

(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
19. April 2018 (19.04.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/068968 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

E21B 47/16 (2006.01) *G10K 11/16* (2006.01)
E21B 17/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/072928

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. September 2017 (12.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16193660.4 13. Oktober 2016 (13.10.2016) EP

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG**
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

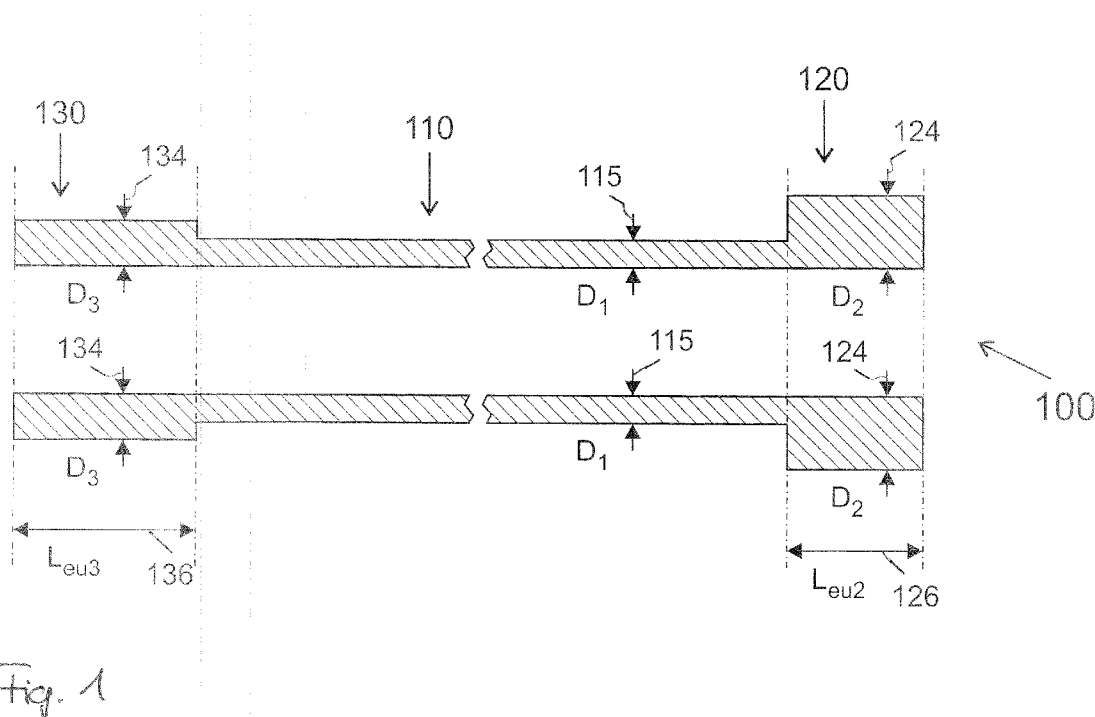
(72) Erfinder: **KRÜGER, Udo**; Hertelstraße 1, 12161 Berlin (DE). **GUTIERREZ, Miguel**; Helmholzstraße 26, 10587 Berlin (DE). **KEUSGEN, Wilhelm**; Schauensteiner Weg 7a, 14089 Berlin (DE).

(74) Anwalt: **ZIMMERMANN, Tankred** et al.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB, Radlkofersstr. 2, 81373 München (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: DRILL PIPE AND DRILL STRING FOR TRANSMITTING ACOUSTIC SIGNALS

(54) Bezeichnung: BOHRROHR UND BOHRSTRANG ZUM ÜBERTRAGEN AKUSTISCHER SIGNALE



(57) Abstract: The invention relates to a drill pipe comprising a first section with a first wall thickness, a second section adjacent to one end of the drill pipe, with a second wall thickness different from the first wall thickness, and a third section adjacent to another end of the drill pipe, with a third wall thickness different from the first wall thickness. The drill pipe is provided for transmitting an acoustic signal within a determined frequency range, an extension of the second or third section along the drill pipe being selected according to a wavelength range of the acoustic signal to be transmitted.

(57) Zusammenfassung: Ein Bohrröhr umfasst einen ersten Abschnitt mit einer ersten Wanddicke, einen zweiten Abschnitt benachbart zu einem Ende des Bohrröhrs mit einer zweiten Wanddicke, die sich von der ersten Wanddicke unterscheidet und einen dritten Ab-

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)

schnitt benachbart zu einem anderen Ende des Bohrrohrs, mit einer dritten Wanddicke, die sich von der ersten Wanddicke unterscheidet. Das Bohrrohr ist vorgesehen, um ein akustisches Signal innerhalb eines festgelegten Frequenzbereichs zu übertragen, wobei eine Ausdehnung des zweiten oder dritten Abschnitts entlang des Bohrrohrs abhängig von einem Wellenlängenbereich des zu übertragenden akustischen Signals gewählt ist.

Bohrrohr und Bohrstrang zum Übertragen akustischer Signale

Beschreibung

5

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bohrrrohr, das geeignet ist, akustische Signale zu übertragen.

10

Hintergrund der Erfindung

Bei Tiefbohrungen fallen bei den heutzutage üblichen Messungen untertage große Datenmengen an, die möglichst schnell nach übertage gesendet werden sollten, um darauf rechtzeitig reagieren zu können, z. B. um die Bohrrichtung anzupassen und damit teure Fehlbohrungen zu vermeiden. Die mit bisherigen Methoden erzielten Datenraten sind dafür jedoch zu niedrig, bzw. die Reichweiten zu gering oder beides.

15

Bisher wird zumeist die „mud-pulse“-Telemetrie verwendet, die aber nur Datenraten von wenigen Bits pro Sekunde zulässt. Dabei werden mit Hilfe von Druckänderungen in der Spülflüssigkeit die Informationen übertragen. Diese Technik ist daher nur anwendbar, wenn der Spülungskreislauf der Bohrung angeschlossen und aktiv ist.

20

Ein auf akustischen Wellen basierendes Kommunikationssystem für einen Bohrstrang wird von der kanadischen Firma XACT (<http://www.xactinc.com/>) angeboten, das auf schmalbandigen Chirp-Sequenzen basiert. Der Empfänger wird übertage am letzten Bohrrrohr befestigt, d. h. mit dem Kommunikationssystem können nur Daten übertragen werden, wenn die letzte Bohrstange montiert ist und optimal nur dann, wenn der Bohrstrang nicht mit der Spannzange am Bohrtisch gehalten wird, da die akustische Dämpfung durch das Schließen der Spannzange größer wird [1] und die Qualität der Übertragung abnimmt und damit auch die Reichweite. Mit diesem Kommunikationssystem werden Datenraten bis 30 Bit/s und vertikale Tiefen bis 2600 m erreicht (ohne zusätzlichen Repeater) [2].

25

30

Im Übrigen wird eine akustische Kommunikation bei tiefen Frequenzen stark durch die dort besonders großen Nichtlinearitäten der üblicherweise verwendeten akustischen Quellen und von den Bohrgeräuschen eines Bohrkopfs gestört und bei hohen Frequenzen

35

leidet die Kommunikation durch die starke Materialdämpfung der Bohrröhre in dem Bohrstrang.

5 Daher besteht ein Bedarf nach einem Bohrröhr, das eine bessere Übertragung in einem Frequenzbereich, der weniger beeinflusst von Nichtlinearitäten von Sendern, Bohrgeräuschen und Materialdämpfung ist, ermöglicht und damit eine höhere Datenrate für große vertikale Tiefen ermöglicht.

10 M. Gutierrez, U. Krueger, K. A. Krueger, K. Manolakis, V. Jungnickel, „Acoustic Channel Model for Adaptive Downhole Communication over Deep Drill Strings,“ ICASSP-2013, ISSN 1520-6149, Vancouver, Canada, May 2013, beschreibt ein akustisches Kanalmodell für adaptive Bohrlochkommunikation über tiefe Bohrstränge. Zur Kostenreduktion in der Bohrtechnik wird eine seismische Prädiktion während des Bohrens (SPWD) genutzt. SPWD bedarf einer schnellen Datenverbindung um Daten vom Bohrlochboden an die
15 Oberfläche zu bringen. Ein flexibles und leicht zu nutzendes akustisches Kanalmodell für lange Bohrstränge ist beschrieben. Das Modell ermöglicht einen effizienten Entwurf von adaptiven OFDM Kommunikationsverbindungen und eine Vorhersage der erreichbaren Datenrate für verschiedene Bohrstranglängen. Akustische Wellenpropagation wird mittels der S-Parameter des Bohrstrangs beschrieben, die modelliert werden als eine Reihe von
20 wechselnden kurzen und langen Resonatoren, basierend auf Segmenten mit konstanter akustischer Impedanz. Alle Segmente sind parametrisiert und der finale Kanal stellt eine Aneinanderreihung aller Segmente dar. Das neue Modell wurde anhand von Messungen entlang eines 55m langen Bohrstrangs verifiziert. Durch die Nutzung des Modells, können Eigenschaften einer Vielzahl realer Bohrröhre mit variablen Dimensionen vorhergesagt
25 werden. Der Einfluss von Längenvariationen, die typisch für grobe Bohranwendungen sind, wurde untersucht. Für effiziente Kommunikation über 1,5km sollten die Längenvariationen der geschraubten Verbindungselemente limitiert auf ein paar Zentimeter sein, wobei eine Längenvariation eines Bohrröhres bis zu einem Meter betragen darf.

30 Drumheller, Douglas S: „Wave impedances of drill strings and other periodic media“, The Journal of the Acoustical Society of America, Dezember 2002, beschreibt Wellenpropagationseffekte, beispielsweise in Bohrröhren. Es ist allgemein bekannt, dass Wellenreflexionen, durch abrupte Änderung des physikalischen Parameters namens Wellenimpedanz begründet sind. Falls ein Material eine räumlich periodische Verteilung der Wellenimpedanz aufweist, tauchen einige interessante und komplexe Phänomene auf. Zwei Beispiele
35 für solche periodische Strukturen sind: Erstens; eine Sandwichstruktur zweier Arten von

Platten, beispielsweise identische Schichten von dünnen Stahlplatten gemischt mit identisch dicken Aluminiumschichten, und Zweitens; eine große Anzahl identisch langer dünner Rohre die an ihren Enden verbunden sind mittels identisch kurzen schwergeschraubten Kupplungen. Auf das Rohrbeispiel fällt hier das Hauptaugenmerk, da es einen Bohrstrang darstellt, der weltweit genutzt wird um nach natürlichen Energiequellen zu bohren. Es wird untersucht, wie Wellen sich über einen Bohrstrang ausbreiten, da diese als Mittel zur Kommunikation genutzt werden sollen. Auch wenn das Hauptaugenmerk auf der zweiten Struktur liegt, ist die Studie der ersten Struktur, welche aus Schichten zusammengesetzt ist, das wahre historische Problem und die Quelle des Großteil unseres Wissens über die Wellenphysik. Traditionell wurde Wellenpropagation als Eigenwertproblem betrachtet. Die Eigenwerte selbst liefern Informationen über Phasengeschwindigkeiten, Gruppenlaufzeiten, Durchlassbänder und Sperrbänder. Meistens hörte die Analyse hier auf und die Eigenvektoren wurden ignoriert. In dieser Arbeit wird die Aufmerksamkeit auf die Eigenvektoren gerichtet, um die Impedanz der periodischen Struktur zu evaluieren, mit einem speziellen Fokus auf den periodischen Bohrstrang. Wie erwartet ist die Impedanz des Bohrstrangs eine komplexe Zahl, welche von einem sehr komplizierten Ausdruck abgeleitet werden kann. Trotzdem wurde herausgefunden, dass die Impedanz an zwei Stellen entlang jedes Bohrrohrs, sich auf eine reelle Zahl reduziert. Dies ist immens wichtig, da es erlaubt die Impedanz des Bohrstrangs an ein Kommunikationsgerät anzupassen. Es wird gezeigt wie dies zu einem effektiven Entwurf von Wiederholern, Rauschunterdrückern, Wellenterminatoren und Viertel-Wellenlängentransformatoren für den Bohrstrang genutzt werden kann.

Die US 3,252,225 A beschreibt einen Signalgenerator zur Anzeige vertikaler Abweichung.

Die US 5,283,768 A beschreibt einen akustischen Wellenübertrager für Anwendung in einem Bohrloch. Ein Übertrager ist beschrieben der speziell entworfen wurde für Anwendung akustischer Kommunikation in einem Bohrloch. Der Übertrager inkludiert eine Mehrzahl von magnetischen Schaltungsspalten und elektrischen Wicklungen, von denen herausgefunden wurde, dass sie die nötige Leistung für akustischen Betrieb bereitstellen können, bei gleichzeitiger Einhaltung der stringenten räumlichen Beschränkungen eines Bohrlochs. Eine Mehrzahl von Ausführungsbeispielen die dem Entwurf entsprechen sind beschrieben. Des Weiteren beinhaltet die Erfindung Übergangs- und Reflektorsektionen, genauso wie direktionale Koppler und Resonatereinrichtungen, die speziell angepasst sind für Bohrlochkommunikation.

Die WO 2016/108881 A1 beschreibt eine weitbandige Bohrstrangstruktur für akustische Telemetrie. In einigen Beispielen inkludiert ein Bohrstrang eine Mehrzahl von Bohrrohrabschnitten, die verbunden sind mit Verbindungselementstrukturen. Die Bohrrohrsektionen und die Verbindungselementstrukturen sind akustisch impedanzangepasst. In einem weiteren Beispiel umfassen die Bohrrohrabschnitte eine Mehrzahl von Bohrrohrlängen, deren Länge anders ist, als die Länge der Verbindungselementstrukturen. Ein Bohrstrang ist konstruiert aus einer Mehrzahl von Bohrrohrabschnitten mit unterschiedlicher Länge und Verbindungselementstrukturen, in einer nicht periodischen Art-und-Weise. In einem weiteren Beispiel weisen die Bohrrohrabschnitte und die Verbindungselementstrukturen Materialien auf mit, im Wesentlichen, ähnlichen akustischen Eigenschaften.

In der US 5,128,901 A wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur akustischen Übertragung von Daten entlang eines Bohrstrangs präsentiert. Gemäß einem Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung werden akustische Daten konditioniert um Verzerrungen, verursacht durch den Bohrstrang, entgegenzuwirken. Bevorzugt weist dieser Konditionierungsschritt eine Multiplikation jeder Frequenzkomponente des Datensignals mit $\exp(-ikL)$ auf, wobei L die Übertragungslänge des Bohrstrangs ist, k die Wellenzahl in dem Bohrstrang bei der jeweiligen Frequenz der Frequenzkomponente und i ist $(-1)^{1/2}$. In einem weiteren Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung werden Datensignale erzeugt, die einen Frequenzbereich aufweisen in zumindest einem Durchlassband des Bohrstrangs, die sich bevorzugt in eine Richtung (bspw. nach oben entlang des Bohrstrangs) ausbreiten, während Echos in dem Bohrstrang, resultierend aus der Datenübertragung, unterdrückt werden.

Die Aufgabe der Erfindung ist daher ein Bohrrohr bereitzustellen, das eine bessere Übertragung in einem Frequenzbereich, der weniger beeinflusst von Nichtlinearitäten von Sendern, Bohrgeräuschen und Materialdämpfung ist, ermöglicht und damit eine höhere Datenrate für große vertikale Tiefen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Zusammenfassung der Erfindung

Ein Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung schafft ein Bohrrohr, mit einem ersten Abschnitt mit einer ersten Wanddicke und einem zweiten Abschnitt an oder benachbart zu einem Ende des Bohrrohrs mit einer zweiten Wanddicke und einem dritten Abschnitt an

oder benachbart zu dem anderen Ende des Bohrrohrs mit einer dritten Wanddicke, die sich von der ersten Wanddicke unterscheiden. Des Weiteren ist das Bohrrohr vorgesehen, um ein akustisches Signal innerhalb eines festgelegten Frequenzbereichs zu übertragen, wobei eine Ausdehnung des zweiten und dritten Abschnitts entlang des Bohrrohrs abhängig von einem Wellenlängenbereich des zu übertragenden akustischen Signals gewählt ist.

