



(11) **EP 2 180 138 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.04.2010 Patentblatt 2010/17

(51) Int Cl.:
E21B 43/16^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09011516.3**

(22) Anmeldetag: **08.09.2009**

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

(30) Priorität: **21.10.2008 DE 102008052465**
21.08.2009 DE 102009038444

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Heisel, Michael, Dr.**
82049 Pullach (DE)
• **Steinke, Jörg**
12557 Berlin (DE)

(54) **Injektion von Gas zur Erhöhung der Ausbeute von Rohölquellen**

(57) Es wird ein Verfahren zum Einbringen eines Gases in eine Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht mittels einer geeigneten Leitung, wobei die Leitung in die Gesteins- oder Erdschicht eingebracht wird, und das Gas zum Zweck einer erhöhten Förderung von Erdöl aus der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschichtinjiziert wird (Enhanced Oil Recovery), beschrieben.

Erfindungsgemäß wird das Gas mit einer Geschwindigkeit, beispielsweise Schallgeschwindigkeit, eingebracht, die ausreichend ist, um eine turbulente Strömung in der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht auszubilden.

EP 2 180 138 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen eines Gases in eine Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht mittels einer geeigneten Leitung, wobei die Leitung in die Gesteins- oder Erdschicht eingebracht wird, und das Gas zum Zweck einer erhöhten Förderung von Erdöl aus der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht injiziert wird (Enhanced Oil Recovery).

[0002] Unter dem Begriff "technische Gase" seien nachfolgend alle Gase sowie Gasgemische zu verstehen, die bei der sog. tertiären Erdölgewinnung Anwendung finden (können). Als technische Gase bei der tertