



(10) **DE 10 2010 001 743 B4** 2012.07.12

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 001 743.4**
(22) Anmeldetag: **10.02.2010**
(43) Offenlegungstag: **11.08.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **12.07.2012**

(51) Int Cl.: **A61N 5/10 (2006.01)**
G01R 33/48 (2006.01)
G01R 33/3815 (2006.01)
A61B 5/055 (2012.01)

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).

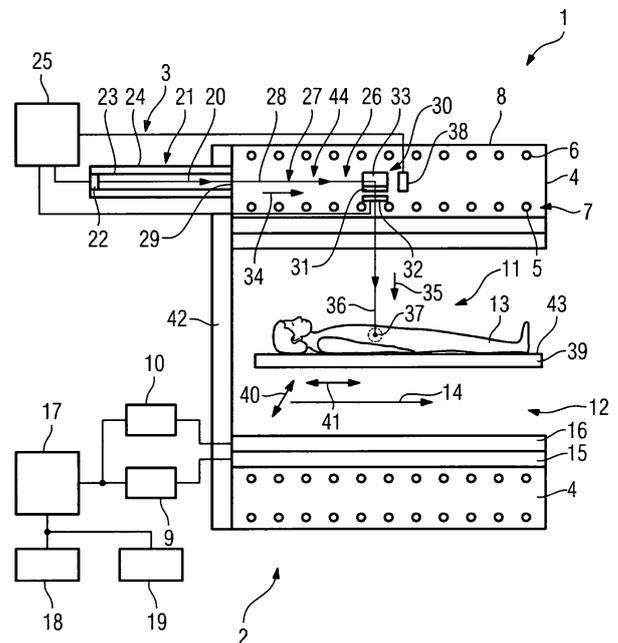
(73) Patentinhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

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

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

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

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung (2), die zumindest einen Hauptmagneten (4) zu einem Erzeugen eines Hauptmagnetfelds in einem Untersuchungsraum (11) für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung (3), die zur Erzeugung eines Partikelstrahls (20) vorgesehen ist und die eine Strahlführung (44, 70, 71, 83) aufweist, wobei die Magnetresonanzvorrichtung (2) einen im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (27) aufweist und die Strahlführung (44, 70, 71, 83) des Partikelstrahls (20) in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (27) verläuft, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (44, 70, 71, 83) des Partikelstrahls (20) zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten (4) in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (27) verläuft.



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

DE	10 2008 007 245	A1
DE	20 2008 014 892	U1
DE	696 33 033	T2
DE	698 30 480	T2
GB	2 393 373	A
US	2009 / 0 234 219	A1
WO	2009/ 106 603	A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung, die zumindest einen Hauptmagneten zu einem Erzeugen eines Hauptmagnetfelds in einem Untersuchungsraum für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung, die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls vorgesehen ist und die eine Strahlführung aufweist, wobei die Magnetresonanzvorrichtung einen im wesentlichen magnetfeldfreien Bereich aufweist und die Strahlführung des Partikelstrahls in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich verläuft.

[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 abubrechen. 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 Strahlungsdosis 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, wobei der Elektronenstrahl zwischen einem Gradientenspulensystem und einer nach innen weisenden Mantelfläche eines Hauptmagneten angeordnet ist. 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] Weiterhin ist aus der GB 2 393 373 A eine Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung und einer Strahlentherapievorrichtung bekannt. Die Magnetresonanzvorrichtung umfasst einen Hauptmagneten zu einem Erzeugen eines Hauptmagnetfelds. Die Strahlentherapievorrichtung ist zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls vorgesehen und weist eine Strahlführung auf. Der Hauptmagnet weist innere Magnetspulen und äußere Magnetspulen auf. Mit-

tels der inneren Magnetspulen wird ein erstes Magnetfeld erzeugt, das innerhalb eines Aufnahmebereichs einen Wert $B_{p_{in}}$ und in radialer Richtung außerhalb des Hauptmagneten einen Wert $B_{p_{out}}$ aufweist. Mittels der äußeren Magnetspulen wird ein zweites Magnetfeld erzeugt, das innerhalb eines Aufnahmebereichs einen Wert $B_{c_{in}}$ und in radialer Richtung außerhalb des Hauptmagneten einen Wert $B_{c_{out}}$ aufweist. Die inneren Magnetspulen und die äußeren Magnetspulen sind derart zueinander angeordnet, dass außerhalb des Hauptmagneten sich die Teilmagnetfelder $B_{p_{out}}$ und $B_{c_{out}}$ aufheben und dort ein im Wesentlichen magnetfeldfreier Bereich entsteht.

[0010] 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.

[0011] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung, die zumindest einen Hauptmagneten zu einem Erzeugen eines Hauptmagnetfelds in einem Untersuchungsraum für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung, die zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls vorgesehen ist und die eine Strahlführung aufweist, wobei die Magnetresonanzvorrichtung einen im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich aufweist und die Strahlführung in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich verläuft.

[0012] Es wird vorgeschlagen, dass die Strahlführung des Partikelstrahls zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich verläuft. 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 Hauptmagnetfelds vorgesehen ist. Vorzugsweise ist der Hauptmagnet von einem supraleitenden Magneten gebildet. Zudem soll unter einem magnetfeldfreien Bereich insbesondere ein Bereich verstanden werden, in dem sich miteinander überlagernde Magnetfelder im Wesentlichen gegenseitig aufheben, so dass ein resultierendes Hauptmagnetfeld im Wesentlichen ausgelöscht ist. Der im Wesentlichen magnetfeldfreie Bereich kann dabei ein Restmagnetfeld aufweisen, wobei eine Stärke des Restmagnetfelds wesentlich kleiner ist als eine Stärke des Hauptmagnetfelds. Ferner 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 der Strahlung auf eine Gewebearbeit innerhalb des Behandlungsbereichs 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 einer im Wesentlichen einheitlichen Flugrichtung. Die Strahlführung kann hierbei insbesondere einem vorgegebenen Strahlungsverlauf des Partikelstrahls gebildet sein.

[0013] Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung wird vorteilhaft ein kompakter Aufbau der Vorrichtung erreicht, indem die Strahlentherapievorrichtung besonders platzsparend zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet wird. Des Weiteren ist auch eine unerwünschte Störung einer Bildgebungsmessung, die aufgrund einer Störung einer Homogenität des Hauptmagnetfelds 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 die Magnetresonanzvorrichtung mit einem Hochfeldmagnetfeld zum Einsatz kommen, da eine Beeinträchtigung von Magnetresonanzvorrichtung und Strahlentherapievorrichtung unterbunden ist. Es kann weiterhin auch eine unerwünschte Störung der Strahlführung durch das angelegte Hauptmagnetfeld aufgrund der Anordnung der Strahlführung in dem magnetfeldfreien Bereich unterdrückt werden.

[0014] Vorzugsweise verläuft die Strahlführung außerhalb eines Aufnahmebereichs der Magnetresonanzvorrichtung, wobei der Aufnahmebereich zu einer Aufnahme eines Patienten vorgesehen ist, so

dass hierbei der Aufnahmebereich uneingeschränkt für den Patienten bereitgestellt werden kann, so dass Angstzustände, insbesondere aufgrund einer Klaustrophobie des Patienten innerhalb des Aufnahmebereichs, während einer Messung unterdrückt werden können.

[0015] Eine besonders kompakte Anordnung, bei der die Strahlentherapievorrichtung zumindest teilweise platzsparend in die Magnetresonanzvorrichtung integriert wird, wird erzielt, indem die Strahlführung des Partikelstrahls zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten entlang des im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereichs verläuft. Für eine zumindest teilweise Integration der Strahlentherapievorrichtung innerhalb des Hauptmagneten eignet sich besonders vorteilhaft ein Hauptmagnet, der von einem als Minimum-Helium-Magnet ausgebildeten supraleitenden Magneten gebildet ist. Bei diesem Minimum-Helium-Magnet entfällt vorzugsweise eine Kühlung in einem Heliumbad. Vielmehr werden Windungen einer Magnetfeldspule des Hauptmagneten mit geringen Mengen Helium direkt gekühlt. Hierbei kann auf eine Einbettung des Minimum-Helium-Magneten in einem Gesamtkryostaten, wie dies bei supraleitenden Magneten einer Magnetresonanzvorrichtung üblich ist, verzichtet werden und der Minimum-Helium-Magnet in einem Vakuumgefäß, das wesentlich flexibler gestaltet werden kann und dabei unerwünschte Wärmebrücken verhindert, angeordnet werden. Innerhalb dieses Vakuumgefäßes kann beispielsweise die Strahlführung der Strahlentherapievorrichtung besonders platzsparend integriert werden.

