



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 034 912 B4 2007.10.04**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 034 912.9**

(22) Anmeldetag: **26.07.2005**

(43) Offenlegungstag: **08.02.2007**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **04.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **A61N 5/10 (2006.01)**
G21K 5/10 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Rietzel, Eike, Dr., 64289 Darmstadt, DE

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

US 61 48 272 A

US 60 38 284 A

US 56 63 999 A

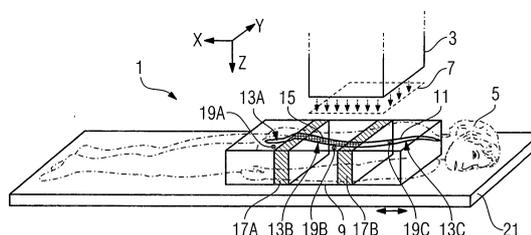
EP 15 84 353 A1

S.O. Görzinger, "Volume conformal irradiation of moving target volumes with scanned ion beams", Dissertation, Darmstadt, 2004, S. 35-37;

(54) Bezeichnung: **Partikeltherapieanlage, Verfahren zum Bestimmen von Steuerparametern einer derartigen Therapieanlage, Strahltherapieplanungs Vorrichtung und Bestrahlungsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung von Steuerparametern einer Therapieanlage für einen Bestrahlungsvorgang eines zu bestrahlenden Volumens aus einer Bestrahlungsrichtung, wobei das Volumen aus einer Vielzahl von Volumenelementen besteht, wobei jedem der Volumenelemente eine zu applizierende Partikelzahl zugeordnet ist und wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes Scanvolumen, mit folgenden Verfahrensmerkmalen:

- Automatisches Aufteilen des zu bestrahlenden Volumens in mehrere Subvolumina, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente in mindestens einem Subvolumen enthalten ist,
- Automatisches Bestimmen einer Patienten- und/oder Patientenhalterungsposition als Steuerparameter, bei der eines der Subvolumina im Scanbereich angeordnet ist,
- Automatisches Bestimmen einer Subpartikelzahl für jedes Volumenelement eines Subvolumens als Steuerparameter, so dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der erforderlichen Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Partikeltherapieanlage zum Bestrahlen eines zu bestrahlenden Volumens eines Patienten mit einem Scan-System, mit dem eine Strahlage eines Partikelstrahls im Bereich eines Scanbereichs in zwei Dimensionen einstellbar ist, mit einer Positioniervorrichtung zur Positionierung des zu bestrahlenden Volumens des Patienten in Bezug zum Scanbereich, wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch den Scanbereich bestimmtes Scanvolumen, und mit einer Ansteuereinheit zur Ansteuerung des Rastersan-Systems und der Positioniervorrichtung. Ferner betrifft die Erfindung die Planung und Durchführung einer Bestrahlung mit einer derartigen Anlage sowie eine Strahlentherapieplanungs Vorrichtung.

[0002] Eine Partikeltherapieanlage weist üblicherweise eine Beschleunigereinheit und ein Hochenergiestrahlführungssystem auf. Die Beschleunigung der Partikel, z.B. Protonen, Kohlenstoff- oder Sauerstoffionen, erfolgt beispielsweise mit Hilfe eines Synchrotrons oder Zyklotrons.

[0003] Das Hochenergiestrahlsystem führt die Partikel von der Beschleunigereinheit zu einem oder mehreren Behandlungsräumen. Man unterscheidet zwischen „fixed beam“ Behandlungsräumen, in denen die Partikel aus einer festen Richtung auf den Behandlungsplatz treffen, und so genannten Gantry-basierten Behandlungsräumen. Bei letzteren ist es möglich, den Partikelstrahl aus verschiedenen Richtungen auf den Patienten zu richten.

[0004] Ferner unterscheidet man zwischen so genannten Scanning- und Scattering-Techniken. Während letztere einen großflächigen auf die Ausmaße des zu bestrahlenden Volumens angepassten Strahl verwendet, wird bei der Scanning-Technik ein so genannter „pencil beam“ von wenigen Millimetern bis Zentimetern Durchmesser über das zu bestrahlende Volumen gescannt. Bei der Ausführung eines Scan-Systems als Raster-System wird der Partikelstrahl „punktweise“ solange auf ein Volumenelement des Rasters gelenkt, bis eine zuvor definierte Partikelzahl appliziert ist. Es werden alle Volumenelemente im Scanbereich nacheinander bestrahlt, wobei die Ausdehnung der Pencil Beams überlappt. Die Partikelzahlen für ein Volumenelement tragen nicht nur in diesem Volumenelement zur Dosis bei, sondern sie tragen entlang des gesamten Partikelweges zur Dosis bei.

