



(10) **DE 10 2010 001 746 B4** 2012.03.22

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 001 746.9**
(22) Anmeldetag: **10.02.2010**
(43) Offenlegungstag: **22.09.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.03.2012**

(51) Int Cl.: **A61N 5/10** (2006.01)
G01R 33/48 (2006.01)
G01R 33/38 (2006.01)
G21K 1/02 (2006.01)
H01J 35/10 (2006.01)
A61B 5/055 (2011.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

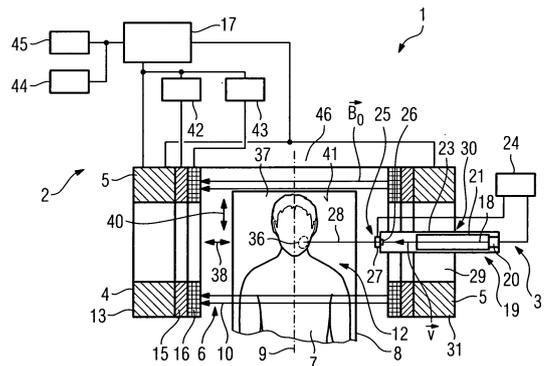
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:
Gross, Patrick Dr., 91094, Langensendelbach, DE;
Heismann, Björn, Dr., 91052, Erlangen, DE

DE 10 2008 007 245 A1
US 2004 / 0 199 068 A1
WO 2006/ 136 865 A1
WO 2009/ 155 700 A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung und einer Strahlentherapievorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung (2), die zumindest einen Hauptmagneten (4) zu einem Erzeugen eines Magnetfelds in einem Untersuchungsraum (12) für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung (3), die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls (18) vorgesehen ist, wobei eine Richtung einer Geschwindigkeit (\vec{v}) des Partikelstrahls (18) im Wesentlichen parallel zu einer Richtung (10) einer magnetischen Flussdichte (\vec{B}_0) des Magnetfelds ausgerichtet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung, die zumindest einen Hauptmagneten zu einem Erzeugen eines Magnetfelds in einem Untersuchungsraum für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung, die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls vorgesehen ist.

[0002] Im Rahmen einer Strahlentherapie soll im Allgemeinen ein Ziel innerhalb eines menschlichen Körpers bestrahlt werden, um beispielsweise eine Krankheit, insbesondere einen Tumor, zu behandeln. Dabei wird gezielt in einer Bestrahlungsregion (Isozentrum) des menschlichen Körpers von einer Strahlentherapievorrichtung eine hohe Strahlungsdosis eingebracht. Während einer Bestrahlung tritt häufig das Problem auf, dass die Bestrahlungsregion sich bewegt und/oder verschiebt. So verschiebt sich beispielsweise ein Tumor in einem Bauchbereich während eines Atemvorgangs eines Patienten. Andererseits kann ein Tumor innerhalb eines Zeitraums zwischen einer Bestrahlungsplanung und der tatsächlichen Bestrahlung sich vergrößert oder auch verkleinert haben.

[0003] Daher wurde vorgeschlagen, eine Lage eines Bestrahlungsziels in einem Patienten während der Bestrahlung durch eine medizinische Bildgebung zu kontrollieren. Dies ermöglicht, einen Strahl und/oder eine Strahlführung für die Bestrahlung zu steuern oder gegebenenfalls die Bestrahlung abzubrechen. Zudem ist eine Nachführung eines Strahlungsfokuses hinsichtlich einer tatsächlichen Lage der Bestrahlungsregion von hohem Interesse.

[0004] Insbesondere ist eine Kombination der Strahlentherapievorrichtung mit einer Magnetresonanzvorrichtung besonders vorteilhaft. Diese weist im Vergleich zu beispielsweise einer Computertomographievorrichtung eine hohe Weichteilauflösung auf, so dass in diesem Bereich ein vorteilhafter Kontrast dargestellt werden kann.

[0005] Für eine effiziente Bestrahlung wird eine Bestrahlungsquelle der Strahlentherapievorrichtung möglichst nah an einem Patienten positioniert. Hierzu ist zumeist die Bestrahlungsquelle zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung und insbesondere innerhalb eines Magnetfelds der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet. Jedoch weist diese Anordnung den Nachteil auf, dass eine Elektronenbahn von Elektronen eines Elektronenstrahls der Strahlentherapievorrichtung durch das Magnetfeld der Magnetresonanzvorrichtung gestört wird.

[0006] In WO 03/008986 A2 wird eine Teilung von Gradientenspulen der Magnetresonanzvorrichtung

und ein angepasstes Design eines Hauptmagneten vorgeschlagen, so dass außerhalb der Magnetresonanzvorrichtung ein nahezu magnetfeldfreier Raum erzeugt wird. Jedoch weist diese Anordnung den Nachteil auf, dass die Vorrichtung eine große Ausdehnung aufweist und zudem nur ein Einstrahlwinkel für eine Strahlenbehandlung zur Verfügung steht. Zudem sind durch die geteilten Gradientenspulen deutliche Nachteile bei einer Bildqualität der medizinischen Bildgebung gegeben. Ferner muss eine Strahlung der Strahlentherapievorrichtung einen stählernen Körper des Magneten durchdringen, was zu einer Verschlechterung und/oder Degradierung des Strahlenprofils und der Strahlenintensität führt.

[0007] Aus der US 6,198,957 B1 ist ebenfalls eine Kombination einer Magnetresonanzvorrichtung mit einer Strahlentherapievorrichtung bekannt, bei der jedoch ein Röntgen- und/oder Gammastrahl zur Bestrahlung außerhalb der Magnetresonanzvorrichtung und damit außerhalb eines Wirkungsbereichs eines Magnetfelds erzeugt wird. Hierdurch wird der Röntgenstrahl in sehr großem Abstand zu dem eigentlichen Behandlungsbereich erzeugt, so dass die Vorrichtung ebenfalls eine große Ausdehnung, insbesondere bei einer Variation eines Einstrahlwinkels aufweist. Zudem muss aufgrund des großen Abstands eine hohe Strahlendosis erzeugt werden, um eine erforderliche Eindringtiefe der Strahlung für die Strahlenbehandlung zu erreichen.

