



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 013 422 A1** 2005.10.13

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 013 422.7**

(22) Anmeldetag: **18.03.2004**

(43) Offenlegungstag: **13.10.2005**

(51) Int Cl.7: **G01R 33/32**
G01R 33/3415, G01R 33/34

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Feiweier, Thorsten, Dr., 91099 Poxdorf, DE; Lazar, Razvan, Dr., 91056 Erlangen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 101 24 465 A1
US2003/01 84 293 A1
Yang, Q.X., u.a.: "Manipulation of signal intensity distribution with dielectric loading at 7.0T". In: Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med 9 (2001), S. 1096;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

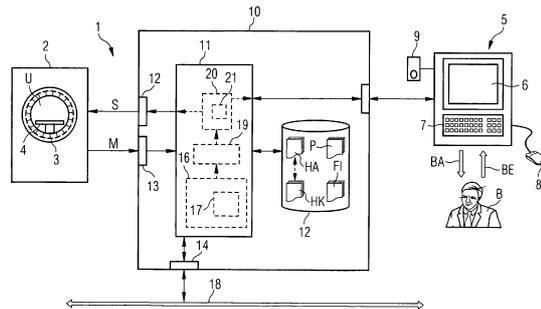
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Homogenisierung eines B₁-Felds und Magnetresonanzsystem**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Homogenisierung eines B₁-Felds für eine Magnetresonanzmessung in einem Magnetresonanzsystem (1) mit einer Anzahl von Iterationsschritten beschrieben. Ein Iterationsschritt umfasst dabei folgende Teilschritte:

- Erfassung von Messdaten (M), welche eine B₁-Feldverteilung in zumindest einem Teil eines Untersuchungsvolumens (3) des Magnetresonanzsystems (1) repräsentieren,
- automatische Durchführung einer B₁-Homogenitätsanalyse, basierend auf den erfassten Messdaten (M),
- automatische Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion (HA) aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen (HA) auf Basis der B₁-Homogenitätsanalyse oder Beendigung des iterativen Homogenisierungsverfahrens, wenn die diagnostizierte Homogenität für eine vorgesehene Magnetresonanzmessung ausreichend ist,
- Durchführung einer ausgewählten Homogenisierungsaktion (HA).

Darüber hinaus wird ein entsprechendes Magnetresonanzsystem (1) beschrieben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Homogenisierung eines B_1 -Felds für eine Magnetresonanzmessung in zumindest einem bestimmten Bereich eines Untersuchungsvolumens in einem Magnetresonanzsystem. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein entsprechendes Magnetresonanzsystem, mit dem ein solches Verfahren durchführbar ist.

[0002] Bei der Magnetresonanztomographie, auch Kernspintomographie genannt, handelt es sich um eine inzwischen weit verbreitete Technik zur Gewinnung von Bildern vom Körperinneren eines lebenden Untersuchungsobjekts. Um mit diesem Verfahren ein Bild zu gewinnen, muss zunächst der Körper bzw. der zu untersuchende Körperteil des Patienten einem möglichst homogenen statischen Grundmagnetfeld (meist als B_0 -Feld bezeichnet) ausgesetzt werden, welches von einem Grundfeldmagneten der Magnetresonanz-Messeinrichtung erzeugt wird. Diesem Grundmagnetfeld werden während der Aufnahme der Magnetresonanzbilder schnellgeschaltete Gradientenfelder zur Ortskodierung überlagert, die von sog. Gradientenspulen erzeugt werden. Außerdem werden mit einer Hochfrequenzantenne HF-Pulse einer definierten Feldstärke in das Untersuchungsvolumen eingestrahlt, in dem sich das Untersuchungsobjekt befindet. Die magnetische Flussdichte dieser HF-Pulse wird üblicherweise mit B_1 bezeichnet. Das pulsformige Hochfrequenzfeld wird daher im Allgemeinen auch kurz B_1 -Feld genannt. Mittels dieser HF-Pulse werden die Kernspins der Atome im Untersuchungsobjekt derart angeregt, dass sie um einen sogenannten „Anregungsflipwinkel“ (im Folgenden auch kurz „Flipwinkel“ genannt) aus ihrer Gleichgewichtslage, welche parallel zum Grundmagnetfeld B_0 verläuft, ausgelenkt werden. Die Kernspins präzedieren dann um die Richtung des Grundmagnetfelds B_0 . Die dadurch erzeugten Magnetresonanzsignale werden von Hochfrequenzempfangsantennen aufgenommen. Bei den Empfangsantennen kann es sich entweder um die gleichen Antennen, mit denen auch die Hochfrequenzpulse eingestrahlt werden, oder um separate Empfangsantennen handeln. Die Magnetresonanzbilder des Untersuchungsobjekts werden schließlich auf Basis der empfangenen Magnetresonanzsignale erstellt. Jeder Bildpunkt im Magnetresonanzbild ist dabei einem kleinen Körpervolumen, einem sogenannten „Voxel“, zugeordnet und jeder Helligkeits- oder Intensitätswert der Bildpunkte ist mit der aus diesem Voxel empfangenen Signalamplitude des Magnetresonanzsignals verknüpft. Der Zusammenhang zwischen einem resonant eingestrahlt HF-Puls mit der Feldstärke B_1 und dem damit erreichten Flipwinkel α ist dabei durch die Gleichung

$$\alpha = \int_{t=0}^{\tau} \gamma \cdot B_1(t) \cdot dt \quad (1)$$

gegeben, wobei γ das gyromagnetische Verhältnis, welches für die meisten Kernspinuntersuchungen als feststehende Materialkonstante angesehen werden kann, und τ die Einwirkdauer des Hochfrequenzpulses ist. Der durch einen ausgesendeten HF-Puls erreichte Flipwinkel und somit die Stärke des Magnetresonanzsignals hängt folglich außer von der Dauer des HF-Pulses auch von der Stärke des eingestrahlt B_1 -Feldes ab. Räumliche Schwankungen in der Feldstärke des anregenden B_1 -Feldes führen daher zu einer inhomogenen Ausleuchtung des untersuchten Volumens und entsprechend – je nach Komplexität der eingesetzten bildgebenden Sequenz – zu einer mangelhaften Bildqualität. Dies kann soweit führen, dass die Anwendung einiger Methoden der funktionellen Bildgebung oder der Spektroskopie unmöglich wird.

[0003] Ungünstigerweise zeigen die HF-Pulse gerade bei hohen magnetischen Feldstärken – die aufgrund des benötigten Magnetgrundfelds B_0 in einem Magnetresonanztomographen zwangsläufig gegeben sind – ein inhomogenes Eindringverhalten in leitfähigen und dielektrischen Medien wie z. B. Gewebe. Dies führt dazu, dass das B_1 -Feld innerhalb des Messvolumens stark variieren kann. Dieser Effekt wird mit zunehmender B_0 -Feldstärke und den entsprechend höher gewählten Frequenzen des B_1 -Felds stärker.

[0004] Die Nutzung der bisher verwendeten Verfahren zur Konstruktion und Abstimmung von HF-Antennen in üblichen Magnetresonanzsystemen mit B_1 -Feldstärken von ein bis zwei Tesla bewirken im Wesentlichen nur eine Homogenisierung des Antennenprofils der unbeladenen Antenne. D. h. der das B_1 -Feld verzerrende Einfluss des menschlichen Körpers wird hierbei nicht berücksichtigt. Es handelt sich dabei um statische Verfahren, die unabhängig von der Lastsituation die Homogenität der HF-Antenne optimieren und in der Regel im Betrieb nicht angepasst werden müssen und können. Bei moderneren Magnetresonanzsystemen mit hohen Grundmagnetfeldstärken von drei Tesla (so genannten „Ultrahochfeld-Magnetresonanzuntersuchungen“) ist es jedoch nicht mehr ausreichend, dass sichergestellt wird, dass die unbeladene HF-Antenne ein homogenes B_1 -Feld erzeugt. Vielmehr muss das B_1 -Feld in geeigneter Weise „vorverzerrt“ werden, um im Falle der Beladung mit einem zu untersuchenden Körperteil) eine möglichst homogene Ausleuchtung zu erhalten.

[0005] In letzter Zeit sind verschiedene technische und physikalische Maßnahmen bekannt geworden, um die Homogenität der B_1 -Verteilung in bestimmten Regionen des menschlichen Körpers bei Hochfeld-Magnetresonanzuntersuchungen zumindest partiell wiederherstellen. So wird beispielsweise von Yang et. al. in Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 9 (2001) 1096 vorgeschlagen, mit Hilfe von am Patienten positionierten, mit Wasser gefüllten Kissen Verzerrungen des B_1 -Felds im Körper des Patienten auszugleichen.

[0006] Ein weiterer vielversprechender Ansatz wird in der DE 101 24 465 A1 beschrieben. In dieser Schrift wird eine Sende- und Empfangsspule für MR-Geräte beschrieben, welche mehrere einzelne Antennenelemente (Resonatorsegmente) aufweist, die innerhalb eines Gradientenrohrs um das Untersuchungsvolumen herum angeordnet sind. Diese Antennenelemente sind zu einer großflächigen Volumenantenne ähnlich einer sogenannten Birdcage-Antenne zusammengeschaltet. Die einzelnen Antennenelemente sind durch zwischengeschaltete Kapazitäten elektromagnetisch voneinander entkoppelt. Jedem Antennenelement ist ein separater Sendekanal zugeordnet, über welchen die Hochfrequenzeinspeisung erfolgt. Dadurch können jedem Antennenelement Phase und Amplitude individuell vorgegeben werden. Dies ermöglicht prinzipiell eine vollständige Kontrolle der Hochfrequenzfeldverteilung im Untersuchungsvolumen (sog. „RF-Shimming“). Es wird vorgeschlagen, auf diese Weise die Homogenität des HF-Felds im gesamten Untersuchungsvolumen zu verbessern.

