



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 30 538 T2** 2007.03.08

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 165 936 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 30 538.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/22092**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 954 650.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/037777**

(86) PCT-Anmeldetag: **23.09.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **29.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **22.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.03.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **E21B 43/26 (2006.01)**  
**E21B 43/267 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**216420 19.12.1998 US**

(73) Patentinhaber:  
**Schlumberger Technology Corp., Sugarland, Tex.,  
US**

(74) Vertreter:  
**Sparing · Röhl · Henseler, 40237 Düsseldorf**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:  
**HINKEL, J., Jerald, Houston, TX 77084, US;  
ENGLAND, W., Kevin, Houston, TX 77094, US**

(54) Bezeichnung: **NEUE FLÜSSIGKEITEN UND TECHNIKEN ZUR MAXIMIERUNG DER REINIGUNG VON DURCH  
FRAKTUREN ERZEUGTEN GESTEINSRISSEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Hintergrund der Erfindung

## Technisches Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, um die Förderung von Kohlenwasserstoffen aus einer unterirdischen Formation anzuregen. Die vorliegende Erfindung offenbart und beansprucht insbesondere Verfahren, um das Entfernen von verbrauchtem Zerklüftungsfluid aus einer Zerklüftung, die in der Formation vorwiegend erzeugt wurde, zu verbessern, um dadurch die wirksame Zerklüftungslänge zu vergrößern und die Förderung von Kohlenwasserstoffen zu verbessern.

## Einführung in die Technologie

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen die Förderung von Kohlenwasserstoffen (Erdöl und Erdgas) aus Bohrlöchern, die in den Erdboden gebohrt wurden. Es ist offensichtlich erwünscht, sowohl die Strömungsrate als auch die Gesamtkapazität von Kohlenwasserstoffen aus der unterirdischen Formation zur Oberfläche, wo sie gewonnen werden können, maximal zu machen. Zahlreiche Techniken, um dies auszuführen, werden als Anregungstechniken bezeichnet und eine derartige Technik, das "hydraulische Zerklüften", ist der Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Die Strömungsrate oder die "Förderung" von Kohlenwasserstoffen aus einer geologischen Formation ist natürlich von zahlreichen Faktoren abhängig. Einer dieser Faktoren ist der Radius des Bohrlochs; wenn sich der Bohrradius vergrößert, vergrößert sich die Förderrate, wenn alles andere gleich bleibt. Ein weiterer Faktor, der sich auf den ersten Faktor bezieht, betrifft die für die abwandernden Kohlenwasserstoffe zur Verfügung stehenden Strömungswege von der Formation zu dem Bohrloch.

**[0003]** Das Bohren eines Bohrlochs in den Untergrund ist teuer, wodurch die Anzahl von Bohrlöchern begrenzt wird, die wirtschaftlich gebohrt werden können, wobei sich diese Kosten im Allgemeinen vergrößern, wenn die Abmessung des Bohrlochs größer wird. Außerdem erzeugt ein größeres Bohrloch eine größere Instabilität in der geologischen Formation, wodurch die Möglichkeiten größer werden, dass sich die Formation um das Bohrloch verschiebt und dadurch das Bohrloch beschädigt (das im schlechtesten Fall zusammenfällt). Obwohl ein größeres Bohrloch theoretisch die Förderung von Kohlenwasserstoffen verbessert, ist dies unpraktisch und es gibt einen wesentlichen Nachteil. Trotzdem kann eine Zerklüftung oder ein großer Riss in der Förderzone der geologischen Formation, der von dem Bohrloch ausgeht und von diesem strahlenförmig weggeführt, tatsächlich den "wirksamen" im Gegensatz zum "tatsächlichen" Bohrradius vergrößern, deswegen verhält sich das Bohrloch "in Bezug auf die Förderrate", als ob der gesamte Bohrradius viel größer wäre.

**[0004]** Zerklüften (im Allgemeinen gibt es zwei Typen, die Säurezerklüftung und die abstützende Zerklüftung, wobei die Letztere an dieser Stelle hauptsächlich von Interesse ist) bezeichnet somit Verfahren, die verwendet werden, um die Förderung von Fluiden, die im Untergrund vorhanden sind, z. B. Öl, Erdgas und Solen anzuregen. Das hydraulische Zerklüften beinhaltet das buchstäbliche Brechen oder Zerklüften eines Abschnitts der umgebenden Gesteinsschichten durch Einleiten eines speziellen Fluids in das Bohrloch, das auf die Fläche der geologischen Formation unter Drücken gerichtet ist, die ausreichend sind, um eine Zerklüftung in der Formation auszulösen und zu erweitern. Das Fluid wird im Einzelnen durch ein Bohrloch eingeleitet; das Fluid tritt durch Löcher (Perforationen in der Bohrloch-Verschalungsauskleidung) aus und ist auf die Fläche der Formation gerichtet (Bohrlöcher sind gelegentlich vollständig offene Löcher, bei denen keine Verschalung und deswegen keine Perforationen vorhanden sind, so dass das Fluid durch das Bohrloch und direkt zu der Formationsfläche eingeleitet wird) bei einem Druck und einer Strömungsrate, die ausreichend sind, um die minimale örtliche Gesteinsbeanspruchung (die außerdem als minimale Grundbelastung bekannt ist) zu überwinden und um Zerklüftungen in der Formation auszulösen und/oder zu erweitern. Durch diesen Prozess wird tatsächlich nicht immer eine einzelne Zerklüftung erzeugt, sondern eine Zerklüftungszone, d. h. eine Zone mit mehreren Zerklüftungen oder Rissen in der Formation, durch die Kohlenwasserstoffe zu dem Bohrloch strömen können.

**[0005]** In der Praxis ist das Zerklüften eine sehr komplexe Operation, die durch ein genaues und hervorragendes Zusammenspiel von Ausrüstung, sehr erfahrenen Ingenieuren und Technikern und leistungsvollen integrierten Computern, die die Raten, Drücke, Volumen usw. überwachen, ausgeführt wird. Während einer typischen Zerklüftungstätigkeit werden große Mengen von Material, die häufig eine Viertelmillion Gallonen von Fluid übersteigen, bei hohen Drücken, die die minimale Grundbelastung übersteigen, in ein Bohrloch zu einer Stelle, die häufig Tausende Fuß unter der Oberfläche liegt, gepumpt.

**[0006]** Eine typische Zerklüftungszone ist im Kontext von [Fig. 1](#) gezeigt. Das eigentliche Bohrloch oder Loch

in der Erde, in dem ein Rohr angeordnet ist, durch welches die Kohlenwasserstoffe von der kohlenwasserstofftragenden Formation zu der Oberfläche nach oben strömen, ist mit dem Bezugszeichen **10** gezeigt, und die gesamte Zerklüftungszone ist mit dem Bezugszeichen **20** gezeigt. Die vertikale Erstreckung der Kohlenwasserstoff-Förderzone ist im Idealfall (jedoch nicht im Allgemeinen) flächengleich mit der Höhe der Zerklüftungszone (gemäß Darstellung). Diese beiden flächengleichen Zonen sind so gezeigt, dass sie durch die Bezugszeichen **22** und **24** begrenzt sind. Die Zerklüftung wird gewöhnlich in der Förderzone, die von Interesse ist, erzeugt (und nicht in einer anderen geologischen Zone), da Löcher oder Perforationen **24** bis **36** zuvor in der Bohrlochverschalung vorsätzlich erzeugt wurden; somit strömt das Zerklüftungsfluid in dem Bohrloch (vertikal) nach unten und tritt durch die Perforationen aus. Die Lagerstätte repräsentiert wiederum nicht notwendigerweise eine einzelne Zone in der unterirdischen Formation, sondern kann stattdessen mehrere Zonen mit unterschiedlichen Abmessungen repräsentieren.

**[0007]** Nachdem das Bohrloch gebohrt wurde, werden deswegen Zerklüftungen häufig vorsätzlich in der Formation als ein Mittel zum Anregen der Förderung erzeugt, indem der wirksame Bohrlochradius vergrößert wird. Dabei gilt eindeutig, je länger die Zerklüftung ist, desto größer ist der wirksame Bohrlochradius. Genauer gesagt weisen Bohrlöcher, die hydraulisch zerklüftet wurden, sowohl eine radiale Strömung um das Bohrloch (herkömmlich) sowie eine geradlinige Strömung von der kohlenwasserstofftragenden Formation zu der Zerklüftung und eine weitere geradlinige Strömung längs der Zerklüftung zu dem Bohrloch auf. Deswegen ist das hydraulische Zerklüften ein allgemeines Mittel, um die Kohlenwasserstoffförderung in Formationen mit geringer Durchlässigkeit anzuregen. Das Zerklüften ist außerdem verwendet worden, um die Förderung in Formationen mit hoher Durchlässigkeit anzuregen. Wenn das Zerklüften in einem bestimmten Fall erwünscht ist, dann ist offensichtlich im Allgemeinen ebenfalls erwünscht, eine möglichst große (d. h. lange) Zerklüftungszone zu erzeugen, wobei z. B. eine lange Zerklüftung einen verlängerten Strömungsweg von den Kohlenwasserstoffen, die zu dem Bohrloch und zur Oberfläche wandern, bedeutet.

**[0008]** Trotzdem verhalten sich viele Bohrlöcher so, als ob die Zerklüftungslänge viel kürzer wäre, da die Zerklüftung mit Zerklüftungsfluid verunreinigt ist (d. h. insbesondere, das Fluid, das verwendet wird, um das Abstützmittel zuzuführen sowie ein Fluid, das verwendet wird, um die Zerklüftung zu erzeugen, wobei diese beiden nachfolgend erläutert werden). Der schwierigste Teil des wiederzugewinnenden Fluids ist das Fluid, das der Zerklüftungsspitze gehalten wird, d. h. der am weitesten von dem Bohrloch entfernte Abschnitt der Zerklüftung. Als Folge des stagnierenden Zerklüftungsfluids in der Zerklüftung verringert somit sich natürlich die Gewinnung von Kohlenwasserstoffen. Die Gründe dafür sind sowohl einfach als auch komplex. Der einfachste Grund besteht darin, dass das Vorhandensein des Fluids in der Zerklüftung als eine Sperre für die Wanderung von Kohlenwasserstoffen aus der Formation in die Zerklüftung wirkt. Genauer gesagt, das (wasserbasierte) Fluid sättigt die Porenräume der Zerklüftungsfläche, wodurch die Wanderung von Kohlenwasserstoffen in diese Porenräume verhindert wird, d. h. die fluidgesättigte Zone besitzt für Kohlenwasserstoffe eine geringe Durchlässigkeit.

**[0009]** Die verringerte wirksame Zerklüftungslänge, die durch stagnierendes Fluid bewirkt wird, das in der Zerklüftungsspitze gehalten wird, ist tatsächlich möglicherweise die bedeutendste Variable, die die Kohlenwasserstoffförderung (sowohl Rate als auch Kapazität) aus einem gegebenen Bohrloch begrenzt. Dies gilt insbesondere für Gaslagerstätten mit geringer Durchlässigkeit (etwa  $< 50$  Millidarcy). Die Bedeutung dieses stagnierenden Fluids in Bezug auf die Bohrlochproduktivität wird durch die empirische Beobachtung veranschaulicht, die erfahrenen Lagerstätteningenieuren wohlbekannt ist, dass die wirksamen Zerklüftungslängen (die wahre Zerklüftungslänge minus den entfernten Abschnitt der Zerklüftung, der mit Zerklüftungsfluid gesättigt ist) im Allgemeinen viel kleiner sind als die wahre hydraulisch induzierte Zerklüftungslänge. Um eine Vergrößerung der wirksamen Zerklüftungslänge zu erreichen, so dass sie sich der wahren Zerklüftungslänge nähert, muss deswegen stagnierendes Zerklüftungsfluid aus der Zerklüftung entfernt werden.

