



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2012 105 680.3

(51) Int Cl.: G01R 33/385 (2012.01)

(22) Anmelddatag: 28.06.2012

A61B 5/055 (2012.01)

(43) Offenlegungstag: 03.01.2013

(30) Unionspriorität:

61/503,401                    30.06.2011            US  
13/183,647                    15.07.2011            US

(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel, 73728, Esslingen, DE

(71) Anmelder:

General Electric Company, Schenectady, N.Y., US

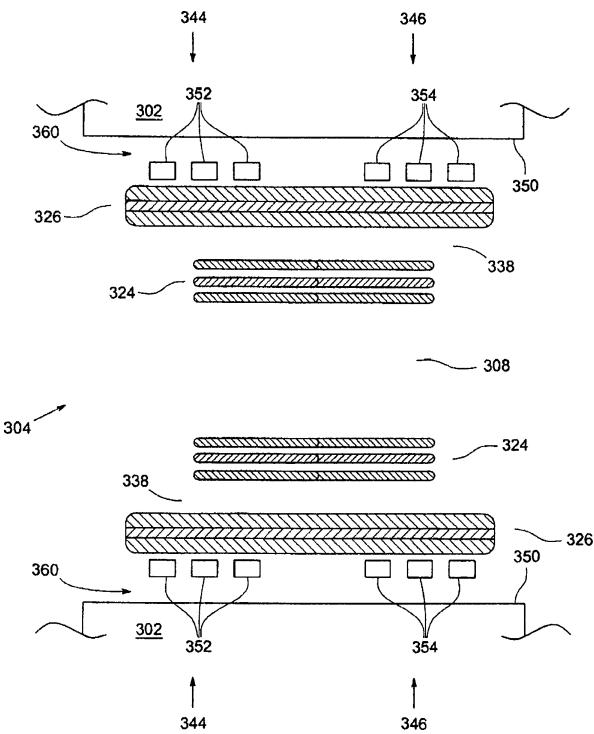
(72) Erfinder:

Kidane, Tesfaye Kebede, Florence, S.C., US;  
Jiang, Longzhi, Florence, S.C., US; Havens,  
Timothy J., Florence, South Carolina 29501, US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: System und Vorrichtung zum Ausgleich von Radialkräften in einer Gradientenspule

(57) Zusammenfassung: Eine Gradientenspulenvorrichtung (304, 404) für ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem weist eine innere Gradientenspulenanordnung (324, 424) und eine rings um die innere Gradientenspulenanordnung angeordnete äußere Gradientenspulenanordnung (326, 426) auf. Die äußere Gradientenspulenanordnung weist eine Außenfläche, ein erstes Ende (344, 444) und ein zweites Ende (346, 446) auf. Die Gradientenspulenanordnung weist ferner eine Kraftausgleichsvorrichtung auf, die rings um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist. In einer Ausführungsform weist die Kraftausgleichsvorrichtung eine aktive Kraftausgleichsspule (352, 354) auf, die rings um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist. In einer anderen Ausführungsform enthält die Kraftausgleichsvorrichtung ein erstes passives leitendes Band (470), das rings um das erste Ende (444) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist, und ein zweites passives leitendes Band (472), das rings um das zweite Ende (446) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist.



**Beschreibung**

## QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung nimmt die Rechte aus der provisorischen US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 61/503,401, welche am 30. Juni 2011 eingereicht wurde, in Anspruch, die hiermit durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit mit aufgenommen ist.

## TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem und speziell ein System und eine Vorrichtung zum Ausgleich von Radialkräften in einer Gradientenspule in einem MR-Bildgebungssystem.

## HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

**[0003]** Magnetresonanz(MR)-Bildgebung ist eine medizinische Bildgebungsmodalität, die Bilder vom Inneren eines menschlichen Körpers ohne die Verwendung von Röntgenstrahlen oder einer anderen ionisierenden Strahlung erzeugen kann. Die MR-Bildgebung verwendet einen leistungsstarken Magneten, um ein starkes, gleichförmiges, statisches Magnetfeld (d. h. das „Hauptmagnetfeld“) zu erzeugen. Wenn ein menschlicher Körper oder ein Teil eines menschlichen Körpers in dem Hauptmagnetfeld platziert wird, werden die Kernspins, die den Wasserstoffkernen im Gewebewasser zugeordnet sind, polarisiert. Dies bedeutet, dass die magnetischen Momente, die mit diesen Spins zusammenhängen, bevorzugt entlang der Richtung des Hauptmagnetfeldes ausgerichtet werden, was zu einer kleinen Netto-Gewebemagnetisierung entlang dieser Achse (durch Konvention der „z-Achse“) führt. Ein MR-Bildgebungssystem weist ferner Komponenten auf, die Gradientenspulen genannt werden, die räumlich variierende Magnetfelder mit einer kleineren Amplitude erzeugen, wenn ein Strom an diese angelegt wird. Typischerweise sind die Gradientenspulen ausgelegt, um eine Magnetfeldkomponente zu erzeugen, die entlang der z-Achse ausgerichtet ist und deren Amplitude mit der Position entlang einer der x-, y- oder z-Achsen linear variiert. Der Effekt einer Gradientenspule beruht darauf, dass eine kleine Rampe auf der Magnetfeldstärke und damit begleitend auf der Resonanzfrequenz der Kernspins entlang einer einzelnen Achse erzeugt wird. Drei Gradientenspulen mit orthogonalen Achsen werden verwendet, um das MR-Signal „räumlich zu kodieren“, indem eine charakteristische Resonanzfrequenz an jedem Ort in dem Körper erzeugt wird. Hochfrequenz(HF)-Spulen werden verwendet, um HF-Energieimpulse an oder nahe der Resonanzfrequenz der Wasserstoffkerne zu erzeugen. Die HF-Spulen werden verwendet, um Energie auf eine kontrollierbare Weise in das Kernspinsys-

tem einzubringen. Da die Kernspins anschließend zurück in ihren Ruheenergiezustand relaxieren, geben sie Energie in Form eines HF-Signals ab. Dieses Signal wird durch das MR-Bildgebungssystem detektiert und unter Verwendung eines Computers und bekannter Rekonstruktionsalgorithmen in ein Bild umgesetzt.

**[0004]** Die in einem MR-Bildgebungssystem verwendete Gradientenspulenanordnung kann eine abgeschirmte Gradientenspulenanordnung sein, die eine innere und eine äußere Gradientenspulenanordnung aufweist, die miteinander durch ein Material, wie z. B. Epoxidharz, verbunden sind. Typischerweise enthält die innere Gradientenspulenanordnung innere (oder Haupt-)Spulen der X-, Y- und Z-Gradientenspulenpaare oder -sätze, und die äußere Gradientenspulenanordnung enthält entsprechend äußere (oder Abschirm-)Spulen der X-, Y- und Z-Gradientenspulenpaare oder -sätze. Die Z-Gradientenspulen sind typischerweise zylindrisch mit einem Leiter, der um die zylindrische Oberfläche spiralförmig gewickelt ist. Die transversalen X- und Y- Gradientenspulen sind üblicherweise aus einem Kupferblech mit einer isolierenden Trägerschicht ausgebildet. Ein Leiterwindungsmuster (z. B. ein Fingerabdruckmuster) kann in der Kupferschicht der Gradientenspule eingeschnitten sein.