[0008] Zudem ist aus der DE 10 2008 007 245 A1 eine Führung eines Elektronenstrahls entlang einer Hauptachse der Magnetresonanzvorrichtung bekannt. Der Elektronenstrahl wird zu einer Kollision mit einem Target um 90° umgelenkt. Ein Elektronenstrahl und das Target sind innerhalb einer Patientenaufnahme der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet. Jedoch wird hierdurch ein für den Patienten zur Verfügung stehender Raum innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung zusätzlich durch die Strahlentherapievorrichtung beschränkt.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt insbesondere die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung und einer Strahlentherapievorrichtung bereitzustellen, die einen kompakten Aufbau und eine qualitativ hochwertige Bildüberwachung durch eine Magnetresonanzmessung während einer Strahlentherapie zur Verfügung stellt. Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0010] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung, die zumindest einen Hauptmagneten zu einem Erzeugen eines Magnetfelds in einem Untersuchungsraum für eine Magnetresonanzmessung auf-

weist, wobei der Hauptmagnet zumindest zwei koaxiale Magnetringe und/oder zumindest zwei koaxiale Magnetkreisscheiben aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung, die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls vorgesehen ist.

[0011] Es wird vorgeschlagen, dass die Richtung der Geschwindigkeit des Partikelstrahls im Wesentlichen parallel zu der Richtung der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet ist, wobei die Richtung der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds von einem ersten Magnetring und/oder einer ersten Magnetkreisscheibe in Richtung eines zweiten Magnetrings und/oder einer zweiten Magnetkreisscheibe verläuft, und wobei die Strahlentherapievorrichtung zumindest ein Target zur Erzeugung eines Gamma- und/oder Röntgenstrahls aufweist und das Target zumindest teilweise innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet ist. In diesem Zusammenhang soll unter einem Hauptmagneten der Magnetresonanzvorrichtung insbesondere ein Magnet verstanden werden, der zu einem Anlegen und/oder Erzeugen eines konstanten und insbesondere homogenen Magnetfelds vorgesehen ist. Vorzugsweise ist der Hauptmagnet von einem supraleitenden Magneten gebildet. Des Weiteren soll unter einem Untersuchungsraum insbesondere ein Raum und/oder Bereich der Magnetresonanzvorrichtung verstanden werden, der zu einer Aufnahme eines Patienten vorgesehen ist und in dem eine bildgebende Untersuchung und/oder Messung an dem Patienten mittels der Magnetresonanzvorrichtung und eine Bestrahlung mittels der Strahlentherapievorrichtung vorgenommen wird. Unter einer Strahlentherapievorrichtung soll insbesondere eine Vorrichtung verstanden werden, die zu einem Bestrahlen eines Bereichs, beispielsweise eines Tumorbereichs eines Patienten, mit einer ionisierenden, hochenergetischen Strahlung vorgesehen ist, wobei die ionisierende, hochenergetische Strahlung von außen auf den Patienten einwirkt. Die ionisierende, hochenergetische Strahlung ist vorwiegend von einer Gammastrahlung und/oder einer Röntgenstrahlung und/oder einer Elektronenstrahlung gebildet, wobei eine Energie und/oder Dosisleistung der Strahlung auf eine Gewebeart und/oder auf eine Position der Behandlungsbereichs innerhalb des Patienten und insbesondere unterhalb einer Haut des Patienten abgestimmt wird. Zudem ist auch eine Bestrahlung mit Neutronen und/oder Protonen und/oder schweren Ionen mittels der Strahlentherapievorrichtung denkbar. Ferner soll unter einem Partikelstrahl in diesem Zusammenhang insbesondere eine gerichtete Bewegung von einer Vielzahl an Partikeln und/oder Teilchen entlang einer einheitlichen Vorzugsrichtung verstanden werden, wie beispielsweise ein Strom von Partikeln und/oder Teilchen mit im Wesentlichen einheitlicher Flugrichtung. Der Partikelstrahl ist insbesondere von einem Elektronenstrahl gebildet, der auf einen Behandlungsbe-

reich eines Patienten fokussiert wird und/oder der zu einer Erzeugung eines Röntgen- und/oder eines Gammastrahls auf ein Target gelenkt wird.

[0012] Je größer die magnetische Flussdichte des Magnetfelds und/oder je größer eine von dem Partikelstrahl zurückzulegende Wegstrecke innerhalb des Magnetfelds ausgebildet ist, umso strikter sind hierbei Kriterien für eine Parallelität der Geschwindigkeit des Partikelstrahls und der Richtung des magnetischen Flussdichte des Magnetfelds zu beachten, um eine unerwünschte Strahlablenkung außerhalb eines Toleranzbereichs zu verhindern. Eine Änderung der Richtung und/oder Orientierung der Geschwindigkeit \vec{v} des Partikelstrahls erfolgt durch eine Kraft \vec{F} , die im Wesentlichen durch ein Vektorprodukt der Geschwindigkeit \vec{v} des Partikelstrahls und der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds abhängig ist: $\vec{F} \propto (\vec{v} \times \vec{B}_0)$. Somit wirkt auf Partikel des Partikelstrahls, welche sich mit der Geschwindigkeit \vec{v} bewegen, die parallel zu dem Magnetfeld \vec{B}_0 ausgerichtet ist, keine Kraft, so dass hierbei eine unerwünschte Beeinträchtigung der Orientierung und/oder Richtung des Partikelstrahls durch das Magnetfeld verhindert werden kann. Des Weiteren ist auch eine unerwünschte Störung einer Bildgebungsmessung, die aufgrund einer Störung einer Homogenität des Magnetfelds durch den Partikelstrahl hervorgerufen werden könnte, reduziert und/oder verhindert, so dass eine qualitativ hochwertige Bildüberwachung durch eine Magnetresonanzmessung während einer Strahlentherapie erreicht werden kann. Darüber hinaus kann ein die Magnetresonanzvorrichtung mit einem Hochfeldmagnetfeld zum Einsatz kommen, da eine Beeinträchtigung von Magnetresonanzvorrichtung und Strahlentherapievorrichtung unterbunden ist. Zudem kann vorteilhaft ein kompakter Aufbau der Vorrichtung erreicht werden, indem ein Strahlenverlauf des Partikelstrahls besonders platzsparend zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet werden kann.

[0013] Vorzugsweise verläuft der Partikelstrahl zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung und besonders vorteilhaft innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs der Magnetresonanzvorrichtung, so dass eine besonders kompakte Anordnung erreicht werden kann.

[0014] Es wird ferner vorgeschlagen, dass der Partikelstrahl im Wesentlichen unabgelenkt verläuft und insbesondere unabgelenkt innerhalb des Magnetfelds unabgelenkt verläuft. Es kann hierdurch auf zusätzliche Bauteile für eine Richtungsänderung des Partikelstrahls vorteilhaft verzichtet werden und damit eine besonders kompakte Vorrichtung erzielt werden. Zudem kann eine unerwünschte Beeinträchtigung einer Homogenität des Magnetfelds hervorge-

rufen durch eine Richtungsänderung des Partikelstrahls vorteilhaft verhindert werden und damit eine vorteilhafte hohe Qualität der Bildgebung mittels der Magnetresonanzvorrichtung erreicht werden. Eine Einschränkung der Magnetfeldgröße, wie dies eine Folge einer Richtungsänderung und/oder einer Umlenkung des Partikelstrahls ist, kann hierbei verhindert werden, so dass ein Hochfeldmagnetfeld für eine Magnetresonanzmessung verwendet werden kann.

