultierende Komponenten, ermittelt. Aus diesen ermittelten Gewichtungsfaktoren kann für jede der besagten Komponenten ihr Anteil an der Gesamtheit aller Komponenten des Volumenelements des Untersuchungsobjekts ermittelt werden. Der zur Gesamtheit aller Komponenten fehlende Anteil kann als residueller Anteil bezeichnet werden.

**[0031]** Es wird vorgeschlagen, dass ein residueller Signalverlauf ermittelt wird, anhand dessen durch Abgleich mit mehreren Datenbanksignalverläufen zumindest eine Komponenteninformation ermittelt wird. Insbesondere kann der residuale Signalverlauf durch Subtraktion von ermittelten Signalanteilen von den Signalwerten des Auswertungssignalverlaufs ermittelt werden, d.h. für den residuellen Anteil kann ein residueller Signalverlauf ermittelt werden, indem für die besagten Komponenten, also insbesondere für postulierte und/oder resultierende Komponenten, anhand ihrer Gewichtungsfaktoren Signalanteile berechnet werden, deren Summe von den Signalwerten des Auswertungssignalverlauf jeweils subtrahiert werden. Eine Möglichkeit zur Berechnung der Signalanteile ist eine Multiplikation der Signalwerte der zu den besagten Komponenten zugehörigen Datenbanksignalverläufe mit den ermittelten Anteilen der Komponenten.

**[0032]** Mit anderen Worten kann der residuale Anteil auf mehrere, insbesondere alle, Signalwerte des Auswertungssignalverlaufs angewendet werden, so dass daraus ein residueller Signalverlauf resultiert.

**[0033]** Aus diesem residualen Signalverlauf kann wiederum gemäß einer Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode durch Datenbankabgleich zumindest eine weitere Komponente bestimmt werden, d.h. es wird zumindest eine Komponenteninformation ermittelt.

**[0034]** Bevorzugt werden die Gewichtungsfaktoren anhand eines Mittelwertes vorläufiger Gewichtungsfaktoren ermittelt. So können für die jeweiligen Komponenten jeweils mehrere vorläufige Gewichtungsfaktoren ermittelt werden, über die dann ein Mittelwert gebildet wird. Bei dem Mittelwert kann es sich beispielsweise um einen arithmetischen und/oder einen

geometrischen Mittelwert handeln. Durch die Mittelwertbildung kann die Genauigkeit der ermittelten Gewichtungsfaktoren gesteigert werden.

**[0035]** Eine Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest ein, insbesondere lineares, Gleichungssystem erstellt und gelöst wird, wobei jedes des zumindest einen Gleichungssystems mehrere Gleichungen umfasst. Bevorzugt bezieht sich jede der mehreren Gleichungen auf jeweils einen der korrespondierenden Auswertungspunkte.

**[0036]** Bevorzugt sind der Signalwert des Auswertungssignalverlaufs am korrespondierenden Auswertungspunkt sowie Signalwerte von Datenbanksignalverläufen etwaiger Komponenten, insbesondere postulierter und/oder potentieller Komponenten, am korrespondierenden Auswertungspunkt Eingangsgrößen einer Gleichung, z.B.  $S_M = g_A \cdot S_A + g_B \cdot S_B + g_C \cdot S_C + \dots$ , wobei  $S_M$  der Signalwert des Auswertungssignalverlaufs am korrespondierenden Auswertungspunkt,  $S_A$  der Signalwert des Datenbanksignalverlaufs der Komponente A am korrespondierenden Auswertungspunkt,  $S_B$  der Signalwert des Datenbanksignalverlaufs der Komponente B am korrespondierenden Auswertungspunkt,  $S_C$  der Signalwert des Datenbanksignalverlaufs der Komponente C am korrespondierenden Auswertungspunkt,  $g_A$  der Gewichtungsfaktor der Komponente A,  $g_B$  der Gewichtungsfaktor der Komponente B,  $g_C$  der Gewichtungsfaktor der Komponente C sind. Gleichungssysteme, insbesondere lineare Gleichungssysteme, lassen sich mit bekannten Methoden relativ einfach lösen, so dass das Verfahren schnell angewendet werden kann.

**[0037]** Bevorzugt werden mehrere Gleichungssysteme erstellt und gelöst, wobei sich jedes der mehreren Gleichungssysteme auf eine unterschiedliche Zusammenstellung von korrespondierenden Auswertungspunkten bezieht. Insbesondere ist die Zusammenstellung von Auswertungspunkten aus aufeinander folgenden Verlaufpositionen und/oder zufällig gewählten Verlaufpositionen zusammengestellt.

**[0038]** Durch die daraus resultierenden mehreren Lösungen der Gleichungssysteme, können z.B. mehrere vorläufige Gewichtungsfaktoren ermittelt werden. Dadurch erhöht sich die statistische Basis, die beispielsweise für eine etwaige Mittelwertbildung der Gewichtungsfaktoren dienen kann. Als Verlaufposition kann die Position des Signalwertes innerhalb des Signalverkaufs verstanden werden.

**[0039]** Bevorzugt umfasst das zumindest eine Gleichungssystem nur maximal so viele Gleichungen, wie für eine eindeutige Lösung des Gleichungssystems notwendig ist, d.h. üblicherweise enthält das Gleichungssystem bei N unbekanntem Größen N unabhängige Gleichungen. Insbesondere ist die Anzahl

der Gleichungen eines des zumindest einen Gleichungssystems gleich einer Anzahl der zu ermittelnden Gewichtungsfaktoren. Dadurch kann die Anzahl an zu lösenden Gleichungen und damit auch der Rechenzeit minimiert werden.

**[0040]** Zudem wird eine Magnetresonanzvorrichtung vorgeschlagen, die ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 auszuführen. Die Magnetresonanzvorrichtung weist bevorzugt eine Bereitstellungseinheit auf, um mehrere Signalverläufe bereitzustellen. Die Bereitstellungseinheit kann einen oder mehrere Datenspeicher umfassen, z.B. eine Festplatte, auf der Signalverläufe abgelegt sind. Darüber hinaus kann die Magnetresonanzvorrichtung eine Datenübertragungseinheit und eine Auswerteeinheit umfassen, wobei die Datenübertragungseinheit ausgebildet ist, Signalverläufe an die Auswerteeinheit zu übermitteln. Bevorzugt ist die Auswerteeinheit ausgelegt, auf Basis der übermittelten Signalverläufe Gewichtungsfaktoren zu ermitteln.

