

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument durchgeführten operativen Eingriffes.

Stand der Technik

[0002] Bei der Durchführung eines operativen Eingriffes an einem Lebewesen ist es bekannt, den Operateur bei der Führung des medizinischen Instruments durch eine optische Bildinformation zu unterstützen. Hierzu wird ein Bild des Instruments in ein beispielsweise mit einem Röntgengerät gewonnenes 2D- oder 3D-Bild des Behandlungsgebietes des Lebewesens positionsrichtig eingeblendet.

[0003] Um die Durchführung einer solchen auch als Fluoronavigation bezeichneten intraoperativen Navigation zu ermöglichen, kann beispielsweise vom Behandlungsgebiet während des operativen Eingriffes kontinuierlich ein 2D-Röntgenbild erstellt werden, so dass das Instrument gemeinsam mit dem Behandlungsgebiet durch die Röntgenstrahlung abgebildet wird. Dies ist jedoch aufgrund der mit einer solch dauernden Röntgenbestrahlung sowohl für den Behandelten als auch für den Behandelnden einhergehenden Strahlenbelastung nachteilig. Zur Vermeidung einer solch hohen Strahlenbelastung ist es deshalb bekannt, die Röntgenbilderzeugung und den operativen Eingriff zeitlich zu entkoppeln und das chirurgische Instrument nach erfolgter Röntgenbilderzeugung kameraunterstützt zu navigieren, indem ein Bild des Instrumentes in Echtzeit in ein vorhandenes, d.h. vorher aufgenommenes Röntgenbild positionsrichtig eingeblendet wird. Hierzu ist es erforderlich, sowohl die Position des Instrumentes in einem Bezugssystem als auch die Position dieses Bezugssystems relativ zu den Bildkoordinaten des Röntgenbildes zu bestimmen.

[0004] Bei dem zur intraoperativen Navigation in der Regel verwendeten Röntgengerät handelt es sich in vielen Fällen um ein sogenanntes C-Bogen-Röntgengerät, bei dem Röntgenquelle und Röntgenempfänger einander gegenüberliegend an einem um zwei zueinander orbitale Achsen schwenkbaren C-Bogen gelagert sind, um auf diese Weise Röntgenbilder aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen erzeugen zu können.

[0005] Für das positionsgenaue Einblenden eines Instrumentes, dessen räumliche Lage in einem Bezugssystem bekannt ist, in ein 2D-Röntgenbild ist die genaue Kenntnis der räumlichen Lage des zu diesem 2D-Bild gehörenden Projektionskegels in diesem Bezugssystem erforderlich. Idealerweise ist die Lage dieses Projektionskegels bereits dann bekannt, wenn die räumliche Lage der Bildebene, d. h. die Eintrittsfläche des Röntgenempfängers festliegt, so dass es ausreichen müsste, die Position des Röntgenempfängers in dem Bezugssystem zu bestimmen, in dem auch die Position des Instrumentes erfasst wird. In der Praxis hat sich aber herausgestellt, dass allein das Bestimmen der Position des Röntgenempfängers nicht ausreicht, um den Projektionskegel sicher festlegen zu können, da dieser aufgrund der unvermeidbaren und von der Lage der Röntgenstrahlachse abhängigen Durchbiegung des C-Bogens nicht immer dieselbe Relativposition zum Röntgenempfänger aufweist.

[0006] In der DE 199 17 867 A1 wird deshalb vorgeschlagen, am Röntgenempfänger eine Referenzstruktur anzuordnen, die neben optischen Positionsmarken für die kameraunterstützte Navigation auch Röntgenmarker enthält, die im Strahlengang der Röntgenstrahlung liegen und im Röntgenbild abgebildet werden. Aus der Lage der im Röntgenbild sichtbaren Röntgenmarker können sowohl die genaue Lage des Projektionskegels errechnet als auch eventuelle Verzerrungen rechnerisch eliminiert werden.

[0007] Die im Röntgenbild sichtbaren Röntgenmarker haben jedoch den Nachteil, dass sie einen Teil des Röntgenbildes abschatten und auf diese Weise unvermeidlich mit einem Informationsverlust verbunden sind. Dieser Informationsverlust lässt sich auch dann nicht vollständig vermeiden, wenn diese Röntgenmarker aus dem Röntgenbild durch digitale Bildverarbeitung eliminiert werden.

Aufgabenstellung

[0008] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument durchgeführten operativen Eingriffes anzugeben, das eine genaue Navigation ohne die Verwendung von Röntgenmarkern ermöglicht. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, eine nach diesem Verfahren arbeitende Einrichtung anzugeben.