[0005] Ein Kontroll- und Sicherheitssystem der Partikeltherapieanlage gewährleistet, dass jeweils ein mit den erbetenen Parametern charakterisierter Partikelstrahl in den entsprechenden Behandlungsraum geleitet wird. Die Parameter werden im so genannten Behandlungs- oder Therapieplan definiert. Dieser

gibt an, wie viele Teilchen aus welcher Richtung mit welcher Energie auf den Patienten bzw. die Volumenelemente treffen sollen. Die Energie der Partikel bestimmt die Eindringtiefe der Partikel in den Patienten, d.h. den Ort, an dem das Maximum der Wechselwirkung mit dem Gewebe bei der Partikeltherapie erfolgt; in anderen Worten, den Ort, an dem das Maximum der Dosis deponiert wird. Während der Behandlung befindet sich das Maximum der deponierten Dosis innerhalb des Tumors (oder im Fall von anderen medizinischen Anwendungen des Partikelstrahls im jeweiligen Zielgebiet). Des Weiteren steuert das Kontroll- und Sicherheitssystem eine Positioniervorrichtung, mit der der Patient in Bezug zum Partikelstrahl positioniert wird.

[0006] Derartige Partikeltherapieanlagen mit einem Scanning-System sind z.B. aus EP 0 986 070 oder aus „The 200-MeV proton therapy project at the Paul Scherrer Institute: Conceptual design and practical realization“, E. Pedroni et al., Med. Phys. 22, 37-53 (1995) bekannt.

[0007] Bei der Behandlungsplanung werden üblicherweise mehrere Bestrahlungsfelder mit verschiedenen Einfallswinkeln einzeln geplant. Jedes Bestrahlungsfeld ist auf das Scanning-System abgestimmt, d.h. bei der Planung werden jeweils Felder individuell geplant, deren Ausmaße durch einen Scanbereich des Scanning-Systems begrenzt sind. Der Scanbereich ist durch die maximale Ablenkung des Partikelstrahls gegeben. Dabei unterscheidet man zwischen 2D-Scanning (die Ablenkung des Partikelstrahls erfolgt in zwei Richtung) und 1D-Scanning. Im 1D-Scanning wird zusätzlich der Patient schrittweise bewegt, um auch in der zweiten Dimension bestrahlen zu können.

[0008] Problematisch wird die Bestrahlung eines Volumens, das größer ist als ein maximales, durch den Scanbereich des Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes, Scanvolumen. Ein Beispiel dafür ist z.B. die Behandlung einer Krebserkrankung der Wirbelsäule. Bei einer Länge von z.B. 60 cm kann die Wirbelsäule nicht bei Verwendung einer Scanvorrichtung mit einem Scanbereich von beispielsweise 40 cm × 40 cm in einem Bestrahlungsvorgang bestrahlt werden. Zur Lösung eines derartigen Problems wird z.B. in „The 200-MeV proton therapy project at the Paul Scherrer Institute: Conceptual design and practical realization“ vorgeschlagen, zwei Felder zu planen, die sich überlappen, wobei sich im Überlappungsbereich die Dosen der einzelnen Felder addieren. Zwischen der Bestrahlung der beiden Felder wird der Patient um den notwendigen Abstand bewegt. Üblicherweise bedingt dieses so genannte „Field Patching“ eine erneute Überprüfung der Position des Patienten relativ zum Scan-System, um Fehlpositionierungen zu vermeiden.

[0009] Die EP 1 584 353 A1, die vor dem Anmeldetag dieser Anmeldung eingereicht wurde, die jedoch nach dem Anmeldetag dieser Anmeldung veröffentlicht wurde, offenbart ein System für die Durchführung einer Protonentherapie. Unter anderem wird vorgeschlagen, dass – falls ein Zielvolumen größer ist als der Scanbereich der Protonentherapieeinrichtung – das Zielvolumen in mehrere, teilweise überlappende Sub-Volumina aufgeteilt wird, die sukzessive bestrahlt werden.

[0010] Die US 6,148,272 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Berechnung von Bestrahlungsdosen mithilfe einer Monte-Carlo-Simulation.

[0011] Die US 5,663,999 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Optimierung eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes.

[0012] Die US 6,038,284 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren für die Strahlentherapie, bei der ein Kompensationsfaktor für die Dosis zu Beginn eines Bestrahlungszyklus angewendet wird.

[0013] In der Dissertation "Volume Conformal Irradiation of Moving Target Volumes with Scanned Ion Beams", Grözinger, Darmstadt 2004, wird unter anderem ein Verfahren für die Bestrahlung eines sich bewegenden Zielvolumens beschrieben.

[0014] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, die Planung und Durchführung einer Bestrahlung eines Volumens, das größer ist ein maximales, durch den Scanbereich des Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes, Scanvolumen, zu vereinfachen. Eine weitere Aufgabe ist es, Vorrichtungen anzugeben, die die Planung bzw. die Bestrahlung vereinfachen.

