



(10) **DE 10 2005 032 755 B4** 2014.09.04

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 032 755.9**
(22) Anmeldetag: **13.07.2005**
(43) Offenlegungstag: **25.01.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.09.2014**

(51) Int Cl.: **A61B 19/00 (2006.01)**
A61B 18/00 (2006.01)
A61B 5/0402 (2006.01)
A61B 6/02 (2006.01)
A61B 5/055 (2006.01)
A61B 1/04 (2006.01)
A61B 8/12 (2006.01)
A61B 6/03 (2006.01)
A61B 17/94 (2006.01)
A61M 31/00 (2006.01)
A61M 16/01 (2006.01)
A61M 25/095 (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

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(72) Erfinder:
Maschke, Michael, 91475, Lonnerstadt, DE;
Killmann, Reinmar, Dr., 91301, Forchheim, DE

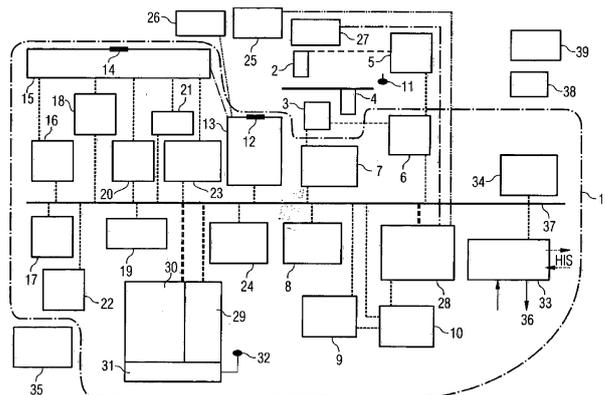
(54) Bezeichnung: **System zur Durchführung und Überwachung minimal-invasiver Eingriffe**

(57) Hauptanspruch: System zur Durchführung und Überwachung minimalinvasiver Eingriffe, insbesondere zur Behandlung elektrophysiologischer Erkrankungen, zumindest umfassend:

- ein C-Bogen-Röntgengerät für angiographische und/oder kardiologische Bildgebung (2–6) mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilgewebe, bei dem mindestens ein Röntgenstrahler (2) und ein Röntgendetektor (3) eine kreisförmige Bahn über einen Winkelbereich abfahren können,
- ein EKG-Aufzeichnungsgerät,
- einen bildgebenden Katheter,
- ein Mapping-Gerät (25) mit einem Mapping-Katheter und
- ein Ablations-Gerät (26) mit einem Ablations-Katheter, für die an einer Steuer- und Auswerteeinheit (1) des Systems Schnittstellen für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) vorhanden sind, wobei die Steuer- und Auswerteeinheit (1)

zur Verarbeitung von Mess- und/oder Bilddaten, die sie von den Kathetern und Geräten (2–6, 25, 26) erhält, und zur Steuerung der Katheter und Gerte (2–6, 25, 26) für die Erfassung der Mess- und/oder Bilddaten ausgebildet ist, eine Bediener-Schnittstelle (29) für eine zentrale Bedienung aller Katheter und Geräte (2–6, 25, 26) und einen Bildschirm (30) für eine zentrale Darstellung der von den Kathetern und Geräten (2–6, 25, 26) erfassten Mess- und/oder Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten aufweist, ein oder mehrere Module zur Registrierung und Überlagerung der von den Kathetern und/oder Geräten (2–6, 25, 26)

erfassten Mess- und/oder Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten am Bildschirm (30) aufweist, wobei zumindest eines der ein oder mehreren Module zur Registrierung und Überlagerung für die Überlagerung von Bilddaten des bildgebenden Katheters mit Bilddaten des Röntgengeräts (2–6) ausgebildet ist, ein Modul zur Ansteuerung des Röntgengeräts (2–6) für die Aufzeichnung eines 3D-Bilddatensatzes und ein Modul zur Bildverarbeitung von Bilddaten des Röntgengeräts (2–6) zur Darstellung von Weichteilgewebe umfasst.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 47 364	A1
DE	102 10 645	A1
DE	102 10 646	A1
DE	102 55 957	A1
DE	103 06 068	A1
DE	103 55 275	A1
US	6 379 041	B1
US	6 506 972	B1
US	6 556 695	B1
US	6 738 673	B2
US	6 772 001	B2
US	2002 / 0 049 375	A1
US	2002 / 0 181 645	A1
US	2003 / 0 040 674	A1
US	2003 / 0 199 748	A1
US	2003 / 0 220 561	A1
US	2004 / 0 008 882	A1
US	2004 / 0 066 906	A1
US	2005 / 0 058 248	A1
US	5 409 000	A
US	6 148 823	A
US	646 525	A
US	5 706 416	A
US	6 038 468	A
EP	1 182 619	A2
WO	00/ 43 730	A1
WO	01/ 11 409	A2

E. Euler, S. Heining, T. Fischer , K. J. Pfeifer ,
W. Mutschler: Initial Clinical Experiences with the
SIREMOBIL Iso-C3D. In: electromedica, 70, 2002,
no. 1, pages 48 - 51.

Walter, Ulrich; Hundt, Eckart, Dr.:
Autostereoskopische 3D-Displays und -Verfahren.
In: Siemens. München: Technology Report CT
IRC TIS. Oktober 2003. - Firmenschrift

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System zur Durchführung und Überwachung minimal-invasiver Eingriffe, insbesondere zur Behandlung elektrophysiologischer Erkrankungen. Zu den ernsthaften kardiologischen Erkrankungen zählen die tachykarden Rhythmusstörungen, wie beispielsweise atriale Fibrillation. Dabei wird durch Reizleitungsstörungen im Herzen der Vorhof mit hoher Frequenz angeregt. Bei anderen, beispielsweise ventrikulären Tachykardien kommt es zu einer vollständigen Kontraktion und somit zu einer mangelhaften Pumpleistung des Herzens. In der Vergangenheit wurde entweder versucht, die Auswirkung der atrialen Fibrillation durch eine kontinuierliche Einnahme von Medikamenten zu reduzieren, oder die Ursache der atrialen Fibrillation durch eine Herzoperation zu beseitigen, bei der Reizleitungsgewebe in bestimmten Teilen des Vorhofs durchtrennt wird. Diese chirurgische Behandlung hat jedoch ein relativ hohes Risiko für den Patienten. In jüngster Zeit etabliert sich eine minimal-invasive Therapiemethode. Dabei wird ein Ablations-Katheter über einen Venenzugang in den Vorhof eingebracht. Mit dem Ablations-Katheter werden dann die störenden Reizleitungsbahnen mit elektrischer Energie, beispielsweise Hochfrequenzstrahlung, durchtrennt. Die störenden Reizleitungsbahnen müssen bei dieser minimal-invasiven Therapie für den behandelnden Arzt ersichtlich sein, damit sie durch den Ablations-Katheter richtig getroffen werden. Zu diesem Zweck wird in der Regel ein Mapping-Katheter eingesetzt, mit dem vor der Therapie die elektrophysiologischen Potentiale im Herzen orts aufgelöst erfasst und an einem Monitor dargestellt werden.

[0002] Die minimal-invasive Diagnose und Therapie von tachykarden Rhythmusstörungen wird in einem elektrophysiologischen Labor durchgeführt, in dem ein angiographisches Röntgengerät, eine Vorrichtung zur Aufzeichnung eines intrakardialen EKG's, ein Mapping-Katheter sowie der Ablations-Katheter zur Verfügung stehen. Das Verfahren selbst wird in der Elektrophysiologie allgemein als Hochfrequenzablation oder RE-Ablation bezeichnet. Die Methode zum Messen der elektrophysiologischen Potentiale im Herzen zur Bestimmung des jeweils richtigen Ablationsortes mit dem Mapping-Katheter wird als Mapping bezeichnet.

[0003] Aus der US 6 556 695 B1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Unterstützung der Diagnose und der RF-Ablation sowie des Mappings bekannt, die dem Anwender eine bessere Navigation während der eigentlichen Ablations-Prozedur ermöglichen. Bei dem Verfahren werden vor Beginn der Prozedur mittels einer 3D-bildgebenden Modalität, insbesondere eines Computertomographen oder eines Magnetresonanztomographen, 3D-Aufnahmen des Herzens erstellt. Diese 3D-Aufnahmen werden

mit dem Koordinatensystem des Mapping-Katheters registriert, so dass die 3D-Aufnahmen zusammen mit den Mapping-Daten überlagert dargestellt werden können. Während der Durchführung der Prozedur werden zusätzlich 2D-Aufnahmen mit einem intrakardialen Ultraschall-Katheter aufgezeichnet, die ebenfalls den dargestellten Bilddaten überlagert werden, um dem medizinischen Anwender aktualisierte Informationen zur Orientierung und Navigation während der Prozedur zu geben. Die Anwendung dieser Technik erfordert jedoch die Aufzeichnung von 3D-Aufnahmen in einer anderen Station vor der Prozedur, da in einem elektrophysiologischen Labor in der Regel kein Computertomograph oder Magnetresonanztomograph zur Verfügung steht. Dies bedeutet einen erhöhten Zeitaufwand für Patient und Klinikpersonal.

