



(10) **DE 10 2011 111 671 A1** 2013.02.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 111 671.4**

(22) Anmeldetag: **26.08.2011**

(43) Offenlegungstag: **28.02.2013**

(51) Int Cl.: **A61B 17/16** (2011.01)

(71) Anmelder:
Roland-Klinik gGmbH, 28201, Bremen, DE;
Universität Bremen, 28359, Bremen, DE

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209, Bremen, DE

(72) Erfinder:
von Freyberg, Axel, 28865, Lilienthal, DE;
Stöbener, Dirk, Dipl.-Phys., 28211, Bremen, DE;
Goch, Gert, Prof. Dr.-Ing., 28209, Bremen, DE;
Sorg, Michael, Dipl.-Ing., 27777, Ganderkesee, DE;
Spicher, Rüdiger, 27321, Thedinghausen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

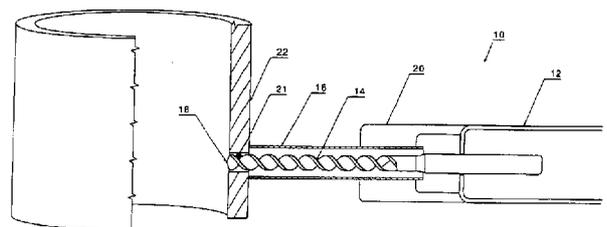
DE	103 03 964	A1
DE	197 14 167	A1
DE	10 2006 006 988	A1
DE	10 2006 031 356	A1
US	2011 / 0 245 833	A1
WO	2009/ 158 115	A1
CN	101 530 341	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Bohrmaschine, insbesondere medizinische Bohrmaschine, und Bohrverfahren, insbesondere
medizinisches Bohrverfahren**

(57) Zusammenfassung: Bohrmaschine, insbesondere me-
dizinische Bohrmaschine, mit einem Gehäuse, in dem ein
Elektromotor und ein von diesem angetriebener Bohrmecha-
nismus mit einem Bohrer angeordnet sind, dadurch gekenn-
zeichnet, dass sie ferner eine Bohrereindringtiefemessein-
richtung, eine Axialkraftmesseinrichtung, eine Körperschall-
messeinrichtung und eine Signalauswerteeinrichtung zur
Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamen
zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbe-
sondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohren-
den Körper aufweist, und Bohrverfahren, insbesondere me-
dizinisches Bohrverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass
während des Bohrens eines Bohrkanals in einen zu bohren-
den Körper die Eindringtiefe eines Bohrers, die Axialkraft, mit
der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird,
und der Körperschall in dem zu bohrenden Körper gleichzei-
tig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Län-
ge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Kör-
per hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften,
Materialübergang in den zu bohrenden Körper ausgewertet
werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt
wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bohrmaschine, insbesondere eine medizinische Bohrmaschine, und ein Bohrverfahren, insbesondere ein medizinisches Bohrverfahren.

[0002] In der Chirurgie und Orthopädie werden im Rahmen der Versorgung von Knochenbrüchen, aber auch bei der Korrektur von angeborenen oder erworbenen Fehlstellungen des Skelettsystems, Metallimplantate zur Stabilisation an oder in den Knochen eingesetzt (sogenannte Osteosynthesen). Diese operativen Techniken der Knochenstabilisation kommen allein in Deutschland pro Jahr hunderttausendfach, weltweit aber millionenfach zur Anwendung.

[0003] Als Osteosynthesematerialien werden seit Jahrzehnten zumeist Schrauben oder Kombinationen aus Metallplatten und Schrauben verwendet. Diese Implantate bestehen in der Regel aus Edelstahl, zunehmend häufiger aus einer Titanlegierung.

[0004] Zur stabilen Verankerung der Schrauben ist es erforderlich, im Knochen gezielt Bohrkanäle anzulegen. Dabei sollte die implantierte Schraube mit der hinteren Knochenwand genau abschließen, da ein Schraubenüberstand zu einer chronischen Irritation und Schädigung der umgebenden Weichteile führt. Eine zu kurz gewählte Schraube kann wiederum durch Auslockerung in ein Implantatversagen münden mit dem Resultat der knöchernen Instabilität.

[0005] Die Bestimmung der korrekten Schraubenlänge erfolgt im Stand der Technik routinemäßig indirekt über eine Messung der Tiefe bzw. Länge des angelegten Bohrkanals. Als Messinstrument dient eine mechanische Messlehre. Jedoch erweist sich der Messvorgang im Alltag immer wieder als problematisch, da messtechnisch bedingt fehlerhafte und teilweise nicht reproduzierbare Längenbestimmungen der Bohrkanäle resultieren. Die fehlerbehaftete Messtechnik führt dann unweigerlich zur Gefahr der Implantation einer falschen Schraubenlänge mit den oben aufgezeigten nachteiligen Konsequenzen. Eine Kontrolle der Schraubenlänge ist zumeist nur durch intraoperative Röntgenuntersuchung möglich, da das gegenüberliegende Schraubenende vom Operationsschnitt (Zugang) nicht einsehbar ist und durch die abgewandte Knochenwand verdeckt wird. Während einer laufenden Operation wird in der Regel nur ein Teil der fehlerhaften Bestimmungen erkannt, so dass eine Korrektur hier noch möglich wird. Ein weiterer Anteil der fehlerhaft bestimmten Schraubenlängen bleibt jedoch unerkannt und somit auch unkorrigiert. Diese Messfehler haben insbesondere für den Patienten, aber auch für das beteiligte Operations- und Narkoseteam nachteilige Folgen. Neben den gesundheitlichen Nachteilen für den Patienten und den ökonomischen Folgen durch erforderliche Folgeein-

griffe ist auch mit möglichen Regressforderungen an den Klinikträger bzw. den ausführenden Operateur zu rechnen.

[0006] Das oben beispielhaft für den medizinischen Bereich geschilderte Problem besteht ganz allgemein in Fällen, wenn man nicht in den zu bohrenden Körper hineinsehen kann und/oder wenn die von dem Eintrittspunkt des Bohrkanals abgewandte Seite des zu bohrenden Körpers nicht optisch zugänglich ist. Zudem kann der zu bohrende Körper nicht nur aus einem einheitlichen Material, sondern beispielsweise aus mehreren Materialschichten bestehen oder ein Hohlkörper sein. Der Bohrkanal muss sich auch nicht in jedem Fall durch den gesamten Körper erstrecken, sondern könnte beispielsweise auch nur durch eine oder mehrere Materialschichten notwendig sein.

[0007] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine genaue Messung von Längen von Bohrkanälen, insbesondere wenn man nicht in den zu bohrenden Körper hineinsehen kann und/oder die von dem Eintrittspunkt des Bohrkanals abgewandte Seite des Bohrkörpers nicht optisch zugänglich ist, zu ermöglichen.

[0008] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch eine Bohrmaschine, insbesondere medizinische Bohrmaschine, mit einem Gehäuse, in dem ein Motor, vorzugsweise ein Elektromotor, und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner eine Bohrereindringtiefenmess-einrichtung zur Messung der Eindringtiefe des Bohrers während des Bohrens eines Bohrkanals in einen zu bohrenden Körper, eine Axialkraftmesseinrichtung zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, während des Bohrens, eine Körperschallmesseinrichtung zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper während des Bohrens und eine Signalauswerteeinrichtung zur Auswertung der von der Bohrereindringtiefen-, der Axialkraftmess- und der Körperschallmess-einrichtung gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper aufweist. Bei dem zu bohrenden Körper kann es sich beispielsweise um einen menschlichen oder tierischen Knochen handeln.