Dieses Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass akustische Signale, die sich innerhalb einer metallischen Wand eines Bohrrohrs fortbewegen, an Positionen mit sprunghafter Änderung der Bewandungsdicke des Bohrrohrs teilweise reflektiert werden können. Bohrrohre können einen sogenannten elevation upset aufweisen, der mit dem zweiten und dritten Abschnitt korrespondieren, die an Enden des Bohrrohres angeordnet sind. Diese weisen in der Regel eine höhere Wanddicke auf als das restliche Bohrrohr, um mechanische Stabilität zu gewährleisten. Sind Abschnitt zwei und drei gleich dimensioniert, ist eine direkte Verbindung mehrerer Bohrrohre möglich, wobei der sogenannte elevation upset in diesem Fall die Funktion eines Verbindungselements (tool joint) übernimmt und zur Minimierung destruktiver Interferenzen in Ausbreitungsrichtung aufgrund von Reflexionen an den Sprungstellen, ist die Wahl der Ausdehnung des zweiten Abschnitts entlang des Bohrrohrs, also des elevation upsets, abhängig von einem Wellenlängenbereich des zu übertragenden akustischen Signals vorteilhaft. Durch die beschriebene Wahl der Ausdehnung kann eine Maximierung der konstruktiven Interferenz in der Ausbreitungsrichtung erwirkt werden, was letztendlich zu einer geringeren Dämpfung oder Filterwirkung in dem genutzten Frequenzbereich führt. Durch die geringere effektive Dämpfung wird ein Signal mit einer großen Datenrate über eine große Strecke übermittelt, beispielsweise über einen Bohrstrang, der aus mehreren der beschriebenen Bohrrohre besteht. Im weiteren wird auch genutzt, dass eine maximale konstruktive Interferenz in Ausbreitungsrichtung einer maximalen destruktiven Interferenz entgegen der Ausbreitungsrichtung entspricht, also einer minimalen effektiven Reflexion.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weisen der zweite und dritte Abschnitt unterschiedliche Ausdehnungen entlang des Bohrrohrs auf, hierbei ist die Wahl der addierten Ausdehnungen des zweiten und dritten Abschnitts entlang des Bohrrohrs abhängig von einem Wellenlängenbereich des zu übertragenden akustischen Signals vorteilhaft, beispielsweise ergeben die Addition der Ausdehnungen die Hälfte einer Wellenlänge des zu übertragenden akustischen Signals.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Querschnittsfläche des Bohrrohrmaterials des zweiten Abschnitts proportional zu einem akustischen Wellenwiderstand des zweiten Abschnitts. Durch geeignete Wahl der zweiten Wanddicke kann somit ein geeigneter akustischer Wellenwiderstand realisiert werden. Beispielsweise kann ein akustischer Wellenwiderstand durch geeignete Wahl der Wanddicke des zweiten Abschnitts zu $Z_{eu} = \sqrt{Z_{pipe} \cdot Z_{joint}}$ gesetzt werden, wobei Z_{pipe} der akustische Wellenwiderstand des ersten Abschnitts ist und Z_{joint} den akustischen Wellenwiderstand eines unmittelbar benachbarten Bereichs bezeichnet. Dieses kann auch analog für das andere Ende des Bohrrohrs, d. h. für die dritte Wanddicke durchgeführt werden. Durch die Anpassung des akustischen Wellenwiderstands an die Wellenwiderstände benachbarter Abschnitte kann die effektive Reflexion des akustischen Signals noch weiter reduziert werden. Durch die Reduktion der effektiven Reflexion entsteht ein Kanal, der besser zur Übertragung akustischer Signale geeignet ist. Die Reduktion der effektiven Reflexion führt ebenfalls zu einer Reduktion der Filterwirkung des Bohrrohrs, wodurch Signale weniger gedämpft werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weisen der zweite und dritte Abschnitt einen sich verjüngenden Verlauf von dem zweiten, bzw. dritten Durchmesser des zweiten, bzw. dritten Abschnitts zu dem ersten Durchmesser des ersten Abschnitts auf. Durch den sich verjüngenden Verlauf wird die zweite, bzw. dritte Wanddicke kontinuierlich an die erste angepasst, so dass größere Sprünge in der Wanddicke vermieden werden, wodurch geringere Reflexionen entstehen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der sich verjüngende Verlauf ein stufenförmiger Verlauf. Ein stufenförmiger Verlauf ist kostengünstig herstellbar beispielsweise durch Auftragen von Schichten unterschiedlicher Dicke. Der Stufenförmige Verlauf ermöglicht eine bessere Handhabung des Bohrrohrs mittels eines Greifwerkzeugs.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist der sich verjüngende Verlauf ein linearer Verlauf. Durch einen linearen Verlauf werden Sprungstellen stark reduziert, und somit werden ebenfalls Reflexionen auf ein Minimum gebracht.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Ausdehnung des zweiten, bzw. dritten Abschnitts im Bereich von einem Viertel der Wellenlänge des Frequenzbereichs des zu übertragenden akustischen Signals gewählt. Die Wahl der Ausdehnung entsprechend einem Viertel der Wellenlänge ist vorteilhaft, um eine konstruktive Interferenz im gewünschten

Frequenzbereich in Ausbreitungsrichtung zu erzeugen, die eine geringere Filterwirkung erzielt, was zu einer effektiv verringerten Signaldämpfung führt. Durch die verringerte Signaldämpfung kann leichter eine hohe Datenrate über einen langen Kanal übermittelt werden.

5

Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst der zweite, bzw. dritte Abschnitt einen Aufsatz, der auf dem ersten Abschnitt angeordnet ist und fest mit ihm verbunden werden kann. Hierdurch wird ermöglicht, ein bereits vorhandenes Rohr an einen gewünschten Frequenzbereich einfach nachträglich anzupassen.

10

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der zweite, bzw. dritte Abschnitt einstückig mit dem ersten Abschnitt gebildet. Durch eine einstückige Fertigung werden beispielsweise Kosten gespart, da eine einstückige Fertigung schneller vollzogen werden kann, beispielsweise in demselben Fertigungsprozess wie die Fertigung des restlichen

15

Bohrrohrs

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Außendurchmesser des Bohrrohrs im zweiten, bzw. dritten Abschnitt größer oder gleich einem Außendurchmesser des ersten Abschnitts. Durch die geeignete Wahl des Außendurchmessers wird eine gewünschte Querschnittsfläche des Rohrmantels erzeugt, womit beispielsweise ein gewünschter akustischer Wellenwiderstand realisiert wird.

20

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist ein Innendurchmesser im zweiten, bzw. dritten Abschnitt kleiner oder gleich einem Innendurchmesser im ersten Abschnitt. Durch eine geeignete Wahl des Innendurchmessers im zweiten, bzw. dritten Abschnitt werden größere Sprünge des Innendurchmessers vermieden, womit Reflexionen minimiert werden können. Die Veränderung des Innendurchmessers ist weiterhin vorteilhaft, da eine äußere Form des Bohrrohrs unverändert bleibt. Des Weiteren kann einhergehend mit der beschriebenen Veränderung des Innendurchmessers eine Veränderung des Außendurchmessers erfolgen. Durch beidseitige Änderung des Durchmessers wird eine flexiblere Wahl der radialen Bohrrohr Querschnittsfläche im zweiten, bzw. dritten Abschnitt ermöglicht und damit ebenfalls eine flexiblere Anpassung des akustischen Wellenwiderstand ermöglicht. Durch die beschriebenen verschiedenen Möglichkeiten einen bestimmten Wellenwiderstand zu erzeugen, kann das beschriebene Bohrrohr gut mit Erfordernissen der Bohrtechnik integriert werden, d.h. beispielsweise die nötige Stabilität erzeugt werden.

25

30

35

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein Bohrrrohr mit einem Verbindungselement zur Verbindung mit einem weiteren Bohrrrohr ausgestattet, wobei das Verbindungselement in dem zweiten Abschnitt gebildet ist oder wobei der zweite Abschnitt zwischen dem ersten Abschnitt und dem Verbindungselement angeordnet ist. Analog wird
5 der dritte Abschnitt mit einem dazu passenden Verbindungselement ausgestattet. Das beschriebene Bohrrrohr kann mittels der Verbindungselemente mit einem weiteren Bohrrrohr verbunden werden, um größere Bohrstränge zu ermöglichen.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel unterscheidet sich die zweite Wanddicke des
10 zweiten Abschnitts von einer dritten Wanddicke des dritten Abschnitts. Des Weiteren unterscheidet sich die Ausdehnung des zweiten Abschnitts von der Ausdehnung des dritten Abschnitts. Damit lassen sich unterschiedlich dimensionierte Bohrröhre für denselben Frequenzbereich anpassen. In diesem Fall hat das Bohrrrohr die Funktion eines Adapters zwischen Bohrstrangabschnitten mit unterschiedlich dimensionierten Bohrröhren.

15
Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die dritte Wanddicke gleich der zweiten Wanddicke und die Ausdehnung des dritten Abschnitts gleich der Ausdehnung des zweiten Abschnitts. Durch gleiche Wahl der Wanddicken und der Ausdehnungen werden symmetrische Reflexionseigenschaften angepasst an den gewünschte Frequenzbereich
20 realisiert.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung ist ein Bohrstrang, mit einer Mehrzahl von Bohrröhren, die mittels der Verbindungselemente miteinander verbunden sind. Weiterhin weist der Bohrstrang einen akustischen Sender auf, der an einem Ende
25 oder benachbart zu dem einen Ende des Bohrstrangs angeordnet ist. Weiterhin weist der Bohrstrang einen akustischen Empfänger auf, der an dem anderen Ende, oder an einem oberen Ende des Bohrstrangs angeordnet ist. Der beschriebene Bohrstrang überträgt Informationen vom akustischen Sender, beispielsweise in der Nähe des Bohrkopfs, zu einem akustischen Empfänger, der sich beispielsweise übertage befindet. Hierbei ermöglicht der beschriebene Bohrstrang eine Datenübertragung mit hoher Datenrate bei großen
30 Tiefen, beziehungsweise großen Entfernungen zwischen Sender und Empfänger. Weiterhin können die beschriebenen Sender und Empfänger auch als Sende- und Empfangseinheiten ausgelegt werden, um eine bidirektionale Kommunikation zu ermöglichen.

35
Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Wanddicke der Verbindungselemente größer als die zweite Wanddicke des zweiten Abschnitts und die dritte Wanddicke des dritten

Abschnitts. Dadurch, dass die Wanddicke der Verbindungselemente groß gewählt wird, widerstehen die Verbindungselemente großen mechanischen Belastungen, die beispielsweise während eines Bohrprozesses auf die Verbindungselemente wirken.

- 5 Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren zum Übertragen eines akustischen Signals aus einer Bohrung, mit folgenden Schritten: Bereitstellen eines Bohrstrangs und Senden des akustischen Signals über den Bohrstrang. Hierbei haben die Mehrzahl von Bohrrohren des Bohrstrangs unterschiedliche Längen und die Bohrrohre sind in beliebiger Reihenfolge angeordnet. Das beschriebene Verfahren kann eine simple Nutzung von ungeordnet vorliegenden Bohrrohren zur akustischen Datenübertragung ermöglichen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Längenvariation der Bohrrohre im Bereich von $\pm 0,25\text{m}$ (beispielsweise Bohrrohre mit Längen zwischen 8,894m und 9,394m). Die Einhaltung der beschriebenen Längenvariation ermöglicht, dass eine maximale Signaldämpfung des Bohrstrangs vermieden oder höchstens erreicht werden.

Ein Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung ist ein akustisches Datenübertragungssystem für Tiefbohranwendungen mit besonders geeignetem Bohrstrang.

20

Figurenkurzbeschreibung

Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- 25 Fig. 1 eine schematische Querschnittszeichnung eines Bohrrohrs gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2A-C schematische Darstellungen von Bohrrohren wobei, Fig. 2A ein Bohrrohr ohne elevation upset beschreibt, Fig. 2B ein Bohrrohr mit einem herkömmlichen elevation upset beschreibt und Fig. 2C ein Bohrrohr mit einem erfindungsgemäßen elevation upset beschreibt;
- 30
- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Bohrrohres an dem ein Verbindungselement angeordnet ist und eine Illustration der jeweiligen Querschnittsflächen;
- 35

- Fig. 4A-C schematische Darstellungen von Bohrsträngen und akustischem Kommunikationssystem gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;
- 5 Fig. 5 Graphen von Übertragungsverhalten von Bohrsträngen im Frequenzbereich in Abhängigkeit der Länge des Bohrstrangs;
- Fig. 6 Graphen von Übertragungsverhalten im Frequenzbereich von Bohrsträngen umfassend Bohrröhre gemäß Fig. 2A, 2B, beziehungsweise 2C;
- 10 Fig. 7 Graphen von Übertragungsverhalten im Frequenzbereich von Bohrsträngen umfassend unangepasste Bohrröhre;
- Fig. 8 Graphen von Übertragungsverhalten im Frequenzbereich von Bohrsträngen in den Bohrröhre unterschiedlich sortiert vorliegen;
- 15 Fig. 9 schematische Darstellung eines Bohrrohrs gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 10A-D schematische Darstellungen von Bohrröhren gemäß wieder weiteren Ausführungsbeispielen der Erfindung;
- 20 Fig. 11A-C schematische Darstellung von Bohrröhren und Verbindungen von Bohrröhren.

25

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt ein Bohrrohr 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das Bohrrohr 100 weist in einem ersten Abschnitt 110 eine erste Wanddicke D_1 115 auf. In einem zweiten Abschnitt 120 weist das Bohrrohr 100 eine zweite Wanddicke D_2 124 auf. Des Weiteren ist die Ausdehnung des zweiten Abschnitts 120 entlang des Bohrrohrs 100 in der Länge gleich L_{eu2} 126. In einem dritten Abschnitt 130 weist das Bohrrohr 100 eine dritte Wanddicke D_3 134 auf. Des Weiteren ist die Ausdehnung des dritten Abschnitts 130 entlang des Bohrrohrs 100 in der Länge gleich L_{eu3} 136. Im Weiteren werden der zweite und dritte Abschnitt 120, 130 jeweils auch als elevation upset bezeichnet.

35

Zur Übertragung des akustischen Signals in einem festgelegten Frequenzbereich über das Bohrrrohr 100 sind die Ausdehnungen L_{eu2} 126 und L_{eu3} 136 abhängig von einer Wellenlänge λ des Wellenlängenbereichs des zu übertragenden akustischen Signals gewählt.

