

(19)



(11)

EP 4 176 155 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

18.09.2024 Patentblatt 2024/38

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

E21B 7/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21745694.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

E21B 7/14

(22) Anmeldetag: **02.07.2021**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2021/068291

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2022/003147 (06.01.2022 Gazette 2022/01)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERBOHREN

METHOD AND APPARATUS FOR LASER DRILLING

MÉTHODE ET DISPOSITIF POUR LE FORAGE AVEC LASER

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(72) Erfinder: **GROTENDORST, Josef**

46284 Dorsten (DE)

(30) Priorität: **03.07.2020 DE 102020117655**

(74) Vertreter: **Schneiders & Behrendt Bochum**

Gerard-Mortier-Platz 6

44793 Bochum (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

10.05.2023 Patentblatt 2023/19

(56) Entgegenhaltungen:

US-A1- 2010 044 102

(73) Patentinhaber: **Romanowski, Arno**

47918 Tönisvorst (DE)

EP 4 176 155 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Einbringen eines Bohrloches in eine Gesteinsformation durch Beaufschlagen der Bohrlochsohle mit einem Laserstrahl, der von einem außerhalb des Bohrloches befindlichen Laserstrahlgenerator erzeugt wird und mittels geeigneter Hilfsmittel einem an der Bohrlochsohle befindlichen, mit einem Bohrgestänge verbundenen Laserbohrkopf zugeführt wird, wobei dem Laserbohrkopf über das Bohrgestänge Stickstoff zugeführt wird, der im Bereich des Laserbohrkopfes aufgeteilt wird in

- einen als Schutzgasstrom dienenden Teilstrom, der den durchtretenden Laserstrahl gegen behindernde Schwebstoffe schützt,
- und einen weiteren, als Fördergasstrom dienenden Teilstrom, der das an der Bohrlochsohle abgelöste Gesteinsmaterial über einen zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand verbleibenden Ringraum aus dem Bohrloch austrägt.

[0002] Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der US 2010/0044102 A1 bekannt. Bei bekannten Bohrverfahren der genannten Art wird als Hilfsmittel für die Zuführung des Laserstrahls und zur Zuführung von als Schutzgas und Fördergas benötigtem Stickstoff ein biegsames Rohr verwendet, beispielsweise ein Spiralarohr, in dessen Innenraum für die Durchleitung des Laserstrahls ein Glasfaserkabel angeordnet ist und dabei in dem Rohr noch genügend Freiraum für den Durchtritt einer ausreichenden Menge an Stickstoff freilässt. Der Schutzgasstrom und der Laserstrahl treten gemeinsam durch eine der Bohrlochsohle zugewandte Öffnung an der Unterseite des Laserbohrkopfes aus und treffen gemeinsam auf die Bohrlochsohle auf. Die Energie des auf die Bohrlochsohle auftreffenden Laserstrahls löst das dort anstehende Gesteinsmaterial ab, und zwar je nach Gesteinsmaterial - durch Aufschmelzen, Verdampfen und/oder durch Spallation. Das thermisch abgelöste Gesteinsmaterial wird dann von dem zugleich auf die Bohrlochsohle auftreffenden Schutzgasstrom in Richtung auf den Rand der Bohrlochsohle verdrängt und dort vom Sog des in Austragsrichtung gerichteten ausgerichteten Fördergasstromes erfasst, der das von der Bohrlochsohle abgelöste Material über den zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand vorhandenen Ringraum aus dem Bohrloch austrägt.

[0003] Bei derartigen Verfahren und Vorrichtungen gibt es eine Reihe von einander widersprechenden Anforderungen, die bei der praktischen Ausführung zu Problemen führen:

Für die bei diesen Verfahren angewendete thermische Ablösung des Gesteins von der Bohrlochsohle benötigt man selbstverständlich viel Energie, die im Wesentlichen von dem Laserstrahl eingetragen wird. Entsprechende

Versuche haben ergeben, dass man in normalen Gesteinsformationen für die thermische Ablösung von Gesteinsmaterial an der Bohrlochsohle mithilfe eines Laserstrahls eine Leistungsdichte von mehr als 400 W/cm² benötigt. Um diese Leistungsdichte zu erzielen, muss bei Vorrichtungen nach dem Stand der Technik der Laserstrahl im Auftreffbereich auf der Bohrlochsohle entsprechend fokussiert und sukzessiv über die Bohrlochsohle geführt werden, wozu komplizierte, in den Laserbohrkopf integrierte Mechanismen und/oder unterstützende Bohrwerkzeuge erforderlich sind, wenn ein ausreichender Bohrfortschritt erzielt werden soll. Besser wäre es demgegenüber, wenn man z.B. mit Hilfe einer Expanderlinse im Laserbohrkopf die gesamte Bohrlochsohle gleichzeitig ausreichend intensiv beaufschlagen könnte, wozu man allerdings bei normalen Bohrlochdurchmessern einen Laserstrahl mit einer Leistung von mehr als 500 kW, vorzugsweise 600 kW bis 700 kW benötigt.

[0004] Ein Laserstrahl mit einer derartig hohen Leistung kann jedoch nicht mehr ohne weiteres über ein Glasfaserkabel übertragen werden, insbesondere wenn dieses wegen der anzustrebenden Bohrlochtiefe 2000 m bis 10.000 m lang sein muss. Glasfaserkabel haben nämlich eine verhältnismäßig hohe Dämpfung, so dass der eingespeiste Laserstrahl bei einer solchen Länge des Glasfaserkabels nicht mehr mit ausreichender Intensität an dem Laserbohrkopf ankommt.

[0005] Zusätzlich führt die erforderliche Erhöhung der Leistung des Laserstrahls zu thermischen Problemen, weil die mit dem Laserstrahl eingetragene und an der Bohrlochsohle in Form von Wärme freigesetzte Energie zu einer unzulässigen Überhitzung des Laserbohrkopfes und des Bohrgestänges führen würde. Die zugeführten Mengen an gasförmigem Stickstoff des Schutzgasstromes und des Fördergasstromes reichen in Anbetracht einer derart hohen Leistung des Laserstrahles nicht aus, die überschüssige Wärme in ausreichendem Maße abzuführen. Hinzu kommt, dass eine intensive Beaufschlagung der Bohrlochsohle mit einem kalten Schutzgasstrom zu einem thermischen Kurzschluss im Bereich der Bohrlochsohle führen würde, der den thermischen Ablösevorgang des Gesteinsmaterials von der Bohrlochsohle behindern würde.

[0006] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, das Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass auch bei sehr tiefen Bohrlöchern ein ausreichend schneller Bohrfortschritt ermöglicht wird, ohne dass es zu schädlichen Überhitzungen an dem Laserbohrkopf oder dem Bohrgestänge kommt.

[0007] Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung ausgehend von dem Verfahren der eingangs genannten Art vor,

- dass der Laserstrahl dem Laserbohrkopf über ein sich über die Länge des Bohrgestänges erstreckendes Laser-Leitrohr zugeführt wird, dessen freier Querschnitt vom Schutzgasstrom durchströmt wird,

- dass der Stickstoff dem Laserbohrkopf über das Bohrgestänge in flüssigem Aggregatzustand zugeführt wird und im Bereich des Laserbohrkopfes in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird,
- und dass von dem zugeführten Stickstoff zusätzlich ein weiterer, als Heizgasstrom dienender Teilstrom abgezweigt wird, der mittels einer dem Laserbohrkopf zugeordneten elektrischen Heizeinrichtung beheizt und gegen die vom Laserstrahl beaufschlagte Bohrlochsohle gerichtet wird.

