



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 60 2004 011 560 T2 2009.02.05

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 691 890 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 60 2004 011 560.6

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/SE2004/001770

(96) Europäisches Aktenzeichen: 04 800 421.2

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2005/053794

(86) PCT-Anmeldetag: 29.11.2004

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 16.06.2005

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 23.08.2006

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 23.01.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 05.02.2009

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: A61N 5/10 (2006.01)

A61B 6/00 (2006.01)

G21K 5/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

526080 P 02.12.2003 US

(73) Patentinhaber:

Radinova AB, Danderyd, SE

(74) Vertreter:

Stoffregen, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
63450 Hanau

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IS, IT, LI, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE,  
SI, SK, TR

(72) Erfinder:

BRAHME, Anders, S-182 33 Danderyd, SE

(54) Bezeichnung: MEHRZIMMER-STRÄHLUNGSBEHANDLUNGSSYSTEM

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Allgemein bezieht sich die Erfindung auf ein Strahlungssystem und insbesondere auf ein solches System, das einen Strahlungsstrahl in mehrere Behandlungsräume lenken kann.

**HINTERGRUND**

**[0002]** Während der letzten Jahrzehnte gab es auf dem Feld der Strahlungstherapie und -diagnosis beträchtliche Entwicklungen. Die Leistung von Beschleunigern für Externstrahlstrahlungstherapie, Brachytherapie und anderem speziellen Equipment für die Bestrahlungstherapie hat sich rapide verbessert. Entwicklungen bezüglich der Qualität und der Anpassbarkeit therapeutischer Strahlungsstrahlen haben neue Targets und Filter eingesetzt, Beschleuniger verbessert, Flexibilität betreffend die Strahlenmodellierung durch neue Applikatoren, Kollimator- und Scansysteme und Strahlkompensationstechniken gesteigert. Auch wurden verbesserte dosimetrische und geometrische Behandlungsnachweisverfahren eingeführt. Des Weiteren sind nun neue Behandlungsplanungssysteme verfügbar, mit denen die biologische Optimierung der Intensitätsverteilung der abgegebenen Strahlen möglich ist.

**[0003]** Im Bereich der mehrfach oder einfach fraktionierten Strahlungstherapie und Diagnoseaufnahmen stellt es ein übliches Verfahren dar, den Patienten auf einer Liege zu positionieren. Ein Strahlungskopf und -gestell leiten einen diagnostischen oder therapeutischen Strahl auf den Patienten, um Strahlung auf ein bestimmtes Target oder Behandlungsvolumen abzugeben, z. B. einen Tumor. Solch ein typisches Bestrahlungsgerät nach dem Stand der Technik ist schematisch in [Fig. 1](#) dargestellt. Das Bestrahlungsgerät umfasst ein isozentrisches Gestell **80**, ausgebildet in einer üblichen L-Form, und eine drehbare Unterlage, die an einem axialen Ende des Gerätekörpers vorgesehen ist, um das Gestell **80** zu stützen. Somit ist das Gestell **80** drehbar um eine Drehachse **30** relativ zu der Unterlage, um von einem Strahlungskopf **20** einen Strahlungsstrahl, schematisch dargestellt durch **10**, in ein Targetvolumen **55** eines Patienten **50** abzugeben, der auf einer Patientenliege **40** positioniert ist.

**[0004]** Die meisten der heutigen Strahlungstherapiegeräte, einschließlich der Maschine in [Fig. 1](#), umfassen ein isozentrisches Gestelldesign. In einem solchen Aufbau wird das zu bestrahlende Gewebe oder Targetvolumen **55** vorzugsweise um ein sogenanntes Isozentrum herum angeordnet, das durch den Schnittpunkt dreier Achsen an einem gemeinsamen Punkt gebildet wird. Diese Achsen beinhalten die Gestelldrehachse **30**, die Mittelachse des Strah-

lungsstrahls **10**, die Hauptdrehachse **45** der Behandlungsliege **40**, welche auch die Drehachse des Kollimatorkops **20** in der Fig. ist.

**[0005]** Ein Problem bei solchen Bestrahlungsgeräten nach dem Stand der Technik stellt ihre begrenzte Kapazität hinsichtlich der Gesamtanzahl der Patienten dar, die in einem vorgegebenen Zeitintervall behandelt werden können. Obwohl die tatsächliche Bestrahlung sehr schnell ist, d. h., sie dauert typischerweise weniger als ein paar Minuten (1–2,5 Minuten), geht ein sehr viel längerer Behandlungsaufbau der Bestrahlung voran. Während solch eines Aufbaus positioniert das Personal den zu behandelnden Patienten so akkurat wie möglich, typischerweise basierend auf einem Behandlungsplan, der zuvor aufgrund diagnostischer Daten, Bestrahlungsstrahldaten etc. entwickelt oder zusammengestellt wurde. Nachdem der Patient auf der Liege platziert worden ist, jedoch vor der eigentlichen Strahlungstherapiebehandlung, erfolgt typischerweise ein Behandlungs-Setup zur Überprüfung und Verifizierung der Strahlrichtungen und des Behandlungsplans. Während des Einrichtungsvorgangs besteht das primäre Ziel darin, das Equipment und den Patienten gemäß dem Behandlungsplan zu arrangieren. Häufig werden Portalabbildungen, d. h. Abbildungen, die auf dem Behandlungsstrahl selbst basieren, verwendet, um die Behandlung zu verifizieren und ihre Reproduzierbarkeit zu überwachen. Des Weiteren können in vivo-Dosimetrie oder verwandte Techniken verwendet werden, um die in das Targetvolumen und/oder angrenzende Gewebe, speziell in gefährdete Organe, abgegebene Strahlendosis zu prüfen. Entsprechen die gemessenen Daten den geplanten Positionen in dem Behandlungsplan, kann die eigentliche Strahlentherapie sicher initiiert werden.

**[0006]** Als Folge des Patienten-Setups, Positionierungs- und Simulationsverfahrens dauert die gesamte Behandlung erheblich länger, im Allgemeinen 5–10 Minuten und oft noch länger, als die eigentliche Bestrahlung. Zudem, wenn zwischen den gemessenen und errechneten Daten während des Setups und der Simulation Abweichungen festgestellt werden und die Abweichung die Toleranzgrenze überschreitet, sollte das Behandlungssetup berichtigt werden. Dies kann in einigen Fällen einfach eine Korrektur einiger Setup-Parameter sein, oder aber es sind größere Einstellungen notwendig, die eines erneuten Behandlungsplanungsprozesses mit neuen anatomischen Informationen aus einem erneuten diagnostischen Verfahren bedürfen. Wird ein neuer Behandlungsplan benötigt, kann dies auch eine nochmalige Behandlungssimulation erforderlich machen, wodurch die Behandlungszeit um ein oder zwei Tage zunehmen kann.

**[0007]** Somit macht die Zeit, in der ein Bestrahlungsgerät tatsächlich zur Bestrahlung eines Patien-

ten eingesetzt wird, einen kleinen Anteil der Gesamtzeit aus, während der die Maschine besetzt ist. Dies führt natürlich zur mangelhaften Ausnutzung teurer Bestrahlungsgeräte und Equipments und dazu, dass weniger Patienten in einer vorgegebenen Zeitspanne behandelt werden können. Dieses Problem verschlimmert sich noch, wenn der Patient sich in dem Behandlungsraum auszieht, sich unwohl fühlt und mit den Therapieassistenten über verschiedene Probleme mit der Behandlung etc. sprechen möchte.

**[0008]** Eine mögliche Lösung könnte es sein, das Simulationsverfahren anhand eines zweckbestimmten Bestrahlungssimulationsgeräts anstelle des tatsächlichen Strahlenbehandlungsgeräts durchzuführen. Obwohl die Konstruktionen der Patientenliegen und der beiden für die Simulation bzw. Behandlung verwendeten Geräte ähnlich sind, kann es dennoch schwieriger sein, die Behandlung korrekt zu simulieren, wenn ein anderes Gerät und möglicherweise auch eine andere Liegenoberfläche verwendet werden. Begründet liegt dies in dem Problem, einen Patienten auf zwei verschiedenen Liegen exakt gleich zu positionieren, auch wenn die Liegen das gleiche Design haben. Zudem sind Gewebe und Organe, einschließlich des Targetvolumens mit einem Tumor, deformierbare elastische Strukturen und ihre Positionen relativ zu den in dem Behandlungsplan verwendeten Referenzpunkten sind nicht fest, sondern können sich je nach z. B. Körperhaltung des Patienten, Füllstand der Blase, Atembewegung etc. ändern. Daher kann es zu Verschiebungen des Targetvolumens kommen, obwohl die Referenzpunkte während der Behandlung korrekt relativ zu denen während der Simulation ausgerichtet wurden.

**[0009]** In der Patentschrift US 6,683,318 wird ein Therapiesystem zur Krebsbehandlung offenbart, das Lichtionenstrahlungsstrahlen verwendet. Das Therapiesystem beinhaltet eine Innenquelle, die einem Beschleunigungssystem inklusive einem Synchrotron Lichtionen liefert. Ein Ionenstrahltransportsystem leitet einen extrahierten Hochenergiestrahl vom Synchrotron in drei verschiedene Behandlungsräume. In einem ersten Behandlungsraum liefert ein statisches Gestell horizontale Ionenstrahlstrahlung. In den beiden verbleibenden Behandlungsräumen ist ein entsprechend drehbares isozentrisches Gestell angeordnet. Obwohl dieses Therapiesystem ein einziges Innenquelle und Strahlenbeschleuniger-System für die drei Gestelle verwendet, bleiben für die einzelnen Gestelle des Therapiesystems die oben beschriebenen Probleme bezüglich (niedrigem) Patientendurchlauf und Kosteneffektivität bestehen.

**[0010]** Die US-A-5 349 198 offenbart ein Strahlenzuführgerät umfassend einen Ablenkmagneten, ein drehbares Strahlentransportgerät und eine Vielzahl von Strahlennutzungsräumen, die um die Drehachse des Drehmagnets herum angeordnet sind.

**[0011]** Des Weiteren erfolgen viele Behandlungen mit geladenen Teilchen nicht mittels des isozentrischen Setup-Prinzips, wie während Elektronen-, Protonen- oder Lichtionentherapie, wobei generell fixe SSD-Behandlung mit fixem Abstand zwischen Quelle und Patient durchgeführt wird, wodurch die Bedeutung isozentrischer Behandlungseinheiten abnimmt.

## ZUSAMMENFASSUNG

**[0012]** Die vorliegende Erfindung bewältigt diese und andere Nachteile von Anordnungen nach dem Stand der Technik.

**[0013]** Eine allgemeine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Bestrahlungssystem mit einem exzentrischen Gestell zur Verfügung zu stellen

**[0014]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Bestrahlungssystem mit einem Gestell zur Verfügung zu stellen, mittels dessen Bestrahlungsstrahlen in mehrere um das Gestell herum angeordnete Behandlungsräume geliefert werden.

**[0015]** Eine besondere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Bestrahlungssystem zur Verfügung zu stellen, das einen klinischen Bestrahlungsstrahl zu einer Zielperson in einem ersten Behandlungsraum leiten kann, während simultan ein Simulator und Strahlen-Setup-Teil des Bestrahlungssystems für einen Vorbereitungsprozess der Bestrahlung für Bestrahlungs-Setup und Simulation für andere Zielpersonen in angrenzenden Behandlungsräumen verwendet werden.

**[0016]** Eine weitere besondere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Bestrahlungssystem zur Verfügung zu stellen, das integrierte Strahlenbehandlungs- und Simulatorfunktionalitäten aufweist, die in mehreren Behandlungsräumen verwendet werden können.

**[0017]** Diese und andere Aufgaben werden durch die Erfindung erfüllt, wie diese in den begleitenden Patentansprüchen definiert ist.

**[0018]** Kurz gesagt umfasst die Erfindung ein Bestrahlungssystem oder -gerät mit einem exzentrischen Gestell, das zur Bestrahlung von Zielpersonen in mehreren Bestrahlungs- oder Behandlungsräumen verwendet werden kann, wie in Anspruch 1 definiert. Mit solch einem Gestell ist es möglich, eine erste Zielperson in einem ersten Behandlungsraum zu bestrahlen, d. h. Strahlenbehandlungsdosens abzugeben, während simultaner Durchführung eines Behandlungs-Setups und Simulationsverfahrens für zumindest eine zweite Zielperson in einem zweiten Behandlungsraum, wobei dasselbe Strahlenbehandlungsgestell verwendet wird. Wenn die Bestrahlung der ersten Zielperson und das die zweite Zielperson einbeziehende Behandlungs-Setup abgeschlossen

sind, kann das Gestell gedreht werden, um simultan Strahlenbehandlungsdosen an die zweite Zielperson abzugeben als eine die erste Zielperson einbeziehende Behandlungsnachfolge oder es wird ein eine dritte Zielperson einbeziehendes neues Behandlungs-Setup in dem ersten Behandlungsraum durchgeführt. Konsequenz hiervon ist, dass die Kapazität des Bestrahlungssystems der vorliegenden Erfindung bezogen auf die Gesamtanzahl der zu behandelnden Zielpersonen während einer vorgegebenen Zeitspanne verglichen mit Geräten nach dem Stand der Technik viel höher ist. Zudem steht für die Patientenversorgung in jedem Behandlungsraum mehr Zeit zur Verfügung, sowohl vor als auch nach jeder Behandlung.