[0016] Es wird ferner vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet eine erste Magnetfeldspule zum Erzeugen eines ersten Magnetfelds und zumindest eine zweite Magnetfeldspule zum Erzeugen eines zweiten Magnetfelds aufweist, wobei die Strahlführung zumindest teilweise zwischen den beiden Magnetfeldspulen verläuft. Vorzugsweise ist das zweite Magnetfeld von einem dem ersten Magnetfeld zumindest teilweise entgegenwirkenden Gegenmagnetfeld gebildet, so dass eine zumindest teilweise Auslöschung und/oder Aufhebung der beiden Magnetfelder, insbesondere in einem Raum zwischen den beiden Magnetspulen, erreicht werden kann und damit ein im wesentlicher magnetfeldfreier Bereich und/oder Raum innerhalb der Hauptmagneten. Vorzugsweise weist die erste Magnetfeldspule einen Durchmesser auf, der größer ist als ein Durchmesser der zumindest zweiten Magnetfeldspule, so dass die zumindest eine zweite Magnetfeldspule platzsparend innerhalb eines von Windungen der ersten Magnetfeldspule umschlossenen Bereichs angeordnet werden kann. Der magnetfeldfreie Bereich zwischen den beiden Magnetfeldspulen erstreckt sich vorzugsweise im Wesentlichen entlang und/oder parallel einer Länge der beiden Magnetfeldspulen, so dass die Strahlführung

im Wesentlichen parallel zur Länge zwischen den beiden Magnetfeldspulen verläuft.

[0017] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass die Strahlführung zumindest teilweise parallel zu einer Richtung und/oder einer Orientierung einer magnetischen Flussdichte des Hauptmagnetfelds verläuft. Es kann hierdurch eine im Wesentlichen magnetkraftfreie Strahlführung des Partikelstrahls innerhalb des Hauptmagneten erreicht werden.

[0018] Es wird ferner vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet zumindest zwei einzelne Magnete aufweist, die zusammen in einem Vakuumgefäß angeordnet sind. Es kann eine vorteilhafte Kühlung unter Einsparung von großen Mengen Helium erreicht werden und dabei besonders platzsparend die Strahlführung innerhalb des Hauptmagneten angeordnet werden.

[0019] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Strahlführung entlang einer zumindest teilweise gekrümmten Trajektorie innerhalb des Hauptmagneten verläuft. Es kann hierbei ein vorhandenes Restmagnetfeld innerhalb des Hauptmagneten entlang der Strahlführung vorteilhaft durch einen Krümmungsradius der Trajektorie kompensiert werden. Dabei ist eine aktive und/oder passive Korrektur einer Bahn des Partikelstrahls denkbar, beispielsweise aufgrund einer aktiven Strahlablenkung durch lokale Magnetspulen entlang der Strahlführung usw.

[0020] Zudem wird vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung eine Beschleunigereinheit aufweist, die zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung angeordnet ist, wobei die Beschleunigereinheit vorteilhafterweise von einer Linearbeschleunigereinheit gebildet ist. Es kann hierbei eine besonders kompakte Anordnung der Beschleunigereinheit innerhalb der Vorrichtung erreicht werden. Besonders vorteilhaft kann dies erreicht werden, wenn die Linearbeschleunigereinheit zumindest teilweise innerhalb der Hauptmagneten angeordnet ist.

[0021] 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 Grö-

Benennung von mehreren MeV beschleunigt werden. Zudem ist es auch möglich, dass die Strahlentherapievorrichtung eine zur Linearbeschleunigereinheit alternative Beschleunigereinheit aufweist.

[0022] Zudem kann die Beschleunigereinheit auch ein zu einem Vakuumgefäß des Hauptmagneten separates Vakuumgefäß aufweisen. Hierdurch kann bei einem Eintritt und/oder einem Austritt des Partikelstrahls in den Hauptmagneten beispielsweise eine unerwünschte Absorption des Partikelstrahls, insbesondere eine Betaabsorption von Elektronen des Partikelstrahls, an dem Vakuumgefäß des Hauptmagneten verhindert werden.

[0023] Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die Beschleunigereinheit zumindest teilweise innerhalb eines Vakuumgefäßes des Hauptmagneten angeordnet ist. Es können hierbei weitere Bauteile und damit insbesondere Kosten für eine separates Vakuumgefäß und/oder eine separate Vakuumeinheit der Strahlentherapievorrichtung eingespart werden.

[0024] Zudem wird vorgeschlagen, dass der Hauptmagnet ein Vakuumgefäß mit zumindest einem Eintritts- und/oder Austrittsfenster aufweist, durch das die Partikel des Partikelstrahls in das Vakuumgefäß gelangen können und/oder das Vakuumgefäß wieder verlassen können. Vorzugsweise ist das Eintritts- und/oder das Austrittsfenster aus einem Material gebildet, das eine geringe Wechselwirkung mit dem Partikelstrahl aufweist, so dass bei einem Auftreffen des Partikelstrahls auf das Eintritts- und/oder das Austrittsfenster Verluste in der Strahlintensität und/oder Abweichung in der Strahlführung und/oder eine Strahlaufweitung reduziert und/oder verhindert werden können. Es kann eine unerwünschte Strahlablenkung und/oder Streuung von Partikeln des Partikelstrahls bei einem Eintritt und/oder Austritt des Partikelstrahls in das Vakuumgefäß zumindest reduziert oder verhindert werden.

[0025] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung zumindest ein Targetelement aufweist, das innerhalb eines Vakuumgefäßes der Strahlentherapievorrichtung und/oder des Hauptmagneten angeordnet ist, wodurch eine insbesondere platzsparende Anordnung und/oder Positionierung des Targets innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung erreicht werden kann. Zudem kann eine platzsparende Anordnung in einer Nähe zu einem Patienten und damit besonders nah an einer Behandlungsregion erreicht werden. An dem Targetelement werden die auf das Targetelement auftreffenden Elektronen des Elektronenstrahls des Linearbeschleunigers abgebremst und senden dabei eine Bremsstrahlung aus, die von den hochenergetischen Photonen gebildet ist. Das Targetelement kann hierbei von einem

Transmissionstargetelement oder einem Reflexionstargetelement gebildet sein.

[0026] Eine vorteilhafte Bestrahlung eines Behandlungsbereichs aus unterschiedlichen Bestrahlungswinkeln kann erreicht werden, wenn die Strahlentherapievorrichtung zumindest ein Targetelement aufweist, das von einem um einen Aufnahmebereich der Magnetresonanzvorrichtung umlaufenden Targetring gebildet ist. Vorzugsweise weist hierzu die Strahlentherapievorrichtung zumindest zwei oder mehr Strahlführungen auf, die innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung und insbesondere innerhalb des Hauptmagneten angeordnet sind und die je nach Wahl eines Bestrahlungswinkels eingesetzt werden können. Zudem kann die Strahlentherapievorrichtung einen Strahlführung vorsehen, die innerhalb des Hauptmagneten im Wesentlichen eine Form eines Zylindermantelfläche aufweist, mittels der ein Beschuss des Targetrings und/oder ein Auftreffen des Partikelstrahls auf den Targetring über einen ausgewählten Teilwinkelbereich ermöglicht wird.

