



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 199 01 331 B4 2006.10.26**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 01 331.4**
 (22) Anmeldetag: **15.01.1999**
 (43) Offenlegungstag: **27.07.2000**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **26.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 33/3873 (2006.01)**
G01R 33/3875 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
Bruker BioSpin GmbH, 76287 Rheinstetten, DE

(74) Vertreter:
Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565 Stuttgart

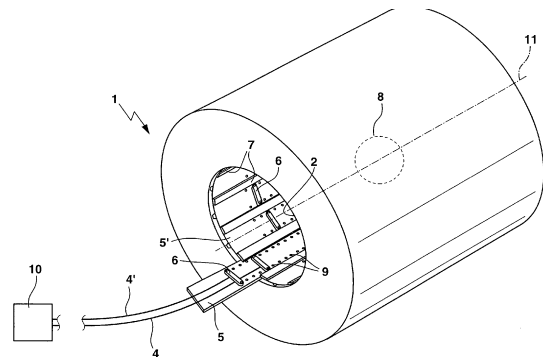
(72) Erfinder:
Kasten, Arne, Prof. Dr. Dip.-Phys., 76139 Karlsruhe, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 42 14 128 A1
US 50 47 720
US 50 03 276
US 46 82 111
EP 02 72 411 A1

(54) Bezeichnung: **Einrichtung und Verfahren zum Homogenisieren eines Magnetfeldes**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Homogenisierung des durch einen Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes im Arbeitsvolumen einer Magnetresonanz-Einrichtung, wobei das Arbeitsvolumen von einer Vielzahl in eine oder mehrere Halterungen eingebauter Shims in Form von ferromagnetischen Plättchen umgeben wird, die in ihrer Gesamtheit Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen sollen, mit folgenden Schritten:

- a) die Feldverteilung im Arbeitsvolumen wird gemessen;
- b) mit Hilfe dieser Feldverteilung werden Anzahl, Stärken und Positionen von Shims so berechnet, dass sie in ihrer Gesamtheit die Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen;
- c) die Shims werden in die berechneten Positionen gebracht und in einer oder mehreren Halterungen relativ zum Arbeitsvolumen fest arretiert;
- d) die Feldverteilung wird im Arbeitsvolumen erneut vermessen;
- e) es werden zumindest für einige der Shims jeweils kleine Auslenkungen entlang mindestens einer Richtung aus ihren in Schritt b) berechneten Positionen bestimmt, die die in Schritt d) ermittelten verbliebenen Feldinhomogenitäten weiter...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einrichtung und ein Verfahren zur Homogenisierung des durch einen Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes im Arbeitsvolumen einer Magnetresonanz-Einrichtung wobei das Arbeitsvolumen von einer Vielzahl ferromagnetischer Elemente umgeben ist, deren Anzahl, Stärken und Positionen so gewählt sind, daß sie in ihrer Gesamtheit Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen.

Stand der Technik

[0002] Eine solche Einrichtung und ein solches Verfahren sind beispielsweise bekannt aus der EP 0 272 411 B1.

[0003] Im Gegensatz zur Magnetfeldhomogenisierung mittels sogenannter Shimspulen, durch die Korrekturströme geschickt werden, hat sich in letzter Zeit insbesondere in Magneten der bildgebenden Kernresonanz (MRI) das sogenannte „passive Shimmen“ immer mehr durchgesetzt, bei dem die aktiv ansteuerbaren Shimspulen durch passive ferromagnetische bzw. auch permanentmagnetische, kleine Plättchen ersetzt werden, die an vorausberechneten Stellen um das Arbeitsvolumen herum plaziert werden (EP 0 272 411 B1). Bei den üblichen supraleitenden Tomographiemagneten mit einer Raumtemperaturbohrung werden in axialen Führungen an der Wand der Raumtemperaturbohrung stabförmige Halterungen eingeschoben, in denen an vorgegebenen axialen Positionen jeweils eine vorausberechnete Anzahl von ferromagnetischen „Shimplättchen“ gestapelt und fixiert ist.