**[0019]** Das erfindungsgemäße Bestrahlungssystem umfasst ein Gestell, das zur Anordnung in Verbindung mit mehreren Behandlungsräumen geeignet ist, die durch Strahlenschutz- oder -isolationstrennelemente, wie Strahlenschutzraumteiler (Wände) und/oder Decken/Böden getrennt sind. Ein Strahlungskopf wird mechanisch durch das Gestell gestützt und ist relativ zum Gestell zwischen zumindest einer ersten Position, zur Lenkung eines Bestrahlungsstrahls in den ersten Behandlungsraum, und einer zweiten Position, zur Lenkung des Bestrahlungsstrahls in den zweiten Bestrahlungsraum, bewegbar.

**[0020]** Das Gestell des Bestrahlungssystems ist vorzugsweise im Schnittpunkt der Trennwände und/oder von Decke/Boden angeordnet, die die mehreren Behandlungsräume trennen. Das Bestrahlungssystem hat typischerweise ein sphärisches oder zylindrisches Design, das es dem Bestrahlungskopf ermöglicht, in einem bestimmten Zwischenraum in den Trennwänden und/oder Decke/Boden zu rotieren. Folge hiervon ist es, dass der die Strahlendosis abgebende Bestrahlungskopf zwischen den verschiedenen Behandlungsräumen gedreht werden kann und somit in diesen verschiedenen Räumen positionierte Zielpersonen bestrahlt. Das Gestell könnte ein statisches Gestellteil beinhalten, das an den Trennelementen befestigt ist. In solch einem Fall wird ein bewegliches Gestellteil beweglich (drehbar) durch das statische Gestellteil gestützt. Vorzugsweise wird der Bestrahlungskopf sodann an diesem beweglichen Gestellteil befestigt.

**[0021]** Zudem hat jeder Behandlungsraum Zugriff auf oder umfasst vorzugsweise einen Simulatorkopf mit z. B. einem lichtoptischen und/oder diagnostischen Röntgenstrahlensystem, das den therapeutischen Strahl von dem Bestrahlungskopf simulieren kann. Diese Simulatorköpfe können auf dem Gestell angeordnet sein und auf diesem konzentrisch bewegt werden. Somit könnte in jedem Raum der kostengünstige Bestrahlungssimulator zum Patienten-Setup verwendet werden, bevor der Bestrahlungskopf zur tatsächlichen Behandlung in den Be-

handlungsraum gedreht wird. Alternativ können sich einige Simulatorköpfe zwischen Räumen bewegen und beim der Behandlung vorangehenden Patienten-Setup assistieren.

**[0022]** Sehr viele verschiedene Raumkonfigurationen können aus der Grundkonfiguration des Bestrahlungssystems in den Trennwänden und/oder Decke/Boden der Räume vorgesehen werden. In Abhängigkeit davon, wo ein Behandlungsraum um das zentrale exzentrische Gestell herum angeordnet ist, typischerweise sind 30–60° schräg laterale, vordere, hintere und/oder gerade vertikale und/oder horizontale Strahlenrichtungen möglich. Es ist sogar möglich, zwei exzentrische Gestelle solcher Konfigurationen zu verwenden, so dass mehrere Behandlungsportale simultan auf ein und dieselbe Zielperson gelenkt werden, entweder als schräg laterale, parallel gegenüberliegende oder senkrechte Strahlenkombinationen.

**[0023]** Das exzentrische Gestell des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems umfasst ein Strahls- und -krümmungssystem, wie ein auf einem Magneten basierendes System, das dazu geeignet ist, einen auf eine Zielperson einfallenden Strahlungsstrahl in Form eines Schmalbündels zu scannen und zu krümmen. Dieses Scann- und Krümmungssystem, oder zumindest ein Teil desselben, wird sodann verschwenkt, wenn der Strahlungskopf und gegebenenfalls das Gestell des Bestrahlungssystems zwischen verschiedenen Räumen gedreht wird. Ein Krümmungsmagnet des Krümmungssystems könnte geschichtet werden, um zwischen Beschleunigertakten schnelle Feldumkehrungen zu ermöglichen, er könnte aber auch extra leitend sein, um den Krümmungsradius des Magneten zu minimieren.

**[0024]** Aufgrund des Aufbaus des Krümmungs- und Scannsystems ist das exzentrische Gestell zur Verwendung mit Leichtionen von Protonen und aufwärts zu Kohlenstoff- und Sauerstoffionen, einschließlich zum Beispiel Protonen, Deuteronen, Tritium- und Helium-, Lithium-, Beryllium-, Bor-, Kohlenstoff- und Sauerstoffionen, sehr gut geeignet.

**[0025]** Die Erfindung bietet die folgenden Vorteile:

- kann effizient eingesetzt werden zur Bestrahlung mehrerer Zielpersonen in verschiedenen Behandlungsräumen;
- ermöglicht in einigen Räumen die Durchführung von Behandlungs-Setup, Simulation- und/oder das Zielpersonenbeendigungsverfahren, während die eigentliche Strahlenbehandlung zeitgleich in einem anderen Raum stattfindet;
- erhöht die Kapazität bzgl. der Gesamtanzahl an Zielpersonen, die während einer vorgegebenen Zeitspanne bestrahlt werden können;
- ermöglicht Verwendung von Leichtionenstrahlung mit einem kompakten Gestellaufbau und ge-

ringem Krümmungsmagnetradius und flexibler Strahlrichtungsselektion;  
 – reduziert beträchtlich die Installationskosten, da vorteilhafterweise anstelle von mehreren teuren isozentrischen Geräten mit fixen Strahllinienkonfigurationen ein kostengünstiges Gerät mit einstellbaren Strahlrichtungen in mehreren Behandlungsräumen verwendet werden kann; und  
 – ermöglicht, dass jedem Patienten hinsichtlich individueller Behandlung und akkuratem Patienten-Setup die volle Aufmerksamkeit zuteil wird, ohne das Therapieassistententeam zu belasten.

**[0026]** Andere durch die vorliegende Erfindung ermöglichte Vorteile werden aufgrund der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung gewürdigt.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0027]** Die Erfindung, zusammen mit weiteren Aufgaben und Vorteilen dieser, mag am verständlichsten werden durch Bezugnahme auf die folgende Beschreibung zusammen mit den begleitenden Zeichnungen, in welchen:

**[0028]** [Fig. 1](#) schematisch ein Bestrahlungstherapiegerät nach dem Stand der Technik mit einem isozentrischen Gestellaufbau darstellt;

**[0029]** [Fig. 2](#) schematisch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bestrahlungsgeräts mit einem exzentrischen Gestell darstellt, das von mehreren Behandlungsräumen umgeben ist;

**[0030]** [Fig. 3](#) schematisch das Bestrahlungsgerät der [Fig. 2](#) darstellt, wobei ein Patient in einem anderen als den in [Fig. 2](#) dargestellten Behandlungsräum bestrahlt wird;

**[0031]** [Fig. 4](#) schematisch eine andere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bestrahlungsgeräts mit einem exzentrischen Gestell mit einer unterschiedlichen Behandlungsräumstruktur zeigt, die die Abgabe von vertikalen und horizontalen Strahlen ermöglicht;

**[0032]** [Fig. 5](#) schematisch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems mit einem exzentrischen Gestell mit einer andersartigen Behandlungsräumstruktur zeigt, die die Abgabe von schrägen, vertikalen und horizontalen Strahlen ermöglicht;

**[0033]** [Fig. 6](#) schematisch noch eine andere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems mit zwei exzentrischen Gestellen darstellt, die die gleichzeitige Abgabe von zwei Strahlen ermöglichen in einen Behandlungsräum ermöglichen;

**[0034]** [Fig. 7](#) eine Schnittansicht einer Ausführungsform eines exzentrischen Gestells des Bestrahlungssystems nach der vorliegenden Erfindung ist;

**[0035]** [Fig. 8](#) das Bestrahlungssystem nach [Fig. 7](#) darstellt, wobei ein Patient in einem anderen Behandlungsräum als dem aus [Fig. 7](#) bestrahlt wird; und

**[0036]** [Fig. 9](#) eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform eines exzentrischen Gestells des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems ist;

**[0037]** [Fig. 10](#) eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform eines exzentrischen Gestells des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems ist; und

**[0038]** [Fig. 11](#) eine Schnittansicht noch einer weiteren Ausführungsform eines exzentrischen Gestells des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems ist.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0039]** In jeder Zeichnung werden dieselben Bezugssymbole für entsprechende oder ähnliche Elemente verwendet.

**[0040]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bestrahlungssystem oder -gerät mit einem sogenannten exzentrischen Gestelldesign, das verwendet werden kann, um einen Strahlungsstrahl in mehrere, d. h. zumindest in zwei Behandlungsräume abzugeben. Das Gestell ist geeignet zur Anordnung in Verbindung mit den mehreren Behandlungsräumen, die getrennt werden durch strahlungsisolierende oder -abschirmende Trennelemente. Das Gestell stützt mechanisch einen Bestrahlungskopf. Dieser Bestrahlungskopf ist relativ zum Gestell (und den Trennelementen) zwischen verschiedenen Positionen beweglich, um einen Strahlungsstrahl in die verschiedenen Behandlungsräume zu lenken.

**[0041]** Mit einem solchen Gestellaufbau ist Bestrahlen möglich, z. B. Strahlenbehandlungsdozen an eine erste Zielperson oder Patienten in einem ersten Behandlungsräum abzugeben, während gleichzeitig Behandlungsvorbereitungen (Behandlungs-Setup), Simulation oder das Durchführen von Behandlungsnachbereitungen für zumindest eine zweite Zielperson in einem anderen Behandlungsräum ermöglicht werden, wobei dasselbe Bestrahlungsabgabesystem und Gestell verwendet werden.

**[0042]** Als Folge ist die Kapazität des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems, bezogen auf die Gesamtzahl der für eine bestimmte Zeitspanne zu behandelnden Patienten, im Vergleich zu den Geräten nach dem Stand der Technik, z. B. den Bestrahlungsgeräten nach [Fig. 1](#), viel größer.

**[0043]** Im Folgenden wird die Erfindung unter Be-

zugnahme auf ein Bestrahlungstherapiesystem beschrieben, das zum Zweck einer Behandlung Strahlendosen an einen Patienten abgibt, und außerdem vornehmlich kurative Bestrahlungstherapie, d. h. zur Ausrottung eines Tumors. Dieses Bestrahlungstherapiesystem könnte auch zur palliativen Bestrahlungstherapie verwendet werden, wobei es hauptsächliches Ziel ist, die Lebensqualität des Patienten zu verbessern durch Aufrechterhaltung einer lokalen Tumorkontrolle, Erleichterung eines Symptoms oder Vorbeugung oder Verzögerung einer drohenden Krankheitserscheinung, und nicht unbedingt den Tumor auszurotten. Jedoch könnte das Bestrahlungssystem alternativ zu anderen Bestrahlungszwecken verwendet werden, wie beispielsweise einzel Dosis Bestrahlungstherapie, Bestrahlungsdiagnostik oder Bestrahlungsverfahren. Zudem könnte das Bestrahlungssystem für Strahlentherapie und -diagnose in Kombination verwendet werden. In letzterem Fall kann der Bestrahlungskopf sowohl einen (Hochenergie-)Bestrahlungsbehandlungsstrahl als auch einen (Niedrigenergie-)Bestrahlungsdiagnostikstrahl abgeben. Tatsächlich kann das Bestrahlungssystem nach der vorliegenden Erfindung für alle Bestrahlungszwecke verwendet werden, bei denen eine Ausrichtung auf ein Objekt oder einen Patienten in einem Behandlungsraum gewünscht wird, während gleichzeitig eine Bestrahlungssimulation, -Setup oder -nachbereitung in einem (benachbarten) Behandlungsraum ein anderes Objekt oder Patienten involvierend durchgeführt wird, das oder der anschließend bestrahlt werden soll oder bereits bestrahlt wurde, wobei dasselbe Gestell verwendet wurde.

**[0044]** [Fig. 2](#) stellt ein Bestrahlungssystem oder -gerät 1 nach der Erfindung mit einem exzentrischen Gestell 100 dar, mittels dessen Zielpersonen oder Patienten 50-1 bis 50-4 in vier verschiedenen Behandlungsräumen 61 bis 64 bestrahlt werden können. Folglich wird das Gestell im Zusammenhang mit diesen vier Behandlungsräumen 61 bis 64 angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Gestell 100 im Schnittpunkt der Trennelemente positioniert, d. h. der Wände oder Raumteiler 72, 74 und der Decke/Boden 71, 73, durch welche die vier Räume 61 bis 64 getrennt werden. Zu beachten ist deshalb, dass sich die Behandlungsräume 61 und 64 ein Stockwerk unterhalb der Behandlungsräume 62 und 63 befinden.