[0015] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung von Steuerparametern einer Therapieanlage nach Anspruch 1, durch eine Strahlentherapieplanungsvorrichtung nach Anspruch 7, durch ein Bestrahlungsverfahren nach Anspruch 8, durch eine Partikeltherapieanlage nach Anspruch 10 sowie durch eine Anwendung einer Partikeltherapieanlage nach Anspruch 11.

[0016] Gemäß Anspruch 1 werden Steuerparameter einer Therapieanlage bestimmt, die einen Bestrahlungsvorgang charakterisieren, bei dem ein zu bestrahlendes Volumen aus einer, d.h. aus im Wesentlichen der gleichen, Bestrahlungsrichtung bestrahlt wird. Unter Bestrahlungsvorgang ist dabei eine zeitlich abgeschlossene Einheit bei der Bestrahlung zu verstehen. Einem derartigen Bestrahlungsvorgang geht beispielsweise eine Ausrichtung und Positionsverifikation eines Patienten voraus, der z.B. auf einer Patientenhalterungsvorrichtung einer Positioniervorrichtung der Therapieanlage positioniert ist. An die Positionsverifikation schließt sich dann die Be-

strahlung des Volumens aus einer festen Bestrahlungsrichtung an.

[0017] Ausgangspunkt für das Verfahren zur Bestimmung von Steuerparametern ist, dass das Volumen in eine Vielzahl von Volumenelementen untergliedert ist und jedem Volumenelement eine zu applizierende Teilchenzahl zugeordnet wurde, die den Therapieerfolg bewirken soll. Das Volumen ist dabei größer als das maximale Scanvolumen des Scan-Systems. Eine derartig umfassende Dosisverteilung wird bei heutigen Therapieplanungsvorgängen nicht durchgeführt, da üblicherweise die zu applizierenden Teilchenzahlen von Volumenelementen nur für jeweils ein Bestrahlungsfeld geplant werden, wobei die Ausmaße des mit dem Bestrahlungsfeld bestrahlten Volumens durch den Scanbereich gegeben sind.

[0018] Das Verfahren zur Bestimmung von Steuerparametern bezieht sich ferner auf ein zu bestrahlendes Volumen, das größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes Scanvolumen. Erfindungsgemäß wird das zu bestrahlende Volumen in mehrere Subvolumina aufgeteilt, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente mindestens in einem Subvolumen enthalten ist. Durch ein derartiges Aufteilen ist gewährleistet, dass jedes Volumenelement im Bestrahlungsvorgang bestrahlt wird. Allerdings können Volumenelemente mehrfach bestrahlt werden, wenn sie zu mehreren Subvolumina gehören. Dies ist der Fall, wenn sich Subvolumina überlappen.

[0019] Ausgehend von der Aufteilung in Subvolumina wird eine Patienten- und/oder Patientenhalterungsposition bestimmt, bei der eines der Subvolumina im Scanbereich angeordnet ist. Um das gesamte zu bestrahlende Volumen bestrahlen zu können, ist ein derartiger Steuerparameter für jedes Subvolumen vonnöten, wobei hier neben der absoluten Position der Subvolumina es auch ausreichend ist, ausgehend von einer bekannten absoluten Position des Subvolumens relative Positionen der verbleibenden Subvolumina zu bestimmen.

[0020] Des Weiteren wird für jedes Volumenelement eines Subvolumens eine Subpartikelzahl bestimmt. Diese Subpartikelzahl dient als Steuerparameter für die Therapieanlage. Werden alle Subvolumina entsprechend den Subpartikelzahlen bestrahlt, ergibt sich als Bedingung für die Subpartikelzahl, dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der erforderlichen Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht.

[0021] Ein Vorteil des Verfahrens zur Bestimmung von Steuerparametern liegt darin, dass ein Benutzer,

nachdem einmal eine Dosisverteilung über das zu bestrahlende Volumen geplant wurde, diese Dosisverteilung automatisch in einem Bestrahlungsvorgang umgesetzt wird, der es erlaubt, das zu bestrahlende Volumen mit einem kleineren Scanvolumen zu bestrahlen. Die aufwändige Planung von mehreren Bestrahlungsfeldern entfällt und der Benutzer gewinnt Zeit.

[0022] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform gibt der Benutzer die Lage eines ersten Subvolumens in Bezug zum Volumen an, indem er z.B. ein erstes der Subvolumina im Volumen anordnet. Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn der Benutzer eine Größe eines Überlappungsbereichs zwischen Subvolumina vorgibt. Dazu wird beispielsweise der Überlappungsbereich auf einer Darstellungseinheit angezeigt. Dies ermöglicht dem Benutzer ferner die Anordnung und Größe der Überlappungsbereiche nachträglich zu überprüfen und evtl. zu korrigieren. Allgemein ist es zur Überprüfung des Verfahrens zur Bestimmung von Steuerparametern vorteilhaft, die Position der Subvolumina und/oder die Subpartikelzahl-Verteilungen auf der Darstellungseinheit anzuzeigen. Dies ermöglicht dem Benutzer eine visuelle Überprüfung des Ergebnisses der Aufteilung und der damit im Zusammenhang stehenden Steuerparameter.