[0027] Ferner wird vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung zumindest ein Kollimatorelement aufweist, das innerhalb eines Vakuumgefäßes der Strahlentherapievorrichtung und/oder des Hauptmagneten angeordnet ist. Es kann eine insbesondere platzsparende Anordnung und/oder Positionierung des Kollimatorelements innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung und zudem eine platzsparende Anordnung in einer Nähe zu der Behandlungsregion und damit besonders nah am Patienten erreicht werden. Das Kollimatorelement ist insbesondere zu einer parallelen Ausrichtung einer Gamma- und/oder Röntgenstrahlung eines Gamma- und/oder Röntgenstrahls vorgesehen. Vorzugsweise werden hierbei Photonen mit einer von der parallelen Strahlungsrichtung abweichenden Orientierung aus dem Photonenstrahl herausfiltert.

[0028] Es wird des weiteren vorgeschlagen, dass die Strahlentherapievorrichtung zumindest ein Kollimatorelement aufweist, das um zumindest eine Achse und/oder entlang zumindest einer Achse bewegbar angeordnet ist. Hierdurch kann ein Gamma- und/oder Röntgenstrahl auf ein gewünschtes Strahlprofil und/oder auf einen gewünschten Behandlungsbereich für eine Strahlentherapie gebracht werden. Das zumindest ein Kollimatorelement ist hierzu besonders vorteilhaft um eine Achse kippbar und/oder drehbar ausgeführt.

[0029] Eine besonders vorteilhafte Bestrahlung, insbesondere aus unterschiedlichen Bestrahlungspositionen, eines Behandlungsbereichs in einem Patienten kann erreicht werden, wenn die Strahlentherapievorrichtung zumindest zwei Strahlführungen für den Partikelstrahl aufweist und die zumindest zwei Strahlführungen innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung

angeordnet sind. Es kann hierbei eine Auswahl einer Strahlführung anhand einer gewünschten Einstrahlposition gewählt werden. Zudem können die zumindest zwei Strahlführungen für ein zeitgleiches Einstrahlen aus unterschiedlichen Bestrahlungswinkeln verwendet werden. Eine besonders kompakte Anordnung kann erreicht werden, wenn die zumindest zwei Strahlführungen für den Partikelstrahl zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten angeordnet sind.

[0030] Ferner wird vorgeschlagen, dass die Strahlführung zusammen mit der zumindest teilweisen Magnetresonanzvorrichtung entlang wenigstens einer Richtung verschiebbar angeordnet ist. Es kann eine vorteilhafte Positionierung des Partikelstrahls und/oder des Gamma- und/oder Röntgenstrahls bezüglich des Behandlungsbereichs erreicht werden. Zudem kann eine kompakte Ausführung der Vorrichtung beibehalten werden und/oder ein hohes Hauptmagnetfeld für eine Magnetresonanzmessung während einer Bestrahlung aus unterschiedlichen Bestrahlungspositionen aufrechterhalten werden. Besonders vorteilhaft ist zudem die Strahlführung zumindest teilweise zusammen mit der Magnetresonanzvorrichtung entlang zwei oder drei Raumrichtungen verschiebbar angeordnet, wobei die Raumrichtungen vorzugsweise orthogonal zueinander ausgerichtet sind.

[0031] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Strahlführung zusammen mit der zumindest teilweisen Magnetresonanzvorrichtung 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.

[0032] Besonders vorteilhaft weist die Magnetresonanzvorrichtung eine Patientenliege zu einem Einführen eines Patienten in einen Aufnahmebereich auf, wobei die Patientenliege entlang zumindest zwei Richtungen verschiebbar 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.

[0033] Zudem wird vorgeschlagen, dass der Partikelstrahl und ein aus dem Partikelstrahl erzeugter Gamma- und/oder Röntgenstrahl im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet sind. Es kann hierbei eine vorteilhafte Einstrahlposition eines Behandlungsstrahls hinsichtlich einer Position des Patienten und insbesondere hinsichtlich eines Behandlungsbereichs innerhalb des Patienten erreicht werden. Insbesondere kann hierbei der Behandlungs-

strahl im Wesentlichen senkrecht zu einer Kopf-Fuß-Achse des Patienten auf den Patienten gerichtet werden.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] Es zeigen:

[0037] [Fig. 1](#) eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer schematischen Darstellung,

[0038] [Fig. 2](#) eine Detailansicht in der Vorrichtung aus [Fig. 1](#) in einer schematischen Darstellung,

[0039] [Fig. 3](#) eine alternative Ausgestaltung der Vorrichtung in einer schematischen Darstellung,

[0040] [Fig. 4](#) eine alternative Ausgestaltung der Vorrichtung mit mehreren Strahlführungen in einer schematischen Darstellung und

[0041] [Fig. 5](#) eine alternative Ausgestaltung der Vorrichtung mit einem Targetring in einer schematischen Darstellung.

[0042] In [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist eine Vorrichtung 1 mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung 2 und einer Strahlentherapievorrichtung 3 dargestellt. Die Magnetresonanzvorrichtung 2 ist von einer Hochfeldmagnetresonanzvorrichtung gebildet und umfasst einen Hauptmagneten 4, der im Betrieb der Magnetresonanzvorrichtung 2 zu einem Erzeugen eines insbesondere homogenen und konstanten Hauptmagnetfelds vorgesehen ist. Der Hauptmagnet 4 ist hierzu von einem Hochfeldmagnetresonanzmagneten gebildet und umfasst zumindest zwei Magnetfeldspulen 5, 6, die insbesondere von supraleitenden Magnetfeldspulen 5, 6 gebildet sind. Eine der beiden Magnetfeldspulen 5 ist von einer Primärspule gebildet, die mehrere Wicklungsebenen 7 aufweist und die zu einer Erzeugung des homogenen Magnetfelds vorgesehen ist ([Fig. 2](#)). Die weitere Magnetfeldspule 6 ist von einer Streufeldgegenspule gebildet. Die Primärspule weist einen Wicklungsquerschnitt auf, der

kleiner ist als ein Wicklungsquerschnitt der Streufeldgegenspule, so dass die Primärspule innerhalb der Streufeldgegenspule angeordnet ist.

[0043] Der Hauptmagnet **4** ist im vorliegenden Beispiel von einem Minimum-Helium-Magneten gebildet. Dieser umfasst ein einziges Vakuumgefäß **8**, in dem die beiden Magnetfeldspulen **5, 6** angeordnet sind. Anstatt einer Kühlung der Magnetfeldspulen **5, 6** in einem Heliumbad befindet sich innerhalb des Vakuumgefäßes **8** eine geringe Menge von Helium, die für eine direkte Kühlung von Windungen der beiden Magnetfeldspulen **5, 6** vorgesehen ist.

[0044] Das von dem Hauptmagneten **4** erzeugte Hauptmagnetfeld wirkt in einem Untersuchungsraum **11** der Magnetresonanzvorrichtung **2**, wobei der Untersuchungsraum **11** im Wesentlichen von einem Aufnahmebereich **12** zur Aufnahme eines Patienten **13** für eine Magnetresonanzmessung gebildet ist (**Fig. 1**). Eine Orientierung und/oder eine Richtung einer magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds verläuft dabei im Wesentlichen senkrecht zu einem Wicklungsquerschnitt der beiden Magnetfeldspulen **5, 6**. Zudem ist das homogene Hauptmagnetfeld im Wesentlichen auf den von den Magnetfeldspulen **5, 6** umschlossenen Aufnahmebereich **12** konzentriert.

[0045] Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Gradienteneinheit **15** zur Erzeugung von Magnetfeldgradienten (**Fig. 1**). Die Gradienteneinheit **15** weist nicht näher dargestellte Gradientenspulen auf, die magnetische Gradientenfelder zur selektiven Schichtenregung und/oder zur Ortskodierung von Magnetresonanzsignalen entlang von drei Raumrichtungen einstrahlen. Zur Anregung einer Polarisation, die sich in dem von dem Hauptmagneten **4** erzeugten Hauptmagnetfeld der Magnetresonanzvorrichtung **2** einstellt, ist eine Hochfrequenzspuleneinheit **16** vorgesehen. Diese strahlt ein Hochfrequenzfeld, beispielsweise in Form eines HF-Pulses, in den Patienten **13** ein, um eine Magnetisierung aus einer Gleichgewichtslage auszulösen. Mittels der Hochfrequenzspuleneinheit **16** können in einem Messbetrieb Magnetresonanzsignale aus dem Untersuchungsraum **11** aufgenommen werden. Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** einen Gradientenverstärker **9** zu einer Steuerung der Gradientenspulen und einen Hochfrequenzverstärker **10** zu einer Steuerung von Hochfrequenzspulen. Zu einer Steuerung des Gradientenverstärkers **9** und des Hochfrequenzverstärkers **10** umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Steuereinheit **17**. Die Steuereinheit **17** steuert zentral die Magnetresonanzvorrichtung **2**, wie beispielsweise das selbsttätige Durchführen einer ausgewählten bildgebenden Gradientenechosequenz. Die Steuereinheit **17** steuert zentral die Magnetresonanzvorrichtung **2**, wie beispielsweise das selbsttätige Durchführen einer ausgewählten

bildgebenden Gradientenechosequenz. Zu einer Eingabe von Magnetresonanzparametern umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Eingabeeinheit **18**. Des Weiteren umfasst die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Anzeigeeinheit **19**, mittels der beispielsweise Magnetresonanzbilder dargestellt werden können.

