



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Verfahren zum Abbau von Schiefergas

- 5 Die Erfindung betrifft Verfahren zum Abbau von Schiefergas über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch, wobei das Schiefergas in einer geschlossenen Gesteinsschicht gespeichert ist.
- 10 Schiefergas ist natürlich vorkommendes Erdgas, das in Tonsteinen entsteht und gespeichert wird. Das in den Tonsteinen durch die Ablagerung organischer Substanz und deren Abbau durch mikrobielle Prozesse entstandene Gas ist teilweise in natürlichen Frakturen oder porösen Stellen des Tonsteins ge-
- 15 halten. Teilweise adsorbiert das Gas an das organische Material in den Tonsteinen. Für den Abbau kommerzieller Mengen des Schiefergases werden Risse in den Tonsteinen benötigt, die eine Durchlässigkeit für das Gas gewährleisten.
- 20 Für die Förderung des Schiefergases wird ein „Hydraulic Fracturing“ genanntes Verfahren eingesetzt. Hydraulic Fracturing ist eine Methode der Tiefbohrtechnik, bei der durch das Einpressen eines sog. Fracfluides in ein durch Richtbohrung erzeugtes Bohrloch künstliche Risse erzeugt werden. Hydraulic
- 25 Fracturing stellt ein Verfahren der hydraulischen Rissbildung dar. Ziel ist es, die Permeabilität in der Nähe der Bohrung zu erhöhen, um eine Förderung des Gases zu ermöglichen. Bei der Förderung wird das in den Rissen gespeicherte Gas direkt freigesetzt. Das an organischem Material adsorbierte Gas wird
- 30 erst verzögert nach der Bohrung freigesetzt.

Zum Abbau des Gases wird ein Fracfluid - ein Gemisch aus Wasser, Sand und chemischen Additiven - in das Bohrloch gepresst. Der hierbei im zu fracenden Bereich erreichte Druck

35 muss dabei die geringste im Gestein anliegende Spannung überschreiten. Das Fracfluid drückt das Gestein gegen die geringste anliegende Spannung hin auseinander. Nach ausreichender Rissbildung wird das in das Bohrloch eingepresste

Fracfluid fast vollständig zurückgepumpt, wobei dem Fluid beigesetzter Sand in den Rissen verbleibt, um diese offen zu halten und somit dem induzierten Frac einen hochpermeablen Zugang zur Bohrung offen zu halten. Die chemischen Additive dienen speziellen Aufgaben, bspw. der Viskositätserhöhung des Fracfluids zum besseren Sandtransport, der Lösung von Mineralen, der Zugabe von Säuren zum Schutz der Anlagen, der Verringerung der Viskosität des Fracfluids zur besseren Rückkopplung der Fluide, der Verhinderung von Bakterienwachstum an organischen Bestandteilen, der Verringerung des Ausflusses des Fracfluids in das Gestein, der Verringerung der Reibung innerhalb der Fluide, usw.

Zum Abbau von Schiefergas mittels Hydraulic Fracturing sind große Mengen an Fracfluid erforderlich. Um die Rissbildung im Inneren des Bohrlochs zu forcieren, muss das Fracfluid auf bis zu 1.000 bar komprimiert werden. Dieser Prozess ist sehr energieintensiv, was den Abbau von Schiefergas sehr teuer macht.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verfahren anzugeben, mit denen die Rissbildung in und um das Bohrloch mit geringerem Energieaufwand bewirkt werden kann, um Schiefergas auf kostengünstigere Weise abbauen zu können.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Die Erfindung schlägt Verfahren zum Abbau von Schiefergas über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch vor, wobei das Schiefergas in einer geschlossenen Gesteinsschicht gespeichert ist.

Gemäß einer ersten Verfahrensvariante wird ein Fracfluid in das Bohrloch gepresst. Beim Erreichen eines vorbestimmten Drucks des Fracfluids im Inneren des Bohrlochs wird das Bohr-

loch druckfest verschlossen. Anschließend wird das Fracfluid zur Erhöhung des Drucks über die geringste in der Gesteinsschicht anliegende Spannung erwärmt.