[0009] Gemäß einem zweiten Aspekt wird diese Aufgabe gelöst durch eine Bohrmaschine, insbesondere medizinische Bohrmaschine, mit einem Gehäuse, in dem ein Motor, vorzugsweise ein Elektromotor, und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner eine Bohrereindringtiefenmesseinrichtung zur Messung der Eindringtiefe des Bohrers während des Bohrens eines Bohrka-

nals in einen zu bohrenden Körper, eine Axialkraftmesseinrichtung zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, während des Bohrens, eine Reflexionsmesseinrichtung zur Messung der Reflexion von Licht an den zu bohrenden Körper vor der Bohrerspitze während des Bohrens und eine Signalauswerteeinrichtung zur Auswertung der von der Bohrereindringtiefe-, der Axialkraftmess- und der Reflexionsmesseinrichtung gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper aufweist.

[0010] Weiterhin wird diese Aufgabe gelöst durch ein Bohrverfahren, insbesondere medizinisches Bohrverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens eines Bohrkanals in einen zu bohrenden Körper die Eindringtiefe eines Bohrers, die Axialkraft, mit der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, und der Körperschall in dem zu bohrenden Körper gleichzeitig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper ausgewertet werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt wird. Als Motor kann beispielsweise auch ein Druckluft- oder Hydraulikmotor verwendet werden.

[0011] Weiterhin wird diese Aufgabe gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch ein Bohrverfahren, insbesondere medizinisches Bohrverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens eines Bohrkanals in einen zu bohrenden Körper die Eindringtiefe eines Bohrers, die Axialkraft, mit der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, und die Reflexion von Licht an dem zu bohrenden Körper vor der Bohrerspitze gleichzeitig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper ausgewertet werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt wird.

[0012] Bei der Bohrmaschine gemäß dem zweiten Aspekt kann vorgesehen sein, dass sie eine Körperschallmesseinrichtung zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper während des Bohrens aufweist.

[0013] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Bohrmaschine eine Handbohrmaschine (auch handbetätigbare Bohrmaschine genannt).

[0014] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung weist die Bohrereindringtiefmesseinrichtung eine den Bohrer konzentrisch umgebende Hülse, die über einen Verschiebebereich in Längsrichtung des Bohrers verschiebbar und in einer vordersten zur Spitze des Bohrers hin gelegenen Position des Verschiebebereiches elastisch vorgespannt ist, und einen Wegsensor zur Erfassung der während des Bohrens von der Hülse ab Aufsetzen auf den zu bohrenden Körper von der Hülse nach hinten zurückgelegten Verschiebestrecke auf. Die Hülse kann auch als Bohrhülse zum Weichteilschutz während eines Bohrvorgangs verwendet werden.

[0015] Alternativ weist die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen sich parallel zum Bohrer erstreckenden Stab, der über einen Verschiebebereich in seiner Längsrichtung verschiebbar und in einer vordersten zur Spitze des Bohrers hin gelegenen Position des Verschiebebereiches elastisch vorgespannt ist, und einen Wegsensor zur Erfassung der während des Bohrens von dem Stab ab Aufsetzen auf den zu bohrenden Körper von dem Stab nach hinten zurückgelegten Verschiebestrecke auf.

[0016] Wiederum alternativ weist die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen optischen Abstandsmesser, insbesondere Laserabstandsmesser, zur Bestimmung des Abstands der Bohrmaschine zu einem zu bohrenden Körper während des Bohrens eines Bohrkanals in selbigen auf.

[0017] Andererseits ist auch denkbar, dass die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen akustischen Abstandsmesser, insbesondere Ultraschallabstandsmesser, zur Bestimmung des Abstands der Bohrmaschine zu einem zu bohrenden Körper während des Bohrens eines Bohrkanals in selbigen aufweist.

[0018] Zweckmäßigerweise weist die Axialkraftmesseinrichtung einen Drucksensor, insbesondere eine Kraftmessdose, auf.

[0019] Vorteilhafterweise ist der Drucksensor zwischen dem hinteren Ende des Bohrers und einer zum Bohrmechanismus gehörigen Werkzeugwelle oder auf oder in der Werkzeugwelle angeordnet.

[0020] Ebenfalls vorteilhafterweise weist die Körperschallmesseinrichtung einen Schwingungssensor zwischen dem hinteren Ende des Bohrers und der Werkzeugwelle oder auf oder in der Werkzeugwelle auf.

[0021] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform ist ein Schwingungsanreger zur aktiven Anregung von mechanischen Schwingungen in dem Bohrer vorgesehen. Insbesondere kann eine vorzugsweise mechanische Kupplung vorgesehen sein, die so gestaltet ist, dass sie von dem Schwin-

gungsanreger erzeugte Schwingungen nur dann ein-koppelt, wenn der Bohrer nach dem Aufsetzen auf einen zu bohrenden Körper einen Gegendruck erfährt. Diese Variante mit aktiver Schwingungsanregung anstelle eines passiven Verfahrens, vorzugsweise im kHz-Bereich, weist den Vorteil auf, dass die Frequenz der eingebrachten Schwingung bekannt ist und dadurch die Signalauswertung vereinfacht wird. Alternativ zur mechanischen Kupplung kann beispielsweise auch ein Axialkraftsensor oder Drucksensor dafür verwendet werden, die aktive Schwingungsanregung kraft- oder druckabhängig ein- und auszuschalten.

[0022] Günstigerweise ist ein Drehwinkelsensor zur Erfassung der Drehzahl und/oder des Drehwinkels des Bohrers während des Bohrens vorgesehen.

[0023] Vorteilhafterweise wird/werden die erfasste Drehzahl und/oder der erfasste Drehwinkel ebenfalls der Signalauswerteeinrichtung zur Auswertung und zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals zugeführt.

[0024] Alternativ oder zusätzlich kann ein Drehmomentsensor zur Erfassung des Drehmoments des Bohrers während des Bohrens vorgesehen sein. Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass das erfasste Drehmoment ebenfalls der Signalauswerteeinrichtung zur Auswertung und zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals zugeführt wird.

[0025] Günstigerweise ist eine automatische Abschalteneinrichtung zum automatischen Abschaltung nach Erkennen eines vollständigen Durchbohrens vorgesehen.

[0026] Bei dem Bohrverfahren gemäß dem zweiten Aspekt kann vorgesehen sein, dass während des Bohrens eines Bohrkanals in einen zu bohrenden Körper die Eindringtiefe eines Bohrers, die Axialkraft, mit der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, und die Reflexion von Licht an dem zu bohrenden Körper vor der Bohrspitze gleichzeitig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper ausgewertet werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt wird.

[0027] Schließlich betreffen die Unteransprüche 21 bis 26 vorteilhafte Weiterentwicklungen des Bohrverfahrens.

[0028] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass durch die gleichzeitige Messung der Eindringtiefe des Bohrers, der Axialkraft sowie des Körperschalls und/oder der Reflexion von Licht auf einfache und schnelle Weise das vollständige Durchdringen eines Körpers oder das Durchdrin-

gen von einer oder mehreren Materialschicht(en) eines Körpers erkannt und dadurch die Länge eines Bohrkanals durch den gesamten Körper bzw. durch eine oder mehrere Materialschicht(en) und/oder Materialübergänge ermittelt und/oder Materialschichtstärken bestimmt werden können. Bezüglich des Eingangs im Zusammenhang mit dem Bohren von Knochen beschriebenen Problems liefert die vorliegende Erfindung eine Arbeitserleichterung, indem nämlich anstelle der bisher benötigten drei Arbeitsschritte zur Einbringung von Schrauben (Bohren, Messung der Länge eines Bohrkanals und Einbringen der Schraube) lediglich zwei Arbeitsschritte (Bohren und gleichzeitige Messung der Länge eines Bohrkanals sowie Einbringen der Schraube) benötigt werden. Zudem lässt sich die Länge des Bohrkanals genauer als bisher messen. Dies liegt an der zusätzlichen Messung des Körperschalls, der beim Bohren eines Knochens auftritt. Da Knochen aus verschiedenen Schichten bestehen, werden beim Bohren verschiedene Schwingungen bezüglich Frequenzspektrum und Amplitude erzeugt. Beim Aufsetzen des Bohrers auf die äußere Knochenschicht (Kortikales) verändern sich die Schwingungen gegenüber dem Bohren im Knochenbälkchen (Spongiosa) oder in der Knochenmarkhöhle. Beim Austritt des Bohrers aus dem Knochen wiederum nehmen die vom Bohrvorgang verursachten Schwingungen stark ab. Die von einer Körperschallmeseinrichtung aufgenommenen Schwingungen können von einer Signalauswerteeinrichtung analysiert werden. Anhand des Schwingungsprofils lassen sich die Zeitpunkte des Eintritts und Austritts des Bohrers in und aus dem Knochen identifizieren.