**[0010]** Das vorsätzliche Entfernen von Zerklüftungsfluid aus der Zerklüftung ist als "Sanierung" bekannt, d. h. dieser Ausdruck bezieht sich auf die Gewinnung des Fluids, nachdem das Abstützmittel in der Zerklüftung angelagert wurde. Das aktuelle Verfahren im Stand der Technik zur Sanierung einer Zerklüftung enthält sehr einfach ein Pumpen oder das Zulassen, dass das Fluid aus der Zerklüftung ausströmt, deswegen muss das Zerklüftungsfluid, das sich in der Spitze befindet, die gesamte Länge der Zerklüftung (und bis zum Bohrloch) durchqueren, um aus der Zerklüftung entfernt zu werden. Die vorliegende Patentanmeldung ist auf ein verbessertes Verfahren und Zusammensetzungen zum Ausführen dieses Verfahrens zum Sanieren der Zerklüftung gerichtet.

**[0011]** Somit besteht die schwierigste Aufgabe in Bezug auf die Sanierung der Zerklüftung darin, das stagnierende Zerklüftungsfluid, das in der Zerklüftungsspitze (d. h. am weitesten entfernt von dem Bohrloch) ge-

halten wird, zu entfernen. Häufig kann ein Abschnitt der Zerklüftung hydraulisch isoliert oder "abgeschnitten" sein, so dass die Kohlenwasserstoffe, die von der Formation in die Zerklüftung strömen, diesen Spitzenbereich vollständig umgehen, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Die Geländehöhe ist mit dem Bezugszeichen **5** gezeigt. Die Richtung der Kohlenwasserstoffströmung ist mit dem Bezugszeichen **38** gezeigt. Kohlenwasserstoffe strömen somit unterstützt durch das Vorhandensein der neu erzeugten Zerklüftung aus der Formation **40** in die Zerklüftung **42**, durchqueren die Zerklüftung, bis sie zum Bohrloch **10** gelangen, wo sie an der Oberfläche gewonnen werden. Ein ähnlicher Strömungsweg ist mit dem Bezugszeichen **44** angegeben. Diese Strömungswege können zwei Bereiche definieren, einen Förderbereich **46** und einen Nichtförderbereich **48** an der Zerklüftungsspitze, der von der restlichen Zerklüftung isoliert ist, da keine Kohlenwasserstoffe durch diesen Abschnitt der Zerklüftung strömen und somit kein Druckgradient vorhanden ist. Dieses Phänomen stellt (zusätzlich zu anderen Phänomenen) sicher, dass das stagnierende Zerklüftungsfluid in der Zerklüftungsspitze verbleibt und nicht durch die Förderung von Kohlenwasserstoffen verlagert wird, was in dem mit dem Bezugszeichen **46** gezeigten Bereich auftritt.

**[0012]** Allgemein gesagt erfordert das Erzeugen einer Zerklüftung in einer kohlenwasserstofftragenden Formation eine komplexe Folge von Materialien; wobei im Allgemeinen vier wesentliche Komponenten erforderlich sind: ein Trägerfluid oder eine Abstützmittel-Trägergrundmasse, ein Verflüssigungsmittel, ein Abstützmittel und ein Brecher. Eine fünfte Komponente wird gelegentlich zugefügt, deren Zweck darin besteht, den Verlust oder die Wanderung des Fluids in die Zerklüftungsfläche zu steuern. Die erste Komponente wird zuerst eingeleitet und erzeugt/erweitert tatsächlich die Zerklüftung. Grob gesagt besteht der Zweck dieser Fluide darin, die Zerklüftung zuerst zu erzeugen/zu erweitern, und wenn sie ausreichend geöffnet wurde, ein Abstützmittel in der Zerklüftung anzulagern, das ein Verschließen der Zerklüftung verhindert, nachdem die Pumpoperation beendet ist. Das Trägerfluid ist einfach das Mittel, durch welches das Abstützmittel in die Formation transportiert wird. Zahlreiche Substanzen können als ein geeignetes Trägerfluid wirken, obwohl sie im Allgemeinen wasserbasierte Lösungen sind, die entweder geliert oder aufgeschäumt oder beides wurden. Das Trägerfluid wird somit häufig hergestellt, indem ein polymerisches Geliemittel mit einer wässrigen Lösung (manchmal ist ein öl-basiertes Fluid und manchmal ein Mehrphasenfluid erwünscht) gemischt wird; wobei das polymerische Geliemittel häufig ein solvatierbares Polysaccharid ist, z. B. Galactomannan-Gummis, Glycomannan-Gummis und Zellulose-Derivate. Der Zweck der solvatierbaren (oder hydratisierbaren) Polysaccharide besteht darin, die wässrige Lösung zu verdicken, so dass feste Partikel, die als "Abstützmittel" (die später erläutert werden) für eine Anlagerung in der Zerklüftung in der Lösung in Suspension gehalten werden können. Die Polysaccharide wirken somit als Verdünnungsmittel, d. h. sie erhöhen die Viskosität der wässrigen Lösung mindestens um den Faktor 10 bis 100. Bei Hochtemperaturanwendungen wird ferner ein Vernetzungsmittel hinzugefügt, das die Viskosität der Lösung weiter vergrößert. Borationen sind weitgehend als Vernetzungsmittel für hydratisierte Guar-Gummis oder andere Galactomannane verwendet worden, um wässrige Gele zu bilden, siehe z. B. das US-Patent Nr. 3.059.909. Andere nachweislich geeignete Vernetzungsmittel enthalten: Titan (US-Patent Nr. 3.888.312), Chrom, Eisen, Aluminium und Zirkonium (US-Patent Nr. 3.301.723). Kürzlich sind viskoelastische Tenside entwickelt worden, die die Notwendigkeit von Verdickungsmitteln und somit von Vernetzungsmitteln eliminieren, siehe z. B. die US Patente Nr. 5.551.516; 5.258.137 und 4.725.372, die an Schlumberger übertragen wurden.

**[0013]** Der Zweck des Abstützmittels besteht darin, die neu zerklüftete Formation im zerklüfteten Zustand zu halten, d. h. das Wiederverschließen zu verhindern, nachdem der Zerklüftungsprozess beendet ist; die Zerklüftung soll somit offen gehalten werden, mit anderen Worten, es soll ein durchlässiger Weg für die Kohlenwasserstoffe geschaffen werden, die durch die Zerklüftung und in das Bohrloch strömen. Das Abstützmittel schafft im Einzelnen Kanäle in der Zerklüftung, durch die die Kohlenwasserstoffe in das Bohrloch strömen und dadurch entnommen oder "gefördert" werden können. Typische Materialien, aus denen das Abstützmittel hergestellt ist, enthalten Sand (z. B. 20 bis 40 mesh), Bauxit, künstlich hergestellte Zwischenverfestigungsmaterialien und Glasperlen. Das Abstützmittel kann außerdem mit Harz beschichtet sein, um bei bestimmten Anwendungen zu helfen, einen Abstützmittel-Rückfluss zu verhindern. Dadurch ist der Zweck des Zerklüftungsfluids im Allgemeinen zweifältig: (1) Erzeugen oder Erweitern einer vorhandenen Zerklüftung durch Einleitung unter hohem Druck in die geologische Formation, die von Interesse ist; und (2) gleichzeitiges Abgeben des Abstützmittels in den Zerklüftungshohlraum, so dass das Abstützmittel dauerhafte Kanäle erzeugen kann, durch die die Kohlenwasserstoffe in das Bohrloch strömen können. Nachdem dieser zweite Schritt beendet ist, soll das Zerklüftungsfluid aus der Zerklüftung entfernt werden, sein Vorhandensein in der Zerklüftung ist nachteilig, da es die Zerklüftung verstopft und deswegen den Fluss von Kohlenwasserstoffen behindert. Diese Wirkung ist in Formationen mit hoher Durchlässigkeit natürlich größer, da das Fluid die (größeren) Hohlräume leicht füllen kann. Diese Kontamination der Zerklüftung durch das Fluid wird als Verringerung der wirksamen Zerklüftungslänge bezeichnet. Der Prozess des Entfernens des Fluids aus der Zerklüftung, nachdem das Abstützmittel angelagert wurde, wird als "Zerklüftungssanierung" bezeichnet. Dazu wird die letzte Komponente des Zerklüf-

tungsfluids relevant: der Brecher. Der Zweck des Brechers besteht darin, die Viskosität des Fluids zu verringern, so dass es leichter aus der Zerklüftung entfernt werden kann. Es gibt jedoch kein vollständig zufriedenstellendes Verfahren zur Rückgewinnung des Fluids und um dadurch zu verhindern, dass es die wirksame Zerklüftungslänge verringert. Die Fluidrückgewinnung nach der Anlagerung des Abstützmittels in der Zerklüftung stellt wiederum eines der wesentlichen technologischen Probleme auf dem Gebiet der Kohlenwasserstoffförderung dar. Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Rückgewinnung des Zerklüftungsfluids, nachdem das Fluid das Abstützmittel erfolgreich in der Zerklüftung angelagert hat.

**[0014]** Die verringerte wirksame Zerklüftungslänge (EFL), die durch das Zurückhalten des Zerklüftungsfluids in der Zerklüftung bewirkt wird, ist ein empirisch nachweisbares Problem, das wesentlich verringerte Bohrlochausbeuten zur Folge hat. Die EFL kann durch eine Analyse des Förderungsrückgangs und des Druckverlaufs berechnet werden. Die EFL-Werte, die auf diese Weise erhalten werden, können dann mit der wahren Zerklüftungslänge verglichen werden, die unter Verwendung von Standardgeometrie-Modellen erhalten wird.

#### Stand der Technik

**[0015]** Techniken zur Zerklüftungssanierung, die die Rückgewinnung des Zerklüftungsfluids (ohne das Abstützmittel) aus der Zerklüftung betrifft, nachdem es das Abstützmittel in der Zerklüftung angelagert hat, beinhalten häufig im Wesentlichen die Verringerung der Viskosität des Fluids, soweit dies wirtschaftlich möglich ist, nachdem das Fluid das Abstützmittel in der Zerklüftung angelagert hat, so dass es leichter zurück zum Bohrloch strömt. Die Aufgabe besteht wiederum darin, möglichst viel Fluid zurückzugewinnen, da das in der Zerklüftung verbleibende Fluid die wirksame Zerklüftungslänge verringert. Zu den schwierigsten Aspekten der Fluidrückgewinnung oder Sanierung gehört die Rückgewinnung des Teils des Fluids an der äußersten Spitze der Zerklüftung. Das Fluid, das zum Transportieren des Abstützmittels in die Grundmasse verwendet wird, muss eine ausreichende Viskosität besitzen, um Abstützmittelpartikel mitzureißen. Nachdem das Abstützmittel in der Zerklüftung angelagert wurde, sollte das Fluid entfernt werden, während das Abstützmittel vor Ort verbleibt. Das Entfernen eines viskosen Fluids aus der Zerklüftung ist schwierig, deswegen enthalten Zerklüftungsfluide häufig Zusätze, um die Viskosität des Zerklüftungsfluids zu brechen, nachdem es das Abstützmittel in der Zerklüftung angelagert hat.

