



(10) **DE 10 2011 006 537 B4** 2014.12.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 006 537.7**
(22) Anmeldetag: **31.03.2011**
(43) Offenlegungstag: **04.10.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.12.2014**

(51) Int Cl.: **A61B 19/00** (2006.01)
H04B 1/59 (2006.01)
A61B 6/03 (2006.01)
A61B 6/02 (2006.01)
A61B 10/02 (2006.01)
A61B 1/313 (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)
G01S 13/74 (2006.01)

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

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

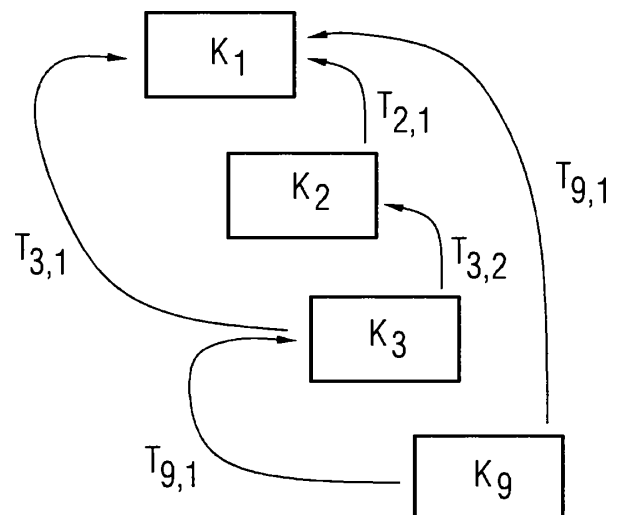
(72) Erfinder:
Schön, Nikolaus, Dr., 91052 Erlangen, DE; Blohm, Lutz, 91096 Möhrenndorf, DE; Dannemann, Tim, 96047 Bamberg, DE; Dennerlein, Frank, Dr., 91301 Forchheim, DE; Hoheisel, Martin, Dr., 91056 Erlangen, DE; Strobel, Norbert, 91336 Heroldsbach, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	102 10 645	A1
DE	199 51 503	A1
DE	10 2004 030 836	A1
DE	10 2006 029 122	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Registrierung eines ersten Koordinatensystems einer ersten medizinischen Bildgebungseinrichtung mit einem zweiten Koordinatensystem einer zweiten medizinischen Bildgebungseinrichtung und/oder einem dritten Koordinatensystem eines medizinischen Instruments, welches durch Marker einer medizinischen Navigationseinrichtung definiert ist, und medizinisches Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Registrierung eines ersten Koordinatensystems einer ersten medizinischen Bildgebungseinrichtung mit einem zweiten Koordinatensystem einer zweiten medizinischen Bildgebungseinrichtung und/oder einem dritten Koordinatensystem eines insbesondere minimalinvasiven Instruments, welches durch Marker einer medizinischen Navigationseinrichtung definiert ist, wobei die Anwendung der ersten Bildgebungseinrichtung auf einen Patienten zu einer ersten Zeit und die Anwendung der zweiten Bildgebungseinrichtung auf den insbesondere im Vergleich zu der ersten Zeit bewegten Patienten und/oder der Navigationseinrichtung zur Lokalisierung des Instruments zu wenigstens einer zweiten Zeit erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass an und/oder in dem Patienten wenigstens ein durch eine Positionsbestimmungseinrichtung lokalisierbares, ein Patientenkoordinatensystem definierendes RFID-Referenzelement wenigstens von der ersten Zeit bis zu der zweiten Zeit angeordnet wird und zur Registrierung der Koordinatensysteme verwendet wird, wobei auch die erste Bildaufnahmeeinrichtung und/oder die zweite Bildaufnahmeeinrichtung und/oder das durch die Navigationseinrichtung zu lokalisierende Instrument und/oder eine ein Navigationskoordinatensystem definierende Detektoreinrichtung der ...



Beschreibung

[0001] Verfahren zur Registrierung eines ersten Koordinatensystems einer ersten medizinischen Bildgebungseinrichtung mit einem zweiten Koordinatensystem einer zweiten medizinischen Bildgebungseinrichtung und/oder einem dritten Koordinatensystem eines medizinischen Instruments, welches durch Marker einer medizinischen Navigationseinrichtung definiert ist, und medizinisches Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem

[0002] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Registrierung eines ersten Koordinatensystems einer ersten medizinischen Bildgebungseinrichtung mit einem zweiten Koordinatensystem einer zweiten medizinischen Bildgebungseinrichtung und/oder einem dritten Koordinatensystem eines insbesondere minimalinvasiven Instruments, welches durch Marker einer medizinischen Navigationseinrichtung definiert ist, wobei die Anwendung der ersten Bildgebungseinrichtung auf einen Patienten zu einer ersten Zeit und die Anwendung der zweiten Bildgebungseinrichtung auf den insbesondere im Vergleich zu der ersten Zeit bewegten Patienten und/oder der Navigationseinrichtung zur Lokalisierung des Instruments zu wenigstens einer zweiten Zeit erfolgt. Daneben betrifft die Erfindung ein medizinisches Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem.

[0003] Insbesondere bei minimalinvasiven medizinischen Eingriffen mit einem entsprechenden Instrument, beispielsweise einem Katheter oder dergleichen, sind eine genaue Planung und insbesondere auch eine genaue Navigation des medizinischen Instruments nötig. Hier ist es bekannt, einen präoperativen Bilddatensatz aufzunehmen, insbesondere einen dreidimensionalen Bilddatensatz, wozu eine erste Bildgebungseinrichtung verwendet werden kann. Der dreidimensionale Bilddatensatz dient dabei üblicherweise als die Grundlage, da in ihn beispielsweise das zu navigierende Instrument eingeblendet werden kann, welches durch eine Navigationseinrichtung und/oder eine intraoperative zweite Bildgebungseinrichtung lokalisiert werden kann. Dabei stellt sich das Problem, dass die präoperativen Bilddaten zu einer ersten Zeit, also einem ersten Zeitpunkt und/oder einem ersten Zeitraum, aufgenommen werden, wonach der Eingriff selbst üblicherweise mit einer Umlagerung verbunden ist und zu einer zweiten Zeit, insbesondere einem zweiten Zeitpunkt und/oder einem zweiten Zeitraum, erfolgt. Während die Bilddaten der ersten bzw. der zweiten Bildgebungseinrichtung in einem bestimmten Koordinatensystem, in der Nomenklatur dieser Beschreibung einem ersten bzw. zweiten Koordinatensystem, vorliegen, definiert das während des Eingriffs ja bewegte Instrument selbst (bzw. durch einen Marker für das Navigationssystem, der an oder in ihm befestigt ist) ein drittes Koordinatensystem, wobei üblicherweise auch der Navigations-

einrichtung ein Navigationskoordinatensystem zugeordnet ist, in dem die aktuelle Position und/oder Orientierung des Instruments bestimmt wird.

[0004] Um die oben beschriebene Unterstützung der Navigation zu realisieren, ist es mithin erforderlich, eine Registrierung von Koordinatensystemen vorzunehmen, insbesondere das dritte Koordinatensystem mit dem ersten Koordinatensystem und gegebenenfalls mit dem zweiten Koordinatensystem zu registrieren, so dass entsprechende Transformationen bekannt sind, die es ermöglichen, das Instrument in die Bilddaten einzublenden. Doch auch bezüglich aufeinander folgender Untersuchungen mit verschiedenen Bildgebungseinrichtungen und/oder auch gleichen Bildgebungseinrichtungen zu verschiedenen Zeitpunkten ist eine Registrierung zwischen dem ersten und dem zweiten Koordinatensystem unabhängig von einem Eingriff datenverarbeitungstechnisch und diagnostisch sinnvoll.

[0005] Auch wenn in der folgenden Beschreibung häufig für die erste Zeit von „präoperativ“ und für die zweite Zeit von „intraoperativ“ die Rede ist, ist die folgende Beschreibung doch auf die allgemeine Situation der Registrierung verschiedener Systeme bezogen.

[0006] Eine mögliche Variante eines derartigen Vorgehens ist es, wenn zur präoperativen Diagnostik eine Computertomographie-Aufnahme (CT-Aufnahme) erstellt wird. Dieses Bildgebungsverfahren zeichnet sich durch die hohe erreichbare Qualität, hohe Auflösung und ein großes Bildvolumen aus. Daher ist es vorteilhaft, die CT-Bilddaten auch intraoperativ zur Unterstützung der Navigation des Instruments heranzuziehen. Bei der Navigation des Instruments wird die Position des wenigstens einen beispielsweise für einen Eingriff genutzten Instruments mittels eines Navigationssystems verfolgt, das bedeutet, das Instrument wird kontinuierlich lokalisiert. Liegt eine Registrierung vor, ist es dann möglich, den präoperativen CT-Bilddatensatz an einer Anzeigevorrichtung darzustellen und die durch das Navigationssystem bestimmte Position der Instrumente so einzublenden, dass die Relativposition des virtuellen Instruments zum CT-Bilddatensatz der Relativposition des realen Instruments zum Patienten entspricht. Wesentlich, auch über dieses Beispiel herausgehend, ist mithin das Patientenkoordinatensystem selber, also ein Koordinatensystem, das durch ein oder mehrere Punkte an oder in dem Patienten definiert werden kann.