[0029] In einer besonderen Ausführungsform dient die Messung des Körperschalls dazu, den Zeitpunkt des Eintritts des Bohrers in einen Knochen und den Zeitpunkt des Austritts desselben aus dem Knochen zu bestimmen und anhand der zu den jeweiligen Zeitpunkten gemessenen Bohreindringtiefen und der Bildung der Wegdifferenz die Länge des Bohrkanals zu bestimmen. Der Axialkraftmessung kann – insbesondere in diesem Zusammenhang – die Aufgabe zukommen, eine Fehldetektion des Austritts eines Bohrers aus einem Knochen beispielsweise bei Unterbrechung des Bohrvorgangs durch einen Chirurgen zu vermeiden.

[0030] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den beigefügten Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der mehrere Ausführungsbeispiele anhand der schematischen Zeichnungen im einzelnen erläutert werden. Dabei zeigt:

[0031] Fig. 1 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung im Einsatz;

[0032] Fig. 2 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung im Einsatz;

[0033] Fig. 3 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung im Einsatz;

[0034] Fig. 4 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung im Einsatz;

[0035] Fig. 5 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

[0036] Fig. 6 eine Seitenansicht von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung im Einsatz;

[0037] Fig. 7 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

[0038] Fig. 8 zwei Graphiken, von denen die obere die zeitlich aufgelösten Amplitudenwerte in willkürlichen Einheiten für verschiedene Frequenzanteile des Körperschallsignals in Abhängigkeit von der Zeit und die untere die gemessene Amplitude des Körperschalls in willkürlichen Einheiten in Abhängigkeit von der Zeit zeigt; und

[0039] Fig. 9 eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einer Bohrmaschine gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung.

[0040] Fig. 1 zeigt den vorderen Teil einer Bohrmaschine 10 mit einem Gehäuse 12, in dem ein Elektromotor (nicht gezeigt) und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer 14 angeordnet sind. Die Bohrmaschine 10 weist eine Bohrer-eindringtiefmesseinrichtung auf. Diese umfasst eine den Bohrer 14 konzentrisch umgebende Hülse 16, die über einen Verschieberegion in Längsrichtung des Bohrers 14 verschiebbar und in einer vordersten zur Spitze 18 des Bohrers 14 hin gelegenen Position des Verschieberegions elastisch vorgespannt ist, und einen Wegsensor 20 zur Erfassung der während des Bohrens eines Bohrkanals 21 von der Hülse 16 ab Aufsetzen auf einen zu bohrenden Körper 22 von der Hülse 16 nach hinten zurückgelegten Verschiebestrecke. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich bei dem Körper 22 um einen zylindrischen Hohlkörper.

[0041] Die in der Fig. 2 gezeigte Ausführungsform unterscheidet sich von derjenigen von Fig. 1 darin, dass anstelle der Hülse 16 ein sich parallel zum Bohrer 14 erstreckender Stab 24 vorgesehen ist, der über einen Verschieberegion in seiner Längsrichtung ver-

schiebbar und in einer vordersten zur Spitze 18 des Bohrers 14 hin gelegenen Position des Verschieberegions elastisch vorgespannt ist. Der zu bohrende Körper 22 ist genau wie in der Fig. 1 ein zylindrischer Hohlkörper.

[0042] Die in der Fig. 3 gezeigte Ausführungsform unterscheidet sich von der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform darin, dass anstelle der Hülse 16 und des Wegsensors 20 ein optischer Abstandsmesser 26 zur Bestimmung des Abstands der Bohrmaschine 10 zu einem zu bohrenden Körper 22 während des Bohrens eines Bohrkanals 21 vorgesehen ist. Der optische Abstandsmesser umfasst einen Laser als Sender von Licht und einen Empfänger von Licht, das an der Oberfläche des Körpers 22 reflektiert wird.

[0043] In dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Körper 22 um ein Werkstück, das aus mehreren unterschiedlichen Materialschichten 28, 30, 32 und 34 besteht.

[0044] Das in der Fig. 4 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel darin, dass anstelle eines optischen Abstandsmessers 26 ein akustischer Abstandsmesser 36 vorgesehen ist. Dieser weist einen Ultraschall-Sender und einen Ultraschall-Empfänger auf.

[0045] Auch wenn dies in den Fig. 1 bis Fig. 4 nicht gezeigt ist, weisen die darin gezeigten Bohrmaschinen 10 zusätzlich eine Axialkraftmeseinrichtung zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer 14 auf den zu bohrenden Körper 22 gedrückt wird, während des Bohrens und eine Körperschallmeseinrichtung zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper 22 während des Bohrens sowie eine Signalauswerteeinrichtung zur Auswertung der von der Bohrer-eindringtiefmess-, der Axialkraftmess- und der Körperschallmeseinrichtung gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals 21 durch den gesamten zu bohrenden Körper 22 hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper, beispielsweise beim Übergang von der Wand des Hohlkörpers in den Hohlraum bzw. beim Übergang von einer Materialschicht zur anderen auf.

[0046] In der Fig. 5 ist ebenfalls ein Teil einer Bohrmaschine 10 gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Diese kann genau wie die vorangehend gezeigten und beschriebenen Bohrmaschinen als eine Handbohrmaschine verwendet werden. Zudem kann sie ebenfalls insbesondere zum Bohren von menschlichen oder tierischen Knochen eingesetzt werden. Sie weist ein Gehäuse 12 auf, in dem ein Elektromotor (nicht gezeigt) und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer 14 angeordnet sind. Der Bohrmechanis-

mus umfasst eine Werkzeugwelle **38** (Bohrgestänge). Entlang der Werkzeugwelle **38** sind ausgehend von dem Bohrschaft **40** nach hinten ein Drucksensor **42** zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer auf den zu bohrenden Körper gedrückt wird, während des Bohrens, ein Drehwinkelsensor **44** zur Erfassung der Drehzahl und/oder des Drehwinkels des Bohrers **14** während des Bohrens, ein Schwingungssensor **46** zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper **22** (Körperschall) während des Bohrens, ein elektromagnetischer Schwingungsanreger **48** zur aktiven Anregung von mechanischen Schwingungen in dem Bohrer **14** und ein Drehmomentsensor **50** zur Erfassung des Drehmoments des Bohrers **14** während des Bohrens vorgesehen. Die Werkzeugwelle **38** ist so gelagert, dass der Bohrer **14** kleine Axialbewegungen durchführen kann, um die aktive Schwingungsanregung mittels des elektromagnetischen Schwingungsanregers **48** zu ermöglichen. Eine Signalauswerteeinrichtung (nicht gezeigt) in der Bohrmaschine **10** wertet die von einer Bohrereindringtiefeneinrichtung (nicht gezeigt) der Bohrmaschine **10** gelieferten Messwerte für die Eindringtiefe des Bohrers **14** während des Bohrens eines Bohrkanals in den Körper sowie die von dem Drucksensor **42**, dem Drehwinkelsensor **44**, dem Schwingungssensor **46** und dem Drehmomentsensor **50** gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals **21** aus.