[0015] Eine unerwünschte Umlenkung des Partikelstrahls, insbesondere innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung, und damit eine Beeinträchtigung einer Homogenität des Magnetfelds kann verhindert werden, wenn der Partikelstrahl vor einem Eintritt in einem von dem Magnetfeld durchsetzten Bereich der Magnetresonanzvorrichtung auf einen Behandlungsbereich gerichtet ist. Unter einem Behandlungsbereich soll hierbei insbesondere ein Zielbereich und/oder ein Isozentrum verstanden werden, in dem eine Behandlung mittels der Strahlentherapievorrichtung erfolgen soll und der sich vorzugsweise innerhalb eines Patienten befindet.

[0016] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Richtung der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds im Wesentlichen senkrecht zu einer Ausrichtung einer Kopf-Fuß-Achse eines im Untersuchungsraum befindlichen Patienten ist. Es kann der Patient und insbesondere der Behandlungsbereich innerhalb des Untersuchungsraums in konstruktiv einfacher Art und Weise einer Bestrahlung mittels der Strahlentherapievorrichtung zugänglich gemacht werden. In diesem Zusammenhang soll unter einer Kopf-Fuß-Achse eines Patienten insbesondere eine Längsachse und/oder eine Längserstreckung eines in dem Untersuchungsraum und/oder in einem Aufnahmebereich der Magnetresonanzvorrichtung befindlichen Patienten verstanden werden.

[0017] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung zumindest eine Linearbeschleunigereinheit aufweist, die zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet ist und besonders vorteilhaft zumindest teilweise innerhalb des von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs angeordnet ist. Es kann hierdurch eine insbesondere platzsparende Beschleunigung der Partikel auf eine für die Bestrahlung gewünschte Endenergie erreicht werden.

[0018] In diesem Zusammenhang soll unter einer Linearbeschleunigereinheit (Linac) insbesondere eine Einheit zu einem Beschleunigen von elektrisch geladenen Teilchen und/oder Partikeln, insbesondere Elektronen, verstanden werden, wobei die Teilchen und/oder Partikel auf einer geraden Bahn beschleunigt werden. Eine Beschleunigung des Partikelstrahls

erfolgt hierbei durch elektrische Wechselfelder in einem zylinderförmigen Hohlleiter. Der Hohlleiter ist hierbei vorzugsweise in einer Vakuumröhre angeordnet, so dass unerwünschte Kollisionen der Strahlpartikel mit Luftmolekülen und/oder Luftpartikeln verhindert sind. Für eine Strahlentherapie können Elektronen beispielsweise auf Energien bis auf eine Größenordnung von mehreren MeV beschleunigt werden. Zudem ist es auch möglich, dass die Strahlentherapievorrichtung eine zur Linearbeschleunigereinheit alternative Beschleunigereinheit aufweist.

[0019] Die Strahlentherapievorrichtung weist zumindest ein Target zur Erzeugung eines Gamma- und/oder Röntgenstrahls auf und das Target ist zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet. Es kann eine insbesondere platzsparende Anordnung und/oder Positionierung des Targets in einer Nähe zu der Behandlungsregion und damit besonders nah am Patienten erreicht werden. Zudem kann hierdurch ein Strahlfokus, insbesondere ein punktförmiger Strahlfokus, gezielt auf den Behandlungsbereich fokussiert werden und eine unerwünschte Strahlaufweitung aufgrund der kurzen Distanz von dem Target zum Behandlungsbereich unterdrückt werden. Ferner kann eine hohe Strahlendosis auf den Behandlungsbereich einwirken aufgrund der kurzen Distanz zwischen dem Target und dem Behandlungsbereich. Besonders vorteilhaft kann dies erreicht werden, wenn das Target innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs angeordnet ist. Vorzugsweise ist hierbei das Target aus einem magnetresonanzkompatiblen, insbesondere aus einem nichtmagnetisierbaren, Material gebildet. Unter einem Gammastrahl soll hierbei insbesondere ein Photonenstrahl mit insbesondere ultraharter Röntgenstrahlung verstanden werden, wobei die Photonen eine höhere Energie als eine Energie der Photonen des Röntgenstrahls aufweisen. Es kann hierbei eine vorteilhafte Eindringtiefe bei einer Strahlentherapiebehandlung eines Patienten mittels der Strahlentherapievorrichtung erreicht werden, so dass insbesondere auch tiefer liegende Tumore mittels der Strahlentherapievorrichtung behandelt und/oder bestrahlt werden können. Eine Energie der Photonen kann dabei auf eine gewünschte Eindringtiefe und/oder eine Position des Behandlungsbereichs innerhalb des Patienten abgestimmt werden. Je größer die Energie der Photonen, desto größer ist auch die Eindringtiefe der Photonen in den Körper des Patienten.

[0020] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass das Target zumindest teilweise von einem Transmissionsstarget gebildet ist, wodurch in konstruktiv einfacher Weise hochenergetische Photonen erzeugt werden können, wobei die hochenergetischen Photonen das Target entlang einer Vorzugsrichtung verlassen, die im Wesentlichen parallel zu der Richtung der Geschwindigkeit des Partikelstrahls ausgerichtet ist. An dem Transmissionstarget werden die

auf das Transmissionstarget auftreffenden Elektronen des Elektronenstrahls der Linearbeschleunigereinheit abgebremst und senden dabei eine Bremsstrahlung aus, die von den hochenergetischen Photonen gebildet ist. Grundsätzlich kann in einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung das Target auch von einem Reflexionstarget gebildet sein.

[0021] Es wird ferner vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung zumindest einen Kollimator aufweist, der zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung (2) angeordnet ist. Vorzugsweise ist der Kollimator zu einer im Wesentlichen parallelen Ausrichtung einer Gamma- und/oder Röntgenstrahlung eines Gamma- und/oder Röntgenstrahls vorgesehen, so dass eine vorteilhafte Strahlbündelung erreicht werden kann und damit eine unerwünschte Strahlaufweitung, die eine Schädigung eines um den Behandlungsbereich umliegenden Gewebes des Patienten hervorrufen könnte, verhindert werden. Durch diese Ausgestaltung der Erfindung kann vorteilhaft eine besonders kompakte Ausgestaltung der Vorrichtung erreicht werden. Zudem kann eine hohe Strahlendosis gezielt auf dem Behandlungsbereich fokussiert werden. Besonders vorteilhaft ist der Kollimator magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet.

