

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
07. September 2023 (07.09.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/165990 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
A61B 17/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/055040

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Februar 2023 (28.02.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 104 782.2
01. März 2022 (01.03.2022) DE

(71) Anmelder: **AESCULAP AG** [DE/DE]; Am Aesculap-Platz, 78532 Tuttlingen (DE).

(72) Erfinder: **RIEDEL, Celine**; Obere Bahnhofstraße 13, 07924 Ziegenrück (DE). **KAHLER, Thomas-Erwin**; Stör-

renhalde 9, 78606 Seitingen-Oberflacht (DE). **SILLER, Markus**; Nußdorferstraße 9, 88662 Überlingen (DE). **AICHER, Philipp**; Geschwister-Scholl-Str. 8/1, 78532 Tuttlingen (DE). **ANDRIS, Robin**; Domänenweg 1, 78052 Oberschach (DE).

(74) Anwalt: **WINTER, BRANDL - PARTNERSCHAFT MBB**; Alois-Steinecker-Str. 22, 85354 Freising (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV,

(54) Title: DETECTION OF INSTANCES OF DRILL BREAKTHROUGH

(54) Bezeichnung: DETEKTION VON BOHRERDURCHBRÜCHEN

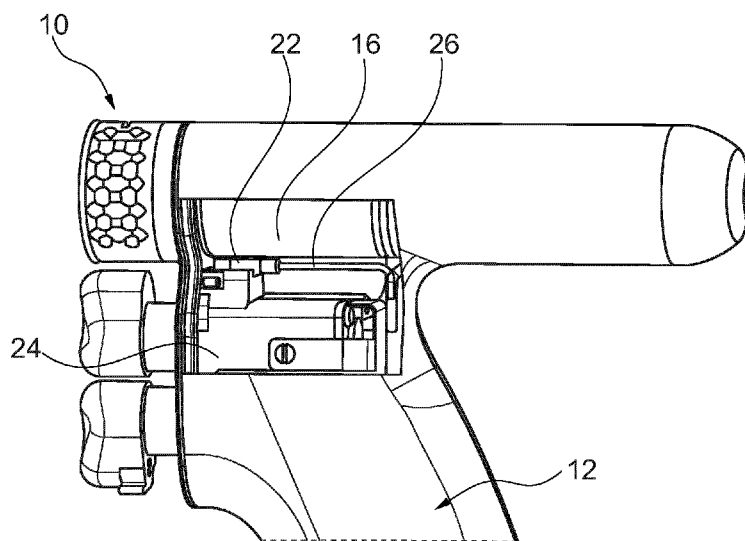


Fig. 3

(57) **Abstract:** The present invention relates to a detection device that is intended and designed to detect a drill breakthrough and/or breakthrough tendency during drilling into a bone by means of a surgical drill. The detection device comprises at least one, in particular monoaxial, piezoelectric acceleration sensor (22) for producing piezoelectric acceleration signals and an evaluation unit which is intended to identify signals or signal variations characteristic of a breakthrough and/or breakthrough tendency.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Erkennungseinrichtung, die dafür vorgesehen und ausgebildet ist, beim Bohren in einen Knochen mittels einer chirurgischen Bohrmaschine (2) einen Bohrerdurchbruch und/oder eine Durchbruchstendenz zu erkennen, mit zumindest einem, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensor (22) zur Erzeugung piezoelektrischer Beschleunigungssignale und einer Auswerteeinheit, die dafür vorgesehen ist, Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen zu identifizieren.



WO 2023/165990 A1

SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Detektion von Bohrerdurchbrüchen

Beschreibung

5 Technisches Gebiet

Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Betriebssituations-
Erkennungseinrichtung für eine oder einer chirurgische(n) Bohrmaschine, welche
bei einem Bohren in einen Knochen einen Durchbruch und / oder eine
10 Durchbruchstendenz als Betriebssituation erkennt und ein Verfahren, welches
Betriebszustände/Betriebssituationen insbesondere ein Durchbrechen oder bereits
die Tendenz eines Durchbrechens (d.h. das unmittelbare Bestehen eines
Bohrerdurchbruchs auf der dem Bohrer abgewandten Seite eines Knochens) der
chirurgischen Bohrmaschine erkennt.

15

Hintergrund der Erfindung

Chirurgische Bohrmaschinen besitzen wichtige Aufgaben im
Operationsalltag. Sie dienen beispielsweise zum Vorbohren von Schraublöchern
20 zur Befestigung von Metallplatten bei verletzten oder gebrochenen Knochen in der
Orthopädie. Eine weitere Anwendung ist die Trepanation und Kraniotomie
(Schädelöffnung) mittels Sicherheitstrepan und Kraniotom in der Neurochirurgie.
Eine häufige Operation (OP) ist die Nervenentlastung der Wirbelsäule
(Dekompression). Knochenwucherungen werden mit Hilfe des Bohrers entfernt
25 und der Druck auf den Nerv reduziert. Des Weiteren finden chirurgische
Bohrmaschinen in der Tumorchirurgie sowohl in Neuro-Wirbelsäulen- und Mund-
Kiefer-Gesichts-Chirurgie Anwendung, um tumoröses Gewebe von gesundem
Knochen zu resektieren. Eine weitere wichtige Anwendung ist das Vorbohren
eines Kanals und Lagers zum Einsetzen eines Cochleaimplantates neben dem
30 Hörkanal.

Solche Operationen sind mit einem erhöhten Risiko für den Patienten
verbunden, da hinter dem zu bohrenden Knochen gesundes Gewebe, ggf.
Nervenbahnen und Blutgefäße verlaufen, welche leicht verletzt werden können.

Eine solche Verletzung kann zu einer erheblichen Schädigung des Patienten führen. Die notwendige / richtige Eindringtiefe des Bohrers ist nicht berechenbar, sondern kann nur geschätzt werden. Studien haben ergeben, dass im Durchschnitt im Kortex 6.33 mm zu tief gebohrt wird. Da Schäden vor allem an der
5 Wirbelsäule und im Gehirn irreversibel sind, hängt die Sicherheit der OP und damit die Sicherheit des Patienten maßgeblich von der Erfahrung des Chirurgen ab.

Kurzbeschreibung der Offenbarung

10 Aufgabe der vorliegenden Offenbarung ist es daher, eine Vorrichtung bereitzustellen, welche zu tiefes Bohren bei einem Bohren in einen Knochen verhindert und Gewebe, was sich hinter dem Knochen befindet, vor einer Penetration oder Verletzung durch den Bohrer schützt und damit die Patientensicherheit erhöht.

15 Diese Aufgabe wird gelöst durch eine chirurgische Bohrmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11. Die Aufgabe wird auch gelöst durch eine Betriebssituations-Erkennungseinrichtung nach Anspruch 12.

20 Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, ein Verfahren bereitzustellen, welches vorbestimmte Betriebszustände einer chirurgischen Bohrmaschine zuverlässig erkennt.

Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren nach Anspruch 13 oder
25 Anspruch 14 und durch Anspruch 15.

Konkret wird die Aufgabe, zu tiefes Bohren in den Knochen zu verhindern, gelöst durch eine Erkennungseinrichtung, die dafür vorgesehen und ausgebildet ist, beim Bohren in einen Knochen mittels einer chirurgischen Bohrmaschine einen
30 Bohrerdurchbruch und/oder eine Durchbruchstendenz zu erkennen, also einer Durchbrucherkennungseinrichtung, mit zumindest einem, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensor zur Erzeugung piezoelektrischer Beschleunigungssignale und einer Auswerteeinheit, die dafür

vorgesehen und ausgebildet ist, Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen in den vom Beschleunigungssensor ankommenden Signalen zu identifizieren.

5 In anderen Worten ist eine Erkennungseinrichtung vorgesehen und ausgebildet, in oder an einer chirurgischen Bohrmaschine, vorzugsweise kraftschlüssig, fixiert zu sein. Die Erkennungseinrichtung beinhaltet den piezoelektrischen Beschleunigungssensor. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor beinhaltet einen piezoelektrischen Kristall (beispielsweise
10 Quarz) oder eine Keramik, welcher auf einer Seite mit einer trägen seismischen Masse verbunden ist. Wenn (Körper-) Schwingungen der Bohrmaschine auf den piezoelektrischen Beschleunigungssensor wirken, drückt die Masse auf den piezoelektrischen Kristall. Der piezoelektrische Kristall reagiert auf durch die schwingende Masse hervorgerufene Kräfte mit einer Ladungsverschiebung in dem
15 piezoelektrischen Kristall. Auf diese Weise wird die Schwingung in das piezoelektrische Beschleunigungssignal umgewandelt. Das so erzeugte Beschleunigungssignal wird von der Auswerteeinheit ausgewertet. Die Auswerteeinheit erkennt den Durchbruch oder die Durchbruchstendenz anhand der charakteristischen Signale und / oder an den charakteristischen
20 Signalschwankungen.