[0009] Die erstgenannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Bei dem Verfahren zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument

durchgeführten operativen Eingriffes wird mit einem C-Bogen-Röntgengerät in zumindest einer Schwenkposition des C-Bogens ein zweidimensionales Röntgenbild eines zu behandelnden Volumenbereiches erzeugt und gespeichert. Mit einer Positionserfassungseinrichtung wird zumindest mittelbar die Position eines Gerätebezugssystems und die bei der Bilderzeugung vorliegende Position eines dem Patienten zugeordneten Referenzbezugssystems erfasst. Zwischen dem Referenzbezugssystem und einem Bildkoordinatensystem des Röntgenbildes wird unter Zuhilfenahme von bekannten, in einer vorhergehenden Kalibrierung gemessenen und gespeicherten gerätespezifischen Abbildungsvorschrift eine Transformationsvorschrift ermittelt. Während des anschließenden Eingriffes wird mit der Positionserfassungseinrichtung die Position eines dem Instrument zugeordneten Instrumentenbezugssystems im Referenzbezugssystem erfasst und das Instrument mit Hilfe der ermittelten Transformationsvorschrift positionsgetreu in das gespeicherte zweidimensionale Röntgenbild einblendet.

[0010] Durch diese Maßnahmen ist es möglich, das medizinische Instrument positionsgetreu in ein vorher gewonnenes zweidimensionales Röntgenbild einzublenden, ohne dass es der Anbringung zusätzlicher, die Bildqualität verschlechternder Röntgenmarker bedarf. Außerdem ist durch diese Vorgehensweise eine korrekte Einblendung des Instruments in das Röntgenbild auch dann möglich, wenn die Positionserfassungseinrichtung während des Eingriffes, beispielsweise zur besseren Erkennbarkeit des Instruments, in eine andere Position im Raum verfahren wird.

[0011] In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden zur Ermittlung der Transformationsvorschrift zwischen dem Bildkoordinatensystem und dem Referenzbezugssystem die folgenden Schritte durchgeführt:

- a) Erfassen der Position des C-Bogen-Röntgengerätes mit der Positionserfassungseinrichtung in einer Grundstellung,
- b) Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und einem dem C-Bogen-Röntgengerät zugeordneten Gerätebezugssystem mit Hilfe der im vorangegangenen Schritt erfassten Positionsdaten des C-Bogen-Röntgengerätes,
- c) Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Gerätebezugssystem,
- d) Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Gerätebezugssystem und dem Bildkoordinatensystem des in der Schwenkposition erzeugten zweidimensionalen Röntgenbildes mit Hilfe einer dieser Schwenkposition zugeordneten und in einer vorangegangenen Kalibrierung ermittelten und gespeicherten Projektionsmatrix,
- e) Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Bildkoordinatensystem mit Hilfe der in den beiden vorhergehenden Schritten ermittelten Transformationsvorschriften.

[0012] Durch die Verwendung der für das betreffende C-Bogen-Röntgengerät für eine Vielzahl von Stellungen des C-Bogens jeweils bekannten und gerätespezifischen, als Projektionsmatrix bezeichnete Abbildungsvorschrift zwischen dem Gerätebezugssystem und dem Bildkoordinatensystem ist eine korrekte Navigation mit minimalem Kalibrieraufwand möglich.

[0013] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Position des C-Bogen-Röntgengerätes in einer Grundstellung des C-Bogens anhand von Positionsmarken erfasst, die am Röntgenempfänger angeordnet sind. Die Position des Gerätebezugssystems wird mit einer in einer vorangegangenen Kalibrierung ermittelten Abbildungsvorschrift aus der Position eines diesen Positionsmarken zugeordneten Empfängerbezugssystems ermittelt. Durch die Verwendung einer nur einmalig zu bestimmenden, gerätespezifischen und für jedes C-Bogen-Röntgengerät bekannten, als Gerätematrix bezeichnete Abbildungsvorschrift zwischen dem Empfängerbezugssystem und dem Gerätebezugssystem kann die Position des Gerätebezugssystems besonders einfach und präzise bestimmt werden.

[0014] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die tatsächliche Schwenkposition des C-Bogens erfasst und dieser Schwenkposition diejenige Projektionsmatrix zugeordnet, die in einer Kalibrierung für eine Kalibrierposition ermittelt und gespeichert worden ist, die der tatsächlichen Schwenkposition am nächsten liegt.