**[0016]** Zusammenfassend besteht der wahre Begrenzungsfaktor bei der Förderung von Kohlenwasserstoffen in Lagerstätten mit geringer Durchlässigkeit in der chronischen Unfähigkeit, eine geeignete Zerklüftungssanierung zu erreichen. Die Aufgabe bei der Zerklüftungssanierung besteht darin, eine geeignete "wirksame" Zerklüftungslänge zu erreichen, die sich der wahren oder tatsächlichen Zerklüftungslänge nähert. Beim Zerklüften verbleibt Fluid, das zum Zerklüften des Bohrlochs verwendet wird, in der Zerklüftungsspitze, wobei dieses Fluid die Förderung von Kohlenwasserstoffen durch diesen Abschnitt der Zerklüftung verhindert. Es sind deswegen zahlreiche Verfahren entstanden, die sich diesem Problem widmen. Eine mögliche Lösung besteht darin, einfach längere Zerklüftungen zu erzeugen (die Vergrößerung der wahren Zerklüftungslänge ergibt wiederum eine Vergrößerung der wirksamen Zerklüftungslänge). Längere Zerklüftungen erfordern höhere Kosten, um das Fluid in die Lagerstätte einzuleiten. Die Technologie befindet sich gegenwärtig nahe an ihrer kosteneffektiven Grenze, d. h. um längere Zerklüftungen zu erzeugen wäre eine neue Technologie erforderlich. Eine weitere mögliche Lösung besteht darin, die Notwendigkeit zur Zerklüftungssanierung zu beseitigen oder wenigstens zu verringern, indem "sauberere" Fluide gepumpt werden, d. h. Fluide mit weniger Polymeren, die deswegen weniger viskos sind und die deswegen leichter aus der Zerklüftung strömen. Dies ist eine teilweise akzeptable Lösung, Fluide mit geringem Polymeranteil bedeuten jedoch häufig eine geringere Kapazität des Abstützmitteltransports und deswegen eine kleinere Zerklüftung. Die überwiegende Mehrheit der möglichen Lösungen liegt in einer dieser beiden Kategorien. Die Verfahren der vorliegenden Erfindung betreffen eine dritte Kategorie: ein verbessertes Verfahren zum Entfernen von Fluid aus der Zerklüftungsspitze. Die vorliegende Erfindung ist eng verwandt mit einer weiteren Anmeldung durch die gleichen Erfinder, Enhancing Fluid Removal From Fractures Deliberately Introduced into the Subsurface, US-Patentanmeldung Serien Nr. 09/087.286, die an Schlumberger übertragen ist.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0017]** Im herkömmlichen Wissensstand ist bekannt, dass während der Zerklüftungssanierung das Fluid in dem Bereich nahe des Bohrlochs zuerst aus der Zerklüftung entfernt werden muss, dann können die Teile des Fluids, die von dem Bohrloch weiter entfernt sind, entfernt werden. Im herkömmlichen Wissensstand ist außerdem bekannt, dass es im Wesentlichen unmöglich ist, das nahe des Spitzenbereichs befindliche Fluid zu entfernen, wenn eine nahezu kosteneffektive Technik verwendet wird. Deswegen sind wirksame Zerklüftungslängen von etwa der Hälfte der wahren Zerklüftungslängen in der Industrie akzeptierbar (somit ist eine Hälfte der

gesamten Zerklüftungslänge mit stagnierendem Zerklüftungsflied gefüllt, wodurch eine Förderung von Kohlenwasserstoffen durch diesen Bereich verhindert wird), wobei sie trotz der zusätzlichen Ableitung eine Gesamtgewinnung von Kohlenwasserstoffen bewirken.

**[0018]** Die vorliegende Erfindung ignoriert diese Hintergrundannahmen. Anstelle dieser Annahmen basiert die vorliegende Erfindung auf der Voraussetzung, dass nahe an der Zerklüftungsspitze befindliches Fluid auf kosteneffektive Weise entfernt werden kann. Bei den Verfahren der vorliegenden Erfindung wird im Einzelnen das Fluid, das sich in der Zerklüftungsspitze befindet, zuerst entfernt und nicht zuletzt (wie in der herkömmlichen Praxis). Dies ist wiederum sowohl zur herkömmlichen Praxis als auch zur gewöhnlichen Intuition direkt widersprüchlich, da das Fluid in dem Bereich nahe der Spitze von dem Bohrloch am weitesten entfernt ist, aus dem das gesamte Fluid schließlich entfernt werden muss. Um dies kosteneffektiv zu erreichen, können herkömmliche Fluide und Fluidzusätze in den Verfahren der vorliegenden Erfindung verwendet werden, jedoch in sehr neuartigen Kombinationen. Alle Verfahren der vorliegenden Erfindung verwenden das Prinzip des Induzierens und anschließend des Ausnutzens einer Differentialbeweglichkeit des Fluids, das in die Zerklüftung eingeleitet wird. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird somit das Fluid in dem Bereich nahe der Spitze (anhand von Lagerstättenbedingungen) so manipuliert, dass es eine größere Beweglichkeit besitzt als die Fluidschicht in seiner unmittelbaren Nähe, diese Schicht hat wiederum eine größere Beweglichkeit als die Fluidschicht in ihrer unmittelbaren Nähe usw. Der Ausdruck "Differentialbeweglichkeit" umfasst zwei Grundmechanismen: Differentialviskosität (Fluidbewegung in Reaktion auf einen Viskositätsgradienten) und Differentialdichte (Fluidbewegung in Reaktion auf einen Dichtegradienten). Verfahren der vorliegenden Erfindung können als "DM" bezeichnet werden.

**[0019]** Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthalten zusätzlich zu einem nicht gleichförmigen Brecherzeitablauf aufgeschäumte oder angeregte Fluide in den frühen Pumpstufen (Bereich nahe der Spitze) und/oder Mittel zum Verhindern eines Abstütmittel-Rückflusses (z. B. Fasern) in den späten Pumpstufen. In anderen bevorzugten Ausführungsformen wird ein erzwungenes Schließen verwendet, d. h. bald nach dem Pumpen wird das Bohrloch geleert, um so weit wie möglich einen Fluidverlust in der Zerklüftungsfläche zu vermeiden und um eine Fluidbewegung längs der Zerklüftung zu dem Bohrloch zu unterstützen (d. h. um das Zerklüftungsflied in der Richtung des Bohrlochs und nicht in die senkrechte Richtung, die in die Formation verläuft, zu kanalisieren).

#### Kurzbeschreibung der Figuren

**[0020]** [Fig. 1](#) zeigt eine stilisierte Schnittansicht einer typischen Zerklüftungszone in einer unterirdischen Formation;

**[0021]** [Fig. 2](#) zeigt eine Schnittansicht einer stilisierten Zerklüftung, die modifiziert wurde, um bestimmte wesentliche Merkmale einer typischen Zerklüftungsoperation zu zeigen;

**[0022]** [Fig. 3](#) zeigt ein typisches Fließprofil für zwei unterschiedliche Brechertypen (plus eine Kurve ohne Brecher), wobei diese im Voraus festgelegten Kurven verwendet werden können, um den richtigen Brechertyp und die richtige Brecherkonzentration auszuwählen; und

**[0023]** [Fig. 4](#) zeigt vier getrennte graphische Darstellungen (die vier unterschiedliche Formationstypen darstellen) der Fluidtemperatur als eine Funktion des Abstands von dem Bohrloch (Ort innerhalb der Zerklüftung).

#### Genaue Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

**[0024]** Gemäß der herkömmlichen Praxis werden die Brecher so ausgewählt, dass ein Rückfluss zuerst nahe des Bohrlochs auftritt. Mit anderen Worten, die Brecher werden so abgestuft, dass die höchste Konzentration in dem Abschnitt der Zerklüftung nahe am Bohrloch auftritt. Dadurch kann die Sanierung möglichst früh auftreten, obwohl diese "Sanierung" lediglich teilweise erfolgt. Die vorliegende Erfindung ist zu dieser orthodoxen Praxis vollkommen gegensätzlich. Die vorliegende Erfindung basiert im Wesentlichen teilweise darauf, die Energie vorteilhaft zu nutzen, die am Ende der Zerklüftungstätigkeit vorhanden ist. Anstelle der Abstufung der Brecher, so dass der Bereich nahe des Bohrlochs zuerst bricht, enthalten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Einzelnen ein rasches Brechen in dem Spitzenbereich und ein späteres Brechen in dem Bereich nahe am Bohrloch. Wenn dieses geschieht, wird ein Viskositätsgradient erzeugt und das Fluid wird sich in Reaktion auf diesen Gradienten bewegen. Dies ist ein wirksames Mittel, um schwer zu entfernendes Fluid von der Spitze zu entfernen, da sich dieser Abschnitt des Fluids zum Bohrloch hin in Reaktion auf einen Druckpotentialgradienten zu einem Bereich mit höherer Viskosität bewegt. Die Idee der Abstufung von Brechern ist na-

türlich nicht neu, neu ist jedoch ihre Abstufung in der entgegengesetzten Richtung im Vergleich zur herkömmlichen Technologie. Die "Abstufung von Brechern", die ein entscheidendes Konzept der vorliegenden Erfindung ist, verwendet im Wesentlichen drei Konzepte. Erstens können unterschiedliche Typen von Brechern während verschiedenen Stufen des Pumpens verwendet werden, so dass das Fluid, das mit jedem Brechertyp in Kontakt ist, eine andere Viskosität besitzt. Zweitens können unterschiedliche Konzentrationen des gleichen Typs des Brechers verwendet werden, um die gleiche Wirkung zu erreichen. Drittens kann das Temperaturprofil der zu behandelnden Formation ausgenutzt werden, um den gewünschten Viskositätsgradienten zu erreichen (d. h. ein heißerer Spitzenbereich wird Fluid in diesem Bereich brechen im Vergleich mit näher gelegenen Bereichen).

**[0025]** Die vorliegende Erfindung basiert somit auf der Negierung einer in der Technik und Wissenschaft der Bohrlochanregung tief verwurzelten Hintergrundannahme. Diese Annahme besteht darin, dass die wirksame Zerklüftungslänge etwa die Hälfte der wahren Zerklüftungslänge ist, unabhängig von der Wirksamkeit der angewendeten Sanierungsprozedur, des verwendeten Fluids usw. Das Fluid, das in der Spitze der Zerklüftung verbleibt, wird somit im Allgemeinen so betrachtet, dass es durch kein kosteneffektives Mittel entfernt werden kann, insbesondere deswegen, weil dieser Abschnitt der Zerklüftung häufig von dem Rest der Zerklüftung hydraulisch isoliert ist. Die vorliegende Erfindung sollte deswegen diese Annahme korrigieren, indem sie eine Technik zur hervorragenden Sanierung der Zerklüftungsspitze und somit zur verbesserten Förderung von Kohlenwasserstoffen schafft.

#### Definitionen

**[0026]** Der hier verwendete Ausdruck "Brecher" bezeichnet einen chemischen Anteil oder eine Reihe von Anteilen, deren Hauptfunktion darin besteht, die Viskosität der Abstützmittel-Trägergrundmasse zu "brechen" oder zu verringern. Typischerweise, jedoch nicht immer erfolgt dies durch oxidative Reduktion. Gemäß der herkömmlichen Praxis hängt die Wahl des Brechers von der Temperatur ab. Beispielhafte Brecher, die zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind, enthalten: Bromat, Persulfat, Enzyme, Kupferionen, Silberionen, Säuren (z. B. Fumarsäure und Salpetersäure) und organisches Peroxid. Herkömmliche Brecher werden außerdem gewöhnlich eingekapselt, um ihren wirksamen Temperaturschwellenwert zu erhöhen. Siehe z. B. das US-Patent Nr. 4.741.401 Method for Treating Subterranean Formations, das an Schlumberger übertragen ist (es offenbart wahlweise durchlässige eingekapselte Brecher, die bei der Fluideinleitung zerbersten), das in seiner Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt ist. Siehe außerdem z. B. das US-Patent Nr. 4.506.734 Fracturing Fluid Breaker System which is Activated by Fracture Closure, das an The Standard Oil Company übertragen und an Schlumberger lizenziert ist (es offenbart eingekapselte Brecher, die infolge des Drucks zerbersten, der durch Zerklüftungseinschluss erzeugt wird). Außerdem sind elektrochemische Verfahren zum Brechen von Zerklüftungsf Fluiden in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung funktionsfähig. Siehe das US-Patent Nr. 4.701.247, Electrochemical Methods for Breaking High Viscosity Fluids, das an Schlumberger übertragen und in seiner Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt ist.