[0004] Aus der DE 103 55 275 A1 ist eine Kathetereinrichtung, insbesondere ein speziell ausgebildeter Ablationskatheter bekannt, bei dem in die Katheterspitze eine Bildaufnahmeeinrichtung sowie eine EKG-Einrichtung integriert sind. Mit der EKG-Einrichtung lässt sich bei Bedarf ein elektro-physiologisches Mapping durchführen. Der Arzt erhält aufgrund der integrierten Bildaufnahmeeinrichtung während der Arbeit im Untersuchungsgebiet optische Informationen unmittelbar zum Untersuchungsgebiet bei gleichzeitiger Möglichkeit der Ablation. Zusätzlich kann die bisher bekannte Röntgenüberwachung durchgeführt werden, so dass der Arzt ohne weiteres exakt im Untersuchungsgebiet manövrieren und arbeiten kann. Eine zentrale Steuerungs- oder Verarbeitungseinrichtung ist mit dem Katheter sowie einem optionalen Positionserfassungssystem verbunden, um die jeweiligen Messdaten erfassen und geeignet verarbeiten zu können.

[0005] Aus der EP 1 182 619 A2 ist ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Überlagerung eines 3D-Röntgenbildes und einer elektro-physiologischen 3D-Map bekannt. Das System umfasst dementsprechend eine bildgebende Modalität für die 3D-Bildgebung sowie einen Mapping-Katheter und eine Steuer- und Auswerteeinheit. Auch zusätzliche therapeutische Elemente, insbesondere ein Ablationskatheter und eine EKG-Aufzeichnungseinrichtung, können bei diesem System vorgesehen sein. Als bildgebende Modalitäten werden hierbei eine Echo-Dopplereinheit, SPECT, PET, MRI und CT explizit genannt.

[0006] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein System zur Durchführung und Überwachung minimal-invasiver Eingriffe, insbesondere zur Behandlung elektrophysiologischer Erkrankungen, anzugeben, das den Workflow von der Untersuchung bis zur Therapie vollständig abdeckt, so dass sämtliche für die Behandlung erforderlichen Schritte in einem elektrophysiologischen Labor durchgeführt werden können.

[0007] Die Aufgabe wird mit dem System gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Systems sind Gegenstand der Unteransprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie dem Ausführungsbeispiel entnehmen.

[0008] Das vorliegende System umfasst ein Röntgengerät, bei dem mindestens ein Röntgenstrahler und ein Röntgendetektor eine kreisförmige Bahn über einen Winkelbereich $< 360^\circ$ abfahren können, wobei das Röntgengerät ein C-Bogen-Röntgengerät für angiographische und/oder kardiologische Bildgebung ist, ein EKG-Aufzeichnungsgerät, einen bildgebenden Katheter, ein Mapping-Gerät mit einem Mapping-Katheter und ein Ablations-Gerät mit einem Ablations-Katheter. Weiterhin umfasst das System eine Steuer- und Auswerteeinheit, die zumindest Schnittstellen für das Röntgengerät, das EKG-Aufzeichnungsgerät, das Mapping-Gerät, das Ablations-Gerät und den bildgebenden Katheter für einen Datenaustausch mit diesen Geräten bzw. Kathetern aufweist. Die Steuer- und Auswerteeinheit des vorliegenden Systems ist zur Verarbeitung von Mess- und/oder Bilddaten, die sie von den Kathetern und Geräten über die Schnittstellen erhält, und zur Steuerung der Katheter und Geräte für die Erfassung der Mess- und/oder Bilddaten ausgebildet. Vorzugsweise weist die Steuer- und Auswerteeinheit hierfür einen Datenbus auf, über den die Schnittstellen miteinander und mit Modulen der Steuer- und Auswerteeinheit Daten austauschen können. Weiterhin sind eine Bediener-schnittstelle für eine zentrale Bedienung aller Katheter und Geräte sowie ein Bildschirm für eine zentrale Darstellung der von den Kathetern und Geräten erfassten Mess- und/oder Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten vorhanden.

[0009] Mit dem vorliegenden System lassen sich alle erforderlichen Schritte für eine Behandlung von tachykarden Rhythmusstörungen in einem elektrophysiologischen Labor ohne weitere bildgebende Hilfsmittel durchführen. Damit lassen sich alle tachykarden Rhythmusstörungen zuverlässig, mit geringem Risiko für den Patienten und das klinische Personal, mit hoher Qualität und mit gutem Therapieerfolg beseitigen. Das System ist dabei nicht auf Voraufnahmen von Computertomographen oder Magnetresonanztomographen angewiesen. Vielmehr können mit dem vorliegenden System 3D-Bilddaten in Echtzeit erzeugt und beispielsweise mit 2D-Aufnahmen überlagert werden. Die 3D-Aufnahmen werden beim vorliegenden System mit dem dafür ausgestalteten Röntgengerät aufgenommen, mit dem sich aus unterschiedlichen einstellbaren Projektionen ein 3D-Bilddatensatz rekonstruieren lässt. Die Techniken zur Rekonstruktion eines 3D-Bilddatensatzes aus Aufnahmen des beim vorliegenden System eingesetzten C-Bogen-Röntgengeräts, sind grundsätzlich bekannt. So können beispielsweise 3D-Aufnahmen von einem Schädel und den Ge-

fäßen mit dem Gerät AXIOM Artis® FA/FB der Fa. Siemens mit einer zugehörigen Workstation erhalten werden. Aus der US 2004/0066906 A1 ist ebenfalls ein Verfahren zur Erzeugung eines Volumendatensatzes bekannt. Weitere Beispiele für C-Bogen-Röntgengeräte, die 3D-Aufnahmen liefern, sind in der Electromedica 70 (2002) no. 1, „Initial Clinical Experiences with the SIREMOBIL ISO-C^{3D}“ von Euler et al. auf den Seiten 48 bis 51, in der DE 100 47 364 A1, der US 6 379 041 B1 oder der DE 103 06 068 A1 beschrieben. Die meisten der bisher bekannten Lösungen nutzen jedoch ein mobiles C-Bogen-Röntgengerät zur Erzeugung der 3D-Röntgenaufnahmen. Derartige mobile Vorrichtungen erreichen jedoch in der Regel keine für kardiologische Aufnahmen ausreichenden Röntgenleistungen. Für das vorliegende System ist daher ein stationäres Röntgengerät, beispielsweise ein AXIOM Artis® FC, TC oder BC mit einem Flachdetektor vorzuziehen.

[0010] Die Steuer- und Auswerteeinheit sollte hierbei das entsprechende Modul für die Rekonstruktion eines 3D-Bilddatensatzes aus den mit einem derartigen Röntgengerät gewonnenen Bilddaten aufweisen. Weiterhin sollte die Steuer- und Auswerteeinheit auch ein Korrekturmodul zur Korrektur der Bilddaten aufweisen, das eine Darstellung von Weichteilen („soft tissue“), insbesondere bewegter Weichteile, ermöglicht. Die hierbei durchzuführende Korrektur kann aus der Gruppe von Truncation-Korrektur, Streustrahlungs-Korrektur, Überstrahlungskorrektur, Ringartefakt-Korrektur, Korrektur der Strahlauflöschung und des Low-Frequency-Drop gewählt werden. Auch ein getrennter Korrekturprozessor für eine Durchführung dieser Korrekturen kann in der Steuer- und Auswerteeinrichtung vorgesehen sein. Ein Beispiel für ein Röntgengerät mit geeigneten Korrekturmodulen in einer Workstation ist das Gerät DynaCT® der Fa. Siemens. Neben den 3D-Aufnahmen lassen sich mit dem vorliegenden Röntgengerät selbstverständlich auch 2D-Röntgenaufnahmen (Fluoroskopie) erstellen.