[0015] Vorzugsweise wird zum Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und dem Gerätebezugssystem mit Hilfe der Positionserfassungseinrichtung die Position eines ortsfest im Raum angeordneten Basisbezugssystems erfasst. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, die Positionserfassungseinrichtung nach dem Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und dem Gerätebezugssystem in beliebige Positionen im Behandlungsraum verfahren zu können.

[0016] Die zweitgenannten Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einer Einrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 7. Die Einrichtung zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument durchgeführten operativen Eingriffes enthält ein C-Bogen-Röntgengerät zum Erzeugen eines zweidimensionalen Röntgenbildes, eine Positionserfassungseinrichtung zum wenigstens mittelbaren Erfassen der Position eines dem C-Bogen-Röntgengerät zugeordneten Gerätebezugssystems, eines dem Patienten zugeordneten Referenzbezugssystems und eines dem medizinischen Instrument zugeordneten Instrumentenbezugssystems, eine Recheneinrichtung zum Ermitteln einer während der Erzeugung des Röntgenbildes geltenden Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und einem Bildkoordinatensystem mit Hilfe gespeicherter gerätespezifischer Abbildungsvorschriften sowie zum Ermitteln einer während des Eingriffes geltenden Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Instrumentenbezugssystem und zum positionsgetreuen Einblenden des Instruments in das zweidimensionale Röntgenbild mit Hilfe dieser Transformationsvorschriften.

[0017] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Einrichtung sind in den diesem Patentanspruch zugeordneten Unteransprüchen wiedergegeben. Die Vorteile der in diesen Patentansprüchen wiedergegebenen Einrichtungen ergeben sich sinngemäß aus den Vorteilen der ihnen jeweils entsprechenden Verfahrensansprüche.

Ausführungsbeispiel

[0018] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf das Ausführungsbeispiel der Zeichnung verwiesen. Es zeigen:

[0019] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) eine Einrichtung gemäß der Erfindung in einer Grund bzw.- einer Arbeitsstellung.

[0020] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der bildunterstützten Navigation.

[0021] Gemäß [Fig. 1](#) umfasst eine Einrichtung gemäß der Erfindung ein mobiles C-Bogen-Röntgengerät **2** mit einem Gerätewagen **4**, an dem höhenverstellbar ein Lagerteil **8** für einen C-Bogen **10** angeordnet ist. Das Lagerteil **8** ist schwenkbar um eine parallel zur Zeichenebene orientierte Achse **12** (Angulationsachse) gelagert. Im Lagerteil **8** ist der C-Bogen schwenkbar um eine senkrecht zur Zeichenebene verlaufende Achse **14** (Orbitalachse) geführt. Die durch diese Lagerung möglichen Schwenkbewegungen sind durch die Doppelpfeile **16** und **18** veranschaulicht.

[0022] Am C-Bogen **10** sind einander gegenüberliegend eine Röntgenquelle **20** und ein Röntgenempfänger **22** angeordnet. Im Strahlenkegel **24** der von der Röntgenquelle **20** emittierten Röntgenstrahlung befindet sich ein zu behandelnder Patient P.

[0023] Das C-Bogen-Röntgengerät **2** umfasst eine Einrichtung **26** zur Wiedergabe eines vom Röntgenempfänger **22** empfangenen zweidimensionalen Röntgenbildes. Dem Röntgengerät ist ein zweidimensionales Bildkoordinatensystem O_M zugeordnet.

[0024] Ein Anlagenteil des C-Bogen-Röntgengerätes **2**, im Ausführungsbeispiel der Röntgenempfänger **22**, ist mit optischen Positionsmarken **28**, beispielsweise IR-Reflektoren, zur Positionserfassung versehen. Diese legen ein Empfängerbezugssystem O_R fest.

[0025] In der Nähe des C-Bogen-Röntgengerätes **2** ist eine mobile Positionserfassungseinrichtung **30** angeordnet, die zwei Kameras **32** und **34**, im Beispiel Infrarotkameras, sowie einen Infrarotsender **36** enthält. Alternativ hierzu ist auch der Einsatz einer ortsfest im Behandlungsraum angeordneten Positionserfassungseinrichtung möglich. Der Positionserfassungseinrichtung **30** ist ein Navigationsbezugssystem O_N zugeordnet, auf das die Koordinaten oder Positionsdaten der von der Positionserfassungseinrichtung **30** erfassten Anlagenteile bezogen sind.