**[0045]** Die Trennelemente 71 bis 74, die die jeweiligen Behandlungsräume 61 bis 64 trennen, weisen Strahlenschutzeigenschaften auf. Somit verhindern die Trennelemente 71 bis 74 vorzugsweise, dass der Behandlungsstrahl 110 aus dem gegenwärtig bestrahlten Behandlungsraum 61 in die anderen Behandlungsräume 62 bis 64 entweicht. Folge dieser Strahlenschutztrennelemente 71 bis 74 ist, dass (medizinisches) Personal und Patienten sicher in einem Behandlungsraum 62 bis 64 anwesend sein

können, auch wenn das Bestrahlungssystem 1 einen Patienten 50-1 in einem benachbarten Behandlungsraum 61 bestraht 110. Mit anderen Worten halten die Trennelemente 71 bis 74 die Behandlungsbestrahlung 110 auf (absorbieren), so dass das Niveau der entweichenden Strahlung in die angrenzenden Behandlungsräume 62 bis 64 innerhalb definierter Sicherheitsspielräume liegt. Die Wahl von für die Trennelemente 71 bis 74 zu verwendendem Material und Materialstärke hängt ab von den Eigenschaften der eingesetzten Behandlungsstrahlung 110, z. B. dem Energielevel des Behandlungsstrahls 110, der Art der verwendeten Bestrahlung etc., und kann unerfindbar von einem Durchschnittsfachmann ermittelt werden. Geeignete Materialien für die Trennelemente 71 bis 74 umfassen, ohne hierauf begrenzt zu sein, Beton, mit Bor angereichertes Polyethylen und Blei. Auch das das Bestrahlungstransportsystem umgebende Material, das die Strahlung in den Bestrahlungskopf 120 leitet, weist vorzugsweise gute Strahlenschutzeigenschaften auf.

**[0046]** Das Bestrahlungsgestell 100 hat typischerweise einen sphärischen oder zylindrischen Aufbau, der es einem Bestrahlungskopf 120 ermöglicht, sich in einem bestimmten Zwischenraum in den Wänden 72, 74 und Decke/Boden 71, 73 zu drehen.

**[0047]** In der Figur ist das Gestell 100 so angeordnet, dass ein Targetvolumen 55-1 in einen ersten Patienten 50-1 gestraht 110 wird, der sich auf einer Behandlungsliege 40-1 in einem ersten Behandlungsraum 61 befindet. Das Bestrahlungssystem 1 umfasst vorzugsweise auch einen Strahlenschutz 150, vorzugsweise einen Drehstrahlenschutz, und Krümmungsmagneten (siehe [Fig. 7](#)–[Fig. 11](#)), um den Bestrahlungsstrahl 110 in den gegenwärtig benutzten Behandlungsraum 61 abzulenken und ihn daran zu hindern, die anderen Behandlungsräume 62 bis 64 zu erreichen.

**[0048]** Zudem umfassen die Behandlungsräume 61 bis 64 vorzugsweise Simulatorköpfe 200-2 bis 200-4, oder haben Zugriff auf diese, mit einem lichtoptischen oder Röntgensystem, das den therapeutischen Strahl 110 simulieren kann. Diese Simulatorköpfe 200-2 bis 200-4 können angeordnet werden und sich bewegen auf einer Schiene gerade außerhalb des Schutzschildes 150. Somit könnte in den Räumen 61 bis 64 der kostengünstige Simulator 200-2 bis 200-4 zum Patienten-Setup verwendet werden, bevor der Bestrahlungskopf 120 zum Behandlungsbetrieb in den Behandlungsraum gedreht wird. Durch die vorliegende Erfindung ist vorgesehen, dass diese Simulatorköpfe 200-2 bis 200-4 zu Behandlungsnachbereitungszwecken anstelle oder alternativ verwendet werden können.

**[0049]** In der Figur sind drei Patienten 50-2 bis 50-4 jeweils auf einer Behandlungsliege 40-2 bis 40-4 po-

sitioniert und werden gegenwärtig unter Verwendung der Simulatorköpfe **200-2** bis **200-4** und Simulatorstrahlen **210-2** bis **210-4** einem Behandlungs-Setup(-nachbereitung) und Simulationsverfahren ausgesetzt. Zur Erzielung einer maximalen Genauigkeit in dem Patienten-Setup (typischerweise innerhalb von 0,5–1 mm) wird in den Behandlungsräumen **61** bis **64** vorzugsweise eine stereotaktische Behandlungsliege **40-1** bis **40-4** verwendet. Eine solche Liege **40-1** bis **40-4** wird sodann automatisch positioniert und individuell auf jeden Patienten **50-1** bis **50-4** ausgerichtet. Zu beachten ist, dass in der vorliegenden Erfindung ein und dieselbe Liege **40-1** bis **40-4** sowohl für das Patienten-Setup- (und -nachbereitungs-)Verfahren als auch für die Behandlungs- und diagnostischen Abbildungstätigkeiten verwendet werden kann.

**[0050]** Es wäre möglich, dass die Behandlungsräume **61** bis **64** jeweils mit einem Simulatorkopf **200-2** bis **200-4** ausgestattet sind. Alternativ können sich zwei oder mehr Räume **61** und **62** einen einzigen gemeinsamen Simulator **200-2** teilen. Solchermaßen ist der Simulator **200-2** vorzugsweise fähig, sich, z. B. mittels eines Schienensystems, in einer bestimmten Aussparung **80** in Boden/Decke **71** (oder Wand) zu bewegen, die die Räume **61** und **62** trennen.

**[0051]** Sobald der erste Patient **50-1** behandelt wurde und die Setup- und Simulationsverfahren in einem anderen Raum beendet wurden, kann das Gestell **100** gedreht werden, so dass jetzt der Bestrahlungskopf **120** Bestrahlungsdosen an einen anderen Patienten **50-2** in einem anderen Behandlungsräum **62** abgibt. Dieses Szenario ist in [Fig. 3](#) dargestellt, wo der Bestrahlungskopf **120** (und eventuell des Gestell **100**) gedreht wurde, um ein Targetvolumen **55-2** auf einen zweiten Patienten **50-2** abzustrahlen. Der Simulatorkopf **200-2** des Raums **62**, wo der Patient **50-2** gegenwärtig mittels des Bestrahlungsstrahls **110** bestrahlt wird, wird wegbewegt entweder zu einer Seite des Raums **62**, damit der Bestrahlungskopf **120** den Patienten **50-2** bestrahlt, oder zu dem benachbarten Behandlungsräum **61**, um dort zur Behandlungssimulation verwendet zu werden. In dem ersten Raum **61** kann ein neuer Patient **50-1** auf der Liege **40-1** positioniert werden und es kann unter Verwendung eines Simulatorkopfs **200-2** ein Setup-Verfahren und Simulator ausgeführt werden. Alternativ kann eine den zuvor bestrahlten Patienten involvierende Behandlungsnachbereitung und anschließendes Patientenausgangsverfahren durchgeführt werden.

**[0052]** Üblicherweise ist die Reihenfolge von Abläufen, die in einem bestimmten Behandlungsräum stattfinden, folgende. Zuerst wird das Equipment (Liege und Bestrahlungs- und Positionierequipment) in dem Raum neu angepasst, um es für einen nächsten zu behandelnden Patienten vorzubereiten. So-

dann wird ein Patienten-Setup durchgeführt, wobei der Patient akkurat auf einer Liege, vorzugsweise einer stereotaktischen Liege, positioniert wird, wobei verschiedene Patientenpositionierungssysteme verwendet werden, z. B. laserbasierte Positionierungssysteme, wie ein in der Internationalen Patentanmeldung WO 2004/000120 beschriebenes Patientenpositionierungssystem. Ist der Patient erst einmal akkurat auf der (stereotaktischen) Liege positioniert, wird sodann eine Behandlungssimulation durchgeführt. Während dieser Simulation wird ein lichtoptisches und/oder diagnostisches Röntgensystem in einem Simulatorkopf des erfindungsgemäßen Bestrahlungssystems verwendet. Anschließend kann die eigentliche Behandlung erfolgen.

**[0053]** Da das Behandlungs-Setup üblicherweise wenigstens 5 bis 10 Minuten dauert und die eigentliche Behandlung des Patienten wesentlich kürzer ist, ca. 1–2,5 Minuten, verfügen die Behandlungsräume **61** bis **64** und Patienten **50-1** bis **50-4** im Allgemeinen etwa alle 10 Minuten über den Therapiestrahl. Für den Gestellaufbau der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) impliziert dies, dass bis zu (und manchmal, besonders für einfache Behandlungen, mehr als)  $6 \times 4 = 24$  Patienten pro Stunde in einem sehr beschäftigten Therapiecenter behandelt werden können, und dennoch reichlich Setup-Zeit und Patientenbetreuung in jedem Behandlungsräum **61** bis **64** eingeräumt wird. Dies sollte verglichen werden mit entsprechender Kapazität eines (isozentrischen) Bestrahlungsgeräts nach dem Stand der Technik, welches typischerweise maximal bis zu 4 bis 6 Patienten während dieser Zeitspanne von einer Stunde behandeln kann. Zudem kann in dieser Ausführungsform der Erfindung ein einziges Bestrahlungsgestell mit einem einzigen Strahlentransport- und Scannsystem sowohl für die Behandlungsbestrahlung als auch für Behandlungs-Setup und Simulation in mehreren Behandlungsräumen verwendet werden kann.

**[0054]** Sehr viele verschiedene Raumkonfigurationen können aus der in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten Grund-Vier-Raum-Konfiguration vorhergesessen werden. Davon abhängend in welchem Quadranten sich ein Behandlungsräum um das zentrale exzentrische Gestell herum befindet, sind typischerweise 30–60° schräg lateral vordere (Raum **61** und **64**) oder hintere (Raum **62** und **63**) Strahlenrichtungen möglich. Bei Leichtionen ist es sehr praktisch, einen Patienten zu behandeln, dessen Behandlungsplan 2–4 Strahlenportalrichtungen durch ein Strahlenportal pro Tag erfordert, und somit die verschiedenen Behandlungsräume der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) der Reihe nach benutzt werden, je nach Bedarf der Strahlenrichtungen. Somit kann ein und derselbe Patient bei verschiedenen Bestrahlungseignissen in verschiedenen Behandlungsräumen bestrahlt werden, wobei er einen Behandlungsstrahl aus verschiedenen Einfallswinkeln und Richtungen

erhält.

**[0055]** Es ist auch möglich, in einigen Räumen gerade vertikale und/oder horizontale Behandlungsstrahlen zu haben, gegebenenfalls zur gleichen Zeit, wenn andere Räume schräge Einfallswinkel anwenden. [Fig. 4](#) stellt schematisch die Situation mit vier verschiedenen Behandlungsräumen **61** bis **64** dar, die über ein gemeinsames Bestrahlungssystem **1** mit erfundungsgemäßem exzentrischem Gestellaufbau **100** verfügen können. Aufgrund der Position des Gestells **100** in der Decke **71** relativ zu einem Patienten **50-1** auf einer Liege **40-1** in einem Raum **61** sind gerade vertikale Behandlungsstrahlen **110** möglich. Gleichzeitig sind für einen Patienten **50-3** in dem Behandlungsräum **63** hintere vertikale Strahlen möglich. In einem anderen Behandlungsräum **64** fallen die Strahlen schräg in einen Patienten ein. In der Figur ist das Patientenlager **40-4** dieses Raums **64** leer, wobei schematisch das Prinzip des Patienteneintritts-/ausgangsverfahrens dargestellt ist.

**[0056]** Entsprechend, wenn das Bestrahlungssystem **1** und das Gestell **100** hauptsächlich in einer Wand **72** zwischen Behandlungsräumen **62** und **63** angeordnet sind, kann ein Patient **50-2** vertikal bestrahlt werden. Durch die Erfindung wird vorweggenommen, dass exzentrisches Gestell und Bestrahlungssystem der vorliegenden Erfindung derart angepasst werden können, um nur horizontal, nur vertikal, nur schräg oder horizontal, vertikal und/oder schräg in Kombination zu strahlen.

**[0057]** In dieser Ausführungsform der Erfindung sind die Simulatorköpfe **200-1** bis **200-3** in bestimmten Vertiefungen oder Abschnitten des Gestells **100** angeordnet oder in dem Strahlenschutz **150** des Gestells **100**. Diese Vertiefungen können fixiert sein, sind jedoch vorzugsweise verfahrbar oder drehbar, so dass die Simulatorköpfe **200-1** bis **200-3** wegbewegt werden können (gegebenenfalls zwischen den Räumen **61** bis **64**), um für den Bestrahlungskopf **120** zur Bestrahlung eines Patienten Platz zu machen.

**[0058]** Es ist auch möglich, vertikale, vordere und hintere Strahlen in einem exzentrischen Gestell mit sechs umgebenden Behandlungsräumen zu kombinieren, durch Kombination der Lösungen der [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#). Solch ein Gestellaufbau resultiert sowohl in schräg lateral vorderen und hinteren Strahlen in vier Behandlungsräumen als auch in parallel gegenüberliegend vertikalen Strahlen in zwei Räumen.

**[0059]** [Fig. 5](#) ist eine Darstellung eines Bestrahlungssystems **1** und exzentrischem Gestell **100** gemäß der vorliegenden Erfindung, die in der Lage sind, (Behandlungs-)Strahlung **110** in mehreren Strahlungsbehandlungsräumen **61** bis **68** zur Verfügung zu stellen, die in bis zu drei verschiedenen

Stockwerken angeordnet sind. Somit befinden sich drei Behandlungsräume **61**, **67**, **68** in einer ersten Etage, ein zweites Stockwerk beinhaltet zwei Behandlungsräume **62**, **66**, wobei das Bestrahlungsgestell **100** im Allgemeinen dazwischen positioniert ist. Sodann umfasst ein drittes Stockwerk die verbleibenden drei Behandlungsräume **63** bis **65**. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Gestell **100** in Verbindung mit zwei Strahlenschutzwandpaaren **73**, **78** und **74**, **77** und zwei Strahlenschutz-Decken-Boden-Paaren **71**, **76** und **72**, **75** angeordnet, die die acht Behandlungsräume **61** bis **68** trennen. Als Folge können bis zu sieben Patienten **50-2** bis **50-8** in Behandlungs-Setups, Simulations- oder Nachbereitungsverfahren involviert sein, wobei gegebenenfalls Strahlungssimulation- oder Diagnoseköpfe **210-2** bis **210-8** verwendet werden können, während gleichzeitig ein Patient **50-1** mittels des Behandlungsbestrahlungsstrahls **110** des Bestrahlungssystems bestrahlt wird.

