



(10) **DE 10 2021 206 179 B4** 2024.11.07

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 206 179.6**
(22) Anmeldetag: **17.06.2021**
(43) Offenlegungstag: **22.12.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.11.2024**

(51) Int Cl.: **A61B 34/20 (2016.01)**
A61B 90/00 (2016.01)
A61B 6/03 (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 Healthineers AG, München, DE

(72) Erfinder:
Fahrig, Rebecca, Dr., 91096 Möhrendorf, DE;
Lenich, Tobias, Dr., 90480 Nürnberg, DE;
Regensburger, Alois, Dr., 91099 Poxdorf, DE

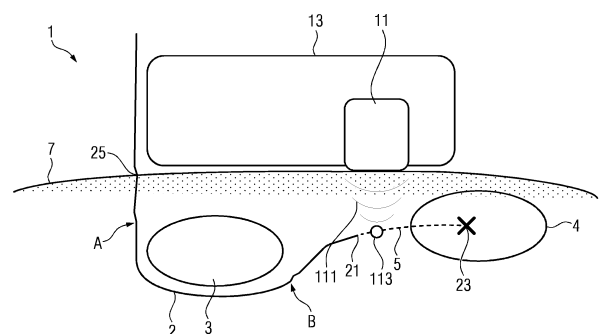
(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2013 / 0 204 138	A1
US	2015 / 0 335 919	A1
US	2017 / 0 042 521	A1
US	2020 / 0 093 505	A1
US	2020 / 0 405 403	A1

(54) Bezeichnung: **Pfadpräparationssystem zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät**

(57) Hauptanspruch: Pfadpräparationssystem (1) zum Präparieren eines Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) für ein Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) umfassend:

- einen Ultraschall-Sender (11) und
- ein Trackingsystem (13, 13'), wobei das Trackingsystem (13, 13') dazu ausgebildet ist, eine aktuelle Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf dem Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) zu bestimmen, wobei der Ultraschall-Sender (11) dazu ausgebildet ist, eine Ultraschallwelle (111) auf eine in Richtung des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) vor dem Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) liegende Fokusposition (113) in räumlicher Relation zu der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu fokussieren, wobei der Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) in einem Material verläuft, wobei durch die fokussierte Ultraschallwelle (111) eine Läsion mit einer reduzierten Materialfestigkeit an der Fokusposition (113) erzeugt wird, wobei durch die Läsion wenigstens abschnittsweise ein Kanal von der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu der Fokusposition (113) ausgebildet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Pfadpräparations-system zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Präparieren eines Pfades eines Gerätes mit einem Pfadpräparationssystem.

[0002] Es ist bekannt ein Gerät entlang eines Pfades zu einer Zielregion bzw. Zielposition vorzuschieben bzw. zu bewegen. Die Zielposition befindet sich dabei innerhalb der Zielregion. Der Pfad verläuft dabei in einem Material. Von dem Bereich der Medizin ist bekannt, dass das Gerät für eine Intervention bzw. eine medizinische Intervention in der Zielregion entlang des Pfades vorgeschoben bzw. bewegt werden soll. Dabei ist das Material, in dem der Pfad verläuft, ein Gewebe. Mit anderen Worten wird das Gerät durch das Gewebe bis zu der Zielposition geschoben. Das Gerät kann dabei insbesondere ein medizinisches Gerät beispielsweise eine Biopsienadel oder ein Katheter sein. Die Intervention kann dabei beispielweise eine Biopsie oder eine Drainage sein. Viele weitere Interventionen mit einem entsprechend ausgebildeten Gerät sind bekannt und denkbar.

[0003] Es ist bekannt, dass das Gerät eine scharfe Spitze umfasst. Diese Spitze bohrt den Pfad bis zu der Zielposition durch einen Vorschub des Gerätes. Insbesondere wird auf diese Weise der Pfad in das Gewebe gebohrt. Dabei darf das Gerät typischerweise nicht zu dick sein, um Komplikationen beim Vorschieben des Gerätes beispielsweise durch Blutungen zu reduzieren und ein einfaches Vorschieben zu gewährleisten. Das Gerät muss dabei typischerweise starr sein, um ein Durchbohren des Gewebes zu ermöglichen. Somit ist es typischerweise nicht möglich, beispielsweise mittels eines flexiblen Gerätes einem gekrümmten bzw. geschwungenen Pfad zu folgen, der es ermöglicht, einen kritischen Bereich, beispielsweise mit erhöhtem Blutungsrisiko, zu umgehen. Eine Verletzung innerhalb eines kritischen Bereiches, beispielsweise eines kritischen Organs, durch das Gerät kann ein erhöhtes Blutungsrisiko durch die Intervention zur Folge haben.

[0004] Die Zielposition kann beispielsweise innerhalb eines Organs liegen. Dafür ist es notwendig, mit dem Gerät das entsprechende Organ zu durchbohren bzw. in das Organ einzudringen. Es ist bekannt, dass das Organ beim Eindringen des Gerätes in das Organ wegrutschen kann. Dies kann zu einem erhöhten Blutungsrisiko und/oder einem erschwerten Positionieren des Gerätes in der Zielregion auf der Zielposition führen. Außerdem ist bekannt, dass ein exaktes Treffen der Zielposition mit dem Gerät durch eine Organbewegung erschwert sein kann.

[0005] Die US 2013 / 0 204 138 A1 offenbart Ultraschallbildgebungssysteme und -verfahren, die in der Lage sind, eine Position eines Objekts, wie eines Katheters, innerhalb eines Körpers zu lokalisieren, indem eine akustische Interferenz zwischen einer durch das Objekt erzeugten akustischen Welle und der vom Bildgebungssystem erzeugten Ultraschallwelle genutzt wird.

[0006] Die US 2020 / 0 093 505 A1 beschreibt Verfahren und Vorrichtungen zur Behandlung von Patienten unter Verwendung eines Ultraschallablationskatheters. Die Verfahren umfassen Bildgebung unter Verwendung mindestens eines Ultraschallbildgebungskatheters.

[0007] Die US 2017 / 0 042 521 A1 offenbart ein Verfahren zum Durchführen eines koronaren Bypassverfahrens, welches mittels einer flexiblen Vorrichtung durchgeführt wird, die von einer Steuerung gesteuert wird. Dabei wird zumindest ein Teil einer Arterie, die mit Bindegewebe einer Brustwand gekoppelt ist, von dem Bindegewebe durch Anlegen von Ultraschallsignalen abgelöst.

[0008] Die US 2015 / 0 335 919 A1 beschreibt ein medizinisches Gewebeablationsverfahren. Das Verfahren umfasst das Übertragen von Energieimpulsen von einer Gruppe von Elementen eines externen Phased-Array-Energieprojektors, das Messen von Signalparametern von Energiesignalen und das Berechnen der Energieübertragungsparameter der Gruppe.

[0009] Die US 2020 / 0 405 403 A1 offenbart ein Verfahren zur Verwendung einer chirurgischen modularen Roboteranordnung mit einem austauschbaren Motorpaket, einem handgehaltenen chirurgischen Instrument und einem robotisch geführten chirurgischen Instrument.

[0010] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein System bereitzustellen, mit welchem ein Pfad eines Gerätes in Abhängigkeit einer aktuellen Position des Gerätes präpariert werden kann, um einen Vorschub bzw. ein Bewegen des Gerätes entlang des Pfades zu erleichtern.

[0011] Die Aufgabe wird gelöst durch ein System zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät und durch Verfahren zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät gemäß den unabhängigen Ansprüchen. Vorteilhaftere Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen und in der folgenden Beschreibung aufgeführt.

[0012] Nachstehend wird die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe sowohl in Bezug auf die beanspruchten Vorrichtungen als auch in Bezug auf das beanspruchte Verfahren beschrieben. Hierbei

erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen sind ebenso auch auf die anderen beanspruchten Gegenstände zu übertragen und umgekehrt. Mit anderen Worten können die gegenständlichen Ansprüche (die beispielsweise auf eine Vorrichtung gerichtet sind) auch mit den Merkmalen, die in Zusammenhang mit einem Verfahren beschrieben oder beansprucht sind, weitergebildet sein. Die entsprechenden funktionalen Merkmale des Verfahrens werden dabei durch entsprechende gegenständliche Module ausgebildet.

[0013] Die Erfindung betrifft ein Pfadpräparationssystem zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät. Das Pfadpräparationssystem umfasst einen Ultraschall-Sensor und ein Trackingsystem. Dabei ist das Trackingsystem dazu ausgebildet, eine aktuelle Position des Gerätes auf dem Pfad zu bestimmen. Dabei ist der Ultraschall-Sender dazu ausgebildet, eine Ultraschallwelle auf eine in Richtung des Pfades vor dem Gerät liegende Fokusposition in räumlicher Relation zu der aktuellen Position des Gerätes zu fokussieren.

[0014] Das Gerät kann dabei insbesondere ein medizintechnisches Gerät sein. Beispielsweise kann das Gerät eine Biopsienadel, ein Führungsdraht, ein Implantat, ein Endoskop oder ein Katheter sein. In Ausführungen der Erfindung kann das Gerät ein Führungsinstrument zum Einbringen einer Strahlungsquelle bzw. Strahlenquelle für eine Brachytherapie umfassen. Das Gerät kann alternativ eine Nadel, ein Skalpell, ein chirurgischer Trokar, ein Drainage-Schlauch oder ein Stent sein.

[0015] Das Gerät kann dabei insbesondere starr bzw. unflexibel sein. Alternativ kann das Gerät flexibel bzw. biegsam ausgebildet sein.

[0016] Insbesondere kann das Gerät dazu ausgebildet sein, eine Intervention in einer Zielregion durchzuführen. Beispielsweise kann das Gerät für eine Probenentnahme, insbesondere eine Biopsie, oder für eine Drainage oder für eine Katheterisierung oder für eine transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunt (Akronym: TIPS) -Prozedur in einer Leber oder für einen chirurgischen Eingriff oder für eine Cannulation bei einer endoskopischen retrograden Cholangiopankreatikographie (Akronym: ERCP) oder für ein Setzen eines Stents oder für ein Setzen von Trokaren bei einer Laparoskopie oder für eine Brachytherapie etc. in der Zielregion ausgebildet sein. Mit anderen Worten kann die Intervention eine Probenentnahme, insbesondere eine Biopsie, oder eine Drainage oder eine Katheterisierung oder eine transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunt (Akronym: TIPS) -Prozedur in einer Leber oder ein chirurgischer Eingriff oder eine Cannulation bei einer endoskopischen retrograden Cholangiopankreatikographie (Akronym: ERCP) oder ein Setzen

eines Stents oder ein Setzen von Trokaren bei einer Laparoskopie oder eine Brachytherapie sein.

[0017] Das Gerät kann eine längliche Form aufweisen. Insbesondere kann das Gerät eine wenigstens annähernd zylindrische Form aufweisen. Insbesondere kann der Durchmesser der Grundfläche der zylindrischen Form wesentlich kleiner als die Höhe der zylindrischen Form sein. Insbesondere kann die Höhe ein Zehnfaches oder ein Zwanzigfaches oder ein Fünfzigfaches oder ein Hundertfaches des Durchmessers sein. Das Gerät kann insbesondere an einem Führungsdraht angeordnet sein. Das Gerät kann insbesondere eine Spitze umfassen. Die Spitze ist der distale Abschnitt bzw. der vorderste Teil des Gerätes. Das Gerät kann eine scharfe Spitze umfassen. Dabei kann die scharfe Spitze zum Durchdringen eines Materials insbesondere von Gewebe ausgebildet sein. Alternativ kann das Gerät eine stumpfe Spitze umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die Spitze des Gerätes gekrümmt oder abgewinkelt sein. Mit anderen Worten kann die Spitze im Vergleich zu dem restlichen Gerät gekrümmt sein. Die Spitze kann insbesondere krümmbar ausgebildet sein. Mit anderen Worten kann eine Krümmung der Spitze variabel ausgebildet sein. Mit anderen Worten kann die Krümmung der Spitze manuell oder automatisch variiert bzw. angepasst werden. Auf diese Weise kann eine Ausrichtung der Spitze bzw. des Gerätes variiert werden.

[0018] Das Gerät ist insbesondere dazu ausgebildet wenigstens teilweise in das Material eingeführt zu werden. Mit anderen Worten ist das Gerät dazu ausgebildet wenigstens teilweise in dem Material angeordnet zu werden. Insbesondere ist das Gerät dazu ausgebildet, auf dem Pfad in dem Material angeordnet zu werden.

[0019] Der Pfad führt von einem Startpunkt zu einer Zielposition in der Zielregion.

[0020] Die Zielregion kann beispielsweise eine Flüssigkeitsansammlung oder ein Tumor oder ein Ort für eine Biopsie oder ein Organ etc. sein. Die Zielposition liegt dabei innerhalb der Zielregion. Die Intervention kann mit dem Gerät an der Zielposition durchgeführt werden.

[0021] Der Pfad kann im Vorfeld geplant worden sein. Mit anderen Worten kann der Pfad im Vorfeld im Zuge einer Pfadplanung geplant worden sein. Alternativ kann der Pfad in Echtzeit bzw. während des Vorschiebens des Gerätes zu der Zielposition in Abhängigkeit von der aktuellen Position des Gerätes geplant bzw. angepasst werden. Der Pfad verläuft dabei durch das Material. Der Pfad kann insbesondere durch Gewebe verlaufen. Insbesondere kann das Gewebe ein menschliches oder tierisches Gewebe sein. Mit anderen Worten kann der Pfad in

einem Patienten verlaufen. Der Patient kann dabei ein Mensch oder ein Tier sein. Der Pfad kann dabei derart ausgebildet sein, dass ein oder mehrere kritische Bereiche bzw. Stellen, beispielsweise ein anatomisches Objekt, umgangen werden. Mit anderen Worten kann der Pfad derart ausgebildet sein, dass ein oder mehrere kritische Bereiche, wenn nicht notwendig, nicht mit dem Gerät durchdrungen bzw. durchquert werden. Dafür kann der Pfad wenigstens teilweise gekrümmt verlaufen. Ein kritischer Bereich kann beispielsweise ein Bereich mit erhöhtem Blutungsrisiko und/oder ein Organ sein.

[0022] Bei der Pfadplanung kann eine mögliche Deformation eines umliegenden Materials durch das in den Pfad eingebrachte Gerät berücksichtigt werden. Hierfür kann ein Materialparameter zur Torsionsfestigkeit und/oder Deformierbarkeit des Geräts und/oder ein Parameter des den Pfad umgebenden Material berücksichtigt werden.

[0023] Das Trackingsystem ist dazu ausgebildet die aktuelle Position des Gerätes zu bestimmen. Insbesondere ist das Trackingsystem dazu ausgebildet, die aktuelle Position des Gerätes auf dem Pfad bzw. relativ zu dem Pfad zu bestimmen. Insbesondere kann das Trackingsystem auch eine Abweichung der aktuellen Position von dem Pfad bestimmen. Das Trackingsystem kann dazu ausgebildet sein, die aktuelle Position mittels einer Bildgebung und/oder mittels optischen Trackings und/oder mittels elektromagnetischen Trackings zu bestimmen.

[0024] Die aktuelle Position des Gerätes wird dabei durch die Spitze des Gerätes vorgegeben. Die aktuelle Position wird dabei in dem Material bestimmt. Insbesondere kann die aktuelle Position in Abhängigkeit des Startpunktes und der Zielposition bestimmt werden. Mit anderen Worten kann die Lage der aktuellen Position relativ zu dem Startpunkt und der Zielposition bestimmt werden. Insbesondere kann die aktuelle Position relativ zu dem Pfad bestimmt werden. Dabei kann der Pfad vorgeplant sein.

[0025] Die aktuelle Position kann insbesondere eine Krümmung der Spitze berücksichtigen. Mit anderen Worten kann die aktuelle Position berücksichtigen, ob die Spitze in eine andere Richtung weist als der restliche Teil des Gerätes. Mit anderen Worten kann die aktuelle Position eine Information über eine Ausrichtung der Spitze des Gerätes umfassen.