Bei dem charakteristischen Signal kann es sich beispielsweise um eine maximale Amplitude, eine momentane Amplitude, einen Effektivwert, eine Schwingungsgeschwindigkeit, einen Schwingungsweg oder dergleichen handeln.
25

In nochmals anderen Worten ist die Erkennungseinrichtung mit der Auswerteeinheit vorgesehen und ausgebildet, einen Materialübergang des Bohrers bzw. eine Materialübergangstendenz des Bohrers und insbesondere einer Bohrspitze zu erkennen.

30

Kern der Offenbarung ist demnach, mit der Auswerteeinheit der Erkennungseinrichtung Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen, welche von dem

piezoelektrischen Beschleunigungssensor der Erkennungseinrichtung aufgrund von Schwingungen der chirurgischen Bohrmaschine erzeugt werden, zu identifizieren.

- 5 Durch die derartige Erkennungseinrichtung ist es möglich, zu tiefes Bohren in den Knochen und insbesondere den Durchbruch und / oder die Durchbruchstendenz zu erkennen und damit Schäden an Gewebe, welches sich hinter dem Knochen befindet, zu verhindern. Dies entlastet den operierenden Arzt und erhöht gleichzeitig die Patientensicherheit, da Fehler und / oder
- 10 Fehleinschätzungen verhindert werden. Zusätzlich können Operationen effizienter durchgeführt werden, da auf eine Analyse von Röntgenbildern eine Bohrtiefe betreffend verzichtet werden kann.

- In einem ersten Aspekt kann die Erkennungseinrichtung ausgebildet sein, ein
- 15 Bohrstoppsignal auszugeben, wenn die Auswerteeinheit die Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen identifiziert.

- Anders ausgedrückt kann die Erkennungseinrichtung eine Stromzufuhr und/
- 20 oder eine (Antriebs-) Luftzufuhr zu einem Antrieb des chirurgischen Bohrers unterbrechen. Alternativ oder zusätzlich kann eine Antriebswelle des chirurgischen Bohrers durch eine Bremse festgesetzt werden.

- Weiterhin Alternativ oder zusätzlich kann die Erkennungseinrichtung
- 25 ausgebildet sein, ein Alarmsignal auszugeben, wenn die Auswerteeinheit die Durchbruchs- und / oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen identifiziert. Bei dem Alarmsignal kann es sich um ein optisches Signal, beispielsweise in Form einer Anzeige auf einem Display, einem Aufleuchten einer Warnleuchte oder dergleichen, ein akustisches Signal,
- 30 beispielsweise in Form eines Warntons, und / oder um ein haptisches Signal, beispielsweise in Form einer Vibration, handeln.

In einem weiteren Aspekt kann der piezoelektrischen Beschleunigungssensor Körperschallsignale detektieren, welche als analoge (Beschleunigungs-) Signale an die Auswerteeinheit übermittelt werden.

5 In anderen Worten kann der piezoelektrische Beschleunigungssensor Schwingungen und Wellen, welche sich in Festkörpern mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten, detektieren und in das analoge Signal umwandeln. Bei dem Festkörper handelt es sich insbesondere um die Bohrmaschine oder um Komponenten der Bohrmaschine und / oder um den Bohrer. Das analoge Signal
10 wird anschließend, vorzugsweise mit einem Kabel oder dergleichen, an die Auswerteeinheit übermittelt.

Durch die Detektion von Körperschall kann ein Einfluss von Umwelteinflüssen, insbesondere in Form von Geräuschen in einem
15 Operationssaal, beispielsweise Piepen von Maschinen, Stimmen, durch Bewegungen verursachte Geräusche, bis hin zu Lärm, auf das Erkennungsergebnis reduziert werden. Auf diese Weise kann gerade in besonders hektischen Situationen im Operationssaal der operierende Arzt unterstützt werden und zu tiefes Bohren effektiv verhindert werden und der Arzt kann sich auf das
20 Erkennungsergebnis, unabhängig von der Umgebung in der er sich befindet, verlassen.

In einem weiteren Aspekt kann die Auswerteeinheit der Erkennungseinrichtung zumindest einen Verstärker insbesondere mit einer
25 Verstärkung größer / gleich zehn und / oder einen Filter, insbesondere ein Butterworth-Filter n-ter Ordnung oder ein Bandpassfilter, beinhalten.

In anderen Worten kann das analoge Signal, welches von dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor ausgegeben wird, von der
30 Auswerteeinheit mit einem in der Auswerteeinheit vorgesehenen Verstärker verstärkt und / oder von einem in der Auswerteeinheit vorgesehenen Filter gefiltert werden. In nochmals anderen Worten kann der Verstärker das analoge Signal in eine proportionale Spannung umwandeln und sie verstärken. Eine anschließende

Hoch- oder Tiefpassfilterung kann störende Signalanteile unterdrücken / herausfiltern.

In einem weiteren Aspekt kann die Auswerteeinheit einen Analog-Digital-
5 Wandler beinhalten, welcher die analogen Signale mit einer Abtastrate von
zumindest 20000 Hz, insbesondere mit einer Abtastrate von ungefähr 25600 Hz
abtastet.

In anderen Worten kann ein „Sampling“ des analogen Signals stattfinden. In
10 nochmals anderen Worten kann eine Amplitude einer Wellenform des analogen
Signals zu verschiedenen (definierten) Zeitpunkten ausgelesen werden. Diese
diskreten Amplitudenwerte werden in einem Array oder in einem Vektor
gespeichert. Nach dem Nyquist-Shannon-Theorem muss die Abtastrate / eine
15 Abtastfrequenz des analogen Signals mehr als doppelt so groß sein wie die
höchste Frequenz des zu digitalisierenden Signals. Andernfalls kann es zu einem
Aliasingeffekt kommen. Durch das Digitalisieren kann eine Signalauswertung
verbessert werden.

In nochmals anderen Worten können der Analog-Digital-Wandler und der
20 piezoelektrische Beschleunigungssensor, insbesondere in der Abtastrate,
aufeinander abgestimmt sein.

In einem weiteren Aspekt kann die Auswerteeinheit, vorzugsweise mit einem
Microcontroller, das Signal bzw. die Signale mittels einer Fouriertransformation,
25 insbesondere einer Short-Time-Fourier-Transformation, in ein Spektrogramm,
vorzugsweise in ein Melspektrogramm, umwandeln.

In anderen Worten kann die Auswerteeinheit vorzugsweise mit einem dafür
vorgesehenen Microcontroller das Signal, welches vorzugsweise in Form eines
30 kontinuierlichen Zeitsignals vorliegt, in seine diskreten Frequenzanteile zerlegen.
In der Short-Time-Fourier-Transformation können hierbei auch Signale verarbeitet
werden, deren Frequenzeigenschaften sich mit der Zeit verändern. Hierbei wird
zunächst ein Fenster und dessen Parameter Fenstergröße und Schrittgröße

festgelegt. Dieses Fenster wird über das Signal geschoben. Für jedes Fenster wird die Fouriertransformation berechnet und ein Spektrum gebildet. Durch Verbinden der Spektren entsteht ein Spektrogramm. Bei einem Spektrogramm handelt es sich um eine Überlagerung einer Folge von Spektren in einem
5 vorbestimmten Zeitintervall. Aus einem Spektrogramm lässt sich somit die Verteilung der Frequenzen und ihrer Intensität während des Verlaufs über der Zeit ablesen. Durch eine derartige Umwandlung des Signals kann das Signal optisch auswertbar gemacht werden.

10 In einem weiteren Aspekt kann die Auswerteeinheit das Spektrogramm mit einem KI-trainierten Netzwerk, vorzugsweise mittels eines „bounding boxes-Prinzip“ auswerten und bei einem Aufleuchten des Spektrogramms den Bohrerdurchbruch oder die Bohrerdurchbruchstendenz identifizieren.