[0011] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des vorliegenden Systems besteht in der Möglichkeit des Datenaustausches zwischen allen angeschlossenen Geräten. Der Bediener muss hierbei keinerlei Daten oder Informationen von einem Gerät an das jeweils andere Gerät übertragen bzw. dort eingeben. Vielmehr ist über die zentrale Steuer- und Auswerteeinheit jederzeit sichergestellt, dass alle angeschlossenen Geräte jederzeit die für deren Einsatz erforderlichen Daten des oder der anderen Geräte zur Verfügung haben. Insbesondere lässt sich das vorliegende System erfindungsgemäß über eine zentrale Bediener-schnittstelle bedienen, an der alle erforderlichen Informationen und Daten zur Verfügung stehen. Hierfür ist auch zumindest ein zentraler Bildschirm vorgesehen, an dem alle von den unterschiedlichen Ger-

ten oder Kathetern erzeugten Daten, gegebenenfalls überlagert, dargestellt werden.

[0012] Auch wenn das vorliegende System für die Durchführung und Überwachung eines minimal-invasiven Eingriffs keine vorab aufgezeichneten 3D-Bilddaten eines Computertomographen oder eines Magnetresonanztomographen benötigt, so kann in einer Ausgestaltung des vorliegenden Systems dennoch die Möglichkeit vorgesehen sein, derartige 3D-Bilddaten in dem System zu speichern und mit dem System, gegebenenfalls überlagert mit anderen Bild- oder Messdaten, darzustellen. In diesem Fall ist eine entsprechende Schnittstelle für die Zuführung derartiger externer 3D-Bilddaten, beispielsweise in Form einer DICOM-Schnittstelle vorgesehen. Weiterhin umfasst die Steuer- und Auswerteeinrichtung ein Modul zur Registrierung derartiger 3D-Bilddaten mit dem Koordinatensystem ein oder mehrerer Geräte oder Katheter des vorliegenden Systems sowie zur überlagerten Bilddarstellung der externen 3D-Bilddaten mit Bild- oder Messdaten der Katheter oder Geräte. Die externen 3D-Bilddaten können hierbei auch mit aktuellen Bilddaten des Röntgengeräts oder des bildgebenden Katheters aktualisiert werden.

[0013] Auch wenn die vorliegende Erfindung vor allem anhand der Anwendung zur Untersuchung und Therapie in den Herzkammern, insbesondere zur Behandlung von tachykarden Rhythmusstörungen erläutert wird, so ist offensichtlich, dass sich das erfindungsgemäße System auch für andere vaskuläre Gefäßuntersuchungen und Organuntersuchungen einschließlich deren minimal-invasiven Therapien einsetzen lässt.

[0014] Das vorliegende System wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der beiliegenden Figur nochmals eingehend erläutert. Die Figur zeigt hierbei eine Darstellung des Systems in einer Ausgestaltung, die zahlreiche optionale Komponenten erhält. Der gestrichelt eingerahmte Bereich deutet hierbei die Steuer- und Auswerteeinheit **1** mit den zugehörigen Modulen an. Selbstverständlich können jedoch auch einzelne dieser Module als Teil der einzelnen Geräte ausgebildet sein, insbesondere wenn diese Module eine Vorverarbeitung der erfassten Mess- oder Bilddaten durchführen, die in der Regel bei derartigen Geräten oder Kathetern erforderlich ist.

[0015] Das in der Figur beispielhaft dargestellte System umfasst ein Röntgengerät zur kardiologischen Untersuchung, das mindestens einen C-Bogen mit einem Röntgenstrahler **2**, einer Strahlungsblende sowie einem Röntgendetektor **3**, beispielsweise mit einem Flachdetektor oder aSi-Detektor, und einem Patientenlagerungstisch **4** aufweist. Der Patientenlagerungstisch **4** kann hierbei über eine Röntgen-transparente Platte für die Patientenlagerung verfügen.

In der bevorzugten Ausgestaltung ermöglicht dieser Patientenlagerungstisch **4** eine Langskippung sowie eine seitliche Kippung mit einer Kippfähigkeit bis zu 90°, wobei alle Bewegungen des Patientenlagerungstisches mit motorischer Unterstützung folgen können. Der oder die Röntgenstrahler **2** sind mit einem Hochspannungsgenerator **5** verbunden. Die Steuerung der Röntgenaufnahmen erfolgt über die Systemsteuerung **6**, die im vorliegenden Beispiel als Modul der Steuer- und Auswerteeinheit **1** ausgebildet ist. Bei einer 3D-Bildaufnahme bewegt sich der C-Bogen um mindestens einen Winkelbereich von 180° und nimmt in schneller Folge Projektionsbilder auf. Die hierbei aufgezeichneten Rohdaten werden zunächst in einem Vorverarbeitungsmodul **7** vorverarbeitet. Die Rekonstruktion eines 3D-Bildes erfolgt im Bildverarbeitungsmodul **8** für Röntgenbilder. Beide Module **7**, **8** sind im vorliegenden Beispiel jeweils Bestandteil der Steuer- und Auswerteeinheit **1**.

[0016] Die 3D-Bildaufnahmen können zusätzlich durch die Gabe von Kontrastmittel unterstützt werden. Aufgrund der Bewegung des Herzens ist eine EKG-Steuerung erforderlich, um die 3D-Rekonstruktion aus den 2D-Bilddaten jeweils in der gleichen Herzphase durchführen zu können. Das hierfür erforderliche EKG-Gerät ist in der Figur nicht explizit dargestellt. Die Steuer- und Auswerteeinheit **1** weist jedoch einen entsprechenden Anschluss **12** für physiologische Sensoren auf, an der das EKG-Gerät angeschlossen wird. In dem zugehörigen Signalverarbeitungsmodul **13** für physiologische Signalverarbeitung werden die EKG-Daten verarbeitet. Dieses Modul **13** verarbeitet auch weitere Signale, wie ein iEKG-Signal sowie andere physiologische Signale, vorzugsweise zum Blutdruck, der Atmung und der Körpertemperatur. Die erfassten Daten, die über den Anschluss **12** erhalten werden, lassen sich mit Bildinformationen von den anderen Gerten gemeinsam auf einem Bildschirm darstellen oder überlagern. Verfahren zur Rekonstruktion der 3D-Aufnahmen eines bewegten Herzens sind dem Fachmann beispielsweise aus der US 2002/0181645 A1 oder der US 2005/0058248 A1 bekannt.

[0017] Neben den zuletzt genannten Verfahren können die 3D-Aufnahmen auch mit Techniken der diskreten Tomographie aus wenigen Projektionen erzeugt werden, insbesondere nachdem ein erster 3D-Bilddatensatz in hoher Auflösung erzeugt wurde. Ein Verfahren zur diskreten Tomographie ist z. B. in der US 2004/0008882 A1 beschrieben. Eine derartige Aufnahmetechnik hat den Vorteil, dass der Patient und das klinische Personal aufgrund der geringeren Anzahl von erforderlichen Projektionen lediglich einer geringen Strahlenbelastung ausgesetzt sind.

[0018] Im vorliegenden Beispiel umfasst die Steuer- und Auswerteeinheit **1** ein Bildkorrekturmodul **10**, vorzugsweise mit einer gesonderten Prozessein-

heit, zur Beseitigung von Bewegungsartefakten, die durch die Atmung hervorgerufen werden. Zur Beseitigung der Atmungsartefakte ist zumindest ein Sensor **11** für die Patientenbewegung vorgesehen, der beispielsweise in ein Brustband für den Patienten integriert sein kann. Die ein oder mehreren Sensoren **11** in diesem Brustband liefern Daten zur Atemamplitude und -frequenz, die in dem Bildkorrekturmodul **10** für Korrekturrechnungen genutzt werden, die die Bewegungsartefakte aus den Bildinformationen des Röntgengerätes herausrechnen. Vorzugsweise ist hierbei zusätzlich ein Kalibrationsmodul **9** vorgesehen, das eine Kalibrierung des Röntgen-Aufnahmesystems, beispielsweise eine Geometrie-, Entzerrungs-, Intensitäts- und/oder Gain-Kalibration, durchführt. Grundsätzlich sind dem Fachmann derartige Kalibrations- und Bildkorrekturtechniken bei Röntgengeräten bekannt. Neben den Daten des Sensors **11** kann die Amplitude und Frequenz der Atmung auch aus der Höhenkurve des EKG-Signals berechnet und dem Bildkorrekturmodul **10** zugeführt werden. Mit einer derartigen Bildkorrektur und gegebenenfalls Kalibrierung wird die Darstellung von Weichteilgewebe in den 2D- oder 3D-Röntgenbildern ermöglicht.