[0007] Wie oben erläutert, sind die B_1 -Inhomogenitäten jedoch zu einem großen Teil auf anatomisch bedingte Eigenschaften des zu untersuchenden Körpers zurückzuführen. Diese Erscheinungen sind folglich individuell und positionsabhängig. Somit stellt sich die Aufgabe der Homogenisierung von Fall zu Fall unterschiedlich. Andererseits haben die oben genannten bisher bekannten Methoden keine allgemeine Gültigkeit, so dass sie nicht in jedem der Fälle anwendbar sind. Die Auswahl der passenden Methode zur Homogenisierung des B_1 -Felds in einem ganz konkreten Anwendungsfall erfordert vom jeweiligen Bediener des Magnetresonanzsystems ein erhebliches Maß an Erfahrung und Spezialistenwissen sowohl in physikalischer als auch in biologischer bzw. medizinischer Hinsicht und ist zudem äußerst zeitaufwändig, da ggf. mehrere Homogenisierungsversuche erforderlich sind, bis schließlich eine für eine nachfolgende Magnetresonanzuntersuchung ausreichende Homogenität erzielt wird. Dies erhöht die Gesamtuntersuchungszeit, was vor allem auch zu einer höheren Belastung des Patienten führt.

Aufgabenstellung

[0008] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Homogenisierung eines B_1 -Felds für eine Magnetresonanzmessung anzugeben, mit dem auf schnelle und sichere Weise auch von Bedienpersonal, welches bezüglich dieser Problematik nicht so erfahren ist, eine ausreichende Homogenisierung des B_1 -Felds erreicht werden kann. Es ist außerdem eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein entsprechendes Magnetresonanzsystem anzugeben, mit dem dieses Verfahren durchgeführt werden kann.

[0009] Diese Aufgabe wird zum einen durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und zum anderen durch ein Magnetresonanzsystem gemäß Patentanspruch 12 gelöst.

[0010] Um das B_1 -Feld für eine Magnetresonanzmessung im Untersuchungsvolumen oder in einem bestimmten Teilbereich des Untersuchungsvolumens, wie z. B. der „Field of View“ FoV (Ansichtsbereich) oder einer „Region of Interest“ RoI (interessierende Region) als Untermenge der FoV zu homogenisieren, arbeitet das Verfahren mit einer Anzahl von Iterationsschritten. Dabei umfasst ein Iterationsschritt folgende Teilschritte: Es werden zunächst Messdaten erfasst, welche eine B_1 -Verteilung in zumindest dem betreffenden Teil des Untersuchungsvolumens des Magnetresonanzsystems repräsentieren. Dies kann z. B. mit einer speziellen ortsaufgelösten B_1 -Feldverteilungs-Messung erfolgen. Grundsätzlich kann dies aber auch durch die Aufnahme eines „normalen“ Magnetresonanzbilds geschehen. Wesentlich ist in erster Linie, dass anhand der Messdaten Aussagen über B_1 -Feldverteilung getroffen werden können.

[0011] In einem weiteren Teilschritt erfolgt dann eine automatische Durchführung einer B_1 -Homogenitätsanalyse, basierend auf den erfassten Messdaten. Dabei wird beispielsweise die Homogenität nach vorgegebenen Bewertungsalgorithmen bewertet. Der Begriff „ B_1 -Homogenitätsanalyse“ ist dabei mit dem Begriff „ B_1 -Inhomogenitätsanalyse“ gleichzusetzen. Je nach Messdaten können hierbei auch zusätzliche Informationen hinzugezogen werden. Z. B. können bei einer Analyse eines MR-Testbilds zur Erfassung der B_1 -Feldverteilung ortsaufgelöste Muster (Templates) des menschlichen Körpers, bekannte Abschattungsregionen etc. aus einer Datenbank herangezogen werden, um zu einem Analyseergebnis zu gelangen.

[0012] Anschließend erfolgt auf Basis der B_1 -Homogenitätsanalyse eine automatische Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen. Alternativ wird das iterative Homogenisierungsverfahren beendet, d. h. die gewünschte Magnetresonanzmessung sofort gestartet, wenn die diagnostizierte Homogenität für diese Magnetresonanzmessung ausreichend ist.

[0013] Sofern eine geeignete Homogenisierungsaktion ausgewählt wird, folgt dann in einem nächsten Schritt die Durchführung der ausgewählten Homogenisierungsaktion.

[0014] Um zu vermeiden dass das Verfahren unnötig viel Zeit benötigt, wird das Verfahren vorzugsweise auch abgebrochen, wenn keine weiteren Homogenisierungsmaßnahmen mit Aussicht auf Erfolg zur Verfügung stehen. Außerdem kann das Verfahren vorzugsweise auch nach Ablauf eines bestimmten Zeitlimits abgebrochen werden.

[0015] Es ist klar, dass das iterative Verfahren bereits nach einem ersten Iterationsschritt beendet werden kann, sofern sich herausstellt, dass die Homogenität bereits ausreichend ist bzw. keine weitere Homogenisierung möglich ist. In der Regel sind aber mehrere Iterationsschritte erforderlich. Dennoch kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren relativ schnell eine gute Homogenisierung erreicht werden. Dabei ist das Verfahren nicht auf eine bestimmte Weise der Homogenisierung festgelegt, sondern es wird aus einer Vielzahl von verschiedenen Homogenisierungsaktionen genau die für den jeweiligen Einzelfall geeignetste Methode gewählt, mit der das Ziel einer für die nachfolgende Messung ausreichenden Homogenisierung auf schnellstem Weg erreichbar ist. Das Verfahren kann hierbei grundsätzlich unabhängig von den individuellen Erfahrungen und des Vorwissens der jeweiligen anwesenden Bedienpersonen arbeiten.

[0016] Ein erfindungsgemäßes Magnetresonanzsystem benötigt zur Durchführung des Verfahrens zunächst Mittel zur Erfassung von Messdaten, welche eine B_1 -Feldverteilung in zumindest einem Teil eines Untersuchungsvolumens des Magnetresonanzsystems repräsentieren. Hierbei kann es sich um eine Einrichtung zur speziellen Messung der orts aufgelösten B_1 -Verteilung innerhalb des interessierenden Bereichs handeln. Da aber auch mit Hilfe geeigneter Magnetresonanzbilder Informationen über die B_1 -Verteilung gewonnen werden können, kann es sich hierbei auch um die üblichen Mittel zur Erstellung von Magnetresonanzbildern handeln. Zusätzlich benötigt das erfindungsgemäße Magnetresonanzsystem eine Messdaten-Analyseeinrichtung zur Durchführung der B_1 -Homogenitätsanalyse basierend auf den erfassten Messdaten sowie eine Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung zur Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen auf Basis der Homogenitätsanalyse und Mittel zum Abbruch des iterativen Homogenisierungsverfahrens, wenn eine festgestellte Homogenität für eine vorgesehene Magnetresonanzmessung ausreichend ist. Des Weiteren benötigt das Magnetresonanzsystem eine Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung zur Durchführung einer ausgewählten Homogenisierungsaktion.

[0017] Die abhängigen Ansprüche und die nachfolgende Beschreibung enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

[0018] Wie bereits erwähnt, können die benötigten Messdaten, welche die B_1 -Feldverteilung in dem zu homogenisierende Teil des Untersuchungsvolumens des Magnetresonanzsystems repräsentieren, auf verschiedene Weise gewonnen werden. So können diese Messdaten beispielsweise mit B_1 -sensitiven Mess-Sequenzen gewonnen werden, die weitgehend unabhängig von der anatomischen Struktur des untersuchten Bereichs eine orts aufgelöste B_1 -Verteilung liefern.

[0019] Bei einem speziellen Verfahren zur orts aufgelösten Messung der B_1 -Feldverteilung wird über die Hochfrequenzantenne eine sogenannte „Doppelecho-Hochfrequenzpulssequenz“ mit einem ersten Anregungspuls und zwei Refokussierungspulsen zur Erzeugung eines ersten und zweiten Echos ausgesendet. D. h. es wird zunächst ein erster Hochfrequenz-Anregungspuls ausgesendet, welcher den Kernspin beispielsweise um einen Flipwinkel α_1 verkippt. Anschließend erfolgt nach einer bestimmten Zeit ein zweiter Puls, ein sogenannter „Refokussierungspuls“, der zu einer weiteren Verkipfung um $2 \cdot \alpha_1$ führt. Nach Messung eines ersten Echos (des sogenannten Spin-Echos) wird dann ein weiterer α_1 -Refokussierungspuls ausgesendet und ein zweites Echo (das sogenannte stimulierte Echo) gemessen. Für die Amplituden des gemessenen Spin-Echo-Signals A_{SE} und des gemessenen stimulierten Echo-Signals A_{STE} in Abhängigkeit vom Flipwinkel α_1 gilt:

$$A_{SE} = e^{i\varphi} \sin^3(\alpha_1) \quad (2a)$$

$$A_{STE} = e^{i\varphi} \sin^3(\alpha_1) \cos(\alpha_1) \quad (2b)$$

φ bezeichnet dabei die Phasenlage des Echo-Signals. Der mit einer solchen Pulssequenz erreichte Flipwinkel α_1 lässt sich folglich über die Bedingung

$$\cos \alpha_1 = \frac{A_{STE}}{A_{SE}} \quad (3)$$

aus dem Verhältnis der Amplitude der beiden Echosignale bestimmen.

[0020] Um orts aufgelöst messen zu können, wird bei diesem Verfahren zumindest der Anregungspuls schichtselektiv ausgesendet, wobei besonders bevorzugt nur der Anregungspuls, nicht aber die Refokussierungspulse schichtselektiv ausgesendet werden. In der mittels des Anregungspulses festgelegten Anregungsschicht werden dann durch die Aussendung der passenden Gradientenpulse ein erstes Echo-Bild und ein zweites Echo-Bild orts aufgelöst gemessen. Eine solche „orts aufgelöste“ Messung der Echo-Bilder ist mit einem Verfahren möglich, bei dem zunächst die beiden Echos bei Anliegen eines Auslesegradienten durch Abtastung des zeitlichen Verlaufs mit m Datenpunkten mehrmals mit n verschiedenen Amplituden des Phasenkodiergradienten gemessen werden. Das Resultat dieser Messung ist dann eine Datenmatrix mit m Spalten und n Zeilen für jedes der Echos, d. h. des Spin- und des stimulierten Echos, in der sogenannten „Zeitdomäne“ (auch "k-Raum" genannt).