[0046] Die Strahlentherapievorrichtung **3** ist im Betrieb zu einer Erzeugung eines Partikelstrahls **20** vorgesehen. Hierzu weist die Strahlentherapievorrichtung **3** eine Beschleunigereinheit auf, die von einer Linearbeschleunigereinheit **21** gebildet ist. Die Linearbeschleunigereinheit **21** ist als Elektronenbeschleunigereinheit ausgebildet. Grundsätzlich ist eine zu der Linearbeschleunigereinheit **21** und/oder der Elektronenbeschleunigereinheit alternative Ausgestaltung der Beschleunigereinheit denkbar, wie beispielsweise eine Protonenbeschleunigereinheit etc.

[0047] Die Linearbeschleunigereinheit **21** umfasst eine Elektronenquelle **22**, wie beispielsweise eine Wolframkathode, die freie Elektronen erzeugt. Diese Elektronen werden anschließend beschleunigt und der von einem Elektronenstrahl gebildete Partikelstrahl **20** erzeugt. Hierzu weist die Linearbeschleunigereinheit **21** einen Hohlraumresonator **23** auf. In dem Hohlraumresonator **23** werden elektrische Felder von stehenden elektromagnetischen Wellen erzeugt. Innerhalb des Hohlraumresonators **23** sind mehrere Zellen nacheinander angeordnet, 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 **21** ein von einer Vakuumröhre gebildetes Vakuumgefäß **24**, innerhalb dessen der Hohlraumresonator **23** angeordnet ist, so dass in den einzelnen Zellen des Hohlraumresonators **23** ein Vakuum anliegt. Für eine Steuerung und/oder Regelung der Linearbeschleunigereinheit **21** weist die Strahlentherapievorrichtung **2** eine Steuereinheit **25** auf.

[0048] 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 angepasst werden kann. Die Strahlentherapievorrichtung **2** ist hierzu zumindest teilweise innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **3** integriert. Die Strahlentherapievorrichtung **2** weist eine Strahlführung **44** für den Elektronenstrahl auf, die hierbei durch den Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** verläuft, wobei die Strahlführung **44** des Elektronenstrahls zwischen einer Wicklungsebene der Primärspule und der Streufeldgegenspule

verläuft. In der Streufeldgegenspule wird im Betrieb der Magnetresonanzvorrichtung **2** ein zu der Primärspule entgegengerichtetes Magnetfeld erzeugt, so dass zwischen der Primärspule und der Streufeldgegenspule ein Niedermagnetfeldbereich **26** entsteht. Dieser Niedermagnetfeldbereich **26** ist zumindest teilweise von einem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich **27** gebildet, wobei die Strahlführung des Elektronenstrahls entlang des im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereichs **27** verläuft. Die Strahlführung des Elektronenstrahls verläuft somit außerhalb des Aufnahmebereichs **12** der Magnetresonanzvorrichtung **2** zur Aufnahme des Patienten **13**. Der magnetfeldfreie Bereich **27** ist im Wesentlichen von einer welligen Fläche, die sich zwischen den beiden Magnetfeldspulen **5, 6** des Hauptmagneten **4** zylinderförmig erstreckt, gebildet.

[0049] Die Strahlführung verläuft hierbei im Wesentlichen parallel zur magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds, wobei die Strahlführung des Elektronenstrahls entlang einer zumindest teilweise gebogenen Trajektorie **28** verläuft. Die zumindest teilweise gebogene Trajektorie **28** dient dazu, ein Restmagnetfeld entlang der Strahlführung zu kompensieren. Zudem verläuft die Strahlführung und/oder die Trajektorie **28** im Wesentlichen parallel zur magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds des Hauptmagneten **4**. Die Strahlführung kann hierbei entlang der Trajektorie **28** aktiv umgelenkt werden, beispielsweise mittels Lokalspulen usw. Zudem kann auch ein passives Umlenken vorgesehen sein, bei dem ein Restmagnetfeld zwischen den beiden Spulen entlang der Trajektorie **28** für die Unlenkung ausgenutzt wird. Hierbei kann beispielsweise aufgrund des angelegten Magnetfelds in den einzelnen Magnetfeldspulen **5, 6** ein eventuell vorhandenes Restmagnetfeld entlang des gewünschten Strahlverlaufs berechnet werden. Der Partikelstrahl **20** kann dann anschließend mit einem entsprechenden Einstrahlwinkel in das Restmagnetfeld des Hauptmagneten **4** eingestrahlt werden, wobei das Restmagnetfeld eine Ablenkung bewirkt, so dass der Partikelstrahl **20** an definierter Position auf eine Targeteinheit **30** trifft.

[0050] Die Linearbeschleunigereinheit **21** der Strahlentherapievorrichtung **2** ist außerhalb des Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** angeordnet. Für einen Eintritt des Elektronenstrahls in den Hauptmagneten **4** und insbesondere in dessen Vakuumgefäß **8** weist dieses ein Eintrittsfenster **29** auf, wobei das Vakuumgefäß **24** der Linearbeschleunigereinheit **21** direkt an das Eintrittsfenster **29** anschließt. Um eine Wechselwirkung, insbesondere eine Ablenkung und/oder eine Streuung der Elektronen des Elektronenstrahls mit dem Eintrittsfenster **29** des Vakuumgefäßes **8** zu verhindern, ist das Eintrittsfenster **29** aus einem Material gebildet, das für die Elektronen des Elektronenstrahls im Wesentlichen transparent ist.

[0051] Des Weiteren umfasst die Strahlentherapievorrichtung **2** eine Targeteinheit **30**, die ein Targetelement **31**, ein Kollimatorelement **32** und eine Strahlumlenkungseinheit **33** umfasst. Die Targeteinheit **30** ist entlang einer Richtung **34** einer Geschwindigkeit der beschleunigten Elektronen des Elektronenstrahls nach dem Hohlraumresonator **23** der Linearbeschleunigereinheit **21** angeordnet. Zudem ist die Targeteinheit **30** innerhalb des Vakuumgefäßes **8** des Hauptmagneten **4** angeordnet, so dass eine unerwünschte Strahlablenkung aufgrund einer Kollision von beschleunigten Elektronen des Elektronenstrahls mit Luftmolekülen und/oder Luftpartikeln verhindert ist. Nachdem die beschleunigten Elektronen des Elektronenstrahls den Hohlraumresonator **23** und einen Teilbereich des Hauptmagneten **4** durchlaufen haben, treffen sie zunächst auf die Strahlumlenkungseinheit **33**. Hier wird der Elektronenstrahl um ca. 90° auf das Targetelement **31** umgelenkt, wobei eine Richtung **35** der Geschwindigkeit der Elektronen auf den Aufnahmebereich **12** gerichtet ist. Um eine weitere Ablenkung der Elektronen zu verhindern, die diese aufgrund der im Wesentlichen senkrechten Ausrichtung der Richtung **35** der Geschwindigkeit der Elektronen zu der Richtung der magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds erfahren, ist direkt nach der Strahlumlenkungseinheit **33** das Targetelement **31** angeordnet. Das Targetelement **31** ist von einem Transmissionstargetelement, beispielsweise aus einem Wolframblech, gebildet. An dem Targetelement **31** werden die beschleunigten Elektronen abgebremst, wobei hierbei eine Gammastrahlung und/oder Röntgenstrahlung erzeugt wird. An dem Transmissionstargetelement wird ein Gamma- und/oder Röntgenstrahl **36** erzeugt, der einen Winkel zu dem an dem Transmissionstargetelement **31** einfallenden Elektronenstrahlen von im Wesentlichen 0° aufweist. Aufgrund der Anordnung der Strahlumlenkungseinheit **33** und des Targetelements **31** innerhalb des Hauptmagneten **4** sind diese magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet.