15 In anderen Worten kann die Auswerteeinheit das Spektrogramm mit einem Netzwerk, welches mittels Maschinelernen trainiert wird, auswerten. Hierbei wird das Spektrogramm bevorzugt optisch ausgewertet. Insbesondere kommt das „bounding boxes-Prinzip“ zu Einsatz. Bei dem „bounding box-Prinzip“ wird zumindest ein Rechteck, bevorzugt mehrere Rechtecke, welche jeweils mit einem
20 Label versehen sind, über das Spektrogramm gelegt. Jedes der Rechtecke wird über die Koordinaten der oberen linken Ecke und die Koordinaten der unteren rechten Ecke charakterisiert. Bei dem Label kann in drei Klassen unterschieden werden. Die erste Klasse ist dabei „Leerlauf“, die zweite Klasse ist „Bohren“ und die dritte Klasse ist „Durchbruch“. Es kann eine weitere Klasse Null für den
25 Hintergrund verwendet werden. In der Klasse „Leerlauf“ ist ausschließlich eine Grundfrequenz zu erkennen. In der Klasse „Bohren“ ist eine Frequenzaufspaltung zu erkennen. In der Klasse „Durchbruch“ kehrt das Spektrogramm wieder in annähernd in einen Leerlaufzustand zurück, wobei noch Oberwellen enthalten sind, da der Bohrer den Knochen noch nicht vollständig verlassen hat. Das
30 Rechteck, welches mit „Durchbruch“ gelabelt ist, beginnt vor dem eigentlichen Durchbrechen des Bohrers. Als Indikator für einen Durchbruch und / oder eine Durchbruchstendenz wird insbesondere ein Aufleuchten in zumindest einer Oberwelle zur Grundfrequenz verwendet. Das Aufleuchten in dem Spektrogramm

kommt durch ein vermehrtes Auftreten von hohen Amplituden im Signal zustande. Das Netzwerk kann anhand von Trainerdaten trainiert werden. Weiterhin kann das Netzwerk fortlaufend weiter trainiert werden und damit die Identifikation über die Nutzung des chirurgischen Bohrers mit der erfindungsgemäßen
5 Erkennungseinrichtung verbessert werden.

Die optische Analyse durch das „boundig box-Prinzip“ ist ein besonders robustes Analyseverfahren. Durch das Netzwerk, welches auf Basis von Trainerdaten trainiert ist und während der Verwendung fortlaufend weiter lernt,
10 kann eine zuverlässige Identifikation von dem Durchbruch und / oder der Durchbruchstendenz erzielt werden.

Die Spektrogramme stellen eine Überlagerung vieler Fouriertransformationen dar und liefern genaue Informationen über die Frequenz und die Größe der
15 Amplituden bei Durchbruch. Diese Merkmale werden durch die KI erlernt, darunter auch die Werte für die Aufspreizung des Frequenzspektrums bei Durchbruch. Daraus ergeben sich Werte von +/- einer Veränderung der Grundfrequenz bzw. deren Harmonischen und der Drehzahl. Da die Grundfrequenz und die jeweilige Drehzahl der Bohrer bekannt sind, können Veränderungen in der
20 Fouriertransformation erkannt werden, solange diese im durch die KI definierten Bereich liegen.

In einem weiteren Aspekt kann das KI-trainierte Netzwerk ein Cloudnetzwerk sein, das von kompatiblen Erkennungseinrichtungen mit Daten gespeist wird.
25

In anderen Worten kann das KI-trainierte Netzwerk ein Netzwerk sein, dass von einer Vielzahl kompatibler Erkennungseinrichtungen für die Erkennung / Identifikation des Durchbruchs und / oder der Durchbruchstendenz verwendet wird.
30

Auf diese Weise kann eine rechenintensive Analyse des Spektrogramms zentralisiert durch einen entsprechenden Rechner erfolgen und damit Investitionskosten vor Ort, beispielsweise im Krankenhaus, reduziert werden.

Ferner kann durch eine Bündelung einer Vielzahl von Daten von der Vielzahl von kompatiblen Erkennungseinrichtungen die Identifikation des Durchbruchs und / oder der Durchbruchstendenz erheblich verbessert werden. Zusätzlich bietet das Cloudnetzwerk den Vorteil, dass eine Redundanz wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar
5 ist, was eine Ausfallsicherheit erhöht.

In einem weiteren Aspekt kann der piezoelektrische Beschleunigungssensor seine höchste Empfindlichkeit in einem Messfrequenzbereich bis 10000 Hz besitzen.

10

Weiterhin wird die Aufgabe, zu tiefes Bohren in den Knochen zu verhindern, gelöst durch eine chirurgische Bohrmaschine, in oder an welcher die Erkennungseinrichtung nach einem der obigen Aspekte ausgebildet ist.

15 In anderen Worten ist die Erkennungseinrichtung, die dafür vorgesehen und ausgebildet ist, beim Bohren in den Knochen mittels der chirurgischen Bohrmaschine den Bohrerdurchbruch und/oder die Durchbruchstendenz zu erkennen, mit, zumindest dem zumindest einen, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensor zur Erzeugung piezoelektrischer
20 Beschleunigungssignale und der Auswerteeinheit, die dafür vorgesehen ist, die Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen zu identifizieren in oder an der chirurgischen Bohrmaschine ausgebildet.

25 In einem Aspekt kann der piezoelektrische Beschleunigungssensor durch direkte metallische Anbindung an einen Antrieb der chirurgischen Bohrmaschine gekoppelt sein.

30 In anderen Worten kann der piezoelektrische Beschleunigungssensor unmittelbar oder mittels zumindest eines vorzugsweise metallischen Halters mechanisch mit dem Antrieb der chirurgischen Bohrmaschine verbunden sein. Bei dem Antrieb kann es sich beispielsweise um einen Elektromotor oder um eine Turbine handeln. Neben einer metallischen Ausbildung des Halters ist jeder

andere Werkstoff vorstellbar, der Körperschall möglichst verlustarm und ungedämpft leitet und dabei den Werkstoffanforderungen einer chirurgischen Bohrmaschine genügt.

5 Durch die direkte Anbindung ist gewährleistet, dass der piezoelektrische Beschleunigungssensor bereits geringe Beschleunigungen und / oder Änderungen in der Beschleunigung detektieren kann. Weiterhin kann auf diese Weise ein Einfluss von, von außerhalb der chirurgischen Bohrmaschine eingebrachter Schwingungen, beispielsweise durch Lärm, zuverlässig gefiltert werden.

10

 In einem weiteren Aspekt kann / können ein Verstärker und / oder ein Filter der Auswerteeinheit auf einer Platine ausgebildet sein, welche in direkter Nähe zu dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor, vorzugsweise hermetisch abgedichtet, in / an der chirurgischen Bohrmaschine ausgebildet ist.

15

 Anders ausgedrückt kann in / an der chirurgischen Bohrmaschine eine vorzugsweise hermetisch abgedichtete Leiterplatte mit Bauteilen ausgebildet sein, wobei die Bauteile den Filter und / oder den Verstärker ausbilden können. Die Leiterplatte kann in unmittelbarer Nähe zu dem piezoelektrischen
20 Beschleunigungssensor ausgebildet sein. Die Verstärkung/Verstärkerleistung des Verstärkers kann vorzugsweise mindestens zehn betragen. Der Filter kann die Signale auf den gewünschten Signalbereich beschränken und kann unabhängig gegenüber Störsignalen sein, welche beispielsweise von dem Bohrer und seiner Rotation selbst verursacht werden.

25

 Durch die direkte Nähe zwischen piezoelektrischem Beschleunigungssensor und dem Verstärker und / oder dem Filter werden Verluste bei einer Übertragung von dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor zu dem Verstärker und / oder dem Filter minimiert. Auf diese Weise kann das Erkennungsergebnis der
30 Erkennungseinrichtung verbessert werden.

In einem weiteren Aspekt kann die Auswerteeinheit vollständig oder teilweise in einer extern von der chirurgischen Bohrmaschine vorgesehenen Basiseinheit (Steuergerät) ausgebildet sein.

- 5 In anderen Worten kann der Filter und / oder der Verstärker in / an der chirurgischen Bohrmaschine / einem Handstück der chirurgischen Bohrmaschine ausgebildet sein. Weitere Komponenten, wie beispielsweise ein Analog-Digital-Wandler und ein oder mehrere Microcotroller können außerhalb des Handstücks der chirurgischen Bohrmaschine in der Basiseinheit ausgebildet sein. Das
- 10 Handstück und die Basiseinheit können mit einem Kabel und / oder einem Schlauch miteinander verbunden sein. Die Basiseinheit kann Komponenten, welche in dem Handstück ausgebildet sind, über das Kabel mit elektrischer Energie versorgen.
- 15 Auf diese Weise kann das Handstück der chirurgischen Bohrmaschine besonders kompakt gestaltet werden, was eine Handhabung für den Behandler erleichtert. Insbesondere wenn der Filter und / oder der Verstärker in / an dem Handstück ausgebildet sind, kann gewährleistet werden, dass die Rohsignale des piezoelektrischen Beschleunigungssensors in einer geeigneten Form (verstärkt,
- 20 gefiltert) an die Basiseinheit übermittelt werden. In der Basiseinheit können die Signale dann durch den Analog-Digital-Wandler abgetastet werden und anschließend durch einen Microcontroller, vorzugsweise mittels Short-Time-Fourier-Transformation, in das Spektrogramm umgewandelt werden. Diese Spektrogramme werden anschließend, vorzugsweise durch eine in der
- 25 Basiseinheit ausgebildeten Kommunikationseinheit an das KI-trainierte Netzwerk übermittelt. Das KI-trainierte Netzwerk kann cloudbasiert sein. Alternativ kann das Spektrogramm in der Basiseinheit vorzugsweise mittels weiterer Microcontroller mit Speicher- und Datenverarbeitungsfunktion ausgewertet werden. Auch kann auf diese Weise ein modularer Aufbau umgesetzt werden, sodass mehrere
- 30 Handstücke mit einer Basiseinheit ausgebildet sein können. Dies reduziert die Kosten und erweitert einen Behandlungsumfang durch eine unterschiedliche, an die Behandlung angepasste Handstücke.

In einem weiteren Aspekt können mehrere piezoelektrische Beschleunigungssensoren an dem Handstück der chirurgischen Bohrmaschine ausgebildet sein.

- 5 In einem weiteren Aspekt können die mehreren piezoelektrischen Beschleunigungssensoren distanziert voneinander in dem Handstück der chirurgischen Bohrmaschine ausgebildet sein.

10 Weiterhin wird die Aufgabe ein Verfahren bereitzustellen, welches vorbestimmte Betriebszustände einer chirurgischen Bohrmaschine zuverlässig erkennt, durch das Verfahren zur Erkennung vorbestimmter Betriebszustände einer chirurgischen (Knochen-) Bohrmaschine mit den folgenden Verfahrensschritten gelöst:

- 15 - Erzeugen von piezoelektrischen Beschleunigungssignalen unter Verwendung eines, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensors, der an oder in der Knochenbohrmaschine angeordnet ist oder wird,
- Weiterleiten der Beschleunigungssignale an eine Auswerteeinheit und
- 20 - Identifizieren von solchen Signalen oder Signalschwankungen, die für die vorbestimmten Betriebszustände charakteristisch sind.

 Durch das beschriebene Verfahren ist es möglich, Fehlfunktionen der chirurgischen Bohrmaschine frühzeitig zu erkennen. So kann beispielsweise ein Lagerschaden in der Lagerung des Bohrers der chirurgischen Bohrmaschine
25 detektiert werden. Weiterhin kann ein Unrundlaufen des Bohrers, beispielsweise durch falsches Einspannen des Bohrers in der chirurgischen Bohrmaschine, erkannt werden. Bei einer erkannten Fehlfunktion kann die chirurgische Bohrmaschine gestoppt und / oder ein akustisches oder haptisches Alarmsignal ausgegeben werden. Bei den vorbestimmten Betriebszuständen kann es sich
30 beispielsweise um einen Normalzustand und einen Störungszustand oder einen Materialübergang handeln.

In einem Aspekt kann in der Auswerteeinheit das Beschleunigungssignal ausgewertet werden mit den Schritten:

- Filtern des Beschleunigungssignals mit einem Filter, vorzugsweise einem Butterworth-Filter n-ter Ordnung oder einem Bandpassfilter;
- 5 - Verstärken des Beschleunigungssignals mit einem Verstärker, vorzugsweise mit einem Verstärker mit einer Verstärkung größer / gleich 10;
- Abtasten des Beschleunigungssignals mit einem Analog-Digital-Wandler;
- Umwandeln des (digitalen) Beschleunigungssignals in Spektrogramme, vorzugsweise mittels Fouriertransformation, insbesondere vorzugsweise mittels Short-Time-Fourier-Transformation;
- 10 - Auswerten der Spektrogramme mittels eines „Bounding boxes-Prinzip“ in einem KI-Trainierten Netzwerk.

15 Weiterhin betrifft die vorliegende Offenbarung eine Verwendung eines insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensors, der zur Erfassung vorbestimmter Betriebszustände an oder in einer Knochenbohrmaschine angeordnet ist oder wird.

20 An dieser Stelle sei nochmals abschließend darauf hingewiesen, dass die Identifikation von solchen Signalen oder Signalschwankungen, die für die vorbestimmten Betriebszustände charakteristisch sind, beispielhaft auch dadurch erfolgen könnte, indem in der einfachsten Ausführung Signalmuster oder Schwankungsmuster mit vorab bereits hinterlegten, bestimmten Mustern auf
25 Übereinstimmungen verglichen werden. Alternativ oder zusätzlich wäre es auch denkbar, absolute oder relative
Signalwerte/Amplituden/Tastverhältnisse/Signaldauern etc. bestimmten Betriebszuständen zuzuordnen. Letztlich ist es grundsätzlich möglich, Erkennungsalgorithmen vergleichbar zu Bilderkennungsalgorithmen
30 bereitzustellen.

Kurzbeschreibung der Figuren

Fig. 1 ist eine Darstellung einer chirurgischen Bohrmaschine mit einem ersten Handstück und einer Basiseinheit;

Fig. 2 ist eine Darstellung eines zweiten Handstücks;

5

Fig. 3 ist eine vergrößerte Darstellung des zweiten Handstücks;

Fig. 4 ist eine Darstellung einer Hülse für ein erstes Handstück;

10

Fig. 5 ist eine Darstellung eines piezoelektrischen Beschleunigungssensors.

Fig. 6 zeigt einen Graphen einer detektierten Schwingung und ein Spektrogramm.

15

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Offenbarung auf der Basis der zugehörigen Figuren beschrieben.

20

Fig. 1 zeigt eine chirurgische Bohrmaschine 2 mit einem ersten Handstück 4 in einer ersten Ausführungsform und einer Basiseinheit 6. Das erste Handstück 4 ist mit einem Kabel 8 mit der Basiseinheit 6 verbunden.

25

Fig. 2 zeigt ein zweites Handstück 10 in einer zweiten Ausführungsform. Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt des zweiten Handstücks 10 in einer vergrößerten Ansicht. Nachfolgend wird das zweite Handstück anhand von Fig. 2 und Fig. 3 näher erläutert. Das zweite Handstück 10 ist mit dem Kabel 8 mit der Basiseinheit 6 verbunden. Das zweite Handstück 10 beinhaltet einen Griffabschnitt 12 in Form eines Pistolengriffs, der vorgesehen und ausgebildet ist, von einem Behandler, beispielsweise einem Arzt umgriffen zu werden, so dass das zweite Handstück 10 sicher geführt werden kann. An einer Vorderseite des Griffabschnitts 12 sind Bedienknöpfe 14 ausgebildet. Mit den Bedienknöpfen 14 kann beispielsweise eine