[0022] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet zumindest einen für den Partikelstrahl durchlässigen Teilbereich aufweist. In diesem Zusammenhang soll unter einem durchlässigen Teilbereich insbesondere ein für den Partikelstrahl transparenter Teilbereich verstanden werden, den der Partikelstrahl im Wesentlichen ohne mit dem Hauptmagneten und/oder einem von dem Hauptmagneten erzeugten Magnetfeld zu Wechselwirkungen durchstrahlt und/oder durchsetzt. Durch diese Ausgestaltung der Erfindung kann vorteilhaft der Partikelstrahl unabgelenkt in die Magnetresonanzvorrichtung eingebracht werden und eine unerwünschte Streuung und/oder Ablenkung des Partikelstrahls an dem Hauptmagneten und/oder aufgrund eines angelegten Magnetfelds verhindert werden. Neben einem für den Partikelstrahl transparenten Teilbereich kann der Hauptmagnet alternativ oder zusätzlich auch eine für einen Gamma- und/oder Röntgenstrahl transparenten Teilbereich aufweisen.

[0023] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet zumindest zwei koaxiale Magnetringe oder zumindest zwei, insbesondere koaxiale, Magnetkreisscheiben aufweist. Eine Richtung des Magnetfelds kann hierbei vorteilhafterweise entlang einer Richtung eines ersten Magnetrings und/oder einer ersten Magnetkreisscheibe in Richtung eines zweiten Magnetrings und/oder einer zweiten Magnetkreisscheibe ausgerichtet sein, so dass eine vorteilhafte Positionierung

des Partikelstrahls und/oder des Gammastrahls innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung hinsichtlich des Patienten, insbesondere des Bestrahlungsbereichs des Patienten, erreicht werden kann. Besonders vorteilhaft kann dies erreicht werden, wenn zwischen den zumindest zwei Magnetringen und/oder den zumindest zwei Magnetkreisscheiben ein Aufnahmebereich zu einer Aufnahme eines Patienten angeordnet ist. Der Aufnahmebereich umfasst hierbei den Untersuchungsraum. Vorzugsweise ist der Patient innerhalb des Aufnahmebereichs derart angeordnet, dass eine Kopf-Fuß-Achse und/oder eine Längserstreckung des Patienten im Wesentlichen quer zu der Orientierung und/oder Richtung des von dem Hauptmagneten erzeugten Magnetfelds ausgerichtet ist.

[0024] Der transparente Teilbereich ist in einer Mitte der Magnetringe und/oder der Magnetkreisscheiben angeordnet. So kann konstruktiv einfach der Partikelstrahl in die Magnetresonanzvorrichtung unter Einhaltung einer Symmetrie für das homogene Magnetfeld eingeführt werden.

[0025] In einer alternativen Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Vorrichtung eine Patientenliege aufweist, die innerhalb des Aufnahmebereichs entlang zumindest zwei Richtungen bewegbar angeordnet ist. Es kann eine effektive Positionierung des Patienten hinsichtlich einer Ausrichtung und/oder Orientierung des Partikelstrahls und/oder des Gamma- und/oder Röntgenstrahls der Strahlentherapievorrichtung erreicht werden. Vorzugsweise sind die zumindest zwei Richtungen orthogonal zueinander ausgerichtet. Zudem ist es denkbar, dass die Patientenliege entlang drei Raumrichtungen bewegbar angeordnet, die vorzugsweise orthogonal zueinander ausgerichtet sind.

[0026] Es wird ferner vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet zusammen mit der zumindest teilweisen Strahlentherapievorrichtung entlang zumindest einer Richtung bewegbar angeordnet ist. Es kann eine vorteilhafte Positionierung des Partikelstrahls und/oder des Gamma- und/oder Röntgenstrahls bezüglich des Behandlungsbereichs unter Aufrechterhaltung der Parallelität der Orientierung und/oder Richtung der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds zu der Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit des Partikelstrahls erreicht werden. Vorzugsweise werden zusätzlich zusammen mit dem Hauptmagneten ein Gradientensystem, insbesondere eine Gradientenspule, und/oder ein Hochfrequenzsystem, insbesondere eine Hochfrequenzspule, entlang der zumindest einen Richtung bewegt. Besonders vorteilhaft ist zudem der Hauptmagnet zusammen mit der zumindest teilweisen Strahlentherapievorrichtung entlang zumindest zwei Raumrichtungen bewegbar angeordnet, wobei die Raumrichtungen vorzugsweise orthogonal zueinander ausgerichtet sind.

[0027] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet zusammen mit der zumindest teilweisen Strahlentherapievorrichtung um zumindest eine Achse drehbar angeordnet ist. Vorzugsweise verläuft die Achse durch den Aufnahmebereich für den Patienten, so dass eine effiziente Bestrahlung des Patienten, insbesondere des Behandlungsbereichs des Patienten, von unterschiedlichen Winkelpositionen erreicht werden kann. Zudem kann hierbei der Patient in einer für ihn vorteilhaften Position während der Bestrahlungsbehandlung bleiben.

[0028] Besonders vorteilhaft ist die Magnetresonanzvorrichtung von einer Hochfeldmagnetresonanzvorrichtung gebildet, so dass eine hohe Qualität in den Signalen der aufgenommenen Magnetresonanzmessungen erreicht werden kann. Vorzugsweise weist das Magnetfeld hierbei eine Magnetfeldstärke von mindestens 3 Tesla und vorteilhafterweise von mindestens 5 Tesla auf.

[0029] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Zeichnungen, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0030] Es zeigen:

[0031] [Fig. 1](#) eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer schematischen Darstellung und

[0032] [Fig. 2](#) eine zu [Fig. 1](#) alternative Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung.

[0033] In [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist jeweils eine erfindungsgemäße Vorrichtung **1** mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung **2** und einer Strahlentherapievorrichtung **3** schematisch dargestellt. Die Magnetresonanzvorrichtung **2** umfasst einen Hauptmagneten **4**, der im Betrieb der Magnetresonanzvorrichtung **2** zu einem Erzeugen eines insbesondere homogenen, konstanten Magnetfelds mit einer magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 , vorgesehen. Die Magnetresonanzvorrichtung **2** ist von einer Hochfeldmagnetresonanzvorrichtung gebildet, die ein Magnetfeld mit einer hohen magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 von mindestens 3 Tesla und größer im Betrieb der Magnetresonanzvorrichtung **2** erzeugt. Grundsätzlich kann die Magnetresonanzvorrichtung auch mit einer magnetischen Flussdichte des Magnetfelds von kleiner 3 Tesla betrieben werden, wie beispielsweise mit 1,5 Tesla.