**[0027]** Außerdem werden häufig "Brecherhilfsmittel" in Verbindung mit Brechern verwendet, um die Brecheraktivität zu unterstützen. Brecherhilfsmittel sind z. B. im US-Patent Nr. 4.969.526, Non-Interfering Breaker System for Delayed Crosslinked Fracturing Fluids at Low Temperature, das an Schlumberger übertragen ist (es offenbart und beansprucht Triethanolamin) und im US-Patent Nr. 4.250.044 offenbart, wobei beide US-Patente in ihrer Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt sind. Gleichfalls sind "Verzögerungsmittel" (oder Materialien, die so aufgebaut sind, dass sie eine Vernetzung verhindern) in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung funktionsfähig. Siehe z. B. das US-Patent Nr. 4.702.848 Control of Crosslinking Reaction Rate Using Organozirconate Chelate Crosslinking Agent and Aldehyde Retarding Agent, das an Schlumberger übertragen ist (es offenbart und beansprucht Aldehyde), das in seiner Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt ist. Sowohl Brecherhilfsmittel als auch Vernetzungsverzögerungsmittel sind in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung voll funktionsfähig.

**[0028]** Das Problem der vorliegenden Erfindung liegt nicht in der absoluten Brecheraktivität, sondern in der relativen Aktivität, d. h. das Vergleichen der Brecheraktivität in unterschiedlichen Stufen. Wie aus der vorhergehenden Erläuterung klar ist, können Behandlungen gemäß der vorliegenden Erfindung so beschaffen sein, dass sie nicht nur auf der Manipulierung der Aktivität der Brecher direkt basieren, sondern auf einer indirekten Manipulation: z. B. Verzögerungsmittel und Brecherhilfsmittel. Die unterschiedlichen Fluide können außerdem unabhängig vom Brechertyp verwendet werden, z. B. Einleiten eines weniger viskosen und/oder weniger dichten Fluids in einer ersten Stufe, dem Fluide mit größerer Beweglichkeit folgen. Siehe z. B. das US-Patent Nr. 5.036.919 Fracturing With Multiple Fluids to Improve Fracture Conductivity, das an Schlumberger übertragen und in seiner Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt ist. Das Patent '919 beansprucht und offenbart z. B.

das Pumpen eines vernetzten Zirkonatfluids, dem ein vernetztes Boratfluid folgt. Die vorliegende Erfindung ist somit nicht nur funktionsfähig durch das Modulieren der Viskosität und Dichte des Fluids durch eine Brecheraktivität, sondern ist außerdem funktionsfähig bei Verwendung unterschiedlicher Fluide gemeinsam in unterschiedlichen Stufen der Behandlung. Mit anderen Worten beinhaltet "Differentialbeweglichkeit" dieses Konzept ebenso.

**[0029]** Die vorliegende Erfindung ist außerdem in Verbindung mit der herkömmlichen Zerklüftungsentwicklung einfach anwendbar. Siehe z. B. das US-Patent Nr. 5.103.905 Method of Optimizing the Conductivity of a Propped Fractured Formation, das an Schlumberger übertragen und in seiner Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt ist.

**[0030]** Der hier verwendete Ausdruck "Aktivität" wie in "Brecher mit hoher Aktivität" bezeichnet jeweils die Fähigkeit, die Abstützmittel-Trägergrundsubstanz zu brechen (die Viskosität zu verringern). Aktivität ist somit eine Funktion der chemischen Zusammensetzung oder der Konzentration. Bromat besitzt z. B. eine andere Aktivität als Persulfat, eine größere Konzentration von Bromat besitzt gleichfalls eine stärkere Aktivität als eine geringere Konzentration des Bromats. Die Aktivität kann außerdem durch Einkapseln des Brechers moduliert werden (z. B. das Patent '734).

**[0031]** Die hier verwendeten Ausdrücke "Gas", "Schaum" und "angeregtes Fluid" sollen die folgende Bedeutung besitzen. In besonders bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden die frühen Stufen des Fluids (in dem Bereich der Zerklüftung nahe der Spitze) verschäumt. Dafür gibt es wenigstens einen doppelten Grund. Erstens erzeugt das mitgerissene Gas kleine Strömungskanäle, durch die das weniger viskose Fluid in dem Bereich nahe der Spitze leichter durch das stärker viskose Fluid und zu dem Bohrloch wandern kann. Zweitens erzeugt der Schaum, der sich näher an dem Bohrloch benachbart zu dem nicht verschäumten Fluid befindet, einen Dichtegradienten, dadurch bewegt sich das weniger dichte (verschäumte) Fluid in dem Bereich nahe der Spitze in Reaktion auf diesen Dichtegradienten von der Spitze zu dem Bohrloch. Drittens verhindert bei einer Verlustströmung des Zerklüftungsfluids das Vorhandensein von Gas eine 100-%ige Wassersättigung in der angrenzenden Formation. Der Ausdruck "Gas" besitzt seine gewöhnliche wörtliche Bedeutung, wobei bevorzugte Ausführungsformen Kohlendioxid, Luft und Stickstoff enthalten. Der Ausdruck "Schaum" betrifft Gas, das in der Abstützmittel-Trägergrundsubstanz mitgerissen wird (die Flüssigkeit ist in der kontinuierlichen Phase, das Gas ist in der diskontinuierlichen Phase). Der Gasgehalt (pro Volumeneinheit im Vergleich zu der zugemischten Flüssigkeit) liegt vorzugsweise zwischen etwa 90% und etwa 25%. Unter einem Wert von etwa 25% Gas wird die Mischung (Gas und Abstützmittel-Trägergrundsubstanz) hier als ein "angeregtes Fluid" bezeichnet.

**[0032]** Der hier verwendete Ausdruck "Abstützmittel-Trägergrundsubstanz" bezeichnet das Fluid, das zum Anlagern des Abstützmittels in der Zerklüftung verwendet wird. Herkömmliche Fluide enthalten Guar und modifizierte Guar-Systeme (z. B. Carboxymethyl-Hydroxypropyl-Guar) und nicht polymere Fluide, wie etwa viskoelastische Tenside, z. B. ClearFRAC.

**[0033]** Der hier verwendete Ausdruck "Differentialbeweglichkeit" bezeichnet die Fähigkeit eines Fluids, sich in Reaktion auf einen oder mehrere Gradienten zu bewegen, wobei in der vorliegenden Erfindung diese Gradienten vorsätzlich induziert werden und hauptsächlich ein Viskositätsgradient und in bevorzugten Ausführungsformen außerdem ein Dichtegradient sind. Die vorliegende Erfindung ist nicht nur funktionsfähig durch Modulieren der Fluidviskosität und Dichte durch eine Brecheraktivität, sondern sie ist außerdem funktionsfähig unter Verwendung unterschiedlicher Fluide gemeinsamen in verschiedenen Stufen der Behandlung (z. B. das Patent '919). Mit anderen Worten, "Differentialbeweglichkeit" beinhaltet dieses Konzept ebenso. Außerdem beinhaltet das Konzept der Differentialbeweglichkeit einen dritten Typ der differentiellen Fluidaktivität (ein Typ ist die Viskosität, der zweite Typ ist die Dichte), der die relative Grenzflächenspannung zwischen zwei Fluiden betrifft. Ein erfahrener Behandlungsentwickler könnte z. B. wünschen, eine DM-Behandlung zu entwickeln, bei der eine nahe der Spitze befindliche Fluidstufe ein Kohlenwasserstoff (z. B. Diesel oder Kerosin) entweder in reiner Form oder emulgierter Form ist. Die Grenzflächenspannung zwischen dieser Fluidstufe und der benachbarten Fluidstufe (näher an dem Bohrloch), die im Allgemeinen ein wasserbasiertes Fluid ist, ist gering und deshalb wird das Kohlenwasserstofffluid in Reaktion auf diesen Potentialgradienten, der durch den Bereich der geringen Zwischenflächenspannung hergestellt wird, zu dem Bohrloch wandern. Somit beinhaltet "Differentialbeweglichkeit" dieses Konzept ebenso.

**[0034]** Der hier verwendete Ausdruck "Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses (der hier erstmalig verwendet wird) bedeutet alle Material, die in Patenten bezeichnet sind, die durch Literaturhinweis eingefügt sind, oder nachfolgend angegeben sind (z. B. das US-Patent Nr. 5.782.300), die als Materialien offenbart wer-

den, die zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses geeignet sind. Solche Materialien enthalten, sind jedoch nicht begrenzt auf: NOVALOID (entweder Fasern oder Plättchen), Polymermaterialien des Novaloid-Typs, Glasfasern und Metallfäden. Besonders bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthalten Novaloid-Fasern mit Abmessungen von etwa 10 mm (Länge) und etwa 30 µm (Durchmesser).

#### Besonders bevorzugte Ausführungsformen

**[0035]** Drei besonders bevorzugte Gruppen von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun erläutert (Behandlungen gemäß der vorliegenden Erfindung werden als "DM-Behandlungen" bezeichnet). In einer Ausführungsform wird während wenigstens einer frühen Stufe das Fluid (d. h. das Fluid, das in die Zerklüftungsspitze eingeleitet wird) unter Verwendung eines Gases, wie etwa Stickstoff oder Kohlendioxyd (wovon eines in Verfahren der vorliegenden Erfindung bevorzugt ist) verschäumt. Wenn es sich in der Zerklüftungsspitze befindet, wird das Gas den Schaum aufblasen und dadurch Kanäle parallel zu der Zerklüftung erzeugen, durch die das Fluid mit weit geringerem Widerstand zu dem Bohrloch fließen kann.

**[0036]** Beim Ausführen dieser bevorzugten DM-Behandlung (d. h. Schaum der frühen Stufe) verhindert dies erstens, dass die Wassersättigung in der Spitze 100% erreicht (was eine Bewegung von Kohlenwasserstoff in der Spitze vollständig unterbinden würde) und zweitens verhindert der Schaum eine Verlustströmung von Fluid.

**[0037]** In einer zweiten Gruppe von bevorzugten Ausführungsformen wird während wenigstens einer der letzten Stufen des Pumpens (um Fluid in dem Abschnitt der Zerklüftung nahe am Bohrloch anzulagern) PropNET™ oder PropNET GOLD (Handelsbezeichnungen von Schlumberger) oder ein ähnliches Material dem Fluid hinzugefügt. Der Zweck des PropNET besteht darin, das Abstützmittel zu stabilisieren oder einen Abstützmittel-Rückfluss zu verhindern. Dadurch wird das Abstützmittel nahe am Bohrloch stabilisiert (z. B. durch die Zufügung von Fasern), so dass das (stärker bewegliche) Fluid, das ursprünglich in dem Spitzenbereich angeordnet ist, sich hindurchquetschen kann, wenn es sich zum Bohrloch bewegt, ohne das Abstützmittelpaket zu verlagern. Der Bedarf an einem derartigen Material ist bei der Technik der vorliegenden Erfindung größer, da das Fluid mit einer größeren Kraft als bei herkömmlichen Techniken zurück zum Bohrloch fließen wird. PropNET GOLD ist im US-Patent 5.782.300 Suspension and Porous Pack for Reduction of Particles in Subterranean Well Fluids, and Methods for Treating an Underground Formation, das an Schlumberger übertragen ist, beschrieben. PropNET ist im US-Patent Nr. 5.330.005 Control of Particulate Flowback in Subterranean Wells, das an Schlumberger übertragen ist, beschrieben. Beide Patente sind in ihrer Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt, wobei eine besondere Aufmerksamkeit auf die Faserzusammensetzungen und die Verfahren zum Anordnen der Fasern gerichtet ist (z. B. Patent '300: Fasertypen, Spalte 4, Z. 37, Verfahren Spalte 5, Z. 65). Außerdem ist eine besondere Aufmerksamkeit auf die Spalten 3 und 4 gerichtet, die eine Einführung zu bevorzugten Zusammensetzungen aus PropNET™ und seine bevorzugten Anwendungsmöglichkeiten enthält. Die US-Patente Nr. 5.330.095; 5.439.055 und 5.501.275 (die jeweils in dem Patent '300 angeführt sind) offenbaren außerdem Mittel zur Steuerung des Abstützmittel-Rückflusses und sind in ihrer Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt.