30

Rotationsrichtung und eine Rotationsgeschwindigkeit der chirurgischen Bohrmaschine bedient werden. An einem von dem Kabel 8 abgewandten Ende des Griffabschnitts 12 ist ein elektrischer Antrieb 16 ausgebildet. Anders ausgedrückt ist der elektrische Antrieb an einer Oberseite des zweiten Handstücks 10, oberhalb des Griffabschnitts 12, ausgebildet. An einer Vorderseite des elektrischen Antriebs 16 ist ein Bohrfutter 18 ausgebildet, das vorgesehenen 5 ausgebildet ist einen Bohrer 20 aufzunehmen. Das Bohrfutter 18 ragt dabei über den Griffabschnitt 12 und die Bedienknöpfe 14 hinaus. Der Antrieb 16 und das Bohrfutter 18 sind vorzugsweise direkt oder mittels eines Getriebes (nicht dargestellt) verbunden. Direkt mit dem Antrieb 16 verbunden ist ein 10 piezoelektrischer Beschleunigungssensor 22 ausgebildet. Anders ausgedrückt ist der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 direkt metallisch mit dem Antrieb 16 gekoppelt. In nochmals anderen Worten kontaktiert der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 den Antrieb 16 direkt. Alternativ ist vorstellbar, dass 15 der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 mittels eines metallischen Verbindungselements mit dem Antrieb 16 verbunden ist. Auf diese Weise kann ein Körperschall der chirurgischen Bohrmaschine und insbesondere Körperschall des Antriebs 16 direkt von dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 aufgenommen werden. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 leitet 20 detektierte Beschleunigungssignale an einen Filter und einen Verstärker weiter. Der Filter und der Verstärker sind in einer hermetisch gekapselten Leiterplatte 24 ausgebildet. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 und die gekapselte Leiterplatte 24 sind hierbei in unmittelbarer Nähe zueinander in dem Handstück 10 der chirurgischen Bohrmaschine 2 untergebracht. Der piezoelektrische 25 Beschleunigungssensor 22 und die gekapselte Leiterplatte 24 sind mit einem Sensorkabel 26 verbunden. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 und die gekapselte Leiterplatte 24 sind in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel vollständig in dem Griffabschnitt 12 des Handstücks 10 aufgenommen.

30 Fig. 4 zeigt eine alternative Ausführungsform, insbesondere für ein erstes Handstück 4, einer ersten Ausführungsform. Konkret zeigt Fig. 4 eine Haltehülse 28, welche vorgesehen und ausgebildet ist, an einem ersten Handstück 4 angebracht zu werden und einen Bohrer 20 in einer Längsrichtung der Haltehülse

28, insbesondere zentrisch aufzunehmen und gegebenenfalls zu führen. Die Haltehülse 28 beinhaltet einen geriffelten Halteabschnitt 30 und einen Befestigungsabschnitt 32. Der Befestigungsabschnitt 32 ist vorgesehen und ausgebildet, den piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 (in dieser Ausführungsform nicht dargestellt) aufzunehmen. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 kann insbesondere mittels einer Fixierungsmasse oder einem Klebstoff oder einem Rastmechanismus oder dergleichen Fixiermittel auf dem Befestigungsabschnitt 32 der Haltehülse 28 fixiert werden. In anderen Worten kann der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 stoffschlüssig oder kraftschlüssig an der Haltehülse 28 fixiert werden. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf einer direkten Verbindung zwischen piezoelektrischem Beschleunigungssensor 22 und der Haltehülse 28. Anders ausgedrückt ist der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 so auf oder an der Haltehülse 28 fixiert, dass Schwingungen der Haltehülse 28 möglichst direkt und ohne Dämpfung an den piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 weitergeleitet werden. Im Unterschied zu der zweiten Ausführungsform in Fig. 2 und Fig. 3 ist der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 in der ersten Ausführungsform außerhalb des ersten Handstücks 4 ausgebildet. Bevorzugt ist bei dieser Ausführungsform der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 und die gekapselte Leiterplatte 24 in einem geschlossenen Identifikationselement /nicht dargestellt) ausgebildet. Die in Fig. 4 dargestellte Ausführungsform ist beispielsweise auch als eine Nachrüstlösung vorstellbar.

Fig. 5 zeigt einen piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 in einer schematischen Darstellung. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 beinhaltet eine seismische Masse 34 und einem Piezokristall / Piezokeramik 36. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 ist vorgesehen und ausgebildet, eine mechanische Schwingungsbeschleunigung a , welche auf den piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 wirkt, in ein Spannungsmesssignal U umzuwandeln. Anders ausgedrückt wirkt eine Schwingung auf den piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 und drückt die träge seismische Masse 34 auf den Piezokristall 36. Piezoelemente wie der Piezokristall 36 reagieren auf einwirkende Kräfte mit einer Ladungsverschiebung q im Kristall. Auf

diese Weise wird die auf den piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22 wirkende Schwingungsbeschleunigung in eine elektrische Ladung transformiert. Diese elektrische Ladung ist proportional zu einer einwirkenden Kraft. Die seismische Masse 34 und der Piezokristall 36 bilden ein Feder-Masse-System mit
5 Tiefpassverhalten und linearen Frequenzbereich.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der Erkennungseinrichtung der chirurgischen Bohrmaschine 2 erläutert. Bei dem Bohren in Knochen entstehen durch die Interaktion zwischen dem Bohrer 20 und dem Knochen Schwingungen
10 in der chirurgischen Bohrmaschine 2. Diese Schwingungen entstehen insbesondere in dem Antrieb 16 der chirurgischen Bohrmaschine 2. Der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 detektiert die Schwingungen in dem Antrieb 16 und überträgt ein analoges Spannungssignal mit dem Sensorkabel 26 an den Filter und den Verstärker, die sich auf der gekapselten Leiterplatte 24
15 befinden. Das analoge Spannungssignal wird von dem Filter gefiltert, um störende Signale herauszufiltern. Dies geschieht beispielsweise mit einer Hochpass- oder Tiefpassfilterung. Im Verstärker wird das Signal vorzugsweise um mindestens den Faktor zehn verstärkt. Das so vorbehandelte Signal (38 in Fig. 6) wird über das Kabel 8, welches das Handstück 10 mit der Basiseinheit 6
20 verbindet, an die Basiseinheit 6 übertragen.

Nachfolgend wird anhand von Fig. 6 eine Auswertung des vorbehandelten Signals 38 beschrieben.

25 Das durch den Filter und den Verstärker der gekapselten Leiterplatte 24 vorbehandelte Signal 38 liegt in einer WAV-Form vor. Das Signal 38 bildet die von dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor detektierte Beschleunigung über der Zeit t , hier in Sekunden ab. Das Signal wird in der Basiseinheit 6 von einem in der Basiseinheit 6 ausgebildeten Analog-digital-Wandler abgetastet und
30 anschließend mit einem Mikrocontroller in Frequenzanteile zerlegt. Die Zerlegung in die Frequenzanteile erfolgt, indem über definierte Zeitfenster eine Short-Time-Fouriertransformation durchgeführt wird. Ein erhaltenes Endsignal in Form eines Spektrogramms 40 repräsentiert die Zeit t , hier in Sekunden, auf der Abszisse zur

Frequenz f , Hier in Hertz, auf der Ordinate mit der Amplitude als Helligkeit. Zur besseren Veranschaulichung in dieser Offenbarung ist das Spektrogramm 40 invertiert dargestellt. Anders ausgedrückt sind Bereiche, die in dem eigentlichen Spektrogramm dunkel sind, hier hell dargestellt und helle Bereiche in dem eigentlichen Spektrogramm sind in dem hier dargestellten Spektrogramm 40 dunkel dargestellt. Das Spektrogramm 40 wird anschließend über in der Basiseinheit 6 enthaltene Mikrocontroller bzw. über ein KI trainiertes Netzwerk ausgewertet. Die Auswertung erfolgt nach dem „bounding box-Prinzip“. In anderen Worten wird das Spektrogramm 40 grafisch ausgewertet. Das KI trainierte Netzwerk legt unterschiedlich gelabelte Rechtecke über das Spektrogramm 40. Das KI trainierte Netzwerk positioniert die Rechtecke beispielsweise anhand der Helligkeit im Spektrogramm 40. Als Label werden „Leerlauf L“, „Bohren B“ und „Durchbruch D“ verwendet. Die Rechtecke können sich hierbei auch überlappen.

Die Detektion des Durchbruchs und / oder der Durchbruchstendenz erfolgt durch das KI trainierte Netzwerk auf Basis eines Aufleuchtens A im Spektrogramm 40. Wie oben bereits beschrieben, ist das Aufleuchten A in der vorliegenden Offenbarung zur besseren Veranschaulichung farbinvertiert dargestellt. Im Spektrogramm 40 ist auch die Grundfrequenz GF des Handstücks 10 deutlich zu erkennen. Das Aufleuchten A im Spektrogramm 40 steht für ein vermehrtes Auftreten hoher Amplituden im Signal. Das KI trainierte Netzwerk ist darauf trainiert, solche optischen Veränderungen in dem Spektrogramm 40 zu erkennen. Das KI trainierte Netzwerk kann bei der Erkennung eines Durchbruchs beispielsweise einen Motorstoppbefehl oder einen Alarm ausgeben. Bei dem Alarm kann es sich um einen akustischen Alarm in Form eines Warntones oder um einen optischen Alarm in Form eines Blinklichts oder dergleichen oder um einen haptischen Alarm in Form einer Vibration des Handstücks 4, 10 handeln.