[0007] Neben der Computertomographie kommen auch andere präoperative sowie intraoperative Bildgebungsverfahren in Frage, beispielsweise Magnetresonanztomographie, PET (Positronen-Emissionstomographie), Ultraschall und Röntgeneinrichtungen mit einem C-Bogen.

[0008] Bekannt ist es, um eine Registrierung zu ermöglichen, beispielsweise, durch Lokalisierung spezieller Referenzen am Patienten, an den Bildgebungsgeräten und/oder an den Instrumenten die Relativposition zwischen den Koordinatensystemen von Patientenbild, Patient und Instrument zu bestimmen. Dabei ist es wichtig, dass anhand der Position der verwendeten Referenzen Koordinatensysteme im Raum definiert werden können und die Relativposition der durch die Referenzen definierten Koordinatensysteme messtechnisch bestimmbar ist.

[0009] Ein bekanntes Verfahren, das jedoch ohne präoperative Bilddaten arbeitet, mithin eine intraoperative Registrierung vornimmt, ist unter dem Namen „NaviLink“ bekannt. Dabei wird die Navigation des Instruments anhand von intraoperativ aufgenommenen Bild-Lokalisierungsdaten durchgeführt. Als intraoperatives Bildgebungsgerät wird eine Röntgeneinrichtung mit einem C-Bogen verwendet, wobei die Bilddaten in einem zweiten Koordinatensystem vorliegen. Zudem ist ein optisches Navigationssystem vorgesehen, um die Instrumente zu lokalisieren. Hierzu werden die Instrumente mit optischen Markern versehen, wobei zusätzlich am Bildverstärker bzw. am Detektor des C-Bogens optische Marker, beispielsweise mittels einer speziellen Vorrichtung, angebracht werden. Auch am Patienten ist eine Referenz mit optischen Markern befestigt. Die optischen Marker des Instruments definieren dabei das dritte Koordinatensystem. Die Transformation von dem dritten zu dem zweiten Koordinatensystem kann dann zusammengesetzt werden aus mehreren Transformationen, nämlich zunächst der Transformation aus dem dritten Koordinatensystem in das durch die optischen Marker am Patienten definierte Patientenkoordinatensystem, wobei dieses wiederum durch eine weitere Transformation mit dem durch die optischen Marker am C-Bogen definierten Koordinatensystem im Zusammenhang steht. Hierbei ist zu beachten, dass die intraoperativen Bilddaten des C-Bogens meist unmittelbar vor Beginn des eigentlichen Eingriffs zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommen werden, während das Instrument selbstverständlich kontinuierlich verfolgt werden kann und die Röntgeneinrichtung mit dem C-Bogen dann entfernt wird, so dass das Koordinatensystem, das durch die optischen Marker an dem C-Bogen definiert wird, zu dem Zeitpunkt, zu dem die intraoperativen Bilddaten aufgenommen werden, betrachtet werden muss.

[0010] Die Transformation von dem durch die optischen Marker an dem C-Bogen definierten Koordinatensystem in das Koordinatensystem der Bilddaten wird bei der Kalibrierung der Bildgebungseinrichtung ermittelt. Hierzu kann beispielsweise ein Kalibrierphantom verwendet werden, das Bildmarkierungen und optische Markierungen, die durch das optische Navigationssystem lokalisierbar sind, in einer bestimmten und bekannten Relativposition enthält.

Die Transformation von dem Patientenkoordinatensystem in das durch die optischen Marker an dem C-Bogen definierte Koordinatensystem wird intraoperativ bestimmt, nachdem die optische Patientenreferenz angebracht ist und der C-Bogen sich in der Position relativ zum Patienten befindet, in der auch die Bilddaten aufgenommen werden. Die Bestimmung ist mittels des optischen Navigationssystems möglich. Die Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem wird während der Operation laufend mittels des optischen Navigationssystems bestimmt.

[0011] Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, dass keine Verwendung präoperativer Daten möglich ist.

[0012] In einem weiteren Verfahren ist es bekannt, durch Benutzerinteraktion oder Bildanalyse spezielle Punkte bzw. Flächen in den Bilddaten zu definieren und diese intraoperativ mit einem speziellen Instrument, beispielsweise einem Taststift, das mittels eines Navigationssystems lokalisiert werden kann, intraoperativ an dem Patienten abzutasten (Punkte) bzw. abzufahren (Flächen). Dabei ergibt sich die Transformation des Instruments in den Bilddatensatz, mithin die Transformation in das erste Koordinatensystem, als eine Kombination einer Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem und von dem Patientenkoordinatensystem in das erste Koordinatensystem, wobei die letztgenannte Transformation durch Berechnung der Abbildung der Punkte bzw. Flächen vom Navigationssystem auf die Punkte bzw. Flächen aus den Bilddaten bestimmt wird. Wiederum ist eine Referenz an dem Patienten vorausgesetzt, so dass auch die andere Transformation bestimmt werden kann.

[0013] Dieses Verfahren ist äußerst umständlich in der Handhabung und verlängert die Zeit für einen Eingriff. Die Definition von Punkten bzw. Flächen in Bilddaten sowie deren Abtastung mittels eines Taststiftes ist zudem äußerst ungenau und fehleranfällig.

[0014] Ein weiteres bekanntes Vorgehen zur Registrierung von Koordinatensystemen ist es, Bildmarker für die präoperative Bildaufnahme und für eine weitere interoperative Aufnahme vor der präoperativen Aufnahme auf den Patienten auf- bzw. in den Patienten einzubringen. Sodann werden präoperativ die Bilddaten mit den Bildmarkern aufgenommen. Mittels intraoperativer Bildgebung werden weitere Bilder des Patienten mit den entsprechenden Bildmarkern aufgenommen. Die Registrierung der präoperativen Bilddaten erfolgt, indem die Bildmarker auf den präoperativen Bilddaten und den intraoperativen Bilddaten extrahiert werden, sodass die Abbildung zwischen den durch diese Markierungen definierten Koordinatensystemen berechnet werden kann. Entsprechend ergibt sich dann die Transformation des Instru-

ments in die präoperativen Bilddaten als, die Benutzung eines Navigationssystems vorausgesetzt, Kombination einer Transformation aus dem dritten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem, wie sie bezüglich des „NaviLink“-Verfahren bereits beschrieben wurde, und einer Transformation aus dem zweiten in das erste Koordinatensystem. Letztere wird, wie beschrieben, durch die Berechnung der Abbildung zwischen den präoperativen und den intraoperativen Bildmarkern durch grundsätzlich bekannte Standardverfahren bestimmt.

[0015] Alternativ zu der Möglichkeit, die Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem wie bezüglich des „NaviLink“-Verfahrens beschrieben durchzuführen, kann auch die Transformation von dem Patientenkoordinatensystem in das zweite Koordinatensystem unmittelbar berechnet werden, indem in die beispielsweise optische Patientenreferenz zugleich Bildmarker eingebaut sind, die in einer definierten Position im Patientenkoordinatensystem fixiert sind. Die Transformation von dem Patientenkoordinatensystem in das zweite Koordinatensystem ergibt sich dann durch Lokalisation der Bildmarker mittels Bildanalyseverfahren und Berechnung der Abbildung zwischen den Positionen der Bildmarker in den beiden Koordinatensystemen durch Standardverfahren.

[0016] Dieses Vorgehen hat den Nachteil, dass Bildmarker unerwünschte Artefakte in den Bilddaten erzeugen können. Die automatische Lokalisation von Bildmarkern ist zudem nicht sehr genau und der Verbleib von eingebrachten Markern im Patienten ist nur für sehr kurze Zeit möglich, da diese Marker eine Belastung oder Gefährdung des Patienten darstellen.

[0017] Als Beispiel für den bekannten Stand der Technik soll schließlich auch die Möglichkeit bildbasierter Registrierung beschrieben werden. Darin wird mittels Bildanalyseverfahren die Relativposition zwischen den präoperativen Bilddaten und den intraoperativen Bilddaten durch einen Optimierungsprozess ermittelt. Wird beispielsweise als intraoperativer Bilddatensatz ein Fluoroskopiebild betrachtet, das durch eine Projektionsabbildung eines bestimmten Volumens im Operationsbereich auf eine Bildebene entsteht (Röntgen-Durchleuchtung), ist die Projektionsabbildung durch die Ausgestaltung der intraoperativen Bildgebungseinrichtung, also der zweiten Bildgebungseinrichtung, bestimmt. Die Transformation von dem zweiten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem wird variiert und es wird von dem (mit seiner inversen) gedrehten präoperativen Bilddatensatz eine virtuelle Projektion mittels der Projektionsabbildung berechnet. Ist der intraoperative Bilddatensatz ein beispielsweise mittels eines C-Bogens aufgenommenes Volumenbild, ist die Projektionsabbildung letztlich durch die Identitätsabbildung zu ersetzen.