[0052] Entlang der Richtung **35** des Elektronenstrahls ist nach dem Targetelement **31** das Kollimatorelement **32** angeordnet. Mittels des Kollimatorelements **32** wird aus der diffusen Gamma- und/oder Röntgenstrahlung eine parallele Gamma- und/oder Röntgenstrahlung erzeugt und diese auf einen Behandlungsbereich **37** des Patienten **13** fokussiert. Hierbei wird ein paralleler Strahlenverlauf der Gamma- und/oder Röntgenstrahlung mit einem kleinen Bestrahlungsfokus für eine Strahlentherapie zur Verfügung gestellt. Das Kollimatorelement **32** ist zudem um eine Achse bewegbar angeordnet, so dass der Bestrahlungsfokus auf den Behandlungsbereich **37**, beispielsweise ein Tumorgewebe, eingestellt werden kann. Eine Steuerung und/oder eine Einstellung des Kollimatorelements **32** erfolgt mittels der Steuereinheit **25**, wobei hierzu Steuerparameter und/

oder Einstellungsparameter von einem Bediener, beispielsweise einem Arzt, über eine nicht näher dargestellte Eingabeeinheit eingegeben werden können. Das Kollimatorelement **32** ist ebenfalls innerhalb des Hauptmagneten **4** angeordnet und hierzu magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nicht-magnetisierbaren Material gebildet.

[0053] Des Weiteren umfasst die Strahlentherapievorrichtung **3** eine Kontrolleinheit **38**. Mittels der Kontrolleinheit **38** wird eine Strahlqualität des an dem Targetelement **31** erzeugten Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36**, beispielsweise hinsichtlich einer Strahlungsdosis und/oder eines Strahlungsfokuses, überwacht. Eine Steuerung der Kontrolleinheit **38** erfolgt durch die Steuereinheit **25** der Strahlentherapievorrichtung **3**. Sobald Parameter des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36** von einem vorbestimmten Wert abweichen, wird von Steuereinheit **25** daraufhin die Strahlenbehandlung beendet. Die Kontrolleinheit **38** ist hierzu in einer Nähe zu dem Targetelement **31** innerhalb des Vakuumgefäßes **8** des Hauptmagneten **4** und entlang des Strahlverlaufs nach dem Targetelement **31** angeordnet. Zudem ist die Kontrolleinheit **38** ebenfalls magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet.

[0054] Ferner ist die Vorrichtung **1** dazu vorgesehen, eine Nachführung eines Bestrahlungsfokus des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36** vorzunehmen. Eine Nachführung kann erforderlich sein, wenn beispielsweise das Isozentrum und/oder der Behandlungsbereich **37** der Strahlenbehandlung sich während der Strahlenbehandlung bewegt, beispielsweise aufgrund einer Atmung und/oder einer Bewegung des Patienten **13**. Des Weiteren kann das Isozentrum und/oder der Behandlungsbereich **37** eine größere Ausdehnung aufweisen als eine Ausdehnung des Bestrahlungsfokus des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36**, so dass für eine vollständige Bestrahlung, beispielsweise eines Tumorgewebes, eine Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36** erforderlich ist. Die Nachführung erfolgt anhand von Magnetresonanzaufnahmen, die den Behandlungsbereich lokalisieren. Für die Nachführung des Bestrahlungsfokus des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36** hinsichtlich einer Bewegung und/oder Ausdehnung des Isozentrums sieht die Vorrichtung **1** zwei Möglichkeiten vor. Zum einen weist die Magnetresonanzvorrichtung **2** eine Patientenliege **39** auf, die zu einem Einbringen des Patienten **13** in den Aufnahmebereich **12** der Magnetresonanzvorrichtung **2** vorgesehen ist. Die Patientenliege **39** ist magnetresonanzkompatibel ausgebildet und aus einem nichtmagnetisierbaren Material gebildet. Zudem ist die Patientenliege **39** entlang zwei Raumrichtungen innerhalb des Aufnahmebereichs **12** bewegbar ausgebildet. Die zwei Raumrichtungen sind von einer x-Richtung **40** und einer z-Richtung **41** gebildet und jeweils orthogonal zu-

einander ausgerichtet. Die z-Richtung **41** ist zudem entlang einer Richtung eines Einschubvorgangs zu einem Einschieben der Patientenliege **39** in den Aufnahmebereich **12** ausgerichtet. Zusätzlich kann die Patientenliege **41** auch entlang einer dritten Raumrichtung, die von einer y-Richtung gebildet ist, bewegbar angeordnet sein, wobei die dritte Raumrichtung orthogonal zu der ersten und der zweiten Raumrichtung ausgerichtet ist.

[0055] Eine weitere Möglichkeit der Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls **36** hinsichtlich des Isozentrums und/oder des Behandlungsbereichs **37** besteht darin, das zumindest die Linearbeschleunigereinheit **21** und die Targeteinheit **30** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** bewegbar angeordnet ist. Die Bewegung der Linearbeschleunigereinheit **21** und der Targeteinheit **30** der Strahlentherapievorrichtung **3** muss hierbei zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** erfolgen, so dass die Strahlführung des Elektronenstrahls stets im nahezu feldfreien Bereich **27** des Hauptmagneten **4** angeordnet sein kann. Hierzu weist die Vorrichtung **1** eine Positioniereinheit **42** auf, die die Linearbeschleunigereinheit **21** und die Targeteinheit **30** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest den Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** entlang der drei Raumrichtungen bezüglich des Patienten **13** und/oder der Patientenliege **39** bewegt. Alternativ hierzu kann zudem die Bewegung entlang nur einer oder zwei Raumrichtungen möglich sein.

[0056] Zudem kann es zudem vorgesehen sein, dass zusätzlich weitere Baueinheiten und/oder Bauelemente der Magnetresonanzvorrichtung **2** zusammen mit der Linearbeschleunigereinheit **21** und der Targeteinheit **30** entlang der drei Raumrichtungen zu einer Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls von der Positioniereinheit **42** bewegt werden. Darüber hinaus können auch weitere Baueinheiten und/oder weitere Bauelemente der Strahlentherapievorrichtung **3** für die Nachführung des Gamma- und/oder Röntgenstrahls entlang der drei Raumrichtungen von der Positioniereinheit **42** bewegt werden.

[0057] Des Weiteren sieht die Vorrichtung **1** eine Bestrahlung des Behandlungsbereichs **37** aus unterschiedlichen Bestrahlungswinkeln und/oder aus unterschiedlichen Bestrahlungspositionen vor. Der Bestrahlungswinkel ist dabei von einem dreidimensionalen Raumwinkel bezüglich einer Liegefläche **43** der Patientenliege **39** gebildet. Hierzu werden die Linearbeschleunigereinheit **21** und die Targeteinheit **30** der Strahlentherapievorrichtung **3** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** um eine Achse mittels der Positioniereinheit **42** gedreht. Die Achse verläuft hierbei durch eine Mitte des Aufnahmebereichs **12** im Wesentlichen

parallel zu einer Einschubrichtung der Patientenliege **39**, so dass die Linearbeschleunigereinheit **21** und die Targeteinheit **30** zusammen mit zumindest dem Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** um den Patienten **13** gedreht und in eine neue Bestrahlungsposition gebracht werden können.

[0058] Alternativ hierzu es denkbar, dass die Linearbeschleunigereinheit **21** und die Targeteinheit **30** der Strahlentherapievorrichtung **3** und der Hauptmagnet **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** fest positioniert sind und zu einer Variation des Bestrahlungswinkels die Patientenliege **39** zusammen mit dem Patienten **13** um eine Achse gekippt wird. Die Achse ist vorzugsweise von einer Längsachse der Patientenliege **39** gebildet.