**[0060]** Es ist ebenfalls möglich, einen Patienten in einem bestimmten Behandlungsräum, wie in Raum **61** in [Fig. 5](#), um 180° in der horizontalen Ebene zu drehen, um während einer Behandlungssitzung ein Paar vorhergehender schräger und seitlicher Strahlenportale an dem Tumor zu erlangen. Dies ist eine der effizientesten Behandlungskonfigurationen für oberflächige und halbtiefe Tumore. Zur Tiefentherapie können parallel gegenüberliegende vordere-hintere Strahlen am effizientesten sein, insbesondere Ionen mit höherem LET (Linear-Energie-Transfer) wie Kohlenstoff oder Sauerstoff, da diese effektiv in Räume **64** und **68** der [Fig. 5](#) abgegeben werden könnten.

**[0061]** Mit Bezugnahme auf [Fig. 6](#) ist sogar die Verwendung eines Bestrahlungssystems **1** mit mehreren, d. h. wenigstens zwei, exzentrischen Gestellen **100-1** und **100-2** in einer solchen Konfiguration möglich, dass mehrere Behandlungsportale simultan auf ein und denselben Patienten **50-4** gerichtet werden können, entweder als schräg seitliche (wie in der Figur), parallel gegenüberliegende und/oder senkrechte Strahlenkombinationen **110-1** und **110-2**. Somit können in der Konfiguration der [Fig. 6](#) Patienten **50-3** und **50-4** in Raum **63** und **64** mit Strahlen **110-1** und **110-2** von den Bestrahlungsköpfen **120-1** und **120-2** der beiden exzentrischen Gestelle **100-1** und **100-2** bestrahlt werden. In der Figur können die verbleibenden vier Räume **61**, **62**, **65** und **66** nur über eines der Gestelle **100-1** oder **100-2** verfügen. Durch die Erfindung wird vorweggenommen, dass mehr als zwei exzentrische Gestelle nach der vorliegenden Erfindung in einer gemeinsamen Konfiguration angeordnet sein können, so dass zumindest zwei oder mehr Gestelle einen Patienten in einem der Behandlungsräume bestrahlen können. Durch Auswechseln der Gestelle in den Wänden und Decke/Boden ist es ebenfalls möglich, die Gestellanordnung der [Fig. 4](#) mit der Anordnung in [Fig. 6](#) zu kombinieren.

**[0062]** Die auf zumindest diese zwei Gestelle des Bestrahlungssystems einfallende Strahlung kann aus verschiedenen Bestrahlungsquellen stammen. Alternativ kann eine gemeinsame Strahlungsquelle für die zumindest zwei Gestelle verwendet werden, die gegebenenfalls eine Innenquelle umfasst, ein Beschleunigersystem (mit einem Synchrotron oder Zyklotron), ein Strahlenleit- und Teilsystem. Ein Beispiel einer geeigneten Innenquelle, Beschleuniger und Strahlenteilsystem, das nach der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, wird in der Patentschrift US 6,683,318 offenbart. Das Strahlenteilsystem kann durch ein Septum realisiert werden, z. B. in Form einer dünnen Leitfolie, die im Strahlengang angeordnet ist. Durch Anlegung von (Hoch-)Strom an ein Septum kann das resultierende erzeugte magnetische Feld verwendet werden, um den einfallenden Ionenstrahl in zumindest zwei abgehende Ionenstrahlen zu teilen. Jeder dieser abgehenden Strahlen kann mittels eines Strahlenleitsystems zu einem entsprechenden exzentrischen Gestell der Erfindung gebracht werden, wie z. B. dargestellt in der Konfiguration der [Fig. 6](#).

**[0063]** In dem Bestrahlungssystem der vorliegenden Erfindung beinhaltet des Gestell ein statisches Gestellteil oder -abschnitt und ein bewegliches Gestellteil oder -abschnitt. Der Bestrahlungskopf wird sodann mechanisch von dem beweglichen Gestellteil getragen. In einem solchen Fall könnte der statische Gestellteil an den Trennelementen der Behandlungsräume befestigt werden oder mit diesen in Verbindung stehen. Bei einem solchen Aufbau sind der bewegliche Gestellteil und Bestrahlungskopf verfahrbar (drehbar) relativ zu dem statischen Gestellteil (und den Trennelementen) zwischen den Behandlungsräumen.

**[0064]** In den [Fig. 2](#)–[Fig. 6](#) wurde das Bestrahlungssystem nach der vorliegenden Erfindung offenbart bezüglich der Anordnung des Bestrahlungsgerüsts in Verbindung mit einem zumindest einigen Behandlungsräume trennenden Trennelement, die auf verschiedenen Etagen (Levels) positioniert sind. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf begrenzt. Beispielsweise kann das Gestell des Bestrahlungssystems in dem (Strahlenschutz-)Teil angeordnet sein, das zwei Behandlungsräume trennt, die sich auf demselben Stockwerk befinden. In einem solchen Fall kann das Bestrahlungssystem einen Strahlungsstrahl in höchstens zwei verschiedene Behandlungsräume leiten. Jedoch ist gleichfalls ein allein stehendes Gestell mit einem gewöhnlichen zylindrischen oder säulen- oder pfostenartigen Aufbau möglich, das in einem großen Raum oder einer Halle positioniert ist. In einem solchen Fall kann dieser große Raum abgeschirmt oder in mehrere Bestrahlungsstationen oder (kleinere) Räume geteilt werden, getrennt durch Strahlenschutztrennelemente (Trennwände). Somit ist in dieser Ausführungsform ein ent-

sprechendes erstes kurzes Ende der Trennelemente mit einer Seitenfläche des zylindrischen Gestells oder zumindest dicht daran verbunden. Die Trennelemente stehen dann (gegebenenfalls radial) von dem Gestell ab, um die verschiedenen strahlengeschützten Behandlungsräume zu definieren. Der Bestrahlungskopf kann drehbar an dem Gestell befestigt sein oder der Bestrahlungskopf und das bewegliche Gestellteil sind drehbar an dem statischen Gestellteil befestigt, das wiederum auf dem Boden angeordnet ist. Je nach Höhe der Patientenliegen in den Behandlungsräumen und dem Output-Winkel des Bestrahlungsstrahls ist sodann schräge oder horizontale Bestrahlung möglich.

**[0065]** [Fig. 7](#) zeigt eine senkrechte Schnittansicht einer Ausführungsform eines Bestrahlungssystems 1 mit einem exzentrischen Gestelldesign 100 der Erfindung. Der einfallende Bestrahlungsstrahl kann von einer in der Nähe befindlichen Strahlenquelle stammen, wie eine in einem neben dem Gestell 100 befindlichen Raum angeordnete Strahlenquelle, und Krümmungsmagneten verwenden, um die Strahlung in das Gestell zu lenken. Auch ist es möglich, eine Strahlenquelle zu verwenden, die unmittelbar auf dem Gestell 100 angeordnet ist, oder eine relativ entfernte Strahlenquelle, z. B. ein Synchrotron, (siehe z. B. US 6,683,318) oder Zyklotron, die die benötigte Strahlung an mehrere verschiedene Behandlungseinheiten und exzentrische Gestelle 100 abgeben können.

**[0066]** Anschließend wird die Erfindung beschrieben unter Bezugnahme auf ein Bestrahlungstherapiesystem umfassend ein (Schmalbündel)-Strahlscannersystem 104–106, 122 zur Bestrahlung eines Patienten 50. Auf diese Weise werden durch das Scannersystem 104–106, 122 zur Verfügung gestellte magnetische Felder verwendet, um die geladenen Teilchen in dem Strahlungsstrahl zu steuern. In dieser Strahlensteuerung kann die Bildpunktgröße des Strahls über einen Behandlungsbereich in dem Patienten 50 geregelt und gescannt werden. Durch eine Änderung der Scanngeschwindigkeit und der Strahlenintensität kann jede gewünschte Dosisverteilung innerhalb eines Targetvolumens 55 erzeugt werden, wobei eine minimale Extradosis an gesundes Gewebe abgegeben wird. Jedoch ist die Erfindung nicht auf solche linienartigen Strahlentherapiesysteme und Scantechniken beschränkt.

**[0067]** Entsprechend einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung tritt der einfallende Bestrahlungsstrahl aus der (entfernten) Strahlenquelle (nicht dargestellt) zuerst in Quadrupole 102, um den Strahl zu fokussieren. Anschließend tritt der Strahl vorzugsweise in einen Abtastmagneten 104 ein. Dieser Magnet 104 lenkt den Strahl ab und gibt ihm eine Abtastbewegung in der Ebene der Zeichnung. Der Strahl tritt aus dem Abtastmagneten 104 heraus, als käme

er von einem typischerweise in der Mitte des Magneten **104** befindlichen effektiven Abtastzentrums. Der in der Zeichnungsebene abtastende Strahl wird sodann in einem Krümmungs- oder Ablenkmagnet **106** gekrümmmt oder abgelenkt, um den einfallenden Strahl nach unten zu dem Strahlungskopf **120** zu lenken und anschließend in das Targetvolumen **55** eines Patienten **40** zu leiten. Der Krümmungsmagnet **106** könnte lamelliert werden, um schnelle Feldwechsel zwischen Beschleunigerimpulsen zu ermöglichen, aber auch superleitfähig sein, um den Krümmungsradius zu minimieren.

**[0068]** Aufgrund der strahlenkrümmenden Funktionsweise des Magnets **106** tritt der Strahl in den Bestrahlungskopf **102** und einen zweiten Abtastmagneten **122** ein. Dieser Magnet **122** hat die Eignung, den Strahl in einer Ebene zu scannen oder abzulenken, die sich transversal zu der Zeichnungsebene verhält, d. h. hinein und heraus aus der Zeichnungsebene. Der Strahl könnte sodann in einen Kollimator **124** treten, der zur Verhinderung von Strahlung außerhalb des gewünschten Abtaststrahls vorgesehen ist, um sich abwärts zu dem Patienten **50** fortzusetzen. Ein optionaler Übertragungsmonitor **125** könnte unterhalb des Kollimators **124** vorgesehen sein, um die von dem Kollimator **124** verbreitete Strahlungsmenge zu registrieren.

**[0069]** Das Abtastsystem nach [Fig. 7](#) könnte auch ausgeschaltet werden, um zur Erzielung von einfachen gleichmäßigen Strahlen ein normales duales oder einfaches Streufoliensystem zu verwenden.

**[0070]** Bevor der Bestrahlungsstrahl **110** den Bestrahlungskopf **120** verlässt, passiert dieser vorzugsweise einen zweiten Kollimator **126**. Diese Kollimator **126** ist vorzugsweise ein Mehrfolienkollimatortyp. Solch ein Mehrfolienkollimatortyp umfasst eine Vielzahl von Paaren von gegensätzlich gestreckter, gekrümmter oder flacher, im Schnitt keilförmiger Blätter, wobei jede angrenzende Folie Seite an Seite und derart angeordnet ist, dass eine fächerförmige Konfiguration gegeben ist, die in Richtung eines Apex der effektiven Strahlenquelle **127** konvergiert. Im Gegensatz zu der vorliegenden Erfindung mit vorzugsweise einer einzigen Quelle **127** werden konventionelle Abtastsysteme mit zwei aufeinander folgenden Dipolabtastmagneten verschiedene effektive Quellenpositionen in den beiden Abtastebenen haben. Die Folien des Kollimators **126** werden zur (kombinierten) Rotations- und/oder Translationsbewegung befestigt. Dieser dynamische Mehrfolienkollimator **126** kann verwendet werden, um normales Gewebe seitlich des Tumors, d. h. des Targetvolumens **55** zu schützen, zur gleichen Zeit, zu der das magnetische Feld des Krümmungsmagneten **106** rasch auf die bei jeder Abtastposition benötigte Energie reguliert wird. Normalerweise bleibt die Energie während des Abtastens des Strahls **110** bei einer bestimmten Tiefe in dem

Patienten **50** unveränderlich.

**[0071]** Der abgetastete Strahl **110** bedeckt üblicherweise ein  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  großes Feld auf einem Patienten. Ist ein Übertragungsmonitor **125** in dem Bestrahlungskopf **120** vorgesehen, so könnte dieser Monitor der Bewegung des abtastenden Strahls kontinuierlich folgen und diese sichern.

**[0072]** Das Bestrahlungsgerät **1** der Erfindung mit einem wie in [Fig. 7](#) dargestellten exzentrischen Gestellaufbau ist zur Verwendung eines Bestrahlungsstrahls aus Lichtionen gut geeignet, d. h. von Protonen und aufwärts, z. B. Helium-, Kohlenstoff- oder Sauerstoffionen. Solche Ionen sind in der Behandlung von Patienten mit Krebskrankheiten sehr effektiv. Da sie günstige physikalische und biologische Eigenschaften aufweisen, die zur Entwicklung von im Vergleich zu herkömmlichen Protonenstrahlen verbesserten Behandlungsmethoden ausgenutzt werden können, bieten Lichtionenstrahlen eine hohe physikalische Selektivität und höhere biologische Effektivität in der Bragg-Spitze.

