



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 026 490 B4 2010.03.18**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 026 490.8**

(22) Anmeldetag: **07.06.2006**

(43) Offenlegungstag: **13.12.2007**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **18.03.2010**

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

A61B 6/03 (2006.01)

A61B 6/02 (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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Maschke, Michael, 91475 Lonnerstadt, DE

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

US 68 65 254 B2

US 63 64 526 B2

US 2003/01 28 801 A1

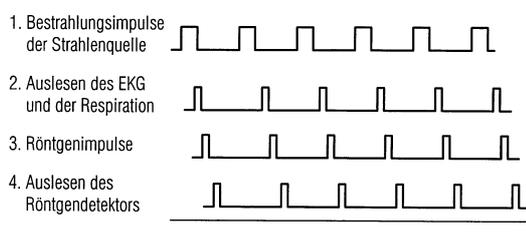
US 2003/00 48 868 A1

WO 2006/0 57 911 A2

**H.Ishijima et al., "Applications of a combined
 angiography/CT system", electromedica 68
 (2000), S. 65-74**

(54) Bezeichnung: **Radiotherapievorrichtung mit Angiographie-CT-Vorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Radiotherapievorrichtung (2) mit einer integrierten Einheit aus einer therapeutischen Bestrahlungseinheit (4) zur Behandlung eines Körperbereichs (8) eines Patienten (10) und einer Bildaufnahmeverrichtung (22) zur Aufnahme von Bildern des Körperbereichs (8) mit einem als Strahlenquelle (26) und einem als Strahlendetektor (28) ausgeführten Element (26, 28), dadurch gekennzeichnet, dass die Bildaufnahmeverrichtung (22) ein Angiographie-CT umfasst und eine Steuereinheit vorhanden ist zur Steuerung einer synchronisierten Bewegung zumindest eines dieser Elemente (26, 28) mit der Strahlenquelle (6) der therapeutischen Bestrahlungseinheit (4) während einer Strahlentherapie.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Radiotherapievorrichtung mit einer integrierten Einheit aus einer therapeutischen Bestrahlungseinheit zur Behandlung eines Körperbereichs eines Patienten und einer Bildaufnahmevorrichtung zur Aufnahme von Bildern des Körperbereichs mit einem als Strahlenquelle und einem als Strahlendetektor ausgeführten Element.

[0002] Bei Tumorerkrankungen oder dergleichen sind eine schnelle und sichere Diagnose und eine sofort eingeleitete Therapie von besonderer Bedeutung für den Genesungsprozess. Die Diagnose derartiger Erkrankungen wird durch bildgebende Verfahren unterstützt. In der Krebstherapie ist die Bestrahlung von Tumoren und Metastasen seit Jahrzehnten etabliert. Seit einigen Jahren haben sich für die Halbtiefen- und Tiefentherapie Linearbeschleuniger durchgesetzt, die unter Ausnutzung von Bremsstrahlung oder schnellen Elektronen arbeiten. Für die Behandlung gutartiger Erkrankungen werden Hochvolt-Röntgenanlagen verwendet.

[0003] Bei jeder Strahlungsbehandlung ist es für die Planung und Kontrolle der Therapie außerordentlich wichtig, genaue Informationen über die Größe und den Ort des zu behandelnden Tumors und der Metastasen sowie der umgebenden Gewebe und Organe zu haben. Nur so kann der Tumor mit einer ausreichend hohen Strahlungs-dosis zerstört werden und dabei eine Schädigung von gesundem Gewebe und Organen zumindest weitgehend vermieden werden. Daher werden zur Planung und Erfolgskontrolle vor und nach einer solchen Bestrahlungsbehandlung Bilder des zu bestrahlenden Körperbereichs des Patienten mittels geeigneter bildgebender Verfahren angefertigt, denen die notwendigen Daten für die Planung oder Erfolgskontrolle der Bestrahlungsbehandlung entnommen werden können.

[0004] Gute anatomische Bilder zur Planung einer Bestrahlungsbehandlung sind im Rahmen der Magnetresonanz-Bildgebung (MRI) oder der Computertomographie (CT) verfügbar, bei der aus einer Vielzahl von aus verschiedenen Richtungen aufgenommenen Bildern, die jeweils Projektionsbilder sind, durch rechnergestützte Auswertung Schnittbilder und 3D-Volumenbilder des untersuchten Objekts erzeugt werden. Die dazu erforderlichen Röntgenstrahler und Röntgendetektoren sind üblicherweise in einem ringförmigen Gebilde, einer so genannten Gantry, angeordnet, wobei bei CT-Geräten neueren Typs die Röntgenstrahler und die gegenüberliegenden Röntgendetektor rotieren.

[0005] Zur Durchführung der Bestrahlungstherapie müssen die bei einer CT-Untersuchung oder MRI-Untersuchung gewonnenen Bilder mit den geplanten Bestrahlungsverläufen der Radiotherapievor-

richtung richtig überlagert werden. Dazu müssen die Bilddaten in ein gemeinsames Koordinatensystem der Bildaufnahmevorrichtung und der Bestrahlungseinheit übertragen werden. Dieser Abgleich für die Bilddatensätze, auch als Registrierung bezeichnet, besitzt in der Regel nur eine eingeschränkte Genauigkeit und bedarf trotz weit reichender rechnergestützter Automatisierung häufig einer zeitaufwendigen Benutzerinteraktion. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Patient nach der bildgebenden Untersuchung zur Durchführung Bestrahlung in einen anderen Raum verlegt werden muss, wobei sich unter Umständen seine Lage bzw. seine Körperhaltung verändert, und wobei sich seine inneren Organe relativ zueinander verschieben können.

[0006] Um derartige Schwierigkeiten einer rein softwarebasierten Registrierung zu umgehen, sind kombinierte Systeme mit einer Bildaufnahmevorrichtung und einer therapeutischen Bestrahlungseinheit entwickelt worden, bei denen ein Patient auf einer Patientenliege durch die unmittelbar hintereinander angeordneten Vorrichtungen gefahren wird. Man spricht daher in diesem Zusammenhang auch von einer hardwarebasierten Registrierung der Bilddaten. Solche Vorrichtungen sind beispielsweise aus der WO 2006/057911 A2 und der US 2003/0128801 A1 bekannt. Kompaktere Vorrichtungen, bei denen sich die Bildaufnahmevorrichtung und die therapeutische Bestrahlungseinheit durchdringen sind aus der US 2003/0048868 A1 und der US 6,865,254 B2 bekannt. Zwei hintereinander angeordnete Bildaufnahmevorrichtungen sind aus der US 6,364,526 B2 bekannt.

[0007] Ein wesentlicher Nachteil dieses Konzeptes liegt in der schlechten Zugänglichkeit des Patienten während der Untersuchung, bedingt durch eine oder zwei benachbart zueinander angeordnete, geschlossene Detektorröhre. Eine derartige Anordnung kann nicht nur das Patientenunbehagen vergrößern, es ist auch in der Regel nicht möglich, während der Untersuchungsprozedur Eingriffe, z. B. minimal-invasive oder chirurgische Eingriffe, am Patienten vorzunehmen.