5 Die diesem Verfahren zugrunde liegende Idee besteht darin, den Druck nicht - wie im Stand der Technik - mittels einer Pumpe mechanisch zu erzeugen, sondern auf thermodynamische Weise. Durch das Aufheizen des Fracfluids in dem abgeschlossenen Volumen des Bohrloches wird ein Druckanstieg im Inneren
10 des Bohrloches erzeugt. Durch das Aufheizen nimmt die Dichte des Fracfluids ab, wodurch sich dieses entsprechend der Temperatur des Fracfluids ausdehnt. Aufgrund des dadurch entstehenden hohen Drucks können im Bereich des Bohrloches die erwünschten Risse erzeugt werden, über die das Gas aus der geschlossenen Gesteinsschicht entweichen kann.
15

Es versteht sich, dass auch beim erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren - analog zum Hydraulic Fracturing - das Fracfluid nach ausreichender Rissbildung erst aus dem Bohrloch
20 abgepumpt werden muss, bevor über das Bohrloch das Gas aus den geschlossenen Gesteinsschichten ausgeleitet und gesammelt werden kann.

Es ist insbesondere vorgesehen, das Bohrloch reversibel zu
25 verschließen. Hierdurch wird auf einfache Weise ein Nachfüllen oder das Ausleiten des Fracfluids in bzw. aus dem Bohrloch ermöglicht. Beispielsweise kann zum druckfesten Verschluss des Bohrloches ein Ventil verwendet werden, welches durch Öffnen das Ein- oder Ausleiten des Fracfluids erlaubt.
30 Die Abdichtung kann oberirdisch oder auch unterirdisch im Inneren des Bohrloches erfolgen. Insbesondere ist es bei einer unterirdischen Abdichtung zweckmäßig, diese am Beginn und/oder am Ende des Bohrlochabschnitts vorzunehmen, an dem die Rissbildung zu verzeichnen ist.

35

Abhängig vom verwendeten Fracfluid und Volumen kann es vorteilhaft sein, wenn das Fracfluid über seinen kritischen Punkt hinaus erwärmt wird, wodurch eine Ausdehnung und ein

Druckanstieg des Fracfluids in dem Bohrloch erzielt werden. In der Thermodynamik ist der kritische Punkt bekanntermaßen ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes, der sich durch Angleichen der Dichten von flüssiger und Gasphase kennzeichnet. Die Unterschiede zwischen beiden Aggregatzuständen hören an diesem Punkt auf zu existieren. Der kritische Punkt ist durch drei Zustandsgrößen ausgezeichnet, nämlich die kritische Temperatur, den kritischen Druck und die kritische Dichte bzw. auch das kritische Molvolumen. Das Verhalten oberhalb des kritischen Punkts lässt sich wie folgt beschreiben: Wird ein Gas einem immer höheren Druck ausgesetzt, so verringern sich die Abstände zwischen den Gasmolekülen kontinuierlich. Bei Erreichen des kritischen Drucks werden die Abstände dann genauso groß wie zwischen den Molekülen in der flüssigen Phase. Es ist damit kein Unterschied mehr feststellbar.

Gemäß einer weiteren zweckmäßigen Ausgestaltung wird der Schritt des Erwärmens des Fracfluids mehrfach (hintereinander) durchgeführt, wobei vor jedem wiederholten Erwärmen die Menge des Fracfluids um das Volumen erhöht wird, welches durch die durch den vorhergehenden Fracvorgang in der Gesteinsschicht entstehenden Risse zusätzlich entstanden ist. Hierdurch kann das zusätzliche Volumen in der Gesteinsschicht ausgeglichen werden, das durch die durch die Drucköffnung ausgebildete Risse entstanden ist.

Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn das Aufheizen des Fracfluids, das in dem Bohrloch und an das Bohrloch angrenzenden Rissen der Gesteinsschicht verteilt ist, durch ein elektromagnetisches Winkprinzip oder durch Widerstandsheizung erfolgt. Das Aufheizen des Fracfluids kann im zuerst genannten Fall wahlweise induktiv oder durch Mikrowellen erfolgen. Hierbei ist es insbesondere zweckmäßig, wenn neben dem Bohrloch zumindest zwei weitere, insbesondere parallel verlaufende Bohrlöcher für Kabel oder Induktivitäten erzeugt werden, um ein Heizen des Fracfluids über die gesamte Länge des Bohrlochs sicher zu stellen.

In einem alternativen Verfahren wird zum Abbau von in einer geschlossenen Gesteinsschicht gespeichertem Schiefergas über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch ein Fracfluid in das Bohrloch gepresst. Anschließend wird beim Erreichen eines vorbestimmten statischen Drucks (aufgrund des Pressens des Fracfluids in das Bohrloch) eine Druckpulsation des Fracfluids erzeugt. Durch die Druckpulsation kann das Bohrloch als Resonanzkörper genutzt werden, sodass ein am Bohrlocheingang erzeugter Druckstoß vielfach verstärkt in der Tiefe des Bohrloches wirken kann. Da die Gesteinsschichten Druckstößen, d.h. in kurzer Zeit stark ansteigenden Drücken, nicht standhalten können, führt dies zu der erwünschten Rissbildung benachbart zum Bohrloch.

Insbesondere ist vorgesehen, die Druckpulsation durch eine Pumpe zu erzeugen. Die Pumpe kann - wie erläutert - am Eingang des Bohrloches vorgesehen sein.

Um einen maximalen Druckanstieg im vertikal verlaufenden Teil des Bohrloches zu erzeugen, muss die Druckpulsation mit einer geeigneten Frequenz und Druckbeaufschlagung erzeugt werden. Es ist deshalb zweckmäßig, wenn in dem Bohrloch an zumindest einer Messstelle der durch die Druckpulsation in dem Bohrloch erzeugte Druck erfasst und als Steuergröße einem Mittel zur Erzeugung der Druckpulsation zugeführt wird, wobei das Mittel in Abhängigkeit der Steuergröße die Druckpulsation derart steuert, dass ein maximaler Druckstoß an dem, dem Bohrlocheingang abgewandten Ende erzielt wird.

Das Fracfluid umfasst ein Gemisch aus Sand, einer Flüssigkeit und, optional, chemischen Additiven. Als Flüssigkeit wird insbesondere Wasser eingesetzt. Ebenso kann an die Verwendung von flüssigem CO₂ als Flüssigkeit gedacht werden.

Ein Vorteil beider Verfahren besteht darin, dass im Vergleich zum herkömmlichen Hydraulic Fracturing die Rissbildung mit einer reduzierten Menge an Fracfluid ermöglicht wird. Hier-

durch kann die Effizienz beim Abbau von Schiefergas erhöht werden. Darüber hinaus können im Vergleich zum herkömmlichen Hydraulic Fracturing kleiner dimensionierte Pumpen eingesetzt werden. Insbesondere ist der Einsatz von Hochdruckpumpen zur Erzeugung von Drucken bis zu 1.000 bar nicht mehr erforderlich, da der für die Rissbildung erforderliche Druck im relevanten Teil des Bohrloches entweder thermodynamisch oder durch eine Druckpulsation erzeugt wird, welche aufgrund einer Resonanz im Inneren des Bohrlochs mit geringeren Eingangsdrücken auskommt.

Die Erfindung wird nachfolgend näher anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

- 15 Fig. 1 in einer schematischen Darstellung den Prozess des Abbaus von Schiefergas aus einer Gesteinsschicht über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch, und
- 20 Fig. 2 in einer schematischen Darstellung eine zu Fig. 1 alternative Variante zur Abdichtung des Bohrloches.