**[0041]** Die Vorteile der erfindungsgemäßen Magnetresonanzvorrichtung entsprechen im Wesentlichen den Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Magnetresonanzsignalen, welche vorab im Detail ausgeführt sind. Hierbei erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen können ebenso auch auf die anderen beanspruchten Gegenstände übertragen werden und umgekehrt.

**[0042]** Ferner wird ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, welches ein Programm umfasst und direkt in einen Speicher einer Auswerteeinheit einer Magnetresonanzvorrichtung ladbar ist, mit Programmmitteln, um ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 auszuführen, wenn das Programm in der Auswerteeinheit der Magnetresonanzvorrichtung ausgeführt wird.

**[0043]** Das Computerprogrammprodukt kann dabei eine Software mit einem Quellcode, der noch kompiliert und gebunden oder der nur interpretiert werden muss, oder einen ausführbaren Softwarecode umfassen, der zur Ausführung nur noch in eine Systemsteuereinheit der Magnetresonanzvorrichtung zu laden ist. Durch das Computerprogrammprodukt kann das erfindungsgemäße Verfahren schnell, identisch wiederholbar und robust ausgeführt werden. Das Computerprogrammprodukt ist so konfiguriert, dass es mittels der Systemsteuereinheit die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte ausführen kann. Die Systemsteuereinheit muss dabei jeweils die Voraussetzungen wie beispielsweise einen entsprechenden Arbeitsspeicher, eine entsprechende Grafikkarte oder eine entsprechende Logikeinheit aufweisen, so dass die jeweiligen Verfahrensschritte effizient ausgeführt werden können. Das Computer-

programmprodukt ist beispielsweise auf einem computerlesbaren Medium gespeichert oder auf einem Netzwerk oder Server hinterlegt, von wo es in einen Prozessor der Systemsteuereinheit geladen werden kann. Beispiele für computerlesbare Medien sind eine DVD, ein Magnetband oder einen USB-Stick, auf welchem elektronisch lesbare Steuerinformationen, insbesondere Software, gespeichert ist. So kann die Erfindung auch von dem besagten computerlesbaren Medium ausgehen.

**[0044]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0045]** Es zeigen:

**[0046]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines mehrere Komponenten umfassenden Volumenelements,

**[0047]** Fig. 2 ein Blockdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0048]** Fig. 3 ein Blockdiagramm eines erweiterten erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0049]** Fig. 4 Signalwerte aus drei komponentenspezifischen Datenbanksignalverläufen,

**[0050]** Fig. 5 Signalwerte aus einem Auswertungssignalverlauf,

**[0051]** Fig. 6 Signalwerte aus einem residualen Signalverlauf,

**[0052]** Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Magnetresonanzvorrichtung.

**[0053]** In Fig. 7 ist eine Magnetresonanzvorrichtung **10** schematisch dargestellt. Die Magnetresonanzvorrichtung **10** umfasst eine Magneteinheit **11**, die einen supraleitenden Hauptmagneten **12** zu einem Erzeugen eines starken und insbesondere zeitlich konstanten Hauptmagnetfelds **13** aufweist. Zudem umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **10** einen Patientenaufnahmebereich **14** zu einer Aufnahme eines Untersuchungsobjekts **15**, beispielsweise einem Patienten. Der Patientenaufnahmebereich **14** im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist zylinderförmig ausgebildet und in einer Umfangsrichtung von der Magneteinheit **11** zylinderförmig umgeben. Grundsätzlich ist jedoch eine davon abweichende Ausbildung des Patientenaufnahmebereichs **14** jederzeit denkbar. Der Patient **15** kann mittels einer Patientenlagerungsvorrichtung **18** der Magnetresonanzvorrichtung **10** in den Patientenaufnahmebereich **14** ge-

schoben werden. Die Patientenlagerungsvorrichtung **18** weist hierzu einen innerhalb des Patientenaufnahmebereichs **14** bewegbar ausgestalteten Patiententisch **17** auf.

**[0054]** Die Magneteinheit **11** weist weiterhin eine Gradientenspuleneinheit **18** zu einer Erzeugung von Magnetfeldgradienten auf, die für eine Ortskodierung während einer Bildgebung verwendet werden. Die Gradientenspuleneinheit **18** wird mittels einer Gradientensteureinheit **19** der Magnetresonanzvorrichtung **10** gesteuert. Die Magneteinheit **11** umfasst weiterhin eine Hochfrequenzantenneneinheit **20**, welche im vorliegenden Ausführungsbeispiel als fest in die Magnetresonanzvorrichtung **10** integrierte Körperspule ausgebildet ist. Die Hochfrequenzantenneneinheit **20** ist zu einer Anregung von Atomkernen, die sich in dem von dem Hauptmagneten **12** erzeugten Hauptmagnetfeld **13** einstellt, ausgelegt. Die Hochfrequenzantenneneinheit **20** wird von einer Hochfrequenzantennensteuereinheit **21** der Magnetresonanzvorrichtung **10** gesteuert und strahlt hochfrequente Pulssequenzen in einen Untersuchungsraum ein, der im Wesentlichen von einem Patientenaufnahmebereich **14** der Magnetresonanzvorrichtung **10** gebildet ist. Die Pulssequenzen können insbesondere ausgestaltet sein, um damit Signalverläufe gemäß einer Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode erzeugen. Die Hochfrequenzantenneneinheit **20** ist weiterhin zum Empfang von Magnetresonanzsignalen ausgebildet.

**[0055]** Zu einer Steuerung des Hauptmagneten **12**, der Gradientensteureinheit **19** und zur Steuerung der Hochfrequenzantennensteuereinheit **21** weist die Magnetresonanzvorrichtung **10** eine Systemsteuereinheit **22** auf. Die Systemsteuereinheit **22** steuert zentral die Magnetresonanzvorrichtung **10**, wie beispielsweise das Durchführen einer vorbestimmten bildgebenden Gradientenechosequenz. Zudem umfasst die Systemsteuereinheit **22** eine nicht näher dargestellte Einheit zu einer Auswertung von medizinischen Bilddaten, die während der Magnetresonanzuntersuchung erfasst werden.