Zusammenfassend detektiert der piezoelektrische Beschleunigungssensor 22 Schwingungsbeschleunigungen des Antriebs 16 des chirurgischen Bohrers 2. Diese Schwingungsbeschleunigungen werden durch einen Filter und ein Verstärker in oder an dem Handstück 4, 10 vorverarbeitet, und anschließend von einem Analog-digital-Wandler in der Basiseinheit 6 abgetastet. Nachfolgend

werden die Signale von dem Mikrocontroller in das Spektrogramm 40 umgewandelt. Das Spektrogramm 40 wird abschließend von einem KI trainierten Netzwerk analysiert / ausgewertet und anhand von optischen Veränderungen des Spektrogramm 40 wird ein Durchbruch bzw. eine Durchbruchstendenz erkannt.

Bezugszeichenliste

	2	chirurgische Bohrmaschine
	4	erstes Handstück
5	6	Basiseinheit
	8	Kabel
	10	zweites Handstück
	12	Griffabschnitt
	14	Bedienknöpfe
10	16	Antrieb
	18	Bohrfutter
	20	Bohrer
	22	piezoelektrischer Beschleunigungssensor
	24	Leiterplatte
15	26	Sensorkabel
	28	Haltehülse
	30	Halteabschnitt
	32	Befestigungsabschnitt
	34	seismische Masse
20	36	Piezokristall
	38	(vorbehandeltes) Signal
	40	Spektrogramm
	L	Leerlauf
	B	Bohren
25	D	Durchbruch
	A	Aufleuchten
	GF	Grundfrequenz
	t	Zeit
	f	Frequenz

Ansprüche

1. Chirurgische Bohrmaschine (2), in oder an welcher eine Erkennungseinrichtung ausgebildet ist, wobei die Erkennungseinrichtung, dafür
5 vorgesehen und ausgebildet ist, beim Bohren in einen Knochen mittels der chirurgischen Bohrmaschine (2) einen Bohrerdurchbruch und/oder eine Durchbruchstendenz zu erkennen, mit zumindest einem, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensor (22) zur Erzeugung piezoelektrischer Beschleunigungssignale und einer Auswerteeinheit, die dafür
10 vorgesehen ist, Durchbruchs- und/oder Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen zu identifizieren.

2. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 1, wobei der piezoelektrische Beschleunigungssensor (22) Körperschallsignale detektiert,
15 welche als analoge Signale an die Auswerteeinheit übermittelt werden.

3. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Auswerteeinheit zumindest einen Verstärker, insbesondere mit einer Verstärkung größer / gleich zehn und / oder einen Filter, insbesondere ein Butterworth-Filter n-
20 ter Ordnung oder ein Bandpassfilter, beinhaltet.

4. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 3, wobei die Auswerteeinheit einen Analog-Digital-Wandler beinhaltet, welcher die analogen Signale mit einer Abtastrate von zumindest 20000 Hz, insbesondere mit einer
25 Abtastrate von ungefähr 25600 Hz abtastet.

5. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Auswerteeinheit, vorzugsweise mit einem Microcontroller, die Signale mittels einer Fouriertransformation, insbesondere einer Short-Time-Fourier-Transformation, in
30 ein Spektrogramm (40), vorzugsweise in ein Melspektrogramm, umwandelt.

6. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 5, wobei die Auswerteeinheit das Spektrogramm (40) mit einem KI-trainierten Netzwerk,

vorzugsweise mittels eines „Bounding boxes-Prinzip“ ausgewertet und bei einem Aufleuchten des Spektrogramms (40) den Bohrerdurchbruch oder die Bohrerdurchbruchstendenz identifiziert.

5 7. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach Anspruch 6, wobei das KI-trainierte Netzwerk ein Cloudnetzwerk ist, das von kompatiblen Erkennungseinrichtungen mit Daten gespeist wird.

10 8. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der piezoelektrische Beschleunigungssensor (22) seine höchste Empfindlichkeit in einem Messfrequenzbereich bis 10000 Hz besitzt.

15 9. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der piezoelektrische Beschleunigungssensor (22) durch direkte metallische Anbindung an einen Antrieb (16) der chirurgischen Bohrmaschine (2) gekoppelt ist.

20 10. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei ein Verstärker und / oder ein Filter der Auswerteeinheit auf einer Platine 24 ausgebildet ist / sind, welche in direkter Nähe zu dem piezoelektrischen Beschleunigungssensor 22, vorzugsweise hermetisch abgedichtet, in / an der chirurgischen Bohrmaschine (2) ausgebildet sind.

25 11. Chirurgische Bohrmaschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei eine Auswerteeinheit vollständig oder teilweise in einer extern von der chirurgischen Bohrmaschine vorgesehenen Basiseinheit (6) ausgebildet ist.

30 12. Erkennungseinrichtung, die dafür vorgesehen und ausgebildet ist, beim Bohren in einen Knochen mittels einer chirurgischen Bohrmaschine (2) einen Bohrerdurchbruch und/oder eine Durchbruchstendenz zu erkennen, mit zumindest einem, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensor (22) zur Erzeugung piezoelektrischer Beschleunigungssignale und einer Auswerteeinheit, die dafür vorgesehen ist, Durchbruchs- und/oder

Durchbruchstendenz - charakteristische Signale oder Signalschwankungen zu identifizieren.

13. Verfahren zur Erkennung vorbestimmter Betriebszustände einer chirurgischen Bohrmaschine (2) mit den folgenden Verfahrensschritten:
- Erzeugen von piezoelektrischen Beschleunigungssignalen unter Verwendung eines, insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensors (22), der an oder in der chirurgischen Bohrmaschine (2) angeordnet ist oder wird,
 - Weiterleiten der Beschleunigungssignale an eine Auswerteeinheit und
 - Identifizieren von solchen Signalen oder Signalschwankungen, die für die vorbestimmten Betriebszustände charakteristisch sind.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei in der Auswerteeinheit das Beschleunigungssignal ausgewertet wird mit den Schritten:
- Filtern des Beschleunigungssignals mit einem Filter, vorzugsweise einem Butterworth-Filter n-ter Ordnung oder einem Bandpassfilter;
 - Verstärken des Beschleunigungssignals mit einem Verstärker, vorzugsweise einem Verstärker mit einer Verstärkung größer / gleich 10;
 - Abtasten des Beschleunigungssignals mit einem Analog-Digital-Wandler;
 - Umwandeln des (digitalen) Beschleunigungssignals in Spektrogramme (40), vorzugsweise mittels Fouriertransformation, insbesondere vorzugsweise mittels Short-Time-Fourier-Transformation;
 - Auswerten der Spektrogramme (40) mittels eines „Bounding boxes-Prinzip“ in einem KI-Trainierten Netzwerk.

15. Verwendung eines insbesondere einachsigen, piezoelektrischen Beschleunigungssensors (22), der zur Erfassung vorbestimmter Betriebszustände an oder in einer Knochenbohrmaschine (2) angeordnet ist oder wird.