[0018] Allgemein wird diejenige Variation der Transformation von dem zweiten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem bestimmt, für die die Abweichung zwischen der virtuellen Projektion und dem intraoperativen Bilddatensatz minimal ist, wozu die Transformation parametrisiert wird und bekannte Optimierungsverfahren, beispielsweise ein Newton-Raphson-Verfahren, ein Simulated Annealing-Verfahren, ein Downhill Simplex-Verfahren oder dergleichen, angewendet werden.

[0019] Für die Definition der Abweichung zwischen dem intraoperativen Bilddatensatz und der virtuellen Projektion bzw. des virtuellen Bilddatensatzes liegen ebenfalls verschiedene bekannte Methoden vor, beispielsweise das Raumintegral (bzw. bei Fluoroskopien das Flächenintegral) über die „mutual information“, über das Skalarprodukt lokaler Intensitäten oder über lokale Intensitätsdifferenzen.

[0020] Die Position des Instrumentes relativ zum zweiten Koordinatensystem kann dann beispielsweise wie bezüglich des Verfahrens „NaviLink“ oder des Verfahrens mit dem Bildmarkern beschrieben ermittelt werden.

[0021] Der Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass bekannte Optimierungsverfahren nur dann effizient sind, wenn sie zur Bestimmung von lokalen Minima der Kostenfunktion im Parameterraum eingesetzt werden. Bei globaler Optimierung steigt der Rechenaufwand exponentiell mit der Anzahl von Parametern. Bei den hier betrachteten Transformationen liegt die Anzahl der Parameter bei sechs, was eine globale Optimierung praktisch ausschließt. Die lokale Optimierung konvergiert dann nur gegen das globale Minimum, wenn bereits hinreichend gute Initialwerte für die Parameter vorliegen. Dies sind typischerweise Parameterwerte, die bereits nah an den optimalen Werten liegen. Bekannten Verfahren fehlt es bisher jedoch noch an einer praktisch einsetzbaren Methode zur Bestimmung dieser Initialwerte.

[0022] DE 199 51 503 A1 betrifft ein medizinisches System mit einem Bildgebungs- und einem Navigationssystem. Dabei soll die Einblendung eines Abbildes eines Instruments in einem mit einem Bildgebungssystem gewonnenes Bild mit höherer Genauigkeit der tatsächlichen Lage und Orientierung des Instrumentes relativ zum Körper des Patienten entsprechen. Mithin wird dort vorgeschlagen, 3D-Bilder während einer Operation aufzunehmen, wobei die Bestimmung der Lage und der Orientierung des Instrumentes relativ zu dem Operationssitus mit einem optischen Navigationssystem erfolgen kann, welches Referenzelemente, die von Kameras erfasst werden, aufweist. Referenzelemente können an dem medizinischen Instrument, einem C-Bogen-Röntgengerät und an einer Patientenliege angeordnet sein.

[0023] Ein Verfahren zur Bilddarstellung eines in einen sich rhythmisch oder arhythmisch bewegendem Untersuchungsbereich eines Patienten eingebrachten medizinischen Instruments beschreibt die DE 10 2004 030 836 A1. Dabei wird ein 3-D-Rekonstruktionsbild des sich bewegendem Untersuchungsbereichs erzeugt, wobei lediglich ein aktuelles 2-D-Durchleuchtungsbild des Untersuchungsbereichs aufgenommen und mit dem 3-D-Bilddatensatz registriert wird. Nachdem zu dem aktuellen 2-D-Durchleuchtungsbild EKG-Daten aufgenommen wurden und nun kontinuierlich weiter aktuelle EKG-Daten aufgenommen werden, kann über letztere die Darstellung des sich bewegendem 3-D-Rekonstruktionsbildes getriggert werden und es können kontinuierlich die aktuellen Positionsdaten des Instruments mittels eines Navigationssystems ermittelt und das Instrument im 3-D-Rekonstruktionsbild lagerichtig dargestellt werden.

[0024] DE 102 10 645 A1 betrifft ein Verfahren zur Erfassung und Darstellung eines in einen Untersuchungsbereich eines Patienten eingeführten medizinischen Katheters, bei dem ein 3-D-Rekonstruktionsbild des Untersuchungsbereichs erzeugt wird. Die räumliche Position einer Spitze eines Katheters wird mittels eines Positionserfassungssystems erfasst, und das 3-D-Rekonstruktionsbild wird mit der positionsgetreu gezeigten Spitze des Katheters an einem Monitor angezeigt. Dabei sind das Koordinatensystem des Positionserfassungssystems und das Koordinatensystem des 3-D-Rekonstruktionsbilds miteinander registriert. Zur Registrierung der beiden Koordinatensysteme können Markierungen in den Koordinatensystemen markiert werden, auf die der Katheter dann bewegt wird. Möglich ist es auch, als Markierungen im 3-D-Rekonstruktionsbild sichtbare und am Patienten extern angebrachte Markierungen zu verwenden.

[0025] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Registrierungsverfahren anzugeben, mit dem auf einfachere und verlässlichere Weise eine Registrierung zwischen einem zweiten Koordinatensystem und/oder einem dritten Koordinatensystem zu einem ersten Koordinatensystem ermittelt werden kann.

[0026] Zur Lösung dieser Aufgabe sind bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß die Merkmale des Anspruchs 1 vorgesehen.

[0027] Dabei sei an dieser Stelle bereits angemerkt, dass eine Zeit dabei einen Zeitpunkt und/oder einen Zeitraum bedeuten kann, wobei die zweiten Zeiten für das Navigationssystem und die zweite Bildgebungseinrichtung auch unterschiedlich sein können, wenn beispielsweise vor dem Einsatz des Instruments ein einziger, insbesondere intraoperativer Bilddatensatz aufgenommen wird, wonach dann über

einen bestimmten Zeitraum mittels des Navigationssystems das Instrument lokalisiert werden soll. In jedem Fall unterscheiden sich die erste und die wenigstens eine zweite Zeit.

[0028] Erfindungsgemäß wird also vorgeschlagen, die bezüglich des Standes der Technik diskutierten Probleme zu lösen, indem ein Positionsbestimmungssystem verwendet wird, das auf der Nutzung von RFID (radio frequency identification) basiert. Hierzu werden wenigstens an dem Patienten, insbesondere möglicherweise auch an den Bildgebungseinrichtungen und/oder Instrumenten, RFID-Referenzelemente angebracht. Die erfindungsgemäße Idee beruht auf der Erkenntnis, dass es auch unter Verwendung von RFID-Tags möglich ist, eine hinreichend genaue Positionsbestimmung vorzunehmen. So wurde eine derartige Positionsbestimmungseinrichtung beispielsweise in der DE 10 2006 029 122 A1 vorgeschlagen, die hiermit durch Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt dieser Beschreibung aufgenommen wird. Dort wird eine Positionsbestimmungseinrichtung zur Bestimmung der Position eines medizinischen Instruments vorgeschlagen, bei welcher vorgeschlagen wird, an dem medizinischen Instrument Lokalisierungselemente anzuordnen, die in der vorliegenden Erfindung als RFID-Referenzelemente verwendet werden. Die Positionsbestimmungseinrichtung umfasst eine Sendeeinheit, die elektromagnetische Strahlung ausstrahlt, die von den Lokalisierungselementen empfangen wird. Dabei weisen die Lokalisierungselemente jeweils einen Transponder auf, welcher durch die empfangene Strahlung angeregt wird, um einen mit dem Transponder verbundenen Schaltkreis zu versorgen. Dies führt dazu, dass der Transponder seinerseits über die Antenne ein Funksignal als Lokalisierungssignal, konkret also hochfrequente elektromagnetische Strahlung, aussendet. Die von den Lokalisierungselementen abgestrahlten Funksignale werden von insbesondere drei an definierten Positionen im Raum befindlichen Empfangseinheiten empfangen, die mit einer Auswerteeinheit verbunden sind, welche anhand der Phasenlage der elektromagnetischen Strahlung der Funksignale am jeweiligen Ort der Empfangseinheiten die Position und/oder Orientierung des Objekts, an dem die RFID-Referenzelemente angeordnet sind, im Beispiel der DE 10 2006 029 122 A1 das Instrument, zu bestimmen.

[0029] Die durch die DE 10 2006 029 122 A1 beschriebenen Lokalisierungselemente können mithin als RFID-Referenzelemente im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden, die an einem Patienten angeordnet werden und ein Patientenkoordinatensystem definieren. Die RFID-Referenzelemente werden vor der Bilddatenaufnahme zu der ersten Zeit auf dem Patienten bzw. im Patienten befestigt, wo sie mindesten bis zur intraoperativen Registrierung auf dem Patienten verbleiben. Die RFID-Re-

ferenzelemente dienen als Patientenreferenz und definieren wie bereits erwähnt ein patientenfestes Patientenkoordinatensystem. Dabei weisen RFID-Referenzelemente eine Vielzahl von Vorteilen auf. Denn die zur Registrierung verwendeten RFID-Referenzelemente sind problemlos auf den Patienten aufzubringen und wieder zu entfernen. Zwischen der ersten Zeit und der wenigstens einen zweiten Zeit, insbesondere also in der Zeit zwischen der präoperativen Bildaufnahme und der intraoperativen Registrierung, können die RFID-Referenzelemente am Patienten verbleiben, ohne ihn stark einzuschränken oder zu stören. Ferner wird der Ablauf eines Eingriffs, insbesondere eines minimalinvasiven Eingriffs, durch die RFID-Referenzelemente kaum gestört, nachdem keine Kabel erforderlich sind und kein Sichtkontakt zu den anderen Komponenten der Positionsbestimmungseinrichtung erforderlich ist. Im Operationsbereich sind keine zusätzlichen Geräte notwendig.

[0030] Die RFID-Referenzelemente können als sterile Einmalartikel hergestellt werden und sind äußerst kostengünstig. Weiterhin gilt, dass bestehende Bildgebungseinrichtungen leicht mit der neuen Registrierungsmethode ausgerüstet werden können. Es ergibt sich also in der Summe eine Vielzahl von Vorteilen durch die Verwendung von RFID-Referenzelementen zur Definition eines Patientenkoordinatensystems.

[0031] Dabei können zur Befestigung der RFID-Referenzelemente Pflaster verwendet werden, in die die RFID-Referenzelemente integriert sind. Derartige Pflaster können auf den Patienten aufgeklebt werden, wodurch sich leicht Anforderungen an Hygiene und Sterilität erfüllen lassen. Denkbar ist es auch, zur Befestigung der RFID-Referenzelemente kleine Schrauben mit integrierten RFID-Referenzelementen zu verwenden, die in das Weichgewebe und/oder die Knochen des Patienten eingebracht werden oder sind. Hierdurch kann beispielsweise die Relativposition von Knochenfragmenten zu ihrer Reposition lokalisiert werden. Denkbar zur Befestigung der RFID-Referenzelemente sind ferner Verbandsmaterialien und/oder Bänder, in die die RFID-Referenzelemente eingearbeitet sind. Diese Verbandsmaterialien und/oder Bänder können um Körperteile des Patienten gelegt werden. Schließlich ist es zweckmäßigerweise möglich, dass zur Befestigung der RFID-Referenzelemente Kleidungsstücke verwendet werden, in die die RFID-Referenzelemente integriert sind. Derartige Kleidungsstücke trägt der Patient dann bei der insbesondere präoperativen Bildaufnahme und bei der insbesondere intraoperativen Registrierung.

[0032] Um die Registrierung konkret zu ermöglichen, gibt es verschiedene Ansätze, die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, gegebenenfalls auch kumulativ, verfolgt werden können.

[0033] So kann in weiterer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass das RFID-Referenzelement auch durch die erste Bildgebungseinrichtung und/oder die zweite Bildgebungseinrichtung und/oder die Navigationseinrichtung lokalisierbar ist. Beispielsweise dann, wenn als wenigstens eine Bildgebungseinrichtung eine Röntgeneinrichtung verwendet wird, kann die Situation ohne weitere Ausgestaltung so gegeben sein, dass die RFID-Referenzelemente in den Bilddaten der Röntgen-Bildgebungseinrichtung ohnehin zu sehen sind. Selbstverständlich ist es in einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung genauso denkbar, dass ein wenigstens einen in den Bilddaten wenigstens einer Bildgebungseinrichtung sichtbaren Marker umfassendes RFID-Referenzelement des Patienten verwendet wird. Auf diese Weise können Zusammenhänge zwischen dem Patientenkoordinatensystem und dem ersten und/oder zweiten und/oder dritten Koordinatensystem auf besonders einfache Weise ermittelt werden. So kann konkret vorgesehen sein, dass unter Berücksichtigung der das RFID-Referenzelement des Patienten, insbesondere den Marker, zeigenden Bilddaten und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems zur ersten und/oder zur zweiten Zeit bezüglich des RFID-Referenzelements des Patienten eine Transformation von dem ersten und/oder zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird.

[0034] Entsprechend kann, worauf im Folgenden noch näher eingegangen werden wird, das Patientenkoordinatensystem letztlich als eine Art „Brücke“ zur Ermittlung von Transformationen zwischen dem ersten und dem zweiten Koordinatensystem bilden. Analog ist es jedoch auch möglich, das RFID-Referenzelement mit einem mittels der insbesondere nicht der Positionsbestimmungseinrichtung entsprechenden Navigationseinrichtung detektierbaren Marker zu versehen, dessen geometrische Anordnung relativ zu den RFID-Komponenten bekannt ist. Im Rahmen einer Kalibration kann eine messtechnische Bestimmung erfolgen, die letztlich den Zusammenhang zwischen den Koordinatensystemen, die die Navigationseinrichtung und die Positionsbestimmungseinrichtung zur Angabe der Positionen der jeweiligen Marker im Raum nutzen und welche meist durch im Raum feststehende Detektoreinrichtungen definiert werden, ermittelt werden kann. Dieser Zusammenhang kann dann genutzt werden, um von dem durch die RFID-Referenzelemente definierten Patientenkoordinatensystem in das durch die Marker definierte Koordinatensystem auf den Patienten umzurechnen.

[0035] Es ist ferner vorgesehen, dass auch die erste Bildaufnahmeeinrichtung und/oder die zweite Bildaufnahmeeinrichtung und/oder das durch die Navigationseinrichtung zu lokalisierende Instrument und/oder eine ein Navigationskoordinatensystem definierende Detektoreinrichtung der Navigationseinrich-

tung mit wenigstens einem durch die Positionsbestimmungseinrichtung lokalisierbaren RFID-Referenzelement versehen werden. Dadurch lassen sich jeweils geeignete Transformationen bestimmen, die zu der letztlich gewünschten Gesamttransformation zwischen dem ersten, dem zweiten und/oder dem dritten Koordinatensystem beitragen können. Dabei ist es sinnvoll, einen Zusammenhang zwischen den jeweiligen, durch die zusätzlichen RFID-Referenzelemente aufgespannten Koordinatensystemen und dem ersten und/oder zweiten Koordinatensystem, in denen ja die Bilddaten der Bildgebungseinrichtungen vorliegen, und/oder dem Navigationskoordinatensystem im Rahmen einer Kalibrierung zu bestimmen, was insbesondere dann sinnvoll ist, wenn die RFID-Referenzelemente für eine längere Zeit, insbesondere mehrere Eingriffe oder dergleichen, an der ersten Bildaufnahmeeinrichtung und/oder der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung und/oder dem Instrument und/oder der Detektoreinrichtung verbleiben. Es ist also vorgesehen, dass im Rahmen einer vorab durchgeführten Kalibrierung eine Transformation von einem durch das RFID-Referenzelement der ersten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem und/oder von einem durch das RFID-Referenzelement der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem und/oder von einem durch das RFID-Referenzelement der Detektoreinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das Navigationskoordinatensystem bestimmt wird oder ist. Dabei kann vorgesehen sein, dass zur Kalibrierung ein wenigstens einen in den Bilddaten der jeweiligen Bildgebungseinrichtung sichtbaren oder durch die Navigationseinrichtung lokalisierbaren Marker und in bekannter relativer Position zu dem Marker wenigstens ein RFID-Referenzelement umfassender Kalibrationskörper verwendet wird. Es kann im Rahmen der Kalibrierung also auf verschiedene bekannte Messverfahren zurückgegriffen werden, beispielsweise indem die Bildgebungseinrichtungen bzw. die Navigationseinrichtung und die Positionsbestimmungseinrichtung selbst als Messmittel eingesetzt werden. Selbstverständlich ist es jedoch auch denkbar, zusätzliche Messmittel zur Bestimmung der Relativpositionen einzusetzen, so dass dann kein Kalibrationskörper erforderlich ist.

[0036] Ist der durch die beschriebene Kalibration ermittelte Zusammenhang erst bekannt, so kann vorgesehen sein, dass unter Berücksichtigung der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der ersten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der ersten Bildaufnahmeeinrichtung zu der ersten Zeit eine Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird und/oder unter Berücksichtigung

der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung zu der zweiten Zeit eine Transformation von dem zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird und/oder unter Berücksichtigung der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der Detektoreinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das Navigationskoordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der Detektoreinrichtung zu der zweiten Zeit eine Transformation von dem Navigationskoordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird. Derartige Transformationen verbinden also das Patientenkoordinatensystem mit dem ersten oder zweiten Koordinatensystem bzw. dem Navigationskoordinatensystem und mithin auch dem dritten Koordinatensystem, so dass über das Patientenkoordinatensystem als „Bindeglied“ Zusammenhänge hergestellt werden können.