[0021] Diese Matrix wird für jedes Echo einzeln zweidimensional fouriertransformiert. Man erhält damit für jedes Echo ein echtes zweidimensionales Bild mit k -l Pixeln, wobei im Allgemeinen $m = n = k = 1$ gesetzt wird. Anhand des Verhältnisses der Amplituden des ersten und zweiten Echo-Bilds an den verschiedenen Orten, d.h. für jeden einzelnen Bild-Pixel, werden dann die lokalen Flipwinkel an den betreffenden Orten gemessen. Durch eine solche Messung kann folglich innerhalb der Schicht orts aufgelöst der Flipwinkel, d.h. eine Flipwinkelverteilung, gemessen werden. Der an einem bestimmten Ort gemessene Flipwinkel ist wiederum repräsentativ für das am betreffenden Ort eingestrahlte B_1 -Feld, wobei die Abhängigkeit durch Gleichung (1) gegeben ist. D. h. es kann mit Hilfe dieser Gleichung (bei Kenntnis des verwendeten Pulses) beliebig von einer Flipwinkelverteilung in eine B_1 -Feldverteilung und umgekehrt umgerechnet werden. Insoweit ist auch eine Ermittlung einer Flipwinkelverteilung mit einer Ermittlung der entsprechenden B_1 -Feldverteilung im Sinne dieser Schrift gleichzusetzen.

[0022] Neben dem zuvor beschriebenen Verfahren kann aber auch ein beliebiges anderes geeignetes Verfahren zur orts aufgelösten Messung der B_1 -Feldverteilung verwendet werden.

[0023] Eine andere, relativ einfache Methode, Messdaten zu erfassen, die die B_1 -Feldverteilung repräsentieren, besteht in der Aufnahme eines protonendichte-gewichteten Magnetresonanzbilds. Ein solches protonendichte-gewichtetes Magnetresonanzbild lässt sich erzeugen, indem bei der Messsequenz lange Repetitionszeiten und kurze Echozeiten verwendet werden, so dass die T_1 - und die T_2 -Relaxationszeiten keine Rolle spielen. In einem solchen protonendichte-gewichteten Bild sehen die verschiedenen Gewebetypen in etwa gleich aus. Daher weisen diese Bilder nur einen sehr geringen Kontrast auf. Mittels einer Low-Pass-Filterung des Bildes können außerdem Rest-Strukturen wie Kanten und kleine Details entfernt werden. Stärkere Abweichungen in den Strukturen innerhalb des gefilterten Bilds weisen daher auf Inhomogenitäten im B_1 -Feld hin. Dieses Verfahren wird auch bei bisherigen Normalisierungsverfahren als sogenannter „Pre-Scan“ eingesetzt. Das Verfahren ist ohne großen Aufwand durchführbar.

[0024] Grundsätzlich können aber auch auf andere Weise gewonnene Magnetresonanzbilder genutzt werden, um Aussagen über die Homogenität des B_1 -Felds zu treffen. Insbesondere ist es auch möglich, innerhalb der eigentlichen Magnetresonanzmessung selbst aufgenommene Bilder, die eine schlechte Qualität aufweisen und daher vom Bediener bemängelt werden, unmittelbar für eine erste Analyse des B_1 -Felds zu verwenden und bereits auf Basis dieser Messdaten eine B_1 -Homogenitätsanalyse durchzuführen.

[0025] Des Weiteren muss nicht bei jedem Iterationsschritt dasselbe Verfahren genutzt werden, um die Messdaten für die nachfolgende B_1 -Homogenitätsanalyse zu gewinnen, sondern es können durchaus auch in unterschiedlichen Iterationsschritten unterschiedliche Verfahren genutzt werden. So kann beispielsweise in einem ersten Schritt ein bemängeltes Magnetresonanzbild verwendet werden, um zunächst eine erste B_1 -Ho-

mogenitätsanalyse durchzuführen. Basierend auf der durchgeführten B_1 -Homogenitätsanalyse kann schließlich festgestellt werden, dass im Rahmen einer bestimmten Homogenisierungsaktion detailliertere Informationen über das B_1 -Feld erforderlich sind, so dass dementsprechend dann eine aufwändigere orts aufgelöste B_1 -Feldverteilungsmessung durchgeführt wird.

[0026] Eine auf Basis dieser Messdaten durchgeführte automatische Homogenitätsanalyse sollte vorzugsweise eine Ermittlung eines Homogenitätsgrads (bzw. Inhomogenitätsgrads) und/oder eine Ausdehnung und/oder eine Position ermittelter Homogenitätsabweichungen umfassen. Ein solcher Homogenitätsgrad kann im einfachsten Fall einfach die Aussage „gute Homogenität“ bzw. „schlechte Homogenität“ umfassen.

[0027] Vorzugsweise arbeitet das System mit einem quantifizierten B_1 -Homogenitätsmaß, um einen genaueren Homogenitätswert als Homogenitätsgrad zu ermitteln, d. h. das B_1 -Feld zu bewerten. Das iterative Homogenisierungsverfahren wird dann beendet, wenn die bei der Homogenitätsanalyse festgestellte Homogenität einen bestimmten Homogenitätsgrenzwert, welcher ebenfalls entsprechend dem quantifizierten Homogenitätsmaß festgelegt wurde, erreicht oder überschreitet.

[0028] Zur konkreten Durchführung eines solchen Verfahrens gibt es verschiedene Möglichkeiten.

[0029] So kann zum einen eine relative Analyse durchgeführt werden. Hierzu wird beispielsweise – sofern als Messdaten die Daten aus einer orts aufgelösten B_1 -Feldverteilungsmessung zur Verfügung stehen – zunächst ein (ggf. gewichteter) B_1 -Mittelwert bestimmt. Es wird dann ein maximal zulässiger Abweichungswert ϵ festgelegt, welcher z. B. 20% des ermittelten B_1 -Mittelwerts entspricht. Sofern das lokal an einem bestimmten Ort, d.h. in einem bestimmten Voxel, vorliegende B_1 -Feld mehr als um diesen Wert ϵ vom B_1 -Mittelwert abweicht, ist eine Homogenisierung mit geeigneten Maßnahmen erforderlich. Andernfalls reicht die Homogenität aus und das iterative Homogenisierungsverfahren wird beendet.

[0030] In ähnlicher Weise kann eine relative Analyse auch mit einem Magnetresonanzbild, insbesondere mit dem bereits beschriebenen protonendichte-gewichteten Magnetresonanzbild, durchgeführt werden. Hierzu kann nach der Low-Pass-Filterung des Bildes ein Intensitätsmittelwert bestimmt werden und dann überprüft werden, ob an einem bestimmten Ort die Intensität um einen festgelegten Wert ϵ von dem Intensitätsmittelwert abweicht.

[0031] Zum anderen kann auch eine absolute Analyse durchgeführt werden, bei der zunächst ein Sollwert für das B_1 -Feld bzw. die Intensität festgelegt wird und dann für jeden Ort ermittelt wird, ob das B_1 -Feld bzw. die Intensität vom Soll- B_1 -Wert bzw. im Soll-Intensitätswert abweicht.

[0032] Hierbei können auch Grenzwerte für die lokale und/oder globale spezifische Absorptionsrate (SAR) des Untersuchungsobjekts berücksichtigt werden. Insbesondere bei der Verwendung von starken Grundmagnetfeldern und den damit verbundenen relativ hohen Frequenzen des B_1 -Felds ist eine stärkere Erwärmung des Körpers aufgrund des höheren benötigten Energieeintrags verbunden. Ein solcher erhöhter Energieeintrag darf weder lokal bezüglich des Untersuchungsvolumens noch global bezüglich des Untersuchungsobjekts bzw. des gesamten Patienten beliebig hoch sein. Vielmehr sind im Rahmen der Magnetresonanzuntersuchung Grenzwerte zu berücksichtigen, um den Patienten nicht zu stark zu belasten. Da die spezifische Absorptionsrate von der Stärke des B_1 -Felds abhängig ist, können dementsprechend bei der Analyse auch passende B_1 -Grenzwerte bzw. Intensitätsgrenzwerte festgelegt werden, welche die SAR berücksichtigen, so dass eine nachfolgende Auswahl der Homogenisierungsaktion auch hinsichtlich der zulässigen SAR-Werte erfolgt.

[0033] Vorzugsweise umfasst die Homogenitätsanalyse eine automatische Erstellung einer B_1 -Inhomogenitätsdiagnose. D. h. es wird nicht nur festgestellt, dass überhaupt eine Inhomogenität vorliegt und in welchem Bereich bzw. welchem Umfang diese vorliegt, sondern es wird auch in dem möglichen Rahmen festgestellt, welche Ursache die jeweilige Inhomogenität hat, um dementsprechend die richtige Auswahl für die nachfolgende Homogenisierungsaktion zu treffen. Der Begriff „ B_1 -Inhomogenitätsdiagnose“ ist dabei mit dem Begriff „ B_1 -Homogenitätsdiagnose“ gleichzusetzen.

[0034] Dabei kann die Homogenitätsanalyse vorzugsweise eine Klassifizierung der ermittelten Homogenitätsabweichungen in vorbestimmte Homogenitätsabweichungsklassen umfassen, d. h. es wird der „Inhomogenitätstyp“ festgelegt. Hierzu weist das erfindungsgemäße Magnetresonanzsystem bevorzugt eine entsprechende Klassifizierungseinheit auf.

[0035] Besonders bevorzugt sind bestimmten Homogenisierungsabweichungsklassen bestimmte Homogeni-

sierungsaktionen zugeordnet. Die Auswahl der Homogenisierungsaktion kann dann auf Basis der Klassifizierung der ermittelten Homogenitätsabweichungen erfolgen. Das heißt, es werden innerhalb des erfindungsgemäßen Verfahrens automatisch die festgestellten Inhomogenitäten klassifiziert und einer vordefinierten Klasse von bekannten Inhomogenitätsfällen zugeordnet, für die es eine ausgearbeitete, geschlossene Homogenisierungslösung gibt.