[0004] Die in US 4 682 111 beschriebene Vorrichtung realisiert eine Grundhomogenisierung des Magnetfeldes mit Hilfe der Formgebung von Polschuhe. Zum Ausgleichen von unvorhersehbaren Fertigungsfehler oder Störungen nach werden "Shimstangen" unterschiedlich weit in den Spalt zwischen den Polschuhen eingeschoben. Dies ist jedoch nicht ausreichend für eine Feinkorrektur der Homogenisierung des Magnetfeldes. Hierfür ist zusätzlich zu den „Shimstangen“ eine Vielzahl an Shimspulen vorgesehen, die auf den Polschuhen angeordnet sind.

[0005] Aus US 5,003,276 ist ein Verfahren zum Shimmen von Permanentmagneten bekannt, bei dem ferromagnetische Teile radial verschiebbar auf einer Vielzahl von nichtmagnetischen Stangen angebracht sind. Nach Installation des Magneten wird die Magnetfeldverteilung gemessen und durch geeignetes Verschieben der ferromagnetischen Teile die Änderungen des Feldes am Einsatzort gegenüber dem Feld am Herstellungsort des Magneten ausgeglichen.

[0006] Während beispielsweise in den supraleitenden Magneten der hochauflösenden NMR nach wie vor Shimspulensätze verwendet werden, um das Feld am Probenort zu homogenisieren, wird im Bereich der Kernspintomographie (MRI) meist die rechnerisch zwar aufwendigere aber preiswertere und letztlich bequemere eingangs genannte Methode des passiven Shimmens verwendet, die nur einmal angewendet werden muß und dann keine Stromversorgung oder Netzgeräte mehr erfordert.

[0007] Allerdings ist selbst bei Verwendung recht kleiner einzelner Shimplättchen die Feldkorrektur in gewisser Weise „digitalisiert“, da an vorgegebenen Positionen nur ein Plättchen mit festem magnetischem Moment hinzugefügt oder entfernt werden kann. Zudem erfordert dieser Vorgang einen Eingriff in das Arbeitsvolumen selbst oder doch Umbauarbeiten in unmittelbarer Nähe des Arbeitsvolumens, so daß das passive Shimmen seine Vorteile nur voll ausnutzen kann, wenn die Feldhomogenisierung tatsächlich, ggf. in einigen wenigen Iterationsschritten, ein für alle mal durchgeführt werden kann. In Fällen, in denen sich die Feldverteilung im Arbeitsvolumen mit der Zeit ändert, z.B. bereits durch das Einbringen eines Meßobjekts, den zeitweisen Einfluß ferromagnetischer Objekte in der Umgebung oder auch eine Änderung des Feldprofils der Hauptspule während der Betriebszeit, insbesondere bei Permanentmagneten oder resistiven Polschuhmagneten, kann jedoch eine Nachjustierung wünschenswert sein.

[0008] In der EP 0 823 641 A1 wird vorgeschlagen, sowohl passive Shimplättchen an vorgegebenen Positionen zu verwenden als auch Shimspulen um einerseits die Anzahl der notwendigen Shimpositionen und andererseits die benötigten Shimströme gering zu halten. Dies erfordert den Einbau eines konventionellen Shimsystems mit Spulen als auch Halterungen für passive Shims.

Aufgabenstellung

[0009] Es besteht der Bedarf nach einer Homogenisierungseinrichtung und einem Homogenisierungsverfahren, das passive Shimelemente verwendet, das aber eine Feinhomogenisierung mittels dieser Elemente gestattet, ohne daß sie bzw. ihre Haltevorrichtung, ein- oder umgebaut werden müßten.

[0010] Die Aufgabe wird durch eine Anordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst, sowie durch ein Verfahren nach Anspruch 1.

[0011] Dadurch, daß nach einer Grobhomogenisierung, bei der nur Shimelemente an festen Positionen addiert oder subtrahiert werden, eine kontinuierliche Feinjustierung der einzelnen eingebauten Shimelemente durch Verschieben mit kleiner Auslenkung folgt, kann die Kompensation von Feldinhomogenitäten

ten im Arbeitsvolumen durch diese genauer sein und vor allem kann sie durchgeführt werden ohne daß einzelne Elemente, Teile oder die Gesamtheit ihrer Halterungen aus- und/oder eingebaut werden müßten. Dadurch wird es auch praktikabel, mittels der passiven Shimelemente zeitlich veränderliche Inhomogenitäten zu kompensieren.