[0026] In der Figur ist außerdem ein medizinisches Instrument **40** veranschaulicht, das ebenfalls mit optischen Positionsmarken **42** versehen ist, mit denen eine Bestimmung seiner Position, d.h. der Lage eines durch diese Positionsmarken **42** definierten Instrumentenbezugssystems O_I , mit der Positionserfassungseinrichtung **30** ermöglicht ist.

[0027] In einem ersten Schritt wird der Gerätewagen **4** mit dem C-Bogen-Röntgengerät **2** im Behandlungsraum in eine Arbeitsposition verfahren und dort arretiert, so dass das C-Bogen-Röntgengerät **2** zumindest während der gesamten Dauer einer Kalibrierung und anschließenden Bilderzeugung ortsfest im Behandlungsraum

fixiert ist.

[0028] Dem C-Bogen-Röntgengerät **2** ist ein Gerätebezugssystem O_D zugeordnet, dessen Lage im Raum unabhängig von der aktuellen Winkelstellung des C-Bogens eine Grundposition des C-Bogen-Röntgengerätes **2** bei ortsfest fixiertem Gerätewagen **4** definiert. Der Ursprung dieses Gerätebezugssystems O_D liegt beim Ausführungsbeispiel im sogenannten Isozentrum C, d.h. dem Schnittpunkt der Angulationsachse **12** mit der Orbitalachse **14**. Seine x- bzw. y-Achse verläuft parallel zur Angulations- bzw. Orbitalachse **12** bzw. **14**.

[0029] Am Gerätewagen **4** ist eine Markerplatte **44** mit Positionsmarken **46** angeordnet. Diese legen ein Basisbezugssystem O_X fest, das bei fixiertem Gerätewagen **4** im Raum ortsfest ist. Ein solches ortsfestes Basisbezugssystem O_X kann auch an anderer Stelle fest im Behandlungsraum angeordnet sein.

[0030] Da es möglich ist, dass sich das Behandlungsgebiet während des darauffolgenden Eingriffes verlagert, ist ein dynamisches Referenzbezugssystem O_P durch Positionsmarker **44** festgelegt, die in der Nähe des operativ zu behandelnden Körperteiles, beispielsweise an einer fest an einem Knochen angebrachten Markerplatte, angeordnet sind.

[0031] Die zur korrekten Navigation erforderlichen Rechenoperationen werden in einem Rechner **50** durchgeführt, in dem auch die gerätespezifischen Daten (Gerätematrix, Projektionsmatrizen) des C-Bogen-Röntgengerätes gespeichert sind.

[0032] Zur Bestimmung der Lage des Gerätebezugssystems O_D wird der C-Bogen **10** bei ruhendem Gerätewagen **4** in eine Grundstellung x_0 geschwenkt. In dieser, im Ausführungsbeispiel horizontalen Grundstellung x_0 wird mit Hilfe der Positionserfassungseinrichtung **30** und der am Röntgenempfänger **22** angeordneten optischen Positionsmarken **28** eine Transformationsvorschrift $\underline{T}_{NR,0}$ zwischen dem Navigationsbezugssystem O_N und einem dem Röntgenempfänger **22** zugeordneten Empfängerbezugssystem O_R ermittelt.

[0033] Für diese Grundstellung x_0 ist die als Gerätematrix \underline{M}_{A0} bezeichnete Transformationsvorschrift zwischen dem Gerätebezugssystem O_D und dem dem Röntgenempfänger **22** zugeordneten Empfängerbezugssystem O_R in einem vorangegangenen Kalibriervorgang ermittelt und im Rechner **50** gespeichert worden. Damit ist auch die Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem O_N und dem Gerätebezugssystem O_D , d. h. die Lage des Gerätebezugssystems O_D im Navigationsbezugssystem O_N bekannt.

[0034] Um ein Kenntnis über die räumliche Lage des Gerätebezugssystems O_D im Navigationsbezugssystem der O_N Positionserfassungseinrichtung **30** auch dann zu haben, wenn deren Position anschließend relativ zum fixierten Gerätewagen verändert wird, wird während der Kalibrierung von der Positionserfassungseinrichtung **30** die Lage des während der gesamten Kalibrier- und Bilderzeugungsphase ortsfesten Basisbezugssystems O_X erfasst, d. h. eine Transformationsvorschrift $\underline{T}_{NX,0}$ zwischen dem Navigationsbezugssystem O_N und einem ortsfesten Basisbezugssystem O_X ermittelt. Der Index "0" deutet an, dass es sich um Vorgänge während der Kalibrierung handelt. Im Ausführungsbeispiel ist das Basisbezugssystem O_X am Gerätewagen **4** fixiert, da dieser wenigstens bis zum Abschluss der Bilderzeugung, in der Regel sogar während des gesamten Eingriffes ortsfest bleibt.