[0008] Aus der DE 10 2004 062 473 A1 ist eine weitere Radiotherapievorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gemäß Anspruch 1 bekannt, wobei eine offene Röntgenröhre nach Art eines C- oder U-Bogens vorgesehen ist.

[0009] Der Erfindung liegt insbesondere die Aufgabe zugrunde, eine Radiotherapievorrichtung anzugeben, deren Bilder eine zuverlässige Erkennung und präzise Lokalisierung von Stoffwechselanomalien, insbesondere von malignem Gewebe mit Tumorbefall, ermöglichen, und die bei guter Zugänglichkeit eine verbesserte Bildaufnahme während der Therapie ermöglicht.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Radiotherapievorrichtung der Eingangs genannten Art gelöst, bei der die Bildaufnahmevorrichtung erfindungsgemäß ein Angiographie-CT umfasst und eine Steuereinheit vorhanden ist zur Steuerung einer synchronisierten Bewegung zumindest eines dieser Elemente mit einer Strahlenquelle der therapeutischen Bestrahlungseinheit während einer Strahlentherapie. Es kann auf eine Gantry verzichtet und eines der Elemente der Bildaufnahmevorrichtung mitsamt dessen Gehäuse um den Patienten bewegt werden. Auf diese Weise kann eine anatomische und funktionale Bildgebung mit einer guten Zugänglichkeit zum Patienten verbunden werden.

[0011] Das Angiographie-CT kann ein herkömmliches Angiographie-CT sein. Eine Weiterentwicklung eines Angiographie-CT, das gute 3D-Weichteilnahmen liefert, ist seit kurzem unter dem Namen "Angiographische Computertomographie" (ACT) oder auch "DynaCT" bekannt und beispielsweise in der DE 10 2004 057 308 A1 beschrieben, deren Inhalt hier ausdrücklich integriert wird. Diese Weiterentwicklung beruht einerseits auf einer verbesserten Detekortechnologie und andererseits auf verbesserten Bildverarbeitungsmethoden, die bei der Verarbeitung und visuellen Umsetzung der Detektorsignale auf speziell an die Weichteildarstellung angepasste Korrekturalgorithmen zurückgreifen. Mit der ATC können sowohl das Gefäßsystem als auch das umliegende Weichteilgewebe ("Soft Tissue") oder etwaige Ablagerungen an der Gefäßwand hoch aufgelöst, bis zu 5 HU, dargestellt werden. Falls bei einer Bestrahlungstherapie, einer Operation oder einem Kathetereingriff Komplikationen eintreten, kann daher auf eine Umlagerung des Patienten in ein MRI- oder CT-Gerät zur Anfertigung eines Kontrollbilds verzichtet werden, wodurch wertvolle Zeit für die Einleitung weiterer Therapieschritte gewonnen werden kann.

[0012] Um den üblicherweise mit einer softwarebasierten Registrierung verbundenen Schwierigkeiten von vornherein aus dem Weg zu gehen, und um die Notwendigkeit eines Patiententransports zwischen räumlich getrennten Systemen zu vermeiden, sollten die Bildaufnahmevorrichtung und die Bestrahlungseinheit in einer gemeinsamen Einheit integriert sein und somit charakterisiert sein durch ein gemeinsames Koordinatensystem, das in einer gemeinsamen oder in getrennten Steuereinheiten verarbeitet wird. Sinnvoll sind außerdem ein von beiden Einheiten gemeinsam genutzter Patiententisch und insbesondere gemeinsam genutzte elektronische Komponenten, wie eine Bedienerschnittstelle, ein Bildrechner, ein Bild- und Datenspeicher und eine Datennetzschnittstelle. Außerdem sind die Radiotherapievorrichtung und die Bestrahlungseinheit zweckmäßigerweise benachbart zueinander angeordnet. Der vorzugsweise auf einer Patientenliege fixierte Patient kann dann in einem Durchgang und ohne größere zeitliche Unter-

brechung durch den ACT-Aufnahmebereich und danach, oder davor, in den Behandlungsbereich der Radiotherapievorrichtung geschoben werden. Damit ist der Abgleich der ACT-Bilder mit einem Behandlungsbereich vereinfacht. Die therapeutische Bestrahlungseinheit ist vorteilhafterweise ein Hochenergiestrahler, insbesondere in Form eines Linearbeschleunigers.

[0013] Die Radiotherapievorrichtung umfasst eine Bewegungsvorrichtung zur Bewegung der Elemente, die eine Bewegung zumindest eines der Elemente in einen für einen Bediener zugänglichen Raumbereich erlaubt. Durch die Beweglichkeit zumindest eines der Elemente mit Hilfe der Bewegungsvorrichtung können Aufnahmen des Patienten aus verschiedenen Raumrichtungen gemacht werden, beispielsweise zur Erstellung von 3D-Bildern. Hierbei kann das Element in einer festgelegten oder einer vom Bediener wählbaren Bahn um den Patienten geführt werden, wobei außerhalb des Elements liegende Bereiche für einen Arzt oder Bediener zugänglich bleiben, mithin der Raumbereich zugänglich ist, wenn das Element gerade nicht dort ist. Die Bewegungsvorrichtung kann ein decken- oder bodenmontiertes Stativ aufweisen, zur kreisbahnähnlichen, teilkreisförmigen oder elliptischen Rotation von zumindest einem der Elemente um den Patiententisch.

[0014] Eine einfache und stabile Konstruktion der Bewegungsvorrichtung kann erreicht werden, wenn die Bewegungsvorrichtung eine C-Bogenkonstruktion umfasst. An dieser kann eines oder beide der Elemente auf einer oder mehreren Teilkreisbahnen um den Patienten geführt werden.

[0015] Eine hohe Flexibilität bei der Wahl einer Aufnahmevorrichtung und 3D-Bilder hoher Güte können erreicht werden, wenn die Bewegungsvorrichtung ein Bewegungsmittel zu einer dreidimensionalen Bewegung zumindest eines der Elemente aufweist. Das Bewegungsmittel kann ein 3D-Roboter sein, beispielsweise ein Industrieroboter. Dabei kann der 3D-Roboter boden-, decken- oder wandmontiert sein. Zweckmäßigerweise umfasst das Bewegungsmittel für beide Elemente jeweils ein solches Bewegungsmittel, wobei deren Bewegungen zweckmäßigerweise zueinander im Raum synchronisiert sind.

[0016] Eine hohe Flexibilität bei der Wahl einer Aufnahmevorrichtung kann ebenfalls erreicht werden, wenn die Bewegungsvorrichtung ein Bewegungsmittel zu einer Bewegung zumindest eines der Elemente unabhängig von einer Bewegung des anderen Elements umfasst.

[0017] Es wird außerdem vorgeschlagen, dass die Bildaufnahmevorrichtung zur einer Erstellung von 3D-Bildern des Körperbereichs vorgesehen ist, wodurch eine komfortable Bilddarstellung zur Erleichterung

rung einer Diagnose oder einer Überwachung erreicht werden kann. Hierbei können die 3D-Bilder aus einer Vielzahl von aus verschiedenen Richtungen aufgenommenen Röntgenbildern, die jeweils Projektionsbilder sind, durch rechnergestützte Auswertung des untersuchten Objekts erzeugt werden.

[0018] Aus einem 3D-Bild können zweidimensionale Schnittbilder in beliebiger Schnittrichtung generiert und auf einer Anzeigeeinheit zur Anzeige gebracht werden.

[0019] Vorzugsweise weist die Bildaufnahmevorrichtung eine integrierte Ultraschall-Aufnahmevorrichtung auf. Sie ermöglicht die Erzeugung weiterer für die radiotherapeutische Behandlung nutzbarer Bilder. Sie ermöglicht außerdem die Kontrolle der Positionierung z. B. eines Katheters einer Ablationseinheit. Die Integration wird durch eine gemeinsame Nutzung eines Koordinatensystems mit der Bestrahlungseinheit erreicht. Eine Ultraschall-Bildgebungseinheit kann zusätzlich, zweckmäßigerweise jedoch in einer Einheit mit einer Bildgebungseinheit der ACT-Vorrichtung vorhanden sein. Die Ultraschall-Aufnahmevorrichtung ist vorteilhafterweise mit der ACT-Vorrichtung in einer Einheit integriert, so dass ein gemeinsames Koordinatensystem und eine gemeinsame Bedienerschnittstelle verwendet wird.

[0020] Vorzugsweise umfasst die Radiotherapievorrichtung eine Bildfusionseinheit zur Fusion eines mit der Bildaufnahmevorrichtung aufgenommenen Bilds mit einem weiteren, insbesondere einem extern aufgenommenen Bild. Das weitere Bild kann eine Voraufnahme eines anderen CT-Geräts, einer MRI-Einheit, einer PET-Bildverarbeitungseinheit (Positron Emission Tomographie), einer SPECT-Einheit (Single Positron Emission CT) oder eine Aufnahme eines Ultraschallgeräts sein. Hierbei können die Bilder vorzugsweise in (annähernd) Echtzeit überlagert bzw. fusioniert werden. Bei der Bildfusionseinheit kann es sich um einen eigenständigen Bildfusionsrechner oder auch um ein entsprechendes Softwaremodul handeln, das auf einem Standardrechner ablauffähig ist. Die überlagerten Bilder sind für diagnostische Zwecke besonders aussagekräftig, da sie strukturelle Merkmale des untersuchten Organismus, wie etwa das Skelett oder die Organe, mit funktionellen Informationen, z. B. über Bereiche mit krankhaft erhöhter Zellaktivität, kombinieren. Die Röntgenbilddaten bilden dabei gewissermaßen eine präzise "Landkarte", in die die zusätzlichen z. B. PET-Bilddaten, die besonders einen Tumor anzeigen können, lagerichtig eingebettet sind.

[0021] Die Überlagerung oder Fusion der Bilder kann auf verschiedene Weisen erfolgen: Vergleichsweise einfach realisierbar ist eine Fusion eines 2D-Fremdbilds mit einem korrespondierenden 2D-ACT-Bild. Vorzugsweise ist die Bildfusionseinheit

jedoch derart ausgelegt, dass eine Fusion von kompletten dreidimensionalen Volumendatensätzen erfolgen kann, wobei anschließend aus dem 3D-Fusionsbild wieder beliebige zweidimensionale Schnittbilder generiert werden und auf einer Displayeinheit zur Anzeige gebracht werden können. Besonders vorteilhaft ist eine Fusion von 3D-Bilddatensätzen mit einem zusätzlichen zeitlichen Verlauf, so dass 4D-Bilddatensätze miteinander fusionierbar sind. Hierdurch kann z. B. eine Bewegung des Patiententischs in die Bildfusion integriert werden.

[0022] Vor der eigentlichen Verschmelzung oder Überlagerung der externen bzw. Fremdbilder mit den korrespondierenden ACT-Bildern erfolgt zweckmäßigerweise ein Abgleich der jeweils zugrunde liegenden Koordinatensysteme. Die Bildfusionseinheit weist dazu vorteilhafterweise geeignete Mittel für eine markerbasierte und/oder eine bildbasierte Registrierung der Bilddatensätze auf. Bei der markerbasierten Registrierung werden die zu überlagernden Bilder anhand gemeinsamer Bildelemente, so genannter Marker, durch Translation und/oder Rotation und/oder Projektion bzw. Skalierung zueinander ausgerichtet. Die Marker können anatomischen Ursprungs oder auch künstlich angebracht worden sein. Die Identifizierung und Zuordnung der Marker erfolgt vorzugsweise automatisch mit Hilfe geeigneter Algorithmen oder auch interaktiv im Dialog mit dem Benutzer. Bei der bildbasierten Registrierung erfolgt der Bildabgleich anhand globaler morphologischer Informationen, wobei als Maß für die Bildübereinstimmung geeignete 2D- oder 3D-Korrelationsfunktionen auswertbar sind.

[0023] Die Zuverlässigkeit einer Radiotherapie kann weiter gesteigert werden, wenn die Radiotherapievorrichtung einen Bewegungssensor zur Erkennung einer Patientenbewegung enthält. Hierdurch können mögliche Patientenbewegungen während einer Untersuchung oder Therapie erkannt und entsprechend berücksichtigt werden. Der Bewegungssensor kann ein elektrisches, kapazitives, magnetisches, akustisches oder optisches Wirkprinzip haben und für eine drahtlose Signalübertragung vorteilhafterweise in der so genannten RFID-Transponder-Technologie ausgeführt sein (RFID = Radio Frequency Identification). Beispielsweise kann der Bewegungssensor in Form eines RFID-Mikrochips in ein mit einer Klebefläche versehenes Pflaster integriert sein, das dem Patienten während der Untersuchung aufgeklebt und anschließend entsorgt wird. Weiterhin kann zur Erfassung des Patientenvorschubs ein Bewegungssensor an der Patientenliege angebracht sein.