**[0038]** PropNET und andere Mittel zur Steuerung des Abstützmittel-Rückflusses umfassen im Wesentlichen das Anlagern von fasrigen Materialien (z. B. Glasfasern der Stärke 16 µm) in engem Kontakt mit den Abstützmittel-Partikeln. Die Fasern wirken als Brücke über Konstruktionen und Öffnungen in dem Abstützmittelpaket und stabilisieren deswegen das Abstützmittelpaket mit einem geringen oder ohne Einfluss auf die Leitfähigkeit des Abstützmittels.

**[0039]** Andere DM-Behandlungen können natürlich sowohl Schaum in einer frühen Stufe als auch geeignete Mittel für den Abstützmittel-Rückfluss in einer späten Stufe enthalten. DM-Behandlungen können gleichfalls einen Brecherzeitablauf anhand eines einzelnen Brechers mit unterschiedlichen Konzentrationen oder einen Brecherzeitablauf mit unterschiedlichen Typen der Brecher an verschiedenen Stufen enthalten. In anderen bevorzugten DM-Behandlungen kann schließlich die Brecheraktivität eingestellt werden, selbst wenn der gleiche Brecher bei der gleichen Konzentration verwendet wird, indem ein Brecherhilfsmittel hinzugefügt wird. Deswegen enthalten die wesentlichen Variablen, die zum Aufbau von Brecherzeitplänen gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden: Schaum, Fasern, Brecherkonzentration, Brechertyp und Typ und Konzentration des Brecherhilfsmittels.

**[0040]** Außerdem ist in jeder der Gruppen von Ausführungsformen, die oben erläutert wurden, das "erzwungene Schließen" besonders bevorzugt. Die herkömmliche Praxis bei der hydraulischen Zerklüftung besteht darin, das Bohrloch nach dem Erzeugen der Zerklüftung und der Anordnung des Abstützmittelpakets unmittelbar

zu verschließen. Durch Verschließen des Bohrlochs ist es von der Atmosphäre getrennt und deswegen mit Druck beaufschlagt. Der Druck in der Zerklüftung setzt sich somit allmählich fort, wenn das in der Zerklüftung vorhandene Fluid aus der Zerklüftung über die Zerklüftungsfläche und in die Formation verloren geht. In besonders bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird die entgegengesetzte Praxis verwendet. In bevorzugten DM-Behandlungen wird im Einzelnen unmittelbar nach (oder kurz nach) dem Pumpen der Bohrlochkopf zur Atmosphäre geöffnet. Als Folge verschließt sich die Zerklüftung rascher, wenn sich der Druck zur Atmosphäre fortsetzt und deswegen wird das Zerklüftungsfluid aggressiv aus der Zerklüftung herausgedrückt. In Verbindung mit der späten Stufe (späten Stufen), die Fasern enthält, und einer frühen Stufe (frühen Stufen), die Gas enthält, ist das erzwungene Schließen ein besonders bevorzugtes Verfahren der vorliegenden Erfindung.

**[0041]** Die vorliegende Erfindung betrifft neuartige Techniken und Zusammensetzungen zum Vergrößern der wirksamen Zerklüftungslänge. Der Mechanismus, durch den die wirksame Zerklüftungslänge vergrößert wird, besteht in der verbesserten Entfernung von Fluid aus der Zerklüftungsspitze, die wiederum erreicht wird durch das Erzeugen und das anschließende Ausnutzen eines Viskositätsgradienten in der Richtung der Zerklüftung oder quer zu dem Bohrloch. Der Viskositätsgradient wird erzeugt, indem die geeignete Folge von Brechern (oder Substanzen, die die Vernetzungsstruktur des Polymers zerstören) ausgewählt wird.

**[0042]** Der Mechanismus, von dem angenommen wird, dass er der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegt, ist folgender. Die gestuften Brecher, entweder Brecher mit unterschiedlicher Konzentration oder unterschiedliche Typen der Brecher oder beide bewirken, dass Abschnitte des Fluids in der Zerklüftung zueinander verschiedene Viskositäten besitzen. Im Idealfall bricht das Fluid, das in die Spitze der Zerklüftung eingeleitet wird (Stufe 1 oder die zuerst eingeleitete Stufe) zuerst, wobei zu diesem Zeitpunkt dieses Fluid eine geringere Viskosität hat als die angrenzende Schicht des Fluids näher an dem Bohrloch. Als Folge dieses Gradienten bewegt sich Fluid mit der geringen Viskosität (geringe Beweglichkeit) in die Richtung des Bohrlochs. Diese Bewegung in Reaktion auf einen Gradienten kann durch Aufschäumen der ersten Stufe unterstützt werden. Der Schaum wird nicht nur die Fluidichte verringern und dadurch einen Dichtegradienten herstellen, sondern er wird außerdem Kanäle erzeugen, durch die sich das nahe der Spitze befindliche Fluid in die Richtung des Bohrlochs bewegen kann. Der Ausdruck "Beweglichkeit" bezeichnet somit eine Bewegung in Reaktion auf eine Viskositätsverringern oder eine Dichteverringern oder beides sowie auf einen Gradienten anhand der Zwischenflächenspannung (z. B. bei Kohlenwasserstoffen oder Kohlenwasserstoffemulsionen).

**[0043]** Praktisch gesagt erfordert das Ausführen von DM-Behandlungen die Auswahl eines geeigneten Brecherzeitablaufs. Wie ein erfahrener Ingenieur leicht verstehen wird, wird sich diese Auswahl von einer Zerklüftungsbehandlung zur nächsten drastisch unterscheiden. Der Hauptfaktor, der Typ und Konzentration des Brechers festlegt, ist das Temperaturprofil, d. h. die Temperatur der Lagerstätte, die die Temperatur (und somit die Stabilität oder Viskosität) des Fluids, das in die Formation gepumpt wird, beeinflusst.

#### Beispiel 1

**[0044]** Dieses Beispiel erläutert DM-Behandlungen, die in Verbindung mit einer typischen Tätigkeit zum hydraulischen Zerklüften verwendet werden. Das ausgewählte Zerklüftungsfluid ist CMHPG (Carboxymethyl-Hydroxypropyl-Guar), ein modifizierte Guar-System. Das Abstützmittel ist Northern White Sand mit 20/40 mesh. Der Pumpzeitablauf ist in neun unterschiedlichen Stufen unterteilt. Die folgende Tabelle 1 stellt den Zeitablauf genauer dar (wenn Brechermengen in Konzentrationen angegeben sind, d. h. #/1000 gal., werden Gesamtmengen des gepumpten Fluids usw. weggelassen).

| Temperatur | Stufe | Brechertyp                  | Brecher<br>konzentration | Zusätze         |
|------------|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|
| 300        | 1     | eingekapseltes Bromat       | 2                        | Stickstoffgas   |
| 275        | 2     | eingekapseltes Bromat       | 1                        |                 |
| 250        | 3     | eingekapseltes Bromat       | 0,5                      |                 |
| 225        | 4     | nicht eingekapseltes Bromat | 2                        |                 |
| 200        | 5     | eingekapseltes Persulfat    | 2                        |                 |
| 175        | 6     | eingekapseltes Bromat       | 1                        |                 |
| 150        | 7     | eingekapseltes Bromat       | 0,5                      |                 |
| 125        | 8     | eingekapseltes Bromat       | 0,5                      | PropNET<br>GOLD |
| 100        | 9     | Persulfat                   | 1                        | PropNET<br>GOLD |

**[0045]** Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, wird PropNET GOLD verwendet, um den Abstützmittel-Rückfluss zu verhindern (d. h. das Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses). Die genaue Auswahl der Brecher wird durch die Fluidtemperatur festgelegt, die wiederum von der Formationstemperatur abhängig ist. Die Neuheit der vorliegenden Erfindung liegt nicht in einer bestimmten Folge von Brechern, sondern dass alle Kombinationen von Brechern und/oder Brecherkombinationen, die in dem Zerklüftungsfluid einen Viskositätsgradienten induzieren, so dass der Bereich mit geringster Viskosität in dem Spitzenbereich liegt, und der Bereich der höchsten Viskosität in dem Bereich nahe am Bohrloch liegt und die eine andernfalls funktionsfähige DM-Behandlung erzielen (die ein erfahrener Ingenieur leicht erkennen kann), im Umfang der vorliegenden Erfindung liegen. Mit anderen Worten, nachdem auf diese Weise die Aufgaben der Erfindung definiert wurden, sind alle bestimmten Kombinationen von Brechern, die ein erfahrener Ingenieur leicht erkennen kann und die die genannten Aufgaben der vorliegenden Erfindung erreichen, mit den bestimmten Ausführungsformen, die hier beschrieben wurden, austauschbar. Enzymbrecher sind z. B. ebenfalls in anderen DM-Behandlungen funktionsfähig.

**[0046]** Nachdem der Pumpzeitablauf von Tabelle 1 abgelaufen ist, wird das Bohrloch verschlossen. Der Rückfluss des Bohrlochs erfolgt viel schneller als in der herkömmlichen Praxis, wobei in diesem Fall etwa eine Stunde nach dem Verschließen bevorzugt ist. Das Fluid nahe der Spitze bricht rasch, wobei sich seine Viskosität verringert und dadurch ein Viskositätsgradient erzeugt wird, da sich stärker viskoses Fluid im Bereich nahe am Bohrloch und weniger viskoses Fluid in der Spitze befindet. Das Fluid bewegt sich somit in Reaktion auf diesen Gradienten, was in diesem Fall bedeutet, dass es sich in Richtung des Bohrlochs bewegt, wodurch die Sanierung ermöglicht wird.

**[0047]** In diesem Beispiel wird die erste Stufe mit Stickstoffgas aufgeschäumt. Gas, das sich (nur) im Spitzenbereich befindet, erzeugt ein weiteres Bewegungsdifferential, das ferner die Bewegung des Fluids von der Spitze zu dem Bohrloch unterstützt.

**[0048]** Die Verwendung des Protokolls im Beispiel 1 ergibt eine verbesserte Fluidentfernung aus der Zerklüftungsspitze, deswegen eine größere wirksame Zerklüftungslänge und somit eine größere Kohlenwasserstoffgewinnung.

#### Beispiel 2

**[0049]** Dieses Beispiel erläutert wie das Beispiel 1 eine Entwicklung einer typischen DM-Behandlung, jedoch wesentlich genauer als im Beispiel 1. Die Zerklüftungs-Entwicklungssoftware FracCADE™ wird vorzugsweise verwendet, wobei dies nicht erforderlich ist (Handelsbezeichnung von Schlumberger, das FracCADE Produkt wurde von Schlumberger hergestellt und wird von dieser Firma gegenwärtig verkauft). Siehe z. B. V.W. WARD, The Migration of CADE Software for Oilfield Services Application to Laptop Computers, Dallas Texas, SPE 36001, präsentiert auf der SPE Petroleum Computers Conference, Dallas, Texas, 1996; S. N. Gulrajani u. a., Evaluation of the M-Site B-Sand Fracture Experiments: The Evolution of a Pressure Analysis Methodology,

SPE 38575, präsentiert auf der 1997 Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, 1997, wobei beide Dokumente hier in ihrer Gesamtheit durch Literaturhinweis eingefügt sind.