[0019] Weiterhin kann auch ein Positions-Hilfssensor (z. B. mit elektro-magnetischem Wirkprinzip) eingesetzt werden, um Bewegungen des Patienten auf dem Patientenlagerungstisch **4** zu erfassen. Um möglichst wenig Kabelverbindungen zum Patienten herzustellen und einen weitgehend ungehinderten Zugang zum Patienten zu erreichen, wird dieser Hilfssensor vorzugsweise kabellos, beispielsweise mit einer Bluetooth-Sendeinheit, ausgeführt. Alternativ können auch über eine optische Kamera die Position des Patienten erfasst und Patientenverschiebungen oder -verlagerungen mit rechnerischen Methoden der Mustererkennung in dem jeweiligen Bildverarbeitungsmodul korrigiert werden. Als zusätzliche Möglichkeit kann der Patient mit einem Laserstrahl abgetastet werden, um Positionsverlagerungen zu ermitteln und zu korrigieren.

[0020] Das vorgeschlagene System umfasst vorzugsweise auch eine Vorrichtung zur Ultraschalluntersuchung mit zumindest einem Ultraschall-Katheter, beispielsweise einem so genannten AcuNav-Katheter. Für bildgebende Katheter sind ein oder mehrere Anschlüsse **14** an der Steuer- und Auswerteeinheit **1** vorgesehen, die mit einer entsprechenden Schnittstelle **15** verbunden ist. Diese Schnittstelle **15** ist im vorliegenden Beispiel für Acu-Nav-Katheter und IVUS-Katheter (IVUS = Intravaskulärer Ultraschall), für IntraMR-Katheter (IntraMR = Intrakorporale bzw. Intarvaskuläre Magnet Resonanz) sowie für Positionssensoren ausgebildet. Entsprechend weist die Steuer- und Auswerteeinheit **1** im vorliegenden Beispiel auch ein Vorverarbeitungsmodul **16** sowie ein Bildverarbeitungsmodul **17** für OCT, ein Vor-

verarbeitungsmodul **18** für AcuNav, ein Vorverarbeitungsmodul **20** für IVUS, ein Bildverarbeitungsmodul **19** für AcuNav und IVUS, ein Vorverarbeitungsmodul **21** sowie ein Bildverarbeitungsmodul **22** für IntraMR, ein Vorverarbeitungsmodul **23** sowie ein Bildverarbeitungsmodul **24** für die Positionssensoren auf.

[0021] Beim Einsatz des Ultraschall-Katheters kann zur Verbesserung der Ultraschall-Bildgebung, insbesondere der 3D-Bildgebung, zusätzlich ein Ultraschall-Kontrastmittel eingesetzt werden. Der Ultraschall-Katheter ist hierbei vorzugsweise mit einem Aktuator versehen, der eine dreidimensionale Ultraschallaufnahme quasi in Echtzeit erlaubt. Der Aktuator dreht den Ultraschall-Katheter oder dessen Aufnahmekopf hierbei um einen bestimmten Winkel, um 2D-Schnittbilder aufzuzeichnen, die zu einem 3D-Bild zusammengesetzt werden können. Alternativ kann der Aufnahmekopf des Katheters anstelle eines zweidimensionalen Arrays aus Sende- und Empfangseinheiten auch ein dreidimensionales Array enthalten.

[0022] Zusätzlich kann der Ultraschall-Katheter mit einem Lumen mit einem Durchmesser von ca. 0,5 bis 2 mm versehen sein, durch den sich ein entsprechender OCT-Katheter (OCT: Optical Coherence Tomography) in die Gefäße und die Herzkammern führen lässt, um mit hoher Auflösung im Nahbereich die ablatierten Gewebestellen zu betrachten. Geeignete OCT-Katheter sind beispielsweise aus der WO 00/43730 A1 oder der WO 01/11409 A2 bekannt. Dabei kann der OCT-Katheter zusätzlich mit Magneten versehen sein, um durch ein externes Magnetfeld in die entsprechende Position gesteuert zu werden. Ein Beispiel hierfür ist aus der DE 102 55 957 A1 bekannt. Alternativ zu den Magneten können mechanische Steuervorrichtungen benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters ermöglichen. Zusätzlich kann der OCT-Katheter mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und damit die Erzeugung von 3D-OCT-Aufnahmen ermöglichen. Hierzu können Verfahren benutzt werden, die zur Rekonstruktion von 3D-Ultraschallaufnahmen aus 2D-Ultraschallaufnahmen bekannt sind.

[0023] Auch der Ultraschall-Katheter kann zusätzlich mit Magneten versehen sein, um ihn besser steuern zu können. Ein Beispiel hierfür ist der US 6,772,001 B2 zu entnehmen. Alternativ zu den Magneten können auch hier mechanische Steuervorrichtungen benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters ermöglichen. Auch der Ultraschall-Katheter kann zusätzlich mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und die Erzeugung von 3D-Ultraschall ermöglichen. Verfahren hierzu sind beispielsweise aus der

US 2003/0220561 A1 oder der US 2003/0199748 A1 bekannt.

[0024] Zusätzlich oder alternativ zum bereits angeführten Lumen kann der Ultraschall-Katheter mit einem weiteren Lumen mit einem Durchmesser von ca. 0,5 bis 3 mm versehen sein, durch den sich ein entsprechender IVUS-Katheter (IVUS: Intravaskulärer Ultraschall) in die Gefäße und Herzkammern führen lässt, um mit guter Auflösung im Nahbereich die ablatierten Gewebestellen zu betrachten. Ein IVUS-Katheter ist beispielsweise in der EP 0 885 594 B1 beschrieben. Der IVUS-Katheter kann auch hier zusätzlich mit Magneten versehen sein, um durch ein externes Magnetfeld in die entsprechende Position gesteuert zu werden. Alternativ zu den Magneten können mechanische Steuervorrichtungen benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters im Raum ermöglichen. Zusätzlich kann der IVUS-Katheter mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und die Erzeugung von 3D-IVUS-Aufnahmen ermöglichen.

[0025] Alternativ zum erläuterten intrakorporalen Ultraschall-Katheter kann auch ein intrakorporaler MR-Katheter oder ein intravaskulärer MR-Katheter eingesetzt werden, der hochauflösende Bilder von den Gefäßen, Herzkammern und medizinischen Instrumenten liefert. Auch dieser Katheter kann zusätzlich mit Magneten versehen sein, um den Katheter durch ein externes Magnetfeld in die entsprechende Position zu steuern. Alternativ zu den Magneten können mechanische Steuervorrichtungen benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters ermöglichen. Auch dieser Katheter kann zusätzlich mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und die Erzeugung von 3D-Bildern ermöglichen. Hierzu können die bereits genannten Verfahren genutzt werden, die auch bei der 3D-Bilderzeugung mit Ultraschall eingesetzt werden.

[0026] Das vorliegende System umfasst auch eine Vorrichtung zum Messen und Aufzeichnen der elektrischen Aktivitäten im Herzen, insbesondere intrakardiales EKG (iEKG), im Folgenden als Mapping-Gerät **25** bezeichnet. Ein Beispiel für ein derartiges Mapping-Gerät **25** mit Mapping-Katheter ist der US 6,738,673 B2 zu entnehmen. Dabei können Mapping-Katheter eingesetzt werden, die in direktem Kontakt mit dem Epicard stehen und/oder Mapping-Katheter, die nicht in direktem Kontakt mit dem Endocard stehen. Der Mapping-Katheter des Mapping-Geräts **25** kann zusätzlich mit Magneten, Permanent- oder Elektromagneten, versehen sein, um eine Steuerung über ein externes Magnetfeld zu ermöglichen. Alternativ zu den Magneten können me-

chanische Steuervorrichtungen benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters ermöglichen. Zusätzlich kann der Mapping-Katheter mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und die Erzeugung von 3D-Potentialfeld-Bildern ermöglichen. Hierzu können bekannte Verfahren genutzt werden, beispielsweise das elektroanatomische Mapping, wie es im CARTO®-System der Fa. Biosense-Webster realisiert ist. Weiterhin kann das kontaktlose Mapping mit Hilfe eines Ballon-Katheters genutzt werden, bei dem mit Hilfe mathematischer Modelle die Potentialverteilung auf dem Endocard des Herzens errechnet wird. Eine weitere Möglichkeit besteht in dem Verfahren zur Berechnung von Positionen von Elektroden auf Kathetern mit Hilfe eingepprägter Ströme, wie es in den Systemen Localisa® der Fa. Medtronic und Navex® der Fa. Endocardial Solutions realisiert ist. Auch ein System zur Ortung mittels am Katheter angebrachter Ultraschallsensoren, wie es im RPM®-System der Fa. Biosense-Webster realisiert ist, lässt sich hierbei einsetzen.