[0036] Hierzu ist es erforderlich, dass das Magnetresonanzenzsystem eine Speichereinrichtung mit einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen aufweist, welche bestimmten Homogenisierungsabweichungsklassen zugeordnet sind.

[0037] Um bei der Homogenitätsanalyse eine geeignete B_1 -Inhomogenitätsdiagnose erstellen zu können bzw. die festgestellte Inhomogenität passend zu klassifizieren, werden in der Regel weitere Informationen benötigt. Diese Informationen stehen in der Regel im Magnetresonanzenzsystem in ausreichender Zahl zur Verfügung. So sind dem MR-System üblicherweise Informationen aus der Patienten-Registrierungsdatei über Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht des gerade untersuchten Patienten bekannt. Darüber hinaus ist in der Regel aus dem Messkontext heraus die aktuelle Patientenposition bestimmbar. Daraus lässt sich insgesamt eine konkrete Inhomogenitätsanalyse bzw. -diagnose vornehmen, die ausgehend von bereits gespeicherten bekannten Lösungsansätzen für die Homogenisierungsaufgabe zunächst eine Standardlösung anbietet. Zu diesem Zweck weist das erfindungsgemäße Magnetresonanzenzsystem vorzugsweise eine Datenbank auf, in der alle notwendigen Informationen in einer diskretisierten, hierarchisch strukturierten Form geordnet sind, so dass für eine Inhomogenitätsdiagnose die Daten schnellstmöglich abrufbar sind.

[0038] In welcher Weise eine Homogenisierungsaktion durchgeführt wird, hängt von der jeweils ausgewählten Homogenisierungsaktion ab. Gesteuert wird die Homogenisierungsaktion jeweils mit Hilfe der Homogenisierungs-Steuereinrichtung.

[0039] In vielen Fällen handelt es sich um eine Homogenisierungsaktion, die durch eine passende Einstellung bzw. Justage der Parameter der verschiedenen Komponenten des Magnetresonanzenzsystems durchführbar ist. So können beispielsweise gezielt mitschwingende Antennenstrukturen geschaltet werden, um eine bestimmte B_1 -Feld-„Vorverzerrung“ zu erreichen. Ebenso können beispielsweise Änderungen im B_1 -Feld durch Einstellung der Messequenz-Parameter erreicht werden.

[0040] Darüber hinaus gibt es aber auch Verfahren, wie beispielsweise die Veränderung der dielektrischen Umgebung des Körpers mittels Wasserkissen oder anderer dielektrischer Elemente, die ein Eingreifen des Bedienpersonals erfordern. Daher kann die Durchführung der Homogenisierungsaktion vorzugsweise auch eine automatische Ausgabe von Informationen und/oder Anweisungen über eine Benutzerschnittstelle umfassen. D. h. es wird dann dem jeweiligen Bediener beispielsweise genau vorgegeben, wie und an welcher Stelle er welche dielektrischen Elemente zu positionieren hat. Hierzu umfasst die Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung vorzugsweise eine Ausgabeeinrichtung, beispielsweise eine Promptgenerierungs-Einheit und/oder eine geeignete Dialogsteuerung, um die gewünschten Informationen und/oder Anweisungen zu generieren und über eine Benutzerschnittstelle des Magnetresonanzenzsystems auszugeben.

[0041] Vorzugsweise werden außerdem bei der Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion auf Basis der Inhomogenitätsanalyse mit Hilfe der zusätzlichen Informationen auch bestimmte Parameter festgelegt, welche bei der Durchführung einer bestimmten ausgewählten Homogenisierungsaktion zu verwenden sind. Bei diesen Parametern kann es sich beispielsweise um einzustellende Vorverzerrfaktoren bzw. die genau einzustellenden Mess-Sequenzparameter oder um Angaben über die Kissengröße oder über bestimmte Typen der dielektrischen Kissen und die genauen Positionierungsdaten handeln, um bei einer nachfolgenden Messung ein homogeneres B_1 -Feld zu erreichen.

[0042] Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel erfolgt die Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion unter Berücksichtigung bereits in vorhergehenden Iterationsschritten und/oder Homogenisierungsverfahren durchgeführter Homogenisierungsaktionen sowie ggf. unter Berücksichtigung der dabei verwendeten Parameter. D. h. das erfindungsgemäße Magnetresonanzenzsystem ist als „Expertensystem“ lernfähig und nutzt die Erfahrungen von vorhergehenden Homogenisierungsaktionen und der dabei mit bestimmten Parametern erzielten Wirkungen für die Auswahl und Definition von Homogenisierungsaktionen in nachfolgenden Fällen.

[0043] Hierzu ist es erforderlich, dass das Magnetresonanzenzsystem eine Speichereinrichtung aufweist, um Informationen über eine in einem Iterationsschritt durchgeführte Homogenisierungsaktion und ggf. die dabei ver-

wendeten Parameter zu speichern. Auch die Hinterlegung dieser Daten sollte vorzugsweise in einer geeigneten strukturierten Datenbank erfolgen, so dass in ähnlichen Fällen schnell auf die zugehörigen Daten zurückgegriffen werden kann.

[0044] Grundsätzlich kann das erfindungsgemäße System derart ausgebildet sein, dass das Homogenisierungsverfahren vollautomatisch abläuft. Dennoch ist es von Vorteil, das System flexibel zu gestalten und verschiedene Eingriffsmöglichkeiten für den Bediener in den erfindungsgemäßen Verfahrensablauf zu gewähren, so dass dieser das System halbautomatisch nutzen kann oder ggf. auch in eine Art manuellen Modus umstellen kann.

[0045] Hierzu werden vorzugsweise vor einer automatischen Erstellung einer B_1 -Inhomogenitätsdiagnose – ggf. nach Anfrage durch den Benutzer – die erfassten Messdaten über eine Benutzerschnittstelle ausgegeben. Es kann dann in Abhängigkeit von einer Benutzereingabe automatisch die B_1 -Homogenitätsanalyse basierend auf den erfassten Messdaten durchgeführt werden oder direkt eine bestimmte Homogenisierungsaktion durchgeführt werden, wenn beispielsweise der Benutzer anhand der erfassten Messdaten bereits selbst entschieden hat, welche Homogenisierungsaktion durchgeführt werden soll. Ebenso kann auch in Abhängigkeit von der Benutzereingabe das iterative Homogenisierungsverfahren beendet werden und sofort die nachfolgende Magnetresonanzmessung gestartet werden.

[0046] Alternativ kann auch nach Durchführung einer automatischen B_1 -Homogenitätsanalyse – ggf. wiederum nach Anfrage durch den Benutzer – das Analyseergebnis bzw. die Diagnose über die Benutzerschnittstelle ausgegeben werden und dann in Abhängigkeit von der Benutzereingabe eine bestimmte Homogenisierungsaktion durchgeführt werden oder das iterative Homogenisierungsverfahren beendet werden. An dieser Stelle kann im Übrigen anhand der Benutzereingabe auch festgelegt werden, dass zunächst eine Homogenisierungsaktion automatisch ausgewählt wird, weil sich der Benutzer anhand des Analyseergebnisses nicht selbst für eine Homogenisierungsaktion entscheiden kann bzw. möchte, sondern lieber in den „automatischen Modus“ zurückschaltet.

[0047] Hierzu sollte das erfindungsgemäße Magnetresonanzsystem eine entsprechende Benutzerschnittstelle zur Ausgabe der erfassten Messdaten und/oder eines Analyseergebnisses sowie Mittel zur Erfassung einer Benutzereingabe aufweisen. Eine „Erfassung“ der Benutzereingabe in diesem Sinne sollte dabei zumindest insoweit eine Analyse bzw. Interpretation der Benutzereingabe umfassen, als dass erkannt wird, ob auf Basis der Benutzereingabe eine automatische Erstellung einer B_1 -Homogenitätsanalyse gestartet werden soll, ob eine Homogenisierungsaktion ausgewählt werden soll, ob eine bestimmte Homogenisierungsaktion durchgeführt werden soll oder ob evtl. sogar das iterative Homogenisierungsverfahren beendet werden soll.

[0048] Die zur Umsetzung der Erfindung in einem Magnetresonanzsystem erforderlichen Komponenten wie die Messdaten-Analyseeinrichtung, die Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung, die Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung, die Ausgabereinrichtung, die Klassifizierungseinheit etc. können zu einem überwiegenden Teil in Form von Softwarekomponenten erstellt werden. Übliche Magnetresonanzsysteme weisen ohnehin programmierbare Steuereinrichtungen auf, so dass auf diese Weise die Erfindung bevorzugt mit Hilfe von geeigneter Steuersoftware realisierbar ist. D. h. es wird ein entsprechendes Computerprogramm-Produkt direkt in den Speicher einer programmierbaren Steuereinrichtung des betreffenden Magnetresonanzsystems geladen, welches Programmcode-Mittel aufweist, um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

[0049] Diese softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch bestehende Magnetresonanzsysteme jederzeit auf einfache Weise nachgerüstet werden können, um das erfindungsgemäße Verfahren zu nutzen.

Ausführungsbeispiel

[0050] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

[0051] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Magnetresonanzsystems,

[0052] [Fig. 2](#) ein einfaches Flussdiagramm, welches das Funktionsprinzip des erfindungsgemäßen Homogenisierungsverfahrens im allgemeinsten Fall darstellt,

[0053] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrensablaufs, welcher interaktive Eingriffe eines Bedieners zulässt,

[0054] [Fig. 4](#) ein Flussdiagramm, welches eine konkrete Form einer bestimmten Homogenisierungsmaßnahme innerhalb des Verfahrensablaufs gemäß [Fig. 3](#) darstellt.

[0055] [Fig. 1](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Magnetresonanzsystem **1**, mit welchem eine Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich ist. Kernstück dieses Magnetresonanzsystems **1** ist ein Tomograph **2**, in welchem ein Patient auf einer Liege **4** in einem ringförmigen Grundfeldmagneten positioniert wird (nicht dargestellt). Innerhalb des Grundfeldmagneten befindet sich eine Hochfrequenzantenne **3** zur Aussendung der HF-Pulse in ein Untersuchungsvolumen U um den Patienten.

[0056] Diese Hochfrequenzantenne **3** weist in diesem Ausführungsbeispiel eine Mehrzahl von Antennenelementen auf, welche einzeln über separate Sendekanäle angesteuert werden können. Der Aufbau kann beispielsweise dem in der DE 101 24 465 A1 genannten Aufbau entsprechen. Abgesehen von dem speziellen Aufbau der Antenne **3** und der notwendigen Komponenten zur separaten Ansteuerung der einzelnen Antennenelemente kann es sich auch um einen handelsüblichen Tomographen handeln. Da innerhalb des erfindungsgemäßen Verfahrens verschiedenste Homogenisierungsaktionen genutzt werden können, ist das Verfahren im übrigen grundsätzlich auch mit herkömmlichen Tomographen anwendbar, die keine solche spezielle Antennenkonstruktion aufweisen.

[0057] Angesteuert wird der Tomograph **2** von einer Steuereinrichtung **10**, welche hier separat dargestellt ist. Als Benutzerschnittstelle **5** ist über eine I/O-Schnittstelle **15** an die Steuereinrichtung **10** ein Terminal **5** angeschlossen, über das ein Bediener B die Steuereinrichtung **10** und damit den Tomographen **2** bedient. Dieses Terminal **5** weist in üblicher Weise einen Bildschirm **6**, eine Tastatur **7** und ein Zeigergerät **8** für eine graphische Benutzeroberfläche, beispielsweise eine Maus **8**, auf. Darüber hinaus kann die Benutzerschnittstelle **5** auch einen Lautsprecher zur Ausgabe von Audiosignalen, wie Warnsignalen etc., aufweisen.

[0058] Die Steuereinrichtung **10** ist hier über die Schnittstellen **13**, **13** mit dem Tomographen **2** verbunden. Sowohl die Steuereinrichtung **10** als auch das Terminal **5** können aber ebenso auch integraler Bestandteil des Tomographen **2** sein.

[0059] Eine Schnittstelle **14** dient zum Anschluss des Magnetresonanzsystems **1** an ein Kommunikationsnetz, beispielsweise ein Bildinformationssystem, über einen Bus **18**. Das Magnetresonanzsystem **1** weist darüber hinaus auch alle weiteren Komponenten bzw. Merkmale eines üblichen Magnetresonanzsystems auf. Diese üblichen Komponenten sind jedoch der besseren Übersichtlichkeit wegen in [Fig. 1](#) nicht dargestellt.

[0060] Die Steuereinrichtung **10** steuert über die Schnittstelle **12** den Tomographen **2** an, um beispielsweise für eine Aussendung der gewünschten Hochfrequenz-Pulssequenzen durch die Antenne **3** zu sorgen und die Gradienten in geeigneter Weise zu schalten, um eine bestimmte MR-Messung durchzuführen. Über die Schnittstelle **13** werden die vom Tomographen **2** kommenden Rohbilddaten akquiriert und daraus in der Steuereinrichtung **10** die Bilder rekonstruiert, welche dann beispielsweise auf dem Bildschirm **6** des Terminals **5** dargestellt und/oder in einem Speicher (nicht dargestellt) hinterlegt werden können.

[0061] Die notwendigen Einheiten zur Ansteuerung des Tomographen **2** und zur Rohbilddaten-Auswertung bzw. Bildrekonstruktion sind vorzugsweise in Form von Softwaremodulen (nicht dargestellt) auf einem programmierbaren Prozessor **11** der Steuereinrichtung **10** realisiert. Bei dem Speicher kann es sich auch um einen externen Massenspeicher handeln, auf welchen die Steuereinrichtung **10** beispielsweise über ein Netzwerk Zugriff hat.

[0062] Mit Hilfe der üblichen Komponenten zur Rohbilddaten-Akquisition können verschiedenste Messdaten M erfasst werden, welche eine B_1 -Feldverteilung des von der Antenne **3** ausgesendeten HF-Felds repräsentieren. So können insbesondere von der Steuereinrichtung **10** entsprechende Steuerbefehle S an den Tomographen **2** übergeben werden, so dass dieser z. B. die eingangs beschriebenen Doppelecho-Hochfrequenzpulssequenzen o. ä. Sequenzen zur Messung der B_1 -Feldverteilung aussendet. Anschließend werden die dabei erfassten Messdaten M über die Schnittstelle **13** von der Steuereinrichtung **10** übernommen.

[0063] Bei dem dargestellten Magnetresonanzsystem **1** weist die Steuereinrichtung **10** außerdem – ebenfalls in Form von Softwaremodulen auf dem programmierbaren Prozessor **11** realisiert – nachfolgend beschriebene Komponenten auf.

[0064] Eine wesentliche Komponente ist eine Messdaten-Analyseeinrichtung **16**, mit deren Hilfe zunächst basierend auf den erfassten Messdaten M eine B_1 -Homogenitätsanalyse des von der Antenne **3** ausgesandten

HF-Felds erfolgen kann. Dies schließt ein, dass auf Basis der Messdaten M die orts aufgelöste B_1 -Feldverteilung für jedes einzelne Antennenelement bestimmt werden kann. Die Messdaten-Analyseeinrichtung **16** umfasst als Untermodul eine Klassifizierungseinheit **17**, welche bei der Homogenitätsanalyse ermittelte Homogenitätsabweichungen in Homogenitätsabweichungsklassen HK einordnet. Entsprechende Homogenitätsabweichungsklassen HK sind in einem Speicher **12** der Steuereinrichtung **10** hinterlegt, auf welche der Prozessor **11** zugreifen kann.

[0065] Bei diesem Speicher kann es sich auch um einen externen Speicher bzw. einen Speicherbereich in einem externen Speicher handeln, auf den die Steuereinrichtung **10** Zugriff hat. Eine weitere Komponente ist eine Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung **19**. Diese wählt auf Basis der Homogenitätsanalyse eine bestimmte Homogenisierungsaktion HA aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen HA aus. Die verschiedenen vorgefertigten Lösungen zur Durchführung einer Homogenisierungsaktion HA sind hier ebenfalls innerhalb der Speichereinrichtung **12** hinterlegt. Sie sind dabei verschiedenen Homogenitätsabweichungsklassen HK zugeordnet.

[0066] Da die Messdaten-Analyseeinrichtung **16** hier als Analyseergebnis auch die Homogenitätsabweichungsklassen HK an die Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung **19** übergibt, kann die Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung **19** einfach mit Hilfe der Zuordnung zwischen den Homogenitätsabweichungsklassen HK und den vorgefertigten Lösungen für verschiedene Homogenisierungsmaßnahmen, d. h. den Homogenisierungsaktionen HA, die richtige Homogenisierungsaktion HA auswählen.

[0067] Außerdem sind in der Speichereinrichtung **12** verschiedene Parameter hinterlegt, die wiederum verschiedenen Homogenisierungsaktionen HA zugeordnet sind und die bei den verschiedenen Homogenisierungsaktionen HA bevorzugt zu verwenden sind.

[0068] Des Weiteren ist in der Speichereinheit **12** noch eine Datenbank mit verschiedenen Fallinformationen FI gespeichert, aus der Einzelheiten über das Geschlecht, das Alter, die Größe und das Gewicht des gerade untersuchten Patienten sowie die aus dem Messkontext heraus sich ergebende aktuelle Patientenposition ermittelbar sind. Diese Daten können zum einen von der Homogenitäts-Analyseeinrichtung **16** genutzt werden, um eine hinreichende Inhomogenitätsdiagnose zu erstellen bzw. um diese Daten bei der Feststellung von Inhomogenitäten zu nutzen. Sie können zum anderen aber auch von der Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung **19** genutzt werden, um unter Berücksichtigung dieser Fallinformationen eine optimale Auswahl der Homogenisierungsaktion HA zu treffen.

[0069] Sofern eine Homogenisierung festgestellt wird, die für eine nachfolgende Messung ausreichend ist, kann das Homogenisierungsverfahren beendet und die gewünschte Messung gestartet werden. Dies kann entweder bereits von der Analyseeinrichtung **16** oder auch von der Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung **19** festgestellt werden.

[0070] Sobald eine Homogenisierungsaktion HA ausgewählt wurde, sorgt eine Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung **20** dafür, dass die Homogenisierungsaktion HA in richtiger Weise durchgeführt wird.

[0071] Hierzu kann die Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung **20** entsprechend über die Schnittstelle **12** auf die betreffenden Komponenten des Tomographen **2** zugreifen, um die optimalen Parameter einzustellen und so ein möglichst homogenisiertes B_1 -Feld zu erzeugen.

[0072] Außerdem umfasst die Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung **20** auch einen Benutzerausgaben-Generator **21**, welcher Befehle und/oder Informationen bezüglich durchzuführender Homogenisierungsmaßnahmen für den Bediener generiert. Die so generierten Benutzerausgaben BA können über das Terminal **5** an den Bediener B entweder in optischer Form, beispielsweise über das Display **6**, oder auch in akustischer Form über den Lautsprecher **9** ausgegeben werden. Der Bediener B kann dann entsprechend den Anweisungen reagieren und beispielsweise im Rahmen der Homogenisierungsaktion HA ein dielektrisches Element an der passenden Stelle innerhalb des Untersuchungsvolumens U manuell positionieren.