[0024] Zusätzlich zu den Bewegungssensoren kann vorteilhafterweise eine Anzahl von datenseitig mit der jeweiligen Einheit verbundenen physiologischen Sensoren vorgesehen sein. Derartige Sensoren können insbesondere zur Aufnahme von Organbewe-

gungen, wie etwa der Bewegung des Herzens, des Brustkorbs und der Blutgefäße ausgelegt sein. Beispielsweise kann so die Atmung oder die Gefäßpulsation gemessen oder ein EKG aufgenommen und bei der Therapie berücksichtigt werden. Die zur Korrektur bzw. Eliminierung derartiger Bewegungsartefakte zweckmäßigen Methoden und Algorithmen sind dem Fachmann bekannt. Das software- oder hardwaremäßig implementierte Korrekturverfahren wird auch als Gating bezeichnet. Zur Beseitigung der Atmungsartefakte kann beispielsweise ein Brustband genutzt werden, das über entsprechende Sensoren die Atemamplitude und die Atemfrequenz ermittelt. Alternativ kann die Amplitude und die Frequenz aus der Hüllkurve des EKG-Signals berechnet und einer in die Bildverarbeitungseinheit integrierten Korrekturereinheit zugeführt werden. Zusätzlich kann das Pulsen der Gefäße durch Auswertung des EKG-Signals oder der Blutdruckkurve ermittelt werden.

[0025] Eine besonders schnelle und detaillierte Überwachung einer Radiotherapie, insbesondere eine Kontrolle der Bestrahlung, kann durch eine Steuereinheit zur Steuerung von Bildaufnahmen mit der Bildaufnahmevorrichtung während einer Strahlentherapie erreicht werden. Zweckmäßigerweise werden hierbei Bildsensoren der Bildaufnahmevorrichtung zeitlich versetzt zu Zeiträumen bzw. Impulsen der Therapiebestrahlung ausgelesen, um eine Störung der Bildaufnahme nicht durch die Therapiebestrahlung zu beeinträchtigen.

[0026] Bei der Radiotherapievorrichtung, die eine Steuereinheit zur Steuerung einer synchronisierten Bewegung zumindest eines der Elemente mit einer Strahlenquelle der therapeutischen Bestrahlungseinheit während einer Strahlentherapie umfasst, können vorteilhafterweise das Element und die Strahlenquelle nah zueinander gehalten werden, auch wenn das Element und/oder die Strahlungsquelle zu einer Bewegung vorgesehen ist. So kann die Strahlungsquelle, ebenso wie ein Detektor der Bestrahlungseinheit, z. B. um 90° versetzt zu den beiden Elementen der Bildaufnahmevorrichtung angeordnet sein und entsprechend bewegt werden, dass diese Relativposition erhalten bleibt.

[0027] Ein effizienter Datenverkehr innerhalb der Radiotherapievorrichtung kann erreicht werden, wenn der therapeutischen Bestrahlungseinheit und der Bildaufnahmevorrichtung zugeordnete Komponenten sowie gemeinsam genutzte Komponenten an einen gemeinsam genutzten Datenbus angeschlossen sind. Die gemeinsamen Komponenten können neben einer Anzeigeeinheit einen Datenspeicher, insbesondere zur Speicherung der aufgenommenen Bilddaten, eine Eingabeeinheit und eine DICOM-Schnittstelle umfassen, über welche ein Datenaustausch mit externen Modalitäten oder mit an das Intranet eines Krankenhauses angeschlossenen

Workstations erfolgen kann. Durch diese Mehrfachnutzung einiger Komponenten können Raum und Kosten eingespart werden. Eine gemeinsame Benutzerschnittstelle, die an eine koordinierte und aufeinander abgestimmte Betriebsweise des PET-Systems und des ACT-Systems angepasst ist, erleichtert zudem die Bedienung der Anlage.

[0028] Es wird außerdem vorgeschlagen, dass die Radiotherapievorrichtung eine Ablationsvorrichtung und eine Steuereinheit aufweist, die zur – zumindest im Wesentlichen – gleichzeitigen Steuerung der Bildaufnahmevorrichtung und der Ablationsvorrichtung vorgesehen ist. Das Einführen und die Handhabung der Ablationsvorrichtung können unter Röntgenkontrolle vorgenommen werden. Der Patient muss zur Durchführung des Eingriffs also nicht erst zu einer externen Angiographievorrichtung umgelagert werden. Die Ablationsvorrichtung kann insbesondere ein Ablationskatheter sein, mit dem sich im Rahmen eines minimal-invasiven Eingriffes krankhaftes Gewebe veröden lässt. Der Ablationskatheter weist dazu z. B. eine Vorrichtung zur Emission von Laserstrahlen (Laserablation), eine Zuleitung und eine Austrittsöffnung für ein Kühlmittel (Cryoablation) oder Mittel zur Emission von Radiowellen (Radiowellen-Ablation) auf. Alternativ oder zusätzlich kann eine Zuleitung für eine chemische, biologische oder pharmazeutische Flüssigkeit zur so genannten Chemoembolisation vorgesehen sein. Ferner kann der Katheter mit einer Anzahl von physiologischen Sensoren und/oder mit einem bildgebenden Sensor ausgestattet sein (interkorporale bzw. intervaskuläre Bildgebung). Die von diesen Sensoren bereitgestellten Signale können in der Steuereinheit aufbereitet und auf einer Anzeigeeinheit angezeigt werden.

[0029] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Zeichnungen dargestellt sind.

[0030] Es zeigen:

[0031] [Fig. 1](#) einen schematischen Überblick über eine Radiotherapievorrichtung mit einer integrierten therapeutischen Bestrahlungseinheit und einer Bildaufnahmevorrichtung und

[0032] [Fig. 2](#) eine Prinzipskizze, die Bestrahlungsimpulse und das getaktete, dazu zeitversetzte Auslesen von Signalen veranschaulicht.

[0033] [Fig. 1](#) zeigt in einem schematischen Überblick eine medizinische Radiotherapievorrichtung **2**, die eine therapeutische Bestrahlungseinheit **4** mit einem Linearbeschleuniger mit einer Strahlenquelle **6** zur Erzeugung eines hochenergetischen Elektronen- oder Ionenstrahls aufweist. Die Bestrahlungseinheit **4** ist so aufgebaut, dass die Strahlenquelle **6** um ein Isozentrum, welches einem zu bestrahlenden Kör-

perbereich **8** bzw. Bestrahlungsbereich entspricht, rotiert und so der Strahl zeitlich nacheinander aus verschiedenen Richtungen auf den Bestrahlungsbereich trifft. Die Strahlenquelle **6** kann an einem Stativ oder an einem 3D-Roboter montiert sein. Das Stativ und der 3D-Roboter können jeweils am Boden, an der Wand oder an einer Decke befestigt sein. Durch die Rotation um ein Isozentrum wird dafür gesorgt, dass im Bestrahlungsbereich bzw. im Isozentrum, in dem ein Tumor eines Patienten **10** liegt, eine sehr hohe Intensität erreicht wird, während im umliegenden Gewebe die Intensität erheblich geringer ist. Die Bewegung der Strahlenquelle **6** wird durch eine Bewegungssteuerung **12** gesteuert, die mit einem Datenbus **14** verbunden ist. Ebenfalls mit dem Datenbus **14** verbunden ist eine Strahleransteuerung **16**, die die Aktivität des Linearbeschleunigers bzw. der Strahlenquelle **6** steuert.