Mit Richtbohren bezeichnet man Verfahren, die es ermöglichen, die Richtung einer Tiefbohrung zu beeinflussen. Die Gesteinsschicht 20, in der das Schiefergas eingespeichert ist, liegt häufig mehrere tausend Meter unterhalb der Erdoberfläche (Tiefe T). Die zur Gasgewinnung relevante Schichtdicke D der Gesteinsschicht 20 beträgt dem gegenüber bspw. lediglich 20 bis 30 m. Um das Gas durch ein auf hydraulischer Rissbildung basierendes Verfahren aus der Gesteinsschicht 20 effizient gewinnen zu können, ist es daher erforderlich, das Bohrloch annähernd horizontal durch die Gesteinsschicht 20 verlaufen zu lassen. Ausgehend von einer vertikalen Bohrung 10a bis zu der Gesteinsschicht 20 werden durch Richtbohren sternförmig mehrere in etwa horizontal verlaufende Abschnitte 10b erzeugt. Der Übersichtlichkeit halber ist in der schematischen Darstellung lediglich ein einziger solcher horizontal verlaufender Abschnitt 10b des Bohrlochs 10 dargestellt.

Das in der Gesteinsschicht 20 enthaltene Gas, welches durch mikrobielle Prozesse von in den Tonen der Gesteinsschicht 20 abgelagerten organischen Substanzen erzeugt ist, kann aufgrund der geringen Korngröße des Materials und des hohen Adsorptionsvermögens von Tonen und der verbliebenen organischen Substanz nicht in benachbarte Gesteinsschichten entweichen. Das Gas wird teilweise in den natürlichen Frakturen oder porösen Stellen der Gesteinsschicht 20 gehalten. Teilweise adsorbiert es an das organische Material der Gesteinsschicht 20. Der Abbau des Gases basiert daher auf der direkten Freisetzung des Gases von Rissen 21, welche im Wesentlichen an den horizontalen Abschnitt 10b des Bohrlochs 10 grenzen. Auch das von dem Tonstein adsorbierte Gas kann verzögert durch den abfallenden Druck nach der Herstellung des Bohrloches 10 desorbiert werden.

Um wirtschaftlich eine möglichst große Menge des an der Gesteinsschicht 20 eingespeicherten Gases abbauen zu können, werden durch in das Bohrloch 10 gepresstes Fracfluid F und eine Druckbeaufschlagung des Fracfluids die Risse 21 verstärkt, erweitert und neue erzeugt. Als Fracfluid wird ein Gemisch aus einer Flüssigkeit und Sand verwendet, welchem optional chemische Additive beigesetzt sein können. Besonders verbreitet ist die Verwendung von Wasser als Fluid, da dieses kostengünstig bereitgestellt werden kann. Ebenso ist die Verwendung von flüssigem CO₂ oder auch anderen Flüssigkeiten möglich.

Um mit einer möglichst geringen Menge an Fracfluid F die Rissbildung herbeiführen zu können und gleichzeitig einen möglichst geringen Energieaufwand für die Rissbildung aufwenden zu müssen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, die Druckerhöhung im Inneren des Bohrlochs 10, d.h. insbesondere in dem Abschnitt 10b, entweder thermodynamisch oder mittels Druckpulsationen zu erzeugen.

Bei der ersten vorgeschlagenen Variante der thermodynamischen Druckerhöhung wird nach dem Einpressen des Fracfluids F in das Bohrloch 10 beim Erreichen eines vorbestimmten Drucks des Fracfluids im Inneren des Bohrlochs 10 das Bohrloch druckfest
5 verschlossen. Der Verschluss kann bspw. mittels des schematisch dargestellten Ventils 31 erfolgen.

Eine alternative Möglichkeit das in dem Bohrloch enthaltene Fracfluid abzuschließen ist in Fig. 2 dargestellt, welche mit
10 Ausnahme des Ventils 31 im Übrigen die in Fig.1 gezeigten Elemente illustriert. Dort wird die Abdichtung unterirdisch im Inneren des Bohrloches vorgenommen. Hierzu sind in dem horizontal verlaufenden Abschnitt zwei Dichtelemente 36, 37 vorgesehen, welche die an dem Bohrlochabschnitt entstandenen
15 Risse einschließen. Es kann unter Umständen ausreichend sein, lediglich das dem Bohrlocheingang zugewandte Dichtelement 36 vorzusehen und auf das Dichtelement zu verzichten.