[0023] Bevorzugt wird im Überlappungsbereich die Aufteilung von Subpartikelzahlen eines Volumenelements für zwei oder mehr Subvolumina vorgegeben. Dazu ist es beispielsweise vorteilhaft, eine Steilheit einer „Dosisrampe“, d.h. Subpartikelzahl-Rampe, im Überlappungsbereich vorzugeben.

[0024] Eine Strahlentherapieplanungsrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens umfasst Mittel zum automatischen Aufteilen des zu bestrahlenden Volumens in mehrere Subvolumina, Mittel zum automatischen Bestimmen von Steuerparametern zum Positionieren der Subvolumina im Scanbereich des Scan-Systems und Mittel zum automatischen Bestimmen von Subpartikelzahlen für jedes Volumenelement eines Subvolumens.

[0025] Das Bestrahlungsverfahren nach der Erfindung zur Bestrahlung eines Patienten mit hochenergetischen Partikeln einer Therapieanlage weist zum Beispiel in einer Ausführungsform einen Bestrahlungsvorgang auf, der auf Subvolumina basiert, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente mindestens in einem Subvolumen enthalten ist. Dem Bestrahlungsvorgang geht voraus, dass der Patient einmalig eine Bestrahlungshaltung einnimmt. Dies geschieht beispielsweise auf einer Patientenhalterungsvorrichtung einer Positioniervorrichtung der Therapieanlage, z.B. auf einem Patientenstuhl oder auf einer Patientenliege. Vorzugsweise

wird der Patient in dieser Bestrahlungshaltung, z.B. sitzend, liegend oder stehend, fixiert und es wird mittels einer Bildgebungsvorrichtung eine Positionsverifikation durchgeführt.

[0026] Im Bestrahlungsvorgang werden zeitlich aufeinander folgend die Subvolumina im Scanbereich positioniert und aus der gleichen Bestrahlungsrichtung bestrahlt. Durch Ansteuern des Scan-Systems werden somit nebeneinander angeordnete Volumenelemente innerhalb des Scanbereichs mit Subpartikelzahlen derart bestrahlt, dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der zuvor geplanten Partikelzahl entspricht.

[0027] Ein Vorteil dieses Bestrahlungsverfahrens liegt darin, dass die Bestrahlung eines Volumens, das größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems bestimmtes Scanvolumen automatisch ohne weitere Eingriffe eines Benutzers durchgeführt werden kann. D.h., die Bestrahlung und Änderung der Patientenposition werden automatisch in der erforderlichen Reihenfolge durchgeführt, wobei eventuell eine Freigabe durch den Bediener beispielsweise für eine eventuell größere benötigte Verschiebung eingeholt werden muss. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass aufgrund der engen zeitlichen Abfolge der Bestrahlungen der Subvolumina Ungenauigkeiten in der Patientenpositionierung minimiert werden, so dass eine einzige Positionsverifikation des Patienten vor dem Bestrahlungsvorgang ausreicht.

[0028] Zusätzlich können eventuelle Haltungsänderungen oder Positionsänderungen des Patienten in ihrer Auswirkung auf die applizierte Dosisverteilung minimiert werden, indem im Überlappungsbereich die Verteilung der Subpartikelzahlen rampenförmig zum Rand des Subvolumens abfällt. Alternativ können Bestrahlungsvorgänge für z.B. verschiedene Tage mit unterschiedlich angeordneten Subvolumina geplant werden, so dass eventuelle Dosischwankungen aufgrund von Fehlpositionierungen räumlich variiert werden. Voraussetzung für die Überlappung von Subvolumina und die kontrollierte Dosisüberlagerungen im Überlappungsbereich ist die Verfügbarkeit eines Scan-Systems, mit dem die Strahlage eines Partikelstrahls im Bereich eines Scanbereichs in zwei Dimensionen einstellbar ist, so dass auf der Ebene von Volumenelementen die wirkenden Dosen akkumuliert werden können.