[0008] Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Verwendung eines von dem Schutzgasstrom durchströmten Laser-Leitrohres anstelle des nach dem Stand der Technik üblichen Glasfaserkabels ist es ohne weiteres möglich, einen Laserstrahl mit extrem hoher Leistung nahezu verlustlos über die gesamte Länge des Bohrgestänges weiterzuleiten. Sauberer, gasförmiger Stickstoff hat nämlich eine extrem niedrige Dämpfungswirkung. Zur Lenkung und gegebenenfalls notwendigen Korrektur der Strahlrichtung des Laserstrahl im Verlauf des Laser-Leitrohres ist es ohne weiteres möglich, in geeigneten Abständen innerhalb des Leitrohres geeignete Linsen und oder Spiegelsysteme anzuordnen, die natürlich den durchtretenden Schutzgasstromes nicht unterbrechen dürfen.

[0009] Dadurch, dass weiterhin beim Verfahren gemäß der Erfindung der Stickstoff dem Laserbohrkopf in flüssigem Aggregatzustand zugeführt wird und erst im Bereich des Laserkopfes in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird, steht für die Kühlung des Laserbohrkopfes, des Schutzgasstromes, des Fördergasstromes und des Bohrgestänges Kühlmittel in ausreichender Menge zur Verfügung. Der Übergang des Aggregatzustandes ist nämlich extrem endotherm und vergrößert das zugeführte Volumen erheblich, sodass im Bereich des Laserbohrkopfes zur Vermeidung von Überhitzungserscheinungen in ausreichender Menge kaltes Stickstoffgas zur Verfügung gestellt und bedarfsgerecht verteilt werden kann

[0010] Durch den erfindungsgemäß schließlich noch vorgesehenen, gegen die Bohrlochsohle gerichteten, elektrisch vorgeheizten Heizgasstrom wird schließlich der oben angesprochene thermische Kurzschluss vermieden. Infolgedessen ist es ohne weiteres möglich, diesen Heizgasstrom, der die Ablösearbeit des Laserstrahls und zugleich den Abtransport des an der Bohrlochsohle abgelösten Gesteinsmaterials in Richtung auf den Fördergasstrom unterstützt, beliebig zu intensivieren. Vorzugsweise gibt man diesem Heizgasstrom sogar eine Temperatur, die nahe der Schmelztemperatur des jeweils anstehenden Gesteins ist.

[0011] Ein weiteres Problem bei Verfahren gemäß der Erfindung besteht darin, dass das in dem aufsteigenden Fördergasstromes enthaltene geschmolzene oder verdampfte Gesteinsmaterial nach Möglichkeit noch vor Eintritt in den Ringraum zwischen Bohrgestänge und

Bohrlochwand bis unter die Erstarrungstemperatur des Gesteins abgekühlt werden muss, damit sich dieses Gesteinsmaterial sich nicht am Bohrgestänge und/oder an der Bohrlochwand niederschlägt. Zu diesem Zweck ist weiterhin vorgesehen, das als Fördergas zusätzlich flüssiger Stickstoff verwendet wird, der im Bereich des Laserbohrkopfes in den von der Bohrlochsohle zurückfließenden und mit dem von der Bohrlochsohle abgelösten Gesteinsmaterial beladenen Fördergasstrom eingespritzt wird und dort unter Abkühlung des Fördergasstromes und des darin befindlichen Gesteinsmaterials in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird. Der hierfür verwendete flüssige Stickstoff wird innerhalb des Laserbohrkopfes von dem dem Laserbohrkopf über das Bohrgestänge zugeführten flüssigen Stickstoffstrom abgezweigt.

[0012] Zweckmäßig ist weiterhin vorgesehen, dass von dem dem Laserbohrkopf zugeführten Stickstoff ein weiterer, als Kühlgasstrom dienender Teilstrom abgezweigt wird, der über das Bohrgestänge aus dem Bohrloch herausgeführt wird und dabei das Bohrgestänge von innen kühlt. Hierdurch wird zusätzlich dafür gesorgt, dass dem Innenraum des Bohrgestänges nicht unnötig Wärme aus dem Fördergasstrom zugeführt wird.

[0013] Schließlich ist bei dem Verfahren noch vorgesehen, dass von dem dem Laserbohrkopf zugeführten Stickstoff ein weiterer, als Reinigungsgasstrom dienender Teilstrom abgezweigt wird, der die der Bohrlochsohle zugewandte, mit einer Expanderlinse abgedeckte Laserstrahl-Austrittsöffnung des Laserbohrkopfes sauber hält. Hierdurch wird vermieden, dass die lichtdurchlässig abgedeckte Laserstrahl-Austrittsöffnung durch von der Bohrlochsohle aufsteigende Schwebstoffe aus dem abgelösten Gesteinsmaterial verschmutzt wird und damit für den Laserstrahl weniger durchlässig wird.

[0014] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des oben diskutierten Verfahrens. Diese Vorrichtung kennzeichnet sich zunächst durch eine besondere Ausgestaltung des Bohrgestänges. Dieses Bohrgestänge weist auf:

- Ein von dem Schutzgasstrom durchströmtes Laser-Leitrohr für den Durchtritt des Laserstrahls,
- ein das Laser-Leitrohr konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes Doppelrohr, dessen Ringraum vom flüssigen Stickstoff durchströmt wird,
- ein das Doppelrohr konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes Isolationsrohr,
- und ein das Isolationsrohr konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes äußeres Schutzrohr, wobei
- die das Doppelrohr umgebenden Ringräume evakuiert sind,

- der Ringraum zwischen dem äußeren Schutzrohr und dem Isolationsrohr an den vom Laserbohrkopf zurückgeführten Kühlgasstrom angeschlossen ist,
- und eines oder mehrere der vom äußeren Schutzrohr umgebenen Rohre mit elektrischen Leitern zur Durchleitung von elektrischer Energie und elektrischen Signalen zum Laserbohrkopf versehen sind.

[0015] Ein solches Bohrgestänge ermöglicht bei kompakter Bauweise den weitestgehend ungedämpften Durchtritt eines Hochleistung-Laserstrahles durch das Laser-Leitrohr, eine durch Vakuum weitestgehend wärmeisolierte Durchleitung von flüssigem Stickstoff durch den Ringraum des Doppelrohres, eine gute Wärmeisolierung des gesamten Bohrgestänge gegen Wärme aus dem Fördergasstrom und die Durchleitung von elektrischer Energie und elektrischen Signalen zum Laserbohrkopf hin.

[0016] Zweckmäßig ist weiterhin vorgesehen, dass das äußere Schutzrohr aus Stahl und die im Inneren des Schutzrohres angeordneten Rohre aus karbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) bestehen. Das aus Stahl bestehende äußere Schutzrohr verleiht dem gesamten Bohrgestänge die erforderliche Stabilität und Unempfindlichkeit gegenüber unbeabsichtigt auftretenden Überhitzungen von der Außenseite her. Der für die inneren Rohre verwendete Werkstoff zeichnet sich durch geringes Gewicht und extrem hohe Festigkeit aus und ist darüber hinaus gut wärmeisolierend und weitgehend elektrisch isolierend.

[0017] Zweckmäßig ist es weiterhin, dass der Laserbohrkopf ein Gehäuse aufweist, dessen Gehäusedeckel an dem äußeren Schutzrohr des Bohrgestänges befestigt ist, wobei das Gehäuse weiterhin versehen ist mit:

- einem durch das Gehäuse verlaufenden, sich an das Laser-Leitrohr des Bohrgestänges anschließenden Durchlasskanal für den Laserstrahl, dessen Austrittsöffnung im Bereich des Gehäusebodens durch eine Expanderlinse lichtdurchlässig abgedeckt ist,
- im Gehäuseinnenraum angeordneten, an den Ringraum des Doppelrohres des Bohrgestänges angeschlossene Einrichtungen für die Weiterleitung und/oder Verdampfung des ankommenden flüssigen Stickstoffs sowie für die Speicherung und Aufteilung von gasförmigem Stickstoff auf die verschiedenen, vorgesehenen Teilströme,
- im Gehäusemantel angeordneten, in Strömungsrichtung des Fördergasstromes geneigt verlaufenden Förderstrahldüsen für die Einspritzung von flüssigem Stickstoff in den Fördergasstrom,
- im Gehäuseboden angeordneten, in Richtung auf die Bohrlochsohle gerichteten Heizstrahldüsen für den Heizgasstrom,
- einer im Gehäuseinnenraum angeordneten elektrischen Heizeinrichtung für den Heizgasstrom
- sowie mit Magnetventilen und Volumenstromreglern

für die Steuerung und Regelung aller Stickstoff-Teilströme.