**[0005]** Während eines MR-Bildgebungscanns können akustischer Lärm und Vibration durch das MR-Bildgebungssystem hervorgerufen werden. Der akustische Lärm und Vibrationen können unangenehm und potentiell schädlich für sowohl den Patienten und den Scannerbediener sein. In einem MRT-System gibt es einige Quellen für akustischen Lärm, einschließlich beispielsweise der Gradientenspulen und der HF-Körperspule. Der akustische Lärm kann durch die Vibration der Gradientenspulen hervorgerufen werden, wenn die Spulen während der Bildgebung gepulst betrieben werden. Eine Gradientenspulen vibration wird durch Kräfte hervorgerufen, die auf die Gradientenspule infolge der Wechselwirkung des statischen Magnetfelds und der zur Erzeugung des gewünschten Feldes in der Gradientenspule fließenden elektrischen Ströme wirken. Während die resultierende Netto-Radialkraft auf die Gradientenspulen anordnung Null sein kann, kann jede Hälfte des Gradientenspulenzylinders eine große Radialkraft erfahren. Diese Radialkräfte resultieren in Vibrationen jeder Hälfte des Gradientenspulenzylinders, was zur Anregung einiger akustischer Modi (z. B. Fischmodus, Bananenmodus, etc.) führen kann. Zusätzlich kann die Vibration der Gradientenspulenanordnung zu einem Heliumabdampf in dem Magnetkryostat führen.

**[0006]** Es wäre wünschenswert ein System und eine Vorrichtung zum Ausgleich der Radialkräfte in einer

Gradientenspule zu schaffen, um Vibration und akustischen Lärm zu reduzieren.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Gemäß einer Ausführungsform enthält eine Gradientenspulenvorrichtung für ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem eine innere Gradientenspulenanordnung, eine äußere Gradientenspulenanordnung, die um die innere Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist und eine Außenfläche aufweist, und eine Aktivkraftausgleichsspule, die um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist.

**[0008]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform enthält eine Gradientenspulenvorrichtung für ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem eine innere Gradientenspulenanordnung, eine äußere Gradientenspulenanordnung, die um die innere Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist und eine Außenfläche, ein erstes und ein zweites Ende aufweist, ein erstes passives leitendes Band, das um das erste Ende der äußeren Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist, und ein zweites passives leitendes Band, das um das zweite Ende der äußeren Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0009]** Die Erfindung wird anhand der folgenden Beschreibung besser verstanden, die in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile bezeichnen und in denen zeigen:

**[0010]** [Fig. 1](#) ein schematisches Blockdiagramm eines beispielhaften Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystems gemäß einer Ausführungsform;

**[0011]** [Fig. 2](#) eine schematische Seitenansicht einer Resonanzanordnung gemäß einer Ausführungsform;

**[0012]** [Fig. 3](#) eine schematische seitliche Querschnittsansicht einer abgeschirmten Gradientenspulenanordnung gemäß einer Ausführungsform; und

**[0013]** [Fig. 4](#) eine schematische seitliche Querschnittsansicht einer abgeschirmten Gradientenspulenanordnung gemäß einer Ausführungsform.

#### DETAILIERTE BESCHREIBUNG

**[0014]** [Fig. 1](#) zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines beispielhaften Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystems gemäß einer Ausführungsform. Der Betrieb des MR-Bildgebungssystems **10** wird von einer Bedienerkonsole **12** aus gesteuert, die eine Tastatur oder eine andere Eingabeeinrichtung **13**, ein Steuerfeld **14** und eine Anzeige **16** umfasst. Die Kon-

sole **12** kommuniziert über eine Verbindung **18** mit einem Computersystem **20** und stellt eine Schnittstelle für einen Bediener bereit, um MR-Bildgebungs-scans vorzuschreiben, die resultierenden Bilder anzuzeigen, eine Bildbearbeitung an den Bildern vorzunehmen, sowie Daten und Bilder zu archivieren. Das Computersystem **20** umfasst eine Anzahl von Modulen, die über elektrische und/oder Datenverbindungen miteinander kommunizieren, wie sie beispielsweise durch Verwendung einer Bus-Leiterplatine **20a** bereitgestellt werden. Die Datenverbindungen können direktverdrahtete Verbindungen oder Glasfaserverbindungen oder drahtlose Kommunikationsverbindungen oder dergleichen sein. Die Module des Computersystems **20** umfassen ein Bildprozessor-modul **22**, ein CPU-Modul **24** und ein Speichermodul **26**, welche einen Bildspeicher zum Speichern von Bilddatenarrays umfassen kann. In einer alternativen Ausführungsform kann das Bildprozessor-modul **22** durch eine Bildverarbeitungsfunktionalität des CPU-Moduls **24** ersetzt werden. Das Computer-system **20** ist mit Archivierungsdatenträgereinrichtungen, dauerhaften oder Sicherungskopiedatenspeichern oder einem Netzwerk verbunden. Das Computersystem **20** kann auch mit einem gesonderten Systemsteuerungscomputer **32** über einen Link **34** kommunizieren. Die Eingabeeinrichtung **13** kann eine Maus, einen Joystick, eine Tastatur, einen Trackball, einen berührungsaktivierten Bildschirm, einen Stiftscanner, eine Sprachsteuerung oder irgendeine ähnliche oder gleichwertige Eingabeeinrichtung aufweisen und kann zur interaktiven Geometrievorschrift verwendet werden.

**[0015]** Der Systemsteuerungscomputer **32** umfasst eine Gruppe von über elektrische und/oder Datenverbindungen **32a** miteinander kommunizierenden Modulen. Die Datenverbindungen **32a** können direktverdrahtete Verbindungen oder Glasfaserverbindungen oder drahtlose Kommunikationsverbindungen oder dergleichen sein. In alternativen Ausführungsformen können die Module des Computersystems **20** und des Systemsteuerungscomputers **32** in demselben Computersystem oder einer Mehrzahl von Computersystemen implementiert sein. Die Module des Systemsteuerungscomputers **32** umfassen ein CPU-Modul **36** und ein Pulsgeneratormodul **38**, welches über eine Kommunikationsverbindung **40** mit der Bedienerkonsole **12** verbunden ist. Das Pulsgeneratormodul **38** kann alternativ in der Scannerausrüstung (beispielsweise der Resonanzanordnung **52**) integriert sein. Durch die Verbindung **40** erhält der Systemsteuerungscomputer **32** Anweisungen von dem Bediener, um die gerade Scannsequenz, die ausgeführt werden soll, anzugeben. Das Pulsgeneratormodul **38** betätigt die Systemkomponenten, die die gewünschte Pulssequenz ausspielen (d. h. ausführen), durch Senden von Anweisungen, Befehlen und/oder Anforderungen, welche die Zeitabfolge, Stärke und Form der zu produzierenden HF-Pulse und Pulsse-

quenzen und die Zeitabfolge und Länge des Datenakquisitionsfensters beschreiben. Das Pulsgeneratormodul **38** ist mit einem Gradientenverstärkersystem **42** verbunden und erzeugt als Gradientenwellenformen genannte Daten, welche den Zeitablauf und die Form der Gradientenimpulse, welche während des Scanks verwendet werden sollen, steuern. Das Pulsgeneratormodul **38** kann auch Patientendaten von einer physiologischen Akquisitionssteuerung **44** empfangen, die Signale von einer Anzahl unterschiedlicher Sensoren, die an den Patienten angeschlossen sind, wie bspw. EKG-Signale von an den Patienten angeschlossenen Elektroden, erhält. Das Pulsgeneratormodul **38** ist mit einer Scannraum-Schnittstellenschaltung **46** verbunden, welche Signale von verschiedenen mit dem Zustand des Patienten und des Magnetsystems verbundenen Sensoren erhält. Durch die Scannraum-Schnittstellenschaltung **46** erhält gerade ein Patientenpositionierungssystem **48** Befehle, um den Patiententisch zu der gewünschten Position für den Scann zu bewegen.