[0026] Das Gerät kann in Ausführungen der Erfindung mit einem robotischen System bzw. robotisch bewegt werden. Insbesondere kann das Gerät entlang des Pfades mit dem robotischen System bewegt werden. Insbesondere kann dann das Trackingsystem das robotische System umfassen. Insbesondere kann das robotische System eine Information über

die aktuelle Position des Gerätes bereitstellen. Insbesondere kann das robotische System eine Information über eine longitudinale Position des Gerätes bereitstellen. Das robotische System kann eine Information darüber bereitstellen, wie weit das Gerät bereits entlang des Pfades vorgeschoben bzw. bewegt wurde. Das robotische System kann alternativ oder zusätzlich eine Information über eine Ausrichtung bzw. Krümmung der Spitze des Gerätes bereitstellen. Insbesondere kann das robotische System eine Information über eine zukünftig geplante Krümmung bzw. Ausrichtung der Spitze bereitstellen. Mit anderen Worten kann das robotische System die aktuelle Position bereitstellen.

[0027] Der Ultraschall-Sender ist dazu ausgebildet eine hochintensive fokussierte Ultraschallwelle (engl.: High Intensity Focused Ultrasound, Akronym: HIFU) auszusenden. Die von dem Ultraschall-Sender ausgesendete Ultraschallwelle kann insbesondere elektronisch fokussiert sein. Der Ultraschall-Sender kann dabei mit dem Material (bspw. dem Gewebe), in welchem der Pfad verläuft, gekoppelt werden. Insbesondere kann der Ultraschall-Sender über ein Kopplungsmedium mit dem Material gekoppelt werden. Das Kopplungsmedium kann beispielsweise eine wasserhaltige Komponente, beispielsweise ein Gel sein. Der Ultraschall-Sender kann insbesondere robotisch bewegt bzw. positioniert werden. Mit anderen Worten kann der Ultraschall-Sender mittels eines robotischen Systems bewegbar bzw. positionierbar sein. Insbesondere kann der Ultraschall-Sender robotisch relativ zu dem Pfad positionierbar sein.

[0028] Die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle ist dazu ausgebildet, den Pfad in dem Material, durch das der Pfad verläuft zu perforieren. Mit anderen Worten kann in Ausführungen der Erfindung die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle an ihrem Fokuspunkt eine Materialdicke bzw. eine Materialfestigkeit des Materials, durch das der Pfad verläuft, herabsetzen bzw. reduzieren. Insbesondere kann die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle eine Elastizität des Materials erhöhen und/oder eine Verflüssigung des Materials herbeiführen. Auf diese Weise kann der Pfad mittels der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle perforiert werden.

[0029] Die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle ist auf einen Fokus fokussiert. Der Fokus liegt auf der Fokusposition auf dem Pfad. Die Fokusposition ist dabei auf dem Pfad vor dem Gerät angeordnet. „Vor“ bedeutet in diesem Fall, dass die Fokusposition in einem Bereich auf dem Pfad liegt, der zwischen der Spitze des Gerätes und der Zielposition angeordnet ist. Dabei kann der Pfad vorgegeben bzw. vorbestimmt sein. Alternativ kann der Pfad in Abhängigkeit der aktuellen Position bestimmt oder angepasst bzw. korrigiert werden. Insbesondere

kann die Fokusposition in Abhängigkeit der Krümmung bzw. der Ausrichtung der Spitze des Gerätes relativ zu der aktuellen Position des Gerätes angeordnet sein.

[0030] Insbesondere kann die Fokusposition in Abhängigkeit einer Organbewegung etc. bestimmt werden. Mit anderen Worten kann eine Bewegungskompensation beispielsweise der Organbewegung durch Anpassen der Fokusposition an die Organbewegung erfolgen. Insbesondere kann der Zeitpunkt des Aussendens der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle von einer Organbewegung abhängen. Mit anderen Worten kann der Zeitpunkt des Aussendens der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle von einer Phase der Organbewegung abhängen. Die Organbewegung kann dabei mittels des Trackingsystems erfasst werden. Das Trackingsystem kann beispielsweise ein physiologisches Signal erfassen, welches die Organbewegung beschreibt. Beispielsweise kann das Trackingsystem ein Elektrokardiogramm erfassen, aus welchem eine aktuelle Phase der Herzbewegung abgeleitet werden kann. Alternativ kann das Trackingsystem beispielsweise ein medizinisches Bild erfassen, aus welchem eine Phase bzw. ein Zustand der Organbewegung eines in dem Bild abgebildeten Organs abgeleitet werden kann. Die Organbewegung kann beispielsweise eine Bewegung des Herzens, eine Bewegung der Lunge oder an der Lunge angrenzender Organe durch die Atmung und/oder eine Bewegung eines Verdauungsorgans durch die Verdauung etc. sein.

[0031] Dabei liegt die Fokusposition derart vor dem Gerät, dass die Spitze des Gerätes von der aktuellen Position zu der Fokusposition vorgeschoben werden kann. Dabei liegt die Fokusposition derart vor dem Gerät, dass sichergestellt ist, dass das Gerät beim Vorschieben den kürzesten Weg zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition nimmt.

[0032] Der räumliche Zusammenhang zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition ist dabei durch die räumliche Relation gegeben. Die räumliche Relation kann beispielsweise berücksichtigen, dass das Gerät von der aktuellen Position zu der Fokusposition bewegbar ist. Dabei kann die räumliche Relation dabei beispielsweise eine Ausrichtung bzw. Krümmung der Spitze des Gerätes berücksichtigen. Insbesondere kann die räumliche Relation eine Asymmetrie der Spitze berücksichtigen. Alternativ oder zusätzlich kann die räumliche Relation beispielsweise eine Materialfestigkeit berücksichtigen. Mit anderen Worten kann die räumliche Relation berücksichtigen, wie nah die Fokusposition und die aktuelle Position beieinander liegen müssen, damit das Gerät von der aktuellen Position zu der Fokusposition bewegt werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann die räumliche Relation eine Lage eines oder mehrerer kritischer Bereiche berücksichtigen.

Mit anderen Worten kann die räumliche Relation derart ausgebildet sein, dass die Fokusposition relativ zu der aktuellen Position derart angeordnet ist, dass kein kritischer Bereich unnötig verletzt wird.

[0033] Beim Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle kann eine Abschattung durch das Gerät berücksichtigt werden. Insbesondere kann dabei ein Einfluss der Abschattung auf die Ultraschallwelle und die damit verbundene Intensitätsänderung im Fokus sowie eine mögliche räumliche Verschiebung des Fokus berücksichtigt werden. Der Ultraschall-Sender kann insbesondere eine Matrix oder ein Array von einzelnen Sendeelementen bzw. Transducer-Elementen umfassen. Jedes Sendeelement kann zum Aussenden einer Teil-Ultraschallwelle ausgebildet sein. Die Teil-Ultraschallwellen können dann zu der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle interferieren. Insbesondere können nur die Sendeelemente eine Teil-Ultraschallwelle aussenden, deren Teil-Ultraschallwelle nicht von dem Gerät abgeschattet ist. Mit anderen Worten können nur die Sendeelemente Teil-Ultraschallwellen aussenden, deren ausgesendete Teil-Ultraschallwelle auf dem direkten Weg zu der Fokusposition das Gerät nicht durchdringt.

[0034] Die Erfinder haben erkannt, dass mittels der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle der Pfad perforiert werden kann. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass das Gerät dem Pfad folgt. Insbesondere ist es nicht mehr notwendig, dass das Gerät eine scharfe Spitze zum Durchbohren bzw. Durchschneiden des Materials, in dem der Pfad verläuft, aufweist. Die Erfinder haben erkannt, dass die Fokusposition derart positioniert werden kann, dass kein kritischer Bereich verletzt wird. Auf diese Weise kann beispielsweise ein Blutungsrisiko oder ein Risiko einer Verletzung eines Organs reduziert werden. Die Erfinder haben erkannt, dass der Pfad dafür beliebig gekrümmt verlaufen kann. Die Erfinder haben erkannt, dass ein flexibles Gerät verwendet werden kann, welches dem gekrümmten Pfad folgen kann. Wenn das Gerät in ein Organ eindringen soll, kann ein Wegrutschen des Organs verhindert werden, indem der Pfad mittels der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle bereits vorperforiert wird. Insbesondere haben die Erfinder erkannt, dass ein Material, in dem der Pfad verläuft, durch das Gerät weniger deformiert wird, wenn der Pfad bereits durch die Ultraschallwelle perforiert ist.

[0035] Nach einem Aspekt der Erfindung ist der Ultraschall-Sender von einem Histotripsie-System umfasst.

[0036] Das Histotripsie-System ist zum Durchführen einer Histotripsie ausgebildet. Das Histotripsie-System umfasst einen Ultraschall-Therapie-Transducer und einen Ultraschall-Bildgebungs-Transducer und

ein Kopplungsmedium. Über das Kopplungsmedium, beispielsweise ein Wasserbad, können die Ultraschallwellen in das Material, insbesondere in den Körper des Patienten bzw. das Gewebe, eingebracht werden. Die durch den Ultraschall-Bildgebungs-Transducer ausgesendeten Ultraschallwellen dienen dabei zur Bildgebung. Dabei kann wenigstens ein medizinisches Bild erzeugt werden. Die durch den Ultraschall-Therapie-Transducer ausgesendeten Ultraschallwellen dienen der Histotripsie-Behandlung. Insbesondere kann der Ultraschall-Therapie-Transducer die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle aussenden. Mit anderen Worten bildet der Ultraschall-Therapie-Transducer den Ultraschall-Sender.

[0037] Insbesondere kann der Ultraschall-Bildgebungs-Transducer von dem Tracking-System umfasst sein. Mit anderen Worten kann die aktuelle Position des Gerätes in Abhängigkeit basierend auf dem medizinischen Bild bestimmt werden.

[0038] Die Erfinder haben erkannt, dass ein Histotripsie-System zum Präparieren des Pfades für das Gerät geeignet ist. Die Erfinder haben erkannt, dass die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle von dem Histotripsie-System bereitgestellt werden kann.

[0039] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst das Trackingsystem eine Bildgebungseinheit. Dabei ist die Bildgebungseinheit insbesondere eine der folgenden Einheiten: eine C-Bogen-Einheit, eine Angiographie-Einheit, eine Ultraschall-Bildgebungseinheit.

[0040] Alternativ kann die Bildgebungseinheit eine Computer-Tomographie-Einheit, eine Magnet-Resonanz-Tomographie-Einheit, eine Mammographie-Einheit, eine Röntgen-Einheit, eine Positronen-Emissions-Tomographie-Einheit (engl.: Positron Emission Tomographie, Akronym: PET) und/oder eine Einzel-Photonen-Emissions-Computer-Tomographie-Einheit (engl.: Single Photon Emission Computed Tomography, Akronym: SPECT) sein. Die Ultraschall-Bildgebungseinheit kann dabei dem oben beschriebenen Ultraschall-Bildgebungs-Transducer entsprechen.

[0041] Die Bildgebungseinheit ist zum Erfassen eines medizinischen Bildes ausgebildet. Die Bildgebungseinheit ist dazu ausgebildet das Gerät, insbesondere die Spitze des Gerätes, in dem medizinischen Bild zu erfassen. Dafür kann wenigstens die Spitze des Gerätes beispielsweise mit einem Kontrastmittel behandelt sein. Alternativ kann wenigstens die Spitze des Gerätes aus einem Material sein, welches in dem medizinischen Bild sichtbar ist. Insbesondere kann die Bildgebungseinheit zum Identifizieren bzw. Lokalisieren einer Markerstruktur an dem Gerät ausgebildet sein. Die Markerstruktur

kann dabei insbesondere derart ausgebildet sein, dass sie in dem medizinischen Bild sichtbar bzw. abbildbar bzw. erkennbar ist. Die Markerstruktur kann insbesondere an der Spitze bzw. in der Nähe der Spitze des Gerätes angeordnet sein.

[0042] Das medizinische Bild kann insbesondere ein zwei- oder ein dreidimensionales medizinisches Bild sein. Mit anderen Worten kann das medizinische Bild die Spitze des Gerätes zwei- oder dreidimensional abbilden.

[0043] Basierend auf dem medizinischen Bild kann mittels des Trackingsystems die aktuelle Position des Gerätes bestimmt werden. Die aktuelle Position kann beispielsweise mittels Bildbearbeitung automatisiert bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die aktuelle Position durch Anwenden einer trainierten Funktion auf das medizinische Bild bestimmt werden. Mit anderen Worten kann die aktuelle Position mittels maschinellen oder tiefen Lernens (engl. Machine Learning/Deep Learning) bestimmt werden. Dafür kann das Gerät oder wenigstens die Spitze des Gerätes in dem medizinischen Bild segmentiert werden.

[0044] Zusätzlich kann eine Umgebung des Gerätes in dem medizinischen Bild analysiert werden. Beispielsweise können kritische Bereiche in dem medizinischen Bild bestimmt werden. Mit anderen Worten kann anhand des medizinischen Bildes bestimmt werden, wo der Pfad verlaufen darf. Insbesondere kann das Trackingsystem mit der Bildgebungseinheit dazu ausgebildet sein, einen kritischen Bereich entlang des Pfades insbesondere in einer Umgebung der Fokusposition insbesondere automatisiert zu identifizieren.

[0045] Wenn mittels des Bildgebungssystems eine zeitliche Sequenz an medizinischen Bildern erfasst wird, kann eine Bewegung beispielsweise eine Organbewegung analysiert bzw. beobachtet werden. Insbesondere kann dann die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle in Abhängigkeit der Bewegung ausgesendet werden. Insbesondere kann dabei die Organbewegung in der Sequenz von medizinischen Bildern beim Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle berücksichtigt werden.

[0046] In Ausführungen der Erfindung kann die Bildgebungseinheit dazu ausgebildet sein, die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle bzw. die Fokusposition zu überwachen und gegebenenfalls die Ultraschallparameter (beispielsweise Intensität, Pulsdauer, Pulsfrequenz) bzw. die Fokusposition anzupassen.

[0047] Die Erfinder haben erkannt, dass die aktuelle Position des Gerätes in einem medizinischen Bild,

welches mit einer Bildgebungseinheit erfasst wird, bestimmt werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise auch eine zeitlich aufgelöste Beobachtung der aktuellen Position möglich ist. Die Erfinder haben erkannt, dass in dem medizinischen Bild außerdem kritische Bereiche bestimmt werden können. Insbesondere ist eine Bewegung bzw. zeitliche Veränderung eines kritischen Bereiches in einer zeitlichen Sequenz von medizinischen Bildern beobachtbar. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise das Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle geplant werden kann. Mit anderen Worten haben die Erfinder erkannt, dass der Zeitpunkt des Aussendens der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle und die Fokusposition der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle von der aktuellen Position des Gerätes und den kritischen Bereichen bzw. deren Bewegung abhängt. Diese können in dem medizinischen Bild bzw. in der Sequenz von medizinischen Bildern bestimmt werden.

[0048] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst das Tracking-System eine Ultraschall-Bildgebungseinheit. Dabei sind die Ultraschall-Bildgebungseinheit und der Ultraschall-Sender zueinander registriert.

[0049] Insbesondere können die Ultraschall-Bildgebungseinheit und der Ultraschall-Sender wie oben beschrieben von dem Histotripsie-System umfasst sein. Insbesondere kann der Ultraschall-Sender durch den Ultraschall-Therapie-Transducer gebildet werden. Insbesondere kann die Ultraschall-Bildgebungseinheit durch den Ultraschall-Bildgebungs-Transducer gebildet werden.

[0050] Registriert bedeutet, dass der Ultraschall-Sender jederzeit weiß, welcher Bereich mittels der Ultraschall-Bildgebungseinheit in dem medizinischen Bild abgebildet wird. Mit anderen Worten sind der Ultraschall-Sender und die Ultraschall-Bildgebungseinheit räumlich zueinander registriert bzw. ausgerichtet bzw. gekoppelt. Insbesondere sind der Ultraschall-Sender und die Ultraschall-Bildgebungseinheit in einem gemeinsamen Koordinatensystem registriert. Auf diese Weise insbesondere kann dann der Ultraschall-Sender automatisch auf die Spitze des Gerätes oder auf die Fokusposition vor der Spitze des Gerätes fokussiert sein.

[0051] Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise das Präparieren des Pfades beschleunigt werden kann. Insbesondere kann die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle instantan nach dem Bestimmen der aktuellen Position ausgesendet werden, ohne dass eine aufwendige räumliche Ausrichtung des Ultraschall-Senders relativ zu der Ultraschall-Bildgebungseinheit notwendig ist.