[0047] Die [Fig. 6](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Bohrmaschine **10** im Einsatz beim Bohren eines Oberschenkelknochens (Femur) **52**. Besagte Bohrmaschine weist ein Gehäuse **12** auf, dessen hinteres Ende abgewinkelt ist und einen Handgriff **54** bildet. In dem Gehäuse sind unter anderem ein Elektromotor **56** und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Getriebe **58**, einer Werkzeugwelle **38** und einem Bohrer **14** angeordnet. Genau wie bei der in der [Fig. 1](#) gezeigten Bohrmaschine sind eine Hülse **16** und ein Wegsensor **20** zur Messung der Eindringtiefe des Bohrers während des Bohrens eines Bohrkanals in den Oberschenkelknochen **52** vorgesehen. Desweiteren weist die Bohrmaschine entlang der Werkzeugwelle **38** ausgehend von dem Bohrschaft **40** nach hinten einen Schwingungssensor **46** und einen Drucksensor **42** auf. Ein Piezo-Schwingungsanreger **60** (Piezo-Shaker) ist neben der Werkzeugwelle **38** angeordnet und damit zur Einkopplung von aktiv erzeugten mechanischen Schwingungen gekoppelt. Zudem enthält die Bohrmaschine **10** auch eine Signalauswerteeinrichtung **62** nebst Anzeigeeinrichtung zur Auswertung und Anzeige der von dem Wegsensor **20**, dem Schwingungssensor **46** und dem Drucksensor **42** gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals durch den gesamten zu bohrenden Körper **22** hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper **22**.

[0048] Die Eindringtiefe des Bohrers **14** wird mit Hilfe der verschiebbaren Hülse **16** gemessen, die in der Bohrmaschine mit dem Wegsensor **20** gekoppelt ist. Dazu wird die Hülse **16** auf den Oberschenkelknochen **52** aufgesetzt und wird der drehende Bohrer **14** gegen den Oberschenkelknochen **52** gedrückt. Sobald ein Kontakt zustande kommt, kann die Axialkraft über den Drucksensor **42** gemessen werden. Ab diesem Zeitpunkt wird die Verschiebung der Hülse **16** mittels des Wegsensors **20** gemessen, solange bis die Axialkraft beim Austreten des Bohrers **14** aus dem Oberschenkelknochen **52** sprunghaft abnimmt. Knochen bestehen üblicherweise aus verschiedenen Schichten. Die Knochenwand (Kortikalis) ist in der Regel härter als das Innere eines Knochens (Spongiosa). Dies hat zur Folge, dass die Axialkraft während des Bohrvorgangs variiert.

[0049] Die Wegdifferenz zwischen dem Aufsetzen des Bohrers **14** und dem detektierten Austreten des Bohrers **14** auf der gegenüberliegenden Seite des Oberschenkelknochens **52** entspricht der Länge des Bohrkanals. Mit Hilfe der Signalauswerteeinrichtung **62** werden die Messwerte des Wegsensors **20** und des Drucksensors **42** miteinander kombiniert und für die Bestimmung der Länge des Bohrkanals ausgewertet. Dazu sollte die Signalauswertung so ausgelegt sein, dass sie für verschiedene Knochentypen und Bohr-Szenarien verlässliche Messwerte liefert. Zusätzlich werden die Messwerte des Schwingungssensors **46**, der die Schwingungen erfasst, die beim Bohren des Knochens auftreten, verwendet. Anhand der so festgestellten Länge des Bohrkanals können anschließend Schrauben in der passenden Länge herausgesucht werden.

[0050] Die in der [Fig. 7](#) gezeigte Bohrmaschine **10**, bei der die Bohrereindringtiefeneinrichtung der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt ist, unterscheidet sich unter anderem von der in der [Fig. 5](#) gezeigten Bohrmaschine darin, dass der Schwingungsanreger ein Piezo-Schwingungsanreger **60** ist. Zudem unterscheidet er sich von der in der [Fig. 6](#) gezeigten Ausführungsform darin, dass er eine Kuppelung **64** zum mechanischen Einkoppeln der Schwingungen des Piezo-Schwingungsanreger **60**, sobald eine Axialkraft auf den Bohrer **14** einwirkt, vorgesehen ist.

[0051] In der [Fig. 8](#) sind beispielhafte Ergebnisse von Körperschallmessungen während des Bohrens in einem Knochen (Rinderoberschenkel, Hinterbein) gezeigt. Der Körperschall wurde mittels eines Piezo-Schwingungssensors gemessen, der sich auf einem Aluminiumstab befand, der mit der Knochenoberfläche mechanisch gekoppelt war.

[0052] In der [Fig. 8](#) wird zwischen den zeitlichen Abschnitten 1, 2, 3 und 4 unterschieden.

1. Durchbohren der ersten Knochenrinde

[0053] Hier ist das Eintreten des Bohrers und die Abnahme von Knochenmaterial zu erkennen (steigende Flanke). Das rapide Abfallen der Kurve bei Punkt b markiert den Zeitpunkt, zu dem die zwei vorangehenden Schneiden des Bohrers kein Material mehr erfassen können, d. h. zum Zeitpunkt b hat der Bohrer bereits die erste Knochenrinde durchbrochen.

2. Bohrung im Knochenmark

[0054] Hier wird das Knochenmark gebohrt. Das Ende dieses Zeitbereiches bildet der Peak zum Intervallende, der auf das Auftreffen der Bohrspitze auf die Innenwand der Knochenrinde zurückzuführen ist.

3. Durchbohren der zweiten Knochenrinde

[0055] Im Bereich 3 ist das Verhaken der Hauptschneide des Bohrers mit dem harten Knochenrindenmaterial zu erkennen. Der zweite Peak im Bereich 3 markiert das Ende des Bohrvorganges – das Durchbrechen des Bohrers durch die zweite Knochenwand.

4. Bohren im Leerlauf und
Stopp der Rotationsbewegung

[0056] Zu Beginn des Bereiches 4 ist die sinkende Umdrehungsgeschwindigkeit des Bohrers bis zum völligen Stillstand der Bohrspindel zu erkennen. Signale im Bereich 4 unterscheiden sich deutlich von dem vorherigen Bohrprozess und lassen sich deshalb gut analytisch von dem Bohrprozess abgrenzen.

[0057] Fig. 9 zeigt den vorderen Teil einer Bohrmaschine **10** gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung mit einem Gehäuse **12**, in dem ein Elektromotor (nicht gezeigt) und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer **14** angeordnet sind. Die Bohrmaschine **10** weist eine Bohrereindringtiefenmesseinrichtung auf, die der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt ist. Beispielsweise kann es sich um eine Bohrereindringtiefenmesseinrichtung handeln, die in einer der Fig. 1 bis Fig. 3 gezeigt ist. Zusätzlich oder alternativ zu einer Körperschallmesseinrichtung (nicht gezeigt) zur Messung des Schalls in einem zu bohrenden Körper während des Bohrens weist sie eine Reflexionsmesseinrichtung **65** zur Messung der Reflexion von Licht an dem zu bohrenden Körper vor der Bohrspitze während des Bohrens auf. Dazu weist der Bohrer **14** in seiner Längserstreckung mittig einen Kanal **66** (optischen Tunnel/optischen Messkanal) auf. Die Reflexionsmesseinrichtung **65** weist eine Lichtquelle **68**, ein Lichteinkoppelement **76** und einen Lichtleiter **70** zum Einkoppeln und Lenken von Licht auf den zu bohrenden Körper vor der Bohrspitze auf. Das eingekoppelte Licht wird teilweise zurückreflektiert und über den Lichtleiter **70** sowie ein Lichtaus-

koppelement **74** einem Lichtsensor **72** zugeführt. Das dem Lichtsensor **72** zugeführte Licht wird ausgewertet. Die Auswertung beruht dabei auf der Annahme, dass das reflektierte Licht durch die unterschiedlichen optischen Eigenschaften der verschiedenen Materialschichten **28**, **30**, **32** und **34** unterschiedlich ausfallen wird. Beispielsweise lassen sich die Lichtintensität und mit einem farbempfindlichen Lichtsensor die spektrale Lichtverteilung auswerten.