**[0056]** Die Systemsteuereinheit **22** unterstützt die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts. Dazu umfasst die Systemsteuereinheit **22** eine Bereitstellungseinheit **27**, eine Auswerteeinheit **26** und eine Datenübertragungseinheit **28**. Die von der Hochfrequenzantenneneinheit **20** empfangenen Magnetresonanzsignale können an die Bereitstellungseinheit **27** weitergeleitet werden. Durch die Ortskodierung der Magnetresonanzsignale können Volumenelementen des Patienten **15** Auswertungssignalverläufe zugeordnet werden. Diese Auswertungssignalverläufe sowie Datenbanksignalverläufe, die beispielsweise auf einer Datenspeichereinheit, wie ei-

ner Festplatte, der Bereitstellungseinheit **27** abgelegt sind, können über eine Datenübertragungseinheit **28** an die Auswerteeinheit **26** übermittelt werden. Die Auswerteeinheit **26** ist ausgelegt, auf Basis der übermittelten Signalverläufe Gewichtungsfaktoren zu ermitteln, die eine Zusammensetzung der Volumenelemente beschreiben.

**[0057]** Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **10** eine Benutzerschnittstelle **23**, die mit der Systemsteuereinheit **22** verbunden ist. Steuerinformationen wie beispielsweise Bildgebungsparameter, sowie rekonstruierte Magnetresonanzbilder können auf einer Anzeigeeinheit **24**, beispielsweise auf zumindest einem Monitor, der Benutzerschnittstelle **23** für ein medizinisches Bedienpersonal angezeigt werden. Ebenso können durch die Anzeigeeinheit **24** Gewichtungsfaktoren bereitgestellt werden, die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt wurden.

**[0058]** Weiterhin weist die Benutzerschnittstelle **23** eine Eingabeeinheit **25** auf, mittels der Informationen und/oder Parameter während eines Messvorgangs von dem medizinischen Bedienpersonal eingegeben werden können. Zudem kann über die Eingabeeinheit eine Festlegung einer etwaigen Gesamtanzahl an möglichen Komponenten und/oder etwaiger postulierter Komponenten und/oder etwaiger potentieller Komponenten gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen.

**[0059]** Ferner weist Systemsteuereinheit **22** eine nicht näher dargestellte Programmspeichereinheit und eine Prozessoreinheit auf, mittels der in der Programmspeichereinheit hinterlegte Software und/oder Computerprogramme ausgeführt werden. Insbesondere kann damit ein Computerprogramm ausgeführt werden, um ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts durchzuführen.

**[0060]** Die dargestellte Magnetresonanzvorrichtung **10** im vorliegenden Ausführungsbeispiel kann selbstverständlich weitere Komponenten umfassen, die Magnetresonanzvorrichtungen gewöhnlich aufweisen. Eine allgemeine Funktionsweise einer Magnetresonanzvorrichtung **10** ist zudem dem Fachmann bekannt, so dass auf eine detaillierte Beschreibung der allgemeinen Komponenten verzichtet wird.

**[0061]** In Fig. 1 ist schematisch ein exemplarisches Volumenelement **50** gezeigt. Aus Darstellungsgründen ist das Volumenelement **50** zweidimensional dargestellt. Es versteht sich natürlich von selbst, dass es tatsächlich eine dreidimensionale Struktur aufweist. Innerhalb des Volumenelements **50** befinden sich vier verschiedene Komponenten A, B, C, R. Mögliche Komponenten eines menschlichen Patien-

ten **15** sind beispielsweise Wasser, Fett, graue Hirnsubstanz und weiße Hirnsubstanz. Die verschiedenen Komponenten A, B, C, R wechselwirken in unterschiedlicher Weise mit den elektromagnetischen Wellen, die durch die Hochfrequenzantenneneinheit **20** in den Patienten **15** und insbesondere in das Volumenelement **50**, das von dem Patienten **15** umfasst wird, eingestrahlt wird. Die Wechselwirkung hängt unter anderem von der Größe und der molekularen Struktur der Komponente A, B, C, R ab. Aus der unterschiedlichen Wechselwirkung ergeben sich unterschiedliche Beiträge der Komponenten an dem Magnetresonanzsignal, das von dem Volumenelement **50** emittiert wird.

**[0062]** In **Fig. 2** ist ein erfindungsgemäßes Verfahren dargestellt. In einem Schritt **110** werden mehrere Signalverläufe bereitgestellt, die einen Auswertungssignalverlauf der Magnetresonanzsignale und zumindest einen Datenbanksignalverlauf umfassen. Die Bereitstellung kann durch die Bereitstellungseinheit **27** erfolgen.

**[0063]** In Schritt **120** werden Gewichtungsfaktoren für die zumindest eine Komponente des Volumenelements anhand der Signalverläufe ermittelt, wobei jeder Signalverlauf jeweils mehrere korrespondierende Auswertungspunkte umfasst, denen jeweils ein Signalwert zugeordnet ist.

**[0064]** Die Signalverläufe umfassen normalerweise eine Abfolge von Signalwerten. In **Fig. 4** sind Signalwerte dreier Datenbanksignalverläufe dargestellt und in **Fig. 5** sind Signalwerte eines Auswertungssignalverlaufs dargestellt. Entsprechend ihrer Position innerhalb der Abfolge weisen die Signalwerte unterschiedliche Verlaufspeditionen i, j, k, l auf.

**[0065]** Ein Signalwert entspricht dabei einer Amplitude eines Pixels und/oder Voxels, das aus einem Magnetresonanzsignal abgeleitet wird, das während eines Auslesevorgangs einer Pulssequenz empfangen wird. Vereinfachend kann die Reihenfolge der Verlaufspeditionen der Signalwerte mit einer, insbesondere zeitlichen, Abfolge von mittels der Pulssequenz ermittelten Pixel und/oder Voxel gleichgesetzt werden, d.h. das Pixel, das aus Magnetresonanzsignalen eines ersten Auslesevorgangs der Pulssequenz ermittelt wurde, weist die erste Verlaufspedition auf; das Pixel, das aus Magnetresonanzsignalen eines zweiten Auslesevorgangs der Pulssequenz ermittelt wurde, weist die zweite Verlaufspedition auf, usw.. Die Zuordnung zu einem bestimmten Volumenelement wird durch die Ortskodierung des Magnetresonanzsignals ermöglicht, d.h. das Volumenelement wird durch ein Voxel und/oder Pixel einer MR-Abbildung abgebildet.