1/3

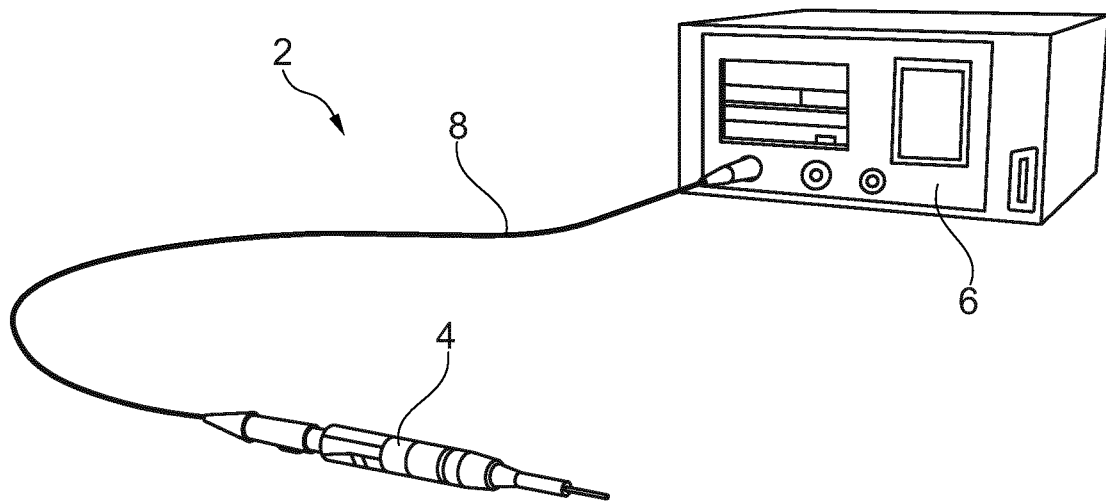


Fig. 1

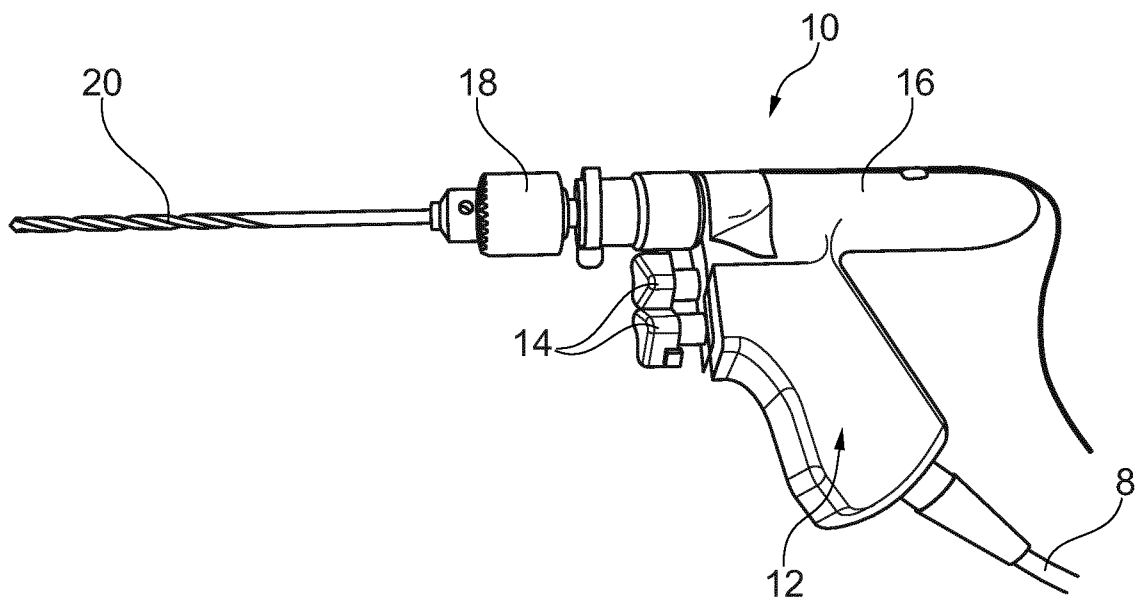


Fig. 2

2/3

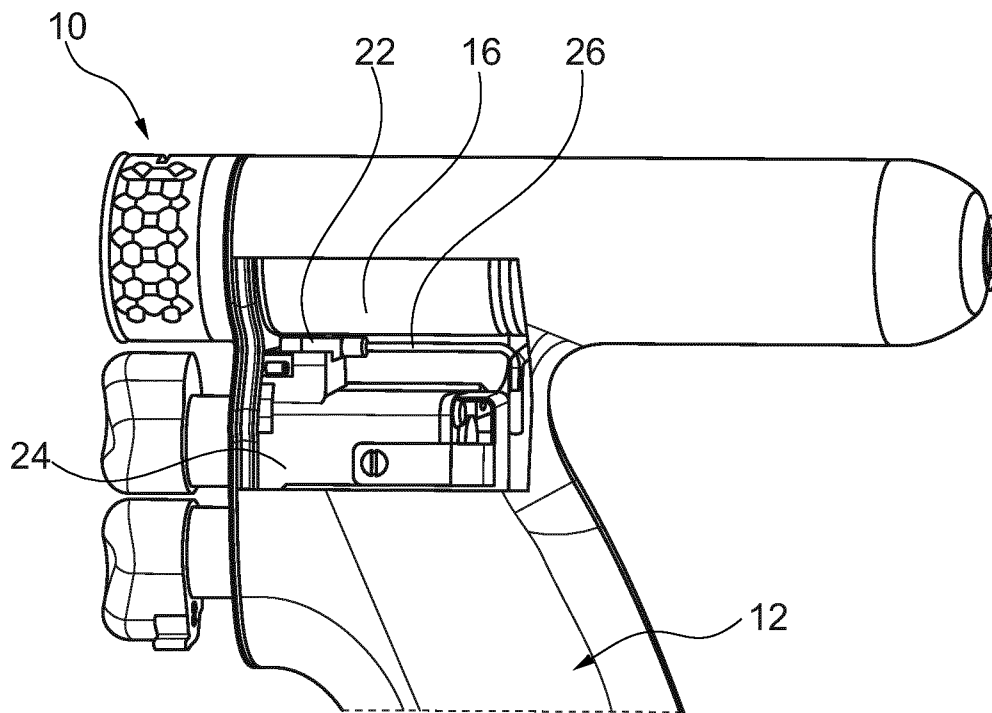


Fig. 3

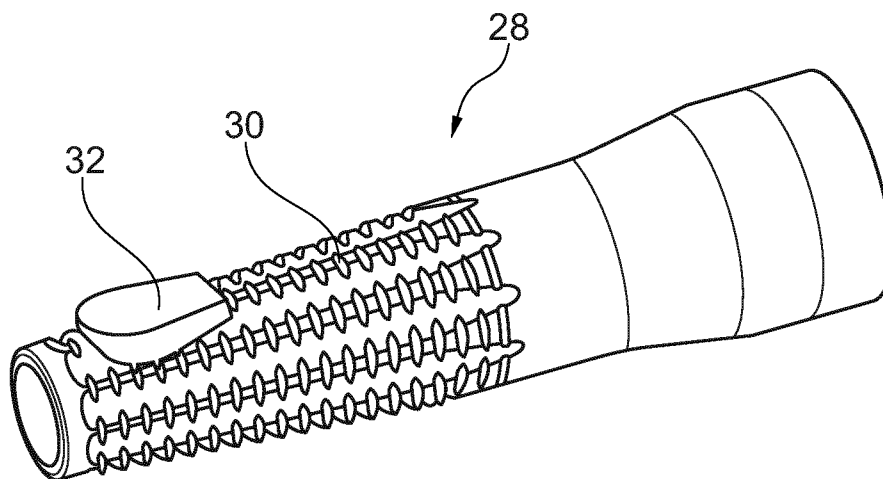


Fig. 4

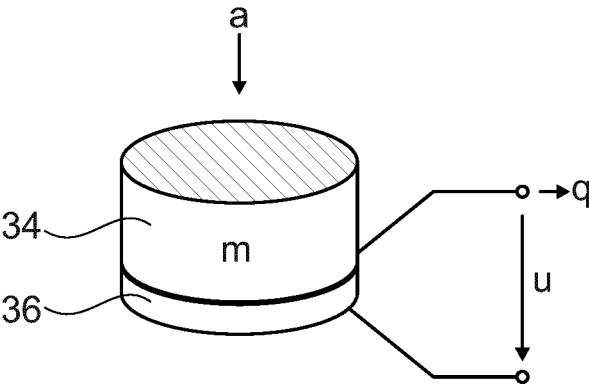


Fig. 5

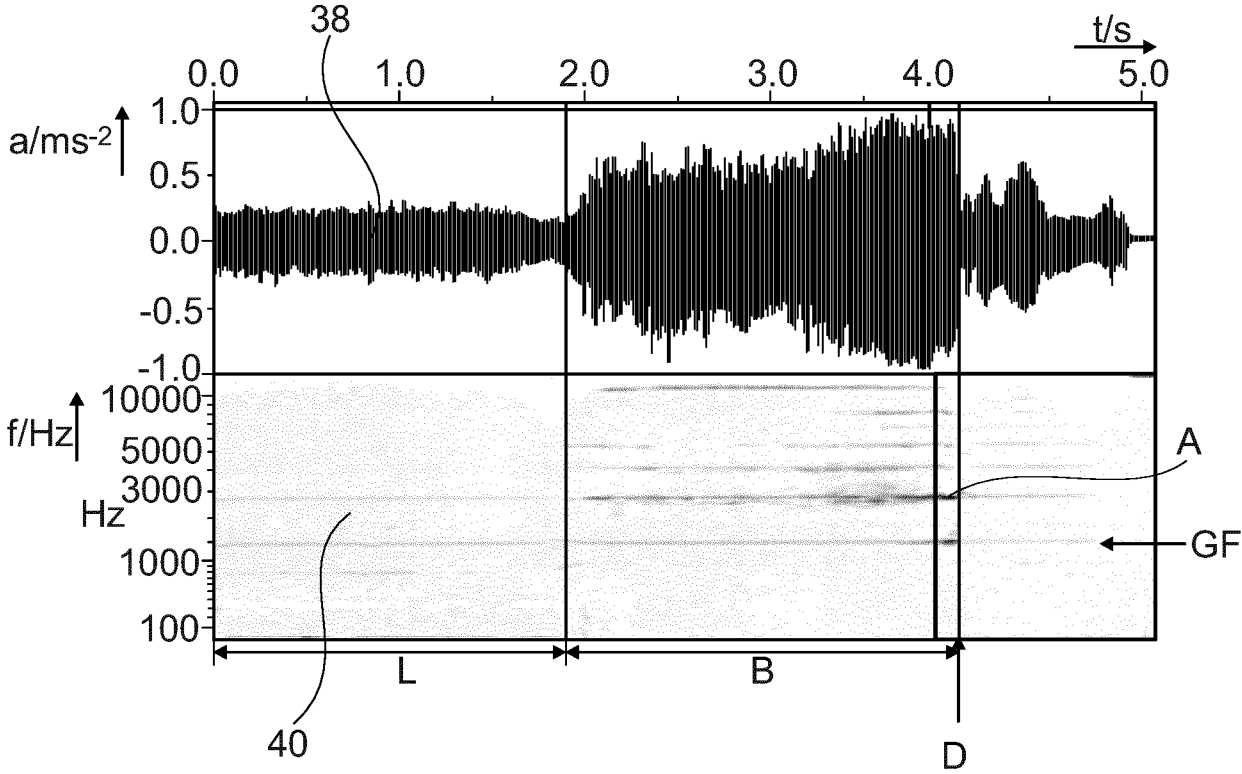


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/055040

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**A61B 17/16**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021011795 A1 (HENRY M JACKSON FOUND ADVANCEMENT MILITARY MEDICINE INC [US] ET AL.) 21 January 2021 (2021-01-21)	1,3-12
A	figures 1A, 1B, 10A, 10B	2
X	WO 2017078754 A1 (MCGINLEY ENG SOLUTIONS LLC [US]) 11 May 2017 (2017-05-11)	1,5,12
	figures 1-4	
X	CN 113749726 A (XU JINQIAO) 07 December 2021 (2021-12-07)	1,12
	figure 3	
X	US 2015066030 A1 (MCGINLEY JOSEPH C [US] ET AL) 05 March 2015 (2015-03-05)	1,5,12
	paragraph [0085]; figures 2, 3a	
X	WO 2016199152 A1 (ORTHODRILL MEDICAL LTD [IL]) 15 December 2016 (2016-12-15)	1, 12
	the entire document	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 May 2023

Date of mailing of the international search report

16 May 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Fernández Arillo, J

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/055040

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: **13-15**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

The application does not meet the requirements of PCT Rule 39.1(iv), because, in view of the description, the uses defined in claims 13-15 (see claims 13 and 15) relate to methods for treatment of the human or animal body by surgery. Pursuant to PCT Rule 39.1(iv), no search was carried out in respect of the subject matter of these claims.
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/055040

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2021011795	A1	21 January 2021	EP	3998965	A1	25 May 2022
				US	2022257266	A1	18 August 2022
				WO	2021011795	A1	21 January 2021
WO	2017078754	A1	11 May 2017	EP	3370629	A1	12 September 2018
				US	2017128081	A1	11 May 2017
				US	2019254685	A1	22 August 2019
				WO	2017078754	A1	11 May 2017
CN	113749726	A	07 December 2021	NONE			
US	2015066030	A1	05 March 2015	AU	2014315652	A1	31 March 2016
				EP	3041419	A1	13 July 2016
				HK	1226274	A1	29 September 2017
				US	2015066030	A1	05 March 2015
				US	2015066035	A1	05 March 2015
				US	2015066036	A1	05 March 2015
				US	2015066037	A1	05 March 2015
				US	2015066038	A1	05 March 2015
				US	2017245868	A1	31 August 2017
				US	2018185034	A1	05 July 2018
				US	2019328402	A1	31 October 2019
				WO	2015034562	A1	12 March 2015
WO	2016199152	A1	15 December 2016	CN	107847236	A	27 March 2018
				CN	107921554	A	17 April 2018
				EP	3307181	A1	18 April 2018
				EP	3307464	A1	18 April 2018
				US	2016361069	A1	15 December 2016
				US	2016361070	A1	15 December 2016