[0034] Während der Radiotherapie liegt der Patient **10** auf einer Patientenliege **18**, die in Richtung der Pfeile **20** verfahrbar ist, so dass der zu behandelnde Körperbereich **8** auswahlbar ist.

[0035] Außerdem umfasst die Radiotherapievorrichtung **2** eine Bildaufnahmeverrichtung **22** in Form einer Vorrichtung zur angiographischen Computertomographie (ACT), kurz: Angiographie-CT, die eine zur Bestrahlungseinheit **4** benachbarte ACT-Aufnahmeverrichtung mit einer an einem Ende eines C-Bogens **24** angeordneten, als Strahlenquelle **26** ausgeführten Einheit und mit einem am gegenüberliegenden Ende des C-Bogens **24** angeordneten, als Strahlendetektor **28** ausgeführten Einheit. Die Strahlenquelle **26** ist als Röntgenquelle und der Strahlendetektor **28** als Röntgendetektor in Form eines Flachdetektors (Matrixdetektor) ausgeführt. Der C-Bogen **24** ist an einem decken-, boden- oder wandmontierten Halter **30** drehbar gelagert, so dass die Strahlenquelle **26** und der zugehörige Strahlendetektor **28** auf einer annähernd kreisförmigen Bahn um den Patienten **10** herumbewegt werden können. Dazu sind entsprechende Drehmotoren in den Halter **30** integriert. Der C-Bogen **24** und der Halter **30** sind Teil einer Bewegungsvorrichtung **32**, mit der die beiden Elemente dreidimensional im Raum bewegbar sind. Alternativ ist eine andere Bewegungsvorrichtung denkbar, bei der die Elemente jeweils mit einem separat ansteuerbaren Roboter dreidimensional bewegbar sind, insbesondere synchronisiert in einer Rotationsbewegung oder rotationsähnlichen Bewegung. Die Roboter können anstelle des C-Bogens **24** verwendet werden, oder an diesem angeordnet sein, also zwischen C-Bogen **24** und den Einheiten. Bei Verwendung der Roboter ist vorteilhafterweise zumindest eines der Elemente unabhängig von einer Bewegung des anderen Elements bewegbar.

[0036] Die Bestrahlungseinheit **4** und die Bildaufnahmeverrichtung **22** bilden eine integrierte Einheit

durch eine hardwarebasierte Registrierung und nutzen ein gemeinsames Koordinatensystem **34**, das eine einfache Koordination der beiden Einheiten erlaubt. Elektronische Steuerelemente, wie z. B. die Bewegungssteuerung **12**, Strahleransteuerung **16** und andere Elemente, bilden eine Steuereinheit der Radiotherapievorrichtung **2**. Durch die schlanke Ausführung der Bildaufnahmeverrichtung **22** und den Verzicht auf eine Gantry verbleibt in x-y-Ebene des Koordinatensystems **34** neben den beiden Elementen ein weiter Raumbereich **36**, der für einen Bediener, z. B. einen behandelnden Arzt, zugänglich ist, beispielsweise zur Überwachung des Patienten **10** oder zur Durchführung minimalinvasiver Eingriffe. Auch in z-Richtung des Koordinatensystems **34** verbleibt neben den Elementen ein weiter, zugänglicher Raumbereich **36**.

[0037] Der im Strahlengang der Röntgenquelle **30** befindliche Patient **10** bewirkt entsprechend seiner Röntgenstrahlentransparenz eine Abschwächung der Röntgenstrahlen, die von dem Strahlendetektor **28** erfasst wird. Die aus dem Strahlendetektor **28** ausgelesenen Detektorsignale werden in einem Röntgen-Preprocessor **38** verarbeitet und anschließend dem Datenbus **14** zur weiteren Verteilung zugeführt. Die Strahlenquelle **26** wird über einen Hochspannungsgenerator **40** mit der erforderlichen Betriebsspannung versorgt, der von einer Systemsteuerung **42** angesteuert wird, die auch das Auslesen des Strahlendetektors **28** koordiniert. Die Systemsteuerung **42** übernimmt zudem die Ansteuerung der Drehmotoren für den C-Bogen **24** und synchronisiert die Drehbewegung mit der Aufnahme der Röntgensignale. Eine Spannungsversorgung **44** übernimmt die Versorgung der einzelnen Elemente der Radiotherapievorrichtung **2** mit entsprechender Betriebsspannung.

[0038] In einer ACT-Bildverarbeitungseinheit **46** werden aus einer Vielzahl von während der Rotationsbewegung des C-Bogens **24** aufgenommenen Projektionsbildern zweidimensionale Schnittbilder errechnet, die jeweils eine bestimmte Schnittebene durch den Körper des Patienten **10** repräsentieren. Aus einer Vielzahl von vorzugsweise "schichtweise" angeordneten oder "gestapelten" Schnittbildern werden in einer 3D-Rekonstruktionseinheit, die in die ACT-Bildverarbeitungseinheit **46** integriert oder auch als separate Komponente ausgebildet sein kann, dreidimensionale Volumendatensätze generiert.

[0039] Die ACT-Bilder sind in einer Anzeigeeinheit **48** als 2D-Schnittbilder oder als perspektivische 3D-Ansichten darstellbar. Um besonders aussagekräftige Bilder zu einer Bestrahlungsplanung verwenden zu können, umfasst die Radiotherapievorrichtung **2** eine Bildfusionseinheit **50**, die zu einer Überlagerung oder Fusion von Voraufnahmen anderer Untersuchungsvorrichtungen, wie CT, MRI, PET,

SPECT oder Ultraschall, mit den ACT-Einzelbildern der Bildaufnahmevorrichtung **22** vorgesehen ist. Zu diesem Zweck nimmt die an den Datenbus **14** des Systems angeschlossene Bildfusionseinheit **50** einen Abgleich der jeweiligen Bilddaten (Registrierung) und darauf aufbauend die eigentliche Fusion vor. Dabei werden bevorzugt komplette 3D-Volumendatensätze fusioniert. Alternativ kann auch vorgesehen sein, zunächst eine Mehrzahl von z. B. PET-Schnittbildern mit entsprechenden ACT-Schnittbildern zu fusionieren, um erst anschließend aus den 2D-Fusionsbildern einen 3D-Volumendatensatz, d. h. ein kombiniertes, dreidimensionales PET/ACT-Bild zu konstruieren. Die Fusionsbilder können ebenfalls auf der gemeinsamen Anzeigeeinheit **48** angezeigt werden.