[0035] Damit können die Transformationsvorschriften $\underline{T}_{XR,0}$ bzw. \underline{T}_{XD} zwischen dem Basisbezugssystem O_X und dem Empfängerbezugssystem O_R sowie dem Gerätebezugssystem O_D

$$\underline{T}_{XR,0} = \underline{T}_{NX,0}^{-1} * \underline{T}_{NR,0} \text{ und } \underline{T}_{XD} = \underline{T}_{XR,0} * \underline{M}_{A0}$$

berechnet werden. Die Kalibrierung ist abgeschlossen.

[0036] Die während der Kalibrierung durchgeführten Schritte sind in [Fig. 3](#) anhand der durchgezogenen Pfeile veranschaulicht.

[0037] Die Verwendung des ortsfesten Basisbezugssystems O_X hat den Vorteil, dass der Operateur anschließend, d. h. auch bereits bei der nachfolgenden Bilderzeugung die Positionserfassungseinrichtung **30** in eine andere, beispielsweise zum Erfassen der am Röntgenempfänger **22** angeordneten Positionsmarken **28** günstigere Stellung bringen kann.

[0038] Anschließend an die Kalibrierung wird der C-Bogen **10** in eine frei wählbare Schwenkposition geschwenkt, in der ein Röntgenbild des Behandlungsgebietes erzeugt wird. In dieser Arbeitsposition wird vom Positionserfassungssystem **30**, dessen Ort durch die Verwendung des Basisbezugssystems O_X nicht mehr mit

seinem Ort während der Kalibrierung übereinstimmen muss, die Lage des Basis Bezugssystems O_X , d. h. die Transformationsvorschrift $\underline{T}_{NX, I}$ zwischen dem Navigations Bezugssystem O_N und dem Basis Bezugssystem O_X ermittelt. Der Index "I" bedeutet, dass es sich um Vorgänge während der Bilderzeugung handelt.

[0039] Dies ist in [Fig. 2](#) dargestellt, in der sich die Schwenkposition des C-Bogens **10** zwischen den Kalibrierpositionen x_i und x_{t+i} befindet. Jeder Kalibrierposition x_i entspricht ein Winkelpaar aus einem Angulationswinkel und einem Orbitalwinkel (in der Figur ist vereinfachend eine Situation für den Angulationswinkel = 0 dargestellt, so dass sich die Kalibrierpositionen x_i nur durch den Orbitalwinkel unterscheiden). Für jede dieser Kalibrierpositionen x_i ist in einer vorhergehenden einmaligen gerätespezifischen Kalibriermessung eine zugehörige Projektionsmatrix \underline{P}_i bestimmt und im Rechner **50** gespeichert worden, mit deren Hilfe das Geräte Bezugssystem O_D korrekt in das Bildkoordinatensystem O_M projiziert wird.

$$\underline{P}_i : O_D \text{ ----> } O_M$$

[0040] Für die in der Schwenkposition zur korrekten Wiedergabe der Lage des Geräte Bezugssystems O_D im Bildkoordinatensystem O_M erforderliche Projektionsmatrix \underline{P} wird nun diejenige Projektionsmatrix verwendet, die zu einer Kalibrierposition gehört, die der tatsächlichen Schwenkposition am nächsten liegt. Dies ist im Ausführungsbeispiel die Kalibrierposition x_i und dementsprechend die Projektionsmatrix \underline{P}_i . Die tatsächliche Schwenkposition des C-Bogens **10** wird im Ausführungsbeispiel durch geeignete Winkelgeber am C-Bogen-Röntgengerät **2** erfasst. Alternativ hierzu kann die aktuelle Schwenkposition des C-Bogens **10** auch mit der Positionserfassungseinrichtung **30** ermittelt werden, indem diese die tatsächliche Stellung des Röntgenempfängers **22** erfasst und daraus mit Hilfe der Positionserfassungseinrichtung eine Transformationsvorschrift \underline{T}_{XR} zwischen dem Basis Bezugssystem O_X und dem aktuellen Empfänger Bezugssystem O_R ermittelt. Aus der Transformationsvorschrift \underline{T}_{XR} und der in der Grundstellung x_0 ermittelten Transformationsvorschrift \underline{T}_{XR0} können dann die Drehwinkel errechnet und die zugehörige Projektionsmatrix der nächstgelegenen Schwenkstellung ermittelt werden.