**[0016]** Die durch das Pulsgeneratormodul **38** erzeugten Gradientenwellenformen werden dem Gradientenverstärkersystem **42** zugeführt, das aus  $G_x$ -,  $G_y$ - und  $G_z$ -Verstärkern zusammengesetzt ist. Jeder Gradientenverstärker regt eine zugehörige physikalische Gradientenspule in einer Gradientenspulenanordnung, die allgemein mit **50** bezeichnet ist, an, um die Magnetfeldgradientenpulse, die zum räumlichen Codieren akquirierter Signale verwendet werden, zu erzeugen. Die Gradientenspulenanordnung **50** bildet einen Teil einer Resonanzanordnung **52**, die einen polarisierenden supraleitenden Magneten mit supraleitenden Hauptspulen **54** umfasst. Die Resonanzanordnung **52** kann eine Ganzkörper-HF-Spule **56**, Oberflächen- oder parallele Bildgebungsspulen **76** oder beides umfassen. Die Spulen **56**, **76** der HF-Spulenanordnung können sowohl zum Senden als auch zum Empfangen oder nur zum Senden oder nur zum Empfangen konfiguriert sein. Ein Patient oder ein Bildgebungsobjekt **70** kann in einem zylindrischen Patientenbildgebungs volumen **72** der Resonanzanordnung **52** positioniert werden. Ein Sende-/Empfangsmodul **58** in dem Systemsteuerungscomputer **32** erzeugt Impulse, welche durch einen HF-Verstärker **60** verstärkt werden und über einen Sende-/Empfangsschalter **62** in die HF-Spulen **56**, **76** eingekoppelt werden. Die resultierenden Signale, die durch die im Patienten angeregten Kerne emittiert werden, können durch die gleiche HF-Spule **56** erfasst werden und durch den Sende-/Empfangsschalter **62** an einen Vorverstärker **64** angekoppelt werden. Die durch die angeregten Kerne emittierten Signale können alternativ durch gesonderte Empfangsspulen, wie bspw. parallele Spulen oder Oberflächensspulen **76**, erfasst werden. Die verstärkten MR-Signale werden demoduliert, gefiltert und in dem Empfängerabschnitt des Sende-/Empfangsmodul **58** digitalisiert. Der Sende-/Empfangsschalter **62**

wird durch ein Signal von dem Pulsgeneratormodul **38** gesteuert, um den HF-Verstärker **60** mit der HF-Spule **56** während des Sendemodus elektrisch zu verbinden und um den Vorverstärker **64** mit der HF-Spule **56** während des Empfangsmodus zu verbinden. Der Sende-/Empfangsschalter **62** kann auch ermöglichen, dass eine gesonderte HF-Spule (z. B. eine parallele oder Oberflächenfspule **76**) entweder im Sende- oder im Empfangsmodus verwendet werden kann.

**[0017]** Die durch die HF-Spule **56** oder die Parallel- oder Oberflächenfspule **76** erfassten MR-Signale werden durch das Sende-/Empfangsmodul **58** digitalisiert und zu einem Speichermodul **66** in dem Systemsteuerungscomputer **32** übertragen. Typischerweise werden den MR-Signalen entsprechende Datenframes zeitweise in dem Speichermodul **66** gespeichert, bis sie nachfolgend zur Erzeugung von Bildern umgesetzt werden. Ein Arrayprozessor **68** verwendet eine bekannte Transformationsmethode, meistens eine Fouriertransformation, um Bilder aus den MR-Signalen zu erzeugen. Diese Bilder werden über die Verbindung **34** zu dem Computersystem **20** übertragen, wo sie in einem Speicher gespeichert werden. In Reaktion auf von der Bedienerkonsole **12** erhaltene Befehle können diese Bilddaten in Langzeitspeichern archiviert werden oder durch den Bildprozessor **22** weiter verarbeitet und zu der Bedienerkonsole **12** übermittelt sowie auf dem Bildschirm **16** angezeigt werden.

**[0018]** [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Seitenansicht einer Resonanzanordnung gemäß einer Ausführungsform. Die Resonanzanordnung **200** kann in einem MR-Bildgebungssystem, wie z. B. dem in [Fig. 1](#) gezeigten MR-Bildgebungssystem **10** verwendet werden. Die Resonanzanordnung **200** weist eine zylindrische Gestalt auf und enthält, unter anderen Elementen, einen supraleitenden Magneten **202**, eine Gradientenspulenanordnung **204** und eine HF-Spule **206**. Verschiedene weitere Elemente, wie z. B. Abdeckungen, Halterungen, Aufhängungselemente, Endkappen, Klammern, etc. sind aus Gründen der Übersichtlichkeit aus [Fig. 2](#) weggelassen worden. Ein zylindrisches Patientenvolumen oder eine zylindrische Patientenöffnung **208** ist von einem Patientenöffnungsrohr **210** umgeben. Die HF-Spule **206** ist zylindrisch und rings um eine Außenfläche des Patientenöffnungsrohrs angeordnet und im Inneren der zylindrischen Gradientenspulenanordnung **204** montiert. Die Gradientenspulenanordnung **204** ist rings um die HF-Spule **206** in einer beabstandeten koaxialen Beziehung angeordnet, und die Gradientenspulenanordnung **204** umgibt die HF-Spule **206** längs des Umfangs. Die Gradientenspulenanordnung **204** ist innerhalb einer Warmbohrung **250** des Magneten **202** montiert und ist längs des Umfangs von dem Magneten **202** umgeben.

**[0019]** Ein Patient oder Bildgebungsobjekt 212 kann in die Resonanzanordnung 200 entlang einer Mittelachse 214 (beispielsweise einer z-Achse) auf einem Patiententisch oder einer Patientenliege eingebracht werden. Der Patiententisch oder die Patientenliege 216 wird in die Resonanzanordnung an einem „Patientenende“ 242 der Resonanzanordnung eingebracht und das gegenüberliegende Ende ist ein „Wartungsende“ 240. Die Mittelachse 214 ist entlang der Rohrachse der Resonanzanordnung 200 parallel zu der Richtung des Hauptmagnetfeldes B0 ausgerichtet, das von dem Magneten 202 erzeugt wird. Die HF-Spule 206 kann verwendet werden, um einen Hochfrequenzimpuls (oder mehrere Hochfrequenzimpulse) auf einen Patienten oder ein Objekt 212 anzuwenden und kann verwendet werden, um MR-Informationen von dem Objekt 212 zurück zu erhalten, wie dies auf dem Gebiet der MR-Bildgebung wohl bekannt. Die Gradientenspulenanordnung 204 erzeugt zeitabhängige magnetische Gradientenimpulse, die verwendet werden, um in bekannter Weise Punkte in dem Bildgebungsvolume räumlich zu kodieren.

**[0020]** Der supraleitende Magnet 202 kann beispielsweise mehrere radial ausgerichtete und voneinander longitudinal beabstandete supraleitende Spulen 218 enthalten, wobei jede in der Lage ist, einen hohen Strom zu führen. Die supraleitenden Spulen 218 sind ausgelegt, um ein magnetisches Feld B0 innerhalb des Patientenvolumens 208 zu erzeugen. Die supraleitenden Spulen 218 sind in einer kryogenen Umgebung innerhalb einer Kryogen-Ummantelung 222 eingeschlossen. Die kryogene Umgebung ist ausgelegt, um die Temperatur der supraleitenden Spulen 218 unter einer geeigneten kritischen Temperatur so zu halten, so dass die supraleitenden Spulen 218 sich in einem supraleitenden Zustand mit einem Nullwiderstand befinden. Die Kryogen-Ummantelung 222 kann beispielsweise ein (nicht gezeigtes) Heliumgefäß und (nicht gezeigte) Wärme- oder Kälteabschirmungen zum Aufnehmen und Kühlen von Magnetwindungen auf bekannte Weise aufweisen. Der supraleitende Magnet 202 ist von einem Magnetgefäß 220, z. B. einem Kryostatgefäß umschlossen. Das Magnetgefäß 220 ist eingerichtet, um ein Vakuum aufrechtzuerhalten und um Wärme daran zu hindern, zu der Kryogen-Ummantelung 222 übertragen zu werden. Eine Warmbohrung 250 ist durch eine innere zylindrische Fläche des Magnetgefäßes 220 definiert.