Das Einpressen des Fracfluids in das Bohrloch erfolgt mittels der mit dem Bezugszeichen 30 gekennzeichneten Pumpe. Da durch die Pumpe 30 keine großen Drücke bereitgestellt werden müssen, kann hierzu eine im Vergleich zum herkömmlichen Hydraulic Fracturing „kleine“ und leistungsschwächere Pumpe eingesetzt werden. Das Einleiten bzw. Einpressen des Fracfluids F erfolgt bspw. bei Umgebungstemperatur. Nach dem Verschließen des Bohrloches 10 erfolgt eine Erwärmung des im Inneren des Bohrlochs 10 befindlichen Fracfluids F. Die Erhitzung des Fracfluids F kann durch elektromagnetische Heizung oder Widerstandsheizung erfolgen. Im Falle einer Erhitzung des
25 Fracfluids auf elektromagnetische Weise werden vorzugsweise zumindest zwei Hilfsbohrungen 11, 12 parallel zu dem Bohrloch 10 erzeugt, in welche Kabel oder Induktoren platziert werden. Die Erwärmung des Fracfluids kann dann unter Nutzung von Induktivität oder nach dem Prinzip einer Mikrowelle erfolgen.

35

Durch die Erwärmung des Wassers auf hohe Temperaturen reduziert sich die Dichte des Wassers. Infolge dessen steigt der Druck in dem abgeschlossenen Volumen an. Bei Umgebungstempe-

ratur weist Wasser eine Dichte von 1.000 kg/m^3 auf. Die Erhöhung der Temperatur des Wassers auf 300°C reduziert die Dichte des Wassers auf etwa 820 kg/m^3 bei einem Druck von 1.000 bar . Dies bedeutet, das Volumen des Wassers erhöht sich
5 um etwa 20 %. Aufgrund des hohen Drucks wird die Rissbildung (vgl. Risse 21) um den horizontalen Abschnitt 10b des Bohrloches 10 verstärkt bzw. initiiert.

Besonders effizient ist die Rissbildung dann, wenn die Temperatur des Wassers über seinen kritischen Punkt erhöht wird.
10 Bei 500°C beträgt die Dichte ungefähr 520 kg/m^3 . Dies hat zur Folge, dass sich das Volumen des Wassers um den Faktor 2 ausdehnt.

15 Aufgrund der durch den Druck erzeugten Rissbildung kann sich das Fracfluid in einem größeren Volumen verteilen. Die Rissbildung wird dabei durch die hohen Temperaturen begünstigt, da diese das Gestein schwächt. Es ist deshalb zweckmäßig, einen entsprechenden Volumenanteil an Fracfluid in das Bohrloch nachzufüllen und das beschriebene Vorgehen zu wiederholen.
20 Die Anzahl der Wiederholungen hängt vom Fortschritt und der gewünschten Rissbildung ab.

Wird ein Fracfluid mit einer anderen Flüssigkeit als Wasser
25 verwendet, so müssen die Parameter des Erhitzens entsprechend angepasst werden. Grundsätzlich gilt, dass bei umso höheren Temperaturen dies zu einer besseren Löslichkeit und Gasifikation der Kohlenwasserstoffe führt. Hierdurch können gegebenenfalls Additive eingespart werden, wodurch die Verfahren
30 umweltfreundlich sind.

Nach dem Abpumpen des Fracfluids aus dem Bohrloch kann dieses (vgl. Bezugszeichen W) in ein Reservoir 34 zur weiteren Aufbereitung gefüllt werden. Anschließend kann das über das
35 Bohrloch ausströmende Gas G über das Bohrloch in einen entsprechenden Tank 35 gefüllt werden, von dem aus es zu den Verbrauchern transportiert werden kann.