Die Wellenlänge λ des akustischen Signals ist invers proportional zu der Frequenz f des

5 Signals, das heißt $\lambda = c/f$, wobei c die Schallgeschwindigkeit des Mediums ist. Die

Wahl der Ausdehnungen L_{eu2} 126 und L_{eu3} 136, abhängig von der Wellenlänge λ , insbe-

sondere zu einem Viertel der Wellenlänge $\lambda/4$ (siehe $\lambda/4$ -Transformator), verringert Fil-

terverluste entlang des Bohrrohrs die auf das zu übertragende Signal wirken. Insbesonde-

re sind diese Filterverluste dadurch reduziert, da die beschriebene Wahl der Ausdehnun-

10 gen 126 und 136 bevorzugt zu konstruktiven Interferenzen im genutzten Frequenzbereich

in Ausbreitungsrichtung führen, beziehungsweise destruktive Interferenzen vermieden

werden, die zu einer kompletten Unterdrückung gewisser Frequenzbereiche führen kön-

nen. Des Weiteren sind die beschriebenen Wanddicken D_2 124 und D_3 134 des elevation

upsets 120, 130 größer als die Wanddicke D_1 115. Hierdurch wird eine Anpassung an

15 Verbindungselemente, die an dem elevation upset 120, 130 angeordnet sein können und

eine größere Wanddicke als die Abschnitte 110, 120 und 130 aufweisen, ermöglicht. Ins-

besondere bedeutet Anpassung hier, dass für bestimmte Frequenzbereiche die Sprung-

stellen der radialen Querschnittsfläche zu derartigen Reflektionen des akustischen Sig-

nals führen, dass es zu vollständiger destruktiver Interferenz entgegen der Ausbreitungs-

20 richtung kommt. Die beschriebenen Sprungstellen entstehen im Übergang zwischen her-

kömmlichen Bohrröhren und daran optional angeordneten Verbindungselementen auf

Grund der beschriebenen unterschiedlichen Bewandungsdicken von Bohrrrohr und Ver-

bindungselement. Mittels des beschriebenen elevation upset, wird die Querschnittsfläche

des Bohrrohrs in dem Bereich erhöht, benachbart zu dem ein Verbindungsstück ange-

25 bracht werden kann, um Reflexionen einer zusätzlichen Reflexionsstelle zu erzeugen, die

für einen bestimmten Frequenzbereich und überlagert mit den restlichen Reflexionen zu

einer destruktiven Interferenz entgegen der Ausbreitungsrichtung führen.

Fig. 2A zeigt eine schematische Darstellung eines Bohrrohrs 200a, ohne einen zweiten

30 Abschnitt beziehungsweise elevation upset, an dem ein Verbindungselement 250, auch

tool-joint genannt, angeordnet ist. Das Verbindungselement weist einen höheren Außen-

durchmesser als das Bohrrrohr auf, wodurch an der Verbindungsstelle ein großer Sprung

der Querschnittsfläche entsteht, der Reflektionen des akustischen Signals bewirkt.

Fig. 2B zeigt eine schematische Darstellung eines Bohrrohres 200b an dem ein Verbindungselement 250 angeordnet ist, wobei das Bohrrohr einen herkömmlichen elevation upset 210b aufweist. Das elevation upset 210b führt ein gewisse Anpassung herbei, da die Sprünge an den Übergängen Bohrrohr-elevation upset und elevation upset-Verbindungselement geringer sind als der Sprung in Fig. 2A. Bezüglich seiner Ausdehnung und Dicke ist aber der elevation upset 210b so ausgelegt, dass eine gute Handhabung des Bohrrohres durch ein Greifwerkzeug ermöglicht ist, für eine verbesserte Übertragung in dem Frequenzbereich des akustischen Signals ist der elevation upset nicht vorgesehen und auch nicht ausgelegt.

Fig. 2C zeigt eine schematische Darstellung eines Bohrrohres 200c gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, an dem ein Verbindungselement 250 angeordnet ist. Das Bohrrohr 200c weist einen elevation upset 210c auf, dessen Ausdehnung L_{eu} 220 gemäß einem Viertel einer Wellenlänge des Wellenlängenbereichs des akustischen Signals gewählt ist. Weiterhin sind akustische Wellenwiderstände proportional zu der Querschnittsfläche des Mediums senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle, und daher ist ein weiterer Aspekt die Anpassung der Querschnittsflächen zur Reduktion der effektiven Reflexion. Hierzu wird die Querschnittsfläche F_{eu} 230, des elevation upsets 210c, mittels der Wanddicke so ausgelegt, dass ein akustischer Wellenwiderstand realisiert wird, der der Quadratwurzel des Produkts der Wellenwiderstände des Bohrrohres ohne elevation upset und dem Verbindungselement entspricht, d.h. $Z_{eu} = \sqrt{Z_{pipe} \cdot Z_{joint}}$. Durch diese Dimensionierung wird gewährleistet, dass die Reflexionen an den beiden Enden eines elevation upsets, d. h. an den Enden von Abschnitt 2 und Abschnitt 3, gleich sind.

Das beschriebene Verhältnis von Querschnittsflächen ist in Fig. 3 illustriert anhand des Bohrrohres 310 und des Verbindungselements 320. Die jeweiligen radialen Querschnittsflächen 315 und 325 sind dargestellt und abhängig von dem Verhältnis ihrer Flächeninhalte ist das Verhältnis der akustischen Wellenwiderstände von $Z_{joint} / Z_{pipe} \approx 3,5$. Ein Wert des Verhältnisses nahe 1 kennzeichnet eine gute Anpassung. Durch Einfügen des elevation upsets 210c in Fig. 2C wird die Anzahl der Sprungstellen größer und die Verhältnisse der Wellenwiderstände an den Sprungstellen werden Werte annehmen, die näher an 1 liegen als ohne den elevation upset 210c, womit im Mittel per se schon eine bessere Anpassung und damit geringere Reflexionen erzielt werden. Der wesentliche Anteil zu einer guten Anpassung erfolgt mit einer gezielten Beeinflussung der richtungsabhängigen Interferenzen.

Fig. 4A zeigt einen Bohrstrang 400a, der aus einer Mehrzahl der beschriebenen Bohrrohre 100 oder 200c besteht. Der Bohrstrang 400a ist an einem Bohrturm 410 befestigt, um eine Tiefenbohrung auszuführen. Der Bohrstrang 400a weist einen Bohrkopf 402, eine Sendeeinheit 404a, die beispielsweise benachbart zum Bohrkopf 402 angeordnet ist, sowie eine Empfangseinheit 406a auf, die oberhalb eines Bohrtisches 408 angeordnet ist. Der Bohrtisch weist eine Zange auf, die den Anbau weiterer Bohrrohre an den Bohrstrang 400a ermöglicht. Zwischen der Sendeeinheit 404a besteht ein unidirektionaler Kanal entlang des Bohrstrangs, über den mittels akustischer Signale, Daten an die Empfangseinheit 406a gesendet werden. Die Daten der Empfangseinheit 406a können beispielsweise per Funk an einen Rechner 415a übermittelt werden. Die Übertragung per Funk ist bevorzugt bei Anordnung der Empfangseinheit 406a an einem oberen Ende des Bohrstrangs 400a, da dieser sich in einem Bohrprozess drehen kann. Durch Einsatz der Bohrrohre 100, oder 200c kann ein verlässlicher akustischer Kanal in einem festgelegten Frequenzbereich des akustischen Signals, gesendet durch den Sender 404a, erreicht werden. Insbesondere können durch die Ausstattung der beschriebenen Bohrrohre mit dem zweiten und dem dritten Abschnitt Reflexionen des Signals, die zu destruktiver Interferenz in Ausbreitungsrichtung führen, vermieden werden.

Fig. 4B zeigt einen Bohrstrang 400b mit den entsprechenden Merkmalen des Bohrstrangs 400a, der an einem Bohrturm 410 befestigt ist. Der Bohrstrang 400b weist eine Sendeeinheit und Empfangseinheit 404b auf, die beispielsweise benachbart zu dem Bohrkopf 402 angeordnet ist. Des Weiteren weist der Bohrstrang 400b eine weitere Sendeeinheit und Empfangseinheit 406b auf, die Daten über den akustischen Kanal, bzw. den Bohrstrang 400b, von der Sendeeinheit und Empfangseinheit 404b erhält. Weiterhin kann die Sendeeinheit und Empfangseinheit 406b Daten an die Sendeeinheit und Empfangseinheit 404b übermitteln, womit eine bidirektionale Kommunikation ermöglicht wird. Da die Sendeeinheit und Empfangseinheit 406b bevorzugt benachbart zu dem oberen Ende des Bohrstrangs 400b unter dem Bohrtisch 408 angebracht ist, bietet sich für eine Übermittlung der Daten an einen Rechner 415b bevorzugt eine kabelgebundene Übertragung an. Weiterhin ist die kabelgebundene Verbindung bevorzugt, da die in Fig. 4B dargestellte Kommunikation bevorzugt stattfindet wenn das Bohrrohr 400b sich in Ruhe befindet und mittels der Zange im Bohrtisch 408 festgehalten wird. Des Weiteren kann mittels der Kabelverbindung eine Energieversorgung für die Sendeeinheit und Empfangseinheit 406b bereitgestellt werden. Hinzukommend kann die Sendeeinheit und Empfangseinheit 406b bevorzugt genutzt werden wenn der

Bohrstrang sich in Ruhe befindet, also kein Bohrprozess stattfindet, hierbei bietet sich eine störsichere kabelgebundene Übertragung vorteilhaft an.

In Fig. 4C ist ein Bohrstrang 400c dargestellt, der hinsichtlich seiner Funktionalität eine Kombination der beiden Bohrstränge 400a und 400b darstellt. Sowohl eine unidirektionale Verbindung mittels der Empfangseinheit 406a sowie eine bidirektionale Verbindung mittels der Sende- und Empfangseinheit 406b zur Sende- und Empfangseinheit 404c ist hiermit möglich. Die Empfangseinheit 406a und die Sende- und Empfangseinheit 406b ermöglichen eine Kombination der Konzepte, die in Fig. 4A und Fig. 4B dargestellt wurden, und kommunizieren entsprechend mit einer Rechneinheit 415c. Der beschriebene Bohrstrang 400c ermöglicht einen robusten Empfang von Daten aus der Sende- und Empfangseinheit 404a über den unidirektionalen Kanal, beispielsweise während eines Bohrprozesses. Der bidirektionale Kanal, der durch die Sende- und Empfangseinheit 404b genutzt wird, kann beispielsweise genutzt werden um große Datenmengen während einer Unterbrechung eines Bohrprozesses an die Sende- und Empfangseinheit 406b zu übermitteln.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird ein Datenübertragungssystem genutzt um mittels akustischer Wellen entlang des Bohrstrangs, z. B. vorteilhaft zusammen mit dem Modulationsformat OFDM, Daten von untertage nach übertage zu transportieren. Dabei sind grundsätzlich zwei Betriebsarten zu unterscheiden.

1. Datenübertragung während des Bohrprozesses, die durch zusätzliche Störgeräusche erheblich beeinträchtigt wird. Um diesen schwierigen Randbedingungen gerecht zu werden, muss eine sehr robuste Übertragungsmethode benutzt werden, wie z. B. die in [3] eingeführte, sehr robuste, breitbandige, unidirektionale OFDM-Übertragungsmethode. Dieses Übertragungsverfahren erlaubt Datenraten im Bereich von wenigen bit/s bis über 100 bit/s, je nach Parametersatz. Der Empfänger 406a kann z. B. als Manschette um das letzte Bohrrohr gelegt und über WLAN mit einem Terminalrechner verbunden werden.
2. Datenübertragung während des Stillstands des Bohrstrangs, der sich z. B. dann ergibt, wenn eine weitere Bohrstange, oder Bohrrohr, angebaut werden soll. Dazu wird im Allgemeinen die Spannzange im Bohrtisch 408 betätigt, um den restlichen Bohrstrang festzuhalten. Zusammen mit dieser Spannzange am Bohrtisch können vorteilhaft auch akustische Sender und Empfänger 406b an den Bohrstrang 400b,c

angepresst werden. Da nun weder gebohrt, noch die Spülung betrieben wird, sind die Störgeräusche gering und es kann eine hochratige Übertragung mit der Untertagestation aufgebaut werden, wie z. B. die in [4] beschriebene, adaptive, bidirektionale OFDM-Übertragung, wobei Datenraten bis zu einigen kbit/s erzielt werden können.

Beide Verfahren zur Datenübertragung können vorteilhaft miteinander verbunden werden und erlauben somit eine höhere, mittlere Gesamtdatenrate und eine nahezu unterbrechungsfreie Datenübertragung. Die Figuren 4A-C zeigen schematisch die drei möglichen Datenübertragungssysteme.

Für ein System nach Fig. 4C kann die Auswahl, welches der Kommunikationssysteme gerade aktiv sein soll, z. B. anhand der Empfangssignale der Untertagestation 404c festgelegt werden. Während des robusten, unidirektionalen Modus, bei dem eigentlich kein Rückkanal vorgesehen ist, wird dazu in der Untertagestation 404c periodisch der Sender ausgeschaltet und der Empfänger abgefragt, damit, falls entsprechende Befehle von der Übertagestation 406b gesendet und an der Untertagestation 404c empfangen werden, in den bidirektionalen Modus umgeschaltet werden kann. Sollten dagegen während des bidirektionalen Betriebs über einen längeren Zeitraum keine Steuerbefehle mehr an der Untertagestation 404c ankommen oder andere, vorher definierte Kriterien vorliegen, z. B. starke Störsignale, so schaltet die Untertagestation 404c von selber in den robusten, unidirektionalen Modus um. Die Rechneinheit 415c an der Übertagestation 406b oder 406a kann dabei an bestimmten Kriterien der Empfangssignale (z. B. Art der Beladung oder Piloten) erkennen, welcher Modus gerade von der Untertagestation 404c gesendet wird und entsprechende Empfangsroutinen einsetzen. Um die Betriebssicherheit noch weiter zu erhöhen, ist denkbar, dass wichtige Systembefehle zusätzlich mit anderen Technologien übertragen werden, z. B. über die Spülung mit der mud-pulse Telemetrie.

Für viele Tiefbohranwendungen wird die Reichweite des Kommunikationssystems nicht ausreichen. Wird jedoch ein Bohrstrang gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung eingesetzt, der mittels Bohrröhren 100 oder 200c gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung gewonnen werden kann, werden die Kanaleigenschaften für eine akustische Übertragung deutlich verbessert und insbesondere die Reichweiten der Datenübertragungsverfahren der Systeme in Figuren 4A-C wesentlich größer.

Fig. 5 zeigt Messungen von Betragsfrequenzgängen 500a bis 500g akustischer Kanäle, die über einen Bohrstrang realisiert sind, beispielsweise die Bohrstränge 400a-c [1]. Die Länge der Bohrstränge steigt von dem Betragsfrequenzgang 500a, beginnend bei 520 m, zum Betragsfrequenzgang 500g jeweils um 260 m an, womit eine maximale Bohrstranglänge von 2030 m erreicht wird. Messungen der Kanaleigenschaften deuten darauf hin, dass die Dämpfung des akustischen Kanals aufgrund von Materialdämpfung mit der Frequenz ansteigt, in anderen Worten das Material des Bohrrohrs hat Tiefpasscharakteristik.

Ein günstiger Frequenzbereich zur Übertragung von Daten ergibt sich, wenn der Bohrstrang transparent wird, d. h. in diesem Frequenzbereich wirkt dann nur noch seine Materialdämpfung, die Filterdämpfung aufgrund seiner zahlreichen Fabry-Perot-Resonatoren, gebildet durch die sich ständig abwechselnden pipe- und tool-joint-Bereiche, ist dann vernachlässigbar, wobei ein tool-joint ein Verbindungselement bezeichnet und ein pipe ein Bohrrohr. Transparenz wird z. B. erreicht, wenn die Fabry-Perot-Resonatoren der kürzeren, zusammengeschraubten tool-joint Verbinder (vgl. Verbindungselement 250) gerade in Resonanz sind [5]. Insofern lässt sich jeder beliebige Frequenzbereich dadurch anpassen, dass die tool joint Verbinder eine entsprechende Länge annehmen (z. B. je $\lambda/4$, also zusammengeschraubt $\lambda/2$), was aber zu langen tool joint Verbindern führt, aber für spezielle Bohrrohre denkbar ist. Auch ist die Reichweite und die Bandbreite nicht so groß wie bei der Lösung mit einem zusätzlichen elevation upset. Für einen typischen Bohrstrang ohne elevation upset, der dem zweiten oder dritten Abschnitt des Bohrrohrs entspricht, ist dies im Bereich von 5000 Hz bis 6000 Hz der Fall. Mit einem typischen elevation upset liegt diese Resonanz immer noch in diesem Bereich, wird aber spektral breiter. Dabei bezeichnet ein elevation upset einen verstärkten Bereich hinter jedem tool-joint-Verbinder eines Bohrrohrs, der ein robusteres Hantieren mit den Bohrrohren erlaubt.