**[0021]** Die Gradientenspulenanordnung 204 ist eine selbstabgeschirmte Gradientenspulenanordnung. Die Gradientenspulenanordnung 204 weist eine zylindrische innere Gradientenspulenanordnung oder -wicklung 224 und eine zylindrische äußere Gradientenspulenanordnung oder -wicklung 226 auf, die in einer konzentrischen Anordnung bezüglich einer gemeinsamen Achse 214 angeordnet sind. Die innere Gradientenspulenanordnung 224 enthält innere (oder

Haupt-) X-, Y- und Z-Gradientenspulen, und die äußere Gradientenspulenanordnung 226 enthält die jeweiligen äußeren (oder Abschirm-) X-, Y- und Z-Gradientenspulen. Die Spulen der Gradientenspulenanordnung 204 können aktiviert werden, indem ein elektrischer Strom durch die Spulen geleitet wird, um, wie bei der MR-Bildgebung erforderlich, ein Gradientenfeld in dem Patientenvolumen 208 zu erzeugen. Ein Volumen 238 oder Raum zwischen der inneren Gradientenspulenanordnung 224 und der äußeren Gradientenspulenanordnung 226 kann mit einem Bindematerial, z. B. Epoxidharz, viskoelastischen Harz, Polyurethan, etc. gefüllt sein. Alternativ kann ein Epoxidharz mit einem Füllmaterial, wie z. B. Glasperlen, Siliziumoxid und Aluminiumoxid, als Bindematerial verwendet werden. Es sollte verstanden werden, dass andere Magnet- oder Gradiententopologien als die mit Bezugnahme auf [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) vorstehend beschriebenen zylindrischen Anordnungen verwendet werden können. Beispielsweise kann eine flache Gradientengeometrie in einem geteilt offenen MR-Bildgebungssystem auch Ausführungsformen der Erfindung verwenden, wie nachstehend beschrieben.

**[0022]** Eine Anordnung oder Vorrichtung, die eingerichtet ist, um Radialkräfte an einem ersten Ende (oder einer ersten Hälfte) 244 und an einem zweiten Ende (oder einer zweiten Hälfte) 246 der Gradientenspulenanordnung 204 auszugleichen, kann in einem Spalt oder Raum 260 zwischen der äußeren Gradientenspulenanordnung 226 und der Magnetwarmbohrung 250 und um einen Außenumfang der äußeren Gradientenspulenanordnung 226 herum positioniert sein, wie unter Bezugnahme auf die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) nachstehend detaillierter beschrieben ist. [Fig. 3](#) zeigt eine schematische seitliche Querschnittsansicht einer abgeschirmten Gradientenspulenanordnung gemäß einer Ausführungsform. Verschiedene Elemente, wie Halterungen, Aufhängungsglieder, Endkappen, Klammern, etc., sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in [Fig. 3](#) weggelassen. Die Gradientenspulenanordnung 304 kann in einer Resonanzanordnung eines MR-Bildgebungssystems, wie der in [Fig. 2](#) gezeigten Resonanzanordnung 100, eingebracht sein.

**[0023]** Wie vorstehend beschrieben, ist die Gradientenspulenanordnung 304 zylindrisch und umgibt ein Patientenvolumen oder eine Patientenöffnung 308. Die Gradientenspulenanordnung 304 weist eine innere Gradientenspulenanordnung 324 und eine äußere Gradientenspulenanordnung 326 auf. Die innere Gradientenspulenanordnung 324 und die äußere Gradientenspulenanordnung 326 sind unter Verwendung eines Bindematerials (z. B. Epoxidharz, viskoelastischen Harz, Polyurethan, etc.) in einem Volumen 338 miteinander verbunden. Die Gradientenspulenanordnung 304 weist ferner eine Kraftausgleischschicht auf, die außerhalb eines Außenumfangs der äußeren Gradientenspulenanordnung 326 und in ei-

nem Spalt oder Raum **360** zwischen der äußeren Gradientenspulenanordnung **326** und der Warmbohrung **350** einer Magnetanordnung **302** positioniert ist. Die Kraftausgleichsschicht ist eingerichtet, um die Radialkräfte an jedem Ende (oder jeder Hälfte) **344, 346** der Gradientenspulenanordnung **304** zu unterdrücken (oder zu annulieren). Der Kraftunterdrückung reduziert die Vibration jedes Endes (oder jeder Hälfte) **344, 346** der zylindrischen Gradientenspulen-anordnung **304**. Die Reduktion der Vibration reduziert wiederum den akustischen Lärm, der durch die Gradientenspulenanordnung **304** erzeugt wird. Zusätzlich reduziert die Reduktion der Vibration ferner den durch die Vibration verursachten Heliumabdampf in dem (in [Fig. 2](#) gezeigten) Magnetkryostaten **220**.

**[0024]** In der in [Fig. 3](#) gezeigten Ausführungsform ist die Kraftausgleichsschicht eine aktive Kraftausgleichsschicht, und sie enthält einen Satz von aktiven Spulenschleifen **352** an einem ersten Ende (oder einer ersten Hälfte) **344** der Gradientenspulenanordnung **304** und einen Satz von aktiven Spulenschleifen **354** an einem zweiten Ende (oder einer zweiten Hälfte) **346** der Gradientenspulenanordnung **304**. Die aktiven Spulenschleifen **352, 354** sind um einen Außenumfang (oder eine Außenfläche) des Zylinders der äußeren Gradientenspulenanordnung **326** herum angeordnet. In einer Ausführungsform sind Schichten eines Isolationsmaterials (z. B. Glas) zwischen einer äußeren Oberfläche der äußeren Gradientenspu-lenenordnung **326** und den aktiven Spulenschleifen **352** und **354** angeordnet. Zusätzlich kann eine Epoxidschicht auf den aktiven Spulenschleifen **352, 354** auf bekannte Weise aufgebracht sein.

**[0025]** Der am ersten Ende **344** der Gradientenspulenanordnung **304** positionierte Satz von aktiver Spulenschleifen **352** ist eingerichtet, um die im Betrieb der Gradientenspulenanordnung **304** und des MR-Systems auf das erste Ende **344** einwirkenden Radialkräfte aufzuheben. Der am zweiten Ende **346** der Gradientenspulenanordnung **304** positionierte Satz aktiver Spulenschleifen **354** ist eingerichtet, um die im Betrieb der Gradientenspulenanordnung **304** und des MR-Systems auf das zweite Ende **346** einwirken-den Radialkräfte aufzuheben. Der Strom in den aktiven Spulenschleifen **352, 354** liefert gegensätzlich gerichtete Kräfte, um die Radialkräfte an den entspre-chenden Enden **344, 346** der Gradientenspulen-anordnung **304** aufzuheben. Die Lage der aktiven Spulenschleifen **352, 354** und die Anzahl der aktiven Spulenschleifen **352, 354** (oder Anzahl der Windungen) kann auf einer Reihe von Faktoren basieren, zu denen einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, die Kraftverteilung auf der Gradientenspulenanordnung **304** (und an den Enden **344, 346**) und die Gestaltung des Magneten **302** und der Gradientenspulenanord-nung **304** gehören. Die aktiven Spulenschleifen **352, 354** können aus einem Material wie Kupfer beschaf-fen sein.