[0052] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist das Trackingsystem dazu ausgebildet, eine Richtung und/oder eine Geschwindigkeit einer Bewegung des Gerätes zu bestimmen.

[0053] Die Bewegung des Gerätes beschreibt den Vorschub des Gerätes in dem Material. Der Vorschub kann eine Translation und/oder Rotation des Geräts, insbesondere der Spitze des Gerätes, umfassen. Im Folgenden ist die Bezeichnung „die Richtung bzw. Geschwindigkeit der Bewegung des Gerätes“ synonym zu der Bezeichnung „die Richtung bzw. Geschwindigkeit des Gerätes“ zu betrachten. Dabei bezieht sich die Richtung bzw. die Geschwindigkeit des Gerätes auf die Spitze des Gerätes. Mit anderen Worten gibt die Geschwindigkeit bzw. die Richtung des Gerätes insbesondere die Geschwindigkeit bzw. Richtung der Spitze des Gerätes an.

[0054] Die Richtung gibt an, in welche Richtung sich das Gerät bewegt, bzw. in welche Richtung es vorgeschoben wird. Die Richtung kann sich dabei auf den bereits zurückgelegten Abschnitt des Pfades beziehen. Mit anderen Worten bezieht sich die Richtung auf den Abschnitt des Pfades, den das Gerät bereits zurückgelegt hat bzw. durch den es bereits geschoben wurde. Insbesondere bezieht sich die Richtung auf den zuletzt zurückgelegten Abschnitt des Gerätes. Mit anderen Worten kann die Richtung beschreiben, aus welcher Richtung bzw. mit welcher Ausrichtung das Gerät auf die aktuelle Position bewegt wurde. Insbesondere kann die Richtung eine Ausrichtung der Spitze des Gerätes relativ zu dem Führungsdraht, an dem das Gerät angeordnet ist, angeben.

[0055] Die Geschwindigkeit gibt analog an, mit welcher Geschwindigkeit der Vorschub des Gerätes erfolgt. Mit anderen Worten gibt die Geschwindigkeit die Geschwindigkeit des Gerätes vor dem Erreichen der aktuellen Position an. Insbesondere kann die Geschwindigkeit die Geschwindigkeit des Gerätes angeben, mit der das Gerät die aktuelle Position erreicht. Das Gerät kann kontinuierlich vorgeschoben werden. Alternativ kann das Gerät in Etappen jeweils von der aktuellen Position zu der Fokusposition vorgeschoben werden.

[0056] Insbesondere kann die Richtung und/oder die Geschwindigkeit des Gerätes aus einer Abfolge insbesondere einer zeitlichen Abfolge von aktuellen Positionen abgeleitet bzw. bestimmt werden. Mit anderen Worten kann die Richtung aus einer räumlichen Veränderung der aktuellen Position des Gerätes abgeleitet werden. Mit anderen Worten kann die Geschwindigkeit aus einer zeitlichen und räumlichen Veränderung der aktuellen Position des Gerätes abgeleitet werden.

[0057] In Ausführungen der Erfindung kann die Richtung basierend auf einer Sequenz von medizinischen Bildern bestimmt werden. In Ausführungen der Erfindung kann die Richtung und/oder die Geschwindigkeit basierend auf einer zeitlichen Sequenz von medizinischen Bildern bestimmt werden.

[0058] Insbesondere kann das medizinische Bild bzw. die medizinischen Bilder der (zeitlichen) Abfolge bzw. Sequenz von medizinischen Bildern zwei- oder dreidimensional ausgebildet sein.

[0059] Die Erfinder haben erkannt, dass eine Kenntnis über die Richtung und/oder die Geschwindigkeit bei einer Planung der Intervention hilfreich ist. Insbesondere kann aus der Richtung und/oder der Geschwindigkeit geschlossen werden, wann die Zielposition in der Zielregion, in der die Intervention durchgeführt werden soll, erreicht ist. Insbesondere kann aus der Richtung und/oder der Geschwindigkeit eine Abweichung des Gerätes von dem Pfad erkannt werden. Die Erfinder haben erkannt, dass basierend auf der Richtung und/oder der Geschwindigkeit der Pfad geplant bzw. aktualisiert bzw. angepasst werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass mittels der Kenntnis über die Richtung und/oder die Geschwindigkeit der Vorschub des Gerätes beispielsweise an eine Organbewegung anpassbar ist.

[0060] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung hängt die räumliche Relation der Fokusposition zu der aktuellen Position des Gerätes von der Geschwindigkeit und/oder der Richtung der Bewegung des Gerätes ab.

[0061] Mit anderen Worten hängt die räumliche Relation von dem Vorschub des Gerätes bzw. der Spitze des Gerätes in dem Material ab.

[0062] Dabei kann beispielsweise die Fokusposition von der Richtung der Bewegung des Gerätes abhängen. Mit anderen Worten kann anhand der räumlichen Relation berücksichtigt werden, ob in Abhängigkeit der Richtung des Gerätes ausgehend von der aktuellen Position das Gerät zu der Fokusposition vorgeschoben bzw. bewegt werden kann. Beispielsweise kann die räumliche Relation vorgeben, wie stark eine Richtung einer Verbindungslinie zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition von der Richtung des Gerätes abweichen darf. Alternativ oder zusätzlich kann die räumliche Relation vorgeben, unter Annahme der Richtung und/oder des Pfades, dass die Fokusposition 1mm oder 3mm oder 5mm oder 10mm oder 15mm oder 20mm von der aktuellen Position entfernt ist.

[0063] Alternativ oder zusätzlich kann die Fokusposition relativ zu der aktuellen Position von der Geschwindigkeit der Bewegung des Gerätes abhängen.

Die Fokusposition kann dabei derart gewählt werden, dass in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der aktuellen Position das Gerät die Fokusposition in einem bestimmten Zeitintervall erreicht. Mit anderen Worten kann die Fokusposition bei einer höheren Geschwindigkeit weiter von der aktuellen Position entfernt sein als bei einer niedrigeren Geschwindigkeit. Die räumliche Relation kann dabei beispielsweise das Zeitintervall vorgeben. Beispielsweise kann die räumliche Relation vorgeben, dass das Gerät die Fokusposition unter der Annahme einer Bewegung bzw. eines Vorschubs mit der bestimmten Geschwindigkeit in 0,1s oder in 0,5s oder in 1s erreicht.

[0064] Insbesondere kann die räumliche Relation derart ausgebildet sein, dass eine Bewegung des Gerätes im Wesentlichen fortgesetzt wird. Mit anderen Worten kann die Fokusposition relativ zu der aktuellen Position derart angeordnet sein, dass die Bewegung des Gerätes fortgesetzt werden kann. Dabei wird die Bewegung des Gerätes durch die Richtung und/oder die Geschwindigkeit vorgegeben.

[0065] Alternativ kann die räumliche Relation derart ausgebildet werden, dass eine Pfadabweichung korrigiert wird. Mit anderen Worten kann die Fokusposition relativ zu der aktuellen Position derart gewählt werden bzw. angeordnet sein, dass eine mögliche Abweichung des Gerätes bzw. der aktuellen Position des Gerätes von dem vorgeplanten Pfad korrigiert wird. Die Pfadabweichung kann insbesondere durch die Richtung und/oder Geschwindigkeit und/oder durch einen Vergleich der aktuellen Position mit dem Pfad erkannt bzw. detektiert werden.

[0066] Die Erfinder haben erkannt, dass bei der Wahl der Fokusposition berücksichtigt werden sollte, ob das Gerät in Abhängigkeit seiner Richtung dazu ausgebildet ist, die Fokusposition ausgehend von seiner aktuellen Position zu erreichen bzw. zu dieser bewegt bzw. vorgeschoben zu werden. Je flexibler das Gerät ausgebildet ist, desto stärker kann dabei die Richtung der Verbindungslinie zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition von der Richtung der Bewegung des Gerätes abweichen. Die Erfinder haben außerdem erkannt, dass die Fokusposition derart gewählt werden kann, dass das Gerät die Fokusposition mit der bestimmten Geschwindigkeit innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls erreichen kann. Damit kann verhindert werden, dass der Abstand zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition unnötig klein ist und unnötig viele hochintensive fokussierte Ultraschallwellen in das Material gesendet bzw. fokussiert werden. Dies würde zu einem unnötigen Zeitverlust führen. Zudem kann bei einem zu kleinen Abstand zum Zeitpunkt des Aussendens der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle die aktuelle Position des Gerätes wenigstens näherungsweise der Fokusposi-

tion entsprechen. Dies kann dazu führen, dass das Gerät durch die hochintensive, fokussierte Ultraschallwelle zerstört wird. Ein zu großer Abstand wiederum kann dazu führen, dass das Gerät bei einem Vorschub nicht mehr dem vorgegebenen Pfad folgt, da die Perforation durch die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle zu grob ist. Ein zu großer Abstand kann außerdem dazu führen, dass das Gerät in dem Material zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition stecken bleibt. Die Erfinder haben außerdem erkannt, dass durch Vorgabe der räumlichen Relation eine Pfadabweichung beispielsweise auf Grund einer technischer Imperfektion und/oder auf Grund einer Organbewegung und/oder auf Grund einer Organdeformation und/oder auf Grund einer Verformung des Gerätes korrigiert werden kann.

[0067] In optionalen Ausführungen der Erfindung kann die Größe des Fokus und/oder eine Intensität und/oder Pulsrate der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle kann in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und/oder Richtung der Bewegung des Geräts angepasst werden. Die Größe des Fokus kann insbesondere eine räumliche Ausdehnung und/oder eine Form des Fokus der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle beschreiben.

[0068] In optionalen Ausführungen der Erfindung kann die Größe des Fokus und/oder die Intensität und/oder die Pulsrate insbesondere auch an eine (Material-)Eigenschaft des Geräts und/oder eine Eigenschaft des Materials, in dem der Pfad verläuft, angepasst werden. Das Pfadpräparationssystem kann einen präoperativen oder intraoperativen Datensatz aufweisend die (Material-)Eigenschaft (bspw. eine Elastizität, Dichte, etc.) empfangen und dazu ausgebildet sein, die Ultraschallparameter entlang des Pfades in Abhängigkeit der (Material-)Eigenschaften anzupassen.

[0069] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist die räumliche Relation und/oder die Fokusposition manuell vorgebar.

[0070] Insbesondere kann die räumliche Relation und/oder die Fokusposition von einem Bediener, insbesondere einem Mediziner oder einer medizinischen Assistenz vorgegeben werden. Der Bediener kann die räumliche Relation und/oder die Fokusposition über eine Eingabeeinheit vorgeben bzw. bereitstellen. Die Eingabeeinheit kann beispielsweise eine Tastatur, eine Computermaus, ein berührungempfindlicher Bildschirm (engl.: Touchscreen) und/oder ein Tastfeld (engl.: Touchpad) sein.

[0071] Die räumliche Relation kann beispielsweise ein minimales und/oder maximales Zeitintervall, in welchem das Gerät mit der bestimmten Geschwindigkeit von der aktuellen Position zu der Fokusposi-

tion bewegt werden kann, umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die räumliche Relation eine maximale Abweichung zwischen der Richtung der Verbindungslinie zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition und der Richtung der Bewegung des Gerätes umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die räumliche Relation einen festen Abstand, den die Fokusposition zu der aktuellen Position auf dem Pfad aufweisen soll, umfassen. Das maximale und/oder minimale Zeitintervall und/oder die maximale Abweichung und/oder den festen Abstand kann der Bediener manuell vorgeben.

[0072] Alternativ oder zusätzlich kann der Bediener die Fokusposition vorgeben. Beispielsweise kann die Fokusposition in Form von Koordinaten vorgegeben werden. Die Koordinaten können dabei relativ zu der aktuellen Position oder zu den Koordinaten der Zielposition oder zu dem Pfad vorgegeben werden. Weicht die manuell vorgegebene Fokusposition und/oder räumliche Relation von dem vorgeplanten Pfad ab, kann die Pfadplanung basierend auf der vorgegebenen Fokusposition aktualisiert bzw. angepasst werden. Alternativ oder zusätzlich kann der Bediener die Fokusposition in dem medizinischen Bild auswählen. Dabei ist in dem medizinischen Bild die aktuelle Position des Gerätes abgebildet. In Ausführungen der Erfindung kann der vorgeplante Pfad in dem medizinischen Bild eingblendet sein. Der Bediener kann dann in dem medizinischen Bild die Fokusposition auswählen bzw. vorgeben. Beispielsweise kann der Bediener die Fokusposition vorgeben, indem er mittels einer Computermaus oder einem Touchpad oder auf einem Touchscreen in dem medizinischen Bild auf die entsprechende Stelle klickt bzw. drückt.

[0073] Die Erfinder haben erkannt, dass durch die manuelle Vorgabe der räumlichen Relation und/oder der Fokusposition flexibel auf unerwartete Gegebenheiten reagiert werden kann. Beispielsweise kann die Wahl der Fokusposition an einen Patienten angepasst werden. Alternativ oder zusätzlich kann instantan auf eine Blutung oder eine anatomische Risikostruktur in einem kritischen Bereich reagiert werden, indem der Ort der Blutung umgangen wird und ein alternativer Pfad gewählt wird.

[0074] Die Erfinder haben außerdem erkannt das auf eine notwendige Veränderung des Pfades im Vergleich zu dem geplanten Pfad, beispielsweise durch eine Organbewegung bzw. eine Deformation eines Organs, flexibel reagiert werden kann. Der geplante Pfad kann dabei auf einem präinterventionellen Planungsdatensatz, beispielsweise einem Bild-datensatz, basieren. Beispielsweise durch eine veränderte Lagerung bzw. Positionierung des Patienten können die mit dem präinterventionellen Planungsdatensatz erfassten Informationen von den aktuellen Informationen beispielsweise über eine Form eines

Organs abweichen. Insbesondere kann dies ein Anpassen des Pfades und damit ein Anpassen der Fokusposition bzw. der räumlichen Relation zwischen aktueller Position und Fokusposition notwendig machen.

[0075] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Ultraschallwelle auf die Fokusposition nur ausgesendet, wenn keines der folgenden Ereignisse eintritt: die aktuelle Position des Gerätes entspricht einer Zielposition des Pfades oder ein Abschnitt des Pfades, auf dem die aktuelle Position liegt, ist in der Pfadplanung als kritisch markiert oder eine Nutzereingabe verhindert das Aussenden der Ultraschallwelle.

[0076] Mit anderen Worten wird die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle durch den Ultraschall-Sender nur dann ausgesendet, wenn keines der oben genannten Ereignisse eintritt.

[0077] Insbesondere wird durch die genannten Ereignisse ein automatisches Aussenden der Ultraschallwelle gestoppt. Insbesondere kann ein manuelles Aussenden der Ultraschallwelle durch den Bediener möglich sein.

[0078] Wenn die aktuelle Position des Gerätes der Zielposition des Pfades entspricht, ist ein weiteres Bewegen bzw. Verschieben des Gerätes nicht notwendig bzw. gewünscht. Insbesondere kann dann die Intervention durchgeführt werden. Der Pfad hat an der Zielposition seinen Endpunkt erreicht.

[0079] Der Pfad kann wie oben beschrieben im Vorfeld geplant worden sein bzw. vorgeplant sein. Dabei kann der Pfad in Abschnitte unterteilt werden. Dabei können die Abschnitte klassifiziert werden. Beispielsweise kann ein Abschnitt des Pfades als kritisch markiert bzw. klassifiziert werden, wenn durch einen Vorschub bzw. eine Bewegung des Gerätes in diesem Abschnitt ein erhöhtes Blutungsrisiko erwartet wird und/oder wenn der Abschnitt durch eine Organbewegung stark beeinflusst ist. Insbesondere kann ein Abschnitt als kritisch klassifiziert werden, wenn er einen kritischen Bereich durchquert oder nah an einem kritischen Bereich entlang verläuft.

[0080] Wenn das Gerät zum Durchführen einer Brachytherapie ausgebildet ist, kann im Vorfeld im Zusammenhang mit der Pfadplanung eine Bestrahlungsplanung durchgeführt werden. Bei der Bestrahlungsplanung kann eine räumliche Dosisverteilung bestimmt werden. Insbesondere können dabei kritische Bereiche markiert werden. Die kritischen Bereiche sollen möglichst keiner oder nur einer geringen Strahlendosis beim Ein- und/oder Ausbringen der Strahlungsquelle mit dem Gerät entlang des Pfades ausgesetzt werden. Ein Abschnitt des Pfades, der

entlang eines derartigen kritischen Bereiches verläuft, kann als kritisch klassifiziert werden.