[0027] Das vorliegende System umfasst auch ein Ablations-Gerät **26** zur Ablation der unerwünschten Reizleitungsbahnen mit Hilfe eines Ablations-Katheters. Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der US 5 409 000 A bekannt. Der Ablations-Katheter kann hierbei zusätzlich mit Magneten (Permanent- oder Elektromagneten) versehen sein. Alternativ zu den Magneten können mechanische Steuervorrichtungen für die Steuerung des Katheters benutzt werden, die durch Zug- und Druckeinwirkung auf den Katheter eine Drehung und Biegung des Katheters ermöglichen. Zusätzlich kann der Ablations-Katheter mit Positionssensoren versehen sein, die über externe Positionssensoren eine Ortung des Katheters im Raum und somit relativ zu den 3D-Potentialfeldern, die mit dem Mapping-Katheter des Mapping-Geräts **25** aufgezeichnet wurden, ermöglichen. Zur Erzeugung der Ablationsenergie können elektrische und magnetische Wechselfelder, Ultraschall, Laserstrahl, Wärme- oder Kältesonden verwendet werden. Auch eine Durchtrennung der Reizleitungen mittels Abgabe von klinischen, pharmazeutischen und/oder biologischen Wirkstoffen mit geeigneten Ablations-Kathetern ist möglich.

[0028] Das vorliegende System umfasst vorzugsweise auch ein Subsystem zur Positionserkennung ein oder mehrerer der eingesetzten Katheter und medizinischen Instrumente, die mit entsprechenden Positionssensoren versehen sind. Auf diese Möglichkeit wurde bereits bei der Beschreibung der einzelnen Katheter hingewiesen. Für diese Positionserkennung ergeben sich verschiedene Möglichkeiten. Eine bevorzugte Möglichkeit besteht in der elektromagnetischen Positionsbestimmung, beispielsweise unter Einsatz des MPS (Magnetic Position System) der

Fa. Mediguide, wie es in der US 2002/0049375 A1 beschrieben ist. Zusätzlich zu der dort beschriebenen Lösung wird vorgeschlagen, die Bildinformation des MPS mit den oben beschriebenen medizinischen Bildern, vorzugsweise den 3D-Aufnahmen, zusammen zu fügen bzw. zu überlagern. Dies erfordert in bekannter Weise die Kalibrierung und Registrierung der unterschiedlichen Teilsysteme für die anschließende Bildfusion. Zur Kalibrierung wird die Spitze des Führungsdrahtes des Katheters mindestens einmal durch mindestens zwei Röntgenprojektionen im Raum (x, y, z) aufgenommen und mindestens einmal die Position im Raum durch das elektromagnetische Ortungssystem bestimmt (x', y', z'). Mit einer Transformation werden die beiden Positionen anschließend zueinander kalibriert. Von Vorteil ist hierbei, wenn die Kalibrierung erst nach der Installation im elektrophysiologischen Labor durchgeführt wird. Durch die Verwendung eines Körperphantoms und einer Kalibrierung mit mehreren Punkten kann die Genauigkeit der Kalibrierung gesteigert werden.

[0029] Die mit dem Positionssensor ermittelten Positionen und Bilder lassen sich in 2D, 3D und 4D mit Bildern überlagern, die mit den folgenden Techniken erzeugt wurden: Sonographie, einschließlich IVUS und AcuNav-Verfahren, Radiographie, Durchleuchtung (Fluoroskopie), Angiographie, optische Kohärenztomographie (OCT), diskrete Tomographie, Positronemissionstomographie (PET), Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT), weitere nuklearmedizinische Diagnostik, Computertomographie, Kernspintomographie, einschließlich Katheter-MR, optische Aufnahmen, einschließlich Endoskopie, Fluoreszenz und optische Marker (Molecular Imaging).

[0030] Die für die elektromagnetische Positionsbestimmung im Positionssensor am Katheter oder medizinischen Instrument erforderlichen Spulen werden vorzugsweise nicht ausschließlich orthogonal zueinander angeordnet, sondern in beliebigem Winkel von beispielsweise 60°, um eine bessere Miniaturisierung zu erreichen. Diese Miniaturisierung ermöglicht eine bessere Integration der Positionssensoren in einen Katheter. Die Abweichung von der orthogonalen Anordnung kann durch entsprechende Rechenalgorithmen im Bildverarbeitungsmodul **24** für die Positionssensoren korrigiert werden. Zur Verbesserung der Miniaturisierung wird je Sensorspule nur jeweils ein elektrischer Leiter zu den Signalanschlüssen zurückgeführt. Als neutrale Elektrode wird der leitende Führungsdraht des Katheters sowie der menschliche Körper mit seinen Blutgefäßen genutzt. Zusätzlich kann in die Spitze des Führungsdrahtes ein Signalmultiplexer integriert werden, der zyklisch die Empfangsantennen abfragt. Dies führt zu einer weiteren Reduktion der erforderlichen Signalleitungen. Zusätzlich können die Sendespulen auch zyklisch, in bestimmten Zeitabschnitten, mit unterschiedlichen

Frequenzen betrieben und ausgewertet werden, um die Genauigkeit der Ortung zu erhöhen. Die elektromagnetischen Positionssensoren können dabei so ausgelegt werden, beispielsweise durch Verwendung von Eisenkernen, dass diese durch entsprechende Ansteuerung wahlweise auch als Elektromagnete zur Steuerung des jeweiligen Katheters mit einem externen Magnetfeld dienen können.

[0031] Vorzugsweise umfasst das Subsystem zur Positionserkennung auch eine Kalibrationseinheit, welche die statischen und dynamischen magnetischen Felder in den verschiedenen Funktionsstufen, beispielsweise durch Bewegungen des C-Bogens des Röntgengerätes, speichert und bei der Signalauswertung und Korrekturrechnung für die Bildaufbereitung berücksichtigt. Die einzelnen Komponenten des Subsystems zur Positionserkennung, insbesondere Funktionseinheiten und Signalleitungen, sind mit Vorrichtungen ausgestattet, die die physiologischen Signale und Bildsignale sowie die Signalverarbeitung- und Aufbereitung gegen die magnetischen Felder der Sendeantennen abschirmen. Eine der Lösungen kann sein, die Komponenten mit einer leitenden Metallummantelung z. B. aus Kupfer zu umhüllen. Eine andere Möglichkeit ist die Beschichtung mit einer Dünnschicht aus leitenden Nanopartikeln (z. B. Nanopartikel -Siliziumdioxid, -Aluminiumoxid, -Silikonitrat, -Kohlenstoff). Erste Versuche zur magnetischen Abschirmung wurden von der Firma Biophan (vgl. <http://www.biophan.com/shielding.php>) durchgeführt. Aus US 6,506,972 B1 sind magnetische Abschirmungen mit Nanopartikeln bekannt. Die Miniaturisierung der Positionssensoren kann durch Einsatz von Nanotechnologie bei deren Herstellung zusätzlich gesteigert werden.

[0032] Neben der elektromagnetischen Positionsbestimmung sind selbstverständlich auch andere Techniken der Positionsbestimmung möglich, so beispielsweise mittels Ultraschall, wie dies bspw. in der US 6,038,468 A beschrieben ist.

[0033] Für eine magnetische Navigation der Katheter kann ein entsprechendes Subsystem vorgesehen sein, das entsprechende Magnete, mechanische Halterungen, Steuerelektronik und Bedieneinheiten des Navigationssystems umfasst, wobei die Bedieneinheiten wiederum in der Steuer- und Auswerteeinheit **1** implementiert sind. Ein Beispiel für ein derartiges Subsystem ist aus der US 6,148,823 A bekannt. Ein derartiges Subsystem ist allerdings beim vorliegenden System lediglich optional vorhanden, ebenso wie eine 3D-Farbdopplereinheit **27**, die mit einem außerhalb des Brustkorbs des Patienten angebrachten Ultraschalltastkopf bei Bedarf zusätzliche Bildinformationen liefern kann. Diese Bildaufnahmen lassen sich mit den anderen durch das Röntgengerät oder die Katheter gewonnenen 2D-, 3D- und 4D-Aufnahmen überlagern. Das hierfür erforderliche Bildfu-

sionsmodul **28** ist ein wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Steuer- und Auswerteeinheit **1**. Dieses Bildfusionsmodul **28** dient der Segmentierung, Auto-Segmentierung, Registrierung, Bildrekonstruktion und Bildüberlagerung der unterschiedlichen von den einzelnen Komponenten des vorliegenden Systems erhaltenen Mess- und Bilddaten. Geeignete Techniken zur Registrierung, Bildsegmentierung und Bildüberlagerung, insbesondere 2D-2D, 2D-3D, 3D-3D, 2D-4D und 3D-4D, sind dem Fachmann bekannt. Derartige Überlagerungen bieten bisher nicht vorhandene diagnostische Vorteile. Beispiele für derartige Bildfusionen sind aus der DE 102 10 645 A1, der DE 102 10 646 A1 oder der US 5 706 416 A bekannt.