Messungen der Kanaleigenschaften deuten darauf hin, dass die akustische Materialdämpfung mit der Frequenz ansteigt (vgl. Fig. 5). Simulationen und Messungen haben außerdem gezeigt, dass die Dämpfung aufgrund von Schwankungen der Länge der Bohrrohre ebenfalls mit der Frequenz größer wird [6]. Insofern werden sich kleinere akustische Frequenzen zur Datenübertragung über sehr große Strecken besser eignen als hohe akustische Frequenzen. Dies wird besonders deutlich im Betragsfrequenzgang 500g, da oberhalb von ca. 3000 Hz keine signifikante Durchlässigkeit, oder Transparenz, des Kanals mehr feststellbar ist.

Dem entgegen stehen aber die Eigenschaften eines Senders, der beliebig tiefe Frequenzen nicht mit genügender akustischer Leistung im Bohrrrohr erzeugen kann und der für kleinere Frequenzen auch besonders nichtlinear wird, was die Qualität der Übertragung verschlechtert oder ganz unmöglich macht. Insofern ist ein Bereich von beispielsweise
5 500 Hz bis 2000 Hz günstig für eine akustische Datenübertragung und es wäre vorteilhaft dort einen transparenten, beziehungsweise durchlässigen, Bereich zu erzeugen.

Gemäß Ausführungsbeispielen ist der elevation upset in besonderer Weise dimensioniert, so dass sogar die Frequenzen, an denen der Bohrstrang transparent wird, in weiten Tei-
10 len bestimmt und eingestellt werden kann. Dabei entspricht die Dimensionierung der eines $\lambda/4$ Transformators, der aus der Mikrowellentechnik bekannt ist. D. h. die Länge L_{eu} des elevation upset ergibt sich aus der gewünschten Frequenz, genauer zu $\lambda/4$ davon, und der Wellenwiderstand zu $Z_{eu} = \sqrt{Z_{pipe} \cdot Z_{joint}}$, wobei Z_{pipe} bzw. Z_{joint} den akustischen
Wellenwiderstand des pipe- bzw. joint-Bereiches bezeichnen. Der akustische Wellenwi-
15 derstand ist dabei in etwa proportional zur Querschnittsfläche des jeweils betrachteten Abschnitts des Bohrrohrs, z. B ist die Querschnittsfläche F_{eu} des elevation upset in etwa proportional zum Wellenwiderstand Z_{eu} [7].

Fig. 6 zeigt simulierte Betragsfrequenzgänge unterschiedlicher Bohrstränge. Der Betrags-
20 frequenzgang 600a ist charakteristisch für einen Bohrstrang, der aus Bohrröhren 200a gebildet wird ohne elevation upset. Die horizontale Linie 610 kennzeichnet eine Empfängersensitivität oder Empfängerempfindlichkeit, d. h. Frequenzanteile deren Betrag unterhalb dieser Linie liegen, können von einem Empfänger nicht empfangen werden.

25 Der Betragsfrequenzgang 600a zeigt in einem besonders für Datenübertragung geeigneten Frequenzbereich von beispielsweise 500 Hz bis 2000 Hz keinen nennenswerten Betrag auf. Frequenzen unter 500 Hz sind für die Übertragung innerhalb eines Bohrstrangs weniger geeignet, da sie stark durch Bohrgeräusche überlagert werden. Frequenzen oberhalb von 2000 Hz wiederum erleiden durch die starke Materialdämpfung des
30 Bohrstrangs eine zu hohe Dämpfung, um effektiv für Kommunikation genutzt werden zu können. Daher ist der mit Betragsfrequenzgang 600a charakterisierte Bohrstrang weniger für eine robuste Kommunikation geeignet.

Betragsfrequenzgang 600b beschreibt einen Bohrstrang, bei dem Bohrröhre 200b, die
35 einen elevation upset aufweisen, verwendet werden, der elevation upset jedoch nicht an

den Wellenlängenbereich, der dem Frequenzbereich von 500 bis 2000 Hz entspricht, angepasst ist. Diese sogenannte Fehlanpassung zeigt sich durch eine Verstärkung der Anteile im Frequenzbereich oberhalb von 3500 Hz im Vergleich zum Betragsfrequenzgang 600a.

5

Der Betragsfrequenzgang 600c beschreibt einen Bohrstrang, der aus Bohrrohren 200c besteht, die den beschriebenen elevation upset aufweisen. Der Betragsfrequenzgang 600c zeigt, dass ein solcher Bohrstrang in dem Frequenzbereich von 500 Hz bis 2000 Hz einen signifikanten Betrag, der größer als die Empfängersensitivität 610 ist, aufweist.

10 Hierdurch kann eine akustische Kommunikation über den Bohrstrang in dem betrachteten Frequenzbereich sichergestellt werden.

In Fig. 6 wurde ein Bohrstrang, bestehend aus 600 30'-Bohrrohren, Länge $\approx 5,5$ km, Dämpfung $a_{BS} = 20$ dB/km, Wellengeschwindigkeit $v_{AW} = 5130$ m/s, simuliert, wobei die drei
15 Fälle nach Fig. 2 untersucht wurden. Ergebnisse dazu zeigt Fig. 6, wobei die Linie 610 einer typischen Empfängerempfindlichkeit entsprechen soll, d. h. alle Spektralanteile, bei denen die Kanalcharakteristik oberhalb der Linie 610 liegt, können empfangen werden, alle anderen nicht.

20 Ist kein elevation upset am Bohrrohr vorhanden 200a, ergibt sich im gewünschten Zielbereich (500 – 2000 Hz) kein erfolgreicher Empfangsbereich, siehe Betragsfrequenzgang 600a. Dies ändert sich auch nicht mit einem typisch dimensionierten elevation upset, entsprechend Bohrrohr 200b, obwohl der erfolgreiche Bereich größer wird, siehe Betragsfrequenzgang 600b. Wird dagegen der elevation upset auf 0,8 m verlängert und die Dicke
25 entsprechend einem $\lambda/4$ -Transformator gewählt, entsprechend Bohrrohr 200c, ergibt sich ein transparenter Bereich im Zielbereich, siehe Betragsfrequenzgang 600c ($\lambda/4 = 0,8$ m $\rightarrow$ 1600 Hz).

30 Des Weiteren sind die Betragsfrequenzgänge in Fig. 6 Simulationsergebnisse für die Kanalcharakteristiken eines Bohrstrangs aus 600 Bohrrohren der Länge 30' (30' $\approx 9,14$ m, d. h. insgesamt 5486 m; Linie 610 =typische Empfindlichkeit eines Empfängers):

600a: ohne elevation upset;

600b: mit typischem elevation upset ($L_{eu} = 25$ cm, $Z_{eu}/Z_{pipe} = 1,5$);

35 600c: mit optimiertem elevation upset ($L_{eu} = 80$ cm, $Z_{eu} = \sqrt{Z_{pipe} \cdot Z_{joint}}$).

Fig. 7 zeigt Betragsfrequenzgänge 700a und 700b unterschiedlicher Bohrstränge auf.

Der Betragsfrequenzgang 700a charakterisiert einen Bohrstrang, der aus Bohrrohren
5 710a besteht die einen elevation upset aufweisen deren Ausdehnung entsprechend der
Wellenlänge gewählt wurde, aber ihre Wanddicken nicht vorteilhaft gewählt sind. Dadurch
bleibt der Betragsfrequenzgang 700a in dem Bereich von 500 Hz bis 2000 Hz unterhalb
der Empfängersensitivität 610.

- 10 Die Betragsfrequenzgänge 720b und 730b in Graph 700b, charakterisieren Bohrstränge,
deren Bohrrohre elevation upsets aufweisen, die weder in der Länge, also in der Ausdeh-
nung noch in der Wanddicke vorteilhaft gewählt sind. Dies hat zur Folge, dass in dem
Bereich von 500 Hz bis 2000 Hz kein nennenswerter Betrag über der Empfängersensitivi-
tät 610 erkennbar ist und somit kaum eine Datenübertragung in diesem Frequenzbereich
15 realisierbar ist.

- Fig. 8 zeigt Graphen 800a-c, die jeweils simulierte Betragsfrequenzgänge unterschiedli-
cher Bohrstränge zeigen. Der Betragsfrequenzgang 810a in Graph 800a charakterisiert
einen Bohrstrang, der aus Bohrrohren besteht, die elevation upsets an ihren Enden auf-
20 weisen, wobei die Bohrrohre alle die gleiche Länge aufweisen. Betragsfrequenzgang
820a beschreibt einen Bohrstrang, der sich von dem durch Betragsfrequenzgang 810a
beschriebenen Bohrstrang dadurch unterscheidet, dass die Bohrrohre um bis zu 0,5 m
und die Verbindungselemente um bis zu 1 cm in ihrer Länge variieren können. Des Weite-
ren sind die Bohrrohre in dem durch den Betragsfrequenzgang 820a beschriebenen
25 Bohrstrang entsprechend ihrer Länge angeordnet. Der Betragsfrequenzgang 830a be-
schreibt einen Bohrstrang, der dem Bohrstrang entspricht, der mit dem Betragsfrequenz-
gang 820a beschrieben ist, wobei die einzelnen Bohrrohre ungeordnet bezüglich ihrer
Länge im Bohrstrang angeordnet sind. Es ist ersichtlich, dass der Betragsfrequenzgang
810a den größten Anteil oberhalb der Empfängersensitivität 610 aufweist. Weiterhin bietet
30 der sortierte Bohrstrang beschrieben durch den Betragsfrequenzgang 820a ebenfalls ei-
nen signifikanten Anteil in dem Bereich von 500 Hz bis 2000 Hz über der Empfängersen-
sitivität 610. Der durch den Betragsfrequenzgang 830a beschriebene Bohrstrang mit un-
sortiert vorliegenden Bohrrohren bietet nur einen geringen spektralen Bereich an, in dem
der Betrag größer als die Empfängersensitivität 610 ist. Zusammenfassend kann durch
35 Sortierung herkömmlicher Bohrrohre eine bessere Kanalcharakteristik erreicht werden.

Graph 800b beinhaltet Betragsfrequenzgänge 810b, 820b und 830b, die analog sind zu den Betragsfrequenzgängen 810a, 820a und 830a. Die beschriebenen Bohrstränge unterscheiden sich allein dadurch, dass die verwendeten Bohrröhre elevation upsets aufweisen, die an den Frequenzbereich von 500 Hz bis 2000 Hz angepasst sind entsprechend Bohrrohr 200c. Die Betragsfrequenzgänge 810b, 820b und 830b bieten in dem Frequenzbereich von 500 Hz bis 2000 Hz eine ähnliche Übertragungscharakteristik an. Hiermit kann zusammenfassend gesagt werden, dass ein Bohrstrang, der aus den beschriebenen Bohrröhren 200c besteht, keiner Sortierung der Bohrröhre nach Länge bedarf, um eine vorteilhafte Übertragungscharakteristik aufzuweisen.

In Graph 800c sind Betragsfrequenzgänge 810c, 820c und 830c aufgetragen. Die Betragsfrequenzgänge 810c, 820c und 830c sind analog zu den Betragsfrequenzgängen 810b, 820b und 830b, wobei die Gesamtbohrstranglänge verdoppelt wurde. Hierdurch steigt die Gesamtdämpfung des Kanals um ca. 60 dB, wodurch in dem betrachteten Bereich von 500 Hz bis 2000 Hz nur noch eine Übertragung mit geringer Datenrate möglich ist.

Für kürzere Bohrstranglängen ergeben sich deutliche Vorteile durch Sortierung bei konventionellen Bohrröhren, siehe Graph 800a. Nimmt man Längenvariation der Elemente eines Bohrstrangs an, so zeigt sich, dass der Bohrstrang basierend auf Bohrröhren 200c mit dem optimierten elevation upset wesentlich toleranter gegenüber diesen Längenschwankungen ist, verglichen zu dem Bohrstrang basierend auf Bohrröhren 200b, der mit den typischen elevation upset ausgestattet ist, was z. B. in Graphen 800a und 800b gut zu sehen ist. Die angenommenen Variation der pipe, bzw. Bohrröhre, ist für die Simulationszwecke auf 0,5m und für die tool joint, bzw. Verbindungselement, Länge auf 1cm beschränkt, jeweils gleichverteilt. Die Variationen können in der Realität beispielsweise Herstellungstoleranzen sein. Längenänderungen ergeben sich aber auch aufgrund der enormen Zug- und Druckkräfte, abhängig von der Position des Bohrrohrs im Bohrstrang, und den von der Tiefe abhängigen Temperaturen, die ca. um 30°C pro 1000 m zunimmt.

Fig. 8 zeigt Simulationsergebnisse für die Kanalcharakteristik eines Bohrstrangs aus 300 Bohrröhren der Länge 30' (30' $\approx$ 9,14 m, d. h. insgesamt etwa 2750 m; Linie 610 =typische Empfindlichkeit eines Empfängers):

800a: mit typischem elevation upset ($L_{eu}=25$ cm, $Z_{eu}/Z_{pipe}=1,87$);

800b: mit optimiertem elevation upset ($L_{eu}=80$ cm, $Z_{eu}=\sqrt{Z_{pipe} \cdot Z_{joint}}$);

800c: wie 800b, aber für 600 Bohrröhre.

Für die Kurven 810a-c wurden keine Längenschwankungen angenommen, wohingegen bei den Kurven 820a-c und 830a-c die pipe Länge um maximal 0,5 m und die tool joint
5 Länge um maximal 1 cm jeweils schwanken dürfen (gleichverteilt). Die Kurven 820a-c ergeben sich, wenn die Bohrröhre der Länge nach sortiert in den Bohrstrang eingebaut werden.

Fig. 9 zeigt ein Bohrrrohr 900, das dem Bohrrrohr 100 entspricht und hinzukommend Ver-
10 bindungselemente 922 und 932 an den Enden des Rohrs 100 aufweist, die benachbart zu den elevation upsets 120 und 130 angeordnet sind. Die elevation upsets 120 und 130 sind so gewählt, dass ihr akustischer Wellenwiderstand gleich der Quadratwurzel des Produkts der Wellenwiderstände des ersten Abschnitts 110 und des Verbindungselements 922 oder 932 ist. Des Weiteren weist das Verbindungselement 922 ein Innenge-
15 winde und das Verbindungselement 932 ein Außengewinde auf. Innerhalb eines Bohrstrangs bietet das Bohrrrohr 900 die Möglichkeit für einen bestimmten Frequenzbereich die Entstehung von Reflexionen an beiden Enden des Bohrrohrs zu vermeiden oder zu unterdrücken.

20 In Fig. 10A-D werden schematische Längsschnitte von unterschiedlichen Bohrröhren gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung gezeigt. Dabei wird immer nur eine Anschlussseite gezeigt. Eine beliebige Mischung der verschiedenen Ausführungsformen an den beiden Seiten ist möglich und entspricht einem Adapter.

25 Fig. 10A zeigt einen schematischen Querschnitt eines Bohrrohrs 1000a, das einen ersten Abschnitt 110 und einen zweiten Abschnitt 1020a aufweist. Des Weiteren weist der erste Abschnitt 110 eine Wanddicke D_1 auf die kleiner ist als die Wanddicke D_2 des zweiten Abschnitt 1020a und der zweite Abschnitt 1020a weist einen geringeren Innendurchmesser d_2 als der erste Abschnitt 110 mit d_1 auf. Weiterhin weist der zweite Abschnitt 1020a
30 eine Ausdehnung entlang des Bohrrohrs 1000a auf, der einem Viertel der Wellenlänge des zu übertragenden akustischen Signals entspricht. Durch das beschriebene Ausführungsbeispiel kann eine gewünschte Anpassung erzielt werden ohne die äußere Form des Bohrrohrs zu verändern.