[0037] Das soeben beschriebene Vorgehen sei auch kurz am Beispiel einer präoperativen ersten Bildgebungseinrichtung näher erläutert. Die präoperative Bildgebungseinrichtung wird mit einer festen Anordnung von RFID-Referenzelementen (präoperative RFID-Referenz) versehen, durch die ein Koordinatensystem im Raum definiert ist. Die relative Position der präoperativen RFID-Referenzelemente zum ersten Koordinatensystem, also dem Bildkoordinatensystem, der präoperativen Bildgebungseinrichtung wird zunächst durch Kalibrierung bestimmt, so dass die Transformation von dem durch die präoperative RFID-Referenzelemente aufgespannten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem bestimmt wird. Bei der präoperativen Aufnahme von Bilddaten wird die Relativposition der RFID-Referenzelemente am Patienten zu den RFID-Referenzelementen der ersten Bildgebungseinrichtung mit der Positionsbestimmungseinrichtung gemessen, so dass die Transformation von dem Patientenkoordinatensystem in das von den RFID-Referenzelementen an der ersten Bildgebungseinrichtung aufgespannte Koordinatensystem bekannt wird. Mithin kann durch Kombination dieser beiden Transformationen die Transformation zwischen dem Patientenkoordinatensystem und dem ersten Koordinatensystem ermittelt werden, die so lange erhalten bleibt, wie die RFID-Referenzelemente auf dem Patienten verbleiben.

[0038] Ein ähnliches Vorgehen ist bei der zweiten, insbesondere intraoperativen Bildgebungseinrichtung mit dem zweiten Koordinatensystem als Bildgebungskoordinatensystem denkbar, wobei die-

se ebenfalls mit RFID-Referenzelementen (intraoperative RFID-Referenz) ausgestattet wird, die wiederum ein Koordinatensystem definieren, wobei die Transformation von dem letztgenannten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem wiederum durch Kalibration bestimmt werden kann. Die Positionsbestimmungseinrichtung kann die noch fehlende Verknüpfung herstellen, so dass auch eine Transformation zwischen dem zweiten Koordinatensystem und dem Patientenkoordinatensystem hergestellt werden kann.

[0039] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann insbesondere in dem beschriebenen Beispielfall, aber auch immer dann, wenn Transformationen von dem ersten und dem zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem bekannt ist, aus den Transformationen aus dem ersten und dem zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem eine genäherte Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem ermittelt werden. Diese Transformation wird zu diesem Zeitpunkt hauptsächlich deswegen als „genähert“ bezeichnet, nachdem die Positionsbestimmung über RFID, insbesondere abhängig von der Frequenz, wie dies durch die DE 10 2006 029 122 A1 dargelegt wird, eine wechselnde Genauigkeit aufweist, so dass im konkreten Anwendungsfall zu entscheiden ist, ob eine hinreichende Genauigkeit bereits gegeben ist. Zu beachten sind bei dieser Betrachtung auch gegebenenfalls Effekte der elastischen Registrierung oder sonstige Veränderungen, die am Körper des Patienten auftreten können. Mithin ist in besonders bevorzugter Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass die genäherte Transformation als Startwert in einem bildbasierten Registrierungsverfahren zur Ermittlung einer optimalen Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem genutzt wird. Während es, wie bereits erwähnt, selbstverständlich auch so sein kann, dass die genäherte Transformation bereits ausreichend ist, ist eine Verfeinerung dieser Transformation durch ein Optimierungsverfahren jedoch auch vorteilhaft möglich, wobei das Optimierungsverfahren beispielsweise bildbasiert die Positionsabweichung zwischen dem präoperativen und dem intraoperativen Bilddatensatz, insbesondere auch in Form einer elastischen Registrierung, minimiert. Wenn im Stand der Technik bereits dargelegt wurde, dass derartige Optimierungsverfahren allgemein nicht robust konvergieren, ist jedoch bei dem guten Startwert, der durch die RFID-basierte Registrierung in Form der genäherten Transformation gegeben ist, die Wahrscheinlichkeit der Konvergenz deutlich erhöht. Mithin kann letztlich durch die Kombination der verschiedenen Registrierungsverfahren eine verbesserte und robustere Registrierung erreicht werden.

[0040] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dass als Navigationseinrichtung die Positionsbestimmungseinrichtung verwendet wird. Das bedeutet, dass die Navigation allein auf Basis des RFID-basierten Positionsbestimmungssystems erfolgen kann und mithin kein weiteres Navigationssystem erforderlich ist. Dann wird auch das Instrument mit einem RFID-Referenzelement versehen, so dass sich letztlich unmittelbar die Transformation aus dem dritten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ergibt. Wird dann, beispielsweise wie oben näher beschrieben, auch eine Transformation von dem Patientenkoordinatensystem in das erste und/oder das zweite Koordinatensystem bestimmt, ergibt sich auf besonders einfache Weise eine Gesamttransformation von dem dritten Koordinatensystem in das erste und/oder das zweite Koordinatensystem, so dass es beispielsweise möglich wird, das Instrument problemlos in den Bilddaten der ersten und/oder der zweiten Bildgebungseinrichtung darzustellen.

[0041] Es sei jedoch in diesem Zusammenhang angemerkt, dass es durchaus auch möglich sein kann, ein zusätzliches, dediziert für das Instrument vorgesehenes Navigationssystem einzusetzen, welches über eine Komponente im Signalkontakt mit dem Instrument steht. Derartiges kann zum Beispiel in Fällen zweckmäßig sein, in denen die Genauigkeit und/oder eine andere Eigenschaft der RFID-basierten Positionsbestimmungseinrichtung nicht ausreichend sind. Dann kann die zusätzliche Navigationseinrichtung eine elektromagnetische Navigationseinrichtung und/oder eine optische Lokalisationseinrichtung und/oder eine weitere RFID-basierte Navigationseinrichtung sein. Die Komponente mit Signalkontakt zu dem wenigstens einen Instrument wäre im Falle einer elektromagnetischen Navigationseinrichtung beispielsweise ein Feldgenerator, im Falle einer optischen Navigationseinrichtung beispielsweise eine Kamera, wobei eine RFID-basierte Navigationseinrichtung bezüglich der Positionsbestimmungseinrichtung bereits diskutiert wurde. Hierauf wird im Folgenden noch näher eingegangen werden.

[0042] Hervorgehoben werden soll an dieser Stelle nochmals, dass es bei Verwendung der RFID-Referenzelemente an und/oder im Patienten insbesondere auch möglich ist, vollkommen ohne ein zweites, insbesondere intraoperatives Bildgebungssystem zu arbeiten. Dann ist beispielsweise die Navigation des Instruments allein anhand eines präoperativen Bilddatensatzes, der mit der ersten Bildgebungseinrichtung aufgenommen wurde, möglich. Auf diese Weise kann beispielsweise die Belastung des Patienten, insbesondere im Hinblick auf Strahlung, reduziert werden.

[0043] Wie bereits erwähnt, ist es im Rahmen der Unterstützung der Navigation des Instruments

zweckmäßig, wenn eine Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem ermittelt wird. Dabei kann beispielsweise die bereits erwähnte, genäherte oder optimale Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem gemeinsam mit einer über das Navigationssystem ermittelten Transformation zwischen dem dritten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem verwendet werden. In diesem Fall wird die Registrierung bezüglich des dritten Koordinatensystems also nur indirekt bezüglich des Patientenkoordinatensystems hergestellt, welches der Registrierung des ersten Koordinatensystems mit dem zweiten Koordinatensystem zugrunde liegt. Gerade dann, wenn eine optimale Transformation bestimmt wird, aber auch bei Nutzung einer nur am Ort der zweiten Bildgebungseinrichtung vorgesehen, nicht der Positionsbestimmungseinrichtung entsprechenden Navigationseinrichtung, ist diese Variante als sinnvoll anzusehen. In einem anderen Beispiel ist es aber auch denkbar, insbesondere dann, wenn keine intraoperativen Bildaufnahmen durchgeführt werden sollen, eine insbesondere wie bereits beschriebenen ermittelte Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem gemeinsam mit einer ermittelten Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem zu nutzen. Diese letztgenannte Transformation kann beispielsweise unter Verwendung eines durch das Navigationssystem lokalisierbaren RFID-Referenzelements des Patienten erfolgen; besonders einfach ist sie jedoch gegeben, wenn das Navigationssystem dem Positionsbestimmungssystem entspricht und das Instrument auch mit einem RFID-Referenzelement versehen ist.

[0044] Unter Berechnung einer Transformation zwischen dem dritten Koordinatensystem und dem ersten Koordinatensystem ist es möglich, beispielsweise eine Darstellung zu erzeugen, indem das Instrument, insbesondere als entsprechendes Symbol, in den Bilddaten der ersten Bildgebungseinrichtung, insbesondere also in einem präoperativen Bilddatensatz, angezeigt wird, so dass die Navigation des Instruments verbessert werden kann und die den Eingriff durchführende Person sich verbessert orientieren kann.

[0045] Wie bereits erwähnt, lässt sich das vorliegende Verfahren insbesondere im Zusammenhang mit einem insbesondere minimalinvasiven Eingriff einsetzen, bei dem präoperative Bilddaten und/oder intraoperative Bilddaten aufgenommen werden. Es kann also vorgesehen sein, dass im Rahmen eines insbesondere minimalinvasiven Eingriffs mit der ersten Bildgebungseinrichtung präoperative Bilddaten aufgenommen werden, wobei mittels der zweiten Bildgebungseinrichtung intraoperative Bilddaten aufgenommen werden und/oder ein zur Durchführung des Ein-

griffs genutztes Instrument über die Navigationseinrichtung lokalisiert wird.