[0034] Mit dem vorliegenden System lassen sich hierbei auch die mit dem Mapping-Katheter aufgezeichneten intrakardialen elektrischen Aktivitäten mit den medizinischen, insbesondere anatomischen Aufnahmen des Herzens überlagern. Für die Registrierung bzw. Überlagerung der Bilddaten des Patienten mit den Positionsdaten der Katheter ist es erforderlich, die räumlichen Koordinaten beider Objekte in ein gemeinsames Koordinatensystem zu transferieren. Die Bewegungen des Patienten auf dem Untersuchungstisch können dabei beispielsweise mit dem bereits weiter oben angeführten Positions-Hilfssensor ermittelt werden.

[0035] Die Steuer- und Auswerteeinheit **1**, die das digitale Bildsystem bildet, ist vorzugsweise als eine integrierte Recheneinheit mit Prozessor(en), Speicher(n) und ein oder mehreren Bildschirmen aufgebaut, kann aber auch aus mehreren verteilten Recheneinheiten (Workstations) gebildet sein. Ein wesentliches Merkmal besteht jedoch darin, dass das System mit einer zentralen Benutzer-Schnittstelle **29** (Benutzer Eingabe-/Ausgabeeinheit) mit einer zugehörigen Display-Einheit **30** bedienbar ist. Über die Benutzer-Schnittstelle **29** lassen sich sämtliche Eingaben und Steuerbefehle für das System eingeben. An der Display-Einheit **30**, die auch aus mehreren nebeneinander angeordneten Bildschirmen bestehen kann, werden die erzeugten medizinischen Aufnahmen, vorzugsweise AcuNav-/OCT-/IVUS-/IntraMR-/Positionsensor- und Röntgenbilder dargestellt, gegebenenfalls in entsprechend überlagerter Darstellung. Auch die optional im System ebenfalls gespeicherten CT- oder MR-Aufnahmen, die vor der Prozedur erstellt werden müssen, werden an dieser Display-Einheit **30** dargestellt. Dadurch werden die Informationen über die entsprechenden Bilder an einer Stelle für den Anwender sichtbar und ermöglichen somit eine schnellere und bessere Diagnose.

[0036] Die Display-Einheit **30** kann zur Darstellung von 3D-Aufnahmen ein entsprechendes 3D-Display umfassen, vorzugsweise in Form eines Flachbildschirms, wie er beispielsweise aus dem Technology-Report CT IRC TIS der Fa. Siemens, "Autoste-

reoskopische 3D-Displays und -verfahren", Oktober 2003, von Ulrich Walter und Dr. Eckart Hundt bekannt ist. Diese Lösung erlaubt die dreidimensionale Betrachtung ohne Hilfsmittel wie beispielsweise 3D-Brillen. Hierzu ist eine geeignete 3D-Displayansteuerung **31** erforderlich. Zusätzlich kann der Betrachter ein Kopfband oder eine normale Brille mit Positionsensoren tragen, so dass über entsprechende Prozessoren die Blickrichtung des Betrachters mit der Betrachtungsrichtung des am Bildschirm dargestellten 3D-Objektes synchronisiert werden kann. Ein Beispiel für die Bestimmung der Blickrichtung eines Betrachters bei der Verfolgung eines Bildobjektes findet sich beispielsweise in der US 5,646,525 A. An der 3D-Displayansteuerung **31** muss hierfür ein entsprechender Empfänger **32** für den Empfang von Daten, aus denen eine Kopfbewegung des Betrachters ermittelt werden kann, vorgesehen sein.

[0037] Die Bedieneinheiten des Röntgengerätes, der AcuNav-/OCT-/IVUS-Geräte, des magnetischen Navigationssystems, des elektrophysiologischen Mapping-Geräts sowie des Ablationsgerätes sind bei dem vorliegenden System dem medizinischen Workflow entsprechend in einer integrierten Lösung vereinigt bzw. verbunden. Bei dem vorliegenden System kann auf die Voraufnahmen von CT oder MR verzichtet werden. Zusätzlich zu bereits bekannten Lösungen ist es mit dem vorliegenden System möglich, 3D-Bilddaten in Echtzeit zu erzeugen und mit 2D-Aufnahmen zu überlagern. Durch die Verwendung eines MPS-Subsystems können der Einsatz von Kontrastmitteln und die applizierte Röntgendosis reduziert werden. Diese Ausgestaltung hat weiterhin den Vorteil, dass zusätzlich zur angiographischen Röntgenmethode durch die 3D-Ultraschallbildung gute Bilder von der Herzwand erhalten werden und somit der Zustand vor und nach einer Ablation dargestellt werden kann. Das vorliegende System ist nicht auf die Behandlung von tachykarden Rhythmusstörungen beschränkt, sondern kann auch in Abwandlung für minimal-invasive Eingriffe jeglicher Art am Herzen und in anderen Organen, beispielsweise zur Herzklappenreparatur, verwendet werden.

[0038] Das vorliegende System enthält vorzugsweise eine DICOM-Schnittstelle **33** für den Austausch von Patientendaten und Bilddaten mit einem Klinikinformationssystem (HIS: Hospital Information System) sowie eine Schnittstelle **36** für den Empfang von Aufnahmen anderer Modalitäten (z. B. CT, MR, PET, SPECT). Weiterhin ist ein Bilddatenspeicher **34** für die Speicherung der verarbeiteten Bilddaten vorgesehen. In der Figur ist auch die entsprechende Spannungsversorgungseinheit **35** für das System angedeutet.

[0039] Ein wesentliches Merkmal des vorliegenden Systems besteht darin, dass sämtliche Mess-, Bild-, Steuer- und gegebenenfalls Patientendaten

zwischen den einzelnen Modulen bzw. Komponenten des Systems über einen gemeinsamen Datenbus **37** ausgetauscht werden können. Auf diese Weise liegen die von den unterschiedlichen Komponenten und Modulen bereitgestellten Daten jederzeit an den anderen Stellen vor, an denen sie benötigt werden.

[0040] Die Anschlüsse für die physiologischen Sensoren und die Katheter sind vorzugsweise über eine entsprechende galvanische Trennung von jeglicher Netzspannung entkoppelt, um den Patienten nicht zu gefährden. Besonders vorteilhaft ist hierbei eine optische Entkopplung. In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Systems können sämtliche Subsysteme magnetkompatibel ausgelegt sein, so dass sie in einer Umgebung eines magnetischen Navigationssystems störungsfrei funktionieren.

[0041] Die Darstellung der 3D-Aufnahmen durch die Display-Einheit **30** erfolgt vorzugsweise unter Einsatz von Standard-Hardware aus der PC/Video/Game-Industrie, beispielsweise unter Verwendung von 3D-Grafikkarten bzw. Chips von ATI oder Nvidia. Dies stellt eine kostengünstige Lösung zur 3D-Darstellung, zum Volumenrendering und zum Shading dar.

[0042] Als Ergänzung des vorliegenden Systems wird vorgeschlagen, an die Spitze mindestens eines der für die Prozedur verwendeten Katheter, vorzugsweise an die Spitze des Ablations-Katheters, einen Temperatursensor anzubringen, der die Temperatur im Bereich der Ablationsstelle registriert. Über diese Temperatur können dann Rückschlüsse über eine erfolgreiche Ablation gezogen werden.

[0043] Zusätzlich wird vorgeschlagen, an die Spitze mindestens eines Katheters, der für die Prozedur verwendet wird, einen Drucksensor anzubringen, der den Druck in der Herzkammer im Bereich der Ablationsstelle registriert. Auch darüber können Rückschlüsse über die Prozedur erhalten werden, beispielsweise über einen kurzfristigen Druckanstieg bei der Verdampfung bzw. Ablation von Gewebe. Ein geeigneter Miniatur-Drucksensor ist beispielsweise aus der US 2003/0040674 A1 bekannt, der in einem Führungsdraht integriert ist, Alternativ kann auch der normale Blutdruck in den Herzkammern erfasst werden, so dass das Einführen eines separaten Blutdruckkatheters vermieden werden kann.