35 Fig. 10B zeigt einen schematischen Querschnitt eines Bohrrohrs 1000b entsprechend dem Bohrrrohr 1000a, wobei der zweite Abschnitt 1020b im Vergleich zum zweiten Ab-

schnitt 1020a des Bohrrohrs 1000a einen vergrößerten Außendurchmesser aufweist. Das beschriebene Ausführungsbeispiel ist vorteilhaft um eine Flächenvergrößerung auf die Innenseite und die Außenseite des Bohrrohrs 1000b zu verteilen.

- 5 Fig. 10C zeigt einen schematischen Querschnitt eines Bohrrohrs 1000c entsprechend dem Bohrrohr 100. Der zweite Abschnitt des Bohrrohrs 1020c des Bohrrohrs 1000c weist einen sich stufenförmigen verjüngenden Verlauf von der Wanddicke D_2 des zweiten Abschnitts 1020c zu der Wanddicke D_1 des ersten Abschnitts 110. Das beschriebene Ausführungsbeispiel ist vorteilhaft da Sprungstellen in der Wanddicke durch den stufenförmigen Verlauf verkleinert werden, zusätzlich erzeugte Interferenzen benutzt werden können, um die Anpassung zu verbessern, und eine gute Handhabbarkeit des Bohrrohrs für ein Greifwerkzeug gewährleistet wird. Da außerdem mindestens zwei Stufen vorhanden sind, können, analog zur Mikrowellentechnik, die Längen und Höhen der Stufen nach verschiedenen Kriterien festgelegt werden, z. B. nach Tschebyscheff Polynomen, um den Übergang weiter zu optimieren.

- Fig. 10D zeigt einen schematischen Querschnitt eines Bohrrohrs 1000d, entsprechend dem Bohrrohr 100. Der zweite Abschnitt des Bohrrohrs 1020d des Bohrrohrs 1000d weist einen sich linear verjüngenden Verlauf von der Wanddicke D_2 des zweiten Abschnitts 1020d zu der Wanddicke D_1 des ersten Abschnitts auf. Das beschriebene Ausführungsbeispiel reduziert Sprungstellen auf ein Minimum womit ebenfalls Reflexionen stark gedämpft oder gänzlich vermieden werden können. Entsprechend zur Mikrowellentechnik können auch andere funktionale Zusammenhänge für den Verlauf des Wellenwiderstandes vorteilhaft sein, z. B. ein exponentieller Verlauf, der dazu benutzt werden kann, die Bandbreite noch weiter zu vergrößern.

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden, in Figuren 11A-C, 3 mögliche Verbindungen von Bohrrohren, 1100a-c, betrachtet und ihren Zusammenhang zur Phasenlage der Reflexionen diskutiert.

30

- Würde man zwei Bohrrohre entsprechend dem Bohrrohr 1100a in Fig. 11A zusammenschrauben, so erhielte man eine Anordnung gemäß Anordnung 1110a. Da aber nun der Wellenwiderstand einmal von klein nach groß und einmal von groß nach klein wechselt, ist die Reflexion einmal gleichphasig (positiv) und einmal gegenphasig (negativ; $r = (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2)$). Da der zusätzliche Umweg der hinteren Reflexion um zwei Mal $\lambda/4$ bewirkt, dass beide Reflexionen wieder gleichphasig werden, wird die gesamte Reflexion

35

maximal (Mehrfachreflexionen vernachlässigt). D. h. mit einem Bohrrrohr 1100a entsprechend der Fig. 11A kann kein Bohrstrang aufgebaut werden, der bei einer Frequenz von $f=c/\lambda$ besonders gut überträgt.

- 5 Die genannte maximale Reflexion wird behoben, d. h. die Reflexion wird minimal, wenn am anderen Ende des Bohrrohrs die gleiche Verdickung vorgesehen wird wie am ersten Ende, siehe Bohrrrohr 1100b in Fig. 11B, denn dann wird die Verdickung des verschraubten Bohrrrohrübergangs $\lambda/2$ lang (Anordnung 1110b). Dies entspricht dem Fall, dass man die tool-joint Bereiche gleich so lang macht, dass ihre erste Resonanzfrequenz im gewünschten Frequenzbereich liegt. Dazu müssten jedoch die Tool-Joints, die relativ dick sind, etwa dreimal länger werden, so dass diese Möglichkeit für herkömmliche Bohrröhre ausscheidet, da sie zu schwer werden würden. Für spezielle Bohrröhre, die auch immer verwendet werden müssen, wäre dies dagegen denkbar.
- 10
- 15 Mit einem elevation upset, der in einem bevorzugten Fall eine Länge von $\lambda/4$ hat, ergibt sich das Bohrrrohr 1100c in Fig. 11C. Dabei ergibt sich immer die minimale Reflexion, da die Reflexionen an beiden Enden des $\lambda/4$ -Transformators entweder beide positiv oder beide negativ, also gleichphasig, sind (die Ausbreitungsrichtung entscheidet über das Vorzeichen).
- 20 Mit dem hier gewählten Ansatz kann sowohl eine Lösung ohne elevation upset (Fig. 11B; $\lambda/2$ -Resonanz der zusammen-geschraubten tool joints), als auch eine Lösung mit elevation upset (Fig. 11C; $\lambda/4$ -Transformator) beschrieben werden. Damit ist auch der Fall eingeschlossen, dass mit einem entsprechenden Adapter, Bohrröhrebereiche mit elevation upset mit Bohrröhrebereichen ohne elevation upset für einen bestimmten Frequenzbereich optimal gekoppelt werden.
- 25

Weitere Aspekte und Schlussfolgerung

- Ohne den optimierten elevation upset ist im Zielbereich (500 Hz – 2000 Hz) für längere Bohrstränge schon nahezu kein Empfang mehr möglich, während mit dem optimierten elevation upset, beispielsweise erzielt durch geeignete Wahl der Ausdehnung und der Wanddicke des zweiten und des dritten Abschnitts, noch der Großteil der Bandbreite zur Verfügung gestellt werden kann. Das Sortieren der Bohrröhre der Länge nach ergibt für einen Bohrstrang mit einem typischen elevation upset zwar eine deutliche Verbesserung,
- 30 jedoch ist die erzielte Übertragungskapazität immer noch gering. Bei einem Bohrstrang mit optimiertem elevation upset ist die Änderung durch das Sortieren gering (vgl. Kurven 820b bis 830b), d. h. durch das Verwenden des optimierten elevation upset kann der Ar-
- 35

beitsschritt des Sortierens der Bohrröhre der Länge nach, um den Übertragungskanal zu verbessern, zumeist gespart werden. Zum Vergleich zeigt die Kurven 810c, 820c und 830c in Fig. 8 das Verhalten eines Bohrstrangs aus 600 Bohrröhren, die jeweils mit dem optimierten elevation upset ausgestattet sind. Es ist zu erkennen, dass trotz der Längenschwankungen immer noch der Großteil der Bandbreite, die sich ohne Längenschwankungen ergeben würde, zur Verfügung steht.

Wird der elevation upset in weitere Stufen unterteilt, lässt sich die Bandbreite für die akustische Übertragung noch weiter erhöhen. Im Grenzfall würde sich dann ein kontinuierlicher Übergang ergeben.

Gemäß Ausführungsbeispielen kann, wenn aus irgendwelchen Gründen der optimale elevation upset nicht vollständig realisiert werden kann, die Länge und Breite des elevation upset so nahe wie möglich an die optimalen Werte heran gewählt werden, da unter diesen Umständen dann die beste akustische Übertragung zu erwarten ist.

Weitere Aspekte der Erfindung sind:

- Nichtlineare Effekte begrenzen die maximale Sendeleistung der Aktuatoren. Die Nichtlinearität kann z. B. dadurch reduziert werden, dass das Sendesignal aus mehreren Einzelsignalen zusammengesetzt wird und zum Erreichen derselben gesamten Sendeleistung, jedes Einzelelement nicht mehr so weit angesteuert werden muss. Da die Überlagerung der jeweiligen Signalanteile kohärent erfolgt und die der Störterme im Allgemeinen nicht, ist der Effekt besonders ausgeprägt. Bei den nach den GFZ (GeoForschungsZentrum)-Spezifikationen [8] gebauten Aktuatoren ergaben Messungen, dass die quadratische Nichtlinearität dominant ist. In diesem Fall können zwei Sender, verglichen zu einem Sender mit gleichem S/R (Signal zu Störleistungsverhältnis=Signal-to-Interference Ratio), eine um 9 dB höhere akustische Leistung im Bohrrohr erzeugen. Dieser Wert erhöht sich auf ~14 dB für drei und ~18 dB für vier Sender.
- Dominieren beim Sender die Nichtlinearitäten 2. Grades, so kann das Sendespektrum so gewählt werden, dass die Mischprodukte 2. Grades nur außerhalb des Sendespektrums liegen. Zum Erreichen eines bestimmten SNR (Signal-Rauschleistungsverhältnis=Signal-to-Noise Ratio) kann dann eine höhere Sendeleistung gewählt werden, als wenn diese Mischprodukte im Sendespektrum liegen

würden. Beginnt das Sendespektrum z. B. bei der Frequenz f_1 , so stören die Nichtlinearitäten 2. Grades bis zu einer Frequenz $2 \cdot f_1$ nicht.

- Bei einem *OFDM* (Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren=Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)-Signal mit seinen vielen unabhängigen Unterträgern, besteht das erzeugte Störsignal aus so vielen unabhängigen Mischprodukten, dass es als nichtlineares Rauschen betrachtet werden kann. Dominiert z. B. die Nichtlinearität 2. Grades, so ergibt sich ein optimales *SNIR* (Signal zu Rausch- und Störleistungsverhältnis=Signal-to-Noise and Interference Ratio), wenn das Empfängerrauschen und das nichtlineare Rauschen am Empfänger gleiche Leistung haben.
- Im Bohrbetrieb führt das Anschlagen des hochgespülten Bohrkleins an den Bohrstrang zu großen Störspitzen, die nach 1 - 5 ms wieder abgeklungen sind. Das Datensignal ist zumeist deutlich kleiner als diese Spitzen. Durch das Abschneiden der Spitzen, so dass das Datensignal gerade nicht betroffen wird, ist eine Reduzierung des Störspektrums möglich.
- Hat man eine *MIMO* (Mehreingangs-Mehrausgangs=Multiple Input-Multiple Output)-Anwendung, so ist der Übertragungskanal zwar singulär, aber die *SVD* (Singulärwertzerlegung=Singular Value Decomposition) liefert trotzdem eine Anleitung zum optimalen Einkoppeln in und Auskoppeln aus diesen einen Eigenwert.
- Kommt die erste dominante Reflexion hinter dem Sender (oder Empfänger) nach einem Abstand der höchstens einige Wellenlängen betragen kann, so sollte der Abstand so gewählt werden, dass sich am Sender (oder Empfänger) für den maßgeblichen Frequenzbereich möglichst eine konstruktive Interferenz ergibt. Kommt die erste dominante Reflexion hinter dem Sender (oder Empfänger) jedoch in einem Abstand von vielen Wellenlängen, so kann der Abstand nahezu beliebig gewählt werden, da im maßgeblichen Frequenzbereich viele destruktive und konstruktive Frequenzüberlagerungen auftreten werden.

Referenzen:

- [1] M. A. Gutierrez Estevez, K. A. Krüger, K. Krüger, M. Groh, A. Jurczyk, M. Sohmer, U. Krüger, V. Jungnickel, K. Manolakis, K. Jaksch, R. Giese, M. Reich, „Vibrationen aus der Tiefe – Wie neue Mobilfunktechniken helfen, große Datenmengen in kürzerer Zeit akustisch über einen Bohrstrang zu übertragen,“ DGMK-Tagungsbericht 2013-1, ISBN 978-3-941721-31-9, Celle, Germany, April 2013.
- [2] M.E. Reeves, P.L. Camwell, J. McRory, „High Speed Acoustic Telemetry Network Enables Real Time Along String Measurements, Greatly Reducing Drilling Risk,“ Offshore Europe, United Kindom, 2011.
- [3] M. J. Berro, M. A. Gutierrez Estevez, U. Krüger, K. Krüger, M. Reich, K. Jaksch, R. Giese, K. Eggemann, A. Zandi-Nia, „Robustes, unidirektionales OFDM-Kommunikationssystem: Integration in einen Bohrstrang und Messungen des autarken Systems,“ DGMK-Tagungsbericht, Celle, Germany, April, 2016.
- [4] V. Jungnickel, M. A. Gutierrez Estevez, K. A. Krüger, U. Krüger, K. Manolakis, R. Giese, M. Groh, K. Jaksch, A. Jurczyk, K. Krüger, S. Mikulla, S. Weisheit, M. Reich, M. Sohmer, „Anwendung der neuesten Mobilfunktechniken auf akustische Wellen zur Verbesserung der Kommunikation in der Tiefbohrtechnik,“ DGMK-Tagungsbericht 2012-2, ISBN 978-3-941721-25-8, Celle, Germany, April, 2012.
- [5] M. Gutierrez, U. Krueger, K. A. Krueger, K. Manolakis, V. Jungnickel, „Acoustic Channel Model for Adaptive Downhole Communication over Deep Drill Strings,“ ICASSP-2013, ISSN 1520-6149, Vancouver, Canada, May 2013.
- [6] Drumheller, D., S., Knudsen, S., D., „The Propagation of Sound Waves in Drill Strings,“ J. Acoust. Soc. Am. vol. 97, pp. 2116-2125, 1995.
- [7] D. S. Drumheller, „Wave impedances of drill strings and other periodic media,“ J. Acoust. Soc. Am. 112 (6), 2002.
- [8] Schlussberichte zu den BMU / BMWi geförderten Projekten SPWD-BUSData und SPWD-BUSData II, 2011-2015, Technische Informationsbibliothek (TIB) - Hannover.

Patentansprüche

1. Bohrrohr (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c, 1000d), mit

5 einem ersten Abschnitt (110) mit einer ersten Wanddicke (D_1) (115),

einem zweiten Abschnitt (120; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) an oder benachbart zu einem Ende des Bohrrohrs (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) mit einer zweiten Wanddicke (D_2) (124), die sich von der ersten Wanddicke (115) unterscheidet,

10 einem dritten Abschnitt (130; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) an oder benachbart zu einem anderen Ende des Bohrrohrs (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) mit einer dritten Wanddicke (D_3) (134), die sich von der ersten Wanddicke (115) unterscheidet, und

15 Verbindungselemente (250; 922, 932) an jedem Ende des Bohrrohrs, die so angeordnet sind, dass der zweite und der dritte Abschnitt (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) zwischen einem jeweiligen Verbindungselement und dem ersten Abschnitt (110) angeordnet sind,

20 wobei das Bohrrohr (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c, 1000d) vorgesehen ist, um ein akustisches Signal innerhalb eines festgelegten Frequenzbereichs zu übertragen,

25 dadurch gekennzeichnet, dass

eine Länge ($L_{eu1}; L_{eu2}; L_{eu3}$) (126; 136; 220) des zweiten oder dritten Abschnitts (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) entlang des Bohrrohrs (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) abhängig von einem Wellenlängenbereich des zu übertragenden akustischen Signals gewählt ist.

2. Bohrrohr gemäß Anspruch 1, wobei eine radiale Querschnittsfläche des Rohrmaterials des zweiten oder dritten Abschnitts (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) proportional zu einem akustischen Wellenwiderstand des zweiten oder dritten Abschnitts (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) ist.