[0034] Die beiden Ausführungsbeispiele in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) unterscheiden sich in einer Ausgestaltung des Hauptmagneten **4** der Magnetresonanz-

vorrichtung **2**. In [Fig. 1](#) ist der Hauptmagnet **4** von zwei Magnetringen **5** gebildet, die insbesondere von supraleitenden Magnetringen **5** gebildet sind und die koaxial zueinander angeordnet sind. Die beiden koaxialen Magnetringe **5** sind zudem beabstandet zueinander angeordnet, wobei zwischen den beiden koaxialen Magnetringen **5** ein Aufnahmebereich **6** zu einer Aufnahme eines Patienten **7** und/oder einer Untersuchungsprobe angeordnet ist. In den Aufnahmebereich **6** wird der Patient **7** mittels einer Transportvorrichtung **8** der Magnetresonanzvorrichtung **2** parallel zu seiner Langserstreckung und/oder seiner Kopf-Fuß-Achse **9** eingeführt. Die Transportvorrichtung **8** ist hierzu zumindest teilweise magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet.

[0035] In [Fig. 2](#) ist der Hauptmagnet **4** von zwei Magnetkreisscheiben **11** gebildet. Die beiden Magnetkreisscheiben **11** sind analog zu der Beschreibung einer Anordnung der Magnetringe **5** aus [Fig. 1](#) koaxial zueinander angeordnet, wobei ebenfalls zwischen den beiden Magnetkreisscheiben **11** der Aufnahmebereich **6** zur Aufnahme des Patienten **7** angeordnet ist. Mittels der beiden Magnetkreisscheiben **11** wird ein konstantes und insbesondere homogenes Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 im Betrieb der Magnetresonanzvorrichtung **2** erzeugt.

[0036] Das Magnetfeld, insbesondere die magnetische Flussdichte \vec{B}_0 , wirkt in dem Aufnahmebereich **6** zur Aufnahme des Patienten **7** für eine Magnetresonanzmessung, wobei der Aufnahmebereich einen Untersuchungsraum **12**, in dem die Magnetresonanzmessung erfolgt, umfasst. Eine Orientierung und/oder eine Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds ist in [Fig. 1](#) im Wesentlichen senkrecht zu einer Ringfläche **13** der beiden Magnetringe **5** ausgebildet. Die Orientierung und/oder die Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds verläuft hierbei von einem ersten der beiden Magnetringe **5** in eine Richtung eines zweiten der beiden Magnetringe **5**. In [Fig. 2](#) ist eine Orientierung und/oder eine Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds dabei im Wesentlichen senkrecht zu einer Kreisscheibenfläche **14** der beiden Magnetkreisscheiben **11** ausgebildet. Die Orientierung und/oder die Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds verläuft hierbei von einem ersten der beiden Magnetkreisscheiben **11** in eine Richtung eines zweiten der beiden Magnetkreisscheiben **11**. Zudem ist die Orientierung und/oder Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds im Wesentlichen senkrecht zu einer Ausrichtung der Kopf-Fuß-Achse **9** eines in dem Aufnahmebereich **6** befindlichen Patienten **7** ausgerichtet.

[0037] Eine Größe und/oder eine Anzahl der von dem Hauptmagneten **4** umfassten Magnetringe **5** (**Fig. 1**) und/oder der von dem Hauptmagneten **4** umfassten Magnetkreisscheiben **11** kann dabei abhängig von einem Anwendungsbereich und/oder einer Untersuchungsart der Magnetresonanzvorrichtung **2** ausgebildet sein. Die Größe der Magnetringe **5** und/oder der Magnetkreisscheiben **11** kann derart dimensioniert sein, dass die Magnetresonanzvorrichtung **2** für ein Ganzkörpersystem für eine Ganzkörperuntersuchung eines Patienten **7** ausgelegt ist. Alternativ hierzu kann die Größe der Magnetringe **5** und/oder der Magnetkreisscheiben **11** eine Dimensionierung aufweisen, die nur eine auf einen eingeschränkten Körperbereich des Patienten **7** begrenzte Magnetresonanzuntersuchung und/oder eine Magnetresonanzmessung ermöglicht, wie beispielsweise in einem Anwendungsgebiet der Neurochirurgie eine auf einen Kopfbereich eingeschränkte Magnetresonanzuntersuchung und/oder eine Magnetresonanzmessung. Zudem kann der Hauptmagnet **4** auch mehr als zwei Magnetringe **5** und/oder der Magnetkreisscheiben **11** umfassen, wie dies insbesondere bei Magnetresonanzvorrichtungen **2** für ein Ganzkörpersystem von Vorteil sein kann.

[0038] Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Gradienteneinheit **15** zur Erzeugung von Magnetfeldgradienten. Die Gradienteneinheit **15** umfasst nicht näher dargestellte Gradientenspulen, die magnetische Gradientenfelder zur selektiven Schichtanregung und/oder zur Ortskodierung von Magnetresonanzsignalen entlang von drei Raumrichtungen einstrahlen. Zur Anregung einer Polarisation, die sich in dem von dem Hauptmagneten **4** erzeugten Magnetfeld der Magnetresonanzvorrichtung **2** einstellt, ist eine Hochfrequenzspuleneinheit **16** vorgesehen. Diese strahlt ein Hochfrequenzfeld, beispielsweise in Form eines HF-Pulses, in den Patienten **7** ein, um eine Magnetisierung aus einer Gleichgewichtslage auszulenken. Mittels der Hochfrequenzspuleneinheit **16** können in einem Messbetrieb Magnetresonanzsignale aus dem Untersuchungsraum **12** aufgenommen werden. Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** einen Gradientenverstärker **42** zu einer Steuerung der Gradientenspulen und einen Hochfrequenzverstärker **43** zu einer Steuerung der Hochfrequenzspulen. Zu einer Steuerung des Gradientenverstärkers **42** und des Hochfrequenzverstärkers **43** umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Steuereinheit **17**. Die Steuereinheit **17** steuert zentral die Magnetresonanzvorrichtung **2**, wie beispielsweise das selbsttätige Durchführen einer ausgewählten bildgebenden Gradientenchosenquenz. Zu einer Eingabe von Magnetresonanzparametern umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Eingabeeinheit **44**. Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Anzeigeeinheit, mittels der beispielsweise Magnetresonanzbilder dargestellt werden können.

[0039] Die Strahlentherapievorrichtung **3** ist im Betrieb zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls **18** vorgesehen. Hierzu weist die Strahlentherapievorrichtung **3** eine Beschleunigereinheit auf, die von einer Linearbeschleunigereinheit **19** gebildet ist. Die Linearbeschleunigereinheit **19** ist als Elektronenbeschleunigereinheit ausgebildet. Grundsätzlich ist eine zu der Linearbeschleunigereinheit **19** und/oder der Elektronenbeschleunigereinheit alternative Ausgestaltung der Beschleunigereinheit denkbar, wie beispielsweise eine Protonenbeschleunigereinheit.