[0044] Als weitere Ergänzung des vorliegenden Systems wird ein Subsystem zur Applikation einer Narkose vorgeschlagen, beispielsweise ein Narkoseventilator **38**, wie er kommerziell erhältlich ist. Zusätzlich kann auch ein Defibrillator bzw. Herzschrittmacher **39** zur Defibrillation und Herzschrittmacherstimulation für kardiologische Notfälle vorgesehen sein.

[0045] Als zusätzliche Ergänzung kann das System auch ein hämodynamisches Messsystem beinhalten, das eine standardisierte Auswertung der Druck- und Temperaturmessungen ermöglicht. Ein Beispiel hierfür ist das System Sensis® oder Cathcor® der Fa. Siemens.

[0046] Weitere zusätzliche Subsysteme, die als Teil des vorliegenden Systems eingesetzt werden können, sind ein Patientenmonitoringsystem zur Überwachung der Vitalfunktionen eines Patienten oder ein Kontrastmittelinjektor, um Darstellungen von Hohlraumstrukturen im Herzen und Gefäßen zu ermöglichen. Mit dem Patientenmonitoringsystem kann beispielsweise ein Alarm ausgelöst werden, wenn bestimmte Grenzen der Vitalparameter eines Patienten unter- oder überschritten werden.

[0047] Im Folgenden werden drei beispielhafte Vorgehensweisen beim Einsatz des beispielhaft dargestellten Systems aufgezeigt. Im ersten Beispiel erfolgen die folgenden wesentlichen Schritte: Vor der eigentlichen Prozedur:

- Aufnahme der demographischen Daten des Patienten im Krankenhausinformationssystem,
- Übertragen der Patienteninformationen an eine hochauflösende 3D-Untersuchungseinheit (CT, MR),
- Aufnahme und Rekonstruktion der hochauflösenden 3D-Aufnahmen bzw. Datensätze,
- vorzugsweise automatische Segmentierung des relevanten Bildbereiches, und
- Übertragen der Patienteninformationen und hochauflösenden 3D-Datensätze an das vorliegende System.

[0048] Während der Prozedur:

- Kalibrierung des Ultraschall-Katheters mit Positionssensoren und Registrierung mit den vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildern,
- Einführen des Ultraschall-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 3D-Ultraschalldaten,
- Einführung des Mapping-Katheters und Aufzeichnen des intrakardialen EKG's unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 3D-Ultraschalldaten,
- Überlagerung der Mapping-Aufnahmen mit dem anatomischen Bild der Herzkammern,
- Einführen des Ablations-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,

- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellem 3D-Ultraschalldaten,
- Ablation der ausgewählten Gewebestellen,
- Überprüfung der Ablation durch OCT-Katheter und/oder Temperaturmessung und/oder Druckmessung oder erneutes Mapping oder mit anderen dem Fachmann bekannten Verfahren,
- Entfernen aller medizinischen Instrumente und Hilfsmittel aus dem Zielbereich,
- Dokumentation und Archivierung der Prozedur im HIS
- Entlassung des Patienten,
- Erstellung der Abrechnung und Rechnung durch das HIS, beispielsweise mit Unterstützung durch DICOM-MPPS (Modality Performed Procedure Step),
- alternativ zu dem Ultraschall-Katheter kann die Prozedur mit einem MR-Katheter durchgeführt werden, und
- alternativ zu dem OCT-Katheter kann ein IVUS-Katheter genutzt werden.

[0049] Das zweite Beispiel sieht folgende wesentlichen Schritte vor, die alle während der Prozedur durchgeführt werden. Vor der eigentlichen Prozedur sind keine Verfahrensschritte erforderlich:

- Aufnahme der demographischen Daten des Patienten im Krankenhausinformationssystem,
- Aufnahme und Rekonstruktion von hochauflösenden 3D-Aufnahmen bzw. Datensätzen mit dem C-Bogen-Röntgensystem (mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilen, z. B. von der Firma Siemens als DynaCT® bekannt),
- vorzugsweise automatische Segmentierung des relevanten Bildbereiches,
- Kalibrierung des Ultraschall-Katheters mit Positionssensoren und Registrierung mit den aufgenommenen hochauflösenden 3D-Bildern des C-Bogen-Röntgengeräts,
- Einführen des Ultraschall-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 2D- und/oder 3D-Ultraschalldaten,
- Einführen des Mapping-Katheters und Aufzeichnen des intrakardialen EKG's unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 2D- und/oder 3D-Ultraschalldaten,
- Überlagerung der Mapping-Aufnahmen mit dem anatomischen Bild der Herzkammern,
- Einführen des Ablations-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,

- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 2D- und/oder 3D-Ultraschalldaten,
- Ablation der ausgewählten Gewebestellen,
- Überprüfung der Ablation durch OCT-Katheter und/oder Temperaturmessung und/oder Druckmessung oder durch erneutes Mapping oder mit anderen dem Fachmann bekannten Verfahren,
- Entfernen aller medizinischen Instrumente und Hilfsmittel aus dem Zielbereich,
- Dokumentation und Archivierung der Prozedur im HIS,
- Entlassung des Patienten,
- Erstellen der Abrechnung und Rechnung durch das HIS, beispielsweise mit Unterstützung durch DICOM-MPPS,
- alternativ zum Ultraschall-Katheter kann die Prozedur mit einem MR-Katheter durchgeführt werden,
- alternativ kann während der Prozedur eine neue 3D-Röntgenaufnahme aus wenigen Projektionen gemacht werden, die zu einem Update der hochauflösenden 3D-Röntgenaufnahmen genutzt wird, und
- alternativ zum OCT-Katheter kann ein IVUS-Katheter genutzt werden.

[0050] Im dritten Beispiel werden folgende wesentlichen Schritte durchgeführt:

Vor der eigentlichen Prozedur:

- Wie beim ersten Beispiel

[0051] Während der Prozedur:

- Aufnahme und Rekonstruktion der hochauflösenden 3D-Aufnahmen bzw. Datensätze mit dem C-Bogen-Röntgengerät und Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) der vor der Prozedur erstellten hochauflösenden 3D-Aufnahmen (CT oder MR) durch die C-Bogen-Röntgenaufnahmen (mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilen, z. B. von der Firma Siemens als DynaCT® bekannt),
- vorzugsweise automatische Segmentierung des relevanten Bildbereiches,
- Kalibrierung des Ultraschall-Katheters mit Positionssensoren und Registrierung mit den vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildern,
- Einführen des Ultraschall-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 3D-Ultraschalldaten,
- Einführen des Mapping-Katheters und Aufzeichnen des intrakardialen EKG's unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,

- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 3D-Ultraschalldaten,
- Überlagerung der Mapping-Aufnahmen mit dem anatomischen Bild der Herzkammern,
- Einführen des Ablations-Katheters unter Röntgenkontrolle und/oder mit Hilfe des Positionserkennungssystems,
- im Zielbereich Update (Segmentierung, Registrierung, Fusion) des vorhandenen hochauflösenden 3D-Bildes mit aktuellen 3D-Ultraschalldaten,
- Ablation der ausgewählten Gewebestellen,
- Überprüfung der Ablation durch einen OCT-Katheter und/oder Temperaturmessung und/oder Druckmessung oder erneutes Mapping oder mit anderen dem Fachmann bekannten Verfahren,
- Entfernen aller medizinischen Instrumente und Hilfsmittel aus dem Zielbereich,
- Dokumentation und Archivierung der Prozedur im HIS,
- Entlassung des Patienten,
- Erstellen der Abrechnung und Rechnung durch das HIS, beispielsweise mit Unterstützung durch DICOM-MPPS,
- alternativ zum Ultraschall-Katheter kann die Prozedur mit einem MR-Katheter durchgeführt werden,
- alternativ kann während der Prozedur eine neue 3D-Röntgenaufnahme aus wenigen Projektionen gemacht werden, die zu einem Update der hochauflösenden 3D-Röntgenaufnahmen genutzt wird, und
- alternativ zum OCT-Katheter kann ein IVUS-Katheter eingesetzt werden.

[0052] Aufgrund der heute in der Kardiologie durchgeführten minimal-invasiven Eingriffe lassen sich drei Typen von vorteilhaften Ausprägungen des vorgeschlagenen Systems darstellen, die sich jeweils durch Kombination einer Untermenge der beschriebenen Teilsysteme ergeben. So lässt sich eine vorteilhafte Ausprägung für das elektrophysiologische Labor als eine Kombination der folgenden Subsysteme bzw. Funktionalitäten gestalten:

- Zur Behandlung von Herz-Rhythmusstörungen eine Kombination aus Ablations-Gerät, C-Bogen-Röntgengerät (mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilen, z. B. von der Firma Siemens als DynaCT® bekannt, einem Modul zur 2D-3D- oder 3D-3D Registrierung, einem Modul zur Verarbeitung von präoperativ aufgenommenen 3D-Bilddaten, einem CARTO®-Mapping-System, einem Modul zur Bildintegration elektroanatomischer Daten mit anatomischen Daten aus CT, MR, Ultraschall oder anderen anatomischen Bildgebungsverfahren, einem Acu-Nav- oder intrakardialen Ultraschall-Katheter mit 3D-Ultraschallvorrichtung, einer 3D-Ultraschallvorrichtung, einem Modul zum Update von 3D-Bildern mit 2D-Bildern, oder 3D-

Bildern mit 3-Bildern sowie einem Subsystem zur magnetischen Navigation.