				WO	2016199152	A1	15 December 2016
				WO	2016199153	A1	15 December 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. A61B17/16 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) A61B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2021/011795 A1 (HENRY M JACKSON FOUND ADVANCEMENT MILITARY MEDICINE INC [US] ET AL.) 21. Januar 2021 (2021-01-21)	1, 3-12
A	Abbildungen 1A, 1B, 10A, 10B -----	2
X	WO 2017/078754 A1 (MCGINLEY ENG SOLUTIONS LLC [US]) 11. Mai 2017 (2017-05-11)	1, 5, 12
	Abbildungen 1-4 -----	
X	CN 113 749 726 A (XU JINQIAO) 7. Dezember 2021 (2021-12-07)	1, 12
	Abbildung 3 -----	
X	US 2015/066030 A1 (MCGINLEY JOSEPH C [US] ET AL) 5. März 2015 (2015-03-05)	1, 5, 12
	Absatz [0085]; Abbildungen 2, 3a -----	
	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. Mai 2023		16/05/2023
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Fernández Arillo, J

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2016/199152 A1 (ORTHODRILL MEDICAL LTD [IL]) 15. Dezember 2016 (2016-12-15) das ganze Dokument -----	1, 12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2023/055040

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☒ Ansprüche Nr. **13–15**
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
siehe BEIBLATT PCT/ISA/210
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung;; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN**PCT/ISA/ 210****Fortsetzung von Feld II.1****Ansprüche Nr.: 13-15**

Die Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse der Regel 39.1(iv) PCT, weil die in den Ansprüche 13-15 (siehe Ansprüche 13 und 15) definierte Verwendungen, angesichts der Beschreibung, Methoden zur chirurgischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers betreffen. Gemäß Regel 39.1(iv) PCT wurde der Gegenstand dieser Ansprüche nicht recherchiert.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/055040

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2021011795 A1	21-01-2021	EP 3998965 A1	25-05-2022
		US 2022257266 A1	18-08-2022
		WO 2021011795 A1	21-01-2021
WO 2017078754 A1	11-05-2017	EP 3370629 A1	12-09-2018
		US 2017128081 A1	11-05-2017
		US 2019254685 A1	22-08-2019
		WO 2017078754 A1	11-05-2017
CN 113749726 A	07-12-2021	KEINE	
US 2015066030 A1	05-03-2015	AU 2014315652 A1	31-03-2016
		EP 3041419 A1	13-07-2016
		HK 1226274 A1	29-09-2017
		US 2015066030 A1	05-03-2015
		US 2015066035 A1	05-03-2015
		US 2015066036 A1	05-03-2015
		US 2015066037 A1	05-03-2015
		US 2015066038 A1	05-03-2015
		US 2017245868 A1	31-08-2017
		US 2018185034 A1	05-07-2018
		US 2019328402 A1	31-10-2019
		WO 2015034562 A1	12-03-2015
WO 2016199152 A1	15-12-2016	CN 107847236 A	27-03-2018
		CN 107921554 A	17-04-2018
		EP 3307181 A1	18-04-2018
		EP 3307464 A1	18-04-2018
		US 2016361069 A1	15-12-2016
		US 2016361070 A1	15-12-2016
		WO 2016199152 A1	15-12-2016
		WO 2016199153 A1	15-12-2016