[0081] Das Klassifizieren kann beispielsweise basierend auf einem präinterventionell erfassten medizinischen Bild basieren. Das Klassifizieren kann manuell durch den Bediener durchgeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Klassifizieren automatisiert, beispielsweise durch Anwenden einer trainierten Funktion erfolgen. Insbesondere kann in einem kritischen Abschnitt die Ultraschallwelle nur ausgesendet werden, wenn der Bediener dies freigibt. Mit anderen Worten kann dann ein automatisches Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle gestoppt werden.

[0082] Alternativ oder zusätzlich können Bereiche, durch die der Pfad verlaufen kann oder in deren Nähe der Pfad verlaufen kann, als kritisch markiert bzw. klassifiziert werden. Dabei kann das Klassifizieren wie oben beschrieben manuell und/oder automatisiert basierend auf einem prä-interventionell erfassten medizinischen Bild erfolgen. In der Nähe eines kritischen Bereiches, ist es notwendig, dass die Fokusposition besonders präzise getroffen wird. Insbesondere kann sonst eine erhöhte Blutungsgefahr und/oder eine Verletzung eines Organs bestehen. Der entsprechende Abschnitt des Pfades, der in dem kritischen Bereich verläuft oder an den kritischen Bereich angrenzt, kann dann als kritisch markiert werden. Insbesondere wird dann die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle nicht automatisiert ausgesendet. Insbesondere ist dann eine manuelle Interaktion durch den Bediener notwendig.

[0083] Der Bediener kann durch eine Nutzereingabe das Aussenden der Ultraschallwelle stoppen. Beispielsweise kann der Bediener das Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle stoppen, wenn es zu einer Komplikation beispielsweise einer Blutung kommt. Insbesondere kann der Bediener das Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle stoppen, wenn er in dem medizinischen Bild erkennt, dass der vorgeplante Pfad korrigiert werden muss. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn eine Auffälligkeit in dem medizinischen Bild zu erkennen ist und/oder wenn sich ein Objekt beispielsweise ein Organ oder ein Tumor stärker bewegt als erwartet etc.

[0084] Die Erfinder haben erkannt, dass durch die oben genannten Ereignisse ein Schutzmechanismus ausgelöst werden kann, der ein Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle stoppt bzw. erst durch eine manuelle Eingabe durch den Bediener ermöglicht. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise ein Risiko durch eine möglicherweise falsch ausgesendete hochintensive fokussierte Ultraschallwelle minimiert bzw. reduziert werden kann.

[0085] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst das Gerät eine Biopsienadel.

[0086] Die Biopsienadel kann für eine Gewebeentnahme ausgebildet sein. Die Biopsienadel kann beispielsweise eine Hohlnadel sein. Die Biopsienadel kann starr oder flexibel ausgebildet sein. Die Biopsienadel kann eine scharfe oder eine stumpfe Spitze umfassen. In Ausführungen der Erfindung kann die Biopsienadel an einem Führungsdraht angeordnet sein.

[0087] Die Erfinder haben erkannt, dass mithilfe des Pfadpräparationssystems eine Biopsie vereinfacht durchgeführt werden kann. Insbesondere kann mit dem Pfadpräparationssystem der Pfad für die Biopsienadel präpariert werden. Die Erfinder haben erkannt, dass dabei verhindert werden kann, dass mit der Biopsienadel kritische Bereiche bzw. kritisches Gewebe bzw. kritische Organe verletzt werden.

[0088] Gemäß der Erfindung verläuft der Pfad in einem Material. Dabei wird durch die fokussierte Ultraschallwelle eine Läsion mit einer reduzierten Materialfestigkeit an der Fokusposition erzeugt.

[0089] Das Material kann insbesondere das Gewebe sein. Mit anderen Worten kann das Material ein menschliches oder tierisches Gewebe sein. Alternativ kann das Material ein beliebiges anderes Material sein, durch das das Gerät von dem Startpunkt zu der Zielposition vorgeschoben bzw. bewegt werden soll.

[0090] Im Fokus der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle wird dabei eine Läsion erzeugt. Mit anderen Worten wird an der Fokusposition mittels der Ultraschallwelle eine Läsion erzeugt. Die Läsion ist dadurch gekennzeichnet, dass die Materialfestigkeit bzw. eine Materialdichte des Materials am Ort der Läsion reduziert ist. Insbesondere wird eine Festigkeit des Gewebes am Ort der Läsion also an der Fokusposition mittels der Ultraschallwelle reduziert, wenn das Material ein Gewebe ist.

[0091] Beispielsweise kann das Material durch die Ultraschallwelle an der Fokusposition verdrängt werden. Die Läsion stellt dann einen Hohlraum in dem Material dar. Alternativ kann das Material durch die Ultraschallwelle verflüssigt werden. Alternativ kann das Material mit der Ultraschallwelle an der Fokusposition in seiner Konsistenz derart verändert werden, dass es im Vergleich zum umliegenden Material einen geringeren Widerstand für ein Durchdringen bzw. Durchstechen bzw. Durchbohren mit dem Gerät aufweist. Insbesondere kann das Material derart verändert werden, dass es an der Stelle der Läsion eine größere Elastizität aufweist.

[0092] Mit anderen Worten kann eine reduzierte Materialfestigkeit eine Verflüssigung oder eine Verdrängung oder eine größere Elastizität bedeuten.

[0093] Die Erfinder haben erkannt, dass mittels der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle eine Läsion erzeugt werden kann, die wie eine Perforation wirkt. Die Erfinder haben erkannt, dass durch eine Reduktion der Materialfestigkeit ein Vorschub des Gerätes vereinfacht werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass damit erreicht werden kann, dass sich das Gerät beim Vorschub auf dem Pfad bewegt und nicht von dem Pfad abkommt, da das Gerät dem Pfad mit dem geringsten Widerstand also der geringsten Materialfestigkeit folgen wird.

[0094] Gemäß der Erfindung wird durch die Läsion wenigstens abschnittsweise ein Kanal von der aktuellen Position des Gerätes zu der Fokusposition ausgebildet.

[0095] Mit anderen Worten wird eine Strecke bzw. Verbindung zwischen der aktuellen Position des Gerätes und der Fokusposition durch die Läsion teilweise perforiert. Mit anderen Worten wirkt der Kanal als Perforation. Der Kanal wird durch die Läsion mit geringerer Materialfestigkeit gebildet. Der Kanal kann die gesamte Verbindung zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition umfassen. Alternativ kann der Kanal lediglich einen Teilabschnitt der Verbindung zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition umfassen. In Ausführungen kann der Kanal an der Fokusposition enden. In Ausführungen kann die aktuelle Position von dem Kanal durch einen Abschnitt aus Material mit normaler Festigkeit getrennt sein. Insbesondere kann der Abschnitt aus Material mit normaler Festigkeit zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition derart dünn sein, dass der Abschnitt leicht mit dem Gerät durchstoßen bzw. durchbohrt werden kann.

[0096] Die Erfinder haben erkannt, dass durch den Kanal der Pfad vorgegeben werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass es ausreichend ist, wenn wenigstens ein Teilabschnitt zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition als Kanal ausgebildet ist. Die Erfinder haben erkannt, dass dieser Teilabschnitt wie eine Perforation wirken kann. Die Erfinder haben erkannt, dass auf dann das Perforieren des gesamten Pfades beschleunigt werden kann, da eine Anzahl an Ultraschallwellen reduziert werden kann, wenn der Kanal nur abschnittsweise ausgebildet ist.

[0097] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird in Abhängigkeit der aktuellen Position des Gerätes der Pfad mit einer Mehrzahl von Läsionen anhand einer Mehrzahl von Fokuspositionen präpariert.

[0098] Mit anderen Worten kann iterativ der gesamte Kanal wie oben beschrieben präpariert werden. Dabei kann das Gerät nach dem Erzeugen der Läsion an der Fokusposition mit der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle von seiner aktuellen Position an die Fokusposition vorgeschoben bzw. bewegt werden. Dann entspricht die Fokusposition der aktuellen Position des Gerätes. Basierend auf dieser neuen aktuellen Position kann eine neue Fokusposition in räumlicher Relation zu der neuen aktuellen Position bestimmt werden. Die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle kann auf die neue Fokusposition fokussiert und ausgesendet werden. Dabei wird eine Läsion an der neuen Fokusposition erzeugt. Durch Bewegen bzw. Verschieben des Gerätes zu der neuen Fokusposition wird diese wieder zu der aktuellen Position des Gerätes. Dieses Verfahren kann iterativ so lange wiederholt werden, bis der Fokusposition der Zielposition in der Zielregion entspricht. Damit kann das Gerät bis zur Zielposition vorgeschoben werden. Alternativ kann das Verfahren auf Grund anderer oben beschriebener Ereignisse unterbrochen oder abgebrochen werden.

[0099] Die Erfinder haben erkannt, dass durch das oben beschriebene Verfahren iterativ der gesamte Pfad des Gerätes präpariert werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass durch das iterative Vorgehen der Pfad jederzeit flexibel angepasst werden kann. Dabei kann der Pfad beispielsweise bei einem Eintreten der oben beschriebenen Ereignisse angepasst werden, bei denen ein Aussenden der Ultraschallwelle unterbrochen wird. Außerdem kann der Pfad beispielsweise bei einem Auftreten einer Blutung angepasst werden. Außerdem kann das Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle an eine Organbewegung angepasst werden. Mit anderen Worten kann die Ultraschallwelle dann ausgesendet werden, wenn das entsprechende Organ in einem passenden Bewegungszustand ist. Damit kann erreicht werden, dass entweder das Gerät das entsprechende Organ nicht verletzt bzw. die Läsion außerhalb des Organs liegt, oder dass ein sauberer Eintritt des Gerätes in das entsprechende Organ sichergestellt ist. Durch das iterative Präparieren des Pfades kann flexibel auf die verschiedenen Bewegungszustände reagiert werden.

[0100] Die Erfinder haben außerdem erkannt, dass durch Präparieren eines gekrümmten Pfades in Kombination mit einem starren Gerät, das Material insbesondere das Gewebe in eine gewünschte Form gezogen werden kann. Mit anderen Worten kann das Material wie gewünscht verformt werden, wenn das starre Gerät durch den präparierten gekrümmten Pfad geschoben bzw. bewegt wird.

[0101] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung verläuft der Pfad in einem Material. Dabei umfasst das Pfadpräparationssystem ein Ablationssystem.

Dabei ist das Ablationssystem dazu ausgebildet eine Wand des Pfades wenigstens teilweise zu stabilisieren.

[0102] Das Material kann wie oben beschrieben ausgebildet sein. Insbesondere kann das Material ein Gewebe sein.

[0103] Der Pfad kann stabilisiert werden, indem durch das Ablationssystem die Wand des Pfades wenigstens teilweise verfestigt wird. Mit anderen Worten kann durch das Ablationssystem an der Wand des Pfades die Materialfestigkeit wenigstens teilweise erhöht werden. Dabei beschreibt die Wand des Pfades das Material, das den Pfad umgibt. Insbesondere kann die Wand des Pfades ein Tunnel bzw. ein Hohlzylinder sein. Insbesondere kann wenigstens ein Teil der Wand des Pfades eine Wand für den oben beschriebenen Kanal bilden.

[0104] Bei einer asymmetrisch ausgebildeten Spitze des Gerätes kann das Ablationssystem die Wand auf einer entsprechend der Asymmetrie der Spitze vorbestimmten Seite des Gerätes stabilisieren. Die Spitze kann dabei beispielsweise auf einer Seite angeschrägt sein.

[0105] In Ausführungen der Erfindung kann das Ablationssystem zusätzlich dazu ausgebildet sein, die Wand des Pfades zu glätten. Die Wand kann dabei derart geglättet werden, dass das Gerät an der Wand entlang gleiten kann.

[0106] Die Erfinder haben erkannt, dass durch das Stabilisieren wenigstens eines Teils der Wand des Pfades ein „Ausbrechen“ des Gerätes von dem Pfad verhindert werden kann. Mit anderen Worten kann durch das Stabilisieren eine Führung des Gerätes entlang des Pfades verstärkt werden. Auf diese Weise wird das Gerät nicht nur durch die Perforation durch die Läsionen bzw. Fokuspositionen geführt, sondern zusätzlich durch die Stabilisierung bzw. Verstärkung der Wand des Pfades. Die Erfinder haben erkannt, dass durch ein gezieltes Stabilisieren von wenigstens Teilabschnitten der Wand außerdem verhindert werden kann, dass das Gerät von Pfad bzw. aus dem Kanal ausbricht und beispielsweise ein Organ oder andere kritische Bereiche verletzt. Dafür kann beispielsweise die Wand, die den Pfad von einem solchen kritischen Bereich trennt, stabilisiert werden. Die Erfinder haben somit erkannt, dass auf diese Weise Materialschäden, insbesondere Gewebeschäden, reduziert bzw. vermieden werden können.

[0107] Die Erfinder haben erkannt, dass ein derart präparierter Pfad auch im Nachhinein nochmal verwendet werden kann. Durch das Stabilisieren der Wand kann der Pfad über einen längeren Zeitraum erhalten bleiben. Somit ist es möglich, denselben

Pfad beispielsweise für eine Kontrollintervention in einem Zeitabstand nach der Intervention in derselben Zielregion nochmals zu verwenden. Damit kann ein erneutes Verletzen des Gewebes vermieden werden. Zudem können die Risiken bei der Folgeintervention reduziert werden, wenn ein bereits vorhandener Pfad verwendet wird, bei welchem keine Blutungen oder andere Verletzungen beispielsweise eines Organs aufgetreten sind. Außerdem haben die Erfinder erkannt, dass auf diese Weise eine Reproduzierbarkeit der Intervention gewährleistet ist, da die Intervention analog mehrfach durchgeführt werden kann. Der Pfad kann beispielsweise auch im Zuge einer Brachytherapie präpariert werden. Dabei kann das Gerät eine Strahlungsquelle umfassen. Die Strahlungsquelle muss im Zuge mehrerer Behandlungszyklen vorteilhafterweise immer an derselben Stelle, der Zielposition, positioniert werden. Dafür kann ein wie oben beschriebener Pfad mehrfach während der verschiedenen Behandlungszyklen verwendet werden und auf diese Weise eine Reproduzierbarkeit der Strahlungsverteilung durch die Strahlungsquelle gewährleistet werden. Die Erfinder haben erkannt, dass die stabilisierte Wand in einer Bildgebung sichtbar sein kann und auf diese Weise eine erneute Pfadplanung vereinfacht werden kann.

[0108] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist das Ablationssystem an einer Spitze des Gerätes angeordnet. Dabei basiert das Ablationssystem auf einer der folgenden Techniken: Hitzeablation mittels Mikrowellen oder Radiowellen oder elektrischem Widerstand oder Laserablation oder Drehablation.

[0109] Die Spitze des Gerätes entspricht dabei der oben beschriebenen Spitze. Insbesondere kann das Ablationssystem derart an der Spitze angeordnet sein, dass durch Verschieben bzw. Bewegen des Gerätes die Wand des Pfades, auf dem sich das Gerät bewegt stabilisiert wird.

[0110] Dafür kann das Ablationssystem auf einer Hitzeablation basieren. Dabei wird das Material insbesondere das Gewebe durch eine Erwärmung stabilisiert. Die Hitzeablation kann durch Aussenden von Mikrowellen und/oder Radiowellen und/oder durch ein Erhitzen über einen elektrischen Widerstand erfolgen. Mit anderen Worten kann das Material mit Mikrowellen und/oder Radiowellen erwärmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Material mittels eines durch einen Stromfluss erwärmten elektrischen Widerstandes erwärmt werden.

[0111] Alternativ kann das Ablationssystem auf einer Laserablation erfolgen. Dabei wird das Material durch einen gepulsten Laserstrahl stabilisiert. Das Ablationssystem an der Spitze des Gerätes sendet dafür den gepulsten hochintensiven Laserstrahl aus. Der Laserstrahl führt zu einer Erwärmung bzw. Erhitzung des Materials und dadurch zu einer Stabi-

lisierung des Materials. Die Laserablation kann in Rückkopplung mit einer Optoakustik ausgeführt werden.