- Für die interventionelle Kardiologie eine Kombination eines OCT-Katheters, eines IVUS-Katheters, eines MPS-Positionserfassungssystems, einer Paieon®-Workstation zur 3D-Rekonstruktion und Darstellung von Gefäßen und Herzschrittmacherelektroden, eines Biplan-Röntgengerätes, (vorzugsweise C-Bogen basierendes), eines Moduls zur tomographischen Rekonstruktion von 3D-Bildern aus wenigen Projektionen des Röntgengerätes, eines Subsystems zur magnetischen Navigation, einer Vorrichtung zum Einbringen von Stents, sowie eines Kontrastmittelinjektors.
- Für die Pädiatrie, bei der es besonders auf die Reduktion der Strahlenexposition und Kontrastmittelmenge für die kindlichen Patienten ankommt, eine Kombination aus einem AcuNav-Katheter, einem 3D-Ultraschall-Katheter, einem OCT-Katheter, einem Biplan-Röntgengerät (vorzugsweise C-Bogen basierendes), einem Modul zur 2D-3D-Registrierung, einem Subsystem zur magnetischen Navigation, einem MPS-Positionserfassungssystem, einem Modul zur Verarbeitung von präoperativen MR-Daten sowie von Vorrichtungen zur Reparatur an Herzklappen oder beispielsweise septalen Defekten.

Patentansprüche

1. System zur Durchführung und Überwachung minimalinvasiver Eingriffe, insbesondere zur Behandlung elektrophysiologischer Erkrankungen, zumindest umfassend:

- ein C-Bogen-Röntgengerät für angiographische und/oder kardiologische Bildgebung (2-6) mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilgewebe, bei dem mindestens ein Röntgenstrahler (2) und ein Röntgendetektor (3) eine kreisförmige Bahn über einen Winkelbereich abfahren können,
- ein EKG-Aufzeichnungsgerät,
- einen bildgebenden Katheter,
- ein Mapping-Gerät (25) mit einem Mapping-Katheter und
- ein Ablations-Gerät (26) mit einem Ablations-Katheter, für die an einer Steuer- und Auswerteeinheit (1) des Systems Schnittstellen für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) vorhanden sind, wobei die Steuer- und Auswerteeinheit (1) zur Verarbeitung von Mess- und/oder Bilddaten, die sie von den Kathetern und Geräten (2-6, 25, 26) erhält, und zur Steuerung der Katheter und Gerte (2-6, 25, 26) für die Erfassung der Mess- und/oder Bilddaten ausgebildet ist, eine Bediener-Schnittstelle (29) für eine zentrale Bedienung aller Katheter und Geräte (2-6, 25, 26) und einen Bildschirm (30) für eine zentrale Darstellung der von den Kathetern und Geräten (2-6, 25, 26) erfassten Mess- und/oder Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten aufweist,

ein oder mehrere Module zur Registrierung und Überlagerung der von den Kathetern und/oder Geräten (2–6, 25, 26) erfassten Mess- und/oder Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten am Bildschirm (30) aufweist, wobei zumindest eines der ein oder mehreren Module zur Registrierung und Überlagerung für die Überlagerung von Bilddaten des bildgebenden Katheters mit Bilddaten des Röntgengeräts (2–6) ausgebildet ist,
ein Modul zur Ansteuerung des Röntgengeräts (2–6) für die Aufzeichnung eines 3D-Bilddatensatzes und
ein Modul zur Bildverarbeitung von Bilddaten des Röntgengeräts (2–6) zur Darstellung von Weichteilgewebe umfasst.

2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) einen Datenbus (37) aufweist, über den die Schnittstellen miteinander und mit Modulen der Steuer- und Auswerteeinheit (1) Daten austauschen können.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bildschirm (30) ein 3D-Display zur dreidimensionalen Visualisierung ist.

4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eines der ein oder mehreren Module zur Registrierung und Überlagerung für die Überlagerung von 3D-Mapping-Daten des Mapping-Katheters mit Bilddaten des Röntgengeräts (2–6) oder einer externen bildgebenden Modalität ausgebildet ist.

5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Röntgengerät (2–6) ein Biplan Röntgensystem mit der Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilgewebe ist.

6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) ein oder mehrere Module zur Segmentierung der von den Kathetern und/oder Geräten (2–6, 25, 26) erfassten Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten aufweist.

7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) ein Modul zur Verarbeitung und Darstellung dreidimensionaler Bilddatensätze umfasst.

8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) ein Modul zur Erstellung eines 3D-Bilddatensatzes aus Bilddaten unterschiedlicher Projektionen des Röntgengeräts (2–6) mittels diskreter Tomographie umfasst.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) ein oder mehrere Module zur Besei-

tigung von Bewegungsartefakten aus den Bilddaten und/oder daraus abgeleiteten Daten aufweist.

10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der bildgebende Katheter ein Ultraschall-Katheter ist.

11. System nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ultraschall-Katheter zur Aufzeichnung von intraluminalen Schnittbildern ausgebildet ist.

12. System nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ultraschall-Katheter ein oder mehrere Lumen für die Durchführung eines anderen Katheters aufweist.

13. System nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System weiterhin zumindest einen OCT-Katheter umfasst, der durch eines der Lumen des Ultraschall-Katheters geführt werden kann.

14. System nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System weiterhin zumindest einen IVUS-Katheter umfasst, der durch eines der Lumen des Ultraschall-Katheters geführt werden kann.

15. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der bildgebende Katheter ein MR-Katheter ist.

16. System nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundene Navigationseinrichtung für eine magnetische Navigation von ein oder mehreren der Katheter umfasst, die zur magnetischen Navigation über ein externes, von der Navigationseinrichtung erzeugtes Magnetfeld mit Magneten ausgestattet sind.

17. System nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundene Positionsbestimmungseinrichtung für eine Bestimmung einer dreidimensionalen Position von ein oder mehreren der Katheter im Raum umfasst, die mit Positionssensoren zur Erfassung der dreidimensionalen Position ausgestattet sind.

18. System nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionsbestimmungseinrichtung für eine elektromagnetische Positionsbestimmung ausgebildet ist und die ein oder mehreren Katheter zumindest zwei unter einem Winkel zueinander angeordnete Spulen oder Antennen als Positionssensoren aufweisen.

19. System nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest zwei Spulen so ausgebildet sind, dass sie gleichzeitig die Funktion von Magneten für eine magnetische Navigation der ein oder mehreren Katheter einsetzbar sind.

ter Katheterspitze, von Mikrowellentechnik oder der Abgabe chemischer, pharmazeutischer und/oder biologischer Wirkstoffe arbeitet.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

20. System nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionsbestimmungseinrichtung für eine Positionsbestimmung mittels Ultraschall ausgebildet ist.

21. System nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundene Einrichtung zur Erfassung der momentanen Lage eines auf einer Patientenliege des Röntgengerätes befindlichen Patienten umfasst.

22. System nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundene 3D-Farbdoppler-Einrichtung (27) mit einem Ultraschalltastkopf aufweist.

23. System nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein oder mehrere der Katheter, insbesondere der Ablations-Katheter, einen Temperatursensor aufweisen.

24. System nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein oder mehrere der Katheter einen Drucksensor aufweisen.

25. System nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (1) ein hämodynamisches Modul zur standardisierten Auswertung von Druck- und Temperaturmessungen umfasst.

26. System nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine Narkotisierungseinrichtung (38) umfasst.

27. System nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System eine für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundene Einrichtung zur Überwachung von Vitalfunktionen eines Patienten umfasst.

28. System nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System einen für einen Datenaustausch mit der Steuer- und Auswerteeinheit (1) verbundenen Kontrastmittelinjektor umfasst.

29. System nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ablations-Gerät (26) auf Basis eines elektrischen Hochfrequenzfeldes, von Cryo-Technik, von Lasertechnik, von fokussiertem Ultraschall, von Wärmetechnik mit beheiz-

Anhängende Zeichnungen