**[0073]** Wie aus dem Stand der Technik gut bekannt, benötigen Leichtionen sehr große Krümmungsradien (bis zu mehreren Meter). Bestrahlungsgestelle und -geräte nach dem Stand der Technik, die Leichtionendosen zur Verfügung stellen, haben den Nachteil hoher Installationskosten. Zudem weisen solche Geräte nach dem Stand der Technik mehrere große Krümmungsmagnete und ihr Pool Lücken auf, die benötigt werden, um den Strahl in beiden Ebenen vor der Krümmung abzutasten und ein Gestell zu erhalten, das geeignet ist, um Ionenstrahlen in frei wählbaren Ausrichtungen in den Behandlungsraum zu leiten. Jedoch kann der in der vorliegenden Erfindung verwendete Krümmungsmagnet **106** eine kleine Lücke und einen kleineren Radius und demzufolge eine kleinere Gesamtgröße aufweisen, als die nach dem Stand der Technik verwendeten Magnete. Dies resultiert in einem kompakten Schmalbündelabtastsystem umfassend die Abtast- und Krümmungsmagneten **104, 106, 122**, die verschiedene Behandlungsräume rund um das exzentrische Gestell **100** mit  $(30\text{ cm} \times 30\text{ cm})$ -Strahlen versorgen können.

**[0074]** Obwohl der Gestellaufbau zur Verwendung bei Leichtionenbestrahlung geeignet ist, kann er auch für jedes geladene Teilchen oder sogar neutrale Teilchen wie Neutronen und Photonen verwendet werden, indem als erstes die anfänglich abgelenkten Protonen- oder Deuteronen- und Elektronenstrahlen abgetastet werden, um abgetastete neutrale Strahlen zu generieren, siehe z. B. die Patentschrift US 4,442,352.

**[0075]** In [Fig. 7](#) hat das Gestell **100** einen an den Boden/Decke **71** befestigten statischen Gestellteil **140**, die zwei angrenzende Behandlungsräume **61**,

**62** trennen. Ein innerer beweglicher Gestellteil **130** mit befestigtem oder integriertem Bestrahlungskopf wird beweglich, hier drehbar, durch den statischen Teil **140** getragen. Diese bewegliche Stütze kann realisiert werden, indem konventionelle Vorrichtungslösungen und -lager verwendet werden. Um die Stabilität des Gestells **100** zu erhöhen, kann der Bestrahlungskopf **120** rechterseits (wie in der Figur dargestellt) und linkerseits durch das bewegliche Gestellteil **130** gestützt werden. In einem solchen Fall beinhaltet das Gestell **100** typischerweise zwei statische Teile **140**, die jeweils im Boden/Decke **71** angeordnet sind, aber an jeder Seite des drehenden Bestrahlungskopfs **120**.

**[0076]** Soll das Bestrahlungsgerät zur Behandlung eines Patienten in einem anderen Behandlungsräum **62** verwendet werden, wird dass Gestell **100** (der bewegliche Teil **130**) einfach gedreht oder verschwenkt, was eine Rotation des Abtast- und Krümmungssystems **102–106, 122** und des Bestrahlungskopfs **120** zur Folge hat. **Fig. 8** stellt dieses Prinzip dar, wobei das exzentrische Gestell **100** des Bestrahlungssystems **1** der **Fig. 7** von der Bestrahlung eines Patienten in einem ersten Behandlungsräum **61** weggedreht ist zur Bestrahlung eines zweiten Patienten **50**, der auf einer Behandlungsleige **40** in einem zweiten Behandlungsräum **62** liegt. Wie aus der Figur ersichtlich, leitet der Krümmungsmagnet **106** den einfallenden Strahl aufgrund der Drehung des Gestells **100** jetzt in Richtung des zweiten Behandlungsräums **62**. Auf diese Weise kann ein einziges Abtast-, Kollimators-, Strahlenkrümmungs- und Winkeleinstellungssystem in mehreren Behandlungsräumen verwendet werden, was die Kosten für die gesamte Installation erheblich reduziert.

**[0077]** In **Fig. 9** ist eine entsprechende Schnittdarstellung einer anderen Ausführungsform eines Bestrahlungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. In dieser Ausführungsform ist das Gestell **100** hauptsächlich in einer Strahlenschutzwand oder Abschottung **71** angeordnet, die zwei benachbarte Behandlungsräume **61** und **62** trennt. Diese Gestellausführungsform **100** ist insbesondere zur Abgabe von horizontalen Strahlen **110** auf das Behandlungsvolumen **55** des Patienten **50** konfiguriert. Die dazu gehörenden Einheiten **124–126** des Bestrahlungskopfs **120** und das Strahlenverarbeitungs-(Leit- und Abtast-)System **104–106, 122** ähneln den oben im Zusammenhang mit **Fig. 7** diskutierten entsprechenden Einheiten und werden nicht näher beschrieben.

**[0078]** Obwohl die Drehachsen des in den **Fig. 2–Fig. 8** dargestellten exzentrischen Gestells wie in **Fig. 9** gezeigt horizontal oder vertikal sind, ist die vorliegende Erfindung nicht hierauf beschränkt. Die Rotationsachse kann von horizontal zu vertikal jeden Winkel haben, was etwas davon abhängt, wie

der Strahl von dem Beschleuniger extrahiert wird und welcher Variabilitätsbereich klinisch benötigt wird.

**[0079]** **Fig. 10** stellt einen Schnitt eines Teils eines Bestrahlungssystems **1** mit einem Gestell **100** dar, das schräge Strahlen **110** zur Verfügung stellt. Verglichen mit dem Bestrahlungssystem nach **Fig. 7** wird in der vorliegenden Ausführungsform der Behandlungsstrahl **110** durch einen Krümmungsmagneten **106** um weniger als 90° abgelenkt, um Strom zu sparen und schräge Strahlen in mehrere Behandlungsräume **61** und **62** zu erhalten. Winkel, die so gering sind wie 30° bis 60°, können in speziellen Fällen sehr hilfreich sein. Die zugehörigen Einheiten des Gestells **100** und Bestrahlungssystems **1** entsprechen den in Zusammenhang mit **Fig. 7** oben diskutierten Einheiten.

**[0080]** **Fig. 11** zeigt einen anderen möglichen Aufbau der inneren Einheiten des Strahlenabtast- und Krümmungssystems **104–106, 122** des exzentrischen Gestells **100** der vorliegenden Erfindung. Diese Ausführungsform minimiert den Durchmesser des drehbaren Gestellteils **130** einschließlich des Magnets **106** und Behandlungskopfs **120**. Ähnlich der in den **Fig. 7** bis **Fig. 10** gezeigten Ausführungsformen tritt der einfallende (Leichtionen-)Bestrahlungsstrahl vorzugsweise zuerst in Vierpole **102** ein. Sodann tritt der Strahl in einen Krümmungs- und Abtastmagneten **104**, der den Strahl in der Ebene der Zeichnung abtastet. Der abgetastete Strahl wird sodann in einem (superleitenden) Krümmungsmagneten **106** gekrümmt. Vorzugsweise leitet der Krümmungsmagnet **106** den Strahl in einen zweiten Abtastmagneten **122**. Dieser Abtastmagnet **122** und die Kollimatoren **124** und **126** wurden in Zusammenhang mit **Fig. 7** diskutiert. Um die Gestellgröße wirklich zu minimieren und die Kosteneffektivität zu maximieren, kann der Strahlenschutz **150** gleichfalls eingeschlossen werden, was eine etwas geringere Auslenkung in dem Magneten **104** bedingt, als die in **Fig. 11** gezeigte.

**[0081]** Einen Durchschnittsfachmann wird bewusst sein, dass verschiedene Modifikationen und Änderungen der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne ihren Bereich zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Ein Bestrahlungssystem (**1**) umfassend:  
– ein Gestell (**100**) umfassend:  
ein statisches Gestellteil (**140**); und  
ein bewegliches Gestellteil (**130**), das von dem statischen Gestellteil (**140**) beweglich abgestützt wird;
- einen Strahlungskopf (**120**), mechanisch durch den beweglichen Gestellteil (**130**) abgestützt und relativ zu dem statischen Gestellteil (**140**) in einem zugeordneten Zwischenraum in einem Strahlenschutztrennelement (**71**) verschiebbar zwischen einer ersten Position, zum Lenken eines Strahlungsstrahls (**110**) in ei-

nen ersten Behandlungsraum (61), und einer zweiten Position zum Lenken des Strahlungsstrahls (110) in einen zweiten Behandlungsraum (62), wobei das Strahlenschutztrennelement (71) zumindest den ersten Behandlungsraum (61) und den zweiten Behandlungsraum (62) trennt; und

– einen Strahlenschutz (150), der Teil des beweglichen Gestellteils (130) ist und Strahlung daran hindert, in den zweiten Behandlungsraum (62) zu gelangen, wenn sich der Strahlungskopf (120) in der ersten Position befindet, und Strahlung daran hindert, in den ersten Behandlungsraum (61) zu gelangen, wenn sich der Strahlungskopf (120) in der zweiten Position befindet.

2. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der statische Gestellteil (140) zur Anordnung in dem Strahlenschutztrennelement (71) angepasst ist.

3. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der statische Gestellteil (140) angepasst ist, teilweise in dem Strahlenschutztrennelement (71) angeordnet zu werden.

4. Das Bestrahlungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Trennelement (71) ausgewählt wird aus zumindest einem von:

- einer Strahlenschutzabschottung zwischen dem ersten (61) und zweiten (62) Behandlungsraum;
- einem Strahlenschutzdecken/Boden-Paar zwischen dem ersten (61) und zweiten (62) Behandlungsraum, wobei der erste (61) und zweite (62) Behandlungsraum in verschiedenen Stockwerken positioniert sind.

5. Das Bestrahlungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, des Weiteren umfassend zumindest einen Strahlungssimulationskopf (200-1, 200-2), wobei der Strahlungssimulationskopf (200-1, 200-2) auch simultan einen Strahlungssimulationsstrahl (210-1) in den ersten Behandlungsraum (61) lenken kann, wenn der Strahlungskopf (120) den Strahlungsstrahl (110) in den zweiten Behandlungsraum (62) lenkt.

6. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlungssimulationskopf (200-2) auf dem Gestell (100) zwischen dem ersten (61) und zweiten (62) Behandlungsraum bewegbar ist.

7. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlungskopf (120) geeignet ist, einen Behandlungsstrahl (110) zur Verfügung zu stellen, und der Strahlungssimulationskopf (200) geeignet ist, einen Be-

handlungssimulationsstrahl (210) zur Verfügung zu stellen.

8. Das Bestrahlungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, des Weiteren umfassend:

- ein zweites Gestell (100-2), das geeignet ist zur Anordnung in Zusammenhang mit zumindest dem zweiten Behandlungsraum (63, 64) und einem dritten Behandlungsraum (65, 66), getrennt durch ein Strahlenschutztrennelement (71, 75, 77); und
- einen mechanisch durch das zweite Gestell (100-2) abgestützten zweiten Strahlungskopf (120-1), wobei der zweite Strahlungskopf (120-2) relativ zu dem zweiten Gestell (100-2) bewegbar ist zwischen einer ersten Position, zum Lenken eines Strahlungsstrahls (110-2) in den zweiten Behandlungsraum (63, 64), und einer zweiten Position, zum Lenken des Strahlungsstrahls (110-2) in den dritten Behandlungsraum (65, 66).

9. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlungskopf (120-1) und der zweite Strahlungskopf (102-2) zur Lenkung des Strahlungsstrahls (110-1, 110-2) aus verschiedenen Einfallswinkeln in den zweiten Behandlungsraum (63, 64) konfiguriert sind.