[0041] In der Schwenkposition wird vom Positionserfassungssystem **30** die Lage des Referenz Bezugssystems O_P , d. h. die Transformationsvorschrift $\underline{T}_{NP, I}$ zwischen dem Navigations Bezugssystem O_N und dem Referenz Bezugssystem O_P ermittelt. Damit kann auch die Transformationsvorschrift

$$\underline{T}_{XP, I} = \underline{T}_{XN, I} * \underline{T}_{NP, I}$$

zwischen dem Basis Bezugssystem O_X und dem Referenz Bezugssystem O_P und somit auch die Transformationsvorschrift

$$\underline{T}_{PD, I} = \underline{T}_{XP, I}^{-1} * \underline{T}_{XD}$$

zwischen dem Referenz Bezugssystem O_P und dem Geräte Bezugssystem O_D bekannt, so dass mit Hilfe der Projektionsmatrix \underline{P}_i das Referenz Bezugssystem O_P korrekt in das Bildkoordinatensystem O_M projiziert werden kann. Zwischen dem Bildkoordinatensystem O_M und dem Referenz Bezugssystem O_P gibt es dann eine feste Transformationsbeziehung $\underline{T}_{PM, I} = \underline{T}_{PD, I} * \underline{P}_i$. Mit anderen Worten: Sind die Koordinaten eines Raumpunktes (y_{P1}, y_{P2}, y_{P3}) im Referenz Bezugssystem bekannt, so liegen dessen Koordinaten (y_{M1}, y_{M2}) im Bildkoordinatensystem O_M fest. Die bei der Bilderzeugung durchgeführten Schritte sind in der [Fig. 3](#) durch strichpunktierte Pfeile veranschaulicht.

[0042] In dieser Weise können eine Mehrzahl von aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen gewonnenen Röntgenbilder mit jeweils bekannter Transformationsvorschrift zwischen dem Bild Bezugssystem und dem zum Zeitpunkt der Bilderzeugung gültigen Referenz Bezugssystem erzeugt und gespeichert werden.

[0043] Nach der Aufnahme des zumindest eine Röntgenbildes wird mit der eigentlichen Navigation begonnen. Hierzu kann die Positionserfassungseinrichtung **30** in eine für die Erkennbarkeit der am Instrument angeordneten Positionsmarken **42** günstige Position gefahren werden. Nun werden mit der Positionserfassungseinrichtung **30** sowohl die Lage des Instrumenten Bezugssystems O_I als auch des dynamischen Referenz Bezugssystems O_P im Navigations Bezugssystem O_N bzw. die Transformationsvorschriften $\underline{T}_{NI, N}$ und $\underline{T}_{NP, N}$ erfasst, aus denen die Transformationsvorschrift

$$\underline{T}_{IP, N} = \underline{T}_{NI, N}^{-1} * \underline{T}_{NP, N}$$

ermittelt wird, wobei der Index "N" Verfahrensschritte, die während der Navigation stattfinden, charakterisiert. Diese gibt nun die Lage des Instruments **40** im Referenz Bezugssystem O_P an, dessen Lage im Bildkoordinatensystem O_M wiederum bekannt ist, so dass die Lage des Instrumentes **40** mit Hilfe der Transformationsvor-

schrift

$$\underline{T}_{IM,N} = \underline{T}_{IP,N} * \underline{T}_{PM,I}$$

korrekt in das Bild projiziert werden kann. Diese Schritte sind in [Fig. 3](#) durch die gestrichelten Pfeile veranschaulicht.

[0044] Während der Navigation ist es grundsätzlich möglich, das C-Bogen-Röntgengerät **2** zu entfernen, um auf diese Weise, dem Operateur einen ungehinderten Zugang zum Behandlungsgebiet zu ermöglichen. Ein Verbleib des Gerätewagens **6** in der während der Kalibrierung arretierten Stellung hat jedoch den Vorteil, dass es dem Operateur ohne erneute Kalibrierung möglich ist, ein neues Röntgenbild aus einer für den nächsten Eingriff günstigeren Position zu erzeugen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument durchgeführten operativen Eingriffes, bei dem mit einem C-Bogen-Röntgengerät in zumindest einer Schwenkposition des C-Bogens ein zweidimensionales Röntgenbild eines zu behandelnden Volumenbereiches erzeugt und gespeichert und mit einer Positionserfassungseinrichtung zumindest mittelbar die Position eines Gerätebezugssystems und die bei der Bilderzeugung vorliegende Position eines dem Patienten zugeordneten Referenzbezugssystems erfasst wird, und bei dem eine Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und einem Bildkoordinatensystem des Röntgenbildes unter Zuhilfenahme von bekannten, in einer vorhergehenden Kalibrierung gemessenen und gespeicherten gerätespezifischen Abbildungsvorschrift ermittelt wird, und bei dem anschließend während des nachfolgenden Eingriffes mit der Positionserfassungseinrichtung die Position eines dem Instrument zugeordneten Instrumentenbezugssystems im Referenzbezugssystem erfasst und das Instrument mit Hilfe der ermittelten Transformationsvorschrift positionsgetreu in das gespeicherte zweidimensionale Röntgenbild eingeblendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit folgenden Merkmalen:

- Erfassen der Position des C-Bogen-Röntgengerätes mit der Positionserfassungseinrichtung in einer Grundstellung,
- Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und einem dem C-Bogen-Röntgengerät zugeordneten Gerätebezugssystem mit Hilfe der im vorangegangenen Schritt erfassten Positionsdaten des C-Bogen-Röntgengerätes,
- Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Gerätebezugssystem,
- Ermitteln einer Transformationsvorschrift zwischen dem Gerätebezugssystem und dem Bildkoordinatensystem des in der Schwenkposition erzeugten zweidimensionalen Röntgenbildes mit Hilfe einer dieser Schwenkposition zugeordneten und in einer vorangegangenen Kalibrierung ermittelten und gespeicherten Projektionsmatrix,
- Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Bildkoordinatensystem mit Hilfe der in den beiden vorhergehenden Schritten ermittelten Transformationsvorschriften.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Position des C-Bogen-Röntgengerätes in der Grundstellung des C-Bogens anhand von Positionsmarken erfasst wird, die am Röntgenempfänger angeordnet sind, und bei dem die Position des Gerätebezugssystems mit einer in einer vorangegangenen Kalibrierung ermittelten Gerätematrix aus der Position des diesen Positionsmarken zugeordneten Empfängerbezugssystems ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die tatsächliche Schwenkposition des C-Bogens erfasst und dieser Schwenkposition diejenige Projektionsmatrix zugeordnet wird, die in einer Kalibrierung für eine Kalibrierposition ermittelt und gespeichert worden ist, die der tatsächlichen Schwenkposition am nächsten liegt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zum Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und dem Gerätebezugssystem mit Hilfe der Positionserfassungseinrichtung die Position eines ortsfest im Raum angeordneten Basisbezugssystems erfasst wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Positionserfassungseinrichtung nach dem Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und dem Gerätebezugssystem verfahren wird.

7. Einrichtung zur Bildunterstützung eines mit einem medizinischen Instrument durchgeführten operativen

Eingriffes, mit einem C-Bogen-Röntgengerät zum Erzeugen eines zweidimensionalen Röntgenbildes, und mit einer Positionserfassungseinrichtung zum wenigstens mittelbaren Erfassen der Position eines dem C-Bogen-Röntgengerät zugeordneten Gerätebezugssystems, eines dem Patienten zugeordneten Referenzbezugssystems und eines dem medizinischen Instrument zugeordneten Instrumentenbezugssystems, sowie mit einer Recheneinrichtung zum Ermitteln einer während der Erzeugung des Röntgenbildes geltenden Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und einem Bildkoordinatensystem sowie einer während des Eingriffs geltenden Transformationsvorschrift zwischen dem Referenzbezugssystem und dem Instrumentenbezugssystem mit Hilfe gespeicherter gerätespezifischer Abbildungsvorschriften und zum positionsgetreuen Einblenden des Instruments in das zweidimensionale Röntgenbild mit Hilfe dieser Transformationsvorschriften.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, bei der zum wenigstens mittelbaren Erfassen der Position des dem C-Bogen-Röntgengerät zugeordneten Gerätebezugssystems am Röntgenempfänger angeordnete Positionsmarken vorgesehen sind.

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, mit Mitteln zum Erfassen einer bei der Erzeugung des Röntgenbildes vorliegenden tatsächlichen Schwenkposition des C-Bogens sowie einer Speichereinrichtung in der die in einer zum Speichern der in einer Kalibrierung für eine Vielzahl von Kalibrierstellungen ermittelten Projektionsmatrix, wobei die Recheneinrichtung dieser Schwenkposition eine Projektionsmatrix zuordnet, die in der Kalibrierung für eine Kalibrierposition ermittelt und gespeichert worden ist, die der tatsächlichen Schwenkposition am nächsten liegt.