[0046] Gerade in diesem Zusammenhang, aber auch allgemein, kann es zweckmäßig sein, als erste Bildgebungseinrichtung eine Computertomographie-Einrichtung zu verwenden und/oder als zweite Bildgebungseinrichtung eine Röntgeneinrichtung mit einem C-Bogen. Solche Bildgebungseinrichtungen werden häufig im Rahmen von insbesondere minimalinvasiven Eingriffen an einem Patienten eingesetzt, wobei mittels einer Computertomographie-Einrichtung hochauflösende dreidimensionale Bilddaten des Patienten aufgenommen werden können, die besonders geeignet zur Navigation des Instruments sind. Intraoperativ können dreidimensionale oder zweidimensionale Bilddaten mittels eines C-Bogens aufgenommen werden, die sowohl dem präoperativen Bilddatensatz überlagert werden können, aber auch, wie oben bereits dargestellt, zu einer Optimierung der Transformation beitragen können. Ersichtlich sind verschiedenste Ausgestaltungen denkbar.

[0047] Die Nützlichkeit des Verfahrens für minimalinvasive Eingriffe gilt auch in Bezug auf das Instrument, wobei als Instrument beispielsweise ein Endoskop und/oder ein Laparoskop und/oder ein Katheter und/oder eine Punktionsnadel verwendet werden kann. Solche Instrumente werden häufig bei minimalinvasiven Eingriffen eingesetzt und können in einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens auch selbst mit RFID-Referenzelementen versehen werden.

[0048] Neben dem Verfahren betrifft die Erfindung ein medizinisches Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem, umfassend eine erste Bildgebungseinrichtung und eine zweite Bildgebungseinrichtung und/oder eine Navigationseinrichtung zum Lokalisieren eines medizinischen Instruments, welches sich dadurch auszeichnet, dass ferner eine Positionsbestimmungseinrichtung zum Lokalisieren von an oder in einem Patienten anordenbaren RFID-Referenzelementen und eine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildeten Steuereinrichtung vorgesehen sind. Sämtliche Ausführungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich analog auf das erfindungsgemäße Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem übertragen, so dass auch hiermit die bezüglich der Erfindung beschriebenen Vorteile erreicht werden können.

[0049] Weitere Vorteile und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

[0050] Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Untersuchungs- und Behandlungssystem,

[0051] Fig. 2 Transformationen zwischen relevanten Koordinatensystemen in einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, und

[0052] Fig. 3 Transformationen zwischen relevanten Koordinatensystemen in einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0053] Fig. 1 zeigt mögliche Komponenten eines erfindungsgemäßen Behandlungs- und Untersuchungssystems 1. Dieses dient im vorliegenden Fall zur Durchführung eines minimalinvasiven Eingriffs mit einem Instrument 2, beispielsweise einem Laparoskop, einem Endoskop, einem Katheter oder einer Punktionsnadel. Um präoperative Bilddaten in einer hohen Qualität erhalten zu können, ist eine erste Bildgebungseinrichtung 3 vorgesehen, hier eine Computertomographie-Einrichtung. Am eigentlichen Eingriffsarbeitsplatz, also der Operationsumgebung, ist zur Aufnahme von intraoperativen Bilddaten eine zweite Bildgebungseinrichtung 4, hier eine Röntgen-einrichtung mit einem C-Bogen 5, vorgesehen. Zur Operation kann der Patient 6 auf einem beispielsweise auf einer Säule 7 angeordneten Patiententisch 8 positioniert werden. Denkbar ist es, wenigstens einen Teil des Patiententisches 8 bewegbar zwischen der ersten Bildgebungseinrichtung 3 und der Operationsumgebung zu gestalten.

[0054] Die präoperativen Bilddaten, die mit der ersten Bildgebungseinrichtung 3 aufgenommen wurden, sollen nun genutzt werden, um die Navigation des Instruments 2 zu unterstützen. Ziel ist es also beispielsweise, auf einem an eine zentrale Steuereinrichtung 9 angeschlossenen Monitor 10 als Anzeigevorrichtung eine Darstellung zu zeigen, in der ein virtuelles Instrument 2 relativ zu der durch die präoperativen Bilddaten der ersten Bildgebungseinrichtung 3 gezeigten Anatomie angezeigt wird. Auch intraoperative Bilddaten der zweiten Bildgebungseinrichtung 4 können mit in die Darstellung einbezogen werden.

[0055] Um die dafür notwendige Registrierung zwischen dem Koordinatensystem des Instruments 2, dem Koordinatensystem der Bilddaten der ersten Bildgebungseinrichtung 3 und gegebenenfalls dem Koordinatensystem der Bilddaten der zweiten Bildgebungseinrichtung 4 zu ermitteln, ist ferner eine Positionsbestimmungseinrichtung 11 vorgesehen, die beispielsweise wie durch die DE 10 2006 029 122 A1 beschrieben aufgebaut sein kann.

[0056] Wenigstens an dem Patienten 6 sind RFID-Referenzelemente 12 vorgesehen, die ein Patientenkoordinatensystem definieren. Vorgesehen sein kann ferner, was in Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens noch näher erläutert wird, RFID-Referenzelemente 13 an dem Instrument 2, 14 an der zweiten Bildgebungseinrichtung 4, 15 an der ersten Bildgebungseinrich-

tung 3 und 16 an einem optionalen zusätzlichen Navigationssystem 17 vorzusehen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass bevorzugt die Positionsbestimmungseinrichtung 11 auch als (einzige) Navigationseinrichtung eingesetzt wird.

[0057] Über eine Sendeeinheit 18 des Positionsbestimmungssystems 11 wird elektromagnetische Strahlung, ein Anregungssignal, emittiert. Das Anregungssignal wird von den RFID-Referenzelementen 12 bis 16 empfangen, die jeweils einen Transponder aufweisen, der wiederum eine Antenne und einen mit der Antenne verbundenen Schaltkreis umfasst. Das Anregungssignal dient dabei zum Betrieb des Transponders, der wiederum Funksignale als Lokalisierungssignale aussendet, welche von drei an definierten Positionen im Raum befindlichen Empfangseinheiten 19 empfangen werden. Diese definieren im Übrigen ein weiteres Koordinatensystem, nämlich das Positionsbestimmungskoordinatensystem.

[0058] Die Empfangseinheiten 19 sind mit einer vorliegend in der Steuereinrichtung 9 verbauten Auswerteeinheit 20 verbunden, die anhand der Phasenlage der elektromagnetischen Strahlung der Funksignale am jeweiligen Ort der Empfangseinheiten die Position und/oder Orientierung des Patienten 6, des C-Bogens 5, der ersten Bildgebungseinrichtung 3, des Instruments 2 und/oder einer Detektionseinrichtung der Navigationseinrichtung 17 ermittelt.

[0059] Die Steuereinrichtung 9 ist nun zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet, welches die RFID-Referenzelemente 12 des Patienten 6 zur Registrierung der Koordinatensysteme berücksichtigt.

[0060] Nachdem im Folgenden drei konkrete Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben werden sollen, soll zunächst noch einmal die Nomenklatur der verschiedenen relevanten Koordinatensysteme vereinheitlicht werden.

[0061] Dabei entspricht:

K_1 dem Koordinatensystem, in dem die Bilddaten der ersten Bildgebungseinrichtung 3 vorliegen (erstes Koordinatensystem),

K_2 dem Koordinatensystem, das durch die RFID-Referenzelemente 15 der ersten Bildgebungseinrichtung 3 definiert wird,

K_3 dem durch die RFID-Referenzelemente 12 an oder in dem Patienten 6 definierten Patientenkoordinatensystem,

K_4 dem durch die RFID-Referenzelemente 14 der zweiten Bildgebungseinrichtung 4 definierten Koordinatensystem,

K_5 dem Koordinatensystem der Bilddaten der zweiten Bildgebungseinrichtung 4 (zweites Koordinatensystem),

K_6 dem Koordinatensystem, das durch Marker **21** der optionalen zusätzlichen Navigationseinrichtung **17** an der zweiten Bildgebungseinrichtung **4** definiert wird, K_7 dem durch mittels der optionalen Navigationseinrichtung **17** lokalisierbare Marker **22** an oder in dem Patienten **6** aufgespannten Koordinatensystem, K_8 dem von der optionalen Navigationseinrichtung **17** durch eine feststehende Detektoreinrichtung definierten, benutzten Koordinatensystem (Navigationskoordinatensystem), K_9 dem Koordinatensystem des Instruments **2** (drittes Koordinatensystem), welches durch mittels der optionalen Navigationseinrichtung **17** lokalisierbare Marker und/oder die RFID-Referenzelemente **13** definiert sein kann, K_{10} dem Koordinatensystem, das durch die RFID-Referenzelemente **16** der optionalen Navigationseinrichtung **17** definiert wird.

[0062] An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass zur Befestigung der RFID-Referenzelemente **12** an dem Patienten **6** beispielsweise Pflaster mit den integrierten RFID-Referenzelementen **12**, Schrauben mit integrierten RFID-Referenzelementen **12**, die in das Weichgewebe oder die Knochen des Patienten **6** eingebracht werden können, Verbandsmaterialien und/oder Bänder, in die RFID-Referenzelemente **12** eingearbeitet sind oder sogar Kleidungsstücke mit den RFID-Referenzelementen **12** eingesetzt werden können.