[0058] Die in der Fig. 9 gezeigte Ausführungsform weist zusätzlich eine Axialkraftmesseinrichtung (nicht gezeigt) zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer **14** auf den zu bohrenden Körper **22** gedrückt wird, während des Bohrens sowie eine Signalauswerteinrichtung zur Auswertung der von der Bohrereindringtiefen, der Axialkraft-, der Reflexions- und gegebenenfalls auch der Körperschallmesseinrichtung gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals **21** durch den gesamten zu bohrenden Körper **22** hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper, beispielsweise beim Übergang von einer Materialschicht zur anderen auf.

[0059] Wenn die Reflexionsmesseinrichtung **65** zusätzlich zur Körperschallmesseinrichtung vorgesehen ist, so sollte die Aussagekraft des Gesamtsystems erhöht und das Gesamtsystem robuster gestaltet werden können.

[0060] Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

10	Bohrmaschine
12	Gehäuse
14	Bohrer
16	Hülse
18	Spitze
20	Wegsensor
21	Bohrkanal
22	Körper
24	Stab
26	optischer Abstandsmesser
28, 30, 32, 34	Materialschichten
36	akustischer Abstandsmesser
38	Werkzeugwelle
40	Bohrerschaft
42	Drucksensor
44	Drehwinkelsensor
46	Schwingungssensor
48	elektromagnetischer Schwingungsanreger

50	Drehmomentsensor
52	Oberschenkelknochen
54	Handgriff
56	Elektromotor
58	Getriebe
60	Piezo-Schwingungsanreger
62	Signalauswerteeinrichtung
64	Kupplung
65	Reflexionsmesseinrichtung
66	Kanal
68	Lichtquelle
70	Lichtleiter
72	Lichtsensoren
74	Lichtauskoppелеlement
76	Lichteinkoppелеlement

Patentansprüche

1. Bohrmaschine (10), insbesondere medizinische Bohrmaschine, mit einem Gehäuse (12), in dem ein Motor, vorzugsweise ein Elektromotor (56), und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer (14) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ferner eine Bohrereindringtiefmesseinrichtung zur Messung der Eindringtiefe des Bohrers während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in einen zu bohrenden Körper (22), eine Axialkraftmesseinrichtung zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer (14) auf den zu bohrenden Körper (22) gedrückt wird, während des Bohrens, eine Körperschallmesseinrichtung zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper (22) während des Bohrens und eine Signalauswerteeinrichtung (62) zur Auswertung der von der Bohrereindringtiefmesseinrichtung, der Axialkraftmess- und der Körperschallmesseinrichtung gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) durch den gesamten zu bohrenden Körper (22) hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper (22) aufweist.

2. Bohrmaschine (10), insbesondere medizinische Bohrmaschine, mit einem Gehäuse (12), in dem ein Motor, vorzugsweise ein Elektromotor (56), und ein von diesem angetriebener Bohrmechanismus mit einem Bohrer (14) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ferner eine Bohrereindringtiefmesseinrichtung zur Messung der Eindringtiefe des Bohrers während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in einen zu bohrenden Körper (22), eine Axialkraftmesseinrichtung zur Messung der Axialkraft, mit der der Bohrer (14) auf den zu bohrenden Körper (22) gedrückt wird, während des Bohrens, eine Reflexionsmesseinrichtung (65) zur Messung der Reflexion von Licht an den zu bohrenden Körper (22) vor der Bohrerspitze während des Bohrens und

eine Signalauswerteeinrichtung (62) zur Auswertung der von der Bohrereindringtiefmesseinrichtung, der Axialkraftmess- und der Reflexionsmesseinrichtung (65) gelieferten Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) durch den gesamten zu bohrenden Körper (22) hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper (22) aufweist.

3. Bohrmaschine (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Körperschallmesseinrichtung zur Messung des Schalls in dem zu bohrenden Körper (22) während des Bohrens aufweist.

4. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Handbohrmaschine ist.

5. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bohrereindringtiefmesseinrichtung eine den Bohrer (14) konzentrisch umgebende Hülse (16), die über einen Verschieberegion in Längsrichtung des Bohrers (14) verschiebbar und in einer vordersten zur Spitze (18) des Bohrers (14) hin gelegenen Position des Verschieberegions elastisch vorgespannt ist, und einen Wegsensor (20) zur Erfassung der während des Bohrens von der Hülse (16) ab Aufsetzen auf den zu bohrenden Körper (22) von der Hülse (16) nach hinten zurückgelegten Verschiebestrecke aufweist.

6. Bohrmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen sich parallel zum Bohrer (14) erstreckenden Stab (24), der über einen Verschieberegion in seiner Längsrichtung verschiebbar und in einer vordersten zur Spitze des Bohrers (14) hin gelegenen Position des Verschieberegions elastisch vorgespannt ist, und einen Wegsensor (20) zur Erfassung der während des Bohrens (14) von dem Stab (24) ab Aufsetzen auf den zu bohrenden Körper (22) von dem Stab (24) nach hinten zurückgelegten Verschiebestrecke aufweist.

7. Bohrmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen optischen Abstandsmesser (26), insbesondere Laserabstandsmesser, zur Bestimmung des Abstands der Bohrmaschine (10) zu einem zu bohrenden Körper (22) während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in selbigen aufweist.

8. Bohrmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bohrereindringtiefmesseinrichtung einen akustischen Abstandsmesser (36), insbesondere Ultraschallabstandsmesser, zur Bestimmung des Abstands der Bohrmaschine (10) zu einem zu bohrenden Körper

(22) während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in selbigen aufweist.

9. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Axialkraftmesseinrichtung einen Drucksensor (42), insbesondere eine Kraftmessdose, aufweist.

10. Bohrmaschine (10) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Drucksensor (42) zwischen dem hinteren Ende des Bohrers (14) und einer zum Bohrmechanismus gehörigen Werkzeugwelle (38) oder auf oder in der Werkzeugwelle (38) angeordnet ist.

11. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Körperschallmesseinrichtung einen Schwingungssensor (46) zwischen dem hinteren Ende des Bohrers (14) und der Werkzeugwelle (38) oder auf oder in der Werkzeugwelle (38) aufweist.

12. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schwingungsanreger (48) zur aktiven Anregung von mechanischen Schwingungen in dem Bohrer (14) vorgesehen ist.

13. Bohrmaschine (10) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine vorzugsweise mechanische Kupplung (64) vorgesehen ist, die so gestaltet ist, dass sie von dem Schwingungsanreger (48) erzeugte Schwingungen nur dann einkoppelt, wenn der Bohrer (14) nach dem Aufsetzen auf einen zu bohrenden Körper (22) einen Gegendruck erfährt.

14. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehwinkelsensor (44) zur Erfassung der Drehzahl und/oder des Drehwinkels des Bohrers (14) während des Bohrens vorgesehen ist.

15. Bohrmaschine (10) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste Drehzahl und/oder der erfasste Drehwinkel ebenfalls der Signalauswerteeinrichtung (62) zur Auswertung und zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) zugeführt wird/ werden.

16. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehmomentsensor (50) zur Erfassung des Drehmoments des Bohrers (14) während des Bohrens vorgesehen ist.

17. Bohrmaschine (10) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das erfasste Drehmoment ebenfalls der Signalauswerteeinrichtung (62) zur Auswertung und zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) zugeführt wird.

18. Bohrmaschine (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine automatische Abschaltvorrichtung zur automatischen Abschaltung nach Erkennen eines vollständigen Durchbohrens vorgesehen ist.