10. Das Bestrahlungssystem nach Anspruch 8 oder 9, des Weiteren umfassend einen Strahlungskopfsplitter, um simultan dem ersten Gestell (100-1) und dem zweiten Gestell (100-2) Strahlung einer gemeinsamen Strahlungsquelle zur Verfügung zu stellen.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

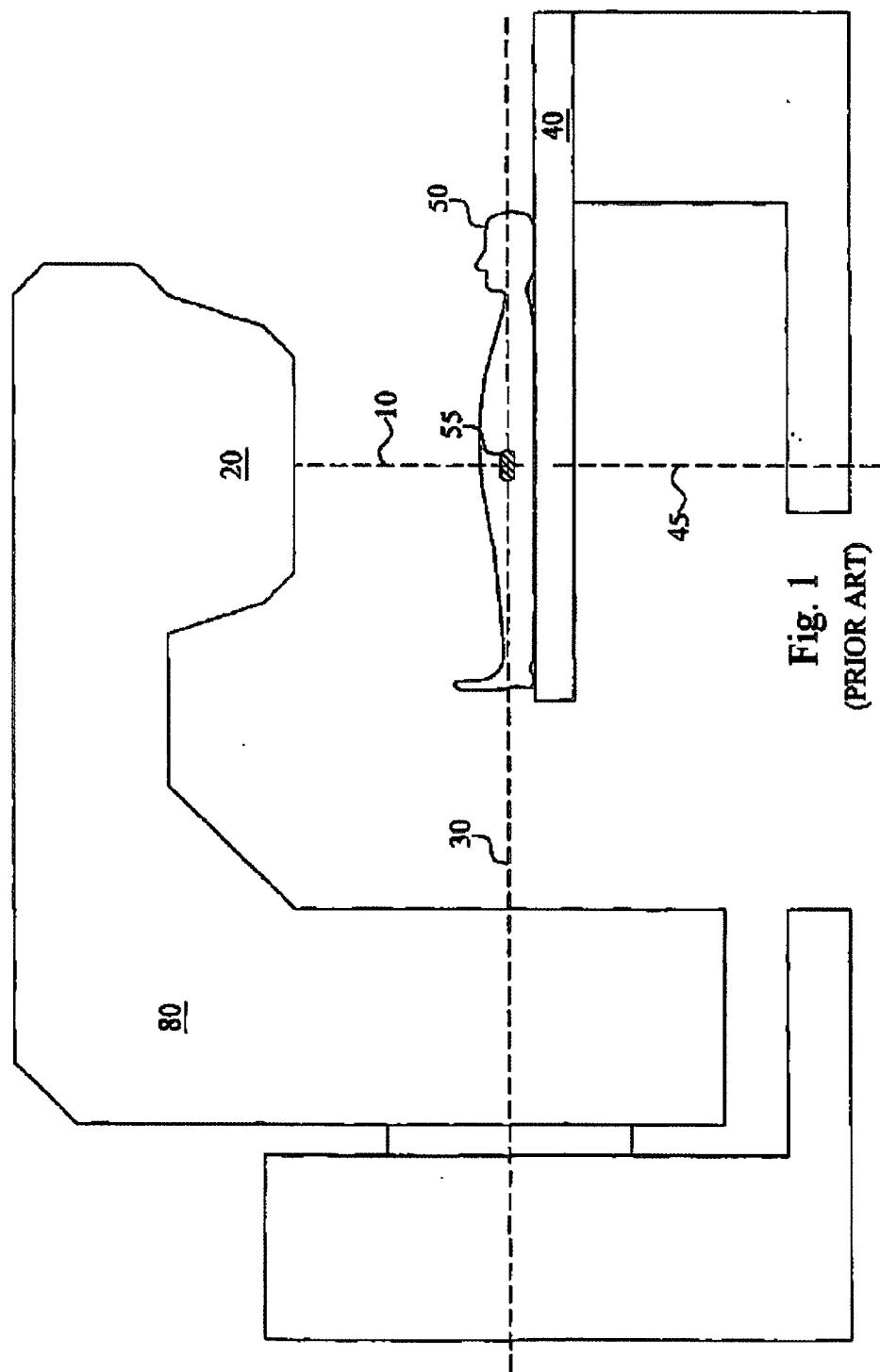


Fig. 2

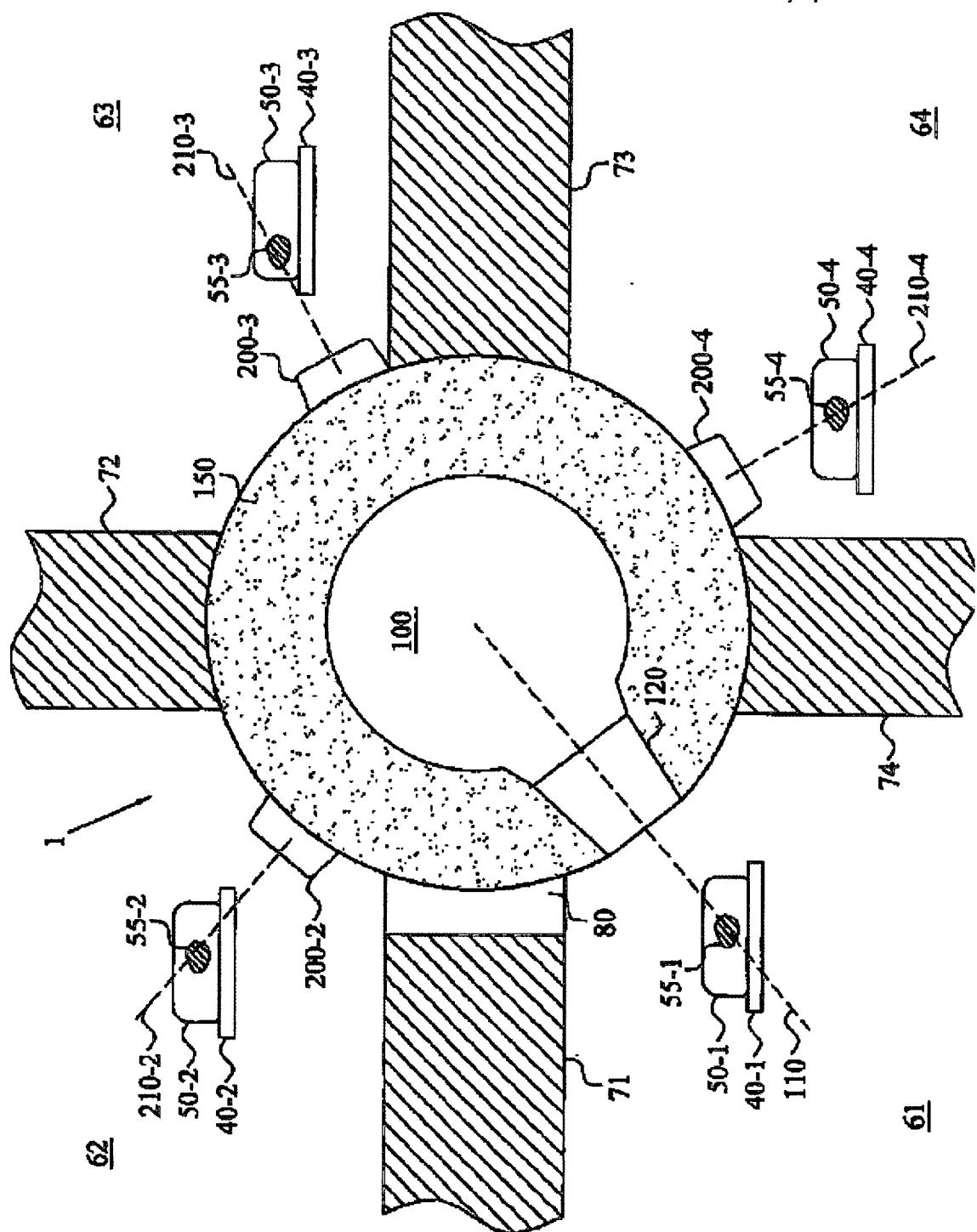
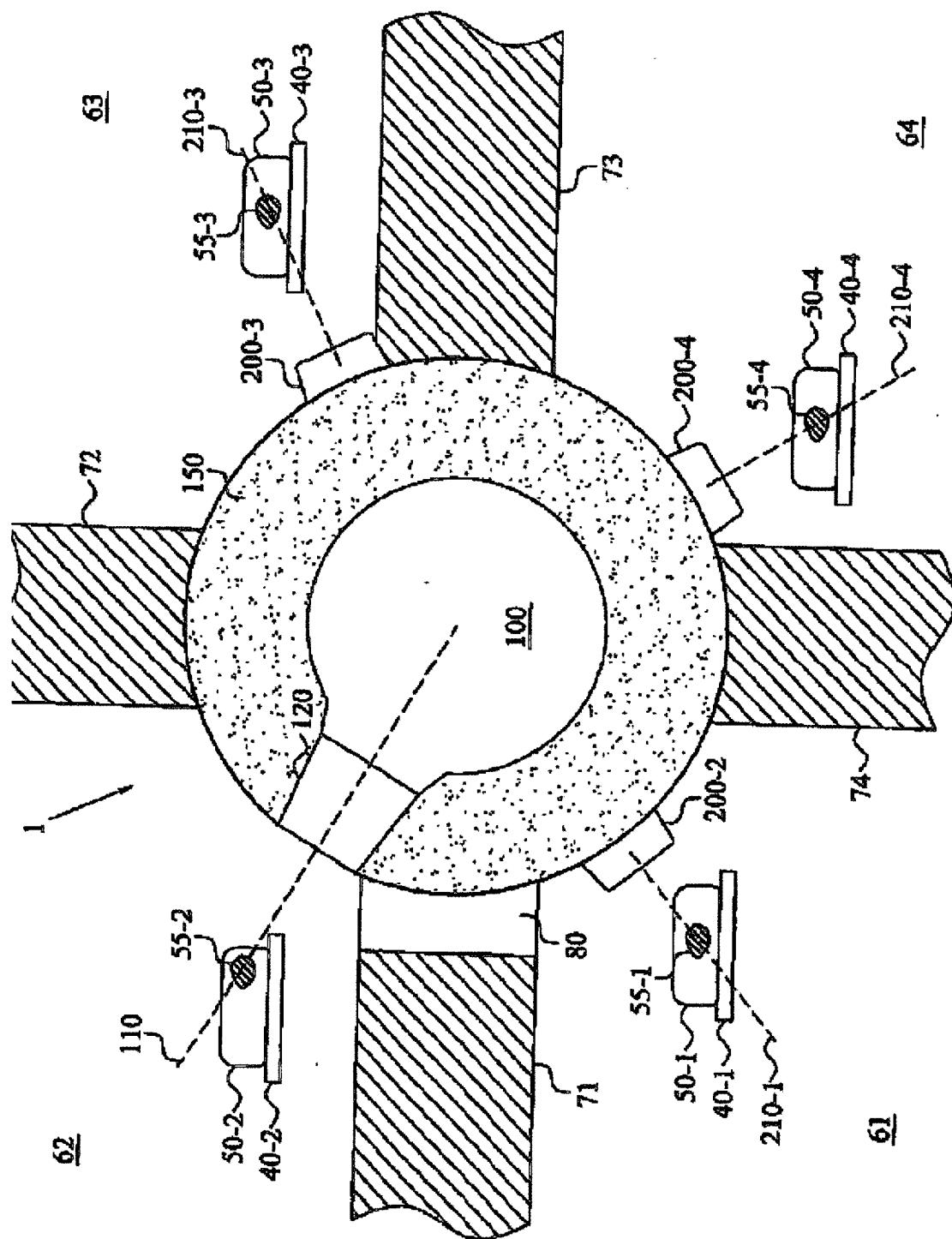