3. Bohrrrohr gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der zweite oder dritte Abschnitt (1020c; 1020d) einen sich verjüngenden Verlauf von dem zweiten Durchmesser des zweiten Abschnitts (1020c; 1020d) zu dem ersten Durchmesser des ersten Abschnitts (110) aufweist.
4. Bohrrrohr gemäß Anspruch 3, wobei der sich verjüngende Verlauf ein stufenförmiger (1020c) Verlauf ist.
5. Bohrrrohr gemäß Anspruch 3, wobei der sich verjüngenden Verlauf ein linearer (1020d) Verlauf ist.
6. Bohrrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Ausdehnung (126; 136; 220) des zweiten oder dritten Abschnitts (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) im Bereich von einem Viertel der Wellenlänge (λ) des Frequenzbereichs des zu übertragenden akustischen Signals gewählt ist.
7. Bohrrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der zweite oder dritte Abschnitt (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) einen Aufsatz umfasst, der auf dem ersten Abschnitt (110) angeordnet ist, oder wobei der zweite oder dritte Abschnitt (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) einstückig mit dem ersten Abschnitt (110) gebildet ist.
8. Bohrrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein Außendurchmesser des Bohrrrohres im zweiten oder dritten Abschnitt (120; 130; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) größer oder gleich einem Außendurchmesser des ersten Abschnitts (110) ist.
9. Bohrrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei ein Innendurchmesser (d_2 , d_3) im zweiten oder dritten Abschnitt kleiner oder gleich einem Innendurchmesser (d_1) im ersten Abschnitt ist.
10. Bohrrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die zweite Wanddicke (D_2) (124) des zweiten Abschnitts sich von einer dritten Wanddicke (D_3) (134) des dritten Abschnitts unterscheidet und die Ausdehnung (L_{eu1} ; L_{eu2}) (126; 220) des zweiten Abschnitts sich von der Ausdehnung (L_{eu3}) (136) des dritten Abschnitts unterscheidet.

11. Bohrrohr gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die dritte Wanddicke (D_3) (134) gleich der zweiten Wanddicke (D_2) (124) ist und die Ausdehnung (L_{eu3}) (136) des dritten Abschnitts (130) gleich der Ausdehnung ($L_{eu1}; L_{eu2}$) (126; 220) des zweiten Abschnitts (120; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) ist.
12. Bohrstrang (400a; 400b; 400c), mit
- einer Mehrzahl von Bohrröhren (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, die mittels der Verbindungselemente (250; 922; 932) miteinander verbunden sind,
- einem akustischen Sender (404a; 404b; 404c), und
- einem akustischer Empfänger (406a; 406b), der an einem oberen Ende des Bohrstrangs (400a; 400b; 400c) angeordnet ist.
13. Bohrstrang (400a; 400b; 400c) gemäß Anspruch 12, wobei eine Wanddicke der Verbindungselemente (250, 922, 932) größer ist als die zweite Wanddicke (D_2) (124) des zweiten Abschnitts (120; 210c; 1020a; 1020b; 1020c; 1020d) und die dritte Wanddicke (D_3) des dritten Abschnitts (130).
14. Verfahren zum Übertragen eines akustischen Signals aus einer Bohrung, mit folgenden Schritten:
- Bereitstellen eines Bohrstrangs (400a; 400b; 400c) gemäß Anspruch 12 oder 13, und
- Senden des akustischen Signals über den Bohrstrang (400a; 400b; 400c),
- wobei die Mehrzahl von Bohrröhren (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) des Bohrstrangs (400a; 400b; 400c) unterschiedliche Längen haben, und
- wobei die Bohrröhre (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) in beliebiger Reihenfolge angeordnet sind.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die Längenvariation der Bohrröhre (100; 200c; 900; 1000a; 1000b; 1000c; 1000d) im Bereich von $\pm 0,25\text{m}$ ist.