**[0066]** Der Auswertungssignalverlauf ist hier ein Signalverlauf, der einem Volumenelement zugeordnet

ist, das mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens hinsichtlich seiner Bestandteile auszuwerten ist. In **Fig. 5** sind Signalwerte  $S_{Mi}$ ,  $S_{Mj}$ ,  $S_{Mk}$ ,  $S_{Ml}$  der Verlaufspeditionen i, j, k, l des Auswertungssignalverlaufs dargestellt. Der Auswertungssignalverlauf kann noch weit mehr Signalwerte umfassen, denen jeweils eine andere Verlaufspedition zugeordnet ist. Beispielsweise kann der Auswertungssignalverlauf 1000 Signalwerte umfassen mit Verlaufspeditionen 1, 2, ..., 999, 1000. Eine typische Anzahl an Signalwerten, die im Rahmen einer Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode aufgenommen werden beträgt 1000 bis 5000 Stück.

**[0067]** Oben in **Fig. 4** sind Signalwerte  $S_{Ai}$ ,  $S_{Aj}$ ,  $S_{Ak}$ ,  $S_{Al}$  der Verlaufspeditionen i, j, k, l des Datenbanksignalverlaufs einer Komponente A dargestellt. Mittig in **Fig. 4** sind Signalwerte  $S_{Bi}$ ,  $S_{Bj}$ ,  $S_{Bk}$ ,  $S_{Bl}$  der Verlaufspeditionen i, j, k, l des Datenbanksignalverlaufs einer Komponente B dargestellt. Unten in **Fig. 4** sind Signalwerte  $S_{Ci}$ ,  $S_{Cj}$ ,  $S_{Ck}$ ,  $S_{Cl}$  der Verlaufspeditionen i, j, k, l des Datenbanksignalverlaufs einer Komponente C dargestellt. Auf die Datenbanksignalverläufe können noch weit mehr Signalwerte umfassen, denen jeweils eine andere Verlaufspedition zugeordnet ist. Die Datenbanksignalverläufe können beispielsweise in einer Kalibrierungsmessung ermittelt werden und/oder simuliert und/oder berechnet werden.

**[0068]** Vorteilhafterweise basieren alle Signalverläufe auf derselben Pulssequenz, d.h. die Signalwerte des Auswertungssignalverlaufs werden auf Basis einer Messung ermittelt, bei der dieselbe Pulssequenz angewendet wurde wie bei der experimentellen und/oder theoretischen Bestimmung der Datenbanksignalverläufe. In diesem Fall hat jeder der Signalwerte eines Signalverlaufs seine Entsprechung in den einem der Signalwerte der anderen Signalverläufe, da die Signalwerte der anderen Signalverläufe mit denselben Erfassungsparametern ermittelt wurden. Sofern ein erster Signalwert eines ersten Signalverlaufs auf Basis derselben Aufnahmeparametern und/oder Simulationsparametern ermittelt wird wie ein zweiter Signalwert eines zweiten Signalverlaufs, stellen die Verlaufspedition des ersten Signalwerts und die Verlaufspedition des zweiten Signalwertes korrespondierende Auswertungspunkte dar. Für den Fall, dass alle Signalverläufe auf derselben Pulssequenz basieren, stellen identische Verlaufspeditionen der Signalverläufe auch korrespondierende Aufnahmepunkte dar. Im Folgenden soll dieser Fall gelten.

**[0069]** A priori sind nur der Auswertungssignalverlauf, insbesondere die Signalwerte  $S_{Mi}$ ,  $S_{Mj}$ ,  $S_{Mk}$ ,  $S_{Ml}$ , und zumindest ein Datenbanksignalverlauf bekannt. Um einen Auswertungssignalverlauf eines Volumenelements zu erhalten, kann in einem zusätzlichen Schritt **100**, wie in **Fig. 3** dargestellt, eine Magnetre-



sonanzuntersuchung zur Aufnahme von Magnetresonanzsignalen durchgeführt werden.

**[0070]** Zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest kann eine Gesamtanzahl an möglichen Komponenten festgelegt werden. Beispielsweise kann die Gesamtzahl auf drei festgelegt werden. Ferner kann zumindest eine postulierte Komponente festgelegt werden, wobei jeder der zumindest einen postulierten Komponente jeweils ein postulierter Datenbanksignalverlauf zugeordnet ist. Beispielsweise können die Komponenten A, B und C postuliert werden. Für die vier dargestellten Verlaufpositionen i, j, k, l lässt sich dies mathematisch so formulieren:

$$S_{Mi} = S_{AMi} + S_{BMi} + S_{CMi} \quad (1)$$

$$S_{Mj} = S_{AMj} + S_{BMj} + S_{CMj} \quad (2)$$

$$S_{Mk} = S_{AMk} + S_{BMk} + S_{CMk} \quad (3)$$

$$S_{Mi} = S_{AMi} + S_{BMi} + S_{CMi} \quad (4)$$

**[0071]** Demzufolge ist  $S_{AMi}$  ein Signalanteil der Komponente A,  $S_{BMi}$  ein Signalanteil der Komponente B und  $S_{CMi}$  ein Signalanteil der Komponente C zum Signalwert  $S_{Mi}$  an der Verlaufposition i. Analoges gilt für die weiteren Verlaufposition j, k und l.

**[0072]** Der Signalanteil lässt sich folgendermaßen als das Produkt aus Gewichtungsfaktor  $g_A$ ,  $g_B$ ,  $g_C$  der Komponente A, B, C und einem Signalwert, der insbesondere von einem zur Komponente A, B, C zugeordneten Datenbankverlauf umfasst werden kann, an einem korrespondierenden Auswertungspunkt beschreiben:  $S_{AMi} = g_A \cdot S_{Ai}$ ,  $S_{BMi} = g_B \cdot S_{Bi}$ ,  $S_{CMi} = g_C \cdot S_{Ci}$ ,  $S_{AMj} = g_A \cdot S_{Aj}$ , usw. Damit lassen sich die Gleichungen (1), (2), (3) und (4) umschreiben zu:

$$S_{Mi} = g_A \cdot S_{Ai} + g_B \cdot S_{Bi} + g_C \cdot S_{Ci} \quad (5)$$

$$S_{Mj} = g_A \cdot S_{Aj} + g_B \cdot S_{Bj} + g_C \cdot S_{Cj} \quad (6)$$

$$S_{Mk} = g_A \cdot S_{Ak} + g_B \cdot S_{Bk} + g_C \cdot S_{Ck} \quad (7)$$

$$S_{Mi} = g_A \cdot S_{Ai} + g_B \cdot S_{Bi} + g_C \cdot S_{Ci} \quad (8)$$

**[0073]** Die Gleichungen (5), (6), (7) und (8) enthalten als Unbekannte die Gewichtungsfaktoren  $g_A$ ,  $g_B$ ,  $g_C$ . Um diese zu ermitteln, lässt sich zumindest ein mehrere Gleichungen umfassendes Gleichungssystem erstellen. Jede der mehreren Gleichungen bezieht sich auf jeweils einen der korrespondierenden Auswertungspunkte, so z.B. Gleichung (5) auf die Verlaufposition i.

**[0074]** Ein solches Gleichungssystem kann unter Verwendung bekannter Lösungsmethoden leicht gelöst werden. Insbesondere bietet es gegenüber möglichen anderen Methoden, die z.B. Matrixinversions-

schritte umfassen, den Vorteil, dass das erfindungsgemäße Verfahren eine hohe Stabilität aufweist und/oder dem Bediener der Magnetresonanzvorrichtung das Ergebnis nach kurzer Zeit angezeigt werden kann. Eine Bereitstellung der Gewichtungsfaktoren an einen Bediener ist in Schritt 130 der Fig. 3 dargestellt.

**[0075]** Vorteilhafterweise umfasst das Gleichungssystem nur so viele Gleichungen, wie für eine eindeutige Lösung des Gleichungssystems notwendig ist. In dem dargestellten Fall mit drei Unbekannten wären dies drei unabhängige Gleichungen, die Anzahl der Gleichungen eines des Gleichungssystems ist also gleich der Anzahl der zu ermittelnden Gewichtungsfaktoren  $g_A$ ,  $g_B$ ,  $g_C$ . Das bedeutet, dass das Gleichungssystem beispielsweise aus den Gleichungen (5), (6) und (7) oder aus den Gleichungen (5), (6) und (8) oder aus den Gleichungen (5), (7) und (8) oder aus den Gleichungen (6), (7) und (8) besteht.

**[0076]** Da Signalverläufe oft aus wesentlich mehr als vier Signalwerten bestehen und daher üblicherweise auch wesentlich mehr korrespondierende Auswertungspunkte aufweisen, ist oft eine Vielzahl an verschiedenen Gleichungssystemen möglich, d.h. es können insbesondere mehrere Gleichungssysteme erstellt und gelöst werden, wobei sich jedes der mehreren Gleichungssysteme auf eine unterschiedliche Zusammenstellung von korrespondierenden Auswertungspunkten bezieht. Dabei kann die Zusammenstellung von Auswertungspunkten aus aufeinander folgenden Verlaufpositionen, z.B. Verlaufspunkte 1, 2 und 3, und/oder zufällig gewählten Verlaufpositionen zusammengestellt ist, z.B. Verlaufspunkte 277, 564, 768.

**[0077]** Auf diese Weise lassen sich aus den Signalverläufen abhängig von der Anzahl der zur Verfügung stehenden korrespondierenden Auswertungspunkte möglicherweise sehr oft die Gewichtungsfaktoren ermitteln. Idealerweise sind die ermittelten Werte für die Gewichtungsfaktoren für jedes gelöste Gleichungssystem gleich. In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass innerhalb des betrachteten Volumenelements tatsächlich nur die postulierten Komponenten vorhanden sind.

**[0078]** Es jedoch auch denkbar, dass eine sichere Eingrenzung der Komponenten auf bestimmte Stoffe nicht möglich ist, dass also ein Anteil des Magnetresonanzsignals aus verschiedenen möglichen Komponenten herrührt. Gemäß der Erfindung ist es daher möglich, zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren mehrere potentielle Komponenten festzulegen, wobei jeder der mehreren potentiellen Komponenten jeweils ein Datenbanksignalverlauf zugeordnet ist, wobei aus den mehreren potentiellen Komponenten zumindest eine resultierende Komponente ermittelt wird. Beispielsweise können bei einer festgeleg-

ten Gesamtanzahl von drei möglichen Komponenten zwei der drei Komponenten als postulierte Komponenten festgelegt werden, z.B. Wasser und Fett. Für die dritte Komponente werden beispielsweise zwei potentielle Komponenten festgelegt, z.B. graue und weiße Hirnsubstanz, d.h. die dritte Komponente wird eingegrenzt auf eine Gruppe möglicher Stoffe. Es wird vorgeschlagen, wie oben beschrieben, die Gewichtungsfaktoren für die als sicher angenommenen Komponenten, hier Wasser und Fett, und jeweils mit den Kandidaten, hier graue und weiße Hirnsubstanz, als weitere Komponente zu berechnen. Anhand einer Abweichung, z.B. der Standardabweichung, der Gewichtungsfaktoren kann die fehlende Komponente als jene bestimmt werden, die die geringste Abweichung und damit die größte Übereinstimmung liefert. Wenn etwa im genannten Beispiel die Gewichtungsfaktoren für graue Hirnmasse deutlich stärker schwankend sind als für weiße Hirnmasse, wird die dritte Komponente mit hoher Wahrscheinlichkeit weiße Hirnmasse sein. Natürlich ist es möglich, beliebig viele Kandidaten zu nehmen, d.h. die Anzahl der potentiellen Komponenten kann prinzipiell beliebig groß sein.

**[0079]** Idealerweise ist die Abweichung der mehreren Gewichtungsfaktoren nach Bestimmung der zumindest einen resultierenden Komponente aus den mehreren potentiellen Komponenten gleich Null. Da aber das Volumenelement möglicherweise noch weitere residuale Komponenten umfassen kann, kann die Abweichung auch von Null verschiedenen sein. In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird daher vorgeschlagen, zumindest eine weitere Komponenteninformation zu ermitteln, beispielsweise ein n-Tupel physikalischer Werte. Dazu wird ein residualer Signalverlauf ermittelt. Diese Ermittlung kann anhand von Gleichungen erfolgen, wie sie exemplarisch bereits in den Gleichungen (5), (6), (7) und (8) veranschaulicht wurden. Dabei kann der residuale Signalverlauf durch Subtraktion von ermittelten Signalanteilen von den Signalwerten des Auswertungssignalverlaufs ermittelt wird, beispielsweise indem die bereits ermittelten, also bekannten, Signale mit einem Mittelwert der Gewichtungsfaktoren von einem gemessenen Signal abgezogen werden.