19. Bohrverfahren, insbesondere medizinisches Bohrverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in einen zu bohrenden Körper (22) die Eindringtiefe eines Bohrers (14), die Axialkraft, mit der der Bohrer (14) auf den zu bohrenden Körper (22) gedrückt wird, und der Körperschall in dem zu bohrenden Körper (22) gleichzeitig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) durch den gesamten zu bohrenden Körper (22) hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper (22) ausgewertet werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt wird.

20. Bohrverfahren, insbesondere medizinisches Bohrverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens eines Bohrkanals (21) in einen zu bohrenden Körper (22) die Eindringtiefe eines Bohrers (14), die Axialkraft, mit der der Bohrer (14) auf den zu bohrenden Körper (22) gedrückt wird, und die Reflexion von Licht an dem zu bohrenden Körper (22) vor der Bohrspitze gleichzeitig gemessen und die Messwerte zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) durch den gesamten zu bohrenden Körper (22) hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper (22) ausgewertet werden und die Länge ausgegeben, insbesondere angezeigt wird.

21. Bohrverfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens der Körperschall in dem zu bohrenden Körper (22) gleichzeitig gemessen wird und die Messwerte ebenfalls zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (21) durch den gesamten zu bohrenden Körper (22) hindurch oder bis zu einem, insbesondere sprunghaften, Materialübergang in dem zu bohrenden Körper (22) ausgewertet werden.

22. Bohrverfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bohrens mechanische Schwingungen aktiv erzeugt und in den Bohrer (14) eingekoppelt werden.

23. Bohrverfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass mechanische Schwingungen außerhalb des Bohrers (14) aktiv erzeugt und in den Bohrer (14) vorzugsweise nur dann eingekoppelt werden, wenn der Bohrer (14) nach dem Aufsetzen auf einen zu bohrenden Körper (22) einen Gegendruck erfährt.

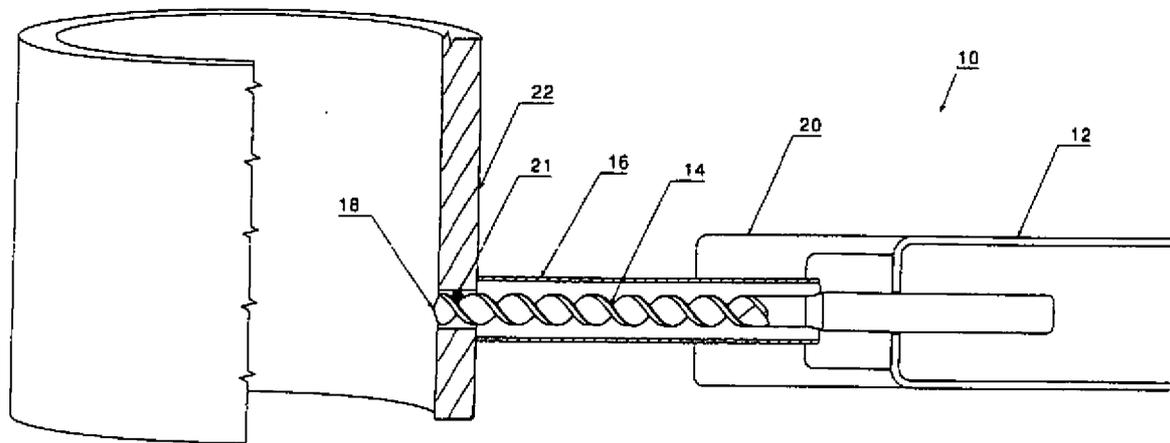
24. Bohrverfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl und/oder der Drehwinkel des Bohrers (**14**) während des Bohrens erfasst und ebenfalls für die Auswertung zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (**21**) verwendet wird/werden.

25. Bohrverfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehmoment des Bohrers (**14**) während des Bohrens erfasst und ebenfalls für die Auswertung zur Bestimmung der Länge des Bohrkanals (**21**) verwendet wird.

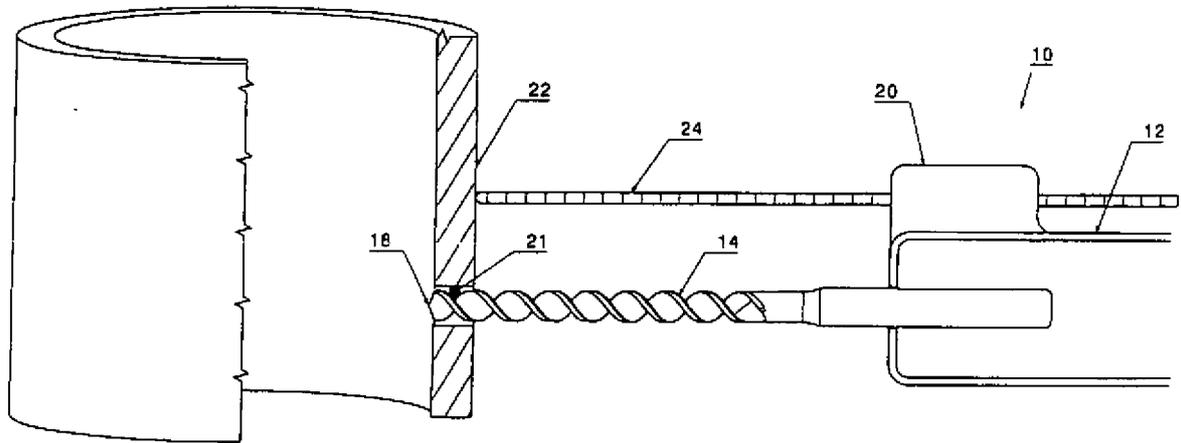
26. Bohrverfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte auch zur Ermittlung von Materialübergängen und/oder zur Bestimmung von Materialschichtstärken verwendet werden.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