[0063] Als zusätzliche Navigationseinrichtung **17** kann beispielsweise eine elektromagnetische Navigationseinrichtung und/oder eine optische Navigationseinrichtung eingesetzt werden.

[0064] Grundlegend für das erfindungsgemäße Verfahren ist, dass die Bildaufnahme der präoperativen Bilddaten mit der ersten Bildgebungseinrichtung **3** grundsätzlich zu einem anderen Zeitpunkt oder in einem anderen Zeitraum durchgeführt wird wie die Aufnahme von Bilddaten mittels der zweiten Bildgebungseinrichtung **4** und die Bestimmung der Position des Instruments **2**. Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, dass der Patient **6** bewegt wurde.

[0065] Fig. 2 zeigt in Form einer Prinzipskizze eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, die eine Navigation mit Unterstützung durch die präoperativen Bilddaten ohne die Notwendigkeit intraoperativer Bilddaten ermöglicht. Auch eine weitere Navigationseinrichtung **17** wird nicht verwendet. In dieser Ausführungsform werden der Patient **6** (Koordinatensystem K_3), die erste Bildgebungseinrichtung **3** (Koordinatensystem K_2) und das Instrument **2** (Koordinatensystem K_9) mit RFID-Referenzelementen **12**, **13** und **15** versehen. Gesucht ist die Transformation $T_{9,1}$. Nachdem das Positionsbestimmungssystem **11** sowohl den Patienten **6** als auch das Instrument **2** lokalisiert, folgt die Transformation $T_{9,3}$

von dem dritten Koordinatensystem K_9 in das Patientenkoordinatensystem K_3 unmittelbar. Benötigt wird ferner folglich noch die Transformation $T_{3,1}$, die das Patientenkoordinatensystem K_3 mit dem ersten Koordinatensystem K_1 in Bezug setzt.

[0066] Nachdem die RFID-Referenzelemente **15** ortsfest an der ersten Bildgebungseinrichtung **3** befestigt sind, kann die Transformation $T_{2,1}$ durch eine Kalibration ermittelt werden. Hierfür ist es beispielsweise möglich, einen Kalibrierkörper einzusetzen, der RFID-Referenzelemente und mittels der ersten Bildgebungseinrichtung sichtbare Marker in fester Ortsbeziehung umfasst, so dass der Kalibrierkörper sowohl durch die erste Bildgebungseinrichtung **3** als auch durch das Positionsbestimmungssystem **11** vermessen werden kann und hieraus die Transformation $T_{2,1}$ ermittelt werden kann. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass es durchaus möglich ist, die RFID-Referenzelemente, beispielsweise bei Verwendung einer Computertomographie-Einrichtung, selbst als Marker für die erste Bildgebungseinrichtung **3** zu verwenden, so dass sich ein besonders einfacher Fall ergibt.

[0067] Die noch verbleibende, fehlende Transformation $T_{3,2}$ wird bestimmt, wenn sich der Patient bereits in der Bildaufnahme position für die erste Bildgebungseinrichtung **3** befindet, insbesondere unmittelbar vor und/oder während der Aufnahme des präoperativen Bilddatensatzes.

[0068] Nach der Aufnahme des präoperativen Bilddatensatzes ist also die Transformation $T_{3,1}$ ermittelt und fest vorgegeben, so dass lediglich noch ständig durch Messung mit der Positionsbestimmungseinrichtung **11** die Transformation $T_{9,3}$ nachvollzogen werden muss.

[0069] Selbstverständlich können auch intraoperative Bilddaten mitbetrachtet werden, nachdem, wenn die zweite Bildgebungseinrichtung **4** ebenso mit RFID-Referenzelementen **14** versehen ist, leicht auf analoge Weise wie oben beschrieben eine Transformation $T_{5,3}$ mittels des Koordinatensystem K_4 von dem zweiten Koordinatensystem K_5 in das Patientenkoordinatensystem K_3 ermittelt werden kann. Hieraus folgt auch eine Transformation $T_{5,1}$ zwischen dem ersten Koordinatensystem K_1 und dem zweiten Koordinatensystem K_5 .

[0070] Fig. 3 zeigt eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, die auch auf der eben beschriebenen Registrierung des Patientenkoordinatensystems K_3 mit dem ersten Koordinatensystem K_1 und dem zweiten Koordinatensystem K_5 basiert, so dass diesbezüglich keine Änderungen vorliegen. Damit ist nun eine genäherte Transformation $T_{5,1}$ von dem zweiten Koordinatensystem K_5 in das erste Koordinatensystem K_1 bekannt. Abhängig von der tat-

sächlichen Genauigkeit der Positionsbestimmungseinrichtung **11** kann dies bereits ausreichend sein, es kann jedoch zweckmäßigerweise, im Übrigen auch im Ausführungsbeispiel nach **Fig. 2**, vorgesehen werden, die genäherte Transformation $T_{5,1}$ als Initialparameter für einen bildbasierten Registrierungsalgorithmus zu verwenden, der eine optimale Transformation $T_{5,1}$ hieraus ermittelt, wobei auch eine elastische Registrierung vorgenommen werden kann. Hierbei können übliche, aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannte Verfahren eingesetzt werden.

[0071] In der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform wird die zusätzliche Navigationseinrichtung **17** mit verwendet. Dabei ist eine Variante denkbar, in der kein RFID-Referenzelement **13** an dem Instrument **2** benötigt wird, nachdem die Transformationen $T_{9,7}$, $T_{7,6}$, und $T_{6,5}$ wie aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt ermittelt werden können, wobei jedoch darauf zu achten ist, dass die Transformation $T_{6,5}$ sich selbstverständlich auf den Zeitpunkt der Aufnahme intraoperativer Bilddaten mit der zweiten Bildgebungseinrichtung **4** bezieht. Mithin ergibt sich insgesamt eine Transformation $T_{9,1}$ aus dem dritten Koordinatensystem K_9 in das erste Koordinatensystem K_1 .

[0072] Vorteilhaft ist es jedoch, wenn die an dem Instrument vorgesehenen Marker **23** der Navigationseinrichtung **17** in fester Relation zu den RFID-Referenzelementen **13** des Instruments **2** vorgesehen werden, so dass letztlich beide zur Definition des Patientenkoordinatensystems K_3 verwendet werden können, mit anderen Worten kann die Ausgestaltung dann so gewählt werden, dass sich die Koordinatensystem K_3 und K_7 entsprechen. Gegebenenfalls ist allerdings hier auch eine Kalibrierung sinnvoll und notwendig, welche beispielsweise möglich ist, wenn die Navigationseinrichtung **17**, konkret ihre Detektoreinrichtung, mit dem das Navigationskoordinatensystem K_{10} definierenden RFID-Referenzelement **16** versehen ist.

[0073] Bevorzugt wird jedoch, dass, wie bereits erwähnt, eine starre, feste Verbindung zwischen den Markern **23** an dem Instrument **2** und den RFID-Referenzelementen **13** am Instrument **2** gegeben ist, so dass eine aus den Transformationen $T_{9,7}$ und $T_{7,3}$, idealerweise der Identitätsabbildung, zusammengesetzte Transformation $T_{9,3}$ einfach ermittelbar ist, so dass der Zusammenhang zum ersten Koordinatensystem K_1 mittels der Transformation $T_{3,1}$ noch einfacher hergestellt werden kann.

[0074] Es sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass es ersichtlich auch andere Möglichkeiten gibt, bei Verwendung der verschiedenen Komponenten des Systems **1** Registrierungsbeziehungen herzustellen, die das über die RFID-Referenzelemente **12** des Pa-

tienten **1** definierte Patientenkoordinatensystem zur vorteilhaften Herstellung einer Registrierung nutzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Registrierung eines ersten Koordinatensystems einer ersten medizinischen Bildgebungseinrichtung mit einem zweiten Koordinatensystem einer zweiten medizinischen Bildgebungseinrichtung und/oder einem dritten Koordinatensystem eines insbesondere minimalinvasiven Instruments, welches durch Marker einer medizinischen Navigationseinrichtung definiert ist, wobei die Anwendung der ersten Bildgebungseinrichtung auf einen Patienten zu einer ersten Zeit und die Anwendung der zweiten Bildgebungseinrichtung auf den insbesondere im Vergleich zu der ersten Zeit bewegten Patienten und/oder der Navigationseinrichtung zur Lokalisierung des Instruments zu wenigstens einer zweiten Zeit erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass an und/oder in dem Patienten wenigstens ein durch eine Positionsbestimmungseinrichtung lokalisierbares, ein Patientenkoordinatensystem definierendes RFID-Referenzelement wenigstens von der ersten Zeit bis zu der zweiten Zeit angeordnet wird und zur Registrierung der Koordinatensysteme verwendet wird, wobei auch die erste Bildaufnahmeeinrichtung und/oder die zweite Bildaufnahmeeinrichtung und/oder die durch die Navigationseinrichtung zu lokalisierende Instrument und/oder eine ein Navigationskoordinatensystem definierende Detektoreinrichtung der Navigationseinrichtung mit einem durch die Positionsbestimmungseinrichtung lokalisierbaren RFID-Referenzelement versehen werden, wobei im Rahmen einer vorab durchgeführten Kalibrierung eine Transformation von einem durch das RFID-Referenzelement der ersten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem und/oder von einem durch das RFID-Referenzelement der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem und/oder von einem durch das RFID-Referenzelement der Detektoreinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das Navigationskoordinatensystem bestimmt wird oder ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das RFID-Referenzelement auch durch die erste Bildgebungseinrichtung und/oder die zweite Bildgebungseinrichtung und/oder die Navigationseinrichtung lokalisierbar ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein wenigstens einen in den Bilddaten wenigstens einer Bildgebungseinrichtung sichtbaren Marker umfassendes RFID-Referenzelement verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter Berücksichtigung der das