**[0026]** In einer Ausführungsform können die aktiven Spulenschleifen **352** und die aktiven Spulenschleifen **354** in Reihe mit den Gradientenspulen der Gradi-entenspulenanordnung **304** verbunden und von ei-nem (in [Fig. 1](#) gezeigten) Gradientenverstärkersys-tem **42** angesteuert (d. h. mit Strom versorgt) werden. In einer alternativen Ausführungsform können die aktiven Spulenschleifen **352, 354** separat von den Gradi-entenspulen der Gradientenspulen-anordnung **304** angesteuert werden. Beispielsweise kann ein geson-derter Anschluss von dem (in [Fig. 1](#) gezeigten) Gra-dientenverstärkersystem **42** mit den aktiven Spulen-schleifen **352, 354** verbunden sein.

**[0027]** [Fig. 4](#) zeigt eine schematische seitliche Quer-schnittsansicht einer abgeschirmten Gradientens-pulenanordnung gemäß einer alternativen Ausführungsform. Verschiedene Elemente, wie beispiels-weise Halterungen, Aufhängungsglieder, Endkap-pen, Klammern, etc., sind aus Gründen der Über-sichtlichkeit in [Fig. 4](#) weggelassen. Die Gradienten-spulenanordnung **404** kann in eine Resonanzanord-nung eines MR-Bildgebungssystems, wie z. B. die in [Fig. 2](#) gezeigte Resonanzanordnung **100**, einge-bracht werden. Wie voranstehend beschrieben, ist die Gradientenspulenanordnung **404** zylindrisch, und sie umgibt ein Patientenvolumen oder eine Patienten-öffnung **408**. Die Gradientenspulenanordnung **404** enthält eine innere Gradientenspulenanordnung **424** und eine äußere Gradientenspulenanordnung **426**. Die innere Gradientenspulenanordnung **424** und die äußere Gradientenspulenanordnung **426** sind unter Verwendung eines Bindematerials in einem Volumen **438** miteinander verbunden. Die Gradientenspulen-anordnung **404** enthält ferner eine Kraftausgleichsschicht, die außerhalb eines Außenumfangs der äu-ßeren Gradientenspulenanordnung **426** und in einem Spalt oder Raum **460** zwischen der äußeren Gradi-entenspulenanordnung **426** und der Warmbohrung **450** einer Magnetanordnung **402** positioniert ist. Die Kraftausgleichsschicht ist eingerichtet, um die Radialkräfte an jedem Ende (oder jeder Hälfte) **444, 446** der Gradientenspulenanordnung **404** zu unter-drücken (oder zu annulieren).

**[0028]** In der in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsform ist die Kraftausgleichsschicht eine passive Kraftaus-gleichsschicht, und sie enthält ein passives leitendes Band **470** an einem ersten Ende (oder einer ersten Hälfte) **444** der Gradientenspulenanordnung **404** und ein passives leitendes Band **472** an einem zweiten Ende (oder einer zweiten Hälfte) **446** der Gradienten-spulenanordnung **404**. Die passiven leitenden Bänder **470, 472** sind um einen Außenumfang (oder eine äußere Oberfläche) des Zylinders der äußeren Gradi-entenspulenanordnung **426** herum angeordnet. In ei-ner Ausführungsform sind Schichten eines Isolations-materials (z. B. Glas) zwischen einer äußeren Ober-fläche der äußeren Gradientenspulenanordnung **426** und den passiven leitenden Bändern **470, 472** ange-

ordnet. Zusätzlich kann eine Epoxidschicht auf den passiven leitenden Bändern **470, 472** auf bekannte Weise aufgebracht werden.

**[0029]** Das am ersten Ende **444** der Gradientenspulenananordnung **404** positionierte passive leitende Band **470** ist eingerichtet, um die im Betrieb der Gradientenspulenananordnung **404** und des MR-Systems auf das erste Ende **444** einwirkenden Radialkräfte aufzuheben. Das am zweiten Ende **446** der Gradientenspulenananordnung **404** positionierte passive leitende Band **472** ist eingerichtet, um die im Betrieb der Gradientenspulenananordnung **404** und des MR-Systems auf das zweiten Ende **446** einwirkenden Radialkräfte aufzuheben. In den passiven leitenden Bändern **470, 472** induzierter Strom liefert die erforderlichen gegensätzlich gerichteten Kräfte, um die Radialkräfte an den entsprechenden Enden **444, 446** der Gradientenspulenananordnung **404** aufzuheben. Die Lage der passiven leitenden Bänder **470, 472** und die Größe und Abmessungen der passiven leitenden Bänder **470, 472** kann auf einer Reihe von Faktoren basieren, zu denen einschließlich, aber nicht darauf beschränkt, die Kraftverteilung auf der Gradientenspulenananordnung **404** (und an den Enden **444, 446**) und die Gestaltung des Magneten **402** und der Gradientenspulenananordnung **404** gehören. In einer Ausführungsform sind die passiven leitenden Bänder **470, 472** an einer Stelle eines starken Streufeldes positioniert. Vorzugsweise sind die passiven leitenden Bänder aus Kupfer hergestellt.

**[0030]** Diese schriftliche Beschreibung nutzt Beispiele, um die Erfindung, einschließlich ihrer besten Ausführungsart, zu offenbaren und auch um es jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung herzustellen und zu verwenden. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele umfassen, die Fachleuten auf dem Gebiet einfallen. Derartige weitere Beispiele sollen innerhalb des Schutzmfangs der Ansprüche liegen, wenn sie Strukturelemente aufweisen, die sich von dem Wortsinn der Ansprüche nicht unterscheiden, oder wenn sie äquivalente Strukturelemente mit unwesentlichen Unterschieden gegenüber dem Wortsinn der Ansprüche enthalten. Die Reihenfolge und Sequenz eines jeden Prozesses oder Verfahrens kann gemäß alternativer Ausführungsformen verändert oder neu geordnet werden.

**[0031]** Viele weitere Änderungen und Modifikationen können an der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden, ohne ihren Rahmen zu verlassen. Der Umfang dieser und anderer Änderungen wird aus den beigefügten Ansprüchen offensichtlich.

**[0032]** Eine Gradientenspulenvorrichtung **304, 404** für ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem weist eine innere Gradientenspulenananordnung **324, 424** und eine rings um die innere Gradientenspule-

nordnung angeordnete äußere Gradientenspulenananordnung **326, 426** auf. Die äußere Gradientenspulenananordnung weist eine Außenfläche, ein erstes Ende **344, 444** und ein zweites Ende **346, 446** auf. Die Gradientenspulenananordnung weist ferner eine Kraftausgleichsvorrichtung auf, die rings um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenananordnung angeordnet ist. In einer Ausführungsform weist die Kraftausgleichsvorrichtung eine aktive Kraftausgleichsspule **352, 354** auf, die rings um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenananordnung angeordnet ist. In einer anderen Ausführungsform enthält die Kraftausgleichsvorrichtung ein erstes passives leitendes Band **470**, das rings um das erste Ende **444** der äußeren Gradientenspulenananordnung angeordnet ist, und ein zweites passives leitendes Band **472**, das rings um das zweite Ende **444** der äußeren Gradientenspulenananordnung angeordnet ist.