Fig. 3



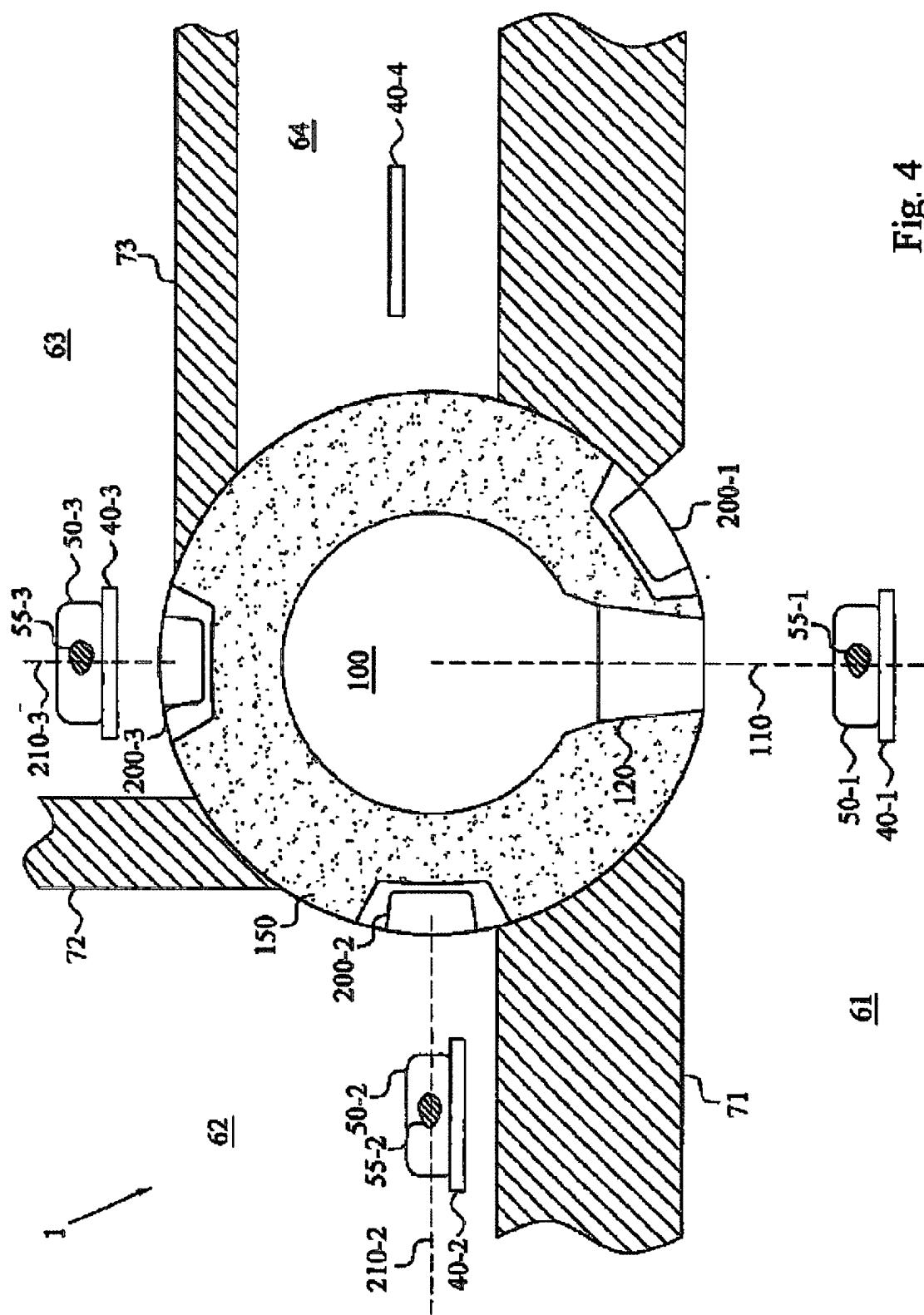
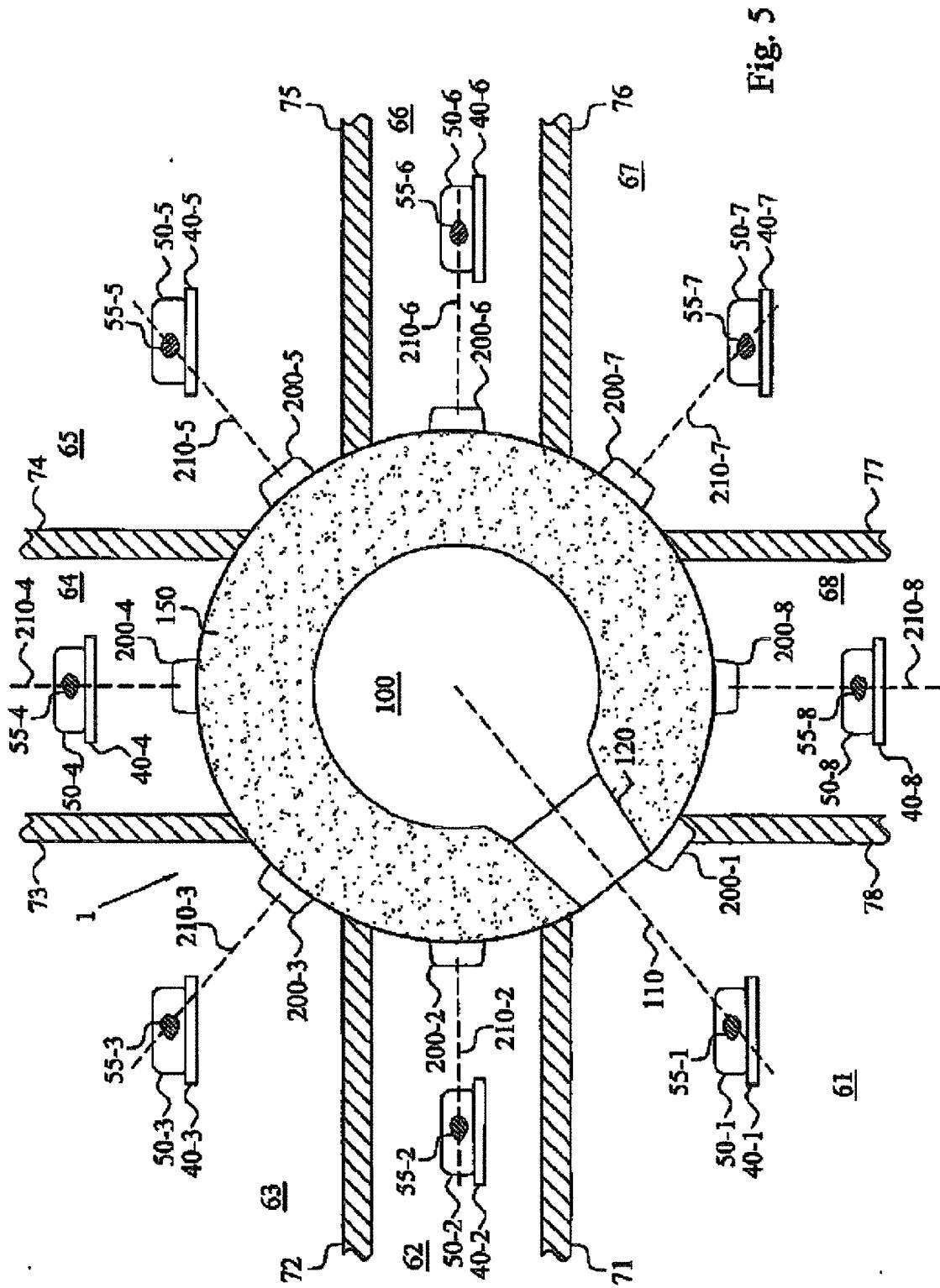
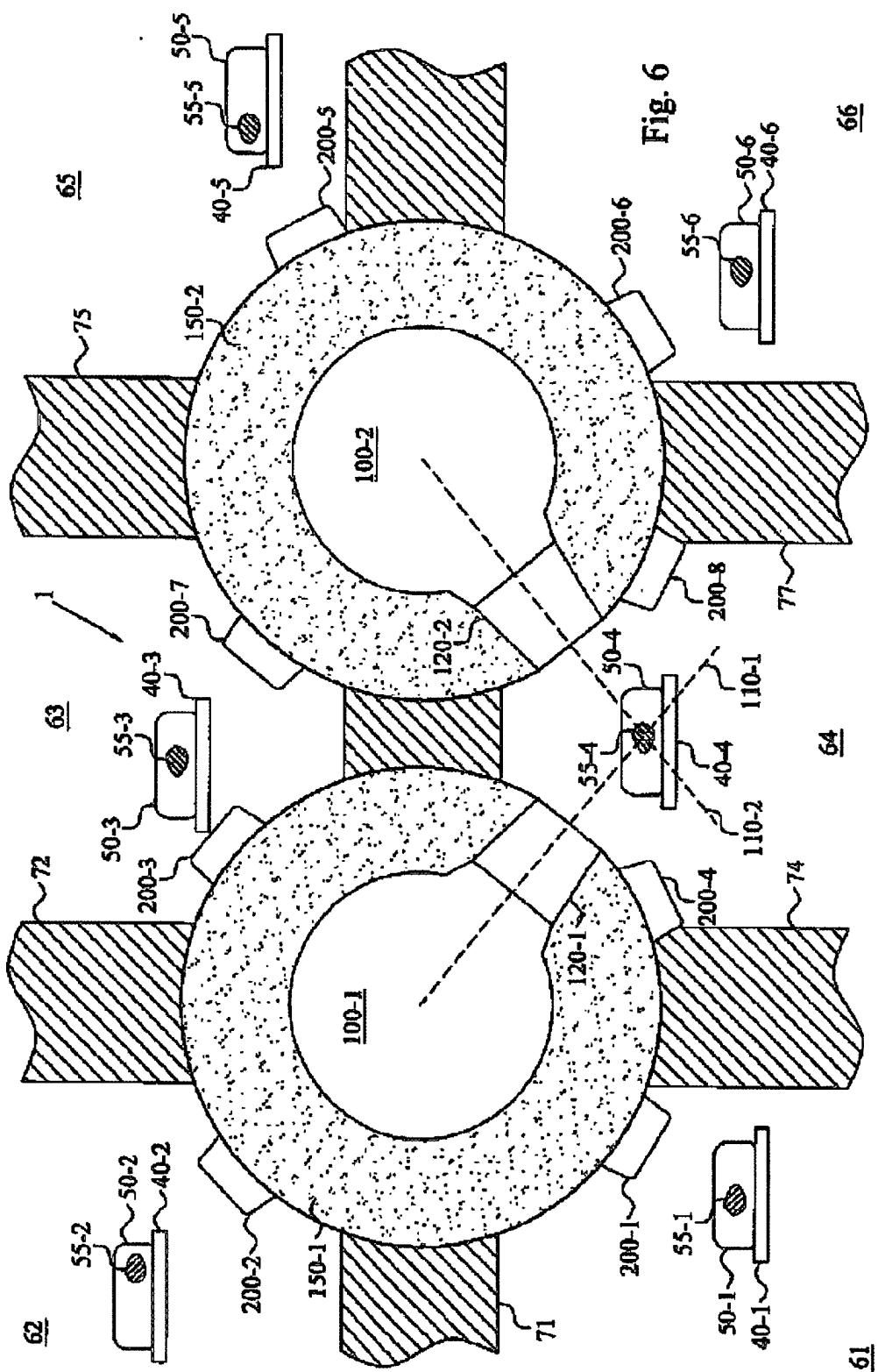