[0059] In den **Fig. 3** bis **Fig. 5** sind alternative Ausführungsbeispiele der Vorrichtung **1** dargestellt. Im Wesentlichen gleich bleibende Bauteile, Merkmale und Funktionen sind grundsätzlich mit den gleichen Bezugszeichen beziffert. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Unterschiede zu dem Ausführungsbeispiel in den **Fig. 1** und **Fig. 2**, wobei bezüglich gleich bleibender Bauteile, Merkmale und Funktionen auf die Beschreibung des Ausführungsbeispiels in den **Fig. 1** und **Fig. 2** verwiesen wird.

[0060] In **Fig. 3** ist eine Vorrichtung **1** mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung **2** und einer Strahlentherapievorrichtung **3** dargestellt. Die Strahlentherapievorrichtung **3** umfasst eine Linearbeschleunigereinheit **60** mit einem Vakuumgefäß **61**, das innerhalb eines Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** angeordnet ist. Das Vakuumgefäß **61** der Linearbeschleunigereinheit **60** erstreckt sich hierbei durch den im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich **27** des Hauptmagneten **4**. Ein Vakuumgefäß **62** des Hauptmagneten **4** ist zudem derart ausgestaltet, dass es das Vakuumgefäß **61** der Linearbeschleunigereinheit **60** zylinderförmig entlang einer Strahlrichtung des Partikelstrahls **20** umgibt. Innerhalb des Vakuumgefäßes **61** der Linearbeschleunigereinheit **60** ist ein Hohlraumresonator **63** der Linearbeschleunigereinheit **60** in einem außerhalb des Hauptmagneten **4** liegenden Bereich des Vakuumgefäßes **61** angeordnet. Entlang einer Strahlrichtung des Partikelstrahls **20** ist der Hohlraumresonator **63** vor dem Hauptmagneten **4** angeordnet. Alternativ hierzu ist auch eine Anordnung des Hohlraumresonators **63** innerhalb eines von dem Hauptmagneten **4** umschlossenen Bereichs denkbar.

[0061] Eine Targeteinheit **64** der Linearbeschleunigereinheit **60** ist innerhalb des Vakuumgefäßes **61** der Linearbeschleunigereinheit **60** angeordnet. Zudem ist die Targeteinheit **64** außerhalb des Vakuumgefäßes **62** der Magnetresonanzvorrichtung **2** angeordnet. Hierzu weist das Vakuumgefäß **62** der Ma-

gnetresonanzvorrichtung **2** eine Aussparung **65** auf, in der die Targeteinheit **64** angeordnet ist, wobei das Vakuumgefäß **61** der Linearbeschleunigereinheit **60** den Hauptmagneten **4** bis zu der Aussparung **64** entlang des im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereichs **27** durchquert. Die Targeteinheit **64** umfasst eine Strahlumlenkungseinheit **66**, ein Targetelement **67** und ein Kollimatorelement **68**, wobei eine Funktionsweise der Targeteinheit **64** der Funktionsweise der Targeteinheit in den **Fig. 1** und **Fig. 2** entspricht. Nach Verlassen des Kollimatorelements **68** tritt ein Gamma- und/oder Röntgenstrahl **36** in das Vakuumgefäß **62** des Hauptmagneten **4** ein und durchquert dieses im Wesentlichen senkrecht zur magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds und tritt anschließend in den Aufnahmebereich **12** für eine Bestrahlung des Patienten ein.

[0062] In einer weiteren alternativen Ausgestaltung kann es ferner vorgesehen sein, dass die Targeteinheit **64** innerhalb des Vakuumgefäßes **62** des Hauptmagneten **4** angeordnet ist und somit auf die Aussparung **65** des Vakuumgefäßes **62** verzichtet werden kann.

[0063] In **Fig. 4** ist eine weitere alternative Ausgestaltung der Vorrichtung **1** mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung **2** und einer Strahlentherapievorrichtung **3** dargestellt. Die Strahlentherapievorrichtung **3** weist mehrere Strahlführungen **70**, **71** für einen Elektronenstrahl auf, von denen zwei exemplarisch in **Fig. 4** dargestellt sind. Die Strahlführungen **70**, **71** sind innerhalb eines Hauptmagneten **4** der Magnetresonanzvorrichtung **2** implementiert. Die einzelnen Strahlführungen **70**, **71** verlaufen analog zu der Beschreibung zu **Fig. 1** zwischen zwei Magnetfeldspulen **5**, **6** des Hauptmagneten **4** in einem im Wesentlichen feldfreien Bereich **27**, wobei die Strahlführungen **70**, **71** im Wesentlichen parallel zu einer Richtung einer magnetischen Flussdichte **14** des Hauptmagnetfelds ausgerichtet sind.

[0064] Ein Hohlraumresonator **77** einer Linearbeschleunigereinheit **74** ist außerhalb des Hauptmagneten **4** angeordnet, wobei die unterschiedlichen Strahlführungen **70**, **71** von dem Hohlraumresonator **77** zunächst konusförmig, geradlinig auseinanderlaufen und bei Erreichen des Hauptmagneten **4** in den magnetfeldfreien Bereich **27** des Hauptmagneten **4** abbiegen. Innerhalb der Strahlführungen **70**, **71** sind hierzu nicht näher dargestellte Umlenkmittel zur Strahlumlenkung entlang der Strahlführung **70**, **71** des beschleunigten Partikelstrahls **28** angeordnet.

[0065] Zudem weist die Linearbeschleunigereinheit **74** eine Umlenkeinheit **75** auf, die den Elektronenstrahl nach dem Hohlraumresonator **77** in die ausgewählte Strahlführung **70**, **71** lenkt. Des Weiteren sieht die Umlenkeinheit **75** der Linearbeschleunigereinheit **74** auch eine Strahlteilung des Partikelstrahls

28 vor, die den beschleunigten Partikelstrahl **28** entsprechend einer Anzahl der Strahlführungen **70, 71** teilt. Die daraus entstehenden Teilstrahlen können anschließend umgelenkt werden und in die jeweilige Strahlführung **70, 71** eingeführt werden, so dass eine gleichzeitige Bestrahlung aus unterschiedlichen Bestrahlungswinkeln und/oder Bestrahlungspositionen bewirkt wird. Für jede der Strahlführungen **70, 71** steht jeweils eine innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung **2** angeordnete Targeteinheit **72, 73** der Strahlentherapievorrichtung **3** zur Verfügung.

[0066] Die Targeteinheiten **72, 73** sind innerhalb eines Vakuumgefäßes **76** der Linearbeschleunigereinheit **74** angeordnet. Zudem können die Targeteinheiten **72, 73** und das Vakuumgefäß **76** der Linearbeschleunigereinheit **74** mit den mehreren Strahlführungen **70, 71** analog zu der Beschreibung zu **Fig. 1** und **Fig. 2** oder analog zu der Beschreibung zu **Fig. 3** angeordnet sein.

[0067] In **Fig. 5** ist eine weitere alternative Ausgestaltung der Vorrichtung **1** mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung **2** und einer Strahlentherapievorrichtung **3** dargestellt. Die Strahlentherapievorrichtung **3** weist eine Targeteinheit **80** mit einem Targetelement **81** auf. Das Targetelement **81** ist hierbei von einem um einen Aufnahmebereich **12** der Magnetresonanzvorrichtung **2** umlaufenden Targetring gebildet und innerhalb des Hauptmagneten **4** angeordnet. Entlang der Strahlführung **83** ist vor dem Targetring ein Umlenkring **88** zu einer Strahlumlenkung des Partikelstrahls **20** angeordnet. Zudem ist entlang einer Strahlführung **83** nach dem Targetring ein Kollimatorring **82** angeordnet, um eine an dem Targetring erzeugte Gamma- und/oder Röntgenstrahlung auf einen Behandlungsbereich **37** eines Patienten **13** zu fokussieren. Die Strahlführung **83** innerhalb des Hauptmagneten **4** ist zylindermantelförmig ausgebildet und verläuft entlang eines im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereichs **27** des Hauptmagneten **4**. Außerhalb des Hauptmagneten **4** verläuft die Strahlführung **83** von einem Hohlraumresonator **84** einer Linearbeschleunigereinheit **85** in Richtung des Hauptmagneten **4** in Form einer geradlinigen Kegelfläche nach außen. Nach dem Hohlraumresonator **84** ist eine Umlenkeinheit **86** der Linearbeschleunigereinheit **85** angeordnet, deren Funktionsweise analog zu der Beschreibung zu **Fig. 4** ist. Die Targeteinheit **81** ist innerhalb eines Vakuumgefäßes **87** der Linearbeschleunigereinheit **85** angeordnet. Zudem kann die Targeteinheit **81** und das Vakuumgefäß **87** der Linearbeschleunigereinheit **85** mit der Strahlführung **83** analog zu der Beschreibung zu **Fig. 1** und **Fig. 2** oder analog zu der Beschreibung zu **Fig. 3** angeordnet sein.