[0073] **Fig. 2** zeigt ein sehr vereinfachtes Beispiel für eine Iterationsschleife gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren. Das Verfahren beginnt in der Regel zunächst im Verfahrensschritt I mit einer B_1 -Messdaten-Erfassung. Anschließend erfolgt im Verfahrensschritt II eine Homogenitätsanalyse. Im einfachsten Fall wird hier – beispielsweise durch Vergleich mit Grenzwerten – einfach entschieden, ob die Homogenität für die nachfolgende Messung ausreichend ist oder nicht. Kommt das System zu der Entscheidung, dass die ermittelte Homogenität zu schlecht ist, wird im Verfahrensschritt III eine passende Homogenisierungsaktion HA ausgewählt.

Die ausgewählte Homogenisierungsaktion wird dann im Verfahrensschritt IV durchgeführt. Anschließend erfolgt eine neue B_1 -Messdaten-Erfassung im Verfahrensschritt I sowie eine nachfolgende erneute Homogenitätsanalyse im Verfahrensschritt II usw. Dieses Verfahren wird so lange durchgeführt, bis die Homogenität ausreichend gut ist. Alternativ ist eine Beendigung des Verfahrens möglich, wenn bei der Auswahl in Schritt III festgestellt wird, dass kein geeignetes Homogenisierungsverfahren (mehr) zur Verfügung steht. In beiden Fällen erfolgt in der Regel im Verfahrensschritt V die Durchführung der gewünschten Magnetresonanzmessung.

[0074] In [Fig. 3](#) ist grob schematisch ein etwas aufwändigeres Verfahren dargestellt, welches einen interaktiven Eingriff des Bedieners in den Verfahrensablauf zulässt.

[0075] Hier beginnt das Verfahren in der Regel ebenfalls zunächst mit einer B_1 -Messdaten-Erfassung im Schritt I. Anschließend erfolgt jedoch zunächst im Verfahrensschritt VI eine Abfrage an einen Bediener, ob das weitere Verfahren interaktiv oder automatisch durchgeführt werden soll.

[0076] Diese Abfrage VI erfolgt in Form einer Benutzerausgabe BA an den Bediener B, welcher mit einer Benutzereingabe BE reagieren kann. Die Benutzereingabe BE kann der Bediener B beispielsweise mittels der Tastatur **7** eingeben oder auch, sofern z. B. die Benutzerausgabe über eine graphische Benutzeroberfläche auf dem Display **6** erfolgt, mit Hilfe eines entsprechenden Mausklicks (siehe [Fig. 1](#)). Alternativ ist auch eine Benutzerausgabe BA innerhalb eines Sprachdialogs über den Lautsprecher **9** und eine Benutzereingabe BE über ein nicht dargestelltes Mikrofon bzw. Headset möglich.

[0077] Sinnvollerweise erfolgt mit der Abfrage, ob der Bediener das Verfahren interaktiv weiterführen will, im Verfahrensschritt VI auch eine Ausgabe der erfassten B_1 -Messdaten, so dass der Bediener B seine Entscheidung in Kenntnis dieser Daten treffen kann.

[0078] Entscheidet sich der Bediener B für ein weiteres interaktives Vorgehen, so kann der Bediener im nachfolgenden Verfahrensschritt VII manuell eine bestimmte Homogenisierungsaktion HA auswählen, welche dann im Verfahrensschritt IV ausgeführt wird. Ebenso kann der Bediener aber auch auf Basis der ihm angegebenen B_1 -Messdaten entscheiden, dass eine ausreichende Homogenisierung vorliegt und in diesem Fall die MR-Messung im Verfahrensschritt V sofort starten. Die dritte Möglichkeit besteht darin, dass der Bediener sich doch noch für die automatische Erstellung einer Homogenitätsanalyse entscheidet. Diese erfolgt dann im Verfahrensschritt II.

[0079] Wie in [Fig. 3](#) entsprechend dargestellt, besteht für den Bediener bei der ersten Abfrage im Verfahrensschritt VI durch Verneinen der Nachfrage nach einem interaktiven Eingriff auch die Möglichkeit, sofort die automatische Homogenitätsanalyse im Verfahrensschritt II erstellen zu lassen.

[0080] Sofern sich bei der Erstellung der Homogenitätsanalyse im nächsten Verfahrensschritt II ergibt, dass die Homogenität zu schlecht ist, erfolgt zunächst im Verfahrensschritt VIII wieder eine Abfrage, ob der Bediener interaktiv in das Verfahren eingreifen möchte, wobei dem Bediener vorteilhafterweise hier das Analyseergebnis bzw. die Diagnose der Homogenitätsanalyse aus dem Verfahrensschritt II präsentiert wird. Entscheidet sich der Bediener für ein interaktives Eingreifen, so erfolgt ein Rücksprung zum Verfahrensschritt VII, so dass der Bediener die Gelegenheit erhält, wieder selber das Verfahren abzubrechen oder manuell eine geeignete Homogenisierungsaktion HA auszuwählen.

[0081] Entscheidet sich der Bediener im Verfahrensschritt VIII gegen einen interaktiven Eingriff, so erfolgt im Verfahrensschritt III eine automatische Auswahl der Homogenisierungsaktion HA, welche dann im Verfahrensschritt IV durchgeführt wird.

[0082] Im Verfahrensschritt IV wird dann die Homogenisierungsaktion HA durchgeführt. Nach der Homogenisierungsaktion wird das Verfahren wieder im nächsten Iterationsschritt mit dem Teilschritt I weitergeführt, indem erneute B_1 -Messdaten erfasst werden.

[0083] In einigen Fällen kann es vorkommen, dass eine Homogenisierung bzw. eine weitere Homogenisierung nach einer Anzahl von bereits durchgeführten Iterationsschritten nicht möglich ist. In diesem Fall wird genau wie bei einer Feststellung einer ausreichenden Homogenität im Verfahrensschritt II zunächst der Verfahrensschritt IX eingeleitet, in welchem der Benutzer gefragt wird, ob er interaktiv in das Verfahren eingreifen will. Verneint er dies, so wird letztlich die MR-Messung in Schritt V durchgeführt, unabhängig davon, ob das Verfahren abgebrochen wurde, weil eine ausreichende Homogenität erreicht wurde oder weil keine Verbesserung der Homogenität erreichbar ist. Vorzugsweise wird dies in der letzten Abfrage IX an den Bediener angezeigt

bzw. im Falle einer nicht ausreichenden Homogenität ein entsprechendes Warnsignal ausgegeben.

[0084] In [Fig. 4](#) ist schematisch eine Möglichkeit einer Homogenisierungsaktion HA dargestellt, welche auf einer Verstellung bestimmter Stellglieder basiert, beispielsweise der Schaltung von Umschaltern für die Kopplung von mitschwingenden Lokalspulen zur Verzerrung des B_1 -Feldes. Das Verfahren beginnt mit der Optimierungsaufforderung, welche beispielsweise in [Fig. 3](#) ausgehend vom Verfahrensschritt VII manuell oder aber durch eine automatische Auswahl im Verfahrensschritt III erfolgen kann.

[0085] Es wird dann in einem ersten Verfahrensschritt IVa zunächst ein Schleifenzähler $i = 1$ gesetzt. Anschließend erfolgt eine B_1 -Messdaten-Erfassung im Verfahrensschritt IVb. Bei dem ersten Durchlauf der dargestellten Iterationsschleife kann auf die B_1 -Messdaten-Erfassung im Verfahrensschritt IVb auch verzichtet werden, wenn in der übergeordneten Schleife gemäß [Fig. 3](#) im Verfahrensschritt I bereits entsprechende B_1 -Messdaten erfasst wurden.

[0086] Anschließend erfolgt dann eine B_1 -Feld-Analyse im Verfahrensschritt IVc, in der wieder festgestellt wird, ob die B_1 -Messwerte ausreichend homogen sind. Danach wird im Verfahrensschritt IVd der Schleifenzähler um einen Wert inkrementiert und im Verfahrensschritt IVe entsprechend die erforderlichen Stellglieder gesetzt, so dass die B_1 -Feldverteilung homogener werden sollte.

[0087] Danach erfolgt wieder im Verfahrensschritt IVb eine erneute B_1 -Messdatenerfassung und eine weitere B_1 -Feld-Analyse im Verfahrensschritt IVc. Dieses Verfahren wird solange durchgeführt, bis eine ausreichende B_1 -Homogenität erreicht wird.

[0088] Anschließend wird im Verfahrensschritt IVf überprüft, ob der Schleifenzähler $i = 1$ beträgt. Ist dies der Fall, so bedeutet das, dass innerhalb der Homogenisierungsaktion HA im Verfahrensschritt IV gar keine Stellglieder umgesetzt wurden, d. h. dass keine Homogenisierung durchgeführt wurde bzw. dass mit dieser Maßnahme auch keine Verbesserung der Homogenisierung erreichbar wäre. Dies entspricht dem Fall, dass in [Fig. 3](#) vom Verfahrensschritt IV direkt in den Verfahrensschritt IX gesprungen wird. Andernfalls erfolgt nach erfolgter Homogenisierung ein entsprechender Rücksprung in den Verfahrensschritt I in [Fig. 3](#).

[0089] Eine Homogenisierungsaktion HA, welche in [Fig. 3](#) als ein Block dargestellt ist, kann also wie in [Fig. 4](#) gezeigt ebenfalls in Form einer iterativen Schleife in der erfindungsgemäßen Weise aufgebaut sein. Dabei kann diese Schleife insbesondere auch vollautomatisch durchlaufen werden, ohne dass ein interaktiver Eingriff möglich ist. Die einzelnen Umschaltaktionen in Verfahrensschritt IVe können insofern auch wieder als Homogenisierungsaktionen im Sinne der Erfindung aufgefasst werden.

[0090] Alternativ können auch eine Vielzahl anderer Homogenisierungsmaßnahmen durchgeführt werden, wie z. B. die Veränderung der dielektrischen Umgebung des Körpers mittels Wasserelemente oder sonstiger dielektrischer Körper. Ebenso kann die dielektrische Umgebung des Körpers auch mit Hilfe von Elementen mit Kammerstrukturen, bei denen gezielt bestimmte Kammern geflutet oder entleert werden, automatisch verändert werden oder es können anisotrope dielektrische Festkörper gezielt orientiert werden. Weiterhin ist, wie bereits oben beschrieben, eine gezielte Ansteuerung segmentierter Antennenstrukturen oder auch die Einstellung bestimmter Messsequenz-Parameter möglich, um ein optimiertes B_1 -Feld zu erreichen.