RFID-Referenzelement des Patienten, insbesondere den Marker, zeigenden Bilddaten und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems zur ersten und/oder zweiten Zeit bezüglich des RFID-Referenzelements des Patienten eine Transformation von dem ersten und/oder zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter Berücksichtigung der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der ersten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der ersten Bildaufnahmeeinrichtung zu der ersten Zeit eine Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird und/oder unter Berücksichtigung der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der zweiten Bildaufnahmeeinrichtung zu der zweiten Zeit eine Transformation von dem zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird und/oder unter Berücksichtigung der Transformation von dem durch das RFID-Referenzelement der Detektionseinrichtung aufgespannten Koordinatensystem in das Navigationskoordinatensystem und der Messdaten des Positionsbestimmungssystems bezüglich der RFID-Referenzelemente des Patienten und der Detektionseinrichtung zu der zweiten Zeit eine Transformation von dem Navigationskoordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Transformationen von dem ersten und dem zweiten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem eine genäherte Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die genäherte Transformation als Startwert in einem bildbasierten Registrierungsverfahren zur Ermittlung einer optimalen Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem genutzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Navigationseinrichtung die Positionsbestimmungseinrichtung verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass, insbeson-

dere unter Verwendung einer nach Anspruch 6 oder 7 ermittelten Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem und einer über das Navigationssystem ermittelten Transformation zwischen dem dritten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem oder unter Verwendung einer nach Anspruch 4 und/oder Anspruch 5 ermittelten Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das elten Transformation von dem ersten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem und einer, insbesondere unter Verwendung eines durch das Navigationssystem lokalisierbaren RFID-Referenzelements des Patienten, ermittelten Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das Patientenkoordinatensystem, eine Transformation von dem dritten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Instrument in den Bilddaten der ersten Bildgebungseinrichtung angezeigt wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rahmen eines insbesondere minimalinvasiven Eingriffs mit der ersten Bildgebungseinrichtung präoperative Bilddaten aufgenommen werden, wobei mittels der zweiten Bildgebungseinrichtung intraoperative Bilddaten aufgenommen werden und/oder ein zur Durchführung des Eingriffs genutztes Instrument über die Navigationseinrichtung lokalisiert wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als erste Bildgebungseinrichtung eine Computertomographie-Einrichtung verwendet wird und/oder als zweite Bildgebungseinrichtung eine Röntgeneinrichtung mit einem C-Bogen verwendet wird und/oder als Instrument ein Endoskop und/oder ein Laparoskop und/oder ein Katheter und/oder eine Punktionsnadel verwendet werden.

13. Medizinisches Untersuchungs- und/oder Behandlungssystem (1), umfassend eine erste Bildgebungseinrichtung (3) und eine zweite Bildgebungseinrichtung (4) und/oder eine Navigationseinrichtung (17) zum Lokalisieren eines medizinischen Instruments (2), ferner umfassend eine Positionsbestimmungseinrichtung (11) zum Lokalisieren von an oder in einem Patienten (6) anordenbaren RFID-Referenzelementen (12) und eine zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgebildete Steuereinrichtung (9).

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

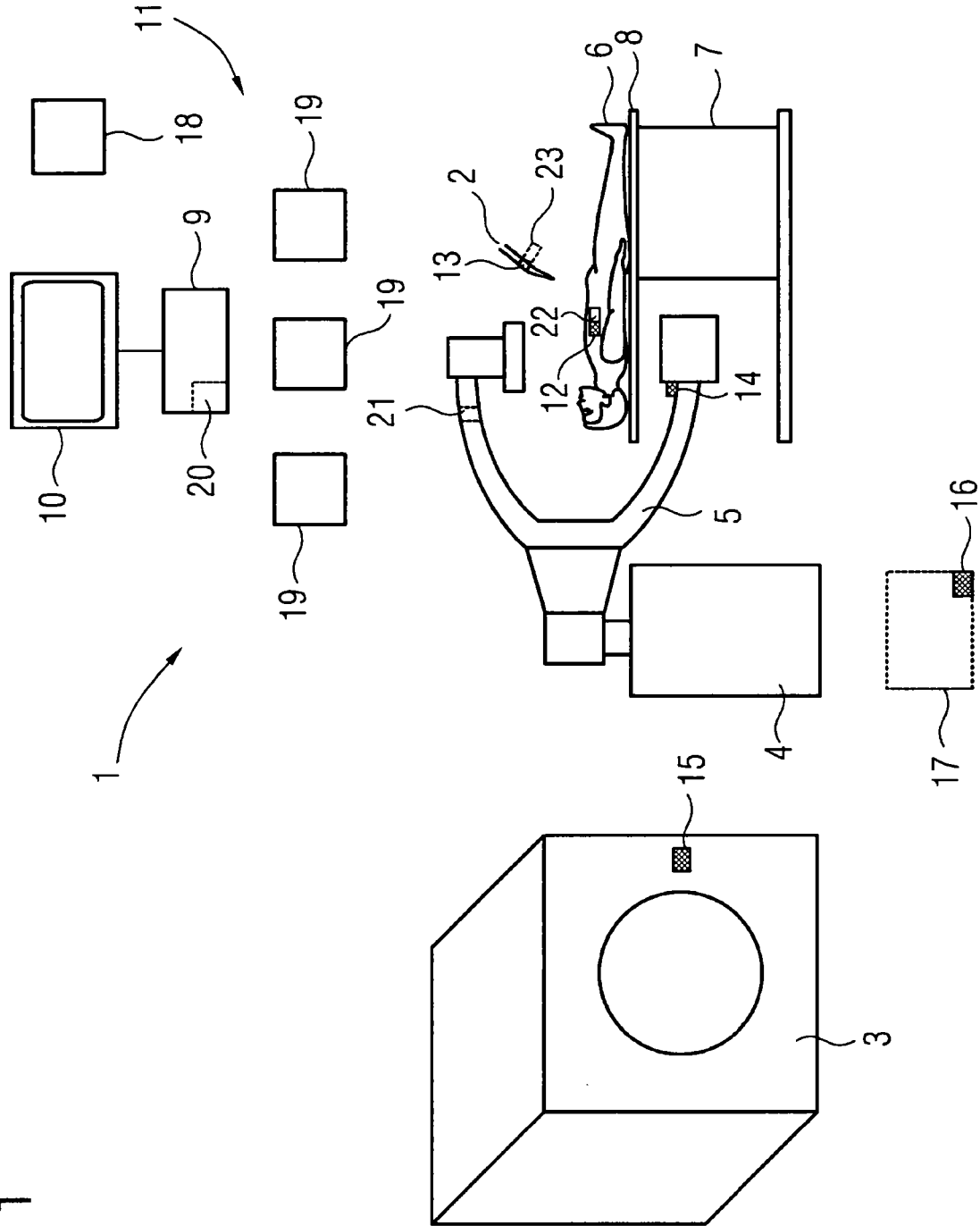


FIG 2

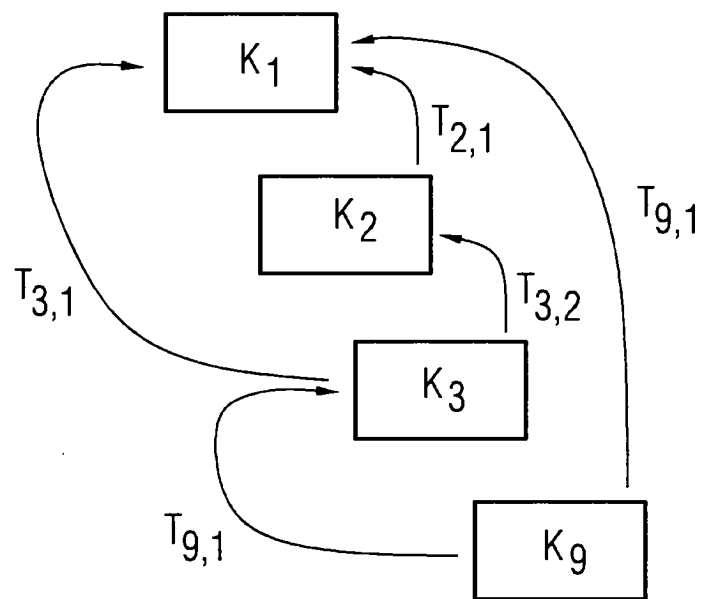


FIG 3