[0012] Die nach der Grobhomogenisierung mit Elementen an fixen Positionen verbliebenen Inhomogenitäten können in einem ersten Schritt wieder durch Vermessen des Arbeitsvolumens ermittelt und rechnerisch „bessere“ Positionen der Elemente gewonnen werden, die zu einer homogenen Verteilung führen. Dabei können je nach Auslegung kleine Verschiebungen aller oder ausgewählter Elemente in eine, zwei oder drei Richtungen zugelassen sein. Insbesondere bei permanentmagnetischen könnte auch eine Drehung in Frage kommen. Das Vermessen des Arbeitsvolumens kann in an sich bekannter Weise über Feldsonden oder auch bildgebende NMR-Verfahren erfolgen.

[0013] Anschließend können die Elemente noch um ihre neu gefundene „optimale“ Position mit noch kleineren Amplituden ausgelenkt werden, um zeitabhängige oder probenspezifische Zusatzinhomogenitäten ständig auszugleichen. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß der eigentlichen Probenmessung eine Information entnommen wird, die Aufschluß über die momentane Feldhomogenität im Arbeitsvolumen gibt oder daß ein kurzer separater Meßschritt zwischengeschaltet wird, der dies gestattet. Dies könnte bei einer NMR-Messung z.B. ein zeitabhängiges NMR-Signal (FID, Spin-Echo) sein oder auch die Breite und/oder Form einer NMR-Linie. Bei bestimmten Messungen können aber auch die Elemente nach einem festen Programm gesteuert werden, wenn z.B. über eine Pulssequenz mit geschalteten Gradienten bestimmte Feldverzerrungen erwartet werden. Insbesondere bei resistiven oder Permanentmagneten kann ein Regel- oder Steuerparameter auch die Temperatur oder Temperaturverteilung eines Polschuhs sein. Auch Bewegungen des Meßobjekts oder im Meßobjekt können der Auslöser für Homogenitätsverschiebungen sein, insbesondere, wenn sich Materialien oder Grenzflächen mit unterschiedlicher magnetischer Suszeptibilität verschieben.

[0014] Der vorgeschaltete Schritt des Neuvermessens des Arbeitsvolumens und des Auffindens neuer (permanenter) optimaler Positionen der Elemente kann auch entfallen und es erfolgt nur eine aktuelle Regelung durch Verschieben aus den ehemals fixen Positionen heraus anhand eines oder mehrerer Parameter während oder zwischen aktuellen Messungen der magnetischen Resonanz.

[0015] Die Verschiebungen der Elemente sind klein

gegen die Abstände der im ersten Schritt berechneten Positionen der Elemente. Dies hat den Vorteil, daß zunächst mit bekannten Rechenmethoden das Arbeitsvolumen „geschimmt“ wird. Diese Rechenmethoden berechnen i.a. für fixe Positionen ein jeweils anzubringendes magnetisches Moment, das dann durch mehrere Shimplättchen approximiert wird. Die gefundene Lösung ist bereits zumindest eine gute Näherung. Davon ausgehend, kann nun eine bessere Lösung durch Variationen von kleinen Auslenkungen entweder berechnet oder experimentell gefunden werden.

[0016] Vorzugsweise sind die Auslenkungen der Shims jeweils kleiner als $1/3$ des Abstand zur nächsten benachbarten Shimposition. Diese Auslenkung ist apparativ noch zu bewältigen und sie führt mathematisch noch nicht zu weit weg von der Ausgangslösung, was die Rechenalgorithmen (und ggf. ein manuelles „Probieren“) sicherer macht.

[0017] Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Auslenkungen von einer Konsole gesteuert werden, die sich im Abstand vom Hauptmagneten befindet, z.B. im Nachbarraum. Dadurch ist es nicht erforderlich, sich dem Magneten zu nähern und in sein Streufeld zu geraten, was den Shimvorgang stören würde. Vorzugsweise ist die Konsole außerhalb der sog. 5-Gauss-Linie.

[0018] Eine besonders bevorzugte Art der Auslenkung der Shims verwendet Piezotranslatoren. Diese sind unmagnetisch und werden zwar mit einigermaßen hohen Spannungen aber nahezu stromlos angesteuert. Daher wird die Feldverteilung nicht nennenswert gestört. Sie sind zudem sehr genau und reproduzierbar. Die Piezotranslatoren sind an einer oder mehreren festen Halterungen angebracht und tragen ihrerseits Halterungen zur Aufnahmen von Shims. Grundsätzlich können handelsübliche Translatoren verwendet werden mit Auslenkungen vom μm - bis in den cm-Bereich entlang einer, zwei oder drei Achsen.