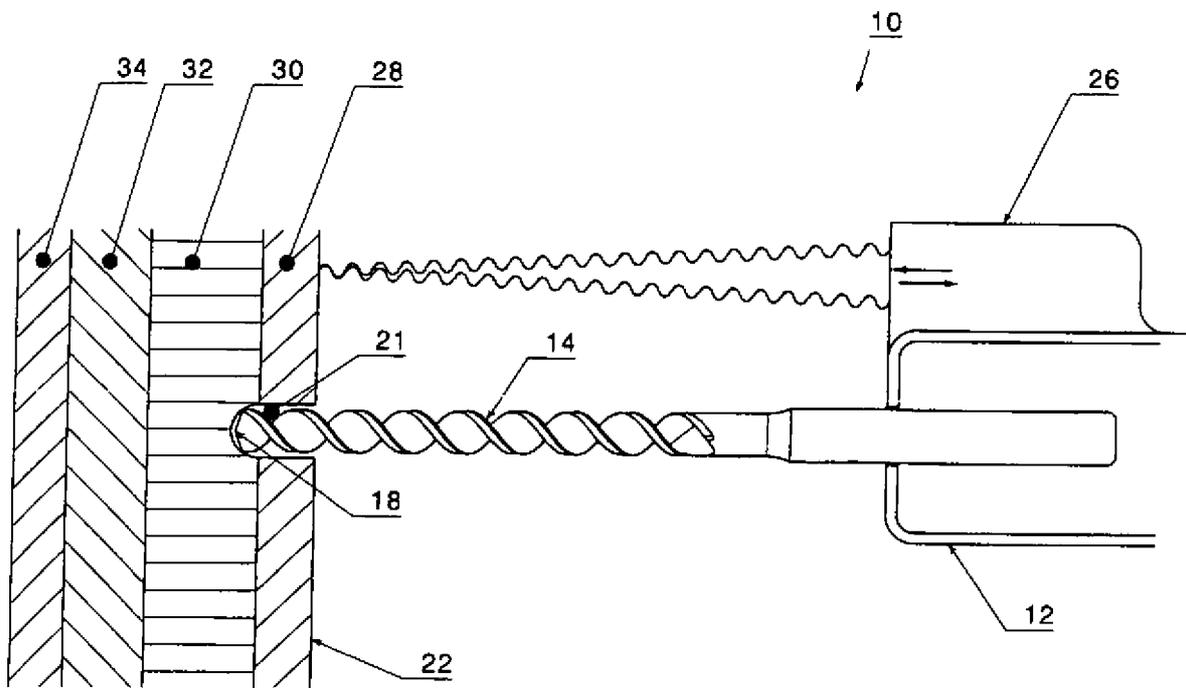
Anhängende Zeichnungen



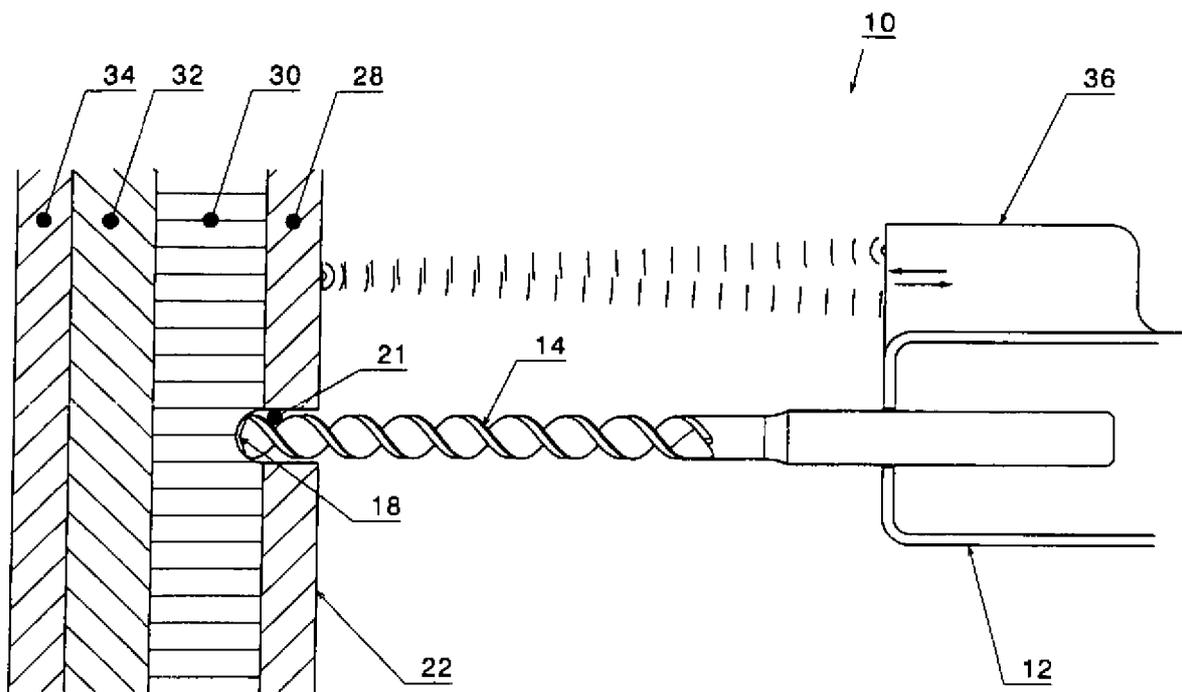
Figur 1



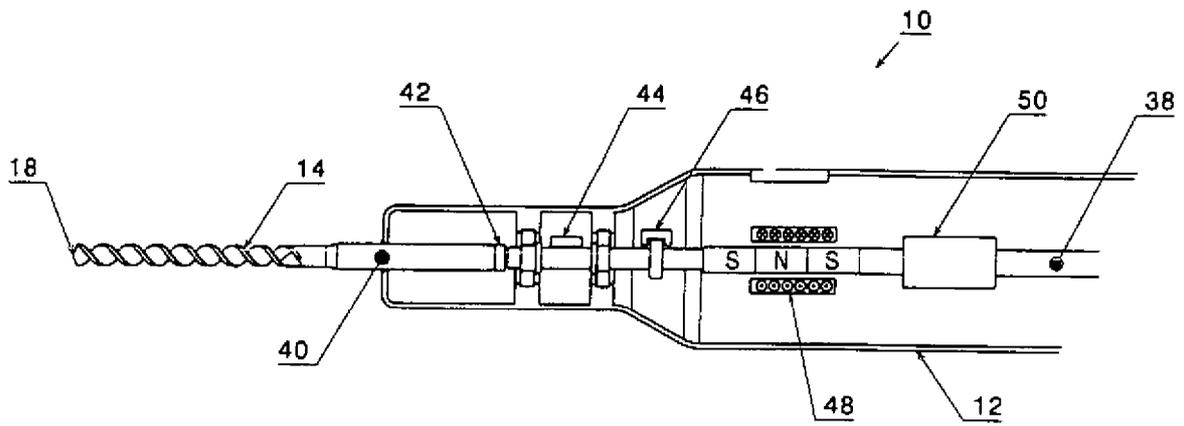
Figur 2



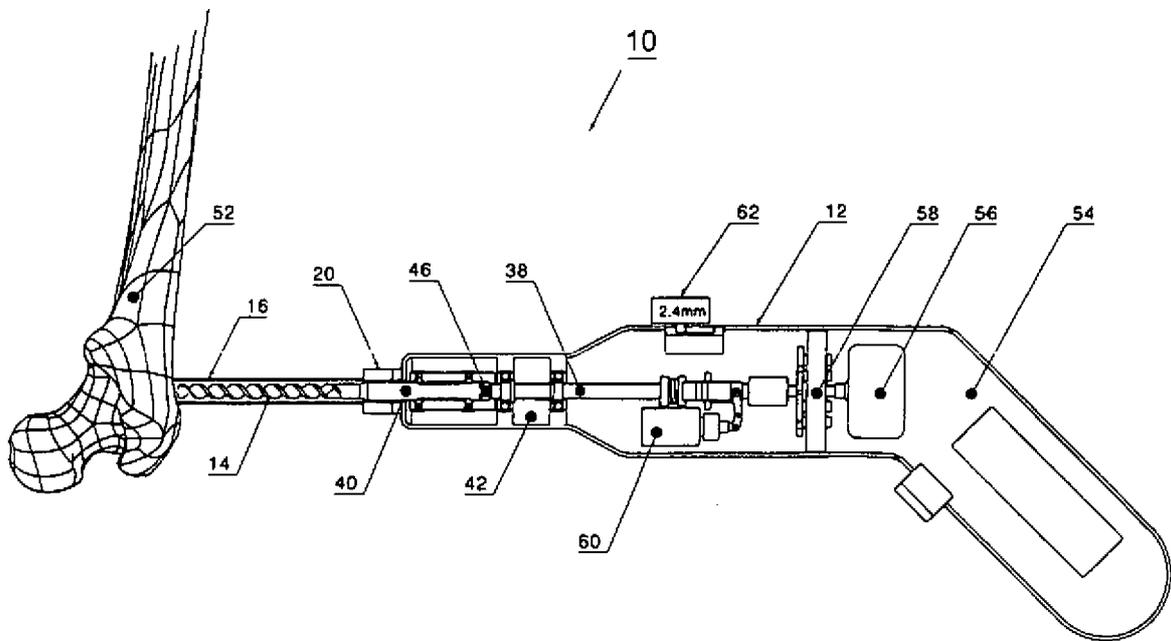
Figur 3



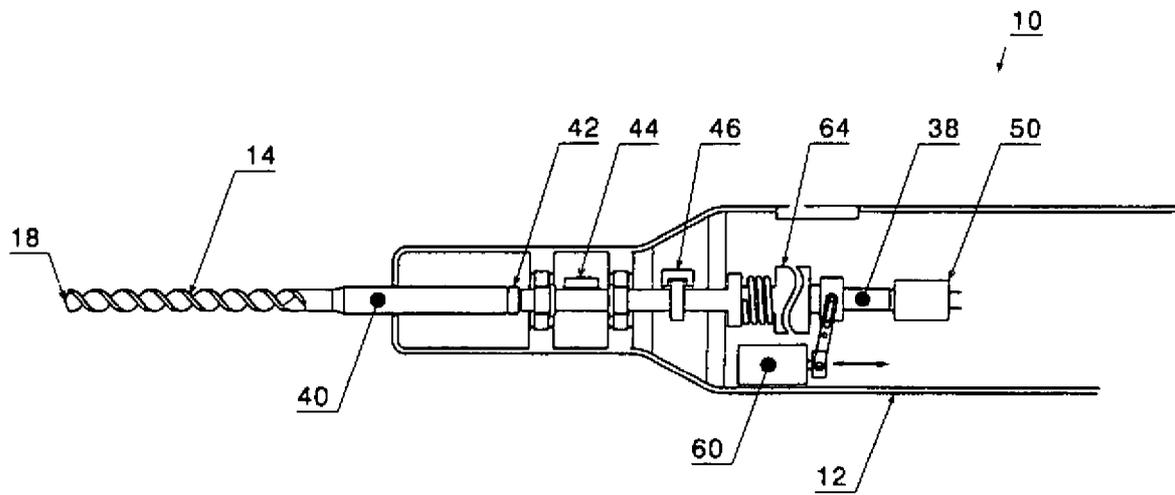
Figur 4