**[0050]** Um eine DM-Behandlung zu entwickeln, ist wie bei herkömmlichen Behandlungen eine angemessene genaue Schätzung der statischen Temperatur am Bohrlochgrund (BHST) erforderlich. Die anderen Hauptaspekte sind die Fluideinwirkungsdauer (für jede Stufe anhand von Pumpraten und Volumen) und die minimale Viskosität, die erforderlich ist, um die gewünschte Abstützmittel-Konzentration einzubringen. Programme, wie etwa FracCADE können außerdem aus diesen Informationen die Temperatur in der Zerklüftung (und somit die Fluidtemperatur) in verschiedenen Zeitintervallen in dem Pumpzeitablauf vorhersagen. Unter Verwendung von FracCADE oder eines einfacheren iterativen mathematischen Modells kann somit eine Wertetabelle für verschiedene Stufen des Pumpens, wie etwa die nachfolgende Tabelle 2, erhalten werden:

| Stufenbezeichnung | Fluidtyp                                                        | Pumprate (bbl/min) | Fluidvolumen (gal) | Einleitungs-temp. an der Perforation (F) | Einwirkung an BHST von 250 °F | Einwirkung bei Temperatur von 200 °F |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Füllen            | Guar, Zirkonat vernetzt, 40 Pfund Guar/1000 Gallonen des Fluids | 45,0               | 100000             | 90                                       | 76,5                          | 90,3                                 |
| 2 PPA             | "                                                               | 45,0               | 9000               | 82                                       | 49,5                          | 67,0                                 |
| 3 PPA             | "                                                               | 45,0               | 12000              | 82                                       | 43,7                          | 61,2                                 |
| 4 PPA             | "                                                               | 45,0               | 14000              | 82                                       | 34,8                          | 55,4                                 |
| 5 PPA             | "                                                               | 45,0               | 18000              | 82                                       | 23,1                          | 43,7                                 |
| 6 PPA             | "                                                               | 45,0               | 22000              | 82                                       | 5,8                           | 31,8                                 |
| 7 PPA             | "                                                               | 45,0               | 25000              | 82                                       | 0                             | 14,4                                 |
| 8 PPA             | "                                                               | 45,0               | 20000              | 82                                       | 0                             | 0,0                                  |
| Spülen            | Guar, nicht vernetzt, 40 Pfund Guar/1000 Gallonen des Fluids    | 45,0               | 5956               |                                          |                               |                                      |

**[0051]** Nachdem die Fluideinwirkungsdauer bestimmt wurde, wird die geeignete Menge des Brechers, die in jeder Stufe benötigt wird, um die gewünschte Viskosität für die berechnete Temperatur zu erreichen, festgelegt. Dies kann z. B. erfolgen durch Bezugnahme auf im Voraus bestimmte Fluidströmungsprofile, wie etwa in [Fig. 3](#). Wie aus [Fig. 3](#) klar ist, geben Strömungsprofile dieser Art typischerweise die Fluidviskosität als eine Funktion der Temperatur für einen gegebenen Fluidtyp und eine Fluidtemperatur an. Eine einzelne Kurve entspricht einem einzelnen Brechertyp bei einer gegebenen Konzentration. Durch Auswahl der gewünschten Viskosität und der Fluideinwirkungszeit wählt der Behandlungsentwickler dann den Brecher und die Konzentration aus, die der Kurve entsprechen, die dem Schnittpunkt der Einwirkungszeit und der gewünschten Viskosität am nächsten ist.

**[0052]** Der erfahrene Behandlungsentwickler kann deshalb z. B. diese Schritte ausführen, um eine DM-Behandlung zu entwickeln. Zuerst wird eine minimale Viskositätsanforderung für das ausgewählte Zerklüftungsfeld ausgewählt, wobei dies im Idealfall für jede Stufe erfolgt. Der Entwickler kann z. B. festlegen, dass ein Fluid mit einer Viskosität von 50 Centipoise benötigt wird, um die gewünschte Konzentration des Abstützmittels zu transportieren. Dies kann mit einer Modellierungssoftware, wie etwa FracCADE, erfolgen. Anschließend werden die Fluideinwirkungsdauern für jede Stufe anhand von Pumpraten usw. festgelegt. Zu diesem Zeitpunkt kann der Entwickler auf im Voraus festgelegte Fluidströmungsprofile aufbauen, um den richtigen Brecher und die richtige Brecherkonzentration auszuwählen.

**[0053]** Der Unterschied zwischen DM-Behandlungen und herkömmlichen Behandlungen besteht darin, dass die ausgewählte minimale Viskosität in den letzten Pumpstufen höher ist. Gleichzeitig wird eine geringere Vis-

kosität in den frühen Pumpstufen (Bereich nahe zur Spitze) im Vergleich zur herkömmlichen Praxis bevorzugt. Trotzdem ist das Fluid in der Spitze am heißesten und hat die längste Einwirkungsdauer. Deswegen kann die Konzentration des Brechers unabhängig davon, ob die herkömmliche Praxis oder das Verfahren der vorliegenden Erfindung verwendet wird, nicht zu hoch sein, und wenn dies doch der Fall ist, wird das Fluid vorzeitig brechen und die Zerklüftungserweiterung verhindern. Deswegen können der Brechertyp und die Konzentration in den Verfahren der vorliegenden Erfindung und in herkömmlichen Verfahren etwa gleich sein. Der Unterschied zwischen den beiden besteht darin, dass in den zuletzt genannten Verfahren in den letzten Stufen die Brecheraktivität erhöht ist (durch die Konzentration des veränderlichen Brechertyps), wohingegen in den zuerst genannten Verfahren die Brecheraktivität verringert ist, um den Beweglichkeitsgradienten zu erreichen. Im herkömmlichen Wissensstand werden wiederum höhere Brecherkonzentrationen in den letzten Stufen festgelegt, so dass das Fluid nahe an dem Bohrloch möglichst stark bricht. Der Sinn dafür ist fraglich, insbesondere im Licht der vorliegenden Erfindung, es ist jedoch trotzdem die vorherrschende orthodoxe Meinung. Die vorliegende Erfindung lässt diese orthodoxe Meinung außer Acht, und verwendet stattdessen Verfahren, die mit herkömmlichen Zerklüftungsfliedern und Brechern betriebsfähig sind.

**[0054]** Deswegen enthält die Entwicklung von bevorzugten DM-Behandlungen das Bestimmen der Einwirkungsduern für das ausgewählte Zerklüftungsflied (anhand der Pumprate usw.), insbesondere für jede Fluidstufe, und anschließend das Prüfen der relevanten Gruppe (für dieses Fluid bei einer gegebenen Temperatur) von Strömungsprofilen (Viskosität als Funktion der Zeit), um eine Brecheraktivität (Typ und/oder Konzentration) aus diesen Profilen auszuwählen, die sicherstellt, dass die Fluidviskosität am Ende des Pumpens für jede Stufe höher ist als in der unmittelbar vorhergehenden Stufe. Die nachfolgende Tabelle 3 vergleicht die Entwicklung einer herkömmlichen Behandlung mit einer Behandlung der vorliegenden Erfindung.

| Stufenbezeichnung | Fluidtyp                                                              | Fluidvolumen (gal) | Einleitungs-temp. an der Perforation (F) | Herkömmliche Entwicklung: Brecherkonzentration (Natriumbromat) | DM-Entwicklung: Brecherkonzentration (Natriumbromat) |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Füllen            | Guar, Zirkonat vernetzt, 40 Gallonen<br>Guar/1000 Gallonen des Fluids | 100000             | 90                                       | 4,0                                                            | 4,0                                                  |
| 2 PPA             | "                                                                     | 9000               | 82                                       | 5,0                                                            | 3,0                                                  |
| 3 PPA             | "                                                                     | 12000              | 82                                       | 6,0                                                            | 2,5                                                  |
| 4 PPA             | "                                                                     | 14000              | 82                                       | 6,5                                                            | 2,0                                                  |
| 5 PPA             | "                                                                     | 18000              | 82                                       | 7,0                                                            | 1,5                                                  |
| 6 PPA             | "                                                                     | 22000              | 82                                       | 8,0                                                            | 1,0                                                  |
| 7 PPA             | "                                                                     | 25000              | 82                                       | 10,0                                                           | 0,5                                                  |
| 8 PPA             | "                                                                     | 20000              | 82                                       | 10,0                                                           | 0                                                    |
| Spülen            | Guar, nicht vernetzt,<br>40 Pfund Guar/1000<br>Gallonen des Fluids    | 5956               |                                          |                                                                |                                                      |

**[0055]** Wie aus [Fig. 3](#) deutlich ist, besitzt die Füllstufe für beide Entwicklungen gleiche Brecherkonzentrationen. Der Grund dafür besteht darin, dass das Fluid in der Spitze der höchsten Temperatur ausgesetzt ist und die längste Verweilzeit in der Zerklüftung besitzt, während eine hohe Brecherkonzentration theoretisch bei der Zerklüftungsentwicklung gemäß der vorliegenden Erfindung erwünscht ist. Unabhängig davon, ob die herkömmlichen Verfahren oder die hier genannten Verfahren verwendet werden, die Brecherkonzentration in der Spitze ist deswegen eingeschränkt, d. h. sie kann nicht zu hoch sein, andernfalls wird das Fluid in der Spitze vorzeitig brechen und die Zerklüftung wird sich nicht in geeigneter Weise ausdehnen.

**[0056]** Bei anderen besonders bevorzugten DM-Behandlungen kann der erfahrene Behandlungsentwickler wünschen, das Hinzufügen von irgendwelchen Brechern zu der Füllung der Zerklüftungen zu vermeiden. Der Grund besteht darin, dass das Füllfluid (theoretisch) vollständig in der Formation verloren geht und mit ihm der mit dem Fluid gemischte Brecher. Die lange Verweildauer für das Abstützmittel-Trägerfluid (nach dem Füllen) in dem Bereich nahe der Spitze kann gleichfalls eine bedeutende Verlustströmung zur Folge haben. Um dies zu vermeiden oder zu mindern, kann der erfahrene Behandlungsentwickler wünschen, diese Stufen anzuregen oder aufzuschäumen. Dieses Aufschäumen/Anregen der frühen Stufen hat zwei Vorteile, die durch die vorliegende Erfindung genutzt werden: (1) es senkt die Fluidichte und erhöht deswegen das Beweglichkeitsdifferential; und (2) es vermindert die Verlustströmung. Darüber hinaus verhindert Gas, dass die benachbarte Formation eine Wassersättigung von 100% erreicht.

**[0057]** Nochmals unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) und insbesondere die Spalte, die den Brecherzeitablauf für eine herkömmliche Entwicklung zeigt, wird der erfahrene Behandlungsentwickler erkennen, dass der Brechertyp und die Konzentration so ausgewählt wurden (wiederum aus den Strömungsprofilen), dass am Ende des Pumpens jede Fluidstufe etwa die gleiche Viskosität besitzt (oder wenigstens in der Weise, dass jede Stufe eine möglichst geringe Viskosität besitzt). Im Unterschied dazu werden Brecherzeitabläufe bei DM-Behandlungen mit dem genau entgegengesetzten Kriterium ausgewählt, so dass die Fluidviskosität in den Stufen nicht gleich ist, sondern sich von der Spitze zu dem Bohrloch vergrößert.