[0019] Die Shims oder Shimstapel können jedoch auch auf andere Art bewegt werden, z.B. über den Druck an einer pneumatischen Leitung zu einem pneumatischen Translator. Dieser kann seine Position im Wesentlichen proportional zum Druck verändern und dadurch eine kontinuierliche Verschiebung gestatten. Er kann aber auch auf Druckstöße ansprechen, wodurch der Shim oder Shimstapel in eine eng benachbarte neue Position springt, in der er dann bis zum nächsten Druckstoß arretiert bleibt. Bei der Bewegung/Arretierung kann ausgenutzt werden, daß das Feld des Hauptmagneten auf die Shims/Shimstapel eine Kraft ausübt. Die Auslenkung ist jetzt nur noch quasi-kontinuierlich, d.h. sehr fein digitalisiert. Bewegungen unter solchen oder ähnlichen Randbedingungen, bei denen ein Objekt Zahn um Zahn durch einen Puls verschoben wird, sind im allgemei-

nen Stand der Technik an sich bekannt und können auf die vorliegende Aufgabe übertragen, bzw. an diese angepaßt werden. Insofern ist die Erfindung nicht auf spezielle Ausführungsformen beschränkt. Es sind auch andere Pulsanregungen als Druckluft denkbar, insbesondere auch solche, die an sich die Magnetresonanzmessung stören, da sie ja nur kurzzeitig wirken müssen.

[0020] In konventionellen Tomographiesystemen mit einem rohrförmigen Raumtemperaturzugang zum Arbeitsvolumen oder in konventionellen, supraleitenden analytischen NMR-Magneten aber auch bspw. bei supraleitenden Magneten zum Messen der Ionenzyklotronresonanz (ICR) können die berechneten Shimpositionen im Wesentlichen auf einer Zylinderoberfläche angeordnet sein und/oder auch die Halterung für die Shims hat im wesentlichen Kreiszyindersymmetrie. Dies ist der Geometrie angepaßt. In Magneten mit Polschuhen, z.B. einigen ESR-Magneten oder sog. „offenen“ Tomographiemagneten werden die Shims im Wesentlichen eben parallel zur Polschuhebene angeordnet sein. Dies gilt insbesondere auch für einseitige Magnetkonstruktionen, bei denen sich das Arbeitsvolumen außerhalb der eigentlichen Magnetstruktur befindet.

[0021] Vorzugsweise sind die Shims ferromagnetische Plättchen, die in den berechneten oder vorgegebenen Positionen gestapelt werden können. In der Regel wird man weitgehend identische Shimplättchen verwenden und zunächst das gesamte magnetische Moment an einer Shimposition dadurch einstellen, daß man mehr oder weniger Plättchen stapelt. In Sonderfällen kann man einige wenige, z.B. bis zu drei oder fünf, unterschiedliche Sorten von Shims verwenden, wobei die verschiedenen Sorten unterschiedliche magnetische Momente aufweisen. Man kann auch weichmagnetische Shims an einigen Positionen und permanentmagnetische an anderen Positionen verwenden, insbesondere wo magnetische Momente entgegen dem Hauptfeld vorteilhaft sind. Diese Varianten und beliebige Kombinationen davon erhöhen ggf. die Variabilität der Anordnung und können so an spezielle Gegebenheiten besser angepaßt werden.

[0022] Ganz allgemein gilt, daß die Shimpositionen sich an der Geometrie des Hauptmagneten und den erforderlichen freien Zugängen zum Arbeitsvolumen orientieren müssen und werden.

[0023] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweiligen Kombination sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0024] Die erfindungsgemäßen Anordnungen bzw.

Verfahren können mit an sich bekannten Shimordnungen bzw. -verfahren kombiniert bzw. in diese integriert werden. Insbesondere können zusätzlich konventionelle Shimspulen vorhanden sein. Auch ist es nicht nötig, daß alle Shims einer erfindungsgemäßen Anordnung im geschilderten Sinn geregelt ausgeleitet werden können.