[0040] Die Linearbeschleunigereinheit **19** umfasst eine Elektronenquelle **20**, wie beispielsweise eine Wolframkathode, die freie Elektronen erzeugt. Diese Elektronen werden anschließend beschleunigt und ein von einem Elektronenstrahl gebildeter Partikelstrahl **18** erzeugt. Hierzu weist die Linearbeschleunigereinheit **19** einen Hohlraumresonator **21** auf. In dem Hohlraumresonator **21** werden elektrische Felder von stehenden elektromagnetischen Wellen erzeugt. Zudem umfasst der Hohlraumresonator **21** mehrere, nacheinander angeordnete Zellen, wobei eine Länge der einzelnen Zellen derart gewählt ist, dass sich das elektrische Feld der stehenden Welle einer Zelle umkehrt, sobald ein Elektron in die darauffolgende Zelle eintritt. Es wird somit eine kontinuierliche Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von einigen MeV gewährleistet. Des Weiteren umfasst die Linearbeschleunigereinheit **19** eine Vakuumröhre **23**, innerhalb der der Hohlraumresonator **21** angeordnet ist, so dass in den einzelnen Zellen des Hohlraumresonators **21** ein Vakuum anliegt. Für eine Steuerung und/oder Regelung der Linearbeschleunigereinheit **19** weist die Strahlentherapievorrichtung **3** eine Steuereinheit **24** auf.

[0041] Weiterhin umfasst die Strahlentherapievorrichtung **3** eine Targeteinheit **25**, die ein Target **26** und einen Kollimator **27** umfasst. Die Targeteinheit **25** ist entlang der Orientierung und/oder Richtung einer Geschwindigkeit \vec{v} der beschleunigten Elektronen des Elektronenstrahls nach dem Hohlraumresonator **21** der Linearbeschleunigereinheit **19** angeordnet. Zudem ist das Target **26** innerhalb der Vakuumröhre **23** der Linearbeschleunigereinheit **19** angeordnet, so dass eine unerwünschte Ablenkung und/oder Streuung von Elektronen des Elektronenstrahls aufgrund einer Kollision der Elektronen mit Luftmolekülen vor einem Erreichen des Targets **26** verhindert ist. Die beschleunigten Elektronen des Elektronenstrahls treffen nach einem Durchlaufen des Hohlraumresonators **21** auf das Target **26** der Targeteinheit **25**. Das Target **26** ist von einem Transmissions-target, beispielsweise von einem Wolframblech, gebildet. An dem Target **26** werden die beschleunigten Elektronen abgebremst, wobei hierbei eine Gammastrahlung **28** und/oder Röntgenstrahlung erzeugt wird. Alternativ hierzu ist es möglich, dass das Target

26 auch außerhalb der Vakuumrohre **23** angeordnet ist.

[0042] Entlang der Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls ist nach dem Target **26** der Kollimator **27** angeordnet. Mittels des Kollimators **27** wird aus der Gamma- und/oder Röntgenstrahlung ein paralleler Gamma- und/oder Röntgenstrahl **28**. Des Weiteren wird mittels des Kollimators **27** die Gamma- und/oder die Röntgenstrahlung auf einen Behandlungsbereich **36** und/oder ein Isozentrum fokussiert, so dass ein paralleler Strahlenverlauf der Gamma- und/oder Röntgenstrahlung mit einem kleinen Fokus für eine Strahlentherapie im Betrieb der Strahlentherapievorrichtung **3** zur Verfügung gestellt werden kann. Eine Steuerung und/oder eine Einstellung des Kollimators **27** erfolgt durch die Steuereinheit **24** der Strahlentherapievorrichtung **3**. Alternativ hierzu ist jedoch auch eine zumindest teilweise manuelle Einstellung und/oder Steuerung des Kollimators **27** denkbar.

[0043] Eine Strahlentherapiebehandlung mittels der Strahlentherapievorrichtung **3** erfolgt gleichzeitig zu einer Magnetresonanzmessung mittels der Magnetresonanzvorrichtung **2**, so dass die Strahlentherapiebehandlung effektiv an beispielsweise eine Bewegung des Patienten **7** angepasst werden kann. Die Strahlentherapievorrichtung **3** ist hierzu zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **2** angeordnet und/oder integriert. Das Target **26** und der Kollimator **27** sind hierbei innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **2** und insbesondere innerhalb des Aufnahmebereichs **6** mit dem homogenen Magnetfeld angeordnet. Hierzu ist die Targeteinheit **25** und zumindest teilweise die Linearbeschleunigereinheit **19** magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet.

[0044] Bewegen sich Elektronen und/oder geladene Partikel in einem Magnetfeld, wirkt auf die Elektronen und/oder die geladene Partikel eine Kraft \vec{F} , die proportional zu einem Vektorprodukt aus der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls und der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des wirkenden Magnetfelds ist: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}_0)$. Zudem ist die Kraft \vec{F} noch abhängig von einer Ladung q der Elektronen und/oder der geladenen Partikel. In **Fig. 1** ist die Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls im Wesentlichen parallel zur Orientierung und/oder Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds ausgerichtet, so dass eine unerwünschte Beeinträchtigung des homogenen Magnetfelds und/oder eine unerwünschte Abweichung einer Partikelbahn des Elektronenstrahls verhindert wird. Hierdurch wirken auf die Elektronen des Elektronenstrahls keine durch das Magnetfeld der Magnetresonanzvorrichtung **2** hervorgeru-

rufenen Kräfte innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **2**. Zudem ist die Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls im Wesentlichen senkrecht zu einer Ausrichtung der Kopf-Fuß-Achse **9** des in dem Aufnahmebereich **6** befindlichen Patienten **7**. Zudem ist es möglich, dass die Bedingung der Parallelität der der magnetische Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds und der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls einen Toleranzbereich umfasst. Der Toleranzbereich weist folgende Bedingung auf, dass je größer ein Wert der magnetische Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds ist, desto strikter muss hierbei die Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls parallel zu der Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 ausgerichtet sein, um eine unerwünschte Ablenkung des Elektronenstrahls zu verhindern.

[0045] Für eine zumindest teilweise Anordnung der Linearbeschleunigereinheit **19** innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **2** weist der Hauptmagnet **4** hierzu einen für den Elektronenstrahl transparenten und/oder durchlässigen Teilbereich **29**, **33** auf (**Fig. 1** und **Fig. 2**). Dieser für den Elektronenstrahl transparente und/oder durchlässige Teilbereich **29** ist in **Fig. 1** in einer Mitte **30** der einzelnen Magnetringe **5** des Hauptmagnets **5** angeordnet. Zudem ist der transparente Teilbereich **29** von einem Ringbereich **31** der Magnetringe umschlossen. In diesem durchlässigen Teilbereich **29** kann der Elektronenstrahl im Wesentlichen ungehindert in die Magnetresonanzvorrichtung **2** und insbesondere in den Aufnahmebereich **6** eindringen, ohne mit den Magnetringen **5** zu Wechselwirken. Der transparente Teilbereich **29** ist von einem Hohlraum gebildet.