**[0080]** In Fig. 6 sind exemplarisch Signalwerte  $S_{Ri}$ ,  $S_{Rj}$ ,  $S_{Rk}$ ,  $S_{Rl}$  eines residualen Signalverlaufs dargestellt. Diese Signalwerte entsprechen der Differenz aus den Signalwerten des Auswertungssignalverlaufs  $S_{Mi}$ ,  $S_{Mj}$ ,  $S_{Mk}$ ,  $S_{Ml}$ , abzüglich der Anteile der Komponenten A, B, und C:

$$S_{Ri} = S_{Mi} - S_{AMi} - S_{BMi} - S_{CMi} \quad (9)$$

$$S_{Rj} = S_{Mj} - S_{AMj} - S_{BMj} - S_{CMj} \quad (10)$$

$$S_{Rk} = S_{Mk} - S_{AMk} - S_{BMk} - S_{CMk} \quad (11)$$

$$S_{Rl} = S_{Ml} - S_{AMl} - S_{Bml} - S_{Cml} \quad (12)$$

**[0081]** Der residuale Signalverlauf wird daraufhin durch Abgleich mit mehreren Datenbanksignalverläufen verarbeitet, wie etwa bei der MRF-Methode üblich, d.h. dem residuale Signalverlauf wird einem in einer Datenbank hinterlegten Datenbanksignalverlauf zugeordnet, welcher wiederum mit zumindest einer Komponenteninformation verknüpft ist.

**[0082]** Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zu einer Sub-Pixel- bzw. Sub-Voxel-Quantifizierung vorgeschlagen wird. Dabei müssen die erwarteten Komponenten vorher nicht komplett festgelegt werden und es kann eine Aussage über quantitative Eigenschaften von möglicherweise weiteren Signalanteilen des Pixels bzw. Voxels gegeben werden.

**[0083]** Das Verfahren kann unter anderem so ausgestaltet sein, dass

- die Anzahl der verwendeten Verlaufspositionen zum Lösen eines Gleichungssystems nur gleich der Anzahl der zu bestimmenden Komponenten ist,
- das Gleichungssystem oft, mindestens jedoch zweimal gelöst wird, wobei verschiedene hintereinanderliegende Verlaufspositionen und/oder zufällig gewählte Verlaufspositionen verwendet werden,
- eine Abweichung der Gewichtungsfaktoren berechnet wird.

**[0084]** Zudem kann gemäß diesen Aspekten zumindest eine zu erwartende Komponente vorher unbekannt sein, wobei bevorzugt jedoch eine Auswahl an möglichen Kandidaten gewählt wird und die zumindest eine unbekannte Komponente anhand einer Abweichung der Gewichtungsfaktoren bestimmt wird.

**[0085]** Ferner kann beispielsweise aus einem Mittelwert der Gewichtungsfaktoren und durch Subtraktion eines bekannten Signalanteils ein residualer Signalanteil ermittelt werden, wobei für diesen residualen Signalanteil anhand einer konventionellen MRF-Auswertung ein n-Tupel quantitativer Werte bestimmt werden. Dieser n-Tupel kann beispielsweise eine T1-Zeit und/oder eine T2-Zeit und/oder eine Off-Resonance einer Substanz umfassen.

**[0086]** Das Verfahren ist insbesondere durchführbar, indem nur postulierte Komponenten, aber keine potentiellen Komponenten festgelegt werden und auch kein residualer Signalverlauf ermittelt wird. Das Verfahren ist ferner insbesondere durchführbar, indem sowohl postulierte Komponenten als auch potentielle Komponenten festgelegt werden, aber kein residualer Signalverlauf ermittelt wird. Das Verfahren ist ferner insbesondere durchführbar, indem so-

wohl postulierte Komponenten als auch potentielle Komponenten festgelegt werden sowie ein residuärer Signalverlauf ermittelt wird. Das Verfahren ist ferner insbesondere durchführbar, indem nur postulierte Komponenten, aber keine potentiellen Komponenten festgelegt werden sowie ein residuärer Signalverlauf ermittelt wird.

**[0087]** Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff „Einheit“ nicht aus, dass die betreffenden Komponenten aus mehreren zusammenwirkenden Teil-Komponenten bestehen, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Ma et al., Magnetic Resonance Fingerprinting, Nature 495 (2013) 187–192 [0003]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Quantifizierung einer Zusammensetzung eines Volumenelements eines Untersuchungsobjekts anhand von Magnetresonanzsignalen, die durch Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit zumindest einer Komponente des Volumenelements erzeugt werden, folgende Schritte umfassend:

- Bereitstellen mehrerer Signalverläufe, die einen Auswertungssignalverlauf der Magnetresonanzsignale und zumindest einen Datenbanksignalverlauf umfassen,
- Ermittlung von Gewichtungsfaktoren für die zumindest eine Komponente des Volumenelements anhand der Signalverläufe, wobei jeder Signalverlauf jeweils mehrere korrespondierende Auswertungspunkte umfasst, denen jeweils ein Signalwert zugeordnet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Volumenelement durch ein Voxel und/oder Pixel einer MR-Abbildung abgebildet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei in einem weiteren Schritt Magnetresonanzsignale aufgenommen werden, anhand derer der Auswertungssignalverlauf ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei in einem weiteren Schritt die ermittelten Gewichtungsfaktoren einem Bediener bereitgestellt werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Signalverläufe gemäß einer Magnetresonanz-Fingerprinting-Methode erzeugt wurden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest eine Gesamtanzahl an möglichen Komponenten festgelegt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest eine postulierte Komponente festgelegt wird, wobei jeder der zumindest einen postulierten Komponente jeweils ein Datenbanksignalverlauf zugeordnet ist.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren mehrere potentielle Komponenten festgelegt werden, wobei jeder der mehreren potentiellen Komponenten jeweils ein Datenbanksignalverlauf zugeordnet ist,