[0040] Vor der Anzeige der Einzelbilder und/oder der Fusionsbilder auf dem Anzeigemonitor der Anzeigeeinheit **48** erfolgt zweckmäßigerweise eine Korrektur von Bildartefakten, insbesondere von bewegungsbedingten Bildartefakten, hervorgerufen z. B. durch die Atmung, den Herzschlag oder die Gefäßpulsation des Patienten **10** oder auch durch die durch die Richtungspfeile **20** angedeutete Bewegung der Patientenliege **18**. Zu diesem Zweck ist eine Bildkorrekturereinheit **52** an den Datenbus **14** angeschlossen. Die Artefaktkorrektur kann bereits auf der Ebene der ACT-Einzelbilder, insbesondere bei der jeweiligen 3D-Rekonstruktion, erfolgen. Insbesondere kommen bei der Aufbereitung der ACT-Bilder Korrekturalgorithmen zum Einsatz, die neben einer Korrektur bewegungsbedingter Artefakte eine gute Weichteildarstellung ermöglichen. Derartige Algorithmen sind dem Fachmann geläufig und können beispielsweise eine Trunkations-Korrektur, eine Streustrahlungs-Korrektur, eine Überstrahlungs-Korrektur, eine Ringartefakt-Korrektur, eine Korrektur der Strahlaufhärtung und des Low-Frequency-Drop und/oder eine Gain-Kalibration umfassen.

[0041] Weiterhin werden bewegungsbedingte Artefakte, insbesondere solche, die von Organbewegungen herrühren, bei der Bildfusion berücksichtigt und eliminiert. Die Bildkorrekturereinheit **52** greift dabei dateneingangsseitig auf Sensorsignale einer Anzahl von Positions- oder Bewegungssensoren **54** und von in [Fig. 1](#) nicht dargestellten physiologischen Sensoren zurück, die über einen Bewegungs- und Gatingprozessor **56** und/oder eine physiologische Signalverarbeitungseinheit **58** für die weitere Verwertung aufbereitet und in den Datenbus **14** eingespeist werden. Die physiologischen Sensoren umfassen Sensoren für Puls, Respiration und Blutdruck sowie EKG-Elektroden. Der oder die Positions- oder Bewegungssensoren **54** sind beispielsweise an der Patientenliege **18** oder direkt am Patienten **10** angebracht. Die Sensoren sind zumindest teilweise als RFID-Transponder ausgeführt, die über einen zugeordneten RFID-Reader oder einen Signalempfänger drahtlos ausgelesen und gegebenenfalls angesteuert

werden können. Vor dem Start der Untersuchung muss ein Bewegungssensor **54** in Bezug auf die räumlichen Koordinaten der Radiotherapievorrichtung **2** kalibriert werden. Dazu ist eine an den Datenbus **14** angeschlossene Kalibrierungseinheit **60** vorgesehen.

[0042] Die Zusammenarbeit der ACT-Bildverarbeitungseinheit **46**, der Bildkorrekturereinheit **52** und der Kalibrierungseinheit **60** bildet bzw. beinhaltet die sogenannte "Weichteil"-Verarbeitung ("Soft-Tissue Processor").

[0043] An den Datenbus **14** der Radiotherapievorrichtung **2** ist zur Kommunikation nach außen eine DICOM-Schnittstelle **62** angeschlossen, die mit einem Krankenhausinformationssystem (KIS) oder mit weiteren bildgebenden Modalitäten oder auch mit dem Internet in Verbindung steht. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ist ein offener Standard zum Austausch von medizinischen Informationen, insbesondere von Bilddaten und Patientendaten. Derartige Daten können vor ihrer weiteren Verarbeitung oder Übermittlung über die DICOM-Schnittstelle **62** in einem an dem Datenbus **14** angeschlossenen Datenspeicher **64** (zwischen-)gespeichert werden.

[0044] Schließlich umfasst die Radiotherapievorrichtung **2** noch eine Ablationsvorrichtung **66** mit einem in Gefäße oder Organe des Patienten **10** einführbaren Ablationskatheter **68**, das über eine Daten- und Versorgungsleitung **70** und eine Ablationskatheter-Schnittstelle **72** an den Datenbus **14** angeschlossen ist. Die Ablationsvorrichtung **66** ermöglicht eine zeitgleich oder zeitnah zur diagnostischen Bildgebung ablaufende Behandlung des Patienten **10**, z. B. eine radiowellenbasierte Tumorabletion. Die Ablationsvorrichtung **66** kann mit zusätzlichen physiologischen oder bildgebenden Sensoren ausgestattet sein, welche hier nicht näher dargestellt sind. Die auf diese Weise bereitgestellten Daten können ebenfalls visuell umgesetzt und in der Anzeigeeinheit **48** dargestellt werden, z. B. durch Einblendung oder Überlagerung mit den anderweitig erzeugten Bildern.

[0045] Eine zentrale Ein- und Ausgabereinheit bzw. Benutzerschnittstelle **74**, die insbesondere eine Tastatur, eine Computermaus, oder eine Bedienkonsole beinhaltet, erlaubt dem Benutzer mittels entsprechender, vorzugsweise menügeführter oder dialoggestützter Eingabeoperationen die Steuerung der gesamten Radiotherapievorrichtung **2**. Dabei sind alle wesentlichen Betriebsoperationen, Untersuchungsprotokolle und häufig genutzten Arbeitsabläufe (Workflows) bereits vordefiniert. Nach der Auswahl eines Workflows aus einer vorgegebenen Auswahlliste und gegebenenfalls nach manueller Justierung einzelner Parameter laufen die zugehörigen Einzelvorgänge aufeinander abgestimmt bzw. miteinander

synchronisiert und weitestgehend ohne Benutzerinteraktion automatisch ab. Der Benutzer kann dabei durch entsprechende Eingaben an der Benutzerschnittstelle **74** die Bilddarstellung auf dem Anzeigemonitor der Anzeigeeinheit **48** beeinflussen und zweckmäßige Ansichten oder Schnitte auswählen oder Bestrahlungsvorgaben machen. Die Bestrahlung wird in einer Bestrahlungsplanungseinheit **76** berechnet und dem behandelnden Arzt vorgeschlagen. Dieser kann über die Benutzerschnittstelle **74** Änderungen vornehmen, z. B. mit einem Cursor einen zur Bestrahlung vorgesehenen Körperbereich **8** ändern oder Bestrahlungsintensitäten korrigieren.

[0046] Eine beispielhafte Radiotherapiebehandlung sei im Folgenden erläutert. Die beschriebene Anwendung zur Tumorbstrahlung ist nur ein medizinisches Beispiel. Andere Bestrahlungstherapien, bei denen eine anatomische und funktionale Bildgebung mit einer guten Zugänglichkeit zum Patienten **10** sinnvoll sind, sind im Rahmen der Erfindung ebenfalls vorteilhaft.