[0029] In einer Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Partikeltherapieanlage zum Bestrahlen eines zu bestrahlenden Volumens eines Patienten ein Scan-System, mit dem eine Strahlage eines Partikelstrahls im Bereich eines Scanbereichs in zwei Dimensionen einstellbar ist, eine Positioniervorrichtung zum Positionieren des zu bestrahlenden Volumens des Patienten relativ zum Scan-System und eine An-

steuereinheit zur Ansteuerung des Scan-Systems und der Positioniervorrichtung. Die Partikeltherapieanlage ist ferner zur Durchführung einer Bestrahlung ausgebildet, bei der zeitlich aufeinander folgend in einem Bestrahlungsvorgang Subvolumina im Scanbereich positioniert und aus einer Bestrahlungsrichtung bestrahlt werden. Dazu ist die Ansteuereinheit zur Verarbeitung von Steuerparametern ausgebildet, die ein Positionieren der Subvolumina im Scanbereich des Scan-Systems und die das Bestrahlen eines Volumenelements des Subvolumens mit einer Subpartikelzahl derart ermöglichen, dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements einer geplanten Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht.

[0030] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

[0031] Es folgt die Erläuterung von mehreren Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#). Es zeigen:

[0032] [Fig. 1](#) eine schematische Aufsicht auf eine beispielhafte Partikeltherapieanlage,

[0033] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm zur Verdeutlichung eines Bestrahlungsvorgangs und

[0034] [Fig. 3](#) eine Skizze zur Verdeutlichung der Aufteilung eines zu bestrahlenden Volumens in Subvolumina.

[0035] [Fig. 1](#) zeigt schematisch einen Bestrahlungsplatz **1** einer Partikeltherapieanlage. Man erkennt schematisch ein ScanSystem **3** und einen darunter liegenden Patienten **5**. Der Bestrahlungsplatz **1** ist Teil einer Partikeltherapieanlage mit einem Beschleunigersystem und einer Hochenergiestrahlführung (beide nicht dargestellt), in denen Partikel, d.h. insbesondere Ionen wie z.B. Protonen oder Kohlenstoffionen, auf Energien bis zu einigen 100 MeV beschleunigt werden. Mit dem Scan-System **3** kann der Strahl vorzugsweise parallel in einem Scanbereich **7** in seiner Strahlage eingestellt werden. Dieser Scanbereich weist beispielsweise eine Größe von 40 cm × 40 cm auf. Der Scanbereich begrenzt ein maximales Scanvolumen **9** in der X-Y-Ebene (bei unbewegtem Patienten). Die Ausdehnung des Scanvolumens **9** in Z-Richtung ist von der Energie der Partikel abhängig.

[0036] In [Fig. 1](#) soll beispielhaft eine Wirbelsäule **11** des Patienten **5** bestrahlt werden, d.h., das zu bestrahlende Volumen ist größer als ein maximales, durch den Scanbereich **7** bestimmtes Scanvolumen **9**. Dabei ist „größer“ in dem Sinne zu verstehen, dass die Ausmaße des zu bestrahlenden Volumens mindestens in einer Richtung größer sind als die Ausma-

ße des Scanvolumens, d.h., dass das zu bestrahlende Volumen nicht in das Scanvolumen **9** passt.

[0037] Aus diesem Grund erfolgt die Bestrahlung des zu bestrahlenden Volumens, in [Fig. 1](#) der Wirbelsäule **11**, in einem Bestrahlungsvorgang, bei dem drei Subvolumina **13A**, **13B**, **13C**, bestrahlt werden. Zur Verdeutlichung sind im Subvolumen **13B** Volumenelemente **15** eingezeichnet.

[0038] Bei der Therapieplanung werden für alle Volumenelemente **15** des zu bestrahlenden Volumens Partikelzahlen bestimmt. Die Bestimmung erfolgt so, dass eine geplante Dosisverteilung bewirkt wird, d.h. dass bei einer Bestrahlung aller Volumenelemente **15** in Z-Richtung in jedem Volumenelement die gewünschte Dosis appliziert wird.

[0039] Bei der Therapieplanung ist dazu das zu bestrahlende Volumen in die drei Subvolumina **13A**, **13B** und **13C** aufgeteilt, wobei jedes der Volumenelemente in mindestens einem Subvolumenelement enthalten ist. Man erkennt ferner Überlappungsbereiche **17A** und **17B**. Volumenelemente innerhalb dieser Überlappungsbereiche **17A** und **17B** werden bei der Bestrahlung zweier Subvolumina bestrahlt. Die Aufteilung der Subpartikelzahlen auf die zweifache Bestrahlung bei der Bestrahlung der beiden Subvolumina erfolgt beispielsweise rampenförmig (siehe zur Verdeutlichung [Fig. 2](#)).

[0040] Jedem Subvolumen **13A**, **13Bb**, **13C** ist ein Zentrum **19A**, **19B**, **19C** zugeordnet, wobei bei der Bestrahlung eines der Subvolumina das jeweilige Zentrum mit dem Isozentrum des Scan-Systems **3** zusammenfällt. In [Fig. 1](#) fällt das Zentrum **19B** des Scanvolumens **13B** mit dem Isozentrum des Scan-Systems **3** zusammen. Während der Bestrahlung wird die Patientenhalterungsvorrichtung **21**, im vorliegenden Fall eine Patientenliege, derart bewegt, dass die Zentren der Subvolumina zeitlich aufeinander folgend im Isozentrum des Scan-Systems **3** positioniert werden.