wobei aus den mehreren potentiellen Komponenten zumindest eine resultierende Komponente ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei für jede der festgelegten potentiellen Komponenten mehrere Gewichtungsfaktoren berechnet werden, wobei die zumindest eine resultierende Komponente eine minimale Abweichung der mehreren Gewichtungsfaktoren aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein residualer Signalverlauf ermittelt wird, anhand dessen durch Abgleich mit mehreren Datenbanksignalverläufen zumindest eine Komponenteninformation ermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der residuale Signalverlauf durch Subtraktion von ermittelten Signalanteilen von den Signalwerten des Auswertungssignalverlaufs ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Gewichtungsfaktoren anhand eines Mittelwertes vorläufiger Gewichtungsfaktoren ermittelt werden.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren zumindest ein Gleichungssystem erstellt und gelöst wird, wobei jedes des zumindest einen Gleichungssystems mehrere Gleichungen umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei sich jede der mehreren Gleichungen auf jeweils einen der korrespondierenden Auswertungspunkte bezieht.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei mehrere Gleichungssysteme erstellt und gelöst werden, wobei sich jedes der mehreren Gleichungssysteme auf eine unterschiedliche Zusammenstellung von korrespondierenden Auswertungspunkten bezieht.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Zusammenstellung von Auswertungspunkten aus aufeinander folgenden Auswertungspunkten und/oder zufällig gewählten Auswertungspunkte zusammengestellt ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei das zumindest eine Gleichungssystem nur maximal so viele Gleichungen umfasst, wie für eine eindeutige Lösung des Gleichungssystems notwendig ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, wobei die Anzahl der Gleichungen eines des zu-

mindest einen Gleichungssysteme gleich einer Anzahl der zu ermittelnden Gewichtungsfaktoren ist.

19. Magnetresonanzvorrichtung, die ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 auszuführen, umfassend:

- eine Bereitstellungseinheit zur Bereitstellung mehrerer Signalverläufe, die einen Auswertungssignalverlauf und zumindest einen Datenbanksignalverlauf umfassen,
- eine Auswerteeinheit zur Auswertung der mehreren Signalverläufe.

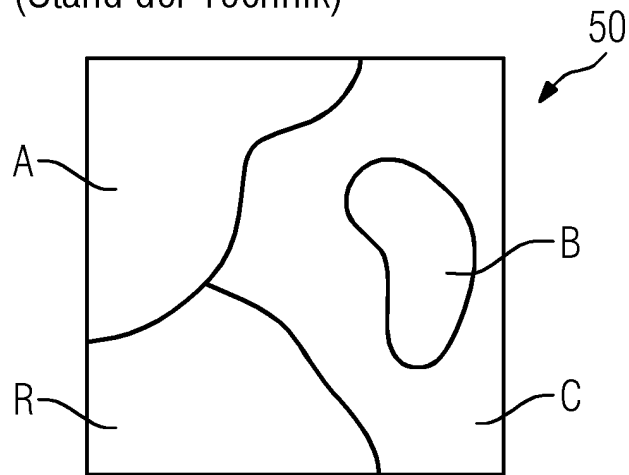
20. Computerprogrammprodukt, welches ein Programm umfasst und direkt in einen Speicher einer programmierbaren Systemsteuereinheit einer Magnetresonanzvorrichtung ladbar ist, mit Programmmitteln, um ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 auszuführen, wenn das Programm in der Systemsteuereinheit der Magnetresonanzvorrichtung ausgeführt wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

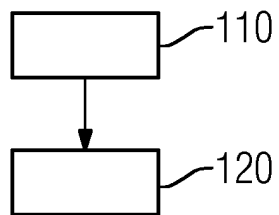
Anhängende Zeichnungen

**FIG 1**

(Stand der Technik)