#### Bezugszeichenliste

Fig. 1

<b>10</b>	MR-Bildgebungssystem
<b>12</b>	Bedienerkonsole
<b>13</b>	Eingabevorrichtung
<b>14</b>	Steuerungsfeld
<b>16</b>	Anzeige
<b>18</b>	Verbindung
<b>20</b>	Computersystem
<b>20a</b>	Bus-Leiterplatte
<b>22</b>	Bildprozessor
<b>24</b>	CPU-Modul
<b>26</b>	Speichermodul
<b>32</b>	Systemsteuerungscomputer
<b>32a</b>	Datenverbindungen
<b>34</b>	Verbindung
<b>36</b>	CPU-Modul
<b>38</b>	Pulsgeneratormodul
<b>40</b>	Kommunikationsverbindung
<b>42</b>	Gradientenverstärkersystem
<b>44</b>	Physiologische Akquisitionssteuerungsvorrichtung
<b>46</b>	Scannraumschnittstellenschaltkreis
<b>48</b>	Patientenpositionierungssystem
<b>50</b>	Gradientenspulenananordnung
<b>52</b>	Resonanzanordnung
<b>54</b>	Superleitender Magnet
<b>56</b>	HF-Spule
<b>58</b>	Sende-/Empfangsmodul
<b>60</b>	HF-Verstärker
<b>62</b>	Sende/Empfangs-Schalter
<b>64</b>	Vorverstärker
<b>66</b>	Speichermodul
<b>68</b>	Arrayprozessor
<b>70</b>	Patient oder Bildgebungsobject
<b>72</b>	Zylindrisches Patientenbildgebungsvolumen
<b>76</b>	Oberflächen- oder parallele Bildgebungs-spulen

Fig. 2

200	Resonanzanordnung
202	Supraleitender Magnet
204	Gradientenspulenanordnung
206	HF-Spule
208	Patientenvolumen oder -öffnung
210	Patientenöffnungsrohr
212	Patient oder Bildgebungsobjekt
214	Mittelachse
216	Patiententisch oder -liege
218	Supraleitende Spulen
220	Magnetbehälter
222	Kryogen-Ummantelung
224	Innere Gradientenspulenanordnung
226	Äußere Gradientenspulenanordnung
238	Volumen zwischen der inneren und der äußeren Gradientenspulenanordnung
240	Wartungsende der Resonanzanordnung
242	Patientenende der Resonanzanordnung
244	Erstes Ende (oder erste Hälfte) der Gradientenspulenanordnung
246	Zweites Ende (oder zweite Hälfte) der Gradientenspulenanordnung
250	Warmbohrung
260	Spalt oder Zwischenraum zwischen der äußeren Gradientenspulenanordnung und der Warmbohrung

Fig. 3

302	Magnetenordnung
304	Gradientenspulenanordnung
308	Patientenvolumen oder -öffnung
324	Innere Gradientenspulenanordnung
326	Äußere Gradientenspulenanordnung
338	Volumen zwischen der inneren und der äußeren Gradientenspulenanordnung
344	Erstes Ende (oder erste Hälfte) der Gradientenspulenanordnung
346	Zweites Ende (oder zweite Hälfte) der Gradientenspulenanordnung
350	Warmbohrung
352	Satz aktiver Spulenschleifen
354	Satz aktiver Spulenschleifen
360	Spalt oder Zwischenraum zwischen der äußeren Gradientenspulenanordnung und der Warmbohrung

Fig. 4

402	Magnetenordnung
404	Gradientenspulenanordnung
408	Patientenvolumen oder -öffnung
424	Innere Gradientenspulenanordnung
426	Äußere Gradientenspulenanordnung
438	Volumen zwischen der inneren und der äußeren Gradientenspulenanordnung
444	Erstes Ende (oder erste Hälfte) der Gradientenspulenanordnung

446	Zweites Ende (oder zweite Hälfte) der Gradientenspulenanordnung
450	Warmbohrung
460	Spalt oder Zwischenraum zwischen der äußeren Gradientenspulenanordnung und der Warmbohrung
470	Passives leitendes Band
472	Passives leitendes Band

**Patentansprüche**

1. Gradientenspulenvorrichtung (**304**) für ein Magnetresonanz(MR)-Bildgebungssystem, wobei die Gradientenspulenvorrichtung aufweist:  
eine innere Gradientenspulenanordnung (**324**);  
eine äußere Gradientenspulenanordnung (**326**), die um die innere Gradientenspulenanordnung herum angeordnet ist und einer Außenfläche aufweist; und Aktivkraftausgleichsspule (**352, 354**), die um die Außenfläche der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist.

2. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Aktivkraftausgleichsspule (**352, 354**) eingerichtet ist, um eine auf die innere (**324**) und die äußere (**326**) Gradientenspulenanordnung wirkende Radialkraft aufzuheben.

3. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Aktivkraftausgleichsspule (**352, 354**) aus einem leitenden Material besteht.

4. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 2 oder 3, wobei eine Position der Aktivkraftausgleichsspule (**352, 354**) auf der Außenfläche der äußeren Gradientenspulenanordnung von der Kraftverteilung auf der inneren und der äußeren Gradientenspulenanordnung abhängt.

5. Gradientenspulenvorrichtung gemäß irgendeines der der Ansprüche 1–4, wobei die äußere Gradientenspulenanordnung (**326**) ferner ein erstes Ende (**344**) und ein zweites Ende (**346**) aufweist und die Aktivkraftausgleichsspule eine erste Aktivkraftausgleichsspule (**352**) aufweist, die um das erste Ende der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist und eine zweite Aktivkraftausgleichsspule (**354**) aufweist, die um das zweite Ende der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist.

6. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 5, wobei die erste Aktivkraftausgleichsspule (**352**) eingerichtet ist, um eine Radialkraft aufzuheben, die auf das erste Ende (**344**) der äußeren Gradientenspulenanordnung wirkt.

7. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 5 oder 6, wobei die zweite Aktivkraftausgleichsspule (**354**) eingerichtet ist, um eine Radialkraft aufzuheben.

ben, die auf das zweite Ende (**346**) der äußeren Gradientenspulenanordnung wirkt.

8. Gradientenspulenvorrichtung (**404**) für ein Magnetresonanztomographie(MRT)-System, wobei die Gradientenspulenvorrichtung aufweist:

innere Gradientenspulenanordnung (**424**);  
um die innere Gradientenspulenanordnung angeordnete äußere Gradientenspulenanordnung (**426**) mit einer Außenfläche, einem ersten Ende (**444**) und einem zweiten Ende (**446**);  
erstes passives Leiterband (**470**), das um das erste Ende (**444**) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist; und  
zweites passives Leiterband (**472**), das um das zweite Ende (**446**) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist.

9. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 8, wobei das erste passive Leiterband (**470**) eingerichtet ist, um eine Radialkraft aufzuheben, die auf das erste Ende (**444**) der äußeren Gradientenspulenanordnung wirkt.

10. Gradientenspulenvorrichtung gemäß Anspruch 8 oder 9, wobei das zweite passive Leiterband (**472**) eingerichtet ist, um eine Radialkraft aufzuheben, die auf das zweite Ende (**446**) der äußeren Gradientenspulenanordnung wirkt.

11. Gradientenspulenanordnung gemäß eines beliebigen der Ansprüche 8–10, wobei das erste passive Leiterband (**470**) an einer Position am ersten Ende (**444**) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist, die ein hohes Leckfeld aufweist.

12. Gradientenspulenanordnung gemäß eines beliebigen der Ansprüche 8–11, wobei das zweite passive Leiterband (**472**) an einer Position am zweiten Ende (**446**) der äußeren Gradientenspulenanordnung angeordnet ist, die ein hohes Leckfeld aufweist.