[0091] Das gesamte Homogenisierungsverfahren kann vollautomatisch ausgelöst werden, wenn bei einer Bildaufnahme in einer geplanten Magnetresonanzmessung festgestellt wird, dass die Bildausleuchtung unzureichend ist bzw. ein inhomogenes Bild oder unerwünschte Abschattungen vorliegen. Dies kann im Rahmen einer automatischen Bildanalyse erfolgen. Ebenso kann aber auch der Bediener eine unzureichende Bildausleuchtung, ein inhomogenes Bild oder eine Abschattung bemängeln und somit das Verfahren starten. Wird das Homogenisierungsverfahren auf diese Weise ausgelöst, so kann das entsprechende Bild zunächst als erstes einer automatischen Homogenitätsanalyse unterzogen werden, d. h. es kann im ersten Verfahrensschritt auf die B_1 -Messdatenerfassung verzichtet werden, da ja auch das bemängelte Magnetresonanzbild selber bereits Messdaten enthält, welche das B_1 -Feld in bestimmter Weise repräsentieren. Ist bereits bei dieser ersten Analyse der Fehler identifizierbar, der zu der Inhomogenität des B_1 -Feldes geführt hat, kann dem Bediener entsprechend ein Lösungsvorschlag präsentiert werden bzw. automatisch die notwendige Homogenisierungsaktion HA durchgeführt werden. In diesem Fall ist das Verfahren bereits nach einem Iterationsschritt erfolgreich. Andernfalls können in weiteren Iterationsschritten entsprechende weitergehende B_1 -Feldverteilungen oder sonstige Messdaten erfasst werden, um auf Basis dieser Messdaten dann weitere Homogenisierungsaktionen durchzuführen.

[0092] Ist eine Homogenisierung erfolgreich abgeschlossen, so werden vorzugsweise sämtliche Daten für eine weitere Verwendung gespeichert und können z. B. einen Grundstock und/oder eine Informationsdatenbank für ein neuronales Netzwerk oder sog. KI-System (künstliche Intelligenz) bzw. lernfähiges Expertensystem bilden. Ist die Homogenisierung nicht erfolgreich, so wird zunächst die Iteration weitergeführt bzw. im Rahmen der Iteration andere alternative Homogenisierungsverfahren eingesetzt.

[0093] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahrensabläufen sowie bei dem dargestellten Magnetresonanzsystem lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Obwohl die Erfindung eingangs am Beispiel von Magnetresonanzgeräten im medizinischen Bereich beschrieben wurde, sind die Einsatzmöglichkeiten der Erfindung nicht auf diesen Bereich beschränkt, sondern die Erfindung kann ebenso auch in wissenschaftlichen und/oder industriell genutzten Magnetresonanzgeräten verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Homogenisierung eines B_1 -Felds für eine Magnetresonanzmessung in einem Magnetresonanzsystem (1) in zumindest einem bestimmten Bereich eines Untersuchungsvolumens (U) mit einer Anzahl von Iterationsschritten, wobei ein Iterationsschritt folgende Teilschritte umfasst:

- Erfassung von Messdaten (M), welche eine B_1 -Feldverteilung in zumindest dem betreffenden Teil des Untersuchungsvolumens (U) des Magnetresonanzsystems (1) repräsentieren,
- automatische Durchführung einer B_1 -Homogenitätsanalyse basierend auf den erfassten Messdaten (M),
- automatische Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion (HA) aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen (HA) auf Basis der B_1 -Homogenitätsanalyse oder Beendigung des iterativen Homogenisierungsverfahrens, wenn die diagnostizierte Homogenität für eine vorgesehene Magnetresonanzmessung ausreichend ist,
- Durchführung einer ausgewählten Homogenisierungsaktion (HA).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenitätsanalyse eine Ermittlung eines Homogenitätsgrads und/oder eine Ausdehnung und/oder eine Position ermittelter Homogenitätsabweichungen umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenitätsanalyse eine automatische Erstellung einer B_1 -Inhomogenitätsdiagnose umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenitätsanalyse eine Klassifizierung ermittelter Homogenitätsabweichungen in vorgegebene Homogenitätsabweichungsklassen (HK) umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bestimmten Homogenitätsabweichungsklassen (HK) bestimmte Homogenisierungsaktionen (HA) zugeordnet sind und die Auswahl der Homogenisierungsaktion (HA) auf Basis der Klassifizierung der ermittelter Homogenitätsabweichungen erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion auf Basis der Homogenitätsanalyse Parameter (P) bestimmt werden, welche bei der Durchführung der Homogenisierungsaktion (HA) verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung der Homogenisierungsaktion (HA) eine automatische Ausgabe von Informationen und/oder Anweisungen (BA) über eine Benutzerschnittstelle (5) umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das iterative Homogenisierungsverfahren beendet wird, wenn die bei der Homogenitätsanalyse festgestellte Homogenität einen bestimmten Homogenitätsgrenzwert erreicht oder überschreitet.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass vor einer automatischen Erstellung einer B_1 -Inhomogenitätsdiagnose die erfassten Messdaten (M) über eine Benutzerschnittstelle (5) ausgegeben werden und dass in Abhängigkeit von einer Benutzereingabe (BE)

- automatisch eine B_1 -Homogenitätsanalyse durchgeführt wird
- oder eine bestimmte Homogenisierungsaktion (HA) durchgeführt wird

– oder das iterative Homogenisierungsverfahren beendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach einer automatischen B1-Homogenitätsanalyse ein Analyseergebnis über eine Benutzerschnittstelle (5) ausgegeben wird und dass in Abhängigkeit von einer Benutzereingabe (BE)

- eine Homogenisierungsaktion (HA) ausgewählt wird
- oder eine bestimmte Homogenisierungsaktion (HA) durchgeführt wird
- oder das iterative Homogenisierungsverfahren beendet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion (HA) unter Berücksichtigung bereits in vorhergehenden Iterationsschritten und/oder Homogenisierungsverfahren durchgeführter Homogenisierungsaktionen (HA) erfolgt.

12. Magnetresonanzsystem (1) mit

- Mitteln zur Erfassung von Messdaten (M), welche eine B_1 -Feldverteilung in zumindest einem Teil eines Untersuchungsvolumens des Magnetresonanzsystem repräsentieren,
- mit einer Messdaten-Analyseeinrichtung (16) zur Durchführung einer B1-Homogenitätsanalyse basierend auf den erfassten Messdaten (M),
- einer Homogenisierungsaktions-Auswahleinrichtung (19) zur Auswahl einer bestimmten Homogenisierungsaktion (HA) aus einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen (HA) auf Basis der Homogenitätsanalyse,
- Mitteln zum Abbruch des iterativen Homogenisierungsverfahrens, wenn eine festgestellte Homogenität für eine vorgesehene Magnetresonanzmessung ausreichend ist,
- einer Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung (20) zur Durchführung einer ausgewählten Homogenisierungsaktion 13. Magnetresonanzsystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsaktions-Steuereinrichtung (20) eine Ausgabereinrichtung (21) zur Generierung von Informationen und/oder Anweisungen für eine Ausgabe an einen Bediener (B) umfasst.

13. Magnetresonanzsystem nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeichnet durch eine Klassifizierungseinheit (17), um bei einer Homogenitätsanalyse ermittelte Homogenitätsabweichungen in Homogenitätsabweichungsklassen (HK) einzuordnen.

14. Magnetresonanzsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 14, gekennzeichnet durch eine Speichereinrichtung (12) mit einer Anzahl von möglichen Homogenisierungsaktionen (HA), welche bestimmten Homogenitätsabweichungsklassen (HK) zugeordnet sind.

15. Magnetresonanzsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 15, gekennzeichnet durch eine Benutzerschnittstelle (5) zur Ausgabe der erfassten Messdaten (M) und/oder eines Analyseergebnisses an einen Bediener (B) und zur Erfassung einer Benutzereingabe (BE)

- zum Start einer automatischen Erstellung einer B_1 -Homogenitätsanalyse
- oder zur Auswahl einer Homogenisierungsaktion (HA)
- oder zur Durchführung einer bestimmten Homogenisierungsaktion (HA)
- oder zum Beenden des iterativen Homogenisierungsverfahrens.

16. Magnetresonanzsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 16, gekennzeichnet durch eine Speichereinrichtung (12), um Informationen über eine in einem Iterationsschritt durchgeführte Homogenisierungsaktion (HA) zu speichern.