[0018] Mit einem solchen Laserbohrkopf ist es möglich, den über das Laserleitrohr des Bohrgestänge ankommenden Laserstrahl weitestgehend ungedämpft der Bohrlochsohle zuzuführen und den über das Doppelrohr des Bohrgestänges zugeführten flüssigen Stickstoff zu verdampfen und volumenstromgeregelt in die verschiedenen Teilströme aufzuteilen.

[0019] Zweckmäßig ist es weiterhin, wenn der als Kühlgasstrom dienende Teilstrom durch den Gehäuseinnenraum verläuft und der Gehäuseinnenraum mit dem Ringraum zwischen dem äußeren Schutzrohr und dem Isolationsrohr des Bohrgestänges in Verbindung steht. Hierdurch erhält der für die Gehäusekühlung zuständige Kühlgasstrom zugleich die Funktion, die Außenseite des Bohrgestänges ausreichend kühl zu halten.

[0020] Bei der Verwendung der Vorrichtung gemäß der Erfindung besteht die Gefahr, dass von der Bohrlochsohle aufsteigende Gesteinspartikel die im Austrittsbereich des Laserstrahls angeordnete Expansionslinse verschmutzen. Um das zu verhindern, ist weiterhin vorgesehen, dass im Gehäuseboden Reinigungsdüsen für den als Reinigungsgasstrom dienenden Teilstrom angeordnet sind, die parallel zur Unterseite des Gehäusebodens verlaufen und auf die die Durchlassöffnung für den Laserstrahl abdeckende Expansionslinse ausgerichtet sind.

[0021] Um das Laser-Leitrohr beginnend am Gehäuse des Laserbohrkopfes ausreichend und über die gesamte Länge mit einem sauberen Schutzgasstrom zu versorgen, ist weiterhin vorgesehen, dass innerhalb des Gehäuses Laserbohrkopfes der Durchlasskanal für den Laserstrahl mit Eintrittsöffnungen für den als Schutzgasstrom dienenden Teilstrom versehen ist.

[0022] Schließlich ist vorgesehen, dass im Inneren des Durchlasskanales für den Laserstrahl und/oder des Laser-Leitrohres mit Abstand zueinander Haltevorrichtungen zur Halterung von den Laserstrahl lenkenden Linsen und /oder Spiegelsysteme angeordnet sind, wobei diese Haltevorrichtungen für den Schutzgasstrom gasdurchlässig ausgebildet sind. Mit solchen Einrichtungen ist es möglich, im Bedarfsfall den Laserstrahl neu auszurichten und/oder zu fokussieren, falls das Bohrloch und dementsprechend das Bohrgestänge vom geradlinigen Verlauf abweicht.

[0023] Ein Ausführungsbeispiel Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1: Schematisch einen Längsschnitt durch den in seiner Arbeitsposition über der Bohrlochsohle befindlichen, am Bohrgestänge befestigten Laserbohrkopf;

Figur 2: Schematisch einen Querschnitt durch das Bohrgestänge.

[0024] In der Zeichnung ist der Laserbohrkopf in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 und das den Laserbohrkopf 1 tragende Bohrgestänge in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 2 bezeichnet. Der Laserbohrkopf 1 und das Bohrgestänge 2 befinden sich in einem in eine Gesteinsformation 3 eingebrachten Bohrloch 4 mit einer Bohrlochwand 4a und einer Bohrlochsohle 4b.

[0025] Der in seiner Arbeitsposition mit geringem Abstand oberhalb der Bohrlochsohle 4b gehaltene Laserbohrkopf 1 weist einen im Wesentlichen zylindrisches Gehäuse 5 auf, dessen Gehäusedeckel 5a mit dem Bohrgestänge 2 verbunden ist.

[0026] Weiterhin weist das Gehäuse 5 einen mit Abstand zur Bohrlochsohle 4b angeordneten Gehäuseboden 5b auf, der mittig mit einem Durchlasskanal 6 für einen über das Bohrgestänge 2 zugeführten und durch das Gehäuse 5 weitergeleiteten Laserstrahl 7 verbunden ist. In der Durchlassöffnung dieses Durchlasskanales 6 befindet sich eine Expanderlinse 8, die den ankommenden Laserstrahl 7 so weit aufweitet, dass die gesamte Bohrlochsohle 4b von dem Laserstrahl 7 beaufschlagt wird.

[0027] In dem Gehäuseboden 5b befinden sich weiterhin Heizstrahldüsen 9, die in Richtung auf die Bohrlochsohle 4b gerichtete Heizgasströme 10 erzeugen und von im Innenraum des Gehäuses 5 angeordneten elektrischen Heizeinrichtungen 11 mit Heizgas beaufschlagt werden.

[0028] Außerdem befinden sich in dem Gehäuseboden 5b Reinigungsdüsen 12, die parallel zur Unterseite des Gehäusebodens 5b in Richtung auf die mittig angeordnete Expanderlinse 8 ausgerichtet sind und von einem im Inneren des Gehäuses 5 befindlichen Stickstoffsammelbehälter 13 mit sauberem, gasförmigem Stickstoff als Reinigungsgasstrom 14 zum Sauberhalten der Expanderlinse 8 versorgt werden.

[0029] Weiterhin weist das Gehäuse 5 des Laserbohrkopfes 1 einen Gehäusemantel 5c auf, der ringsum zur Bohrlochwand 4a hin einen Ringraum für den Durchtritt eines von der Bohrlochsohle 4b aufsteigenden, mit dem abgelösten Gesteinsmaterial beladenen Fördergasstrom 15 frei lässt. Dieser Fördergasstrom 15 hat seinen Ursprung im Randbereich der vom Heizgasstrom 10 beaufschlagenden Bohrlochsohle 4b und trägt das von der Bohrlochsohle abgelöste Gesteinsmaterial aus dem Bohrloch 4 aus.

[0030] Zur Unterstützung dieses aufsteigenden Fördergasstromes 15 sind in dem Gehäusemantel 5c des Gehäuses 5 des Laserbohrkopfes 1 Förderstrahldüsen 16 und 17 angeordnet, die in Richtung des Fördergasstromes 15 geneigt verlaufen und vom Inneren des Gehäuses 5 her mit flüssigem und /oder gasförmigem Stickstoff beaufschlagt werden können. Soweit über die Förderstrahldüsen 16 flüssiger Stickstoff eingegeben wird, trägt dieser besonders intensiv zur Abkühlung von in dem Fördergasstrom 15 enthaltenem Gesteinsmaterial bei.

[0031] Um dem Laserbohrkopf 1 den Laserstrahl 7 möglichst ungedämpft zuführen zu können und um au-

ßerdem dem Laserbohrkopf 1 mit einer ausreichenden Menge an Stickstoff versorgen zu können, ist das oben erwähnte Bohrgestänge 2 speziell ausgebildet, wie nachfolgend im Einzelnen erläutert wird.

[0032] Dieses Bohrgestänge 2 besteht aus mehreren konzentrisch ineinander angeordneten Rohren, nämlich:

- einem inneren, von einem Schutzgasstrom 18 durchströmten Laser-Leitrohr 19 für den Durchtritt des Laserstrahls 7;
- einem das Laser-Leitrohr 19 konzentrisch und mit radialem Abstand umgebenden Doppelrohr 21, dessen Ringraum 21 a von flüssigem Stickstoff durchströmt wird;
- einem das Doppelrohr 21 konzentrisch und mit radialem Abstand umgebenden Isolationsrohr 22;
- und einem das Isolationsrohr 22 konzentrisch und mit radialem Abstand umgebenden äußeren Schutzrohr 23.

[0033] Der aus sauberem Stickstoff bestehende Schutzgasstrom 18 wird dem Laser-Leitrohr 19 des Bohrgestänges 2 über im Inneren des Gehäuses 5 des Laserbohrkopfes 1 befindliche, in den Durchlasskanal 6 einmündende Eintrittsöffnungen 20 zugeführt, und zwar oberhalb von dessen Durchlassöffnung.

[0034] Weiterhin sind die das Doppelrohr 21 umgebenden Ringräume zum Laser-Leitrohr 19 hin und zum Isolationsrohr 22 hin evakuiert, um den durch den Ringraum des Doppelrohres 21 strömenden flüssigen Stickstoff ausreichend wärmeisoliert zu halten.

[0035] Der Ringraum zwischen dem äußeren Schutzrohr 23 und dem Isolationsrohr 22 ist an einen vom Gehäuse 5 des Laserbohrkopfes 1 zurückgeführten Kühlgasstrom 24 angeschlossen, welcher die Außenseite des Bohrgestänges 2 ausreichend kühlt.

[0036] Dabei besteht das äußere Schutzrohr 23 aus Stahl und sorgt für eine gute Stabilität und Belastbarkeit des gesamten Bohrgestänges 1. Alle im Inneren des Schutzrohres 23 befindlichen Rohre, nämlich das Laser-Leitrohr 19, das Doppelrohr 21 und das Isolationsrohr 22 bestehen demgegenüber aus karbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK).

[0037] Weiterhin sind eines oder mehrere der vom äußeren Schutzrohr 23 umgebenen Rohre mit in der Zeichnung nicht im Einzelnen dargestellten elektrischen Leitern zur Durchleitung von elektrischer Energie und elektrischen Signalen in Richtung auf den Laserbohrkopf 1 versehen.

[0038] Zur Vereinfachung der Handhabung des Bohrgestänges 1 ist dieses in Längenabschnitte unterteilt, die jeweils an ihren Enden durch verschraubbare Muffen-Zapfenverbindungen 25,26 miteinander verbunden werden können, wobei im Bereich dieser Muffen-Zapfenverbindungen 25,26 die einander angrenzenden Abschnitte

des Laser-Leitrohres 19 sowie des Ringraumes des Doppelrohres 21 und des Ringraumes zwischen dem äußeren Schutzrohr 23 und dem Isolationsrohr 22 fluchtend und druckdicht miteinander verbunden sind. Außerdem sind dort die aneinander angrenzenden Abschnitte der elektrischen Leiter elektrisch leitend miteinander verbunden. Die in den einzelnen Abschnitten des Bohrgestänges 2 vorhandenen, zum Zwecke der Isolierung des Doppelrohres 21 evakuierten Ringräume sind demgegenüber jeweils einzeln druckdicht verschlossen und nicht miteinander verbunden.

[0039] Im Inneren des Durchlasskanales 6 für den Laserstrahl 7 und /oder des Laser-Leitrohres 19 sind schließlich noch mit Abstand zueinander Haltevorrichtungen 27 zur Halterung von den Laserstrahl 7 lenkenden Linsen oder Spiegelsystemen angeordnet, wobei diese Haltevorrichtungen für den Schutzgasstrom 18 durchlässig ausgebildet sind, d.h. am Rand mit entsprechenden Durchlassbohrungen versehen sind.

[0040] In dem Gehäuse 5 des Laserbohrkopfes 1 befinden sich mehrere in der Zeichnung nicht mit Bezugszeichen versehene Magnetventile und Volumenstromregler, die über die im Bohrgestänge 2 enthaltenen Signalleiter ansteuerbar sind und den über das Doppelrohr 21 dem Gehäuse 5 zugeführten flüssigen Stickstoff dem Bedarf entsprechend auf die Förderstrahldüsen 15, den Sammelbehälter 13 für gasförmigen Stickstoff, die Heizeinrichtungen 11 für den Heizgasstrom 10 und den Gehäuseinnenraum verteilen. Dabei erfolgt die Steuerung und Regelung so, dass das System trotz der mit dem Laserstrahl zugeführten Energie im thermodynamischen Gleichgewicht bleibt.

[0041] Das in der Zeichnung dargestellte System arbeitet im Prinzip wie folgt:

In das Laser-Leitrohr 19 wird von einem außerhalb des Bohrloches 2 befindlichen Hochleistung-Lasergenerator ein Laserstrahl 7 mit einer Leistung von 500 kW bis 700 kW eingespeist und dem Laserbohrkopf 1 zugeführt. Zugleich wird das Laser-Leitrohr 19 von unten mit dem aus sauberem Stickstoffgas bestehenden Schutzgasstrom 18 beaufschlagt, sodass der Laserstrahl auf seinem Weg zum Laserbohrkopf 1 kaum gedämpft wird. Im Laserbohrkopf 1 wird der Laserstrahl 7 sodann mithilfe der Expanderlinse 8 so weit expandiert, dass er die gesamte Bohrlochsohle 5b abdeckt.

[0042] Zugleich mit dem expandierten Laserstrahl 7 wird die Bohrlochsohle 4b mit dem Heizgasstrom 10 beaufschlagt, der zuvor mittels der Heizeinrichtung 11 auf eine Temperatur gebracht worden ist, die der Schmelztemperatur des an der Bohrlochsohle 4b anstehenden Gesteins nahekommt oder sogar darüber liegt. Unter der Einwirkung des Laserstrahls 7 und des Heizgasstromes 10 wird an der Oberfläche der Bohrlochsohle 4 b Gesteinsmaterial durch Aufschmelzen, Verdampfen oder Spallation abgetragen und von dem Heizgasstrom 10 an den äußeren Rand der Bohrlochsohle 4b verdrängt.

[0043] Dabei bildet sich in diesem Randbereich ein nach oben gerichteter, mit dem abgetragenen Gesteinsma-

terial beladener Fördergasstrom 15, der durch den Ringraum zwischen dem Gehäusemantel 5c und der Bohrlochwand 4a nach oben drängt.

[0044] In diesen aufsteigenden Fördergasstrom wird sodann mithilfe der Förderstrahldüsen 16 und 17 flüssiger Stickstoff und/ oder gasförmiger Stickstoff eingeblasen, wodurch der Fördergasstrom 15 gekühlt und zugleich intensiviert wird. Dieser mit dem Gesteinsmaterial beladener Fördergasstrom 15 wird anschließend über den Ringraum zwischen dem Bohrgestänge 2 und der Bohrlochwand 4a aus dem Bohrloch 2 ausgezogen.