13. Eine Anordnung gemäß irgendeines der Ansprüche 8–12, wobei das erste passive Leiterband (**470**) und das zweite passive Leiterband (**472**) aus Kupfer bestehen.

14. A Anordnung gemäß irgendeines der Ansprüche 8–13, wobei eine Position des ersten passiven Leiterbands (**470**) von der Kraftverteilung auf dem ersten Ende (**444**) der äußeren Gradientenspulenanordnung abhängt.

15. A Gradientenspulenanordnung gemäß irgendeines der Ansprüche 8–14, wobei eine Position des zweiten passiven Leiterbands (**472**) von der Kraftverteilung auf dem zweiten Ende (**446**) der äußeren Gradientenspulenanordnung abhängt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

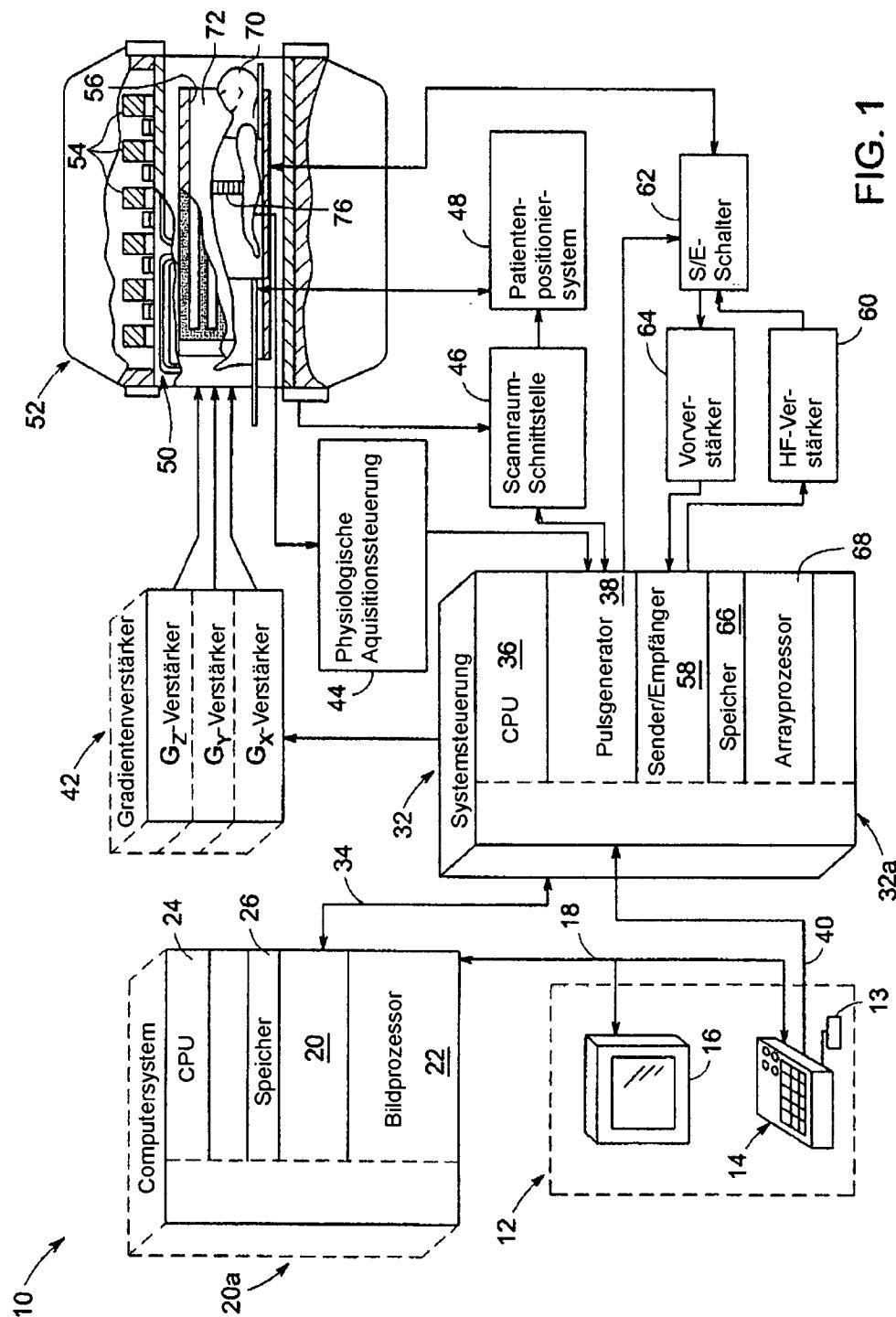


FIG. 1

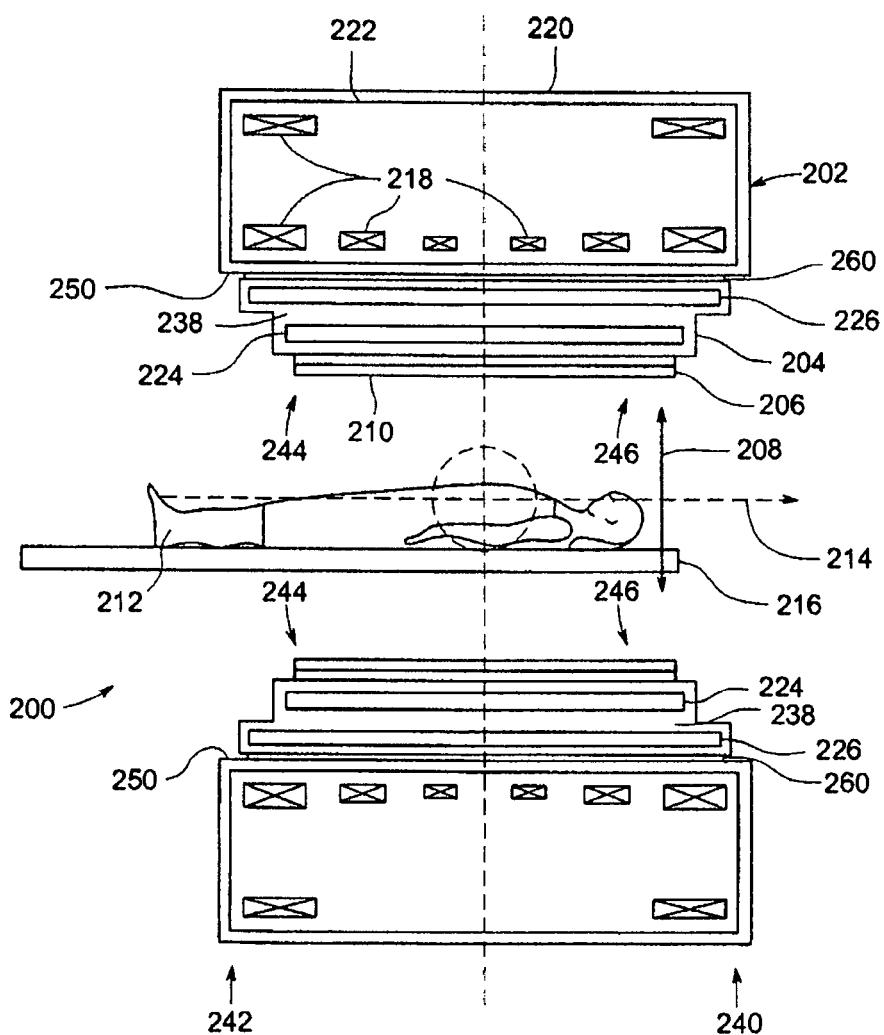


FIG. 2

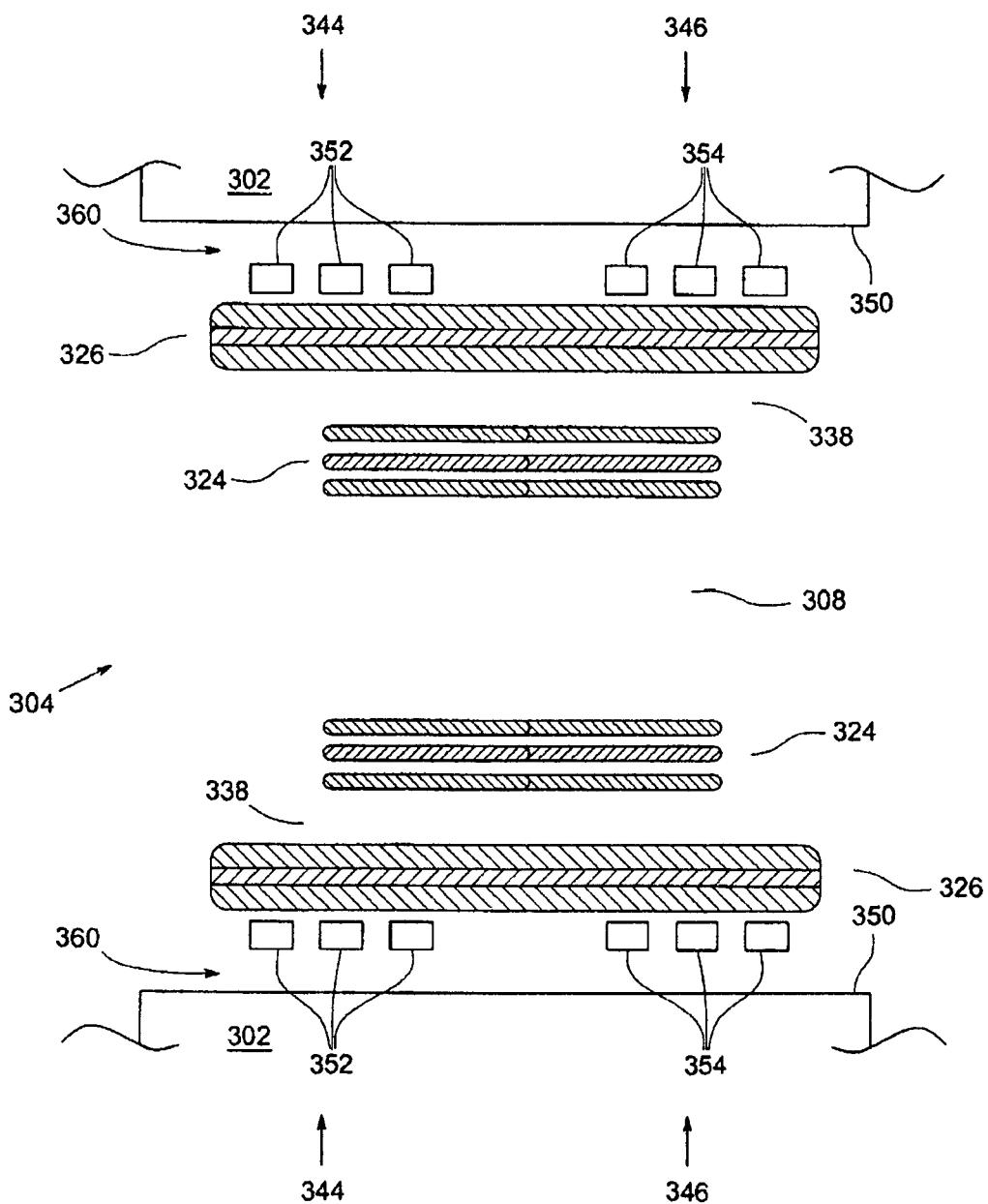


FIG. 3

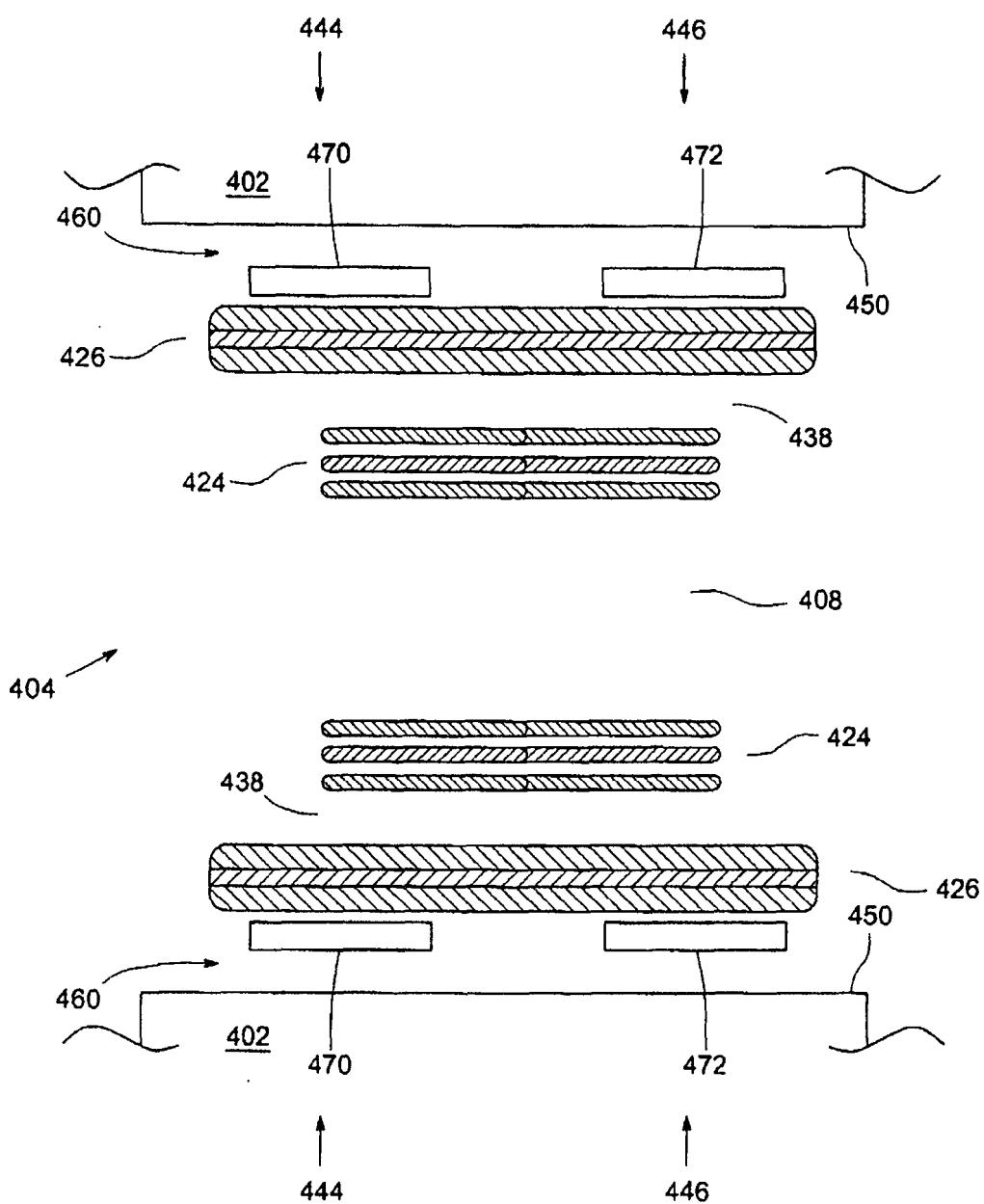


FIG. 4