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei der zum Ermitteln der Transformationsvorschrift zwischen dem Navigationsbezugssystem und dem zugeordneten Gerätebezugssystem ein von der Positionserfassungseinrichtung erfassbares, ortsfest im Raum angeordnetes Basisbezugssystem vorgesehen ist.

11. Einrichtung nach Anspruch 10, bei dem die Positionserfassungseinrichtung verfahrbar ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

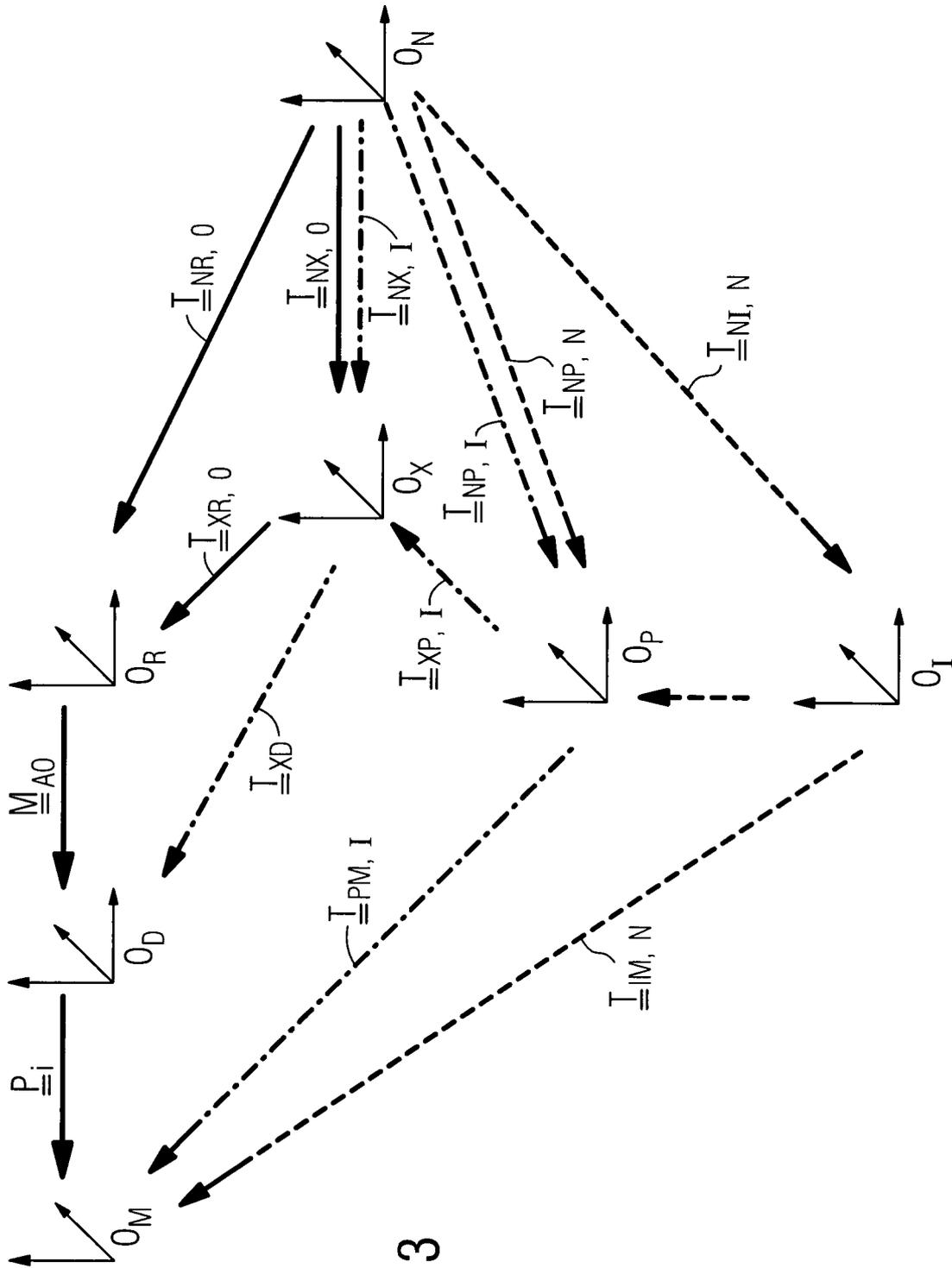


FIG 3