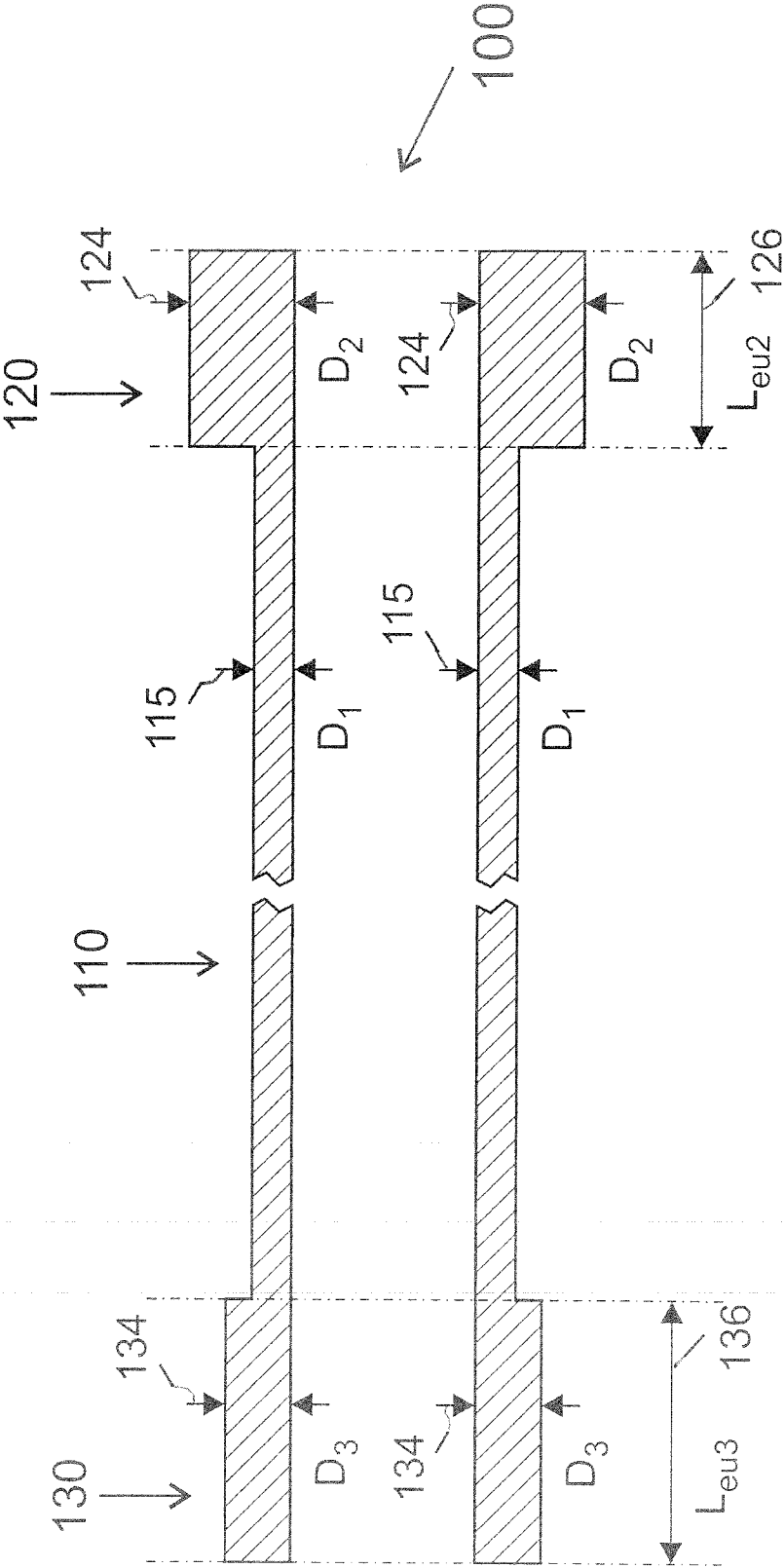


Fig. 1

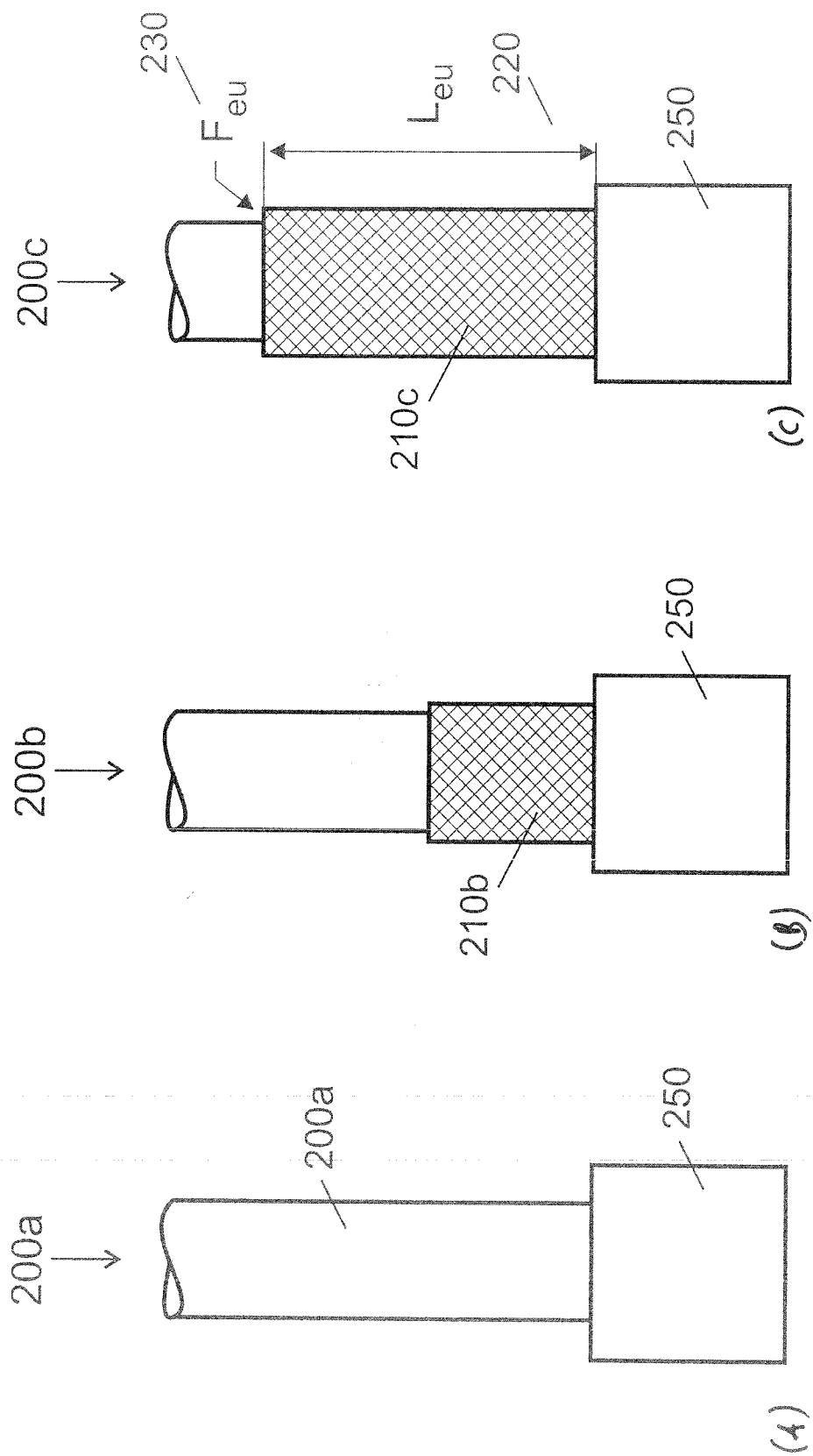


fig. 2

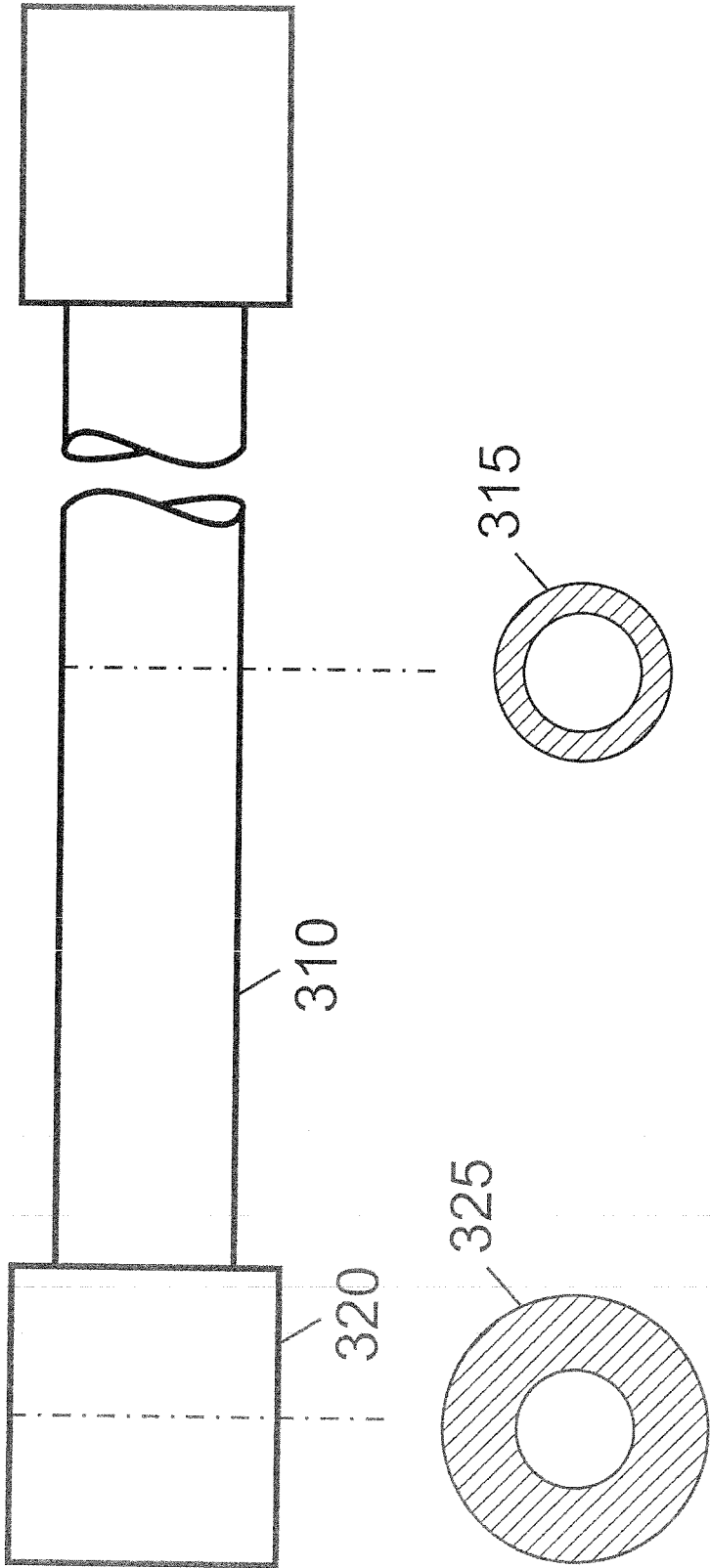


Fig. 3

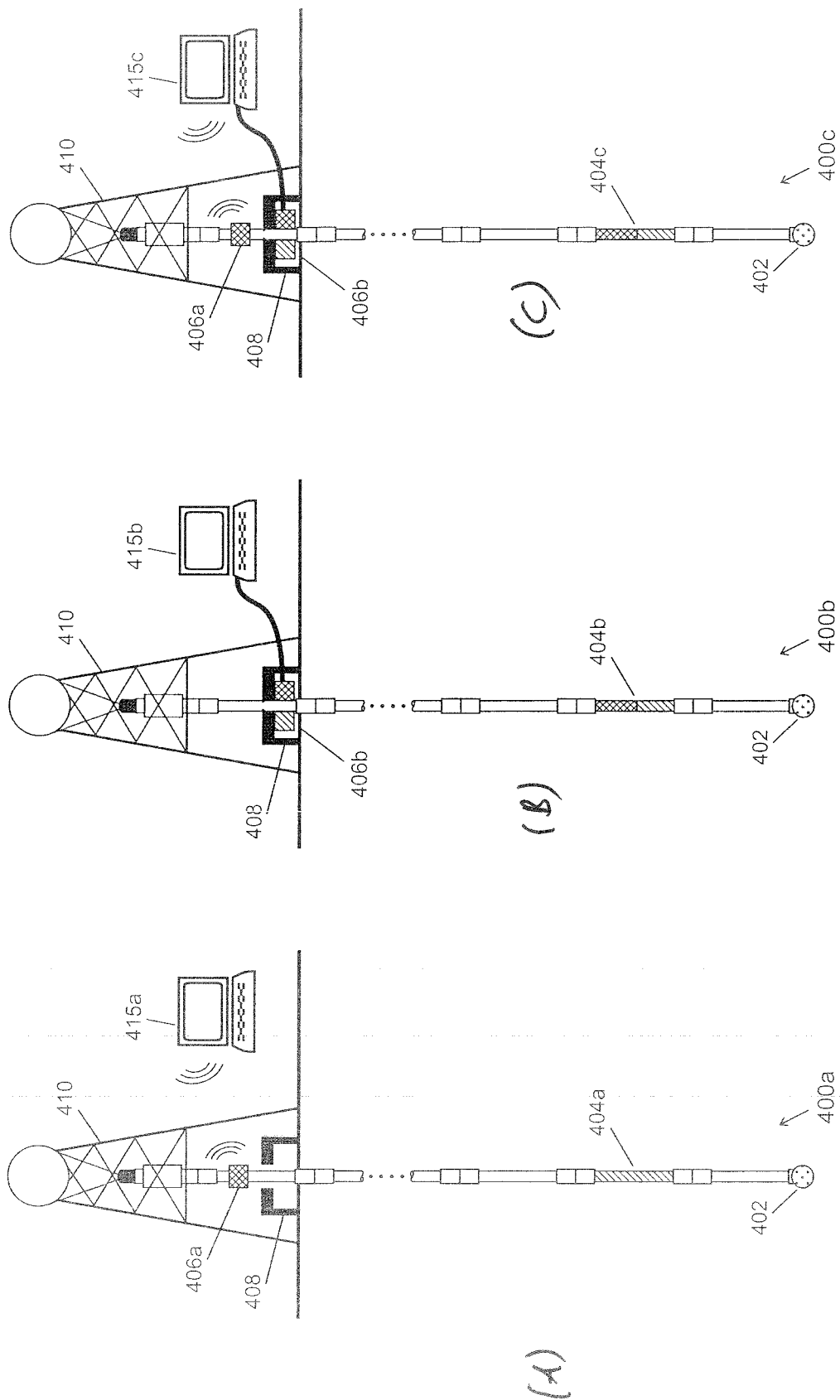


Fig. 4

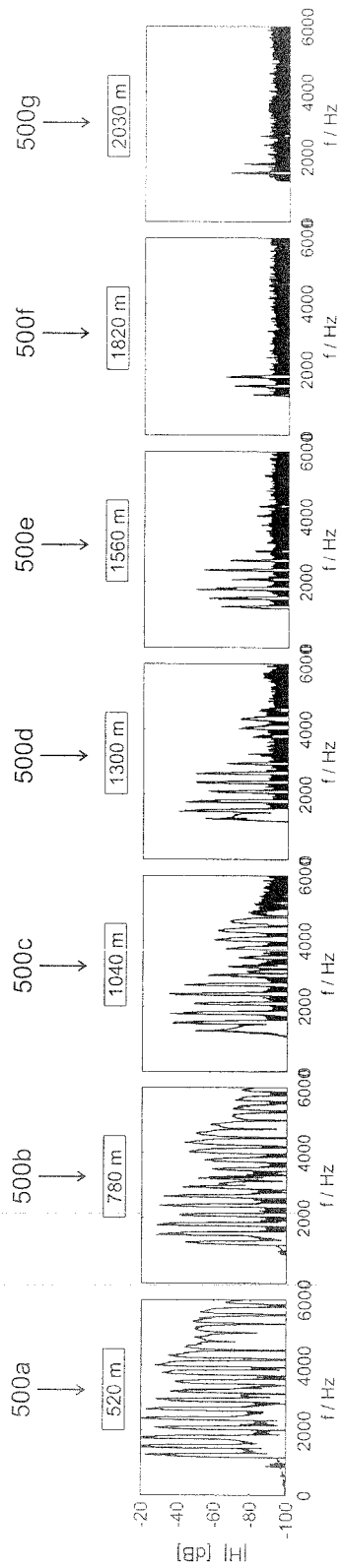


Fig. 5

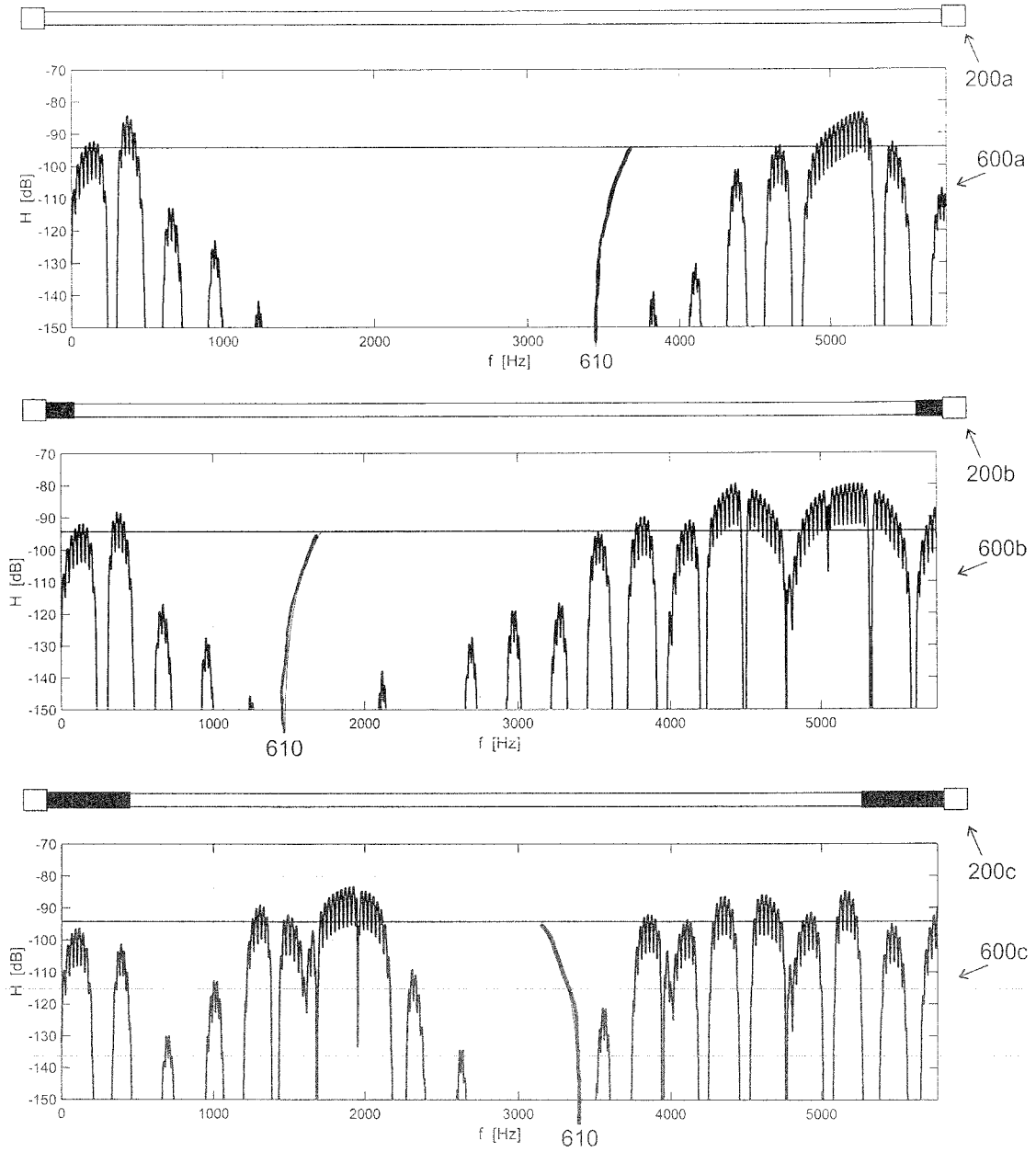


Fig. 6

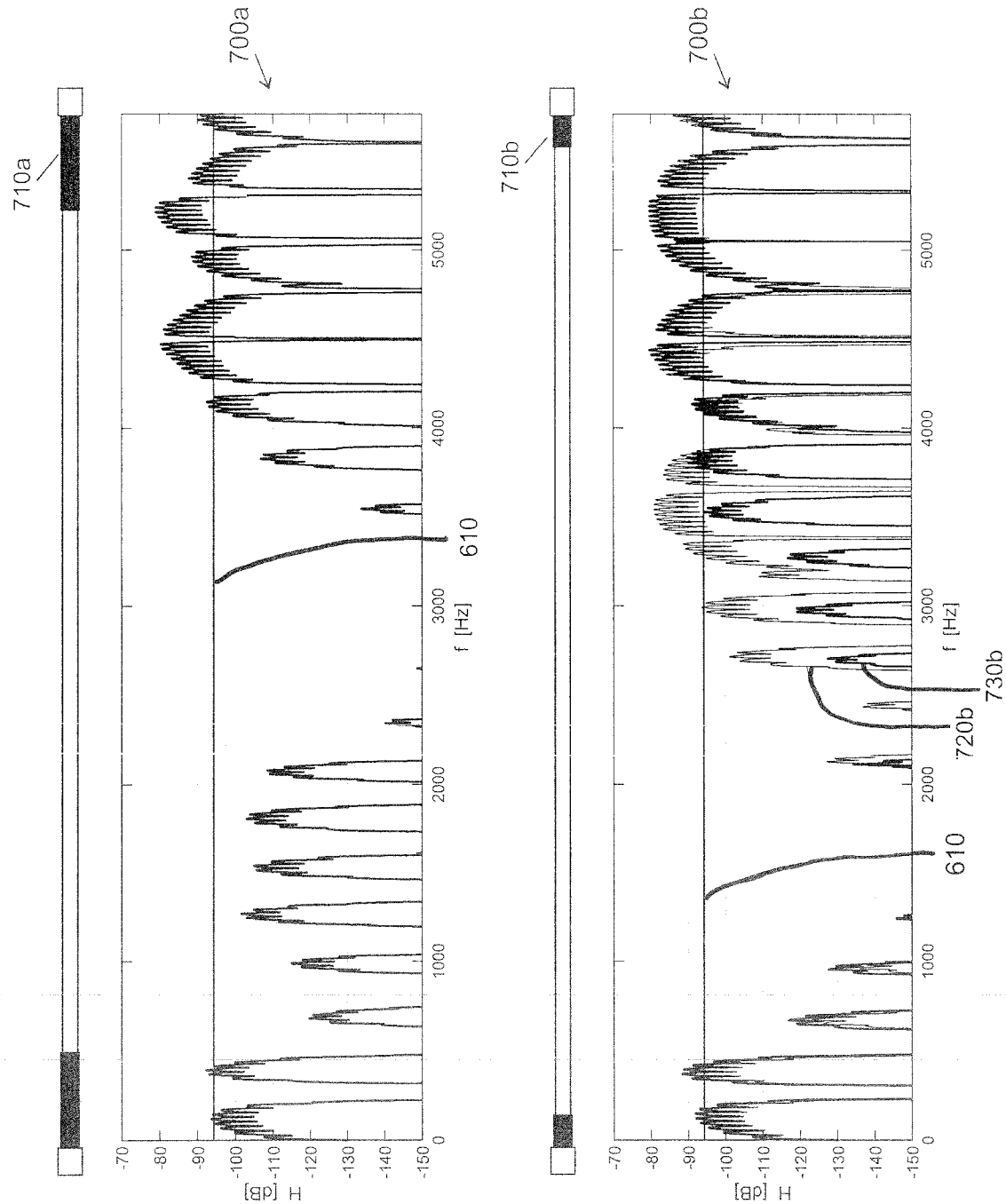


fig. 7

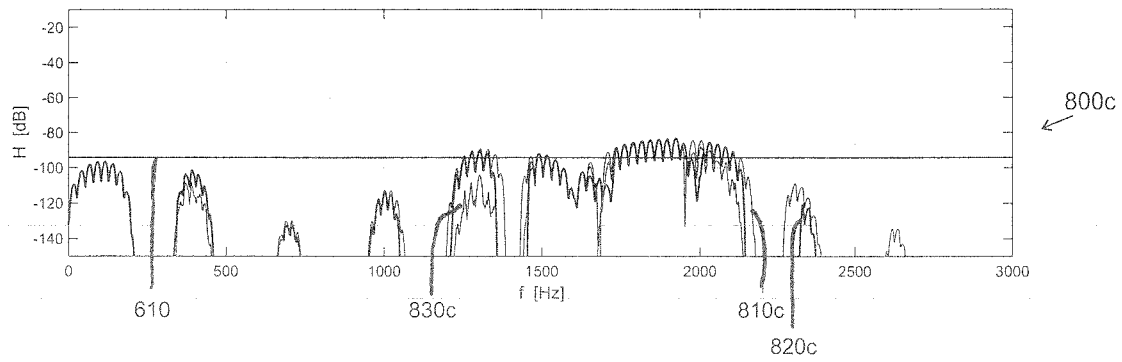
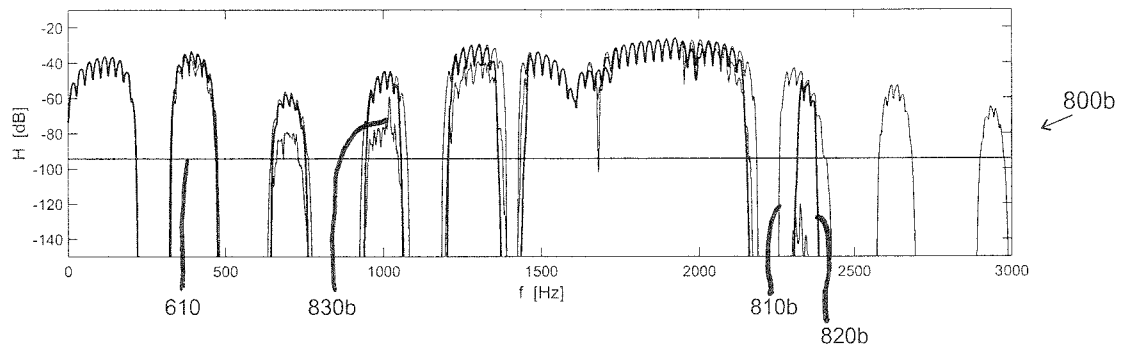
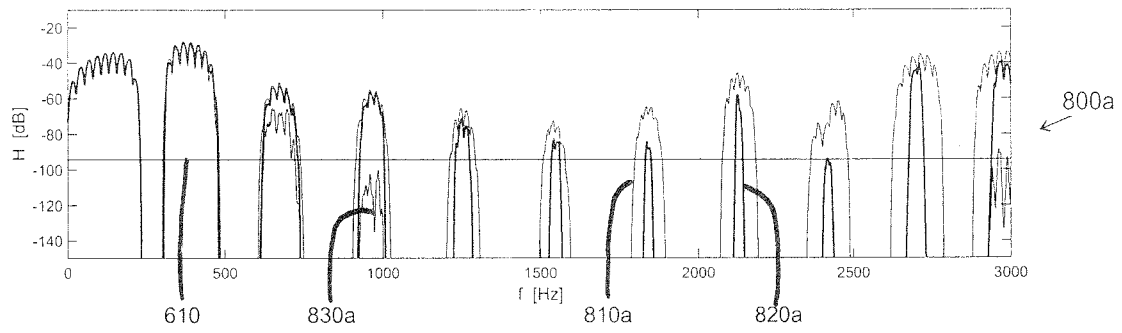