Bezugszeichenliste:

[0045]

- 1 - Laserbohrkopf
- 2 - Bohrgestänge
- 3 - Gesteinsformation
- 4 - Bohrloch, 4a - Bohrlochwand, 4b - Bohrlochsohle
- 5 - Gehäuse, 5a - Gehäusedeckel, 5b - Gehäuseboden, 5c - Gehäusemantel
- 6 - Durchlasskanal
- 7 - Laserstrahl
- 8 - Expanderlinse
- 9 - Heizstrahldüsen
- 10 - Heizgasstrom
- 11 - Heizeinrichtung
- 12 - Reinigungsdüse
- 13 - Sammelbehälter für Stickstoffgas
- 14 - Reinigungsgasstrom
- 15 - Fördergasstrom
- 16 - Förderstrahldüsen
- 17 - Förderstrahldüsen
- 18 - Schutzgasstrom
- 19 - Laser-Leitrohr
- 20 - Eintrittsöffnungen
- 21 - Doppelrohr
- 22 - Isolationsrohr
- 23 - Schutzrohr
- 24 - Kühlgasstrom
- 25/26 - Muffen-Zapfenverbindung
- 27 - Halteeinrichtungen

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einbringen eines Bohrloches (4) in eine Gesteinsformation (3) durch Beaufschlagen der Bohrlochsohle (4b) mit einem Laserstrahl (7), der von einem außerhalb des Bohrloches befindlichen Laserstrahlgenerator erzeugt wird und mittels geeigneter Hilfsmittel einem an der Bohrlochsohle (4b) befindlichen, mit einem Bohrgestänge (2) verbundenen Laserbohrkopf (1) zugeführt wird, wobei dem Laserbohrkopf (1) über das Bohrgestänge (2) Stickstoff zugeführt wird, der aufgeteilt wird in

- einen als Schutzgasstrom (18) dienenden Teilstrom, der den durchtretenden Laserstrahl (7) gegen behindernde Schwebstoffe schützt,
 - und einen weiteren, als Fördergasstrom (15) dienenden Teilstrom, der das an der Bohrlochsohle (4b) abgelöste Gesteinsmaterial über einen zwischen Bohrgestänge (2) und Bohrlochwand (4a) verbleibenden Ringraum aus dem Bohrloch (4) austrägt,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Laserstrahl (7) dem Laserbohrkopf (1) über ein sich über die Länge des Bohrgestänges erstreckendes Laser-Leitrohr (19) zugeführt wird, dessen freier Querschnitt vom Schutzgasstrom (18) durchströmt wird,

dass der Stickstoff dem Laserbohrkopf (1) über das Bohrgestänge (2) in flüssigem Aggregatzustand zugeführt wird und im Bereich des Laserbohrkopfes (1) in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird,

und **dass** von dem zugeführten Stickstoff zusätzlich ein weiterer, als Heizgasstrom (10) dienender Teilstrom abgezweigt wird, der mittels einer dem Laserbohrkopf (1) zugeordneten elektrischen Heizeinrichtung (11) beheizt und gegen die vom Laserstrahl (7) beaufschlagte Bohrlochsohle (4 b) gerichtet wird.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Fördergas zusätzlich flüssiger Stickstoff verwendet wird, der im Bereich des Laserbohrkopfes (1) in den von der Bohrlochsohle(4b) zurückfließenden und mit dem von der Bohrlochsohle(4b) abgelösten Gesteinsmaterial beladenen Fördergasstrom (15) eingespritzt wird und dort unter Abkühlung des Fördergasstroms (15) und des darin befindlichen Gesteinsmaterials in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird.

3. Verfahren nach den Patentansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** von dem dem Laserbohrkopf (1) zugeführten Stickstoff ein weiterer, als Kühlgasstrom (24) dienender Teilstrom abgezweigt wird, der über das Bohrgestänge (2) aus dem Bohrloch (4) herausgeführt wird und dabei das Bohrgestänge (2) von innen kühlt.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Patentansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** von dem dem Laserbohrkopf (1) zugeführten Stickstoff ein weiterer, als Reinigungsgasstrom (14) dienender Teilstrom abgezweigt wird, der die der Bohrlochsohle (4b) zugewandte Laserstrahl-Austrittsöffnung des Laserbohrkopfes (1) sauber hält.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach

Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bohrgestänge (2) aufweist:

- ein von dem Schutzgasstrom (18) durchströmtes Laser-Leitrohr (19) für den Durchtritt des Laserstrahls (7),

- ein das Laser-Leitrohr (19) konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes Doppelrohr (21), dessen Ringraum vom flüssigen Stickstoff durchströmt wird,

- ein das Doppelrohr (21) konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes Isolationsrohr (22),

- und ein das Isolationsrohr (22) konzentrisch und mit radialem Abstand umgebendes äußeres Schutzrohr (23),
 wobei

- die das Doppelrohr (21) umgebenden Ringräume evakuiert sind,

- der Ringraum zwischen dem äußeren Schutzrohr (23) und dem Isolationsrohr (22) an einen vom Laserbohrkopf (1) zurückgeführten Kühlgasstrom (24) angeschlossen ist

- und eines oder mehrere der vom äußeren Schutzrohr (23) umgebenen Rohre mit elektrischen Leitern zur Durchleitung von elektrischer Energie und elektrischen Signalen zum Laserbohrkopf (1) versehen sind.

6. Vorrichtung nach Patentanspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das äußere Schutzrohr (23) aus Stahl und die im Inneren des Schutzrohres (23) angeordneten Rohre aus karbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) bestehen.

7. Vorrichtung den Patentansprüchen 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bohrgestänge (2) in Längenabschnitte unterteilt ist, die jeweils an ihren Enden durch verschraubbare Muffen-Zapfen-Verbindung (25,26) miteinander verbunden sind, wobei im Bereich dieser Muffen-Zapfen-Verbindungen (25,26)

- die aneinander angrenzenden Abschnitte des Laser-Leitrohres (19) sowie des Ringraumes des Doppelrohres (21) und des Ringraumes zwischen dem äußeren Schutzrohr (23) und dem Isolationsrohr (22) fluchtend und druckdicht miteinander verbunden sind,

- die aneinander angrenzenden Abschnitte der elektrischen Leiter elektrisch leitend miteinander verbunden sind,

- und die aufeinanderfolgenden Abschnitte der das Doppelrohr (21) umgebenden, evakuierten Ringräume ohne Verbindung miteinander druckdicht verschlossen sind.

8. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 5-7,

dadurch gekennzeichnet, dass der Laserbohrkopf (1) ein Gehäuse (5) aufweist, dessen Gehäusedeckel (5a) an dem äußeren Schutzrohr (23) des Bohrgestänges (2) befestigt ist, wobei das Gehäuse (5) weiterhin versehen ist mit:

- einem durch das Gehäuse (5) verlaufenden, sich an das Laser-Leitrohr (19) des Bohrgestänges (2) anschließenden Durchlasskanal (6) für den Laserstrahl, dessen Austrittsöffnung im Bereich des Gehäusebodens (5b) durch eine Expanderlinse (8) lichtdurchlässig abgedeckt ist,
- im Gehäuseinnenraum angeordneten, an den Ringraum des Doppelrohres (21) des Bohrgestänges (2) angeschlossene Einrichtungen für die Weiterleitung und/oder Verdampfung des ankommenden flüssigen Stickstoffs sowie für die Speicherung und Aufteilung von gasförmigem Stickstoff auf die verschiedenen, vorgesehenen Teilströme,
- im Gehäusemantel (5c) angeordneten, in Strömungsrichtung des Fördergasstromes geneigt verlaufenden Förderstrahldüsen (16,17) für die Einspritzung von flüssigem und/oder gasförmigem Stickstoff in den Fördergasstrom (15),
- im Gehäuseboden (5b) angeordneten, in Richtung auf die Bohrlochsohle (4b) gerichteten Heizstrahldüsen (9) für den Heizgasstrom (10)
- einer im Gehäuseinnenraum angeordneten elektrischen Heizeinrichtung (11) für den Heizgasstrom (10)
- sowie mit Magnetventilen und Volumenstromreglern für die Steuerung und Regelung aller Stickstoff-Teilströme.

9. Vorrichtung nach Patentanspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der als Kühlgasstrom (24) dienende Teilstrom durch den Gehäuseinnenraum verläuft, wobei der Gehäuseinnenraum mit dem Ringraum zwischen dem äußeren Schutzrohr (23) und dem Isolationsrohr (22) des Bohrgestänges (2) in Verbindung steht.

10. Vorrichtung nach Patentanspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Gehäuseboden (5b) Reinigungsdüsen (12) für einen als Reinigungsgasstrom (14) dienenden Teilstrom angeordnet sind, der parallel zur Unterseite des Gehäusebodens (5b) verläuft und auf die die Durchlassöffnung für den Laserstrahl abdeckende Expansionslinse (8) ausgerichtet ist.

11. Vorrichtung nach Patentanspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb des Gehäuses (5) des Laserbohrkopfes der Durchlasskanal (6) für den Laserstrahl (7) mit Eintrittsöffnungen (20) für den als Schutzgasstrom (18) dienenden Teilstrom versehen ist.

12. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 5-7, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Inneren eines durch das Gehäuse (5) verlaufenden, sich an das Laser-Leitrohr (19) des Bohrgestänges (2) anschließenden Durchlasskanales (6) für den Laserstrahl (7), dessen Austrittsöffnung im Bereich des Gehäusebodens (5b) durch eine Expanderlinse (8) lichtdurchlässig abgedeckt ist, und/oder des Laser-Leitrohres (19) mit Abstand zueinander Haltevorrichtungen (27) zur Halterung von den Laserstrahl (7) lenkenden Linsen und/oder Spiegelsystemen angeordnet sind, wobei diese Haltevorrichtungen (27) für den Schutzgasstrom (18) gasdurchlässig ausgebildet sind.

13. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 8-11, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Inneren des Durchlasskanales (6) für den Laserstrahl (7) und/oder des Laser-Leitrohres (19) mit Abstand zueinander Haltevorrichtungen (27) zur Halterung von den Laserstrahl (7) lenkenden Linsen und/oder Spiegelsystemen angeordnet sind, wobei diese Haltevorrichtungen (27) für den Schutzgasstrom (18) gasdurchlässig ausgebildet sind.

Claims

1. Method for introducing a borehole (4) into a rock formation (3) by applying a laser beam (7) to the borehole bottom (4b), which laser beam is generated by a laser beam generator located outside the borehole and is supplied by means of suitable aids to a laser drilling head (1) located on the borehole bottom (4b) and connected to a drill rod (2), wherein supplied to the laser drilling head (1) via the drill rod (2) is nitrogen, which is divided into

- a partial flow serving as a shield gas flow (18), which protects the laser beam (7) passing through against obstructive suspended matter,
- and a further partial flow serving as a carrier gas flow (15), which discharges the rock material detached on the borehole bottom (4b) out of the borehole (4) via an annular space remaining between the drill rod (2) and borehole wall (4a),

characterised in that

the laser beam (7) is supplied to the laser drilling head (1) via a laser guide tube (19), which extends over the length of the drill rod and through the free cross section of which the shield gas flow (18) flows,

the nitrogen is supplied to the laser drilling head (1) via the drill rod (2) in a liquid state and is transferred to the gaseous state in the region of the laser drilling head (1)

- and additionally branched off from the nitrogen supplied is a further partial flow serving as a heating gas flow (10), which is heated by means of an electric heating device (11) associated with the laser drilling head (1) and is directed against the borehole bottom (4b) to which the laser beam (7) is applied.
2. Method according to claim 1, **characterised in that** additionally used as a carrier gas is liquid nitrogen, which is injected in the region of the laser drilling head (1) into the carrier gas flow (15) flowing back from the borehole bottom (4b) and laden with the rock material detached from the borehole bottom (4b), and is transferred there to the gaseous state with cooling of the carrier gas flow (15) and the rock material located therein.
 3. Method according to claims 1 and 2, **characterised in that** branched off from the nitrogen supplied to the laser drilling head (1) is a further partial flow serving as a cooling gas flow (24), which is led out of the borehole (4) via the drill rod (2) and thereby cools the drill rod (2) from inside.
 4. Method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** branched off from the nitrogen supplied to the laser drilling head (1) is a further partial flow serving as a cleaning gas flow (14), which keeps the laser beam exit opening of the laser drilling head (1) facing the borehole bottom (4b) clean.
 5. Device for carrying out the method according to claim 1, **characterised in that** the drill rod (2) has:
 - a laser guide tube (19) for the passage of the laser beam (7), through which tube the shield gas flow (18) flows,
 - a double tube (21) surrounding the laser guide tube (19) concentrically and at a radial distance, through the annular space of which liquid nitrogen flows,
 - an insulation tube (22) surrounding the double tube (21) concentrically and at a radial distance,
 - and an outer protective tube (23) surrounding the insulation tube (22) concentrically and at a radial distance,
 wherein
 - the annular spaces surrounding the double tube (21) are evacuated,
 - the annular space between the outer protective tube (23) and the insulation tube (22) is connected to a cooling gas flow (24) led back from the laser drilling head (1)
 - and one or more of the tubes surrounded by the outer protective tube (23) are provided with electrical conductors for conducting electrical
- energy and electrical signals to the laser drilling head (1).
6. Device according to claim 5, **characterised in that** the outer protective tube (23) consists of steel and the tubes arranged in the interior of the protective tube (23) consist of carbon-fibre-reinforced plastic (CFRP).
 7. Device according to claims 5 or 6, **characterised in that** the drill rod (2) is divided into length sections, which are each connected to one another at their ends by a screwable sleeve-stud connection (25, 26), wherein in the region of these sleeve-stud connections (25, 26)
 - the adjacent sections of the laser guide tube (19) and of the annular space of the double tube (21) and of the annular space between the outer protective tube (23) and the insulation tube (22) are connected flush and pressure-tight to one another,
 - the adjacent sections of the electrical conductors are connected electrically conductively to one another,
 - and the consecutive sections of the evacuated annular spaces surrounding the double tube (21) are closed pressure-tight without connection to one another.
 8. Device according to any one of claims 5-7, **characterised in that** the laser drilling head (1) has a casing (5), the casing cover (5a) of which is attached to the outer protective tube (23) of the drill rod (2), wherein the casing (5) is further provided with:
 - a duct (6) running through the casing (5) and connecting to the laser guide tube (19) of the drill rod (2) for the laser beam, the exit opening of which duct is covered in the region of the casing base (5b) by an expander lens (8) in a light-permeable manner,
 - devices arranged in the casing interior and connected to the annular space of the double tube (21) of the drill rod (2) for routing and/or vaporisation of the arriving liquid nitrogen and for the storage and distribution of gaseous nitrogen to the various partial flows provided,
 - delivery jet nozzles (16, 17) arranged in the casing shell (5c) and running inclined in the flow direction of the carrier gas flow for injecting liquid and/or gaseous nitrogen into the carrier gas flow (15),
 - heating jet nozzles (9) arranged in the casing base (5b) and directed in the direction of the borehole bottom (4b) for the heating gas flow (10)
 - an electric heating device (11) arranged in the

casing interior for the heating gas flow (10)
- and solenoid valves and volume flow controllers for the control and regulation of all nitrogen partial flows.

9. Device according to claim 8, **characterised in that** the partial flow serving as a cooling gas flow (24) runs through the casing interior, wherein the casing interior is connected to the annular space between the outer protective tube (23) and the insulation tube (22) of the drill rod (2).

10. Device according to claim 8, **characterised in that** arranged in the casing base (5b) are cleaning nozzles (12) for a partial flow serving as a cleaning gas flow (14), which runs parallel to the underside of the casing base (5b) and is oriented to the expansion lens (8) covering the outlet opening for the laser beam.

11. Device according to claim 8, **characterised in that** inside the casing (5) of the laser drilling head, the duct (6) for the laser beam (7) is provided with inlet openings (20) for the partial flow serving as a shield gas flow (18).

12. Device according to any one of claims 5-7, **characterised in that** in the interior of a duct (6) for the laser beam (7) running through the casing (5) and connecting to the laser guide tube (19) of the drill rod (2), the exit opening of which duct is covered in the region of the casing base (5b) by an expander lens (8) in a light-permeable manner, and/or of the laser guide tube (19), holding devices (27) spaced from one another are arranged for holding lenses and/or mirror systems deflecting the laser beam (7), wherein these holding devices (27) are formed gas-permeable for the shield gas flow (18).