[0046] **Fig. 2** ist der für den Elektronenstrahl durchlässige und/oder transparente Teilbereich **33** innerhalb der einzelnen Magnetkreisscheiben **11** angeordnet. Aus Symmetriegründen ist dieser für den Elektronenstrahl durchlässige und/oder transparente Teilbereich **33** in einer Mitte **34** der Magnetkreisscheiben **11** angeordnet und von einem Hohlraum gebildet.

[0047] Die Linearbeschleunigereinheit **19** und/oder eine Strahlführung der Strahlentherapievorrichtung **3** ist derart innerhalb des transparenten Teilbereichs **29**, **33** angeordnet ist, dass eine Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls im Wesentlichen parallel zu der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds ausgerichtet ist. Der transparente Teilbereich **29**, **33** kann zudem auch von einer für die Partikelstrahlung im Wesentlichen durchlässigen Folie gebildet sein. Alternativ hierzu sind weitere, dem Fachmann als sinnvoll erscheinende Ausgestaltungen des transparenten Teilbereichs **29**, **33** jederzeit möglich. Durch diesen transparenten Teilbereich **29**, **33** erstreckt sich

das Vakuumgef der Linearbeschleunigereinheit **19**, so dass neben dem Hohlraumresonators **21** auch das Traget **26** innerhalb des Vakuums angeordnet werden kann.

[0048] Alternativ hierzu kann die Linearbeschleunigereinheit **19** auch außerhalb des Hauptmagneten **4** und des von dem Hauptmagneten **4** erzeugten Magnetfelds angeordnet sein. Zudem ist es weiterhin denkbar, dass das Target **26** und/oder der Kollimator **27** innerhalb des transparenten Teilbereichs **29**, **33** der Magnetringe **5** und/oder der Magnetkreisscheiben **11** angeordnet sind. Des Weiteren kann sowohl das Target **26** als auch der Kollimator **27** auch außerhalb der Magnetfelds und des Hauptmagneten **4** angeordnet sein. Hierbei wurde es ausreichen, dass der transparente Teilbereich **29**, **33** lediglich für die Gamma- und/oder Röntgenstrahlung transparent ausgelegt ist.

[0049] Der Elektronenstrahl durchläuft im Wesentlichen unabgelenkt die Magnetresonanzvorrichtung **2** bis zum Target **26**. Eine Beeinträchtigung des homogenen Magnetfelds, die aufgrund eines abgelenkten und/oder umgelenkten Elektronenstrahls hervorgerufen werden konnten, ist somit vorteilhaft unterbunden, so dass ein Magnetfeld mit einer hohen magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 von mindestens 3 Tesla im Betrieb angelegt verwendet werden kann. Der Elektronenstrahl wird bereits vor seinen Eintritt in die Magnetresonanzvorrichtung **2** auf einen Behandlungsbereich **36**, insbesondere einem Isozentrum, gerichtet.

[0050] Ferner ist die Vorrichtung **1** dazu vorgesehen, eine Nachführung eines Bestrahlungsfokus des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** vorzunehmen. Eine Nachführung kann erforderlich sein, wenn beispielsweise das Isozentrum und/oder der Behandlungsbereich **36** der Strahlenbehandlung sich während der Strahlenbehandlung bewegt, beispielsweise aufgrund einer Atmung und/oder einer Bewegung des Patienten **7**. Des Weiteren kann das Isozentrum und/oder der Behandlungsbereich **36** eine größere Ausdehnung aufweisen als eine Ausdehnung des Bestrahlungsfokuses des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28**, so dass für eine vollständige Bestrahlung, beispielsweise eines Tumorgewebes, eine Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** erforderlich ist. Die Nachführung erfolgt anhand von Magnetresonanzaufnahmen, die den Behandlungsbereich **36** lokalisieren. Für die Nachführung des Bestrahlungsfokuses des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** hinsichtlich einer Bewegung und/oder Ausdehnung des Isozentrums sieht die Vorrichtung **1** zwei Möglichkeiten vor. Zum einen weist die Transportvorrichtung **8** eine Patientenliege **37** auf, die innerhalb des Aufnahmebereichs **6** entlang zwei Raumrichtungen bewegbar angeordnet ist. Die zwei Raumrichtungen sind von einer x-Richtung **38**

und einer z-Richtung **40** gebildet und jeweils orthogonal zueinander ausgerichtet. Die z-Richtung ist zudem entlang einer Richtung eines Einschubvorgangs zu einem Einschoben der Patientenliege **37** in den Aufnahmebereich **7** ausgerichtet. Zusätzlich kann die Patientenliege **37** auch entlang einer dritten Raumrichtung, die von einer y-Richtung gebildet ist, bewegbar angeordnet sein, wobei die dritte Raumrichtung hierzu orthogonal zu der ersten und der zweiten Raumrichtung ausgerichtet ist.

[0051] Eine weitere Möglichkeit der Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** hinsichtlich des Isozentrums und/oder des Behandlungsbereichs **36** besteht darin, das zumindest die Linearbeschleunigereinheit **19** und die Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** bewegbar angeordnet ist. Die Bewegung der Linearbeschleunigereinheit **19** und der Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** muss hierbei immer zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** erfolgen, so dass stets eine im Wesentlichen parallele Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls zu der Orientierung und/oder Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds des Hauptmagneten **4** während der Bewegung beibehalten wird. Hierzu weist die Vorrichtung **1** in **Fig. 1** und **Fig. 2** eine Positioniereinheit **46** auf, die die Linearbeschleunigereinheit **19** und die Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest den Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** entlang der drei Raumrichtungen bezüglich des Patienten **7** und/oder der Transportvorrichtung **8** bewegt. Alternativ hierzu kann zudem die Bewegung entlang nur einer oder zwei Raumrichtungen möglich sein.

[0052] In einer alternativen Ausgestaltung der Vorrichtung **1** kann es zudem vorgesehen sein, dass neben dem Hauptmagneten **4** zusätzlich weitere Baueinheiten und/oder Bauelemente der Magnetresonanzvorrichtung **2** zusammen mit der Linearbeschleunigereinheit **19** und der Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** entlang der Raumrichtungen zu einer Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** von der Positioniereinheit **46** bewegt werden. Darüber hinaus können auch weitere Baueinheiten und/oder weitere Bauelemente der Strahlentherapievorrichtung **3** für die Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **28** entlang der drei Raumrichtungen von der Positioniereinheit **46** bewegt werden.