**FIG 2**



**FIG 3**

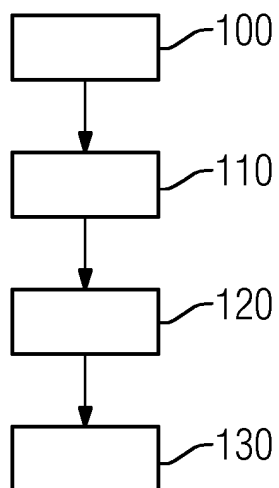


FIG 4

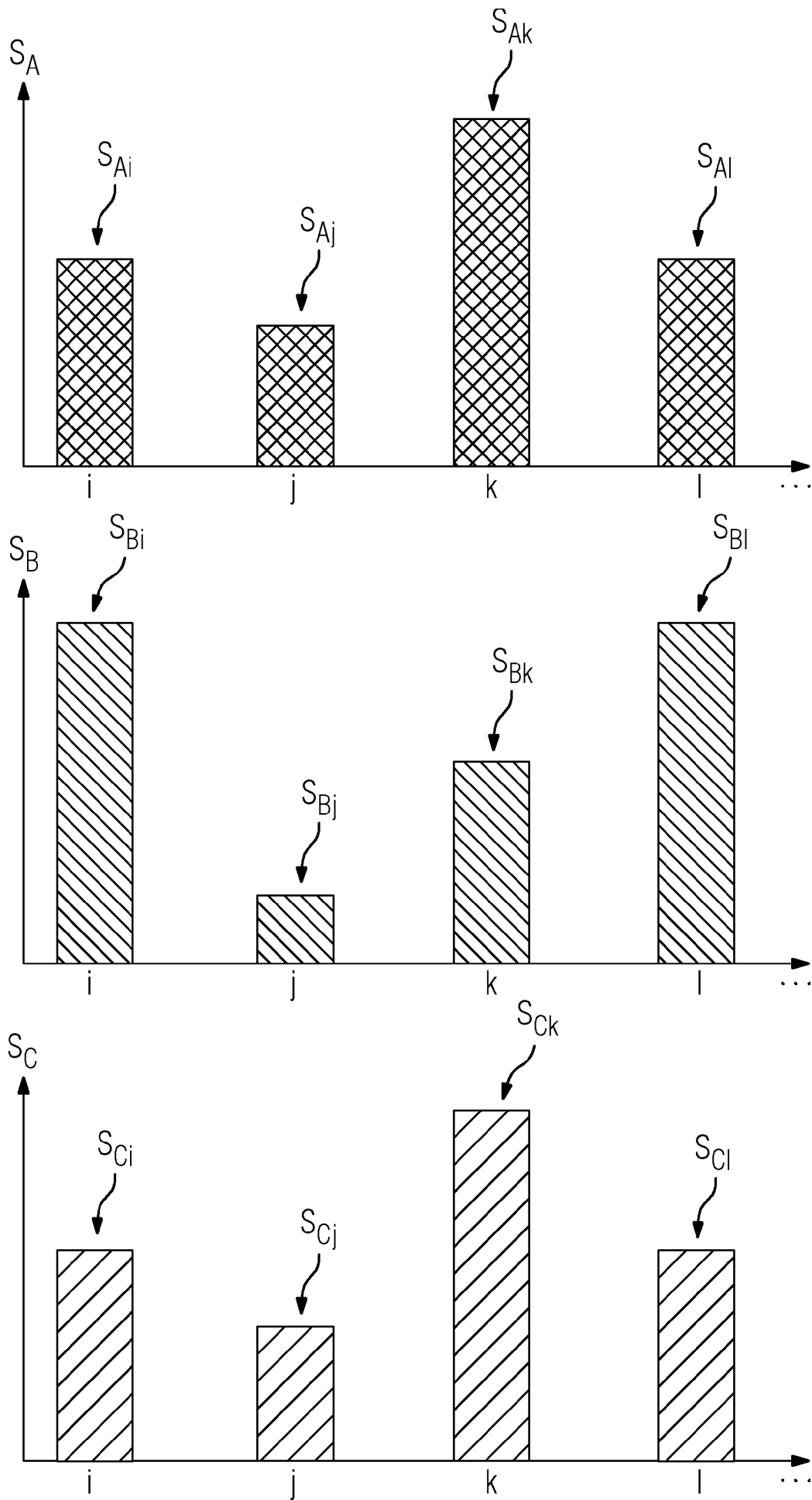




FIG 5

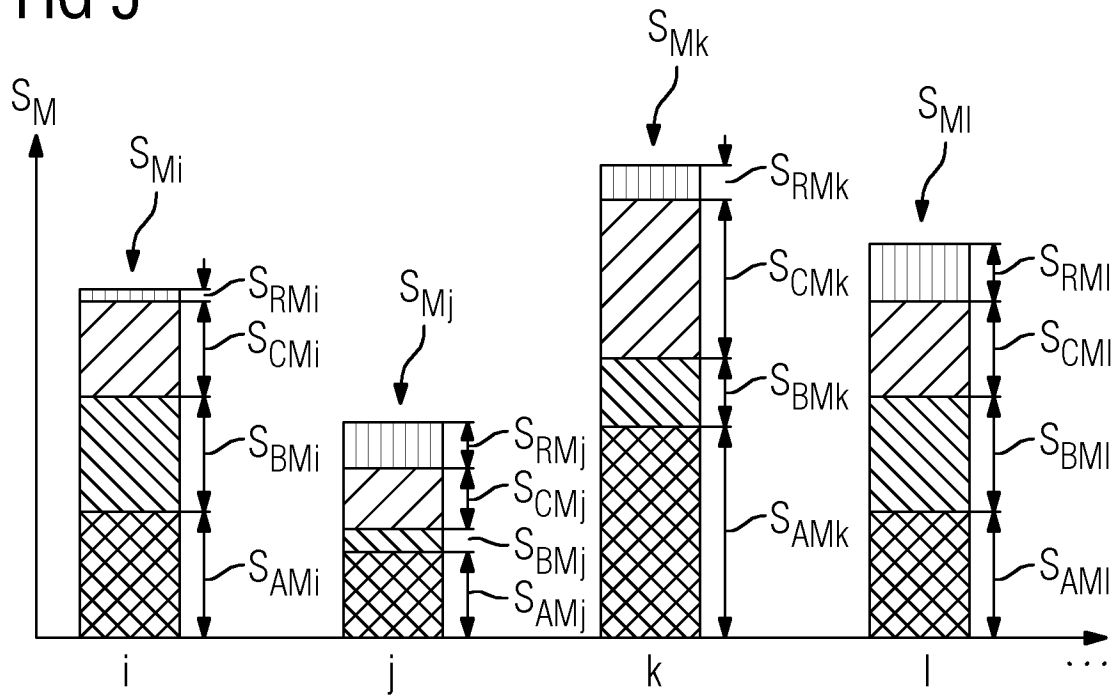


FIG 6

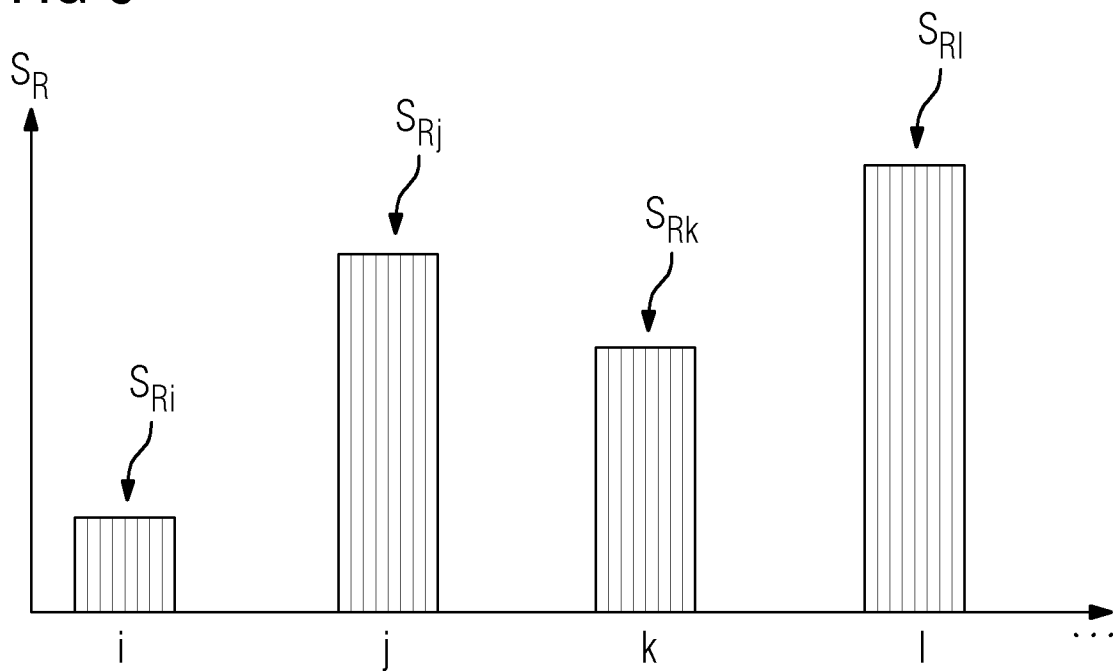


FIG 7