[0047] Zunächst wird der auf der Patientenliege **18** liegende Patient **10** durch eine Bewegung der Patientenliege **18** so positioniert, dass der zu bestrahlende Körperbereich **8** in einem Aufnahmebereich der Bildaufnahmeeinrichtung **22** zu liegen kommt. Dann werden eine Reihe von ACT-Bildern des Körperbereichs **8** und dessen Umgebung aufgenommen, wobei die Elemente Strahlenquelle **26** und Strahlendetektor **28** durch eine entsprechende Bewegung des Halters **30** auf Teilkreisbahnen um den Körperbereich **8** bewegt werden. Die aufgenommenen Bilder zeigen Kontraste bis 10 HU und somit das Weichgewebe im Körperbereich **8**. Aus der so entstandenen Serie von zweidimensionalen ACT-Bildern werden von der ACT-Bildverarbeitungseinheit **46** auf Anforderung durch einen Bediener Schnittbilder und/oder 3D-Bilder des Körperbereichs **8** erzeugt.

[0048] Zur verbesserten Diagnose eines Tumors im Körperbereich **8** werden dann vom Bediener, z. B. dem behandelnden Arzt, Voraufnahmen, z. B. PET-Bilder, mit den zweidimensionalen oder dreidimensionalen ACT-Bildern mit Hilfe der Bildfusionseinheit **44** fusioniert, so dass weitere Details des Tumors aus den hochqualitativen PET-Bildern in den erzeugten Gesamtbildern sichtbar werden. Ebenfalls möglich ist eine Fusion mit hochaufgelösten CT-Bildern bis 1 HU, um Details des Weichgewebes im Körperbereich **8** und in dessen Umgebung erkennen zu können. Es kann auch sinnvoll sein, MRI-Bilder (MRI = Magnetic Resonance Imaging) ebenfalls softwarebasiert mit den ACT-Bildern zu fusionieren. Auf diese Weise wird der Tumor vom Arzt genau in Art und Ausdehnung identifiziert, der anschließend den zu bestrahlenden Körperbereich **8** festlegt und entsprechende Daten, beispielsweise durch eine Markierung mit einem Mauszeiger in auf der Anzeigeeinheit **48**

dargestellten Bildern, in die Bestrahlungsplanungseinheit **76** gibt. Diese errechnet einen Bestrahlungsplan und legt ihn dem Arzt zur Bestätigung vor.

[0049] Nach dessen Bestätigung oder Korrektur und Bestätigung erfolgt die Bestrahlungstherapie durch eine entsprechende Aktivität der Bestrahlungseinheit **4**. Hierbei sind die Elemente der Bildaufnahmeeinrichtung **22**, also die Strahlenquelle **26** und der Strahlendetektor **28**, durch eine entsprechende Bewegung des Halters **30** in Richtung der Pfeile **20** und eine Rotation um die parallel zur Richtung der Pfeile **20** verlaufende z-Achse so positioniert, dass sie jeweils um 90° versetzt zur Strahlenquelle **6** der Bestrahlungseinheit **4** und beispielsweise in der gleichen x-y-Ebene der Strahlenquelle **6** angeordnet sind. Während der Bestrahlung werden ACT-Bilder aufgenommen, anhand derer der Bediener eine Kontrolle der Radiotherapie vornehmen kann. Die Strahlenquelle **6** und die Elemente der Bildaufnahmeeinrichtung **22** werden dabei von der Bewegungssteuerung **12** und der Systemsteuerung **42** synchron bewegt, so dass alle drei Elemente relativ zueinander ruhend in der x-y-Ebene um den Körperbereich **8** rotieren.

[0050] Vor, nach oder während einer Radiotherapie kann der Arzt den Tumor mit der Ablationsvorrichtung **66** behandeln, wobei die Steuereinheit der Radiotherapievorrichtung **2** zur gleichzeitigen Steuerung der Bildaufnahmeeinrichtung **22** und der Ablationsvorrichtung **66** vorgesehen ist, so dass der Arzt eine Behandlung durch Ablation anhand der aktuellen ACT-Bilder im Wesentlichen in Echtzeit verfolgen kann.

[0051] Des Weiteren umfasst die Bildaufnahmeeinrichtung **22** eine mit dem Datenbus **14** verbundene integrierte Ultraschall-Aufnahmeeinrichtung **78** mit einem beweglichen Ultraschallkopf **80**, die ebenfalls das gemeinsame Koordinatensystem **34** nutzt und über die gemeinsame Benutzerschnittstelle **74** bedient wird. Der Ultraschallkopf **80** kann analog zu den Elementen der Bildaufnahmeeinrichtung **2** synchronisiert maschinell bewegt werden. Ultraschallbilder können mit Hilfe der Bildfusionseinheit **80** mit den ACT-Bildern überlagert werden, so dass dem Arzt eine weitere Informationsquelle zur Verfügung steht.

[0052] Um eine unerwünschte Beeinflussung der Signale des Strahlendetektors **28** und Bewegungssensors **54** von den Signalen der Strahlenquelle **6** auszuschließen, werden die signalgebenden Detektoren zeitversetzt und getaktet ausgelesen. Dies ist schematisch in [Fig. 2](#) illustriert. Der Reihe nach präsentieren die dargestellten Graphen, in denen die Abszisse jeweils die Zeit t darstellt, von oben nach unten:

1. Zeitfenster bzw. Bestrahlungsimpulse der Strahlenquelle **6**, jeweils dargestellt durch eine

rechteckförmige Signalzacke über dem Niveau der Basislinie,

2. die Ausleseintervalle für die physiologischen Sensoren, wie z. B. EKG oder Respirationssensoren,
3. die Zeitintervalle, in denen die Strahlenquelle **26** Röntgenpulse emittiert, und
4. die Ausleseintervalle für den Strahlendetektor **28**.

[0053] Gegenüber den Bestrahlungszeitfenstern der Strahlenquelle **6** sind die Ausleseintervalle für die physiologischen Sensoren zeitversetzt. Ebenfalls zeitversetzt zu den Ausleseintervallen werden die Röntgenpulse erzeugt. Jeweils kurz nach einem Röntgenpuls wird der Strahlendetektor **28** ausgelesen, so dass die Ausleseintervalle der physiologischen Sensoren und des Strahlendetektors **28** nicht den Bestrahlungszeitfenstern überlappen. Die Frequenz der Taktung ist einstellbar bzw. konfigurierbar.

[0054] Selbstverständlich ist es möglich, individuelle Untersuchungen nur mit dem ACT vorzunehmen, ohne Aktivierung der Bestrahlungseinheit **4** oder nur die Bestrahlungseinheit **4** zu verwenden, ohne ACT-Bilder anzufertigen. Das nicht benötigte Teilsystem ist dann zweckmäßigerweise deaktiviert.