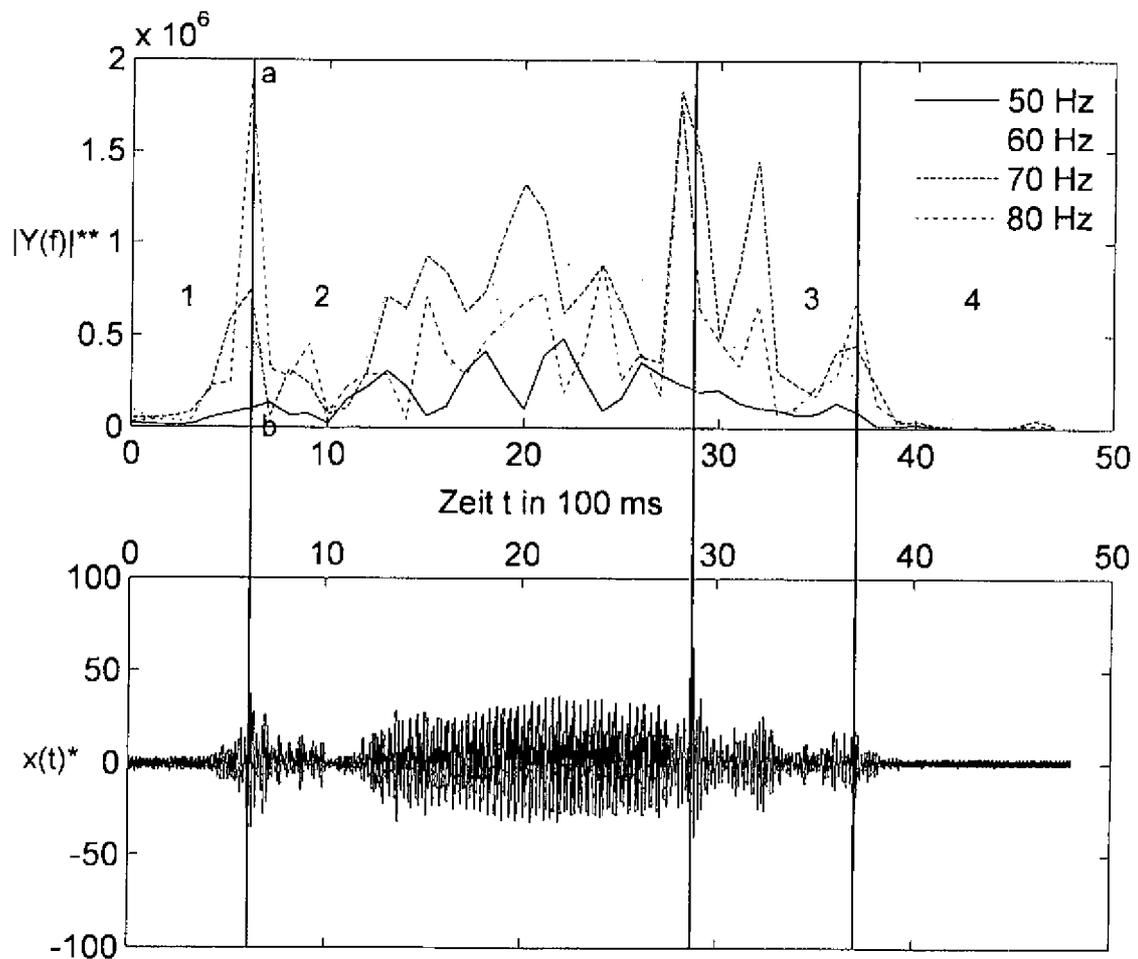
Figur 5



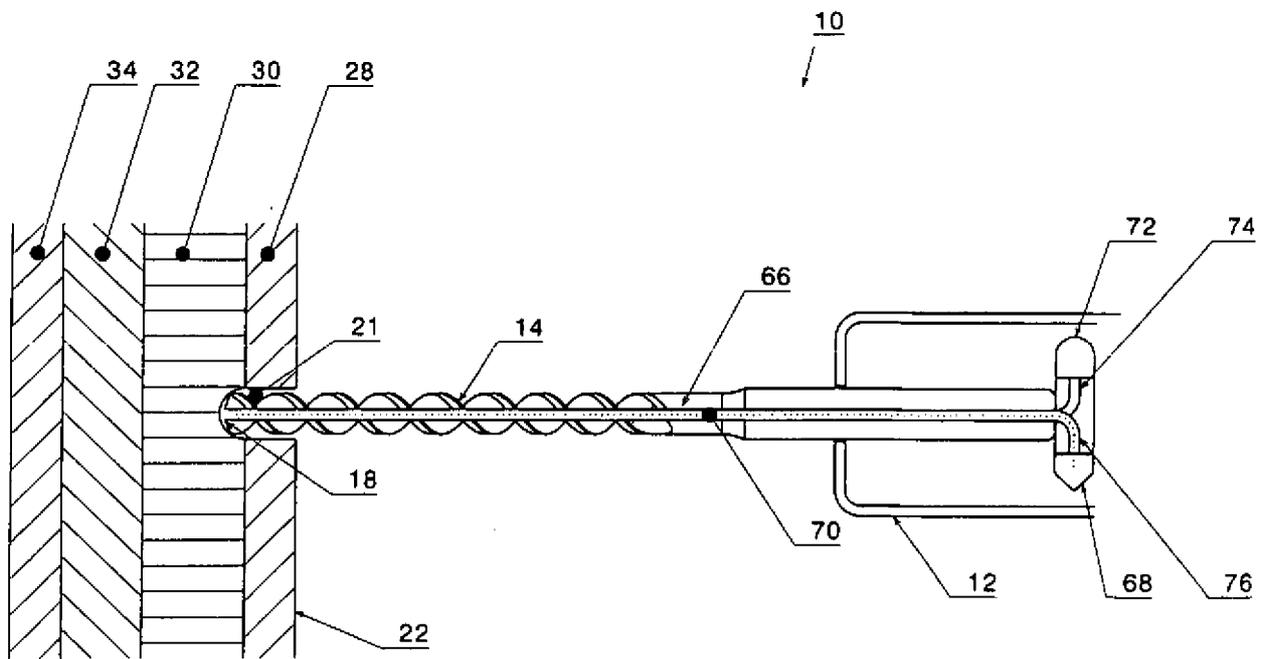
Figur 6



Figur 7



- * gemessene Amplitude des Körperschallsignals in willkürlichen Einheiten
- ** zeitlich aufgelöster Betrag der Amplitude unterschiedlicher Frequenzanteile des Körperschalls



Figur 9