[0112] Alternativ kann das Ablationssystem auf einer Drehablation basieren. Dafür kann die Spitze des Gerätes einen schnell rotierenden Bereich umfassen. Insbesondere kann dafür die Spitze leicht asymmetrisch ausgebildet sein. Dabei kann sich die asymmetrische Spitze entlang der vorliegenden Krümmungsrichtung des Pfades bewegen. Der Pfad kann dabei bis zu der Fokusposition wenigstens teilweise perforiert sein. Durch die Drehablation kann das Material gezielt verletzt und auf diese Weise eine Verhärtung bzw. Stabilisierung bzw. Verfestigung des Materials bewirken.

[0113] In Ausführungen der Erfindung kann das Ablationssystem insbesondere nur aktiviert werden, wenn sichergestellt werden soll, dass das Gerät nicht von dem Pfad „ausbricht“. Beispielsweise kann das Ablationssystem in der Nähe eines kritischen Bereiches aktiviert werden, um zu verhindern, dass das Gerät beim Verschieben bzw. Bewegen in den kritischen Bereich „ausbricht“ bzw. „abrutscht“.

[0114] Die Erfinder haben erkannt, dass durch gängige Ablationstechniken die Wand des Pfades zusätzlich verstärkt werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass damit ein erneutes Verwenden desselben Pfades ermöglicht wird und ein „Ausbrechen“ des Gerätes von dem Pfad verhindert werden kann. Die Erfinder haben außerdem erkannt, dass auf diese Weise eine Sichtbarkeit des Pfades in einem medizinischen Bild hergestellt werden kann.

[0115] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist das Pfadpräparationssystem zum gleichzeitigen oder iterativen Präparieren einer Mehrzahl von Pfaden für eine Mehrzahl von Geräten ausgebildet. Dabei ist das Trackingsystem dazu ausgebildet, die aktuelle Position für jedes Gerät der Mehrzahl von Geräten auf dem entsprechenden Pfad zu bestimmen. Dabei ist der Ultraschall-Sender dazu ausgebildet, eine oder mehrere Ultraschallwellen auf wenigstens eine in Richtung eines Pfades vor einem der Geräte liegende Fokusposition in räumlicher Relation zu der aktuellen Position des jeweiligen Gerätes zu fokussieren. Dabei präpariert der Ultraschall-Sender gleichzeitig oder iterativ in Abhängigkeit der Mehrzahl von aktuellen Positionen alle Pfade der Mehrzahl von Geräten.

[0116] Insbesondere wird für jedes Gerät der Mehrzahl von Geräten ein Pfad präpariert. Insbesondere kann mit dem Pfadpräparationssystem einer Mehrzahl von Pfaden präpariert werden. Insbesondere ist somit jedem Gerät ein entsprechender Pfad zugeordnet. Dabei wird mittels des Trackingsystems für jedes Gerät die aktuelle Position auf dem entsprech-

enden Pfad bzw. relativ zu dem entsprechenden Pfad bestimmt. Zu jeder aktuellen Position kann dann in der entsprechenden räumlichen Relation eine Fokusposition angeordnet sein bzw. bestimmt werden.

[0117] Die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle kann auf wenigstens eine der Fokuspositionen ausgesendet werden. Insbesondere können mehr als eine hochintensive fokussierte Ultraschallwelle auf mehr als eine, insbesondere alle, Fokuspositionen ausgesendet werden.

[0118] Insbesondere kann das oben beschriebene Verfahren für die Mehrzahl von Geräten iterativ bzw. zeitsequenziell ausgeführt werden. „Iterativ“ bedeutet in diesem Zusammenhang insbesondere, dass mit dem Ultraschall-Sender im Wechsel die Pfade der verschiedenen Geräte der Mehrzahl von Geräten präpariert werden. Mit anderen Worten bedeutet „iterativ“ in diesem Zusammenhang, dass der Ultraschall-Sender im Wechsel hochintensive fokussierte Ultraschallwellen auf Fokuspositionen auf der Mehrzahl von Pfaden in räumlicher Relation zu den entsprechenden aktuellen Positionen auf den Pfaden aussendet.

[0119] Insbesondere kann „iterativ“ bedeuten, dass in einem ersten Schritt nacheinander für alle Geräte eine hochintensive fokussierte Ultraschallwelle auf eine erste Fokusposition fokussiert und ausgesendet wird und die Geräte zu der entsprechenden Fokusposition bewegt werden. In einem zweiten Schritt können hochintensive fokussierte Ultraschallwellen auf eine neue Fokusposition in räumlicher Relation zu der jeweiligen aktuellen Position der Geräte auf den entsprechenden Pfaden fokussiert und ausgesendet werden. Dies kann so oft wiederholt werden, bis alle Geräte ihre Zielposition erreicht haben. Wenn eines oder mehr Geräte weniger Iterationen bzw. Schritte zum Erreichen der Zielposition benötigen als andere, wird das Verfahren für die anderen Geräte so lange fortgesetzt, bis alle Geräte ihre Zielposition erreicht haben. Das mit dem Pfadpräparationssystem durchgeführte Verfahren kann unterbrochen werden, wenn eines der oben genannten Ereignisse eintritt.

[0120] Alternativ kann „iterativ“ bedeuten, dass ein Pfad der Mehrzahl von Pfaden mit Hilfe des Tracking-systems ausgewählt wird, auf welchem die Fokusposition liegt, auf die als nächstes die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle ausgesendet bzw. fokussiert werden soll. Dabei kann die Auswahl des Pfades insbesondere von allen aktuellen Positionen der Mehrzahl von Geräten abhängen. Beispielsweise können, wenn wenigstens ein Teil der Geräte jeweils eine Strahlungsquelle zur Brachytherapie umfassen, die Pfade der Geräte derart präpariert werden, dass eine gewünschte Strahlenverteilung bzw. Dosisver-

teilung erreicht wird. Die Auswahl des Pfades, auf dem die nächste Fokusposition liegt, kann dabei von der gewünschten Strahlenverteilung und damit von der aktuellen Position der anderen Geräte abhängen. Die aktuellen Positionen der Geräte können mittels des Trackingsystems bestimmt und überprüft werden. Insbesondere können die aktuellen Positionen auf wenigstens einem mit dem Tracking-system erfassten medizinischen Bild überprüft werden. In Abhängigkeit von allen aktuellen Positionen werden iterativ alle Pfade derart präpariert, dass alle Geräte ihre Zielposition erreichen. Das mit dem Pfadpräparationssystem durchgeführte Verfahren kann dabei unterbrochen werden, wenn eines der oben beschriebenen Ereignisse eintritt.

[0121] Insbesondere kann mit Hilfe des Tracking-systems eine Pfadplanung für die Mehrzahl von Pfaden jederzeit in jedem Schritt bzw. bei jeder Iteration angepasst werden.

[0122] Alternativ kann die Mehrzahl von Pfaden gleichzeitig präpariert werden. Dafür wird eine Mehrzahl von hochintensiven fokussierten Ultraschallwellen gleichzeitig auf die entsprechende Mehrzahl von Fokuspositionen auf der Mehrzahl von Pfaden ausgesendet. Somit wird jeder einzelne Pfad wie oben beschrieben präpariert. Die Fokuspositionen können dabei vor dem Aussenden der jeweiligen Ultraschallwellen aneinander angepasst werden bzw. aufeinander abgestimmt werden.

[0123] Insbesondere können die Pfade im Wechsel iterativ und gleichzeitig präpariert werden. Wenn die Pfade fein abgestimmt aneinander angepasst werden müssen, beispielsweise in oder in der Nähe eines kritischen Bereiches, können die Pfade iterativ präpariert werden. In einem unkritischen Bereich können die Pfade zur Beschleunigung des Verfahrens gleichzeitig präpariert werden.

[0124] Die Mehrzahl von Geräten kann insbesondere gleich ausgebildet sein. Beispielsweise können alle Geräte ein Führungsinstrument zum Einbringen einer Strahlungsquelle beispielsweise für eine Brachytherapie umfassen. Alternativ können alle Geräte als Katheter ausgebildet sein. Alternativ können alle Geräte als Biopsienadeln ausgebildet sein. Alternativ kann wenigstens eines der Mehrzahl von Geräten anders ausgebildet sein als die anderen Geräte der Mehrzahl von Geräten.

[0125] Ein Führungsinstrument zum Einbringen einer Strahlungsquelle für eine Brachytherapie kann insbesondere mit einem Afterloader verbunden sein. Der Afterloader wird dabei von dem robotische System umfasst. Insbesondere kann das Führungselement mit dem Afterloader entlang des Pfades bewegt werden. Der Afterloader steuert den Vorschub bzw. die Bewegung der Strahlungsquelle in dem Füh-

rungsinstrument entlang des Pfades. Mit anderen Worten kann der Afterloader dazu ausgebildet sein, die Strahlungsquelle bis zur Spitze des Gerätes insbesondere des Führungsinstrumentes zu schieben bzw. zu bewegen bzw. vorzuschieben, sobald die Spitze des Gerätes die Zielposition erreicht hat. Wenn mehr als ein Gerät als Führungsinstrument zum Einbringen einer Strahlungsquelle ausgebildet ist, können alle Geräte, die als Führungsinstrument zum Einbringen einer Strahlungsquelle ausgebildet sind, mit dem Afterloader verbunden sein.

[0126] Die Erfinder haben erkannt, dass mit dem oben beschriebenen Pfadpräparationssystem eine Mehrzahl von Pfaden iterativ oder gleichzeitig präpariert werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise die Pfade aneinander angepasst werden können. Die Erfinder haben erkannt, dass dies insbesondere in der Brachytherapie von großem Vorteil ist, um eine Strahlenverteilung bzw. Dosisverteilung jederzeit anzupassen bzw. zu korrigieren. Insbesondere können die Pfade derart angepasst werden, dass eine geplante (räumliche) Dosisverteilung erreicht wird. Insbesondere können die Pfade dann korrigiert bzw. angepasst werden, wenn beispielsweise einer der Pfade nicht wie geplant präpariert werden kann, da beispielsweise ein kritischer Bereich unerwartet verhindert, dass der geplante Pfad präpariert wird, oder wenn ein geplanter Pfad auf Grund einer Patientenbewegung oder Organbewegung nicht realisierbar ist. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise die Strahlenverteilung im dreidimensionalen Raum durch eine Korrektur der Pfade angepasst werden kann. Bei flexibel ausgebildeten Führungsinstrumenten folgen diese dem präparierten Pfad. Hierdurch kann die optimale Dosisverteilung bei einem Bewegen der Strahlungsquelle in dem Führungsinstrument gemäß einem Bestrahlungsplan erreicht werden. Insbesondere können, wenn die Pfade einmal in dem Material insbesondere in dem Gewebe präpariert sind, die Führungsinstrumente, z.B. kurze Zeit nach der ersten Behandlung oder bei einer Umlagerung des Patienten, erneut entlang derselben Pfade angeordnet werden.

[0127] Nach einem optionalen Aspekt der Erfindung umfasst das Pfadpräparationssystem ein robotisches System zum Steuern einer Bewegung des Gerätes. Dabei ist das robotische System dazu ausgebildet eine Verformung des Gerätes an die räumliche Relation anzupassen.

[0128] Das robotische System kann dem oben beschriebenen robotischen System entsprechen.

[0129] Die Bewegung des Gerätes ist dabei wie oben beschrieben ausgebildet. Insbesondere wird die Bewegung durch die Geschwindigkeit und/oder die Richtung des Gerätes beschrieben. Das robotische System ist insbesondere dazu ausgebildet,

einen Vorschub des Gerätes bereitzustellen. Insbesondere bewegt das robotische System das Gerät vorwärts, entlang des präparierten Pfades. Das robotische System kann dabei insbesondere die Geschwindigkeit der Bewegung vorgeben. Die Richtung der Bewegung kann insbesondere wenigstens teilweise durch den präparierten Pfad bzw. die Fokusposition bzw. die räumliche Relation vorgegeben sein. Um der Richtung zu folgen, kann das robotische System dazu ausgebildet sein, das Gerät derart zu verformen, dass es der Richtung besonders leicht folgen kann. Dafür kann das Gerät eine oben beschriebene krümmbare Spitze umfassen. Das robotische System kann dann die Spitze in Richtung der Fokusposition krümmen. Mit anderen Worten beschreibt die Verformung insbesondere eine Krümmung bzw. Ausrichtung der Spitze des Gerätes. Die optimale Verformung des Gerätes zum Folgen des präparierten Pfades hängt somit von der Fokusposition in Relation zu der aktuellen Position ab. Mit anderen Worten hängt die optimale Verformung von der räumlichen Relation ab. Die Krümmung bzw. Ausrichtung bzw. Verformung der Spitze des Gerätes wird somit an die räumliche Relation angepasst.

[0130] Nach dem Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle kann das robotische System das Gerät von der aktuellen Position zu der Fokusposition bewegen.

[0131] Die Erfinder haben erkannt, dass das Gerät mit einem robotischen System bewegt werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass durch ein Anpassen der Krümmung der Spitze des Gerätes an den präparierten Pfad bzw. an die Fokusposition der Vorschub des Gerätes leichter möglich ist. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise die Zielposition schneller erreicht werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass außerdem eine unnötige Schädigung des Materials, insbesondere des Gewebes, durch eine falsche Ausrichtung bzw. Krümmung des Gerätes verhindert werden kann.

[0132] In alternativen Ausführungen kann das Gerät manuell bewegt werden. Insbesondere kann dann die Verformung des Gerätes manuell an die räumliche Relation angepasst werden. Das Anpassen kann beispielsweise basierend auf einem medizinischen Bild erfolgen. Das Anpassen kann beispielsweise durch einen Mediziner oder durch eine medizinische Assistenz erfolgen.

[0133] Nach einem weiteren optionalen Aspekt der Erfindung ist das robotische System dazu ausgebildet, das Gerät vor dem Aussenden der Ultraschallwelle zurückzuziehen.

[0134] Zurückziehen bedeutet, dass der Abstand zwischen der Spitze des Gerätes und der Fokusposition vergrößert wird. Insbesondere wird das Gerät

nach dem Bestimmen der aktuellen Position zurückgezogen. Dabei wird das Gerät derart insbesondere gerade so weit zurückgezogen, dass eine Beschädigung des Gerätes durch die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle ausgeschlossen werden kann. Insbesondere wird das Gerät entlang des bereits zurückgelegten Pfades zurückgezogen. Das Gerät kann dabei beispielsweise um 1mm, 2mm, 5mm, 1cm zurückgezogen werden.

[0135] Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise ein geringer Abstand zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition gewählt werden kann, ohne dass eine Gefahr einer Beschädigung des Gerätes durch die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle besteht. Die Erfinder haben erkannt, dass durch den auf diese Weise geringeren realisierbaren Abstand zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition eine feinere bzw. genauere Präparation des Pfades möglich ist. Insbesondere kann der Pfad feiner perforiert werden. Auf diese Weise kann eine unnötige Schädigung des Materials, insbesondere des Gewebes, durch zu große Abstände zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition und ein dadurch bewirktes Ausbrechen des Gerätes von dem Pfad vermieden werden. Insbesondere kann sichergestellt werden, dass das Gerät dem Pfad möglichst einfach folgen kann, wenn der Abstand zwischen der aktuellen Position und der Fokusposition möglichst gering ist.

[0136] Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Präparieren eines Pfades eines Gerätes mit einem oben beschriebenen Pfadpräparationssystem. Das Verfahren umfasst einen Verfahrensschritt eines Bestimmens einer aktuellen Position des Gerätes auf dem Pfad mit dem Trackingsystem. Das Verfahren umfasst außerdem einen Verfahrensschritt eines Bestimmens der in Richtung des Pfades vor dem Gerät liegenden Fokusposition in räumlicher Relation zu der aktuellen Position des Gerätes.

[0137] Das Verfahren wird dabei mit dem oben beschriebenen Pfadpräparationssystem ausgeführt.

[0138] In dem Verfahrensschritt des Bestimmens der aktuellen Position wird die aktuelle Position des Gerätes mit dem Trackingsystem wie oben beschrieben bestimmt. Insbesondere kann die aktuelle Position in Abhängigkeit eines mit dem Trackingsystem erfassten medizinischen Bildes bestimmt werden.