Fig. 4





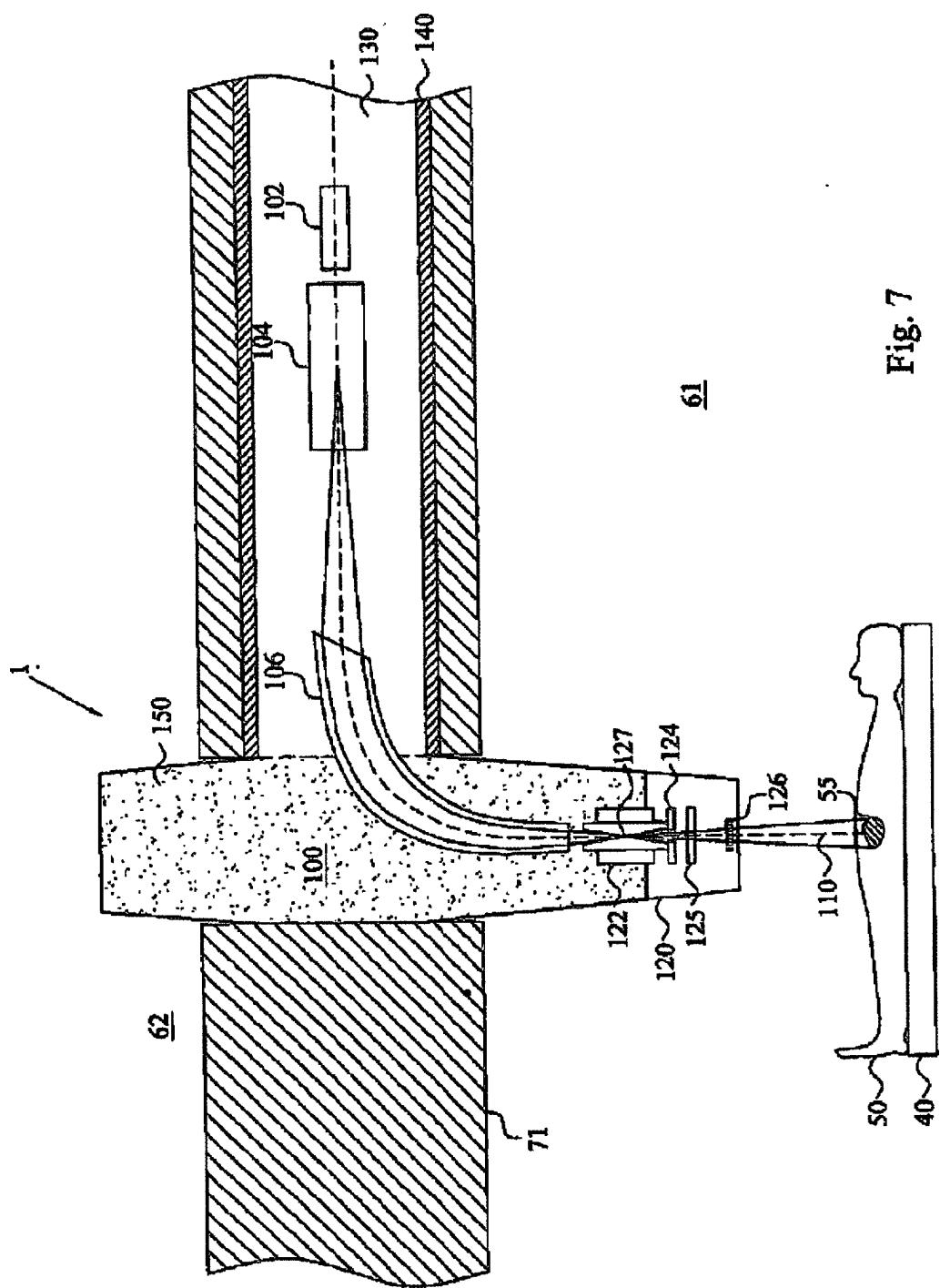
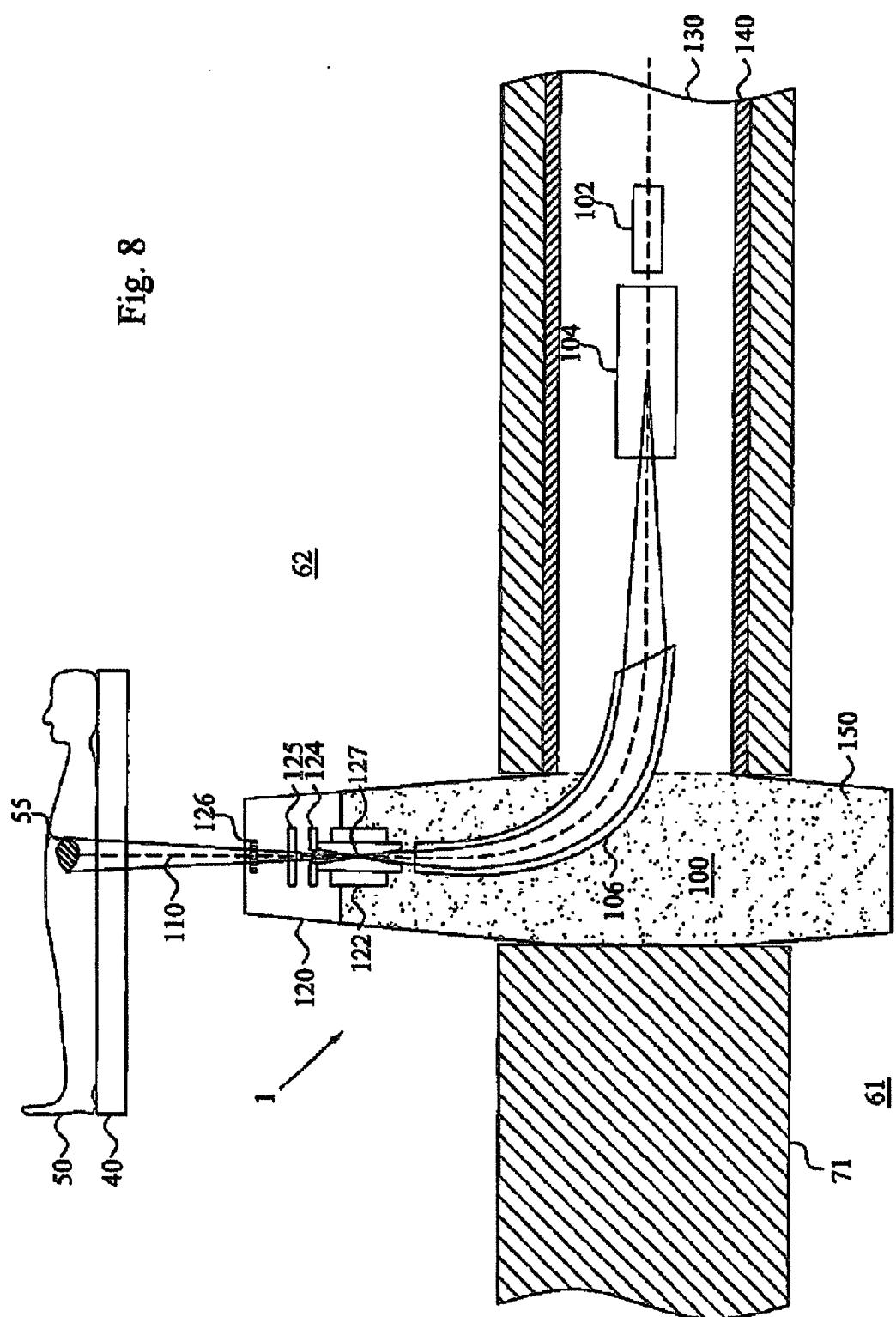
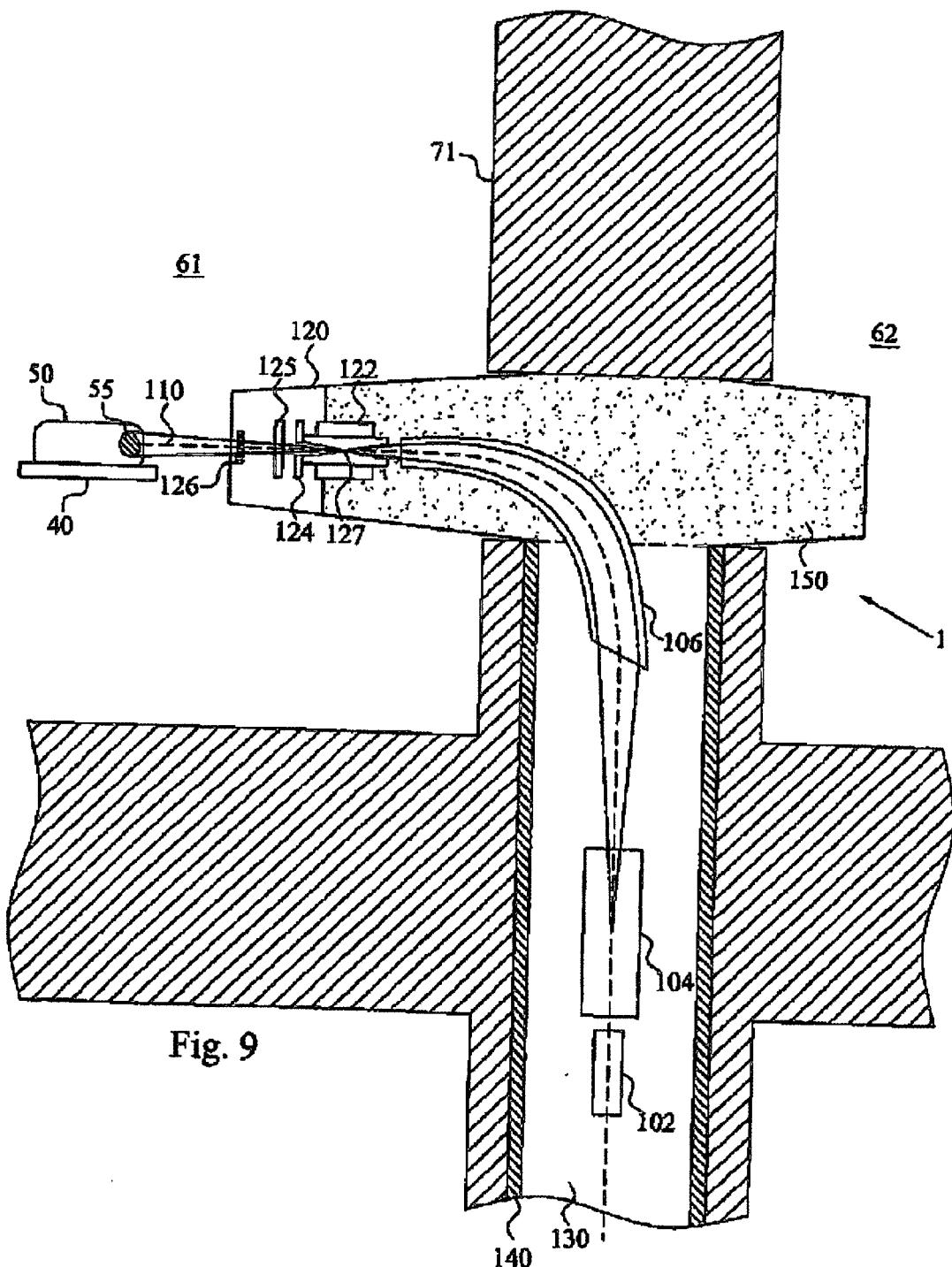


Fig. 7

Fig. 8





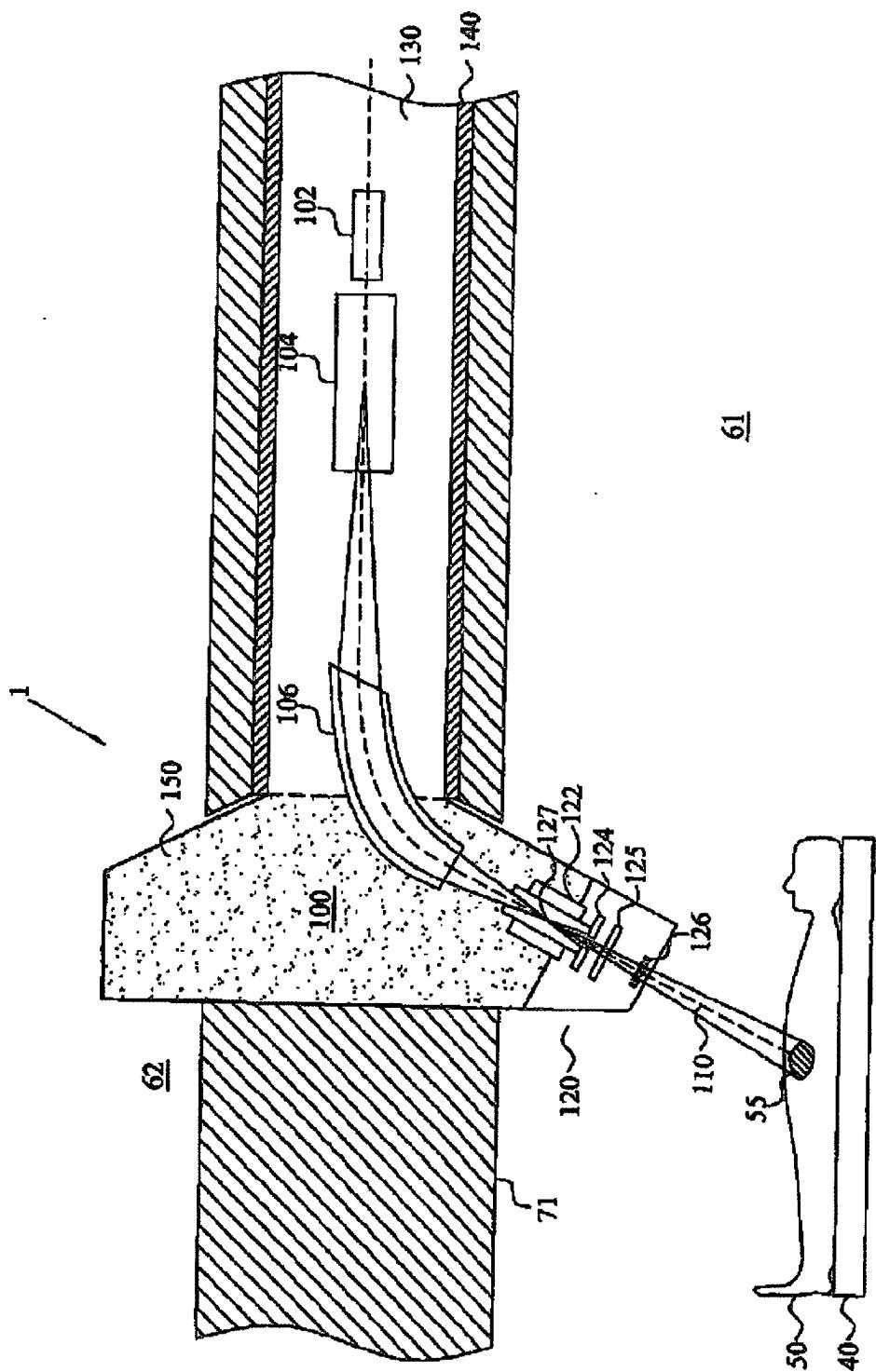


Fig. 10

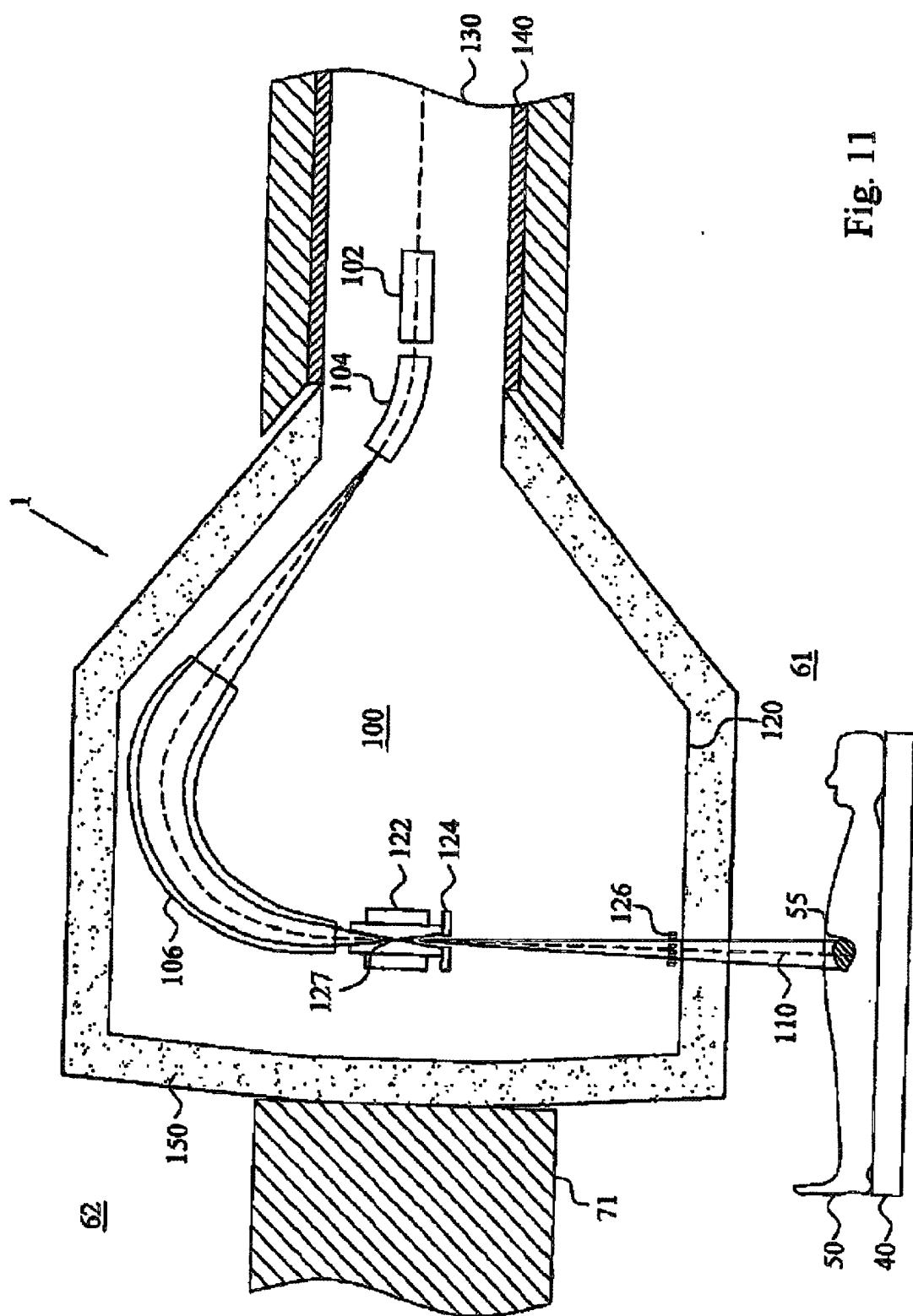


Fig. 11