13. Device according to any one of claims 8-11, **characterised in that** arranged in the interior of the duct (6) for the laser beam (7) and/or of the laser guide tube (19) are holding devices (27) spaced from one another for holding lenses and/or mirror systems deflecting the laser beam (7), wherein these holding devices (27) are formed gas-permeable for the shield gas flow (18).

Revendications

1. Procédé destiné à pratiquer un trou de forage (4) dans une formation rocheuse (3) en soumettant le fond de trou de forage (4b) à l'action d'un rayon laser (7), qui est généré par un générateur de rayons laser se trouvant à l'extérieur du trou de forage et est amené à une tête de forage par laser (1) située sur le fond de trou de forage (4b), reliée à la tige de forage

(2) au moyen de moyens auxiliaires adaptés, dans lequel est amené à la tête de forage par laser (1) par l'intermédiaire de la tige de forage (2) de l'azote, qui est divisé

- en un flux partiel faisant office de flux de gaz de protection (18), qui protège le rayon laser (7) traversant contre des matières en suspension gênantes,

- et en un autre flux partiel faisant office de flux de gaz de convoyage (15), qui évacue la matière rocheuse détachée sur le fond de trou de forage (4b) hors du trou de forage (4) par l'intermédiaire d'un espace annulaire restant entre la tige de forage (2) et la paroi de trou de forage (4a),

caractérisé en ce

que le rayon laser (7) est amené à la tête de forage par laser (1) par l'intermédiaire d'un tuyau de guidage laser (19) s'étendant sur la longueur de la tige de forage, dont la section transversale libre est traversée par le flux de gaz de protection (18),

et l'azote est amené à la tête de forage par laser (1) par l'intermédiaire de la tige de forage (2) dans un état d'agrégat liquide et est transféré dans l'état d'agrégat gazeux dans la zone de la tête de forage par laser (1),

et **qu'un** autre flux partiel faisant office de flux de gaz de chauffage (10) est bifurqué en supplément de l'azote amené, lequel est chauffé au moyen d'un système de chauffage (11) électrique associé à la tête de forage par laser (1) et est dirigé à l'encontre du fond de trou de forage (4b) soumis à l'action du rayon laser (7).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'est** utilisé en supplément en tant que gaz de convoyage de l'azote liquide, qui est injecté dans le flux de gaz de convoyage (15) revenant du fond de trou de forage (4b) et chargé en matière rocheuse détachée du fond de trou de forage (4b) dans la zone de la tête de forage par laser (1) et y est transféré dans l'état d'agrégat gazeux en refroidissant le flux de gaz de convoyage (15) et la matière rocheuse s'y trouvant.

3. Procédé selon les revendications 1 et 2, **caractérisé en ce qu'est** bifurqué de l'azote amené à la tête de forage par laser (1) un autre flux partiel faisant office de flux de gaz de refroidissement (24), qui est guidé hors du trou de forage (4) par l'intermédiaire de la tige de forage (2) et refroidit ce faisant de l'intérieur la tige de forage (2).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'est** bifurqué de

l'azote amené à la tête de forage par laser (1) un autre flux partiel faisant office de flux de gaz de nettoyage (14), qui maintient au propre l'ouverture de sortie de rayon laser, tournée vers le fond de trou de forage (4b), de la tête de forage par laser (1).

5. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la tige de forage (2) présente :

- un tuyau de guidage laser (19) traversé par le flux de gaz de protection (18) pour le passage du rayon laser (7),
- un double tuyau (21) entourant de manière concentrique et à une distance radiale le tuyau de guidage laser (19), dont l'espace annulaire est traversé par l'azote liquide,
- un tuyau d'isolation (22) entourant de manière concentrique et à distance radiale le double tuyau (21),
- et un tuyau de protection (23) extérieur entourant de manière concentrique et à distance radiale le tuyau d'isolation (22), dans lequel
- le vide est réalisé dans les espaces annulaires entourant le double tuyau (21),
- l'espace annulaire entre le tuyau de protection (23) extérieur et le tuyau d'isolation (22) est raccordé à au flux de gaz de refroidissement (24) ramené depuis la tête de forage par laser (1)
- et un ou plusieurs tuyaux entourés par le tube de protection (23) extérieur sont pourvus de conducteurs électriques pour faire passer de l'énergie électrique et des signaux électriques à la tête de forage par laser (1).

6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le tube de protection (23) extérieur est constitué d'acier et les tuyaux disposés à l'intérieur du tuyau de protection (23) sont constitués d'une matière plastique renforcée par des fibres de carbone (CFK).

7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** la tige de forage (2) est divisée en sections longitudinales, qui sont reliées les unes aux autres respectivement sur leurs extrémités par une liaison de manchon-tourillon (25, 26) pouvant être vissée, dans lequel, dans la zone desdites liaisons de manchon-tourillon (25, 26)

- les sections se joignant du tuyau de guidage laser (19) ainsi que de l'espace annulaire du double tuyau (21) et de l'espace annulaire entre le tuyau de protection (23) extérieur et le tuyau d'isolation (22) sont reliées en affleurement et de manière étanche à la pression les unes aux autres,

- les sections se joignant des conducteurs électriques sont reliées les unes aux autres de manière électriquement conductrice,
- et les sections se joignant les unes les autres des espaces annulaires entourant le double tuyau (21), mis sous vide sont fermées de manière étanche à la pression sans liaison les unes aux autres.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 - 7, **caractérisé en ce que** la tête de forage par laser (1) présente un boîtier (5), dont le couvercle de boîtier (5a) est fixé sur le tuyau de protection (23) extérieur de la tige de forage (2), dans lequel le boîtier (5) est pourvu par ailleurs :

- d'un canal de passage (6) pour le rayon laser s'étendant à travers le boîtier (5), se raccordant au tuyau de guidage laser (19) de la tige de forage (2), dont l'ouverture de sortie est recouverte de manière perméable à la lumière par une lentille d'agrandissement (8) dans la zone du fond de boîtier (5b),
- de systèmes disposés dans l'espace intérieur de boîtier, raccordés à l'espace annulaire du double tuyau (21) de la tige de forage (2) pour le transfert et/ou l'évaporation de l'azote liquide se formant ainsi que pour le stockage et la répartition d'azote gazeux sur les différents flux partiels prévus ;
- de buses de projection de convoyage (16, 17) disposées dans l'enveloppe de boîtier (5c), s'étendant de manière inclinée dans la direction d'écoulement du flux de gaz de convoyage pour l'injection d'azote liquide et/ou gazeux dans le flux de gaz de convoyage (15),
- de buses de projection de chauffage (9) disposées dans le fond de boîtier (5b), dirigées en direction du fond de trou de forage (4b) pour le flux de gaz de chauffage (10),
- d'un système de chauffage électrique (11) disposé dans l'espace intérieur de boîtier pour le flux de gaz de chauffage (10),
- ainsi que d'électrovannes et de régulateurs de débit volumique pour la commande et la régulation de tous les flux partiels d'azote.

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le flux partiel faisant office de flux de gaz de refroidissement (24) s'étend à travers l'espace intérieur de boîtier, dans lequel l'espace intérieur de boîtier est en liaison avec l'espace annulaire entre le tuyau de protection (23) extérieur et le tuyau d'isolation (22) de la tige de forage (2).

10. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** des buses de nettoyage (12) pour un flux partiel faisant office de flux de gaz de nettoyage (14)

sont disposées dans le fond de boîtier (5b), lequel s'étend de manière parallèle au côté inférieur du fond de boîtier (5b) et sur lesquelles l'ouverture de passage pour la lentille d'agrandissement (8) recouvrant le rayon laser est alignée.