[0068] Alternativ hierzu kann eine Zuführung eines Elektronenstrahls zu dem Targetring auch über mehrere innerhalb eines Hauptmagneten **4** implementier-

te Strahlführungen analog zu der Beschreibung zu **Fig. 4** erfolgen.

[0069] Alternativ zu den in den **Fig. 1** bis **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsbeispielen kann zudem auf eine Strahlumlenkungseinheit innerhalb der Targeteinheit verzichtet werden. Hierbei ist jedoch ein von einem Reflexionstarget gebildetes Targetelement erforderlich, bei dem der einfallende Elektronenstrahl und der ausgehende Gamma- und/oder Röntgenstrahl einen Winkel von im Wesentlichen ungleich 0° einschließen.

[0070] Zudem kann alternativ zu den in den **Fig. 1** bis **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsbeispielen lediglich eine Strahlumlenkungseinheit und/oder ein Targetelement der Targeteinheit innerhalb des Vakuumgefäßes der Linearbeschleunigereinheit oder innerhalb des Vakuumgefäßes des Hauptmagneten angeordnet sein. Ein Kollimatorelement der Targeteinheit kann hierbei außerhalb des Vakuumgefäßes der Linearbeschleunigereinheit oder des Vakuumgefäßes des Hauptmagneten angeordnet sein.

[0071] Weiterhin kann alternativ zu den in den **Fig. 1** bis **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsbeispielen ein herkömmlicher supraleitender Magnet innerhalb des Hauptmagneten angeordnet sein, wobei eine Kühlung von Windungen der einzelnen Magnetfeldspulen in einem Heliumbad erfolgt. Hierbei würde der Elektronenstrahl stets in einem zu dem Vakuumgefäß des Hauptmagneten separat ausgebildeten Vakuumgefäß verlaufen. Zudem kann der Hauptmagnet auch von einem Niederfeldmagneten gebildet sein oder ein Niedermagnetfeld erzeugen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung mit einer Kombination aus einer Magnetresonanzvorrichtung (**2**), die zumindest einen Hauptmagneten (**4**) zu einem Erzeugen eines Hauptmagnetfelds in einem Untersuchungsraum (**11**) für eine Magnetresonanzmessung aufweist, und einer Strahlentherapievorrichtung (**3**), die zur Erzeugung eines Partikelstrahls (**20**) vorgesehen ist und die eine Strahlführung (**44, 70, 71, 83**) aufweist, wobei die Magnetresonanzvorrichtung (**2**) einen im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (**27**) aufweist und die Strahlführung (**44, 70, 71, 83**) des Partikelstrahls (**20**) in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (**27**) verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlführung (**44, 70, 71, 83**) des Partikelstrahls (**20**) zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten (**4**) in dem im Wesentlichen magnetfeldfreien Bereich (**27**) verläuft.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (**4**) eine erste Magnetfeldspule (**5**) zum Erzeugen eines ersten Magnetfelds und zumindest eine zweite Magnetfeldspu-

le (6) zum Erzeugen eines zweiten Magnetfelds aufweist, wobei die Strahlführung (44, 70, 71, 83) zumindest teilweise zwischen den beiden Magnetfeldspulen (5, 6) verläuft.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (44, 70, 71, 83) zumindest teilweise parallel zu einer Richtung und/oder einer Orientierung der magnetischen Flussdichte (14) des Hauptmagnetfelds verläuft.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (4) zumindest zwei einzelne Magnete aufweist, die zusammen in einem Vakuumgefäß (8, 62) angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (44, 70, 71, 83) entlang einer zumindest teilweise gekrümmten Trajektorie (28) innerhalb des Hauptmagneten (4) verläuft.

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

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigereinheit von einer Linienbeschleunigereinheit (21) gebildet ist.

8. Vorrichtung zumindest nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigereinheit zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten (4) angeordnet ist.

9. Vorrichtung zumindest nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigereinheit ein zu einem Vakuumgefäß (8, 62) des Hauptmagneten (4) separates Vakuumgefäß (24, 61, 76, 87) aufweist.

10. Vorrichtung zumindest nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigereinheit zumindest teilweise innerhalb eines Vakuumgefäßes (8, 62) des Hauptmagneten (4) angeordnet ist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptmagnet (4) ein Vakuumgefäß (8, 62) mit zumindest einem Eintritts- und/oder Austrittsfenster (29) aufweist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest ein Targetelement (31, 67, 81) aufweist, das innerhalb eines Vaku-

umgefäßes (8, 24, 61, 62, 76, 87) der Strahlentherapievorrichtung (3) und/oder des Hauptmagneten (4) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest ein Targetelement (81) aufweist, das von einem um einen Aufnahmebereich (12) der Magnetresonanzvorrichtung (2) umlaufenden Targetring gebildet ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest ein Kollimatorelement (32, 68, 82) aufweist, das innerhalb eines Vakuumgefäßes (8, 24, 61, 62, 76, 87) der Strahlentherapievorrichtung (3) und/oder des Hauptmagneten (4) angeordnet ist.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest ein Kollimatorelement (8, 24, 61, 62, 76, 87) aufweist, das um zumindest eine Achse und/oder entlang zumindest einer Achse bewegbar angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlentherapievorrichtung (3) zumindest zwei Strahlführungen (70, 71) für den Partikelstrahl (20) aufweist und die zwei Strahlführungen (70, 71) innerhalb der Magnetresonanzvorrichtung (2) angeordnet sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest zwei Strahlführungen (70, 71) für den Partikelstrahl (20) zumindest teilweise innerhalb des Hauptmagneten (4) angeordnet sind.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (44, 70, 71, 83) zusammen mit der zumindest teilweisen Magnetresonanzvorrichtung (2) entlang wenigstens einer Richtung verschiebbar angeordnet ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlführung (44, 70, 71, 83) zusammen mit der zumindest teilweisen Magnetresonanzvorrichtung (2) um zumindest eine Achse drehbar angeordnet ist.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetresonanzvorrichtung (2) eine Patientenliege (39) zu einem Einführen eines Patienten (13) in einen Aufnahmebereich (12) aufweist und die Patientenliege (39) entlang zumindest zweier Richtungen verschiebbar angeordnet ist.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Partikelstrahl (**20**) und ein aus dem Partikelstrahl (**20**) erzeugter Gamma- und/oder Röntgenstrahl (**36**) im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet sind.