[0139] In dem Verfahrensschritt des Bestimmens der Fokusposition wird die Fokusposition in Abhängigkeit der räumlichen Relation unter den oben beschriebenen Bedingungen bestimmt. Insbesondere kann die Fokusposition automatisiert basierend auf der oben beschriebenen räumlichen Relation bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Bestimmen der Fokusposition eine manuelle

Vorgabe der räumlichen Relation und/oder der Fokusposition umfassen.

[0140] Das Verfahren umfasst außerdem einen optionalen Verfahrensschritt eines Aussendens einer auf die Fokusposition fokussierten Ultraschallwelle mit einem Ultraschall-Sender.

[0141] In dem Verfahrensschritt des Aussendens der fokussierten Ultraschallwelle, wird eine hochintensive auf die Fokusposition fokussierte Ultraschallwelle mit dem Ultraschall-Sender ausgesendet. Dabei kann die Ultraschallwelle eine Läsion erzeugen, die eine reduzierte Materialfestigkeit aufweist.

[0142] In einem optionalen Verfahrensschritt wird das Gerät von der aktuellen Position zu der Fokusposition bewegt bzw. vorgeschoben.

[0143] Die Verfahrensschritte können iterativ mehrfach ausgeführt werden, bis das Gerät die oben beschriebene Zielposition in der Zielregion erreicht hat.

[0144] Insbesondere kann das Verfahren für eine Mehrzahl von Geräten für eine Präparation einer entsprechenden Mehrzahl an Pfaden wie oben beschrieben parallel ausgeführt werden.

[0145] Die Erfinder haben erkannt, dass mit dem Pfadpräparationssystem schnell und flexibel ein Pfad zu einer Zielposition präpariert werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass auf diese Weise wie oben beschrieben Risiken bei der Präparation des Pfades reduziert werden können. Die Erfinder haben erkannt, dass das Gerät dabei starr oder flexibel ausgebildet sein kann. Die Erfinder haben erkannt, dass das Gerät bei dem Verfahren eine stumpfe Spitze umfassen kann. Die Erfinder haben erkannt, dass durch das Verfahren eine flexible Anpassung bzw. Korrektur des Pfades in jedem Iterationsschritt bzw. jeder Iteration bzw. jedem Schritt möglich ist.

[0146] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung werden klarer und verständlicher im Zusammenhang mit folgenden Figuren und ihren Beschreibungen. Dabei sollen die Figuren und Beschreibungen die Erfindung und ihre Ausführungsformen in keiner Weise einschränken.

In verschiedenen Figuren sind gleiche Komponenten mit korrespondierenden Bezugszeichen versehen. Die Figuren sind in der Regel nicht maßstabsgetreu.

[0147] Es zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät,

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems zum Präparieren eines Pfades für ein Gerät,

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems zum Präparieren von Pfaden für eine Mehrzahl von Geräten,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zum Präparieren eines Pfades eines Gerätes mit einem Pfadpräparationssystem.

[0148] Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems 1 zum Präparieren eines Pfades 5 für ein Gerät 2.

[0149] Das Pfadpräparationssystem 1 umfasst einen Ultraschall-Sender 11 und ein Trackingsystem 13.

[0150] Das Trackingsystem 13 ist dabei dazu ausgebildet eine aktuelle Position 21 des Gerätes 2 auf dem Pfad 5 zu bestimmen. Mit anderen Worten ist das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet, die aktuelle Position 21 des Gerätes 2 zu bestimmen. Insbesondere ist das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet, die aktuelle Position 21 des Gerätes 2 relativ zu dem Pfad 5 zu bestimmen. Insbesondere kann das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet sein, eine Abweichung von der aktuellen Position 21 des Gerätes 2 zu dem Pfad 5 zu bestimmen, wenn der Pfad 5 vorgeplant ist.

[0151] In Ausführungen der Erfindung kann das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet sein, eine Richtung und/oder eine Geschwindigkeit des Gerätes 2 zu erfassen bzw. zu bestimmen. Die Richtung bzw. die Geschwindigkeit kann dabei der Richtung bzw. Geschwindigkeit entsprechen, mit der das Gerät 2 die aktuelle Position 21 erreicht.

[0152] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst das Trackingsystem 13 eine Ultraschalleinheit. Alternativ oder zusätzlich kann das Trackingsystem 13 beispielsweise eine C-Bogen-Einheit und/oder eine Angiographie-Einheit umfassen. Dabei kann das Trackingsystem 13 die aktuelle Position 21 des Gerätes 2 mittels einer Bildgebung mit einer der oben genannten Einheiten bestimmen. Insbesondere wird dann die aktuelle Position 21 des Gerätes 2 in einem mittels der Bildgebung erfassten medizinischen Bild bestimmt. Wenn das Trackingsystem zum Bestimmen der Richtung und/oder Geschwindigkeit des Gerätes 2 ausgebildet ist, kann das Bestimmen auf einer Mehrzahl von medizinischen Bildern basieren. Dabei kann die Mehrzahl von medizinischen Bildern eine zeitliche Abfolge bzw. Sequenz von medizinischen Bildern umfassen.

[0153] In alternativen Ausführungsbeispielen des Trackingsystems 13 kann das Trackingsystem 13

die aktuelle Position 21 mittels eines optischen Trackings oder mittels eines elektromagnetischen Trackings bestimmen.

[0154] Die aktuelle Position 21 entspricht dabei der Position einer Spitze des Gerätes 2. Die Spitze des Gerätes 2 ist der Teil des Gerätes 2, der bereits den weitesten Weg entlang des Pfades 5 bewegt wurde bzw. vorgeschoben wurde. Mit anderen Worten ist die Spitze des Gerätes 2 der Teil des Gerätes, der einer Zielposition 23 am nächsten ist. Die aktuelle Position 21 kann in Ausführungen der Erfindung eine Information über eine Krümmung bzw. Ausrichtung der Spitze des Gerätes 2 umfassen.

[0155] Der Pfad 5 kann insbesondere durch ein Material bzw. in einem Material verlaufen. In der Figur beschreibt der Bereich unterhalb der Oberfläche 7 das Material. Der Beginn des Bereiches aus dem Material ist durch eine gepunktete Struktur angedeutet. Der Pfad 5 führt von einem Startpunkt 25 zu der Zielposition 23. Die Zielposition 23 liegt dabei in einer Zielregion 4. In der Zielregion 4 kann eine Intervention mit dem Gerät 2 durchgeführt werden. Der Pfad 5 kann dabei derart ausgebildet sein, dass er einen kritischen Bereich 3 umgeht. Mit anderen Worten kann der Pfad 5 derart ausgebildet sein, dass das Gerät 2, wenn es entlang des Pfades 5 bewegt wird, nicht den kritischen Bereich 3 durchquert. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass der kritische Bereich 3 verletzt wird. Der kritische Bereich 3 kann dabei beispielsweise ein Bereich mit einem erhöhten Blutungsrisiko oder ein Organ sein. Der kritische Bereich 3 kann dabei einen kritischen Abschnitt AB des Pfades 5 definieren. Mit anderen Worten kann der Abschnitt des Pfades 5, der an den kritischen Bereich 3 angrenzt als kritischer Abschnitt AB gelten. Der Pfad 5 kann im Vorfeld bestimmt worden sein. Mit anderen Worten kann im Vorfeld eine Pfadplanung durchgeführt werden, bei der der Pfad 5 bzw. der Verlauf des Pfades 5 bestimmt wird. Mit anderen Worten kann der Pfad 5 vorgeplant sein. Dabei können optional ein oder mehrere kritische Abschnitte AB auf dem Pfad 5 markiert werden.

[0156] Das Material kann insbesondere ein Gewebe sein. Das Material kann dabei insbesondere ein menschliches oder ein tierisches Gewebe sein.

[0157] Das Gerät 2 kann insbesondere starr bzw. unflexibel sein. Alternativ kann das Gerät 2 flexibel ausgebildet sein. Das Gerät 2 kann dann insbesondere ein medizinisches Gerät sein. Beispielsweise kann das Gerät 2 für eine Probenentnahme, insbesondere eine Biopsie, oder für eine Drainage oder für eine Katheterisierung oder für eine transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunt (Akronym: TIPS) -Prozedur in einer Leber oder für einen chirurgischen Eingriff oder für eine Cannulation bei einer

endoskopischen retrograden Cholangiopankreatikographie (Akronym: ERCP) oder für ein Setzen eines Stents oder für ein Setzen von Trokaren bei einer Laparoskopie oder für eine Brachytherapie etc. in der Zielregion 4 ausgebildet sein. Dann kann die Intervention entsprechend eine Probenentnahme, insbesondere eine Biopsie, oder eine Drainage oder eine Katheterisierung oder eine transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunt (Akronym: TIPS) - Prozedur in einer Leber oder ein chirurgischer Eingriff oder eine Cannulation bei einer endoskopischen retrograden Cholangiopankreatikographie (Akronym: ERCP) oder ein Setzen eines Stents oder ein Setzen von Trokaren bei einer Laparoskopie oder eine Brachytherapie sein. Das Gerät 2 ist dazu ausgebildet von dem Startpunkt 25 zu der Zielposition 23 entlang des Pfades 5 bewegt bzw. vorgeschoben zu werden. Dazu kann das Gerät 2 länglich ausgebildet sein. Insbesondere kann das Gerät 2 zylinderförmig ausgebildet sein. Insbesondere kann die Höhe des das Gerät umfassenden Zylinders größer sein als der Durchmesser der Grundfläche. Insbesondere kann die Höhe ein Zehnfaches, ein Zwanzigfaches, ein Fünzigfaches oder ein Hundertfaches des Durchmessers der Grundfläche sein. Dabei kann das Gerät 2 an einem Führungsdraht angeordnet sein. Das Gerät 2 kann insbesondere eine stumpfe oder eine scharfe Spitze umfassen. Die Spitze kann in Ausführungen asymmetrisch ausgebildet sein. Die Spitze kann alternativ oder zusätzlich krümmbar ausgebildet sein. Mit anderen Worten kann eine Krümmung der Spitze automatisch oder manuell anpassbar sein.

[0158] Wenn das Gerät 2 flexibel ist, kann es einem gekrümmten Pfadverlauf folgen. Wenn das Gerät 2 starr ist und der Pfad 5 gekrümmt verläuft, kann das Material durch einen Vorschub des Gerätes 2 entlang des gekrümmten Pfades 5 gezielt verformt werden.

[0159] In Ausführungen der Erfindung kann das Gerät 2 eine Biopsienadel sein. Die Biopsienadel ist dazu ausgebildet eine Probe in der Zielregion 4 zu entnehmen. Die Probe kann dabei eine Materialprobe insbesondere eine Gewebeprobe sein.

[0160] Der Ultraschall-Sender 11 ist dazu ausgebildet eine hochintensive fokussierte Ultraschallwelle 11 auf eine Fokusposition 113 auszusenden. Die Fokusposition 113 liegt dabei im Fokus der Ultraschallwelle 111. Die Fokusposition 113 liegt dabei in räumlicher Relation zu der aktuellen Position 21 des Gerätes 2 auf dem Pfad 5. Beispielsweise kann die Fokusposition 113 einen definierten Abstand zu der aktuellen Position 21 aufweisen. Die räumliche Relation kann dann den definierten Abstand festlegen. Alternativ kann die Fokusposition 113 bereits im Zuge der Pfadplanung festgelegt werden. Somit kann die räumliche Relation bereits im Zuge der Pfadplanung festgelegt werden. Beispielsweise

kann der definierte Abstand einem Abstand von 0,5cm, 1cm oder 2cm entsprechen. Mit anderen Worten kann die Fokusposition 113 in einem Abstand von beispielsweise 0,5cm oder 1cm oder 2cm von der aktuellen Position 21 auf dem Pfad 5 angeordnet sein.

[0161] Wenn die Richtung und/oder die Geschwindigkeit des Gerätes 2 bestimmt wurde, kann die räumliche Relation von der Richtung und/oder Geschwindigkeit des Gerätes 2 abhängen. Beispielsweise kann die Fokusposition 113 derart angeordnet sein, dass das Gerät 2 unter der Annahme der bestimmten Geschwindigkeit die Fokusposition 113 in einer definierten Zeit erreicht. Beispielsweise kann die Fokusposition 113 derart in räumlicher Relation zu der aktuellen Position 21 angeordnet sein, dass das Gerät 2 unter der Annahme einer Bewegung bzw. eines Vorschubs mit der bestimmten Geschwindigkeit die Fokusposition in 0,1s oder in 0,5s oder in 1s erreicht. Wenn die Richtung Bewegung des Gerätes 2 bestimmt wurde, kann die räumliche Relation eine maximale Abweichung zwischen der Richtung des Gerätes 2 und einer Richtung zwischen der aktuellen Position 21 und der Fokusposition 113 vorgeben. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass das Gerät 2 zu stark abknickt bzw. eine zu starke Verformung des Materials verursacht wird.

[0162] In Ausführungen der Erfindung ist die räumliche Relation und/oder die Fokusposition 113 manuell vorgebar. Mit anderen Worten ist der definierte Abstand der Fokusposition 113 zu der aktuellen Position 21 und/oder die definierte Zeit bis zum Erreichen der Fokusposition 113 und/oder die maximale Abweichung zwischen der Richtung des Gerätes 2 und der Richtung einer Verbindung zwischen Fokusposition 113 und aktueller Position 21 als räumliche Relation manuell vorgebar. Insbesondere kann auch ein fester Punkt bzw. eine feste Position auf dem Pfad 5 als Fokusposition 113 manuell vorgebar sein. Die räumliche Relation und/oder die Fokusposition 113 kann dabei durch einen Bediener bzw. Nutzer manuell vorgegeben werden. Der Bediener kann dabei insbesondere ein Mediziner und/oder ein medizinisches Personal bzw. Assistenz sein. Der Bediener kann die räumliche Relation und/oder die Fokusposition 113 mittels einer Eingabeeinheit vorgeben. Die Eingabeeinheit kann beispielsweise eine Tastatur, eine Computermaus, ein berührungempfindlicher Bildschirm (engl.: Touchscreen) und/oder ein Tastfeld (engl.: Touchpad) sein. Der Bediener kann die räumliche Relation insbesondere basierend auf dem medizinischen Bild vorgeben.

[0163] Die Ultraschall-Sender 11 kann in Ausführungen der Erfindung von einem Histotripsie-System umfasst sein. Mit anderen Worten kann der Ultraschall-Sender 11 in Ausführungen der Erfindung ein Teil eines Histotripsie-Systems sein. Das Histotrip-

sie-System umfasst dabei einen Ultraschall-Bildgebungs-Transducer und einen Ultraschall-Therapie-Transducer. Insbesondere kann der Ultraschall-Sender 11 dem Ultraschall-Therapie-Transducer des Histotripsie-Systems entsprechen. Insbesondere kann der Ultraschall-Bildgebungs-Transducer dem Trackingsystem 13 entsprechen bzw. von diesem umfasst sein.

[0164] In Ausführungen der Erfindung können der Ultraschall-Sender 11 und das Trackingsystem 13 zueinander registriert sein. Dabei kann das Trackingsystem 13 eine Ultraschall-Bildgebungseinheit umfassen. „Registriert“ bedeutet dabei, dass der Ultraschall-Sender 11 und das Trackingsystem 13 räumlich zueinander ausgerichtet sind. Das Trackingsystem 13 kann dabei derart ausgerichtet sein, dass es ein medizinisches Bild erfasst, welches die aktuelle Position 21 und die Fokusposition 113 abbildet. Insbesondere kann der Ultraschall-Sender 11 dann automatisch auf die Fokusposition 23 fokussiert werden, die mit der mit dem Trackingsystem 13 bestimmten aktuellen Position 21 in räumlicher Relation steht. Insbesondere können das Trackingsystem 13 und der Ultraschall-Sender 11 dann wie oben beschrieben von einem Histotripsie-System umfasst sein.