17. Computerprogrammprodukt, welches direkt in einen Speicher einer programmierbaren Steuereinrichtung (10) eines Magnetresonanzsystems (1) ladbar ist, mit Programmcode-Mitteln, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen, wenn das Programm in der Steuereinrichtung (10) des Magnetresonanzsystems (1) ausgeführt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

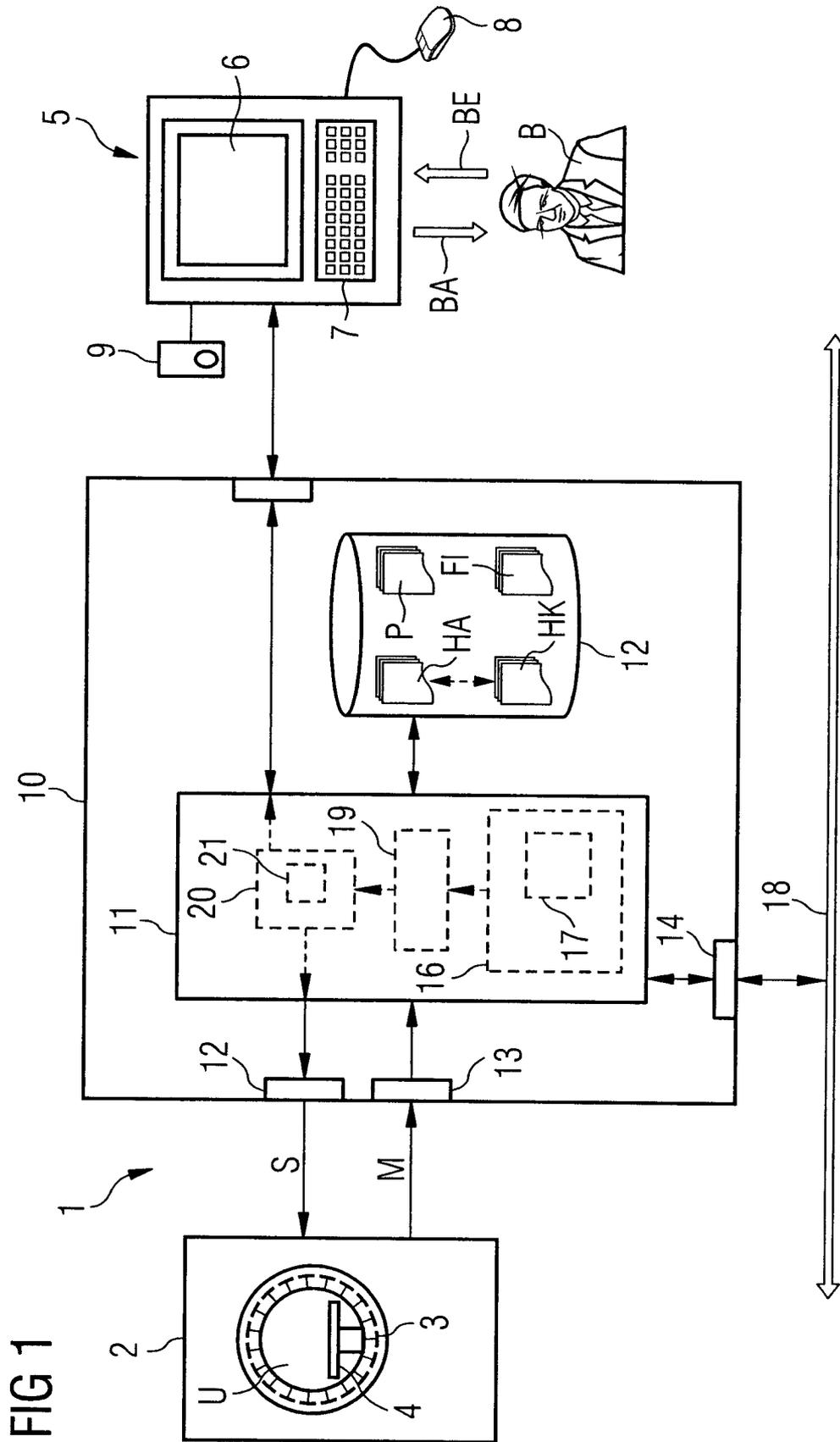


FIG 1

FIG 2

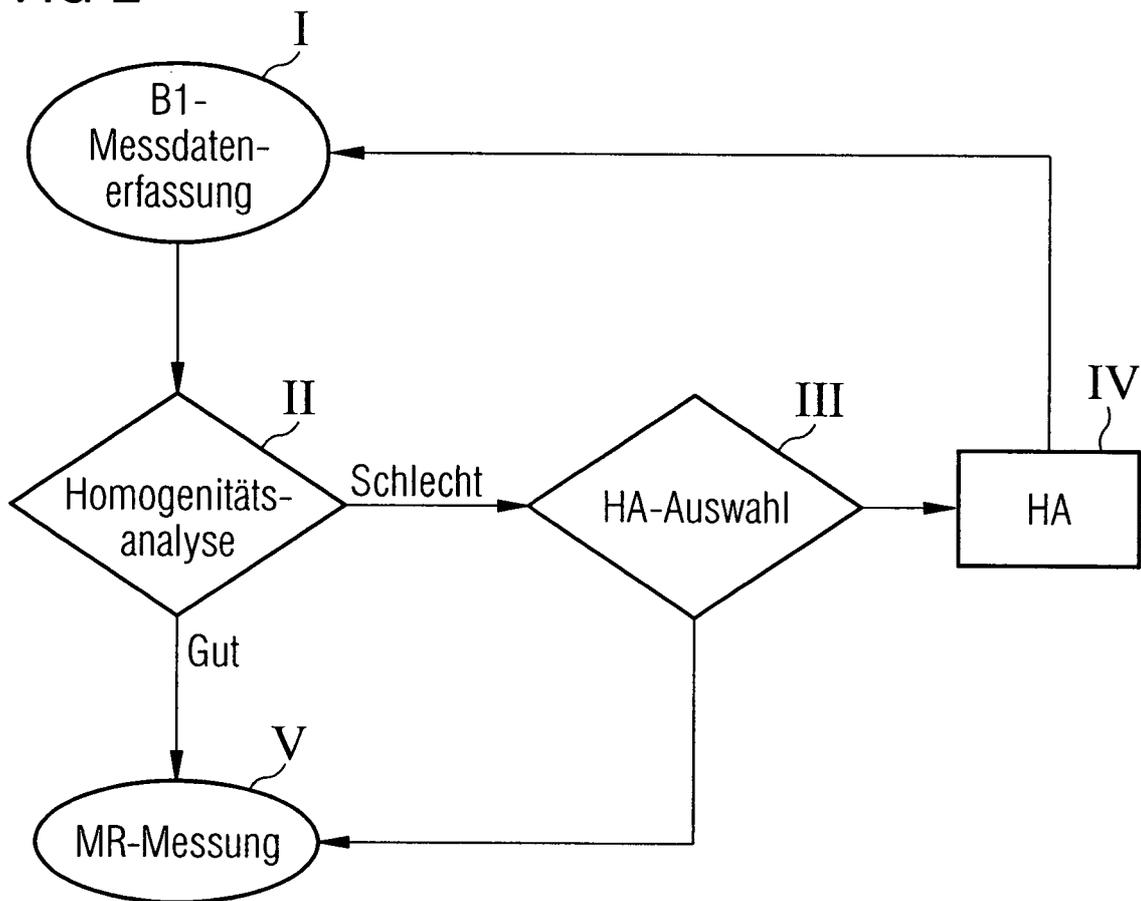


FIG 3

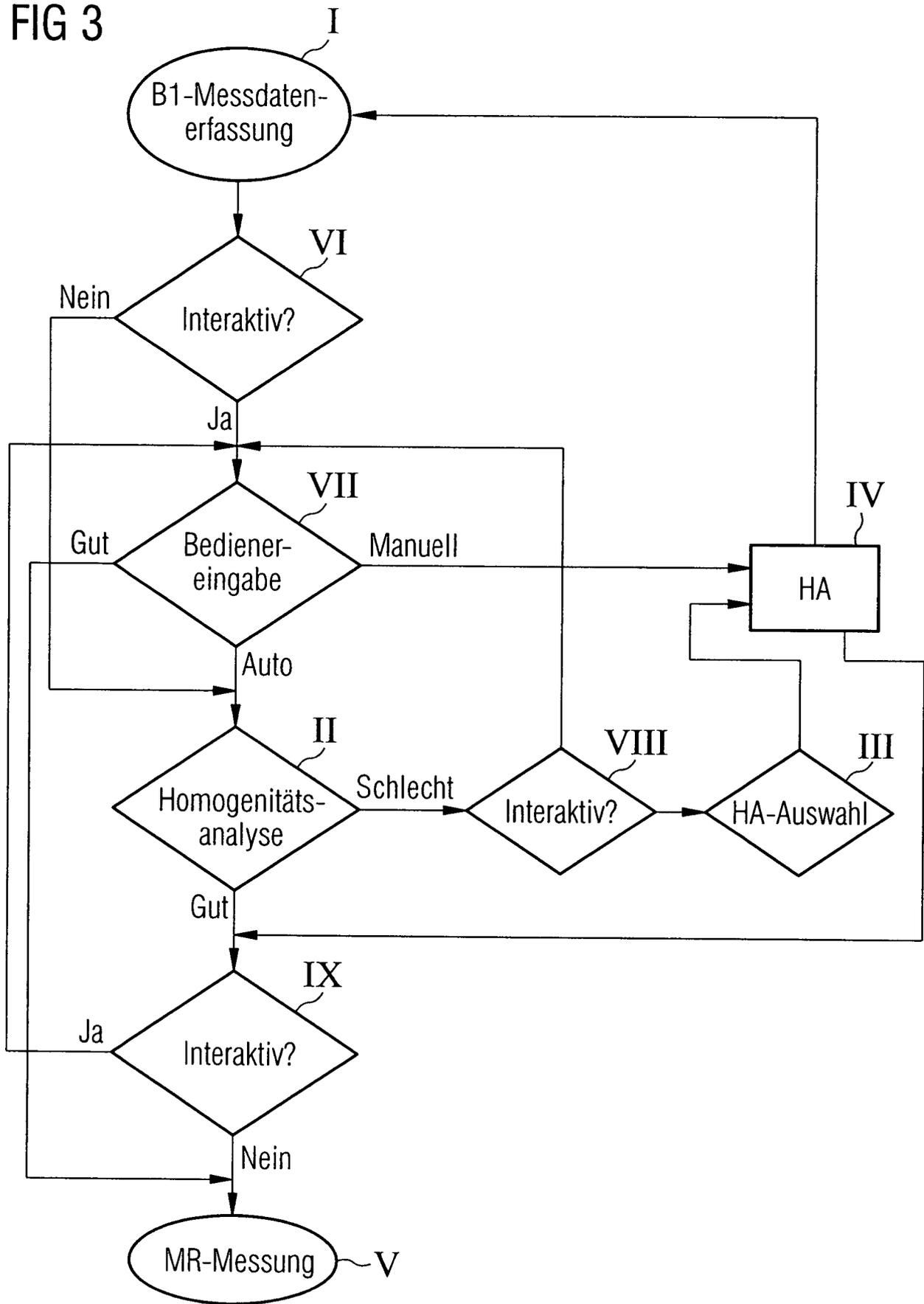


FIG 4