Ausführungsbeispiel

[0025] Die Erfindung wird anhand der Zeichnung im folgenden näher erläutert. Es zeigen:

[0026] [Fig. 1](#): äußerst schematisch den Hauptmagneten einer Kernspinresonanzapparatur mit einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Homogenisierungseinrichtung;

[0027] [Fig. 2](#): äußerst schematisch eine Detailansicht von auf einer Halteplatte angebrachten Piezotranslatoren beispielsweise der ersten Ausführungsform der Erfindung nach [Fig. 1](#);

[0028] [Fig. 3](#): einen pneumatischen Translater einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Homogenisierungseinrichtung.

[0029] [Fig. 1](#) zeigt äußerst schematisch einen konventionellen supraleitenden Hauptmagneten **1** eines Kernspintomographen mit einer axialen **11** Raumtemperaturbohrung **2**. Das Arbeitsvolumen **8** befindet sich im zentralen Bereich der Raumtemperaturbohrung **2** und ist daher in [Fig. 1](#) nur durch den Aufbruch sichtbar. An der Innenwand der Raumtemperaturbohrung **2** befinden sich axiale Führungen **7**, in die Halterungen **5** eingeschoben werden können mit möglichen Positionen **9**, an denen Shimplättchen **6** gestapelt werden können. Die Halterungen **5** werden in die Führungen **7** eingeschoben und arretiert. Es könnte auch eine gemeinsame zylindersymmetrische Halterung vorgesehen sein.

[0030] Erfindungsgemäß sind die gestapelten Shimplättchen jeweils auf einem Piezotranslator montiert, der sie bezogen auf die Achse **11** in radialer Richtung verschieben kann. Die Piezotranslatoren sind über Leitungen **4** mit einer Konsole **10** verbunden, was es gestattet, definierte Hochspannungen an jeden Translater anzulegen und dadurch von der entfernten Konsole aus die radiale Verschiebung der Shimplättchenstapel **6** einzustellen. Üblicherweise wird sich die Konsole in einem separaten Vorraum des Untersuchungsraums befinden, in dem der Hauptmagnet **1** steht.

[0031] Anstelle oder in Kombination mit der radialen Verschiebung können die Translatoren auch eingerichtet sein, die Shimplättchenstapel entlang der Achse **11** oder in Umfangsrichtung um die Achse **11** zu verschieben. Die Amplitude der Verschiebung ist je-

weils klein, i.a. kleiner, vorzugsweise deutlich kleiner, als die entsprechende Ausdehnung der Shimplättchenstapel **6** in die jeweilige Richtung.

[0032] Die Anordnung der Shimplättchenstapel **26** ist in [Fig. 2](#) auszugsweise detaillierter, aber immer noch schematisch, dargestellt. Auf einer Trägerplatte **25** ist jeweils ein Piezotranslator **23** montiert, der beispielsweise eine Verschiebung senkrecht zur Trägerplatte **25** erlaubt. Jeder Piezotranslator **23** trägt in einer Halterung **22** einen Stapel **26** identischer ferromagnetischer Shimplättchen, die durch das Hauptmagnetfeld aufmagnetisiert sind. Durch Anlegen einer Hochspannung über Leitungen **24** dehnt sich der Translator **26** aus oder zieht sich wieder zusammen und verschiebt dadurch in definierter Weise den Plättchenstapel **26**. Die Trägerplatte **25** kann Teil eines Trägerrohrs (siehe [Fig. 1](#)) sein aber auch eine von zwei im Wesentlichen ebenen Shimträgerplatten eines Polschuhmagneten. Bei einseitigen Hauptmagneten, die einen weitgehenden freien Zugang in einem Halbraum um das Arbeitsvolumen gestatten, kann auch nur eine Shimträgerplatte vorgesehen sein. Je nach Aufbau des Hauptmagneten wird man ganz allgemein die Shimelemente an Positionen um das Arbeitsvolumen plazieren, die einen gewünschten freien Zugang nicht oder nur wenig behindern. Daher sind auch Konfigurationen denkbar, in denen die Shims nicht in Ebenen bzw. auf Zylindern angeordnet sind, sondern insbesondere bei kompliziert aufgebauten Hauptmagneten in Positionen, in denen sie wenig stören.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt einen Aufbau, in dem die Shimelemente **36** pneumatisch (oder hydraulisch) über einen von der Konsole über eine Leitung **34** regelbaren Druck p_1 , gegen den Druck einer Feder **31** verschoben werden. Die Feder **31** kann unmagnetisch sein aber auch ferromagnetisch und ihr druckabhängiger Einfluß bei der Kompensation berücksichtigt werden. Die Form der Feder kann variieren, insbesondere kann auch die magnetische Kraft des Hauptmagnetfelds auf die Shimelemente **36** als Rückstellkraft (mit) ausgenutzt werden. Es versteht sich, daß [Fig. 3](#) nur eine von vielen möglichen Ausführungsformen einer pneumatischen Verschiebung der Shimelemente explizit zeigt. Dem Fachmann werden sich viele Abwandlungen erschließen, die in den Rahmen der Erfindung fallen.