[0165] In Ausführungen der Erfindung kann das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet sein, eine Bewegung des kritischen Bereiches 3 zu erfassen. Der kritische Bereich 3 kann dabei beispielsweise ein Organ sein. Insbesondere ist das Trackingsystem 13 dann zum Erfassen einer Organbewegung ausgebildet. Insbesondere ist das Trackingsystem 13 dazu ausgebildet eine Phase bzw. einen Zustand der Organbewegung zu erfassen. Die Organbewegung bzw. die Phase der Organbewegung kann beispielsweise basierend auf einem mit dem Trackingsystem erfassten medizinischen Bild bestimmt werden. Alternativ kann die Organbewegung bzw. die Phase der Organbewegung von mit dem Trackingsystem erfassten physiologischen Parametern eines Patienten, in dem der Pfad verläuft, abgeleitet werden. Beispielsweise kann aus einem Elektrokardiogramm die Organbewegung bzw. die Phase der Organbewegung abgeleitet bzw. bestimmt werden. Dafür kann das Trackingsystem ein Elektrokardiogramm erfassen. Die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle 111 kann dann in Abhängigkeit der Phase der Organbewegung ausgesendet werden. Mit anderen Worten kann das Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle 111 an die Organbewegung angepasst werden. Insbesondere kann auf diese Weise eine Bewegungskompensation der Organbewegung beim Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle 111 erfolgen.

[0166] In Ausführungen der Erfindung wird die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle 111 von dem

Ultraschall-Sender 11 nur ausgesendet, wenn keines der folgenden Ereignisse eintritt: die aktuelle Position 21 entspricht der Zielposition 23 und/oder der Abschnitt des Pfades 5, auf dem die Fokusposition 113 liegt, ist als kritisch markiert und/oder eine Nutzereingabe verhindert das Aussenden der Ultraschallwelle 111. Wenn die aktuelle Position 21 der Zielposition 23 entspricht, hat das Gerät 2 den gesamten Pfad 5 zurückgelegt. Ein weiteres Aussenden einer Ultraschallwelle 111 ist somit nicht notwendig. In einem kritischen Abschnitt AB des Pfades 5 kann es sinnvoll sein, dass die Ultraschallwelle 111 nicht automatisiert, sondern manuell ausgesendet wird, um Verletzungen bzw. Schäden zu vermeiden. Insbesondere kann es sinnvoll sein, in einem kritischen Abschnitt AB den Pfad 5 anderweitig zu präparieren. Durch eine Nutzereingabe des Bedieners kann das Aussenden der Ultraschallwelle 111 verhindert werden. Auf diese Weise kann ein Sicherungssystem bereitgestellt werden.

[0167] In Ausführungen der Erfindung wird durch die hochintensive fokussierte Ultraschallwelle 111 eine Läsion in dem Material erzeugt. Die Läsion wird dabei an der Fokusposition 113 erzeugt. Das Material weist dabei an der Läsion eine reduzierte bzw. geringere Materialfestigkeit auf. Beispielsweise kann das Material durch die Ultraschallwelle 111 verflüssigt und/oder verdrängt werden. Insbesondere kann in Ausführungsbeispielen durch die Läsion wenigstens abschnittsweise ein Kanal von der aktuellen Position 21 zu der Fokusposition 113 ausgebildet sein. Dabei kann der Kanal den gesamten Bereich des Pfades 5 zwischen der aktuellen Position 21 und der Fokusposition 113 umfassen. Alternativ kann der Kanal lediglich einen Teil dieses Abschnittes umfassen. Der Kanal ist dabei derart ausgebildet, dass das Gerät 2 einfach von der aktuellen Position 21 zu der Fokusposition 113 bewegt bzw. vorgeschoben werden kann. Durch den Kanal kann dabei die Richtung der Bewegung bzw. des Vorschubs des Gerätes 2 entlang des Pfades 5 vorgegeben werden.

[0168] In Ausführungen der Erfindung kann der Pfad 5 mit einer Mehrzahl von Läsionen an einer Mehrzahl von Fokuspositionen 113 präpariert werden. Die Mehrzahl von Läsionen kann dabei den Pfad 5 perforieren. Auf diese Weise kann das Gerät 2 einfach entlang des Pfades 5 bewegt werden.

[0169] Insbesondere kann das Gerät 2 iterativ vorwärtsbewegt werden. Das Gerät 2 kann nach dem Aussenden der Ultraschallwelle 111 von der aktuellen Position 21 zu der Fokusposition 113 bewegt werden. Die Fokusposition 113 entspricht dann der neuen aktuellen Position 21. Eine neue Ultraschallwelle 111 kann dann zu einer neuen Fokusposition 113 ausgesendet werden. Dabei liegt die neue Fokusposition 113 in räumlicher Relation zu der

neuen aktuellen Position 21 auf dem Pfad 5. Auf diese Weise kann der Pfad 5 bis zur Zielposition 23 präpariert werden. Die letzte Fokusposition 113 und die letzte aktuelle Position 21 können dann der Zielposition 23 entsprechen.

[0170] In Ausführungen der Erfindung kann das Pfadpräparationssystem 1 ein Ablationssystem umfassen. Das Ablationssystem ist dabei dazu ausgebildet, eine Wand des Pfades 5 wenigstens teilweise zu stabilisieren. Mit anderen Worten ist das Ablationssystem dazu ausgebildet, eine Wand des Kanals wenigstens teilweise zu stabilisieren. Insbesondere kann die Wand in Abhängigkeit einer Asymmetrie der Spitze des Gerätes 2 stabilisiert werden. Mit anderen Worten kann in Abhängigkeit einer Asymmetrie der Spitze nur eine Seite der Wand relativ zu dem Gerät 2 stabilisiert werden. Die Wand kann dabei insbesondere durch ein Verfestigen des Materials bzw. durch ein Erhöhen der Materialfestigkeit stabilisiert werden. Die Wand kann dabei wenigstens teilweise stabilisiert werden. Insbesondere kann die Wand in Richtung eines kritischen Bereiches 3 stabilisiert werden. Auf diese Weise kann ein Ausbrechen des Gerätes 2 von dem Pfad 5 in den kritischen Bereich 3 verhindert werden. Das Ablationssystem kann in Ausführungen der Erfindung an der Spitze des Gerätes angeordnet sein. Es kann dabei auf einer der folgenden Techniken basieren: Hitzeablation (mittels Mikrowellen oder Radiowellen oder elektrischem Widerstand), Laserablation oder Drehablation. Ein derart präparierter Pfad kann wiederverwendet werden. Außerdem kann die stabilisierte Wand in einem medizinischen Bild sichtbar sein.

[0171] Insbesondere kann die Wand auch mittels des Ablationssystems geglättet werden. Auf diese Weise kann das Gerät 2 leichter in dem präparierten Pfad 5 entlanggleiten.

[0172] In Ausführungen der Erfindung kann das Gerät 2 mit einem robotisches System bewegt bzw. vorgeschoben werden. Insbesondere kann das robotische System eine Geschwindigkeit der Bewegung des Gerätes 2 vorgeben. Wenn das Gerät 2 mit einer krümmbaren Spitze ausgebildet ist, kann das robotische System dazu ausgebildet sein, die Krümmung der Spitze derart anzupassen bzw. das Gerät 2 derart zu verformen, dass die Ausrichtung der Spitze durch die Krümmung an die Fokusposition 113 bzw. an die räumliche Relation zwischen der aktuellen Position 21 und der Fokusposition 113 angepasst wird. Mit anderen Worten kann die Spitze des Gerätes 2 mit dem robotischen System derart gekrümmt werden, dass sie in Richtung der Fokusposition 113 ausgerichtet ist. Die Richtung der Bewegung des Gerätes 2 kann somit zum einen durch die Fokusposition 113 bzw. die räumliche Relation vorgegeben werden, zum anderen kann die Richtung des Gerä-

tes 2 durch eine Ausrichtung bzw. Krümmung der Spitze vorgegeben werden. Mit anderen Worten kann die Richtung der Bewegung des Gerätes 2 wenigstens teilweise durch das robotische System vorgegeben werden. Das robotische System ist somit dazu ausgebildet, eine Verformung des Gerätes 2 an die räumliche Relation anzupassen. Die Verformung des Gerätes 2 wird dabei durch die Krümmung bzw. Ausrichtung der Spitze beschrieben.

[0173] In Ausführungen der Erfindung kann das robotische System das Gerät 2 vor dem Aussenden der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle entlang des bereits zurückgelegten Pfades 5 zurückgezogen werden. Mit anderen Worten kann das robotische System einen Abstand zwischen der Fokusposition 113 und der Spitze des Gerätes 2 vergrößern. Insbesondere kann das Gerät 2 nach dem Bestimmen der aktuellen Position 21 zurückgezogen werden. Insbesondere wird das Gerät 2 so weit zurückgezogen, dass es durch die Ultraschallwelle 111 nicht beschädigt wird. Das Gerät 2 kann mit dem robotischen System beispielsweise um 1mm, 2mm, 5mm oder 1cm zurückgezogen werden.

[0174] Alternativ kann das Gerät 2 manuell bewegt werden.

[0175] Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems 1 zum Präparieren eines Pfades 5 für ein Gerät 2.

[0176] Das Pfadpräparationssystem 1 entspricht dabei zum großen Teil dem in der Beschreibung zu Fig. 1 beschriebenen Pfadpräparationssystem 1. Lediglich das Trackingsystem 13' umfasst hier eine C-Bogen-Einheit. Mit anderen Worten wird das medizinische Bild zum Bestimmen der aktuellen Position 21 mit der C-Bogen-Einheit erfasst.

[0177] Die Intervention wird dabei beispielhaft an einem Patienten 6 ausgeführt. Der Patient 6 ist auf einer Patientenliege 61 in der C-Bogen-Einheit angeordnet bzw. positioniert.

[0178] Fig. 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines Pfadpräparationssystems 1 zum Präparieren von Pfaden 5.1, 5.2, 5.3 für eine Mehrzahl von Geräten 2.1, 2.2, 2.3.

[0179] Das Pfadpräparationssystem 1 gemäß des dritten Ausführungsbeispiels ist dazu ausgebildet, eine Mehrzahl von Pfaden 5.1, 5.2, 5.3 für eine Mehrzahl von Geräten 2.1, 2.2, 2.3 zu präparieren. Dabei wird jeder einzelne Pfad 5.1, 5.2, 5.3 wie in der Beschreibung zu dem ersten Ausführungsbeispiel zu Fig. 1 beschrieben präpariert.

[0180] Die Geräte 2.1, 2.2, 2.3 sind dabei gemäß der Beschreibung zu Fig. 1 ausgebildet. Die Geräte

2.1, 2.2, 2.3 können dabei wenigstens teilweise verschieden ausgebildet sein. Alternativ können die Geräte 2.1, 2.2, 2.3 alle identisch bzw. gleich ausgebildet sein.

[0181] Das Trackingsystem 13 ist dabei dazu ausgebildet, für jedes Gerät 2.1, 2.2, 2.3 die entsprechende aktuelle Position 21.1, 21.2, 21.3 zu bestimmen. Das Trackingsystem 13 ist in dem dritten Ausführungsbeispiel analog zu dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** ausgebildet. Das Trackingsystem 13 kann alternativ gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** ausgebildet sein. Alternativ kann das Trackingsystem 13 auch gemäß einer weiteren alternativen Ausführungsform, wie bezüglich **Fig. 1** beschrieben ausgebildet sein.

[0182] Jedes Gerät 2.1, 2.2, 2.3 soll entlang des entsprechenden Pfades 5.1, 5.2, 5.3 zu einer Zielposition 23.1, 23.2, 23.4 in der Zielregion 4 bewegt bzw. vorgeschoben werden.

[0183] Dies kann insbesondere für die Brachytherapie von Relevanz sein. Bei der Brachytherapie ist an jedem Gerät 2.1, 2.2, 2.3 eine Strahlungsquelle angeordnet. Insbesondere ist die Strahlungsquelle jeweils an der Spitze des Gerätes 2.1, 2.2, 2.3 angeordnet. Durch geeignetes Positionieren der Strahlungsquellen in der Zielregion 4 kann eine Strahlenverteilung bzw. Dosisverteilung bewirkt werden, die für eine Tumorbehandlung in der Zielregion 4 genutzt werden kann.

[0184] Zum Präparieren der Mehrzahl von Pfaden 5.1, 5.2, 5.3 wird iterativ mit dem Ultraschall-Sender 11 eine hochintensive fokussierte Ultraschallwelle 111 auf eine Fokusposition 113 auf einem der Pfade 5.1, 5.2, 5.3 ausgesendet. Die Ultraschallwellen 111 werden so lange ausgesendet, bis alle Geräte 2.1, 2.2, 2.3 ihre Zielposition 23.1, 23.2, 23.3 erreicht haben oder eines der oben beschriebenen Ereignisse eintritt, das ein Aussenden der Ultraschallwelle 111 verhindert. Die Pfade 5.1, 5.2, 5.3 werden somit iterativ präpariert.

[0185] „Iterativ“ kann dabei bedeuten, dass zunächst eine Ultraschallwelle 111 auf die Fokusposition 113 in räumlicher Relation zu der aktuellen Position 21.1 des ersten Gerätes 2.1 ausgesendet wird. Das erste Gerät 2.1 kann dann von seiner aktuellen Position 21.1 zu der Fokusposition 113 bewegt werden. Anschließend wird eine Ultraschallwelle 111 auf eine Fokusposition in räumlicher Relation zu der aktuellen Position 21.2 des zweiten Gerätes 2.2 ausgesendet, welches von seiner aktuellen Position 21.2 zu der Fokusposition bewegt werden kann. Dasselbe kann für jedes Gerät wiederholt werden. Anschließend wird wieder mit dem ersten Gerät 2.1 begonnen und eine neue Ultraschallwelle 111 auf

eine neue Fokusposition auf dem Pfad 5.1 des ersten Gerätes 2.1 ausgesendet.

[0186] Alternativ kann „iterativ“ auch bedeuten, dass die Geräte 2.1, 2.2, 2.3 nach keiner festen Reihenfolge bewegt werden. Mit anderen Worten wird dann die Ultraschallwelle 111 nicht nach einer festen Reihenfolge in räumlicher Relation zu den entsprechenden aktuellen Positionen 21.1, 21.2, 21.3 der einzelnen Geräte 5.1, 5.2, 5.3 ausgesendet. Insbesondere kann die Reihenfolge dabei von einer aktuellen Strahlenverteilung abhängen, wenn die Geräte 2.1, 2.2, 2.3 jeweils wenigstens eine Strahlungsquelle für eine Brachytherapie umfassen. Die Pfade 5.1, 5.2, 5.3 können dabei in Abhängigkeit der Strahlenverteilung jederzeit angepasst werden, sodass eine optimale Strahlenverteilung bzw. Dosisverteilung in der Zielregion 4 erreicht wird.

[0187] Alternativ können die Pfade 5.1, 5.2, 5.3 gleichzeitig präpariert werden. Dabei werden in einem Schritt eine Mehrzahl von hochintensiven fokussierten Ultraschallwellen 111 auf die Mehrzahl von Fokuspositionen 113 auf der Mehrzahl von Pfaden 5.1, 5.2, 5.3 ausgesendet. Auf diese Weise werden gleichzeitig alle Pfade 5.1, 5.2, 5.3 der Mehrzahl von Pfaden 5.1, 5.2, 5.3 wie in der Beschreibung zu den **Fig. 1** und **2** beschrieben präpariert.

[0188] Insbesondere können die Pfade 5.1, 5.2, 5.3 im Wechsel iterativ und gleichzeitig präpariert werden.

[0189] **Fig. 4** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zum Präparieren eines Pfades 5, 5.1, 5.2, 5.3 eines Gerätes 2, 2.1, 2.2, 2.3 mit einem Pfadpräparationssystem 1.

[0190] In einem Verfahrensschritt eines Bestimmens S1 einer aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 wird die aktuelle Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 von einem Gerät 2, 2.1, 2.2, 2.3 auf dem Pfad 5, 5.1, 5.2, 5.3 mit einem Trackingsystem 13, 13' bestimmt. Das Gerät 2, 2.1, 2.2, 2.3 mit seiner aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3, der Pfad 5, 5.1, 5.2, 5.3 und das Trackingsystem 13, 13' kann dabei gemäß den Beschreibungen zu den **Fig. 1** bis **3** ausgebildet sein. Die aktuelle Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 kann dabei insbesondere relativ zu einem Pfad 5, 5.1, 5.2, 5.3, auf dem das Gerät 2, 2.1, 2.2, 2.3 bewegt werden soll, bestimmt werden. Die aktuelle Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 kann insbesondere in einem mit dem Trackingsystem 13, 13' erfassten medizinischen Bild bestimmt werden. Insbesondere kann in dem Verfahrensschritt des Bestimmens S1 für jedes Gerät von einer Mehrzahl von Geräten 2, 2.1, 2.2, 2.3 die aktuelle Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 bestimmt werden.