5

11. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le canal de passage (6) pour le rayon laser (7) est pourvu d'ouvertures d'entrée (20) pour le flux partiel faisant office de flux de gaz de protection (18) à l'intérieur du boîtier (5) de la tête de forage par laser.
- 10
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5-7, **caractérisé en ce que** des dispositifs de maintien (27) destinés à maintenir des lentilles et/ou des systèmes de miroir dirigeant le rayon laser (7) sont disposés à distance les uns par rapport aux autres à l'intérieur d'un canal de passage (6) pour le rayon laser (7) s'étendant à travers le boîtier (5), se raccordant au tuyau de guidage laser (19) de la tige de forage (2), dont l'ouverture de sortie est recouverte de manière perméable à la lumière par une lentille d'agrandissement (8) dans la zone du fond de boîtier (5b), dans lequel lesdits dispositifs de maintien (27) sont réalisés de manière perméable aux gaz pour le flux de gaz de protection (18).
- 15
- 20
- 25
13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 - 11, **caractérisé en ce que** des dispositifs de maintien (27) destinés à maintenir des lentilles et/ou des systèmes de miroir dirigeant le rayon laser (7) sont disposés à distance les uns par rapport aux autres à l'intérieur du canal de passage (6) pour le rayon laser (7) et/ou du tuyau de guidage laser (19), dans lequel lesdits dispositifs de maintien (27) sont réalisés de manière perméable aux gaz pour le flux de gaz de protection (18).
- 30
- 35
- 40

40

45

50

55

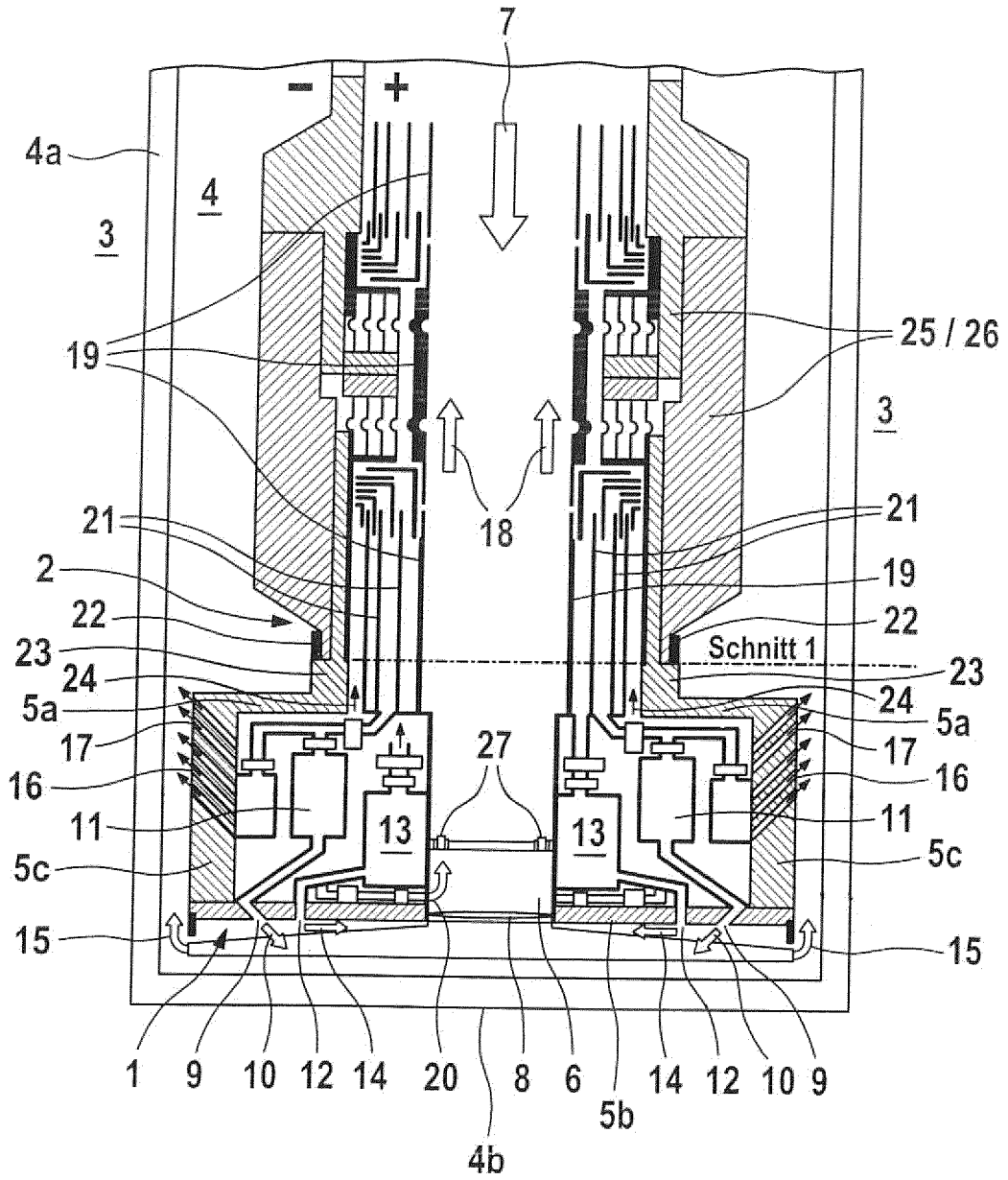


Fig. 1

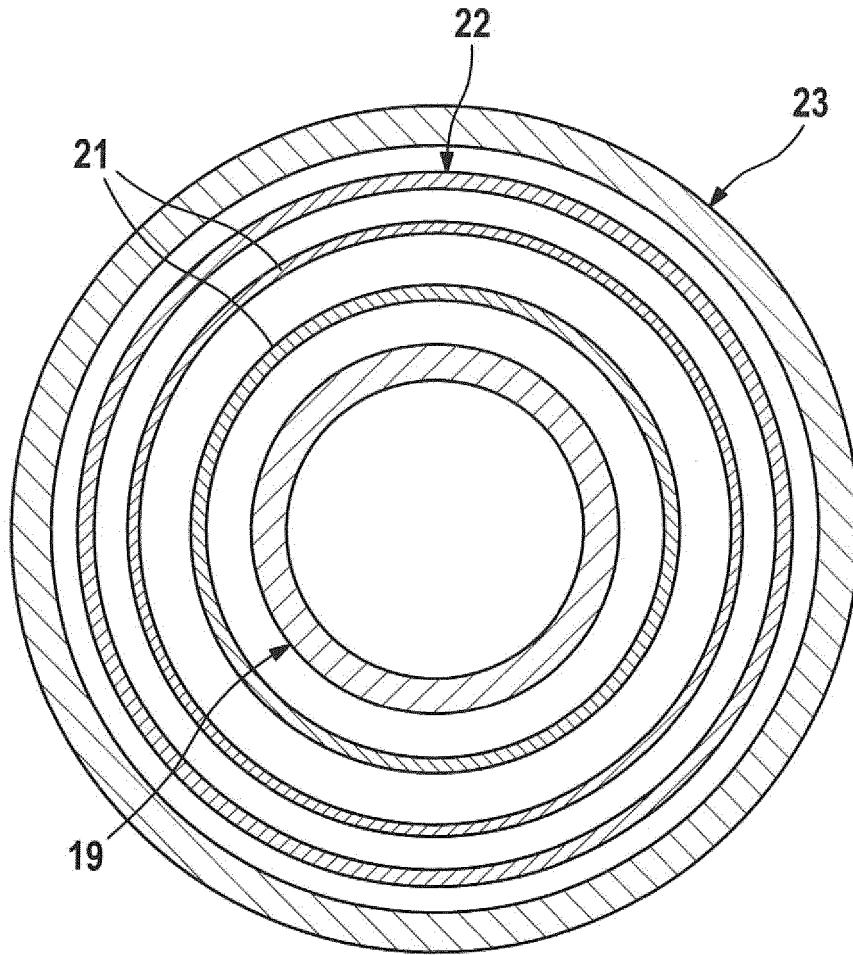


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 2010044102 A1 [0002]