Die Rissbildung kann in einem alternativen Verfahren auch durch eine Druckpulsation erzeugt werden. In dieser Ausgestaltungsvariante kann auf das in Fig. 1 dargestellte Ventil 31 verzichtet werden. Die Pumpe 30, evtl. in Verbindung mit einer Membran, wird derart angesteuert, dass diese in einer vorgegebenen Frequenz Druckpulse erzeugt. Aufgrund des Resonanzverhaltens des Bohrloches 10 verstärken sich diese am Ende des Bohrlochs, d.h. in dem horizontalen Abschnitt. Da die Tonsteine in der Gesteinsschicht 20 empfindlich gegenüber Druckstößen, d.h. in kurzer Zeit stark ansteigenden Drücken, sind, erfolgt die beabsichtigte Rissbildung im Bereich des Bohrloches.

Um die geeignete Anregungsfrequenz für die Druckpulsation ausfindig zu machen, ist es zweckmäßig, an mehreren Messstellen 32, 33 eine Messung des Drucks vorzunehmen und die entsprechenden Drücke als Steuergröße einer Steuerung der Pumpe 30 zuzuführen. In Abhängigkeit der gemessenen Drücke wird die Pumpe 30 dann derart angesteuert, dass im horizontalen Bereich des Bohrloches ein maximaler Druckstoß erzielt wird.

Der Vorteil der vorgeschlagenen Verfahren gegenüber dem herkömmlichen Hydraulic Fracturing besteht darin, dass die Rissbildung mit einer wesentlich geringeren Menge an Fracfluid erzeugt werden kann. Da der im Inneren des Bohrlochs 10 benötigte Druck zur Rissbildung auch nicht über eine Pumpe erzeugt werden muss, können wesentlich kleiner dimensionierte Pumpen verwendet werden, was die Gestehungskosten des Schiefergases reduziert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abbau von Schiefergas über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch (10), wobei das Schiefergas in einer geschlossenen Gesteinsschicht (20) gespeichert ist, bei dem
- ein Fracfluid (F) in das Bohrloch (10) gepresst wird;
 - beim Erreichen eines vorbestimmten Drucks des Fracfluids (F) im Inneren des Bohrloches (10) das Bohrloch (10) druckfest verschlossen wird;
 - das Fracfluid (F) zur Erhöhung des Drucks über die geringste in der Gesteinsschicht (20) anliegende Spannung erwärmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Bohrloch (10) reversibel verschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zum druckfesten Verschluss des Bohrloches (10) ein Ventil (31) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Fracfluid (F) über seinen kritischen Punkt hinaus erwärmt wird, wodurch eine Ausdehnung und ein Druckanstieg des Fracfluids (F) in dem Bohrloch (10) erzielt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Schritt des Erwärmens des Fracfluids (F) mehrfach durchgeführt wird, wobei vor jedem wiederholten Erwärmen die Menge des Fracfluids (F) um das Volumen erhöht wird, welches durch die durch den vorhergehenden Fracvorgang in der Gesteinsschicht (20) entstehenden Risse (21) entstanden ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Aufheizen des Fracfluids (F), das in dem Bohrloch (10) und an das Bohrloch (10) angrenzenden Rissen der Gesteinsschicht (20) verteilt ist, durch Elektromagnetismus oder durch Widerstandsheizung erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem neben dem Bohrloch (10) zwei weitere, insbesondere parallel verlaufende Bohrlöcher (11, 12) für Kabel oder Induktivitäten erzeugt werden.

5

8. Verfahren zum Abbau von in einer geschlossenen Gesteinschicht (20) gespeicherten Schiefergas über ein durch eine Richtbohrung erzeugtes Bohrloch (10), bei dem

- ein Fracfluid (F) in das Bohrloch (10) gepresst wird;
- 10 - beim Erreichen eines vorbestimmten statischen Drucks eine Druckpulsation des Fracfluids (F) erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Druckpulsation durch eine Pumpe erzeugt wird.

15

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem in dem Bohrloch (10) an zumindest einer Messstelle (32, 33) der durch die Druckpulsation in dem Bohrloch (10) erzeugte Druck erfasst und als Steuergröße einem Mittel zur Erzeugung der Druckpulsation zugeführt wird, wobei das Mittel in Abhängigkeit der
- 20 Steuergröße die Druckpulsation derart steuert, dass ein maximaler Druckstoß an dem, dem Bohrlocheingang abgewandten Ende erzielt wird.

- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Fracfluid (F) ein Gemisch aus Sand, einer Flüssigkeit und, optional, Additiven umfasst.

FIG 1

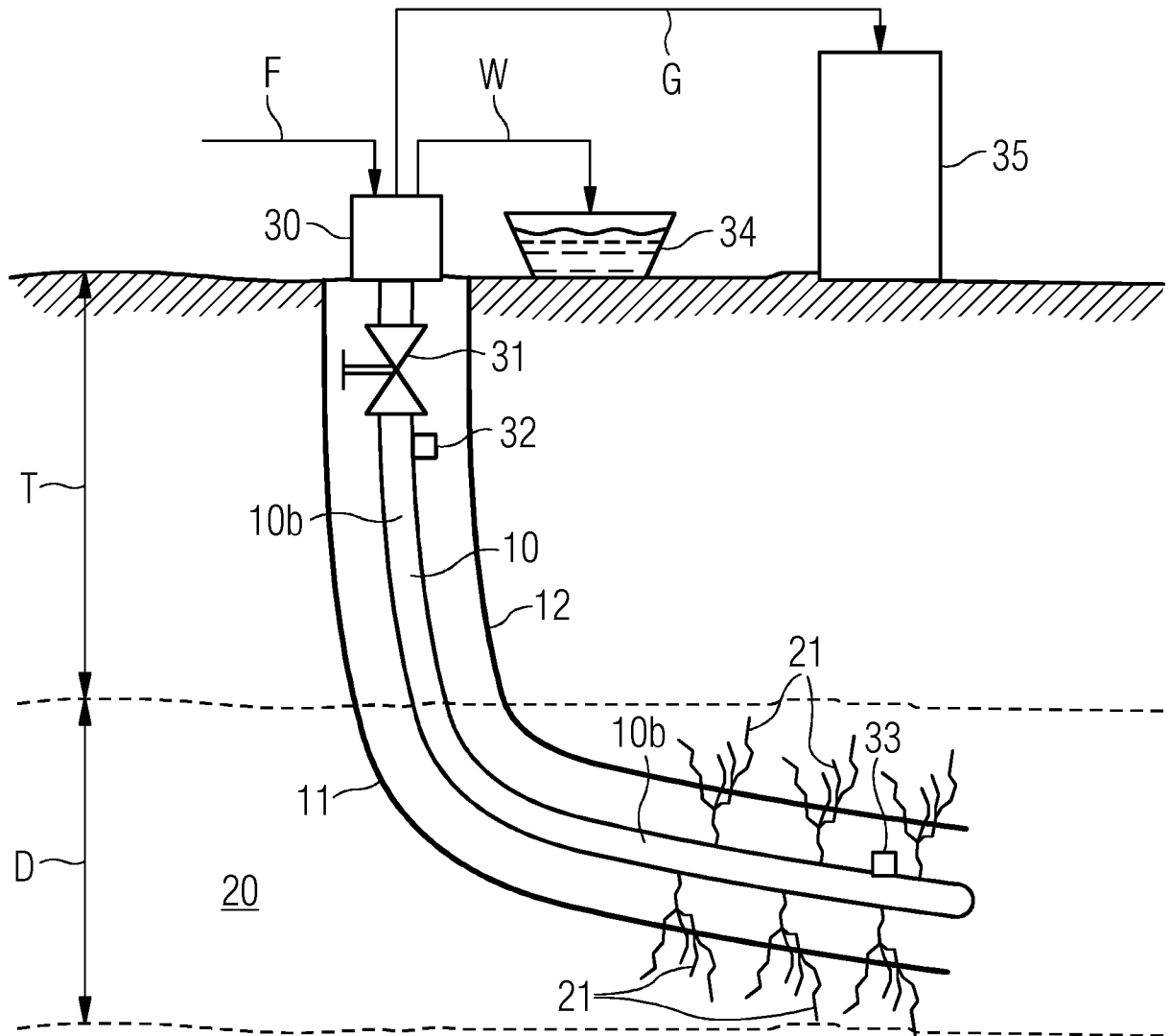


FIG 2