**[0058]** [Fig. 4](#) zeigt schließlich vier separate graphische Darstellungen (wobei jede graphische Darstellung einen anderen Formationstyp darstellt) der Zerklüftungsfluidtemperatur als eine Funktion des Abstands von dem Bohrloch. Beim Entwickeln von Zerklüftungsbehandlungen gemäß der vorliegenden Erfindung kann sich der erfahrene Behandlungsentwickler entscheiden, auf eine derartige Figur Bezug zu nehmen. In Abhängigkeit davon, welche dieser vier Kurven dem tatsächlichen Profil der zu zerklüftenden Formationen am nächsten kommt, unterscheidet sich die DM-Behandlungsentwicklung. Wenn die Formation ein Profil erreicht, das der dunklen horizontalen Linie ähnlich ist (die die y-Achse bei etwa 250°F schneidet), sollte der Behandlungsentwickler die Brecheraktivität in einem größeren Umfang variieren als dann, wenn die Formation ein Profil erreicht, das dem Profil ähnlich ist, das dem unteren Teil von [Fig. 4](#) am nächsten ist. In dem zuletzt genannten Fall wird die Formation selbst inhärent einen Viskosegradienten induzieren (niedrig nahe der Spitze und zunehmend in Richtung zum Bohrloch), deswegen kann die Brecheraktivität weniger drastisch verändert werden im Vergleich zu dem zuerst genannten Fall. In jedem Fall ist das Hauptmerkmal der DM-Behandlungen die vorsätzliche Manipulation der Fluidbeweglichkeit (Viskosität und Dichte), so dass sich die Beweglichkeit in den Fluidstufen so verändert, dass ein positiver Gradient induziert wird, der ausgenutzt werden kann, um Fluid aus der Zerklüftungsspitze zu entfernen.

Beispiel 3: Allgemeine Zerklüftungsbehandlungsentwicklung unter Verwendung der Verfahren der vorliegenden Erfindung

**[0059]** Der erfahrene Behandlungsentwickler versteht zweifellos, dass der bestimmte Brecherzeitablauf für eine DM-Behandlung nicht von vornherein mit Bestimmtheit festgelegt werden kann, sondern stattdessen von der speziellen geologischen Formation, die zu behandeln ist, abhängt. In diesem Beispiel werden die wesentlichen Parameter hervorgehoben, die erforderlich sind, um eine Zerklüftungsbehandlung gemäß der vorliegenden Entwicklung zu entwickeln.

**[0060]** Bei der vorliegenden Erfindung wird wiederum die Herstellung eines Beweglichkeitsdifferentials vorausgesetzt, derart, dass sich das Fluid in dem Bereich nahe der Spitze in Reaktion auf diesen Gradienten zu dem Bohrloch bewegt. Bei DM-Behandlungen wird das Beweglichkeitsdifferential hauptsächlich hergestellt, indem ein Viskositätsgradient und in besonders bevorzugten Ausführungsformen außerdem ein Dichtegradient erzeugt werden. Somit wird das Fluid in Nähe der Spitze chemisch verändert, so dass es eine geringere Viskosität besitzt, und wird in anderen Ausführungsformen außerdem aufgeschäumt, so dass es eine geringere Dichte hat. Unterhalb dieses Grads der Verallgemeinerung hängen die bestimmte Wahl von Brechern, Brecherkonzentrationen und in welcher Stufe des Pumpens welche Brecher hinzugefügt werden von zahlreichen Faktoren ab, die für die bestimmte Geologie und Geochemie der Lagerstätte einmalig sind. Der Hauptfaktor, der die Entwicklung des Brecherzeitablaufs gemäß der vorliegenden Erfindung beeinflusst, ist jedoch das Temperaturprofil der Lagerstätte. Ein derartiges Profil kann durch mathematische Modelle erhalten werden, die in einer Software, wie etwa FracCADE, realisiert sind. In jedem Fall kann das verwendete Modell einfach oder komplex sein, die Aufgabe besteht jedoch darin, das Profil am Ende der Tätigkeit (d. h. Ende des Pumpens) möglichst genau abzuschätzen (d. h. die Fluidtemperatur als eine Funktion des Abstands von dem Bohrloch zu dem Zeitpunkt, wenn das Pumpen endet). Die Parameter, die verwendet werden, um dieses Profil zu schätzen, sind im Allgemeinen: anfängliche statische Temperatur am Bohrlochgrund (die gewöhnlich in einfacher

Weise vor einer Zerklüftungsbehandlung aus leitungsgestützten Messungen zur Verfügung steht), Eigenschaften der Zerklüftungsfluide (die spezifische Wärme und ihre Leitfähigkeiten) und Eigenschaften der Formation/des Felsens (spezifische Wärme und Leitfähigkeit).

**[0061]** Wenn somit das Temperaturprofil z. B. derart ist, dass die Bohrlochtemperatur schnell ansteigt, kann sich der Behandlungsentwickler entscheiden, einen einzelnen Brecher zu verwenden, jedoch die Konzentrationen dieses einzelnen Brechers zu variieren (höhere Konzentration nahe an der Spitze, geringere Konzentration zum Bohrloch hin). Der Grund dafür besteht darin, dass eine Kühlung infolge von Verlusten (Bewegung des Zerklüftungsfluids in die Formation) auftritt, wenn die Formation zu ihrem Gleichgewicht oder zur stabilen Temperatur vor dem Zerklüften zurückkehrt.

Beispiel 4: Überprüfen des Erfolgs von Behandlungen anhand der vorliegenden Erfindung

**[0062]** Die Wirksamkeit von DM-Behandlungen können bei tatsächlichen Feldanwendungen einfach überprüft werden. Es kann z. B. eine Indikatoruntersuchung durchgeführt werden, bei der kleine Mengen von Indikatoren verschiedenen Stufen des Zerklüftungsfluids zugefügt werden. Wenn das Verfahren der vorliegenden Erfindung funktionsfähig ist, sollte die Indikatoruntersuchung angeben, dass bei einem Vergleich mit herkömmlichen Behandlungen das zuerst eingeleitete Fluid im Vergleich zu dem Rest des Fluids früher zurückfließt.

**[0063]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die wirksame Zerklüftungslänge zu erhöhen, (so dass sie sich möglichst weit der wahren Zerklüftungslänge nähert). Wenn das Verfahren der vorliegenden Erfindung funktionsfähig ist, sollte sich eine größere wirksame Zerklüftungslänge ergeben. Mehrere Verfahren zum Schätzen dieser Größe stehen gegenwärtig zur Verfügung, die alle darauf basieren, Behandlungen der vorliegenden Erfindung zu bewerten.

**[0064]** Außerdem können weniger direkte Anzeichen versuchsweise verwendet werden, um die Wirksamkeit von DM-Behandlungen zu erhalten: verbesserte Förderung, Zerklüftungsfluide, die während des Rückflusses zurückgeführt werden, sind wärmer als erwartet und berechnete längere wirksame Zerklüftungslänge aus einer Druckübergangsanalyse oder einem anderen Modell (z. B. Analyse nach dem Schließen, die in FracCADE enthalten ist).

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Zerklüften einer unterirdischen Formation, wobei das Verfahren das sequentielle Einleiten in ein Bohrloch von Zerklüftungsfluid, das unter einem Druck steht, der größer ist als die minimale örtliche Gesteinsbeanspruchung, umfasst, um dadurch eine Zerklüftung zu erzeugen, wobei das Zerklüftungsfluid a) eine Folge unterschiedlicher Brecher, die bei Annäherung an das Bohrloch eine allmählich geringere Brecheraktivität besitzen, oder einen einzelnen Brecher, der je näher am Bohrloch eine allmählich abnehmende Konzentration besitzt, und/oder b) einen Schaum, der je näher am Bohrloch einen allmählich abnehmenden Gasgehalt besitzt, umfasst, wodurch das Zerklüftungsfluid in der Nähe der Zerklüftungsspitze eine geringere Viskosität und/oder eine geringere Dichte als das Zerklüftungsfluid in der Nähe des Bohrlochs besitzt und ein Beweglichkeitsdifferential in der Zerklüftung in Richtung der Zerklüftung eingeführt wird und dem Zerklüftungsfluid in der Nähe der Spitze ermöglicht wird, sich zu dem Bohrloch zu bewegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Beweglichkeitsdifferential ein Viskositätsgradient ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Beweglichkeitsdifferential ein Dichtegradient ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Beweglichkeitsdifferential sowohl ein Viskositätsgradient als auch ein Dichtegradient ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Zerklüftungsfluid eine Folge von Fluidstufen umfasst, in denen die Fluide unterschiedliche Brecher oder einen einzigen Brecher mit unterschiedlichen Konzentrationen umfassen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Zerklüftungsfluid wenigstens aus einer ersten Stufe und einer zweiten Stufe besteht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die erste Stufe eine Abstützmittel-Trägergrundmasse, einen Brecher mit hoher Aktivität und ein Gas umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die zweite Stufe eine Abstützmittel-Trägergrundmasse, einen Brecher mit niedriger Aktivität und ein Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses umfasst.
9. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die erste Stufe eine Abstützmittel-Trägergrundmasse und einen eingekapselten Bromat-Brecher umfasst.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem die erste Stufe ferner ein Element umfasst, das aus der Gruppe gewählt ist, die aus Stickstoff, Luft und Kohlendioxid besteht.
11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der eingekapselte Bromat-Brecher in dem Zerklüftungsfluid in einer Konzentration von etwa zwei Pfund pro eintausend Gallonen des Fluids vorhanden ist.
12. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die zweite Stufe ihrerseits eine Abstützmittel-Trägergrundmasse und einen eingekapselten Bromat-Brecher umfasst.
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der eingekapselte Bromat-Brecher in dem Zerklüftungsfluid in einer Konzentration von etwa einem Pfund pro eintausend Gallonen des Fluids vorhanden ist.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner eine dritte Stufe umfasst.
15. Verfahren nach Anspruch 14, das ferner eine vierte Stufe umfasst.
16. Verfahren nach Anspruch 15, das ferner eine fünfte Stufe umfasst.
17. Verfahren nach Anspruch 16, das ferner eine sechste Stufe umfasst.
18. Verfahren nach Anspruch 17, das ferner eine siebte Stufe umfasst.
19. Verfahren nach Anspruch 18, das ferner eine achte Stufe umfasst.
20. Verfahren nach Anspruch 19, das ferner eine neunte Stufe umfasst.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20, bei dem die dritte bis letzte Stufe die gleichen oder unterschiedliche Brecher enthalten, wobei im Fall gleicher Brecher jede Stufe eine geringere Brecheraktivität als die vorhergehende Stufe hat.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner eine Endstufe umfasst.
23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem die Endstufe ihrerseits eine Abstützmittel-Trägergrundmasse, einen Brecher und ein Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses umfasst.
24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem das Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses aus der Gruppe gewählt ist, die aus NOVALOID-Fasern, NOVALOID-Plättchen, NOVALOID-Fasern und -Plättchen, NYLON-Fasern und Glasfasern besteht.
25. Verfahren nach Anspruch 24, bei dem das Mittel zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses PropNET GOLD ist.
26. Verfahren nach Anspruch 5, das ferner den folgenden Schritt umfasst: innerhalb einer Stunde nach der Erzeugung der Zerklüftung Öffnen des Bohrlochs und Zulassen, dass das Zerklüftungsfluid zurückfließt, wodurch der Druck in der Zerklüftung schnell gesenkt wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, bei dem das Zerklüftungsfluid wenigstens eine erste, eine zweite und eine dritte Stufe umfasst und bei dem die wenigstens drei Stufen nacheinander beginnend bei der ersten Stufe in das Bohrloch eingeleitet werden und bei dem:
  - die erste Stufe eine Abstützmittel-Trägergrundmasse, einen ersten Brecher und ein Element, das aus der Gruppe gewählt ist, die aus Gas, Schaum und angeregtem Zerklüftungsfluid besteht, umfasst;
  - die zweite Stufe ein Mittel, das den Abstützmittel-Rückfluss steuert, eine Abstützmittel-Trägergrundmasse und einen zweiten Brecher umfasst; und
  - wobei der erste Brecher gleich dem zweiten Brecher oder hiervon verschieden ist, wobei im Fall der Gleichheit

die Konzentration des ersten Brechers größer als die Konzentration des zweiten Brechers ist.