[0034] In den Rahmen der Erfindung fallen auch Ausführungsformen, bei denen die Shimelemente durch einen Puls, insbesondere einen Druckpuls, sukzessive aus einer jeweils diskreten Position in eine nächste, eng benachbarte diskrete Position befördert werden (z.B. sägezahnartige Verankerungen). Bei dieser Art der Verschiebung kann wiederum das Hauptmagnetfeld für die Haltekraft in der jeweils fixen Position ausgenutzt werden. Die Verschiebung ist vorzugsweise als Funktion aufeinanderfolgender

Pulse periodisch, d.h. nach Erreichen einer maximalen Verschiebung wird die Richtung umgekehrt oder die Shimplättchen springen in die Ausgangsposition zurück.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Homogenisierung des durch einen Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes im Arbeitsvolumen einer Magnetresonanz-Einrichtung, wobei das Arbeitsvolumen von einer Vielzahl in eine oder mehrere Halterungen eingebauter Shims in Form von ferromagnetischen Plättchen umgeben wird, die in ihrer Gesamtheit Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen sollen, mit folgenden Schritten:

- a) die Feldverteilung im Arbeitsvolumen wird gemessen;
- b) mit Hilfe dieser Feldverteilung werden Anzahl, Stärken und Positionen von Shims so berechnet, dass sie in ihrer Gesamtheit die Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen;
- c) die Shims werden in die berechneten Positionen gebracht und in einer oder mehreren Halterungen relativ zum Arbeitsvolumen fest arretiert;
- d) die Feldverteilung wird im Arbeitsvolumen erneut vermessen;
- e) es werden zumindest für einige der Shims jeweils kleine Auslenkungen entlang mindestens einer Richtung aus ihren in Schritt b) berechneten Positionen bestimmt, die die in Schritt d) ermittelten verbliebenen Feldinhomogenitäten weiter reduzieren;
- f) für eine Feinkorrektur werden zumindest einige der Shims im eingebauten Zustand aus ihrer in Schritt b) berechneten Positionen um die in Schritt e) ermittelten jeweils kleinen Auslenkungen verschoben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung im Wesentlichen kontinuierlich erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschiebung über sprungartige Verschiebungen in feste Positionen erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während oder zwischen aktuellen Magnetresonanzmessungen eines Objekts im Arbeitsvolumen sich der weitere Schritt anschließt:

- g) aufgrund eines oder mehrerer durch Magnetresonanzmessung ermittelten Parameters, der von Feldinhomogenitäten abhängt, werden zumindest einige der in Schritt e) berechneten Auslenkungen für eine aktuelle Feinstkorrektur weiter optimiert.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vermessung der Feldverteilung in Schritt d) aus einer Er-

mittlung eines oder mehrerer durch Magnetresonanzmessung ermittelten Parameter, die von Feldinhomogenitäten abhängen, besteht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkungen über die elektrischen Spannungen an Piezotranslatoren geregelt werden, die die Shims verschieben.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkungen über den Druck an pneumatischen Translatoren geregelt werden, die die Shims verschieben.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während einer aktuellen Magnetresonanzmessung die Auslenkungen eines oder mehrerer Shims um ihre berechneten Positionen verschoben werden, um durch die Messung selbst verursachte Homogenitätsstörungen „on-line“ auszugleichen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkungen nach einem vorbestimmten Programm gesteuert werden.

10. Anordnung für die Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Homogenisierung des durch einen Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes im Arbeitsvolumen einer Magnetresonanz-Einrichtung, wobei das Arbeitsvolumen von einer Vielzahl in eine oder mehrere Halterungen eingebauter Shims in Form von ferromagnetischen Plättchen umgeben ist, deren Anzahl, Stärken und Positionen so berechnet sind, dass sie in ihrer Gesamtheit Feldinhomogenitäten des Hauptmagneten im Arbeitsvolumen weitgehend ausgleichen, dadurch gekennzeichnet, daß für eine aktuelle Feinkorrektur zumindest einige der Shims im eingebauten Zustand um ihre berechneten Positionen mit einer kleinen Auslenkung entlang mindestens einer Richtung verschoben werden.

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die kleine Auslenkung im Wesentlichen kontinuierlich erfolgen kann.

12. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die kleine Auslenkung über sprunghafte Verschiebungen in feste Positionen erfolgen kann.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Auslenkung der Shims jeweils kleiner ist als $\frac{1}{3}$ des Abstands zur nächstbenachbarten berechneten Shimposition.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen

sind, über die die Auslenkungen von einer Konsole im Abstand vom Hauptmagneten gesteuert werden.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel an die Halterungen montierte und die Shims tragende Piezotranslatoren mit elektrischen Zuleitungen umfassen.

16. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel pneumatische oder hydraulische Translatoren mit Druckzuleitungen umfassen.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten Positionen der Shims im Wesentlichen auf einer Zylinderoberfläche angeordnet sind.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten Positionen der Shims im Wesentlichen in einer oder zwei Ebenen angeordnet sind.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Shims in ihren Positionen durch den Hauptmagneten in Richtung des Magnetfeldes im Arbeitsvolumen magnetisiert werden.

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Shims permanentmagnetische Plättchen umfassen, deren Magnetisierung nach Stärke und Richtung weitgehend unabhängig vom Magnetfeld des Hauptmagneten ist.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß insgesamt weniger als fünf, insbesondere weniger als drei, vorzugsweise genau eine Klasse von Shimplättchen verwendet wird, innerhalb derer alle Shimplättchen identische Eigenschaften haben.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