Patentansprüche

[0191] In einem Verfahrensschritt eines Bestimmens S2 der in Richtung des Pfades 5, 5.1, 5.2, 5.3 liegenden Fokusposition 113, wird die Fokusposition 113 in räumlicher Relation zu der aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 bestimmt. Die räumliche Relation ist dabei gemäß der Beschreibung zu den **Fig. 1** bis 3 ausgebildet. Die Fokusposition 113 liegt dabei auf dem Pfad 5, 5.1, 5.2, 5.3. Für den Fall, dass eine Mehrzahl von aktuellen Positionen 21, 21.1, 21.2, 21.3 für eine Mehrzahl von Gerätes 2, 2.1, 2.2, 2.3 bestimmt wurde, kann iterativ wie bezüglich **Fig. 3** beschrieben für jedes Gerät 2, 2.1, 2.2, 2.3 in Abhängigkeit der entsprechenden aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 bzw. des Pfades 5, 5.1, 5.2, 5.3 eine Fokusposition 113 in dem Verfahrensschritt des Bestimmens S2 einer Fokusposition 113 bestimmt werden.

[0192] In einem weiteren optionalen Verfahrensschritt eines Aussendens einer auf die Fokusposition 113 fokussierten Ultraschallwelle 111 wird die Ultraschallwelle 111 mit einem Ultraschall-Sender 11 ausgesendet. Insbesondere erfolgt das Aussenden S3 der hochintensiven fokussierten Ultraschallwelle 111 wie in der Beschreibung zu den **Fig. 1** bis 3 beschrieben. Wenn mehr als eine Fokusposition 113 in dem Verfahrensschritt des Bestimmens S2 der Fokusposition 113 bestimmt wurde, werden iterativ bzw. „parallel“ mehrere hochintensive fokussierte Ultraschallwellen 111, wie in der Beschreibung zu **Fig. 3** ausgeführt, ausgesendet. Die Ultraschallwellen 111 sind dann auf die verschiedenen Fokuspositionen 113 fokussiert.

[0193] Das Verfahren kann optional einen Verfahrensschritt eines Bewegens des Gerätes 2, 2.1, 2.2, 2.3 von der aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 zu der Fokusposition 23, 23.1, 23.2, 23.3 umfassen. Dann entspricht die Fokusposition 23, 23.1, 23.2, 23.3 der neuen aktuellen Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 des Gerätes 2, 2.1, 2.2, 2.3.

[0194] Das beschriebene Verfahren kann iterativ so lange wiederholt werden, bis die aktuelle Position 21, 21.1, 21.2, 21.3 der Zielposition 23, 23.2, 23.2, 23.3 entspricht bzw. bis alle aktuellen Positionen 21, 21.1, 21.2, 21.3 der entsprechenden Zielposition 23, 23.2, 23.2, 23.3 entsprechen.

[0195] Wo noch nicht explizit geschehen, jedoch sinnvoll und im Sinne der Erfindung, können einzelne Ausführungsbeispiele, einzelne ihrer Teilaspekte oder Merkmale miteinander kombiniert bzw. ausgetauscht werden, ohne den Rahmen der hiesigen Erfindung zu verlassen. Mit Bezug zu einem Ausführungsbeispiel beschriebene Vorteile der Erfindung treffen ohne explizite Nennung, wo übertragbar, auch auf andere Ausführungsbeispiele zu.

1. Pfadpräparationssystem (1) zum Präparieren eines Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) für ein Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) umfassend:

- einen Ultraschall-Sender (11) und
- ein Trackingsystem (13, 13'), wobei das Trackingsystem (13, 13') dazu ausgebildet ist, eine aktuelle Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf dem Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) zu bestimmen, wobei der Ultraschall-Sender (11) dazu ausgebildet ist, eine Ultraschallwelle (111) auf eine in Richtung des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) vor dem Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) liegende Fokusposition (113) in räumlicher Relation zu der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu fokussieren, wobei der Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) in einem Material verläuft, wobei durch die fokussierte Ultraschallwelle (111) eine Läsion mit einer reduzierten Materialfestigkeit an der Fokusposition (113) erzeugt wird, wobei durch die Läsion wenigstens abschnittsweise ein Kanal von der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu der Fokusposition (113) ausgebildet wird.

2. Pfadpräparationssystem (1) nach Anspruch 1, wobei der Ultraschall-Sender (11) von einem Histotripsy-System umfasst ist.

3. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Trackingsystem (13, 13') eine Bildgebungseinheit umfasst, wobei die Bildgebungseinheit insbesondere eine der folgenden Einheiten ist: eine C-Bogen-Einheit, eine Angiographie-Einheit, eine Ultraschall-Bildgebungseinheit.

4. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Trackingsystem (13, 13') eine Ultraschall-Bildgebungseinheit umfasst, wobei die Ultraschall-Bildgebungseinheit und der Ultraschall-Sender zueinander registriert sind.

5. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Trackingsystem (13, 13') dazu ausgebildet ist, eine Richtung und/oder eine Geschwindigkeit einer Bewegung des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu bestimmen.

6. Pfadpräparationssystem (1) nach Anspruch 5, wobei die räumliche Relation der Fokusposition (113) zu der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) von der Geschwindigkeit und/oder der Richtung der Bewegung des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) abhängt.

7. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die räumliche Relation und/oder die Fokusposition (113) manuell vorgebar ist.

8. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschallwelle (111) auf die Fokusposition (113) nur ausgesendet wird, wenn keines der folgenden Ereignisse eintritt:

- die aktuelle Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) entspricht einer Zielposition (23, 23.1, 23.2, 23.3) des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3),
- ein Abschnitt des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3), auf dem die aktuelle Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) liegt, ist in einer Pfadplanung als kritisch markiert,
- eine Nutzereingabe verhindert das Aussenden der Ultraschallwelle (111).

9. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) eine Biopsienadel umfasst.

10. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in Abhängigkeit der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) der Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) mit einer Mehrzahl von Läsionen anhand einer Mehrzahl von Fokuspositionen (113) präpariert wird.

11. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) in einem Material verläuft, außerdem umfassend:

- ein Ablationssystem, wobei das Ablationssystem dazu ausgebildet ist, eine Wand des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) wenigstens teilweise zu stabilisieren.

12. Pfadpräparationssystem (1) nach Anspruch 11,

wobei das Ablationssystem dann an einer Spitze des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) angeordnet ist, wobei das Ablationssystem auf einer der folgenden Techniken basiert:

- Hitzeablation mittels Mikrowellen oder Radiowellen oder elektrischem Widerstand,
- Laserablation,
- Drehablation.

13. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Pfadpräparationssystem (1) zum gleichzeitigen oder iterativen Präparieren einer Mehrzahl von Pfaden (5, 5.1, 5.2, 5.3) für eine Mehrzahl von Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) ausgebildet ist, wobei das Trackingsystem (13, 13') dazu ausgebildet ist, die aktuelle Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) für jedes Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) der Mehrzahl von Geräten (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf dem entsprechenden Pfad

(5, 5.1, 5.2, 5.3) zu bestimmen, wobei der Ultraschall-Sender (11) dazu ausgebildet ist, eine oder mehrere Ultraschallwellen (111) auf wenigstens eine in Richtung eines Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) vor einem der Geräte (2, 2.1, 2.2, 2.3) liegende Fokusposition (113) in räumlicher Relation zu der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des jeweiligen Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu fokussieren, wobei der Ultraschall-Sender (11) gleichzeitig oder iterativ in Abhängigkeit der Mehrzahl von aktuellen Positionen (21, 21.1, 21.2, 21.3) alle Pfade (5, 5.1, 5.2, 5.3) der Mehrzahl von Geräten (2, 2.1, 2.2, 2.3) präpariert.

14. Pfadpräparationssystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfassend ein robotisches System zum Steuern einer Bewegung des Gerätes (2), wobei das robotische System dazu ausgebildet ist, einer Verformung des Gerätes (2) an die räumliche Relation anzupassen.

15. Pfadpräparationssystem (1) nach Anspruch 14, wobei das robotische System dazu ausgebildet ist, das Gerät vor dem Aussenden der Ultraschallwelle (111) zurückzuziehen.

16. Verfahren zum Präparieren eines Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) eines Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) mit einem Pfadpräparationssystem (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, umfassend folgende Verfahrensschritte:

- Bestimmen (S1) einer aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf dem Pfad (5, 5.1, 5.2, 5.3) mit einem Trackingsystem (13, 13'),
- Bestimmen (S2) der in Richtung des Pfades (5, 5.1, 5.2, 5.3) vor dem Gerät (2, 2.1, 2.2, 2.3) liegenden Fokusposition (113) in räumlicher Relation zu der aktuellen Position (21, 21.1, 21.2, 21.3) des Gerätes (2, 2.1, 2.2, 2.3).

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

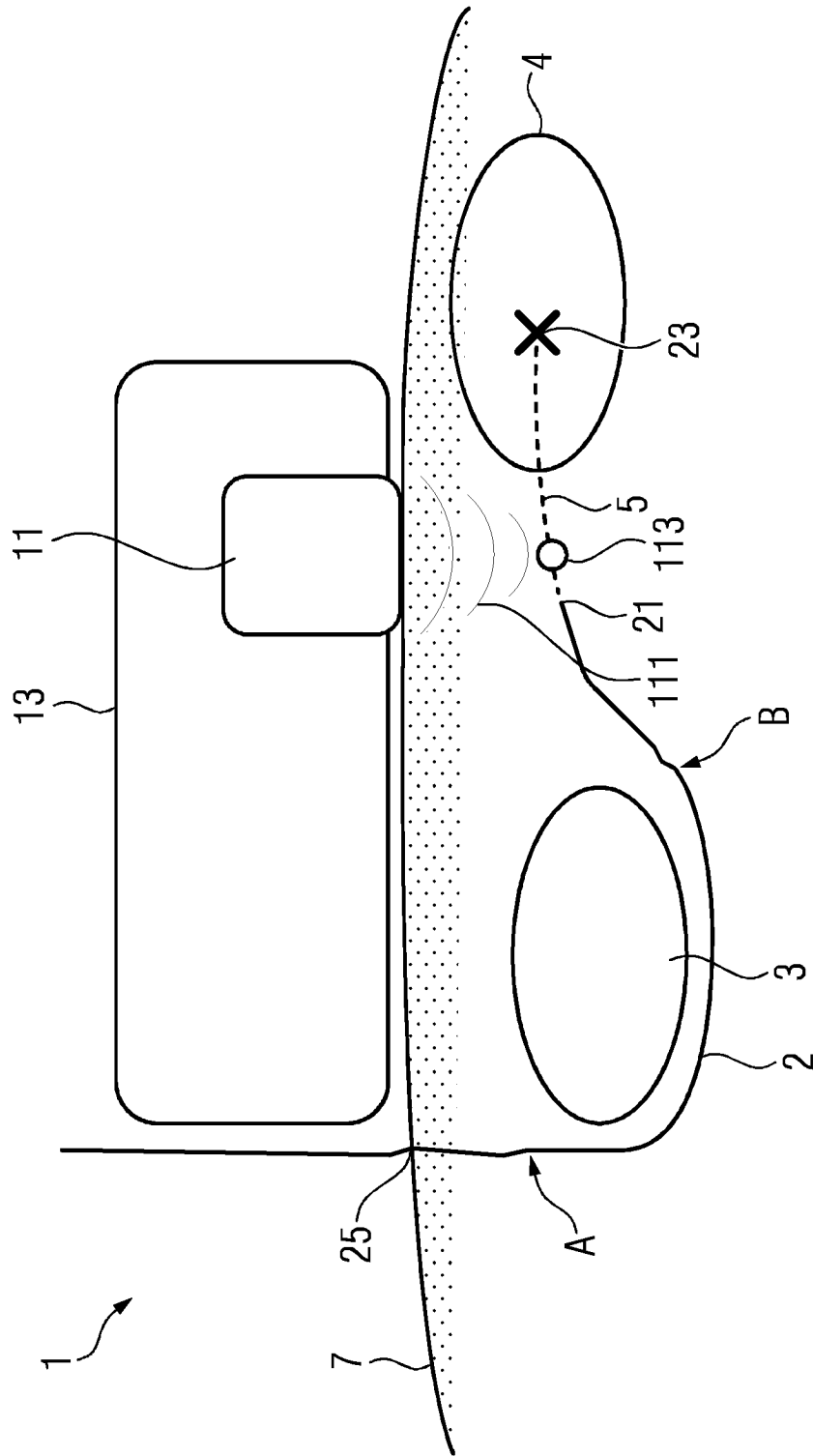


FIG 3

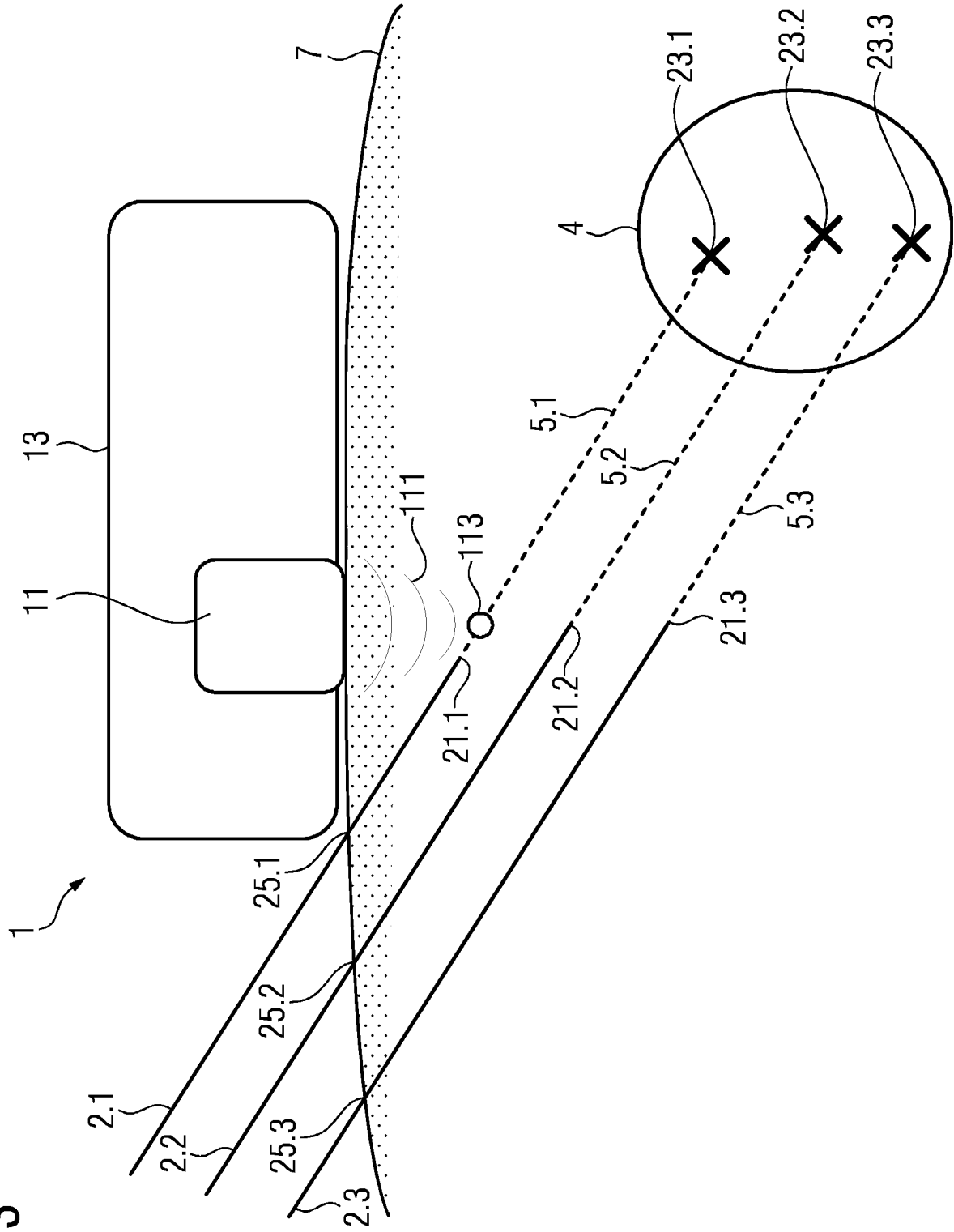


FIG 4