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

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 2

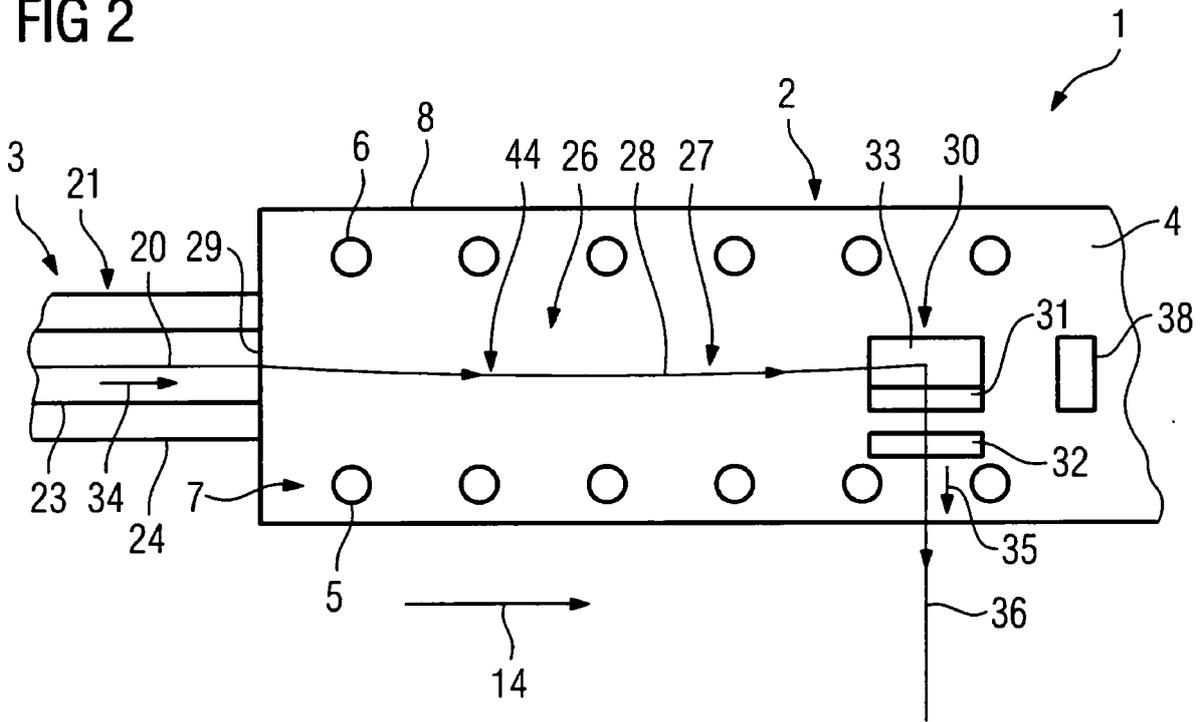


FIG 3

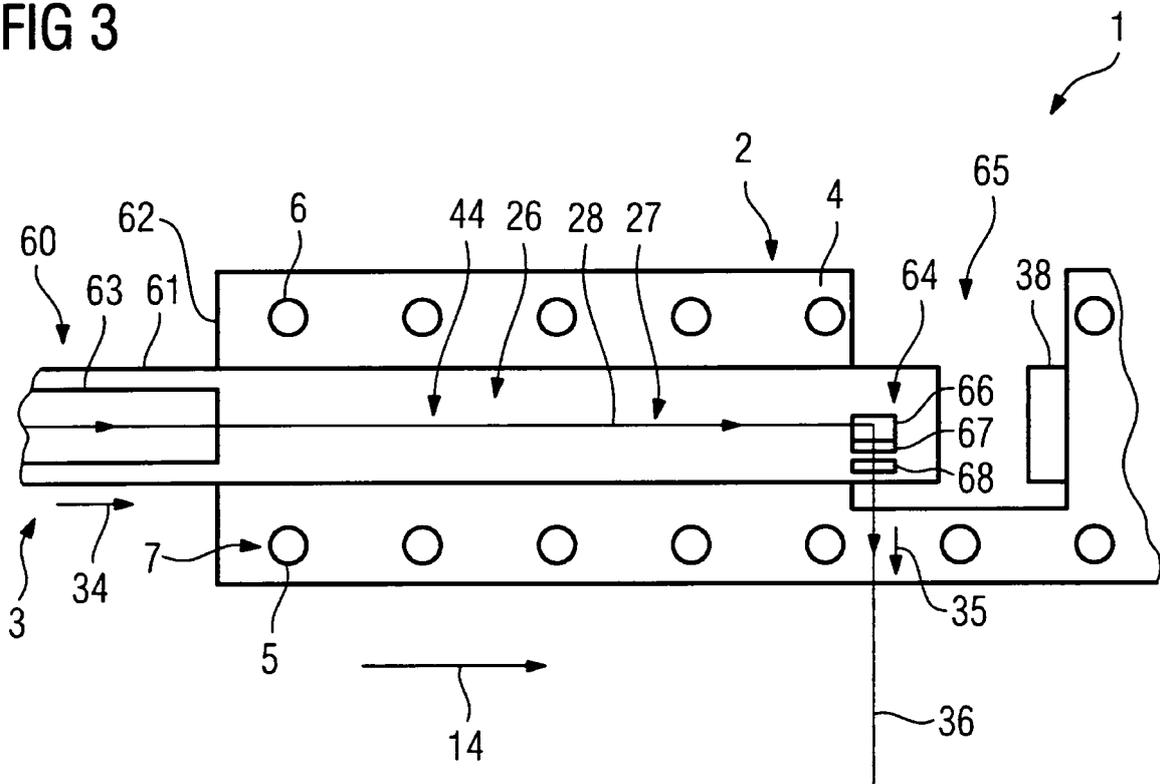


FIG 4

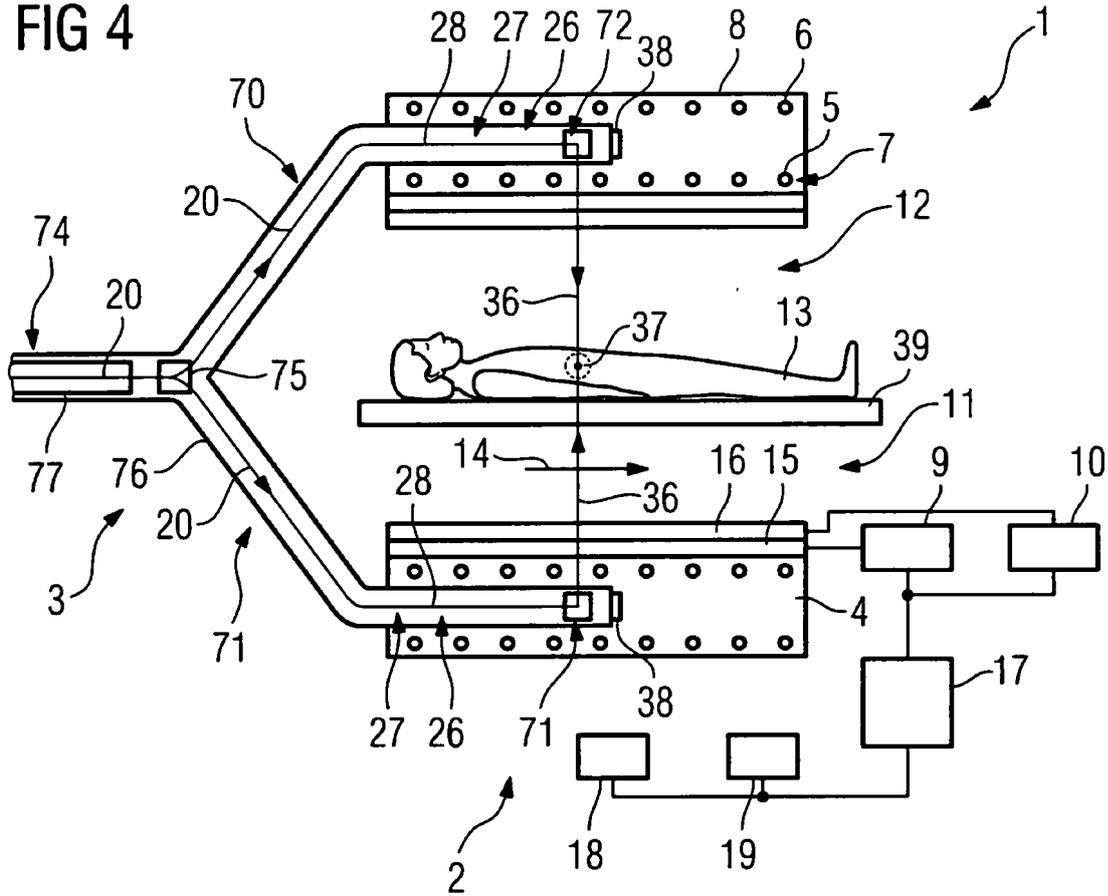


FIG 5