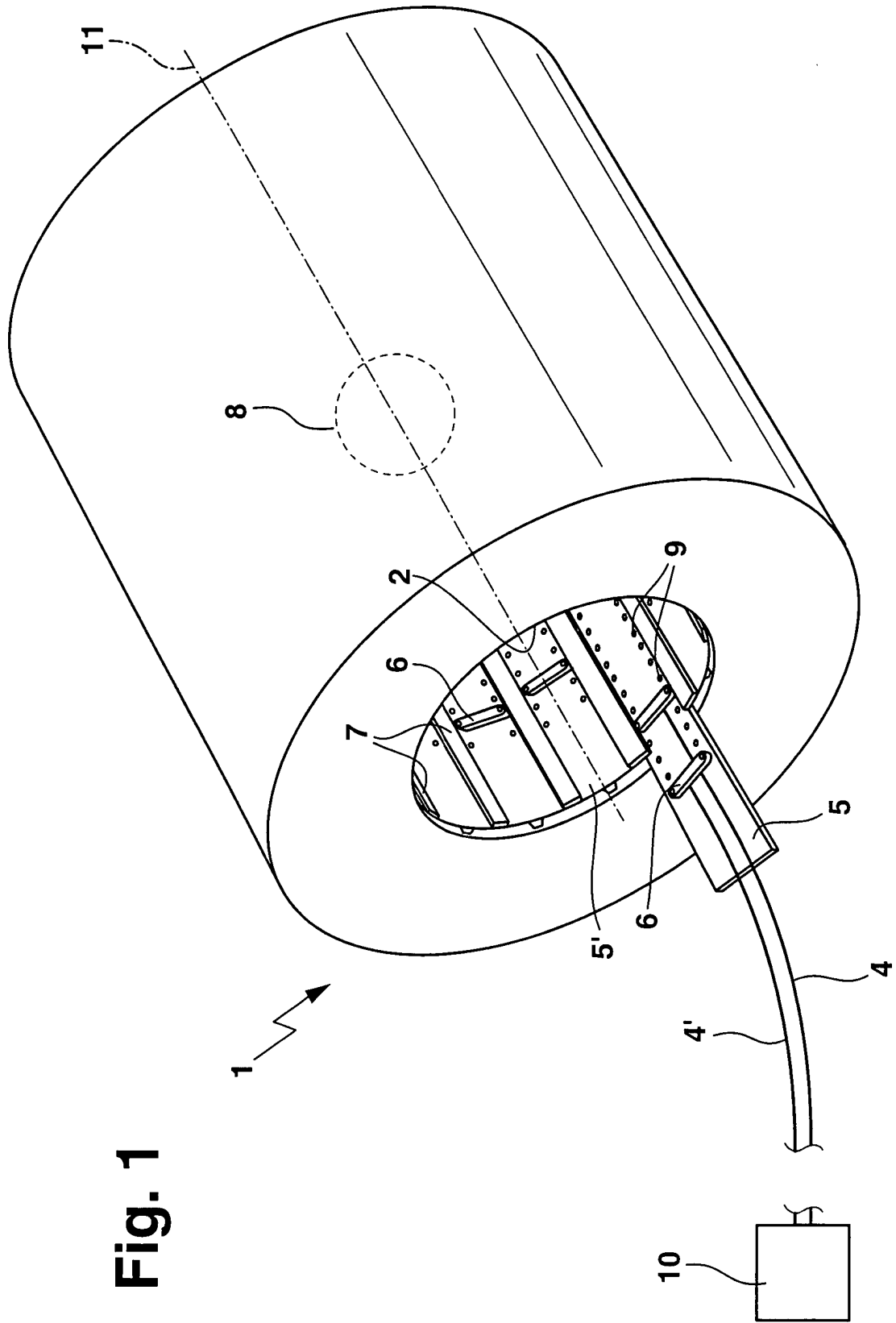


Fig. 1

Fig. 2

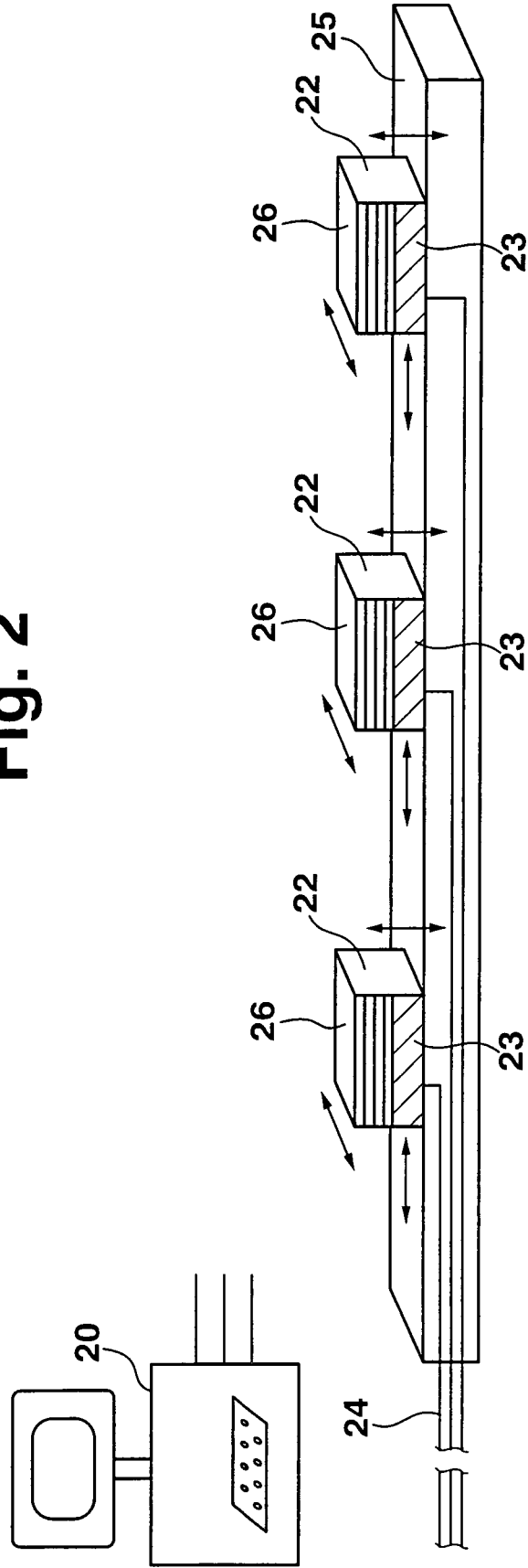


Fig. 3