Patentansprüche

1. Radiotherapievorrichtung (**2**) mit einer integrierten Einheit aus einer therapeutischen Bestrahlungseinheit (**4**) zur Behandlung eines Körperbereichs (**8**) eines Patienten (**10**) und einer Bildaufnahmeverrichtung (**22**) zur Aufnahme von Bildern des Körperbereichs (**8**) mit einem als Strahlenquelle (**26**) und einem als Strahlendetektor (**28**) ausgeführten Element (**26, 28**), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildaufnahmeverrichtung (**22**) ein Angiographie-CT umfasst und eine Steuereinheit vorhanden ist zur Steuerung einer synchronisierten Bewegung zumindest eines dieser Elemente (**26, 28**) mit der Strahlenquelle (**6**) der therapeutischen Bestrahlungseinheit (**4**) während einer Strahlentherapie.

2. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Bewegungsvorrichtung (**32**) zur Bewegung dieser Elemente (**26, 28**), die eine Bewegung zumindest eines dieser Elemente (**26, 28**) in einen für einen Bediener zugänglichen Raumbereich (**36**) erlaubt.

3. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsvorrichtung (**32**) eine C-Bogenkonstruktion aufweist.

4. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsvorrichtung (**32**) ein Bewegungsmittel zu einer dreidimensionalen Bewegung zumindest eines die-

ser Elemente (**26, 28**) aufweist.

5. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsvorrichtung (**32**) ein Bewegungsmittel zu einer Bewegung zumindest eines dieser Elemente (**26, 28**) unabhängig von einer Bewegung des anderen dieser Elemente (**26, 28**) aufweist.

6. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildaufnahmeverrichtung (**22**) zu einer Erstellung von 3D-Bildern des Körperbereichs (**8**) vorgesehen ist.

7. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildaufnahmeverrichtung (**22**) eine integrierte Ultraschall-Aufnahmeverrichtung (**78**) umfasst.

8. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Bildfusionseinheit (**50**) zur Fusion eines mit der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) aufgenommenen Bilds mit einem weiteren, insbesondere einem extern aufgenommenen Bild.

9. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Bewegungssensor (**54**) zu Erkennung einer Patientenbewegung.

10. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Steuereinheit zur Steuerung von Bildaufnahmen mit der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) während einer Strahlentherapie.

11. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der therapeutischen Bestrahlungseinheit (**4**) und der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) zugeordnete Komponenten sowie gemeinsam genutzte Komponenten an einen gemeinsam genutzten Datenbus (**14**) angeschlossen sind.

12. Radiotherapievorrichtung (**2**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Ablationsvorrichtung (**66**) und eine Steuereinheit, die zur gleichzeitigen Steuerung der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) und der Ablationsvorrichtung (**66**) vorgesehen ist.

13. Radiotherapievorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens eines der Elemente Strahlenquelle (**6**) der therapeutischen Bestrahlungseinheit (**4**), Strahlenquelle (**26**) der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) und Strahlendetektor (**28**) der Bildaufnahmeverrichtung (**22**) oder ein Befesti-

gungsmittel (z. B. **24**) für die Strahlenquelle (**26**) der Bildaufnahmevorrichtung (**22**) und den Strahlendetektor (**28**) der Bildaufnahmevorrichtung (**22**) an einem 3D-Roboter montiert ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

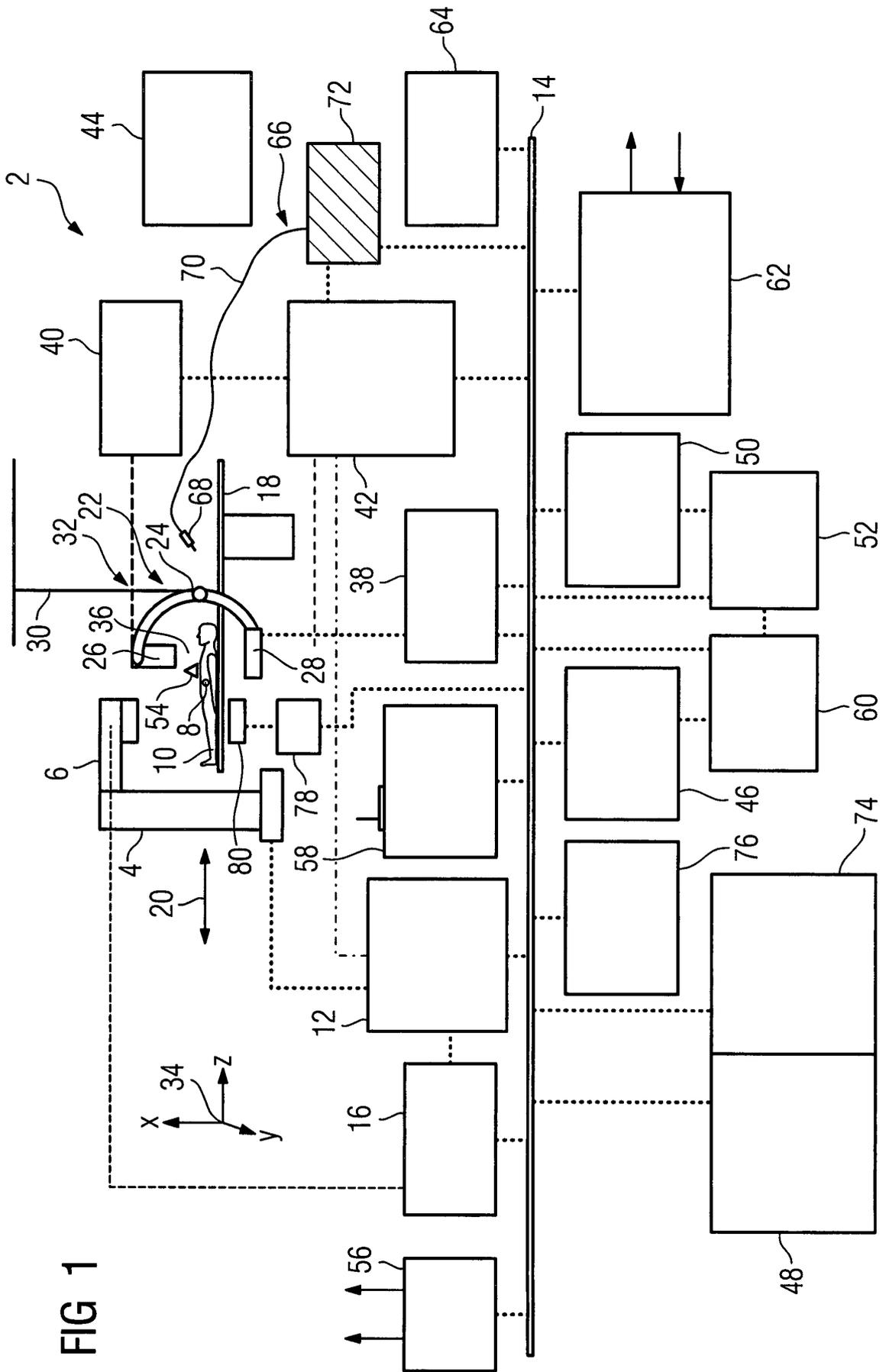


FIG 1

FIG 2