[0041] [Fig. 2](#) verdeutlicht anhand eines schematisch im Schnitt dargestellten Volumens **31** die Aufteilung in drei Subvolumina **33A**, **33B**, **33C** mit den Zentren **35A**, **35B**, **35C**. Bei der Aufteilung des zu untersuchenden Volumens **31** wird vorzugsweise ein Volumenelement **37** oder eine Grenze des Volumens **31** vorgegeben, von dem ausgehend die Aufteilung erfolgt. Zusätzlich wird bevorzugt eine Größe von Überlappungsbereichen **39** vorgegeben.

[0042] Des Weiteren ist in der rechten Hälfte der [Fig. 2](#) die Bestrahlung in Z-Richtung charakterisiert. Die zugehörigen Subpartikelzahlverteilungen für die drei Subvolumina **33A**, **33B**, **33C** für einen Scan in X-Richtung sind durch die Pfeillängen angedeutet. Man erkennt in den Übergangsbereichen **39** einen

rampenartigen Abfall der Subpartikelzahlverteilungen (Pfeillängen) zum Rand der Subvolumina **33A** bzw. **33B**. Dabei ist alternativ jede Art der Aufteilung der Subpartikelzahlen im Übergangsbereich vorstellbar. Die rampenartige Ausbildung der Subpartikelzahlverteilungen hat den Vorteil, dass die Bestrahlung unempfindlich gegenüber Fehlpositionierungen in X-Richtung wird.

[0043] Allgemein kann je nach Lage und Ausbildung des zu bestrahlenden Volumens **31** der Patient bei der Bestrahlung der verschiedenen Subvolumina beliebig verschoben werden kann. Zum Beispiel findet in [Fig. 2](#) eine Verschiebung des Patienten beim Übergang von Subvolumen **33A** nach Subvolumen **33B** eine Verschiebung nur in X-Richtung statt. Bei einer anschließenden Ausrichtung des Zentrums **35C** auf das Isozentrum ist eine Verschiebung in X- und Y-Richtung notwendig. (Eine Verschiebung eines Zentrums in Z-Richtung entspricht einer Änderung der Partikelenergie.)

[0044] [Fig. 3](#) verdeutlicht beispielhaft den Ablauf eines Bestrahlungsverfahrens mit einem Bestrahlungsvorgang, in dem mehrere Subvolumina bestrahlt werden. Der Bestrahlung geht ein Vorbereitungsschritt **51** voraus, in dem der Patient auf einer Positionier- vorrichtung in der entsprechenden Haltung positioniert und fixiert wird.

[0045] Anschließend wird der Patient entsprechend dem Therapieplan vor dem Scan-System derart positioniert, dass ein erstes der Subvolumina mit seinem Zentrum mit dem Isozentrum des Scan-Systems zusammenfällt. In dieser Position wird eine Positionsverifikation **53** (z.B. mittels bildgebenden Verfahren wie Computertomographie) durchgeführt, um zu überprüfen, die Position und Ausrichtung des zu bestrahlenden Gewebes mit der bei der Therapieplanung vorliegenden Position und Ausrichtung übereinstimmt.

[0046] Ist dies bestätigt, erfolgt eine Bestrahlung **55** des ersten Subvolumens. Nach Abschluss der Bestrahlung **55** wird ein Verschiebevorgang **57** der Patientenlagerungsvorrichtung derart angesteuert, dass das Zentrum eines zweiten der Subvolumina mit dem Isozentrum des Scan-System übereinstimmt. Nun erfolgt die Bestrahlung **59** des zweiten Subvolumens. In Abhängigkeit von der Anzahl der zu bestrahlenden Subvolumina wiederholen sich der Vorgang der Ansteuerung der Patientenliege zur Verschiebung des Patienten mit dem Ziel, ein neues Zentrum mit dem Isozentrum des Scan-Systems zu überlagern, und die sich anschließende Bestrahlung solange, bis das zu bestrahlende Volumen entsprechend der vorgegebenen Dosisverteilung bestrahlt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Steuerparame-

tern einer Therapieanlage für einen Bestrahlungsvorgang eines zu bestrahlenden Volumens aus einer Bestrahlungsrichtung, wobei das Volumen aus einer Vielzahl von Volumenelementen besteht, wobei jedem der Volumenelemente eine zu applizierende Partikelzahl zugeordnet ist und wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes Scanvolumen, mit folgenden Verfahrensmerkmalen:

- Automatisches Aufteilen des zu bestrahlenden Volumens in mehrere Subvolumina, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente in mindestens einem Subvolumen enthalten ist,
- Automatisches Bestimmen einer Patienten- und/oder Patientenhalterungsposition als Steuerparameter, bei der eines der Subvolumina im Scanbereich angeordnet ist,
- Automatisches Bestimmen einer Subpartikelzahl für jedes Volumenelement eines Subvolumens als Steuerparameter, so dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der erforderlichen Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem automatischen Aufteilen ein erstes der Subvolumina im Volumen angeordnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Größe eines Überlappungsbereichs vorgegeben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Überlappungsbereich auf einer Darstellungseinheit angezeigt wird und/oder nachträglich korrigierbar ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufteilung von Subpartikelzahlen eines Volumenelements im Überlappungsbereich zweier Subvolumina und/oder eine Steilheit einer durch die Subpartikelzahlen bestimmte Dosisrampe im Übergangsbereich vorgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Position der Subvolumina auf einer Darstellungseinheit angezeigt wird.

7. Strahlentherapieplanungs- vorrichtung zum Erstellen von Steuerparametern einer Therapieanlage für einen Bestrahlungsvorgang eines zu bestrahlenden Volumens aus einer Bestrahlungsrichtung, wobei das Volumen aus einer Vielzahl von Volumenelementen besteht, wobei jedem der Volumenelemente eine Partikelzahl zugeordnet ist und wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems der Therapieanlage be-

stimmtes Scanvolumen, die ausgebildet ist:

- zum automatischen Aufteilen des zu bestrahlenden Volumens in mehrere Subvolumina, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente in mindestens einem Subvolumen enthalten ist,
- zum automatischen Bestimmen von Steuerparametern zum Positionieren der Subvolumina im Scanbereich des Scan-Systems und
- zum automatischen Bestimmen einer Subpartikelzahl für jedes Volumenelement eines Subvolumens als Steuerparameter, so dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der Partikelzahlen dieses Volumenelements entspricht.

8. Bestrahlungsverfahren zur Bestrahlung eines Patienten mit hochenergetischen Partikeln einer Therapieanlage, wobei ein zu bestrahlendes Volumen bestrahlt wird, wobei das Volumen aus einer Vielzahl von Volumenelementen besteht, wobei jedem der Volumenelemente eine Partikelzahl zugeordnet ist und wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch einen Scanbereich eines Scan-Systems der Therapieanlage bestimmtes Scanvolumen,

- wobei das Bestrahlungsverfahren einen Bestrahlungsvorgang aufweist, der auf Subvolumina basiert, wobei jedes der Subvolumina nicht größer ist als das maximale Scanvolumen, und wobei jedes der Volumenelemente mindestens in einem Subvolumen enthalten ist,
- wobei insbesondere dem Bestrahlungsvorgang eine Verifikation einer Bestrahlungsposition des Patienten vorausgeht und
- wobei im Bestrahlungsvorgang zeitlich aufeinander folgend die Subvolumina im Scanbereich positioniert und aus der gleichen Bestrahlungsrichtung bestrahlt werden, wobei durch Ansteuern des Scan-Systems die Volumenelemente innerhalb des Scanbereichs mit Subpartikelzahlen derart bestrahlt werden, dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements der Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht,
- wobei zur Positionierung und Bestrahlung der Subvolumina Steuerparameter der Therapieanlage gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 bestimmt werden.

9. Partikeltherapieanlage zum Bestrahlen eines zu bestrahlenden Volumens eines Patienten

- mit einem Scan-System, mit dem eine Strahlage eines Partikelstrahls im Bereich eines Scanbereichs in zwei Dimensionen einstellbar ist,
- mit einer Positioniervorrichtung zum Positionieren des zu bestrahlenden Volumens des Patienten relativ zum Scan-System, wobei das Volumen größer ist als ein maximales, durch den Scanbereich bestimmtes Scanvolumen,
- mit einer Ansteuereinheit zur Ansteuerung des Rastertersan-Systems und der Positioniervorrichtung,
- mit einer Strahlentherapieplanungsrichtung

nach Anspruch 7,

- wobei die Partikeltherapieanlage zur Durchführung einer Bestrahlung ausgebildet ist, bei der zeitlich aufeinander folgend in einem Bestrahlungsvorgang Subvolumina im Scanbereich positioniert und aus einer Bestrahlungsrichtung bestrahlt werden, und wobei die Ansteuereinheit ausgebildet ist zur Verarbeitung von Steuerparametern
- zum Positionieren der Subvolumina im Scanbereich des Scan-Systems und
- zum Bestrahlen eines Volumenelements des Subvolumens mit einer Subpartikelzahl, so dass die Summe aller Subpartikelzahlen eines Volumenelements einer geplanten Partikelzahl dieses Volumenelements entspricht.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

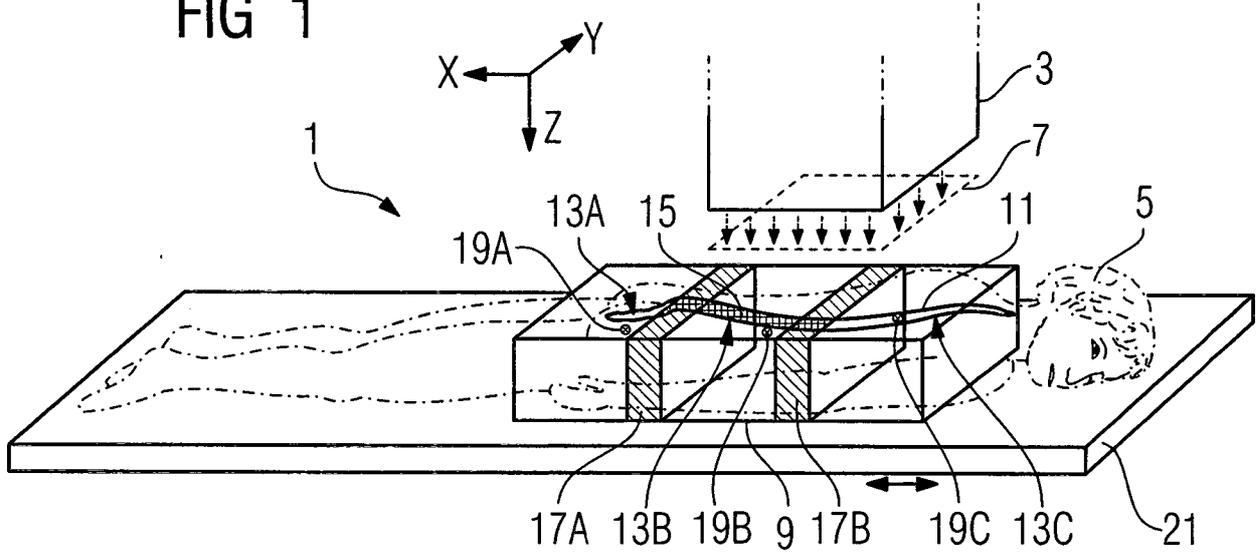


FIG 2

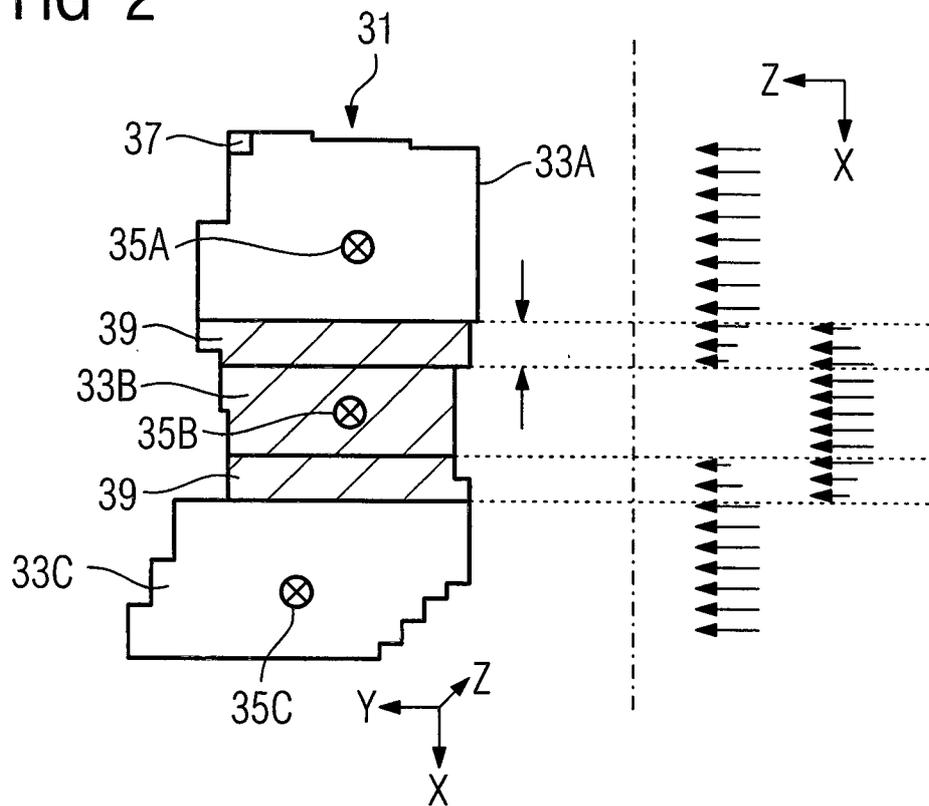


FIG 3