[0053] Zudem weist der transparente Teilbereich **29**, **33** eine Ausdehnung aufweist, die größer ist als eine Ausdehnung eines Querschnitts der Linearbeschleunigereinheit **19**. Hierbei kann bei kleinen Positionsänderungen des Bestrahlungsfokuses eine Positions-

änderung der Targeteinheit **25** zusammen mit der Linearbeschleunigereinheit **19** bezüglich des Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** erfolgen. Eine aus der Positionsänderung resultierende Geschwindigkeitskomponente des Elektronenstrahls und/oder der Linearbeschleunigereinheit **19** senkrecht zu der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 kann dabei aufgrund der geringen Positionsänderungsgeschwindigkeit vernachlässigt werden.

[0054] Des Weiteren ist es zudem denkbar, dass der Hauptmagnet **4** zumindest zwei oder mehrere für den Partikelstrahl **18** und/oder der Gamma- und/oder Röntgenstrahlung transparente und/oder durchlässige Teilbereiche **29**, **33** aufweist. Insbesondere kann hierbei die Linearbeschleunigereinheit **19** und/oder der Partikelstrahl **18** unterschiedliche Bestrahlungspositionen bezüglich des Patienten **7** und bezüglich des Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** einnehmen. Jedoch ist in den unterschiedlichen Bestrahlungspositionen eine Ausrichtung des Partikelstrahls **18** und/oder der Linearbeschleunigereinheit **19** hinsichtlich einer im Wesentlichen parallelen Ausrichtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Partikelstrahls **18** bezüglich der Richtung **10** und/oder Orientierung der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds des Hauptmagneten **4** beschränkt.

[0055] Des Weiteren sieht die Vorrichtung **1** eine Bestrahlung des Behandlungsbereichs **36** aus unterschiedlichen Bestrahlungswinkeln vor. Der Bestrahlungswinkel ist dabei von einem dreidimensionalen Raumwinkel bezüglich einer Liegefläche **41** der Patientenliege **37** gebildet. Hierzu werden die Linearbeschleunigereinheit **19** und die Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** um eine Achse mittels der Positionierereinheit gedreht. Die Achse verläuft hierbei durch eine Mitte des Aufnahmebereichs **6** im Wesentlichen parallel zu einer Einschubrichtung der Patientenliege **37**, so dass die Linearbeschleunigereinheit **19** und die Targeteinheit **25** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** um den Patienten **7** gedreht und in eine neue Bestrahlungsposition gebracht werden können. Die Drehung der Linearbeschleunigereinheit **19** und der Targeteinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3** muss hierbei immer zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** erfolgen, so dass stets eine im Wesentlichen parallele Orientierung und/oder Richtung der Geschwindigkeit \vec{v} des Elektronenstrahls zu der Orientierung und/oder Richtung **10** der magnetischen Flussdichte \vec{B}_0 des Magnetfelds des Hauptmagneten **4** während der Drehung beibehalten wird.

[0056] Alternativ hierzu es möglich, dass die Linearbeschleunigereinheit **19** und die Targeteinheit **25** der

Strahlentherapievorrichtung **3** und der Hauptmagnet **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** fest positioniert sind und zu einer Variation des Bestrahlungswinkels die Patientenliege **37** zusammen mit dem Patienten **7** um eine Achse gekippt wird.

Patentansprüche

1. Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung (**2**), die zumindest einen Hauptmagneten (**4**) zu einem Erzeugen eines Magnetfelds in einem Untersuchungsraum (**12**) für eine Magnetresonanzmessung aufweist, wobei der Hauptmagnet (**4**) zumindest zwei koaxiale Magnetringe (**5**) und/oder zumindest zwei koaxiale Magnetkreisscheiben (**11**) aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung (**3**), die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls (**18**) vorgesehen ist, wobei die Richtung der Geschwindigkeit (\vec{v}) des Partikelstrahls (**18**) im Wesentlichen parallel zu der Richtung (**10**) der magnetischen Flussdichte (\vec{B}_0) des Magnetfelds ausgerichtet ist, wobei die Richtung der magnetischen Flussdichte (\vec{B}_0) des Magnetfelds von einem ersten Magnetring (**5**) und/oder einer ersten Magnetkreisscheibe (**11**) in Richtung eines zweiten Magnetings (**5**) und/oder einer zweiten Magnetkreisscheibe (**11**) verläuft, und wobei die Strahlentherapievorrichtung (**3**) zumindest ein Target (**26**) zur Erzeugung eines Gamma- und/oder Röntgenstrahls (**28**) aufweist und das Target (**26**) zumindest teilweise innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs der Magnetresonanzvorrichtung (**2**) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Partikelstrahl (**18**) zumindest teilweise innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung (**2**) verläuft.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Partikelstrahl (**18**) unabgelenkt verläuft.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, der Partikelstrahl (**18**) vor einem Eintritt in einen Bereich, der von dem Magnetfeld durchsetzt ist, der Magnetresonanzvorrichtung (**2**) auf einen Behandlungsbereich (**36**) gerichtet ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung (**10**) der magnetischen Flussdichte (\vec{B}_0) des Magnetfelds im Wesentlichen senkrecht zu einer Ausrichtung der Kopf-Fuß-Achse (**9**) eines im Untersuchungsraum (**12**) befindlichen Patienten (**7**) ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest eine Linearbeschleunigereinheit (19) aufweist, die zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung (2) angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Target (26) innerhalb eines von dem Magnetfeld durchsetzten Bereichs angeordnet ist.

8. Vorrichtung zumindest nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Target (26) zumindest teilweise von einem Transmissionstarget gebildet ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (2) zumindest einen Kollimator (27) aufweist, der zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung (2) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (4) zumindest einen für den Partikelstrahl (18) durchlässigen Teilbereich (29, 33) aufweist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den zumindest zwei Magnetringen (4) und/oder den zumindest Magnetkreisscheiben (11) ein Aufnahmebereich (6) zu einer Aufnahme eines Patienten (7) angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der transparente Teilbereich (29, 33) in einer Mitte (30, 34) der Magnetringe (4) und/oder der Magnetkreisscheiben (11) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Patientenliege (37), die innerhalb des Aufnahmebereichs (6) entlang zumindest zwei Richtungen (38, 39, 40) bewegbar angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (4) zusammen mit der zumindest teilweisen Strahlentherapievorrichtung (2) entlang zumindest einer Richtung (38, 39, 40) bewegbar angeordnet ist.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (4) zusammen mit der zumindest teilweisen Strahlentherapievorrichtung (3) um zumindest eine Achse drehbar angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetresonanzvorrichtung (2) von einer Hochfeldmagnetresonanzvorrichtung gebildet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