Fig. 8

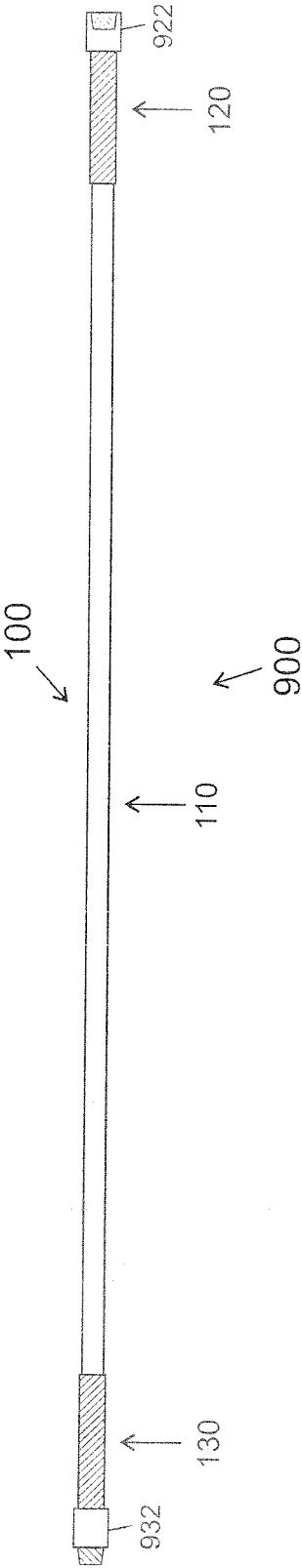


Fig. 9

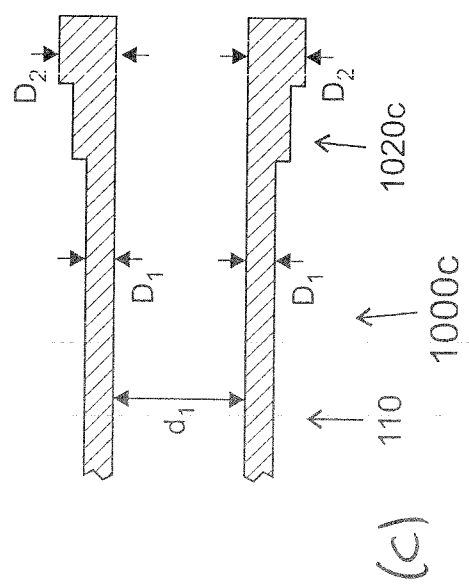
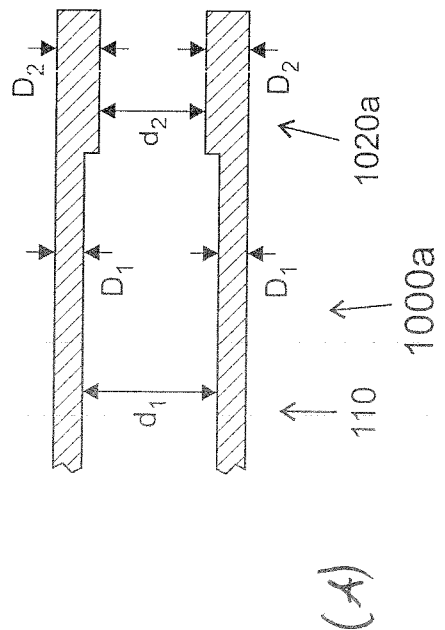
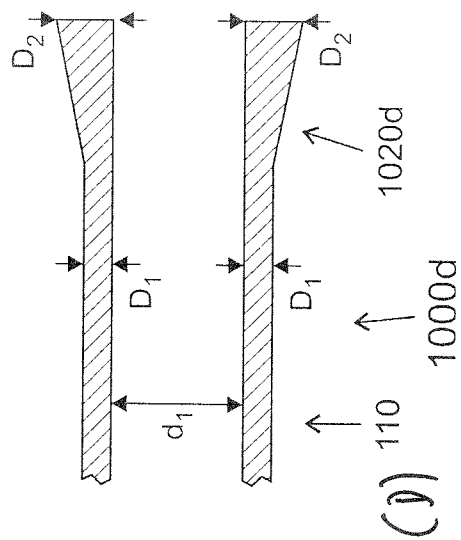
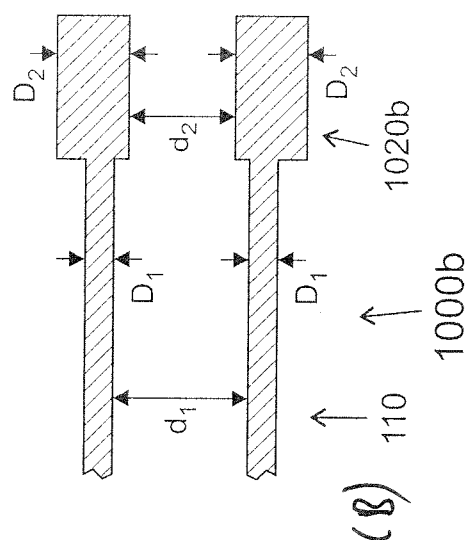


Fig. 10

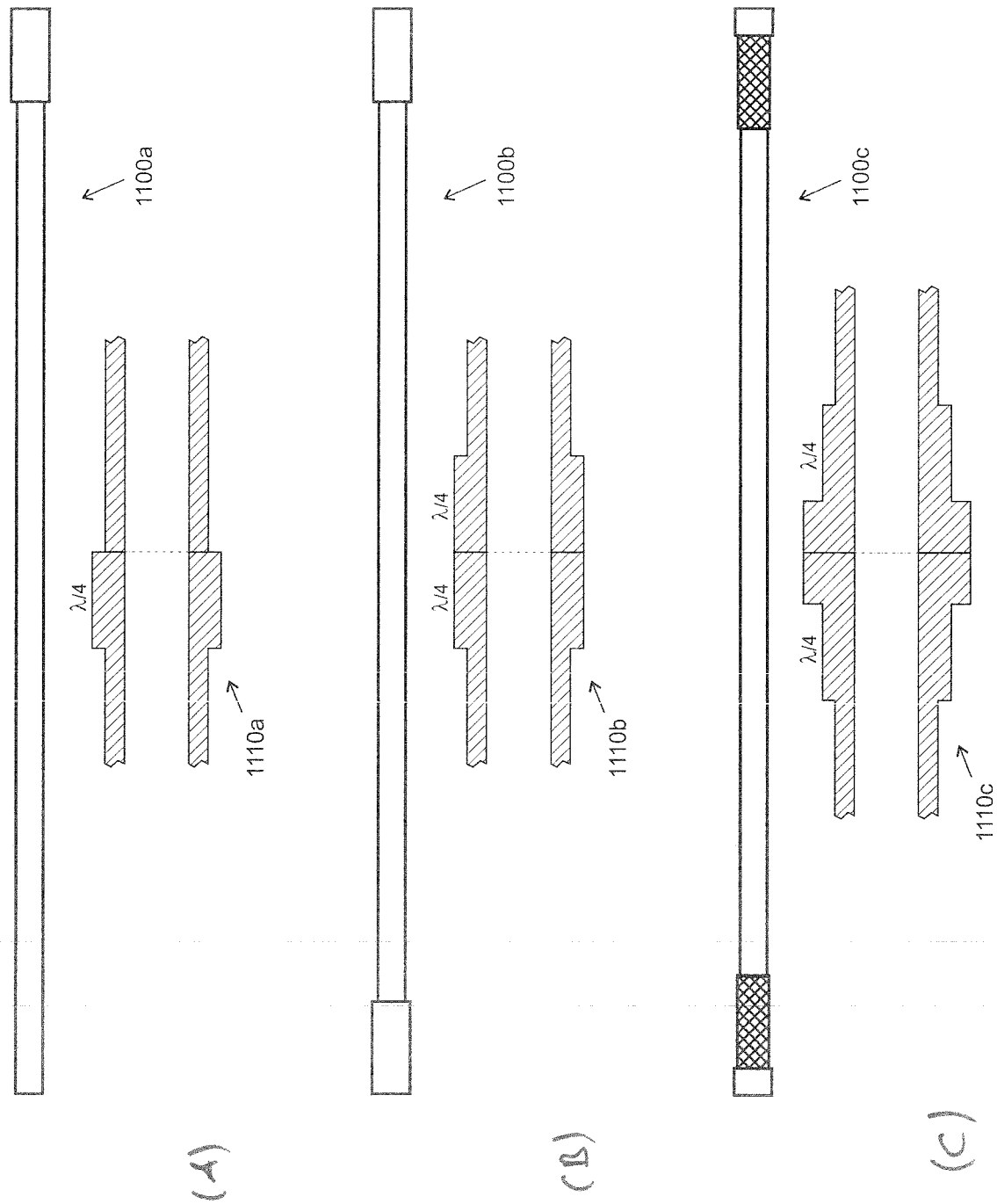


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/072928

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. E21B47/16 E21B17/00 G10K11/16
ADD.

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)
E21B G10K

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GUTIERREZ-ESTEVEZ M A ET AL: "Acoustic channel model for adaptive downhole communication over deep drill strings", 2013 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP); VANCOUVER, BC; 26-31 MAY 2013, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, PISCATAWAY, NJ, US, 26 May 2013 (2013-05-26), pages 4883-4887, XP032508380, ISSN: 1520-6149, DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6638589 [retrieved on 2013-10-18] cited in the application figures 1,6-9 abstract page 4883, column 2 page 4884, column 1 page 4885, paragraph III -/--	1-5,7-9, 11-15



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

7 November 2017

Date of mailing of the international search report

17/11/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pasquini, Matteo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/072928

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	page 4886, column 1 ----- DRUMHELLER DOUGLAS S: "Wave impedances of drill strings and other periodic media", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, vol. 112, no. 6, 1 December 2002 (2002-12-01), pages 2527-2539, XP012003156, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.1513365 cited in the application abstract figure 14 page 2527, last paragraph page 2528, column 1 page 2529, column 2 paragraph [0IIC] paragraph [IIIB] -----	1-11
A	US 3 252 225 A (HIXSON ELMER L) 24 May 1966 (1966-05-24) figures 1,3,5 column 1 columns 7-10 -----	1-11
A	US 5 283 768 A (RORDEN LOUIS H [US]) 1 February 1994 (1994-02-01) figures 1-2 column 3, last paragraph column 5 vorletzer Absatz; column 6 erster Absatz; column 9 vorletzer Absatz; column 11 -----	1-11
A	WO 2016/108881 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC [US]) 7 July 2016 (2016-07-07) figures 1,3,5,6,8 paragraphs [0006], [0013], [0016], [0019] - [0020], [0024], [0033] -----	1-11
A	US 5 128 901 A (DRUMHELLER DOUGLAS S [US]) 7 July 1992 (1992-07-07) the whole document -----	1,3-6, 12,14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/072928

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3252225	A	24-05-1966	NONE
US 5283768	A	01-02-1994	CA 2071067 A1 15-12-1992
		CA 2130282 A1 19-02-1995	
		CA 2363981 A1 19-02-1995	
		FR 2679681 A1 29-01-1993	
		FR 2716492 A1 25-08-1995	
		GB 2256736 A 16-12-1992	
		GB 2281424 A 01-03-1995	
		GB 2317955 A 08-04-1998	
		GB 2317979 A 08-04-1998	
		NO 922284 A 15-12-1992	
		NO 943059 A 20-02-1995	
		NO 20030612 A 20-02-1995	
		US 5283768 A 01-02-1994	
		US 5592438 A 07-01-1997	
		US 5850369 A 15-12-1998	
		US 6208586 B1 27-03-2001	
WO 2016108881	A1	07-07-2016	AU 2014415553 A1 27-04-2017
			CA 2964730 A1 07-07-2016
			GB 2548494 A 20-09-2017
			US 2016341032 A1 24-11-2016
			WO 2016108881 A1 07-07-2016
US 5128901	A	07-07-1992	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. E21B47/16 E21B17/00 G10K11/16 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) E21B G10K		
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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GUTIERREZ-ESTEVEZ M A ET AL: "Acoustic channel model for adaptive downhole communication over deep drill strings", 2013 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP); VANCOUCER, BC; 26-31 MAY 2013, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, PISCATAWAY, NJ, US, 26. Mai 2013 (2013-05-26), Seiten 4883-4887, XP032508380, ISSN: 1520-6149, DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6638589 [gefunden am 2013-10-18] in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 1,6-9 Zusammenfassung Seite 4883, Spalte 2 Seite 4884, Spalte 1 Seite 4885, Absatz III -/-	1-5,7-9, 11-15
☒ 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
7. November 2017		17/11/2017
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 Pasquini, Matteo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	Seite 4886, Spalte 1 ----- DRUMHELLER DOUGLAS S: "Wave impedances of drill strings and other periodic media", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, Bd. 112, Nr. 6, 1. Dezember 2002 (2002-12-01), Seiten 2527-2539, XP012003156, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.1513365 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Abbildung 14 Seite 2527, letzter Absatz Seite 2528, Spalte 1 Seite 2529, Spalte 2 Absatz [0IIC] Absatz [IIIB] -----	1-11
A	US 3 252 225 A (HIXSON ELMER L) 24. Mai 1966 (1966-05-24) Abbildungen 1,3,5 Spalte 1 Spalten 7-10 -----	1-11
A	US 5 283 768 A (RORDEN LOUIS H [US]) 1. Februar 1994 (1994-02-01) Abbildungen 1-2 Spalte 3, letzter Absatz Spalte 5 vorletzter Absatz; Spalte 6 erster Absatz; Spalte 9 vorletzter Absatz; Spalte 11 -----	1-11
A	WO 2016/108881 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC [US]) 7. Juli 2016 (2016-07-07) Abbildungen 1,3,5,6,8 Absätze [0006], [0013], [0016], [0019] - [0020], [0024], [0033] -----	1-11
A	US 5 128 901 A (DRUMHELLER DOUGLAS S [US]) 7. Juli 1992 (1992-07-07) das ganze Dokument -----	1,3-6, 12,14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/072928

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3252225	A	24-05-1966	KEINE
US 5283768	A	01-02-1994	CA 2071067 A1 15-12-1992
		CA 2130282 A1 19-02-1995	
		CA 2363981 A1 19-02-1995	
		FR 2679681 A1 29-01-1993	
		FR 2716492 A1 25-08-1995	
		GB 2256736 A 16-12-1992	
		GB 2281424 A 01-03-1995	
		GB 2317955 A 08-04-1998	
		GB 2317979 A 08-04-1998	
		NO 922284 A 15-12-1992	
		NO 943059 A 20-02-1995	
		NO 20030612 A 20-02-1995	
		US 5283768 A 01-02-1994	
		US 5592438 A 07-01-1997	
		US 5850369 A 15-12-1998	
		US 6208586 B1 27-03-2001	
WO 2016108881	A1	07-07-2016	AU 2014415553 A1 27-04-2017
			CA 2964730 A1 07-07-2016
			GB 2548494 A 20-09-2017
			US 2016341032 A1 24-11-2016
			WO 2016108881 A1 07-07-2016
US 5128901	A	07-07-1992	KEINE