28. Verfahren nach Anspruch 27, das ferner den Schritt umfasst, bei dem das Bohrloch innerhalb einer Stunde nach der Erzeugung der Zerklüftung geöffnet wird und zugelassen wird, dass das Zerklüftungsfluid zurückfließt, wodurch der Druck in der Zerklüftung schnell gesenkt wird.

29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das das Einleiten eines aufgeschäumten Zerklüftungsfluids durch einen Bohrkopf in das Bohrloch in wenigstens einer früheren Stufe, das Einleiten von Mitteln zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses in das Bohrloch in wenigstens einer späteren Stufe, das Öffnen des Bohrkopfes bald nach Abschluss des Pumpens, um einen Rückfluss zuzulassen, und dadurch das erzwungene Schließen der Zerklüftung umfasst.

30. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das das Verfolgen eines Pumpzeitablaufs umfasst, um eine unterschiedliche Beweglichkeit zu erzielen, umfassend:  
Einleiten eines Zerklüftungsfluids in die Formation, wobei das Zerklüftungsfluid am Ende der Behandlung eine größere Beweglichkeit hat als nachfolgende Stufen,  
Einleiten eines Mittels zum Steuern des Abstützmittel-Rückflusses in die Formation; danach  
Fördern eines aggressiven Rückflusses durch erzwungenes Schließen.

31. Verfahren nach Anspruch 30, bei dem das Zerklüftungsfluid mit einem Gas kombiniert wird, bevor es eingeleitet wird, wobei das Gas aus der Gruppe gewählt ist, die aus Stickstoff, Kohlendioxid und Luft besteht.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

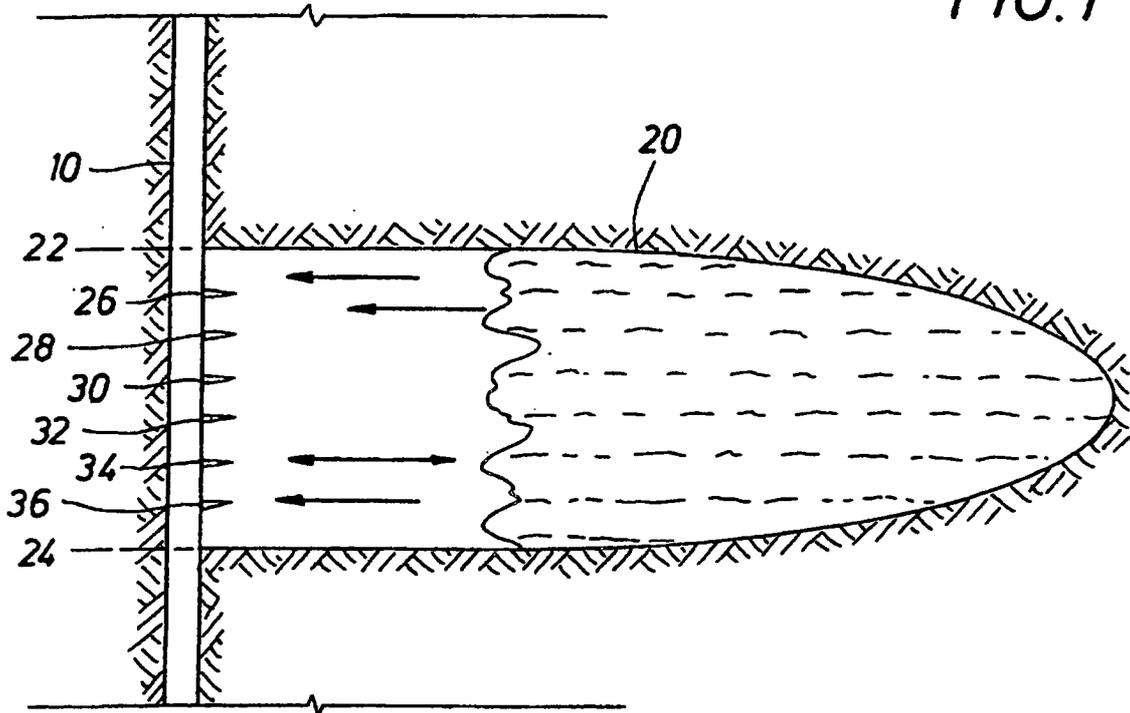


FIG. 2

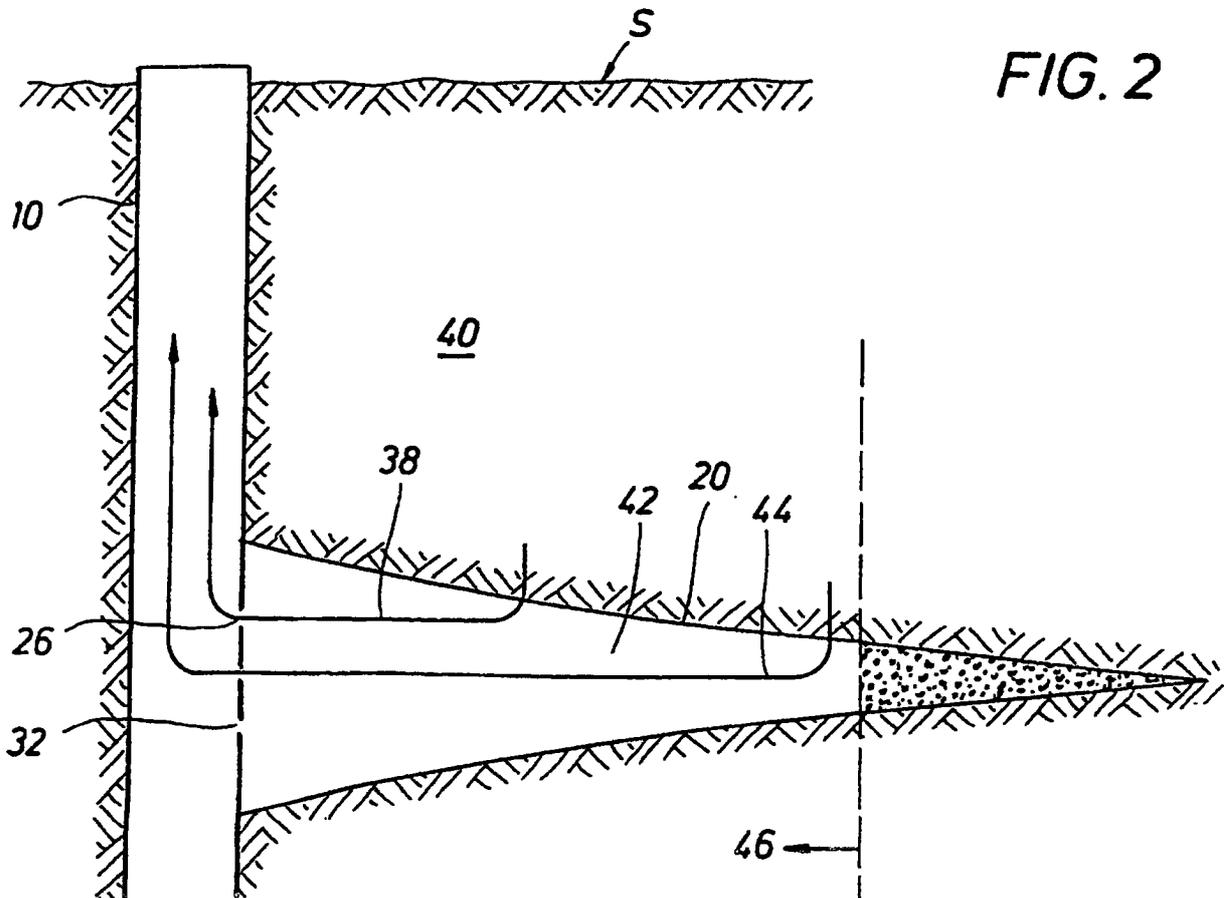


Fig. 3

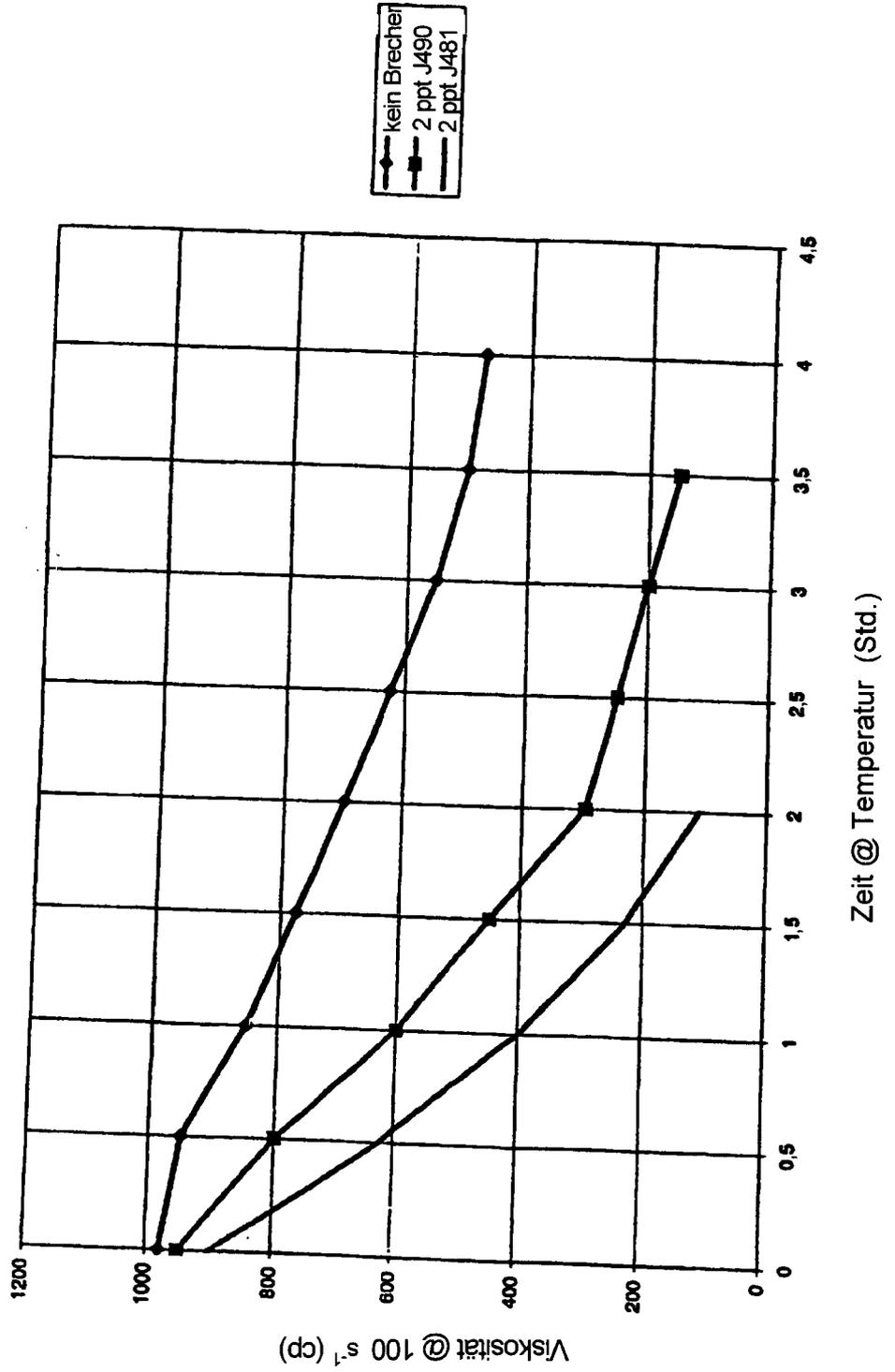


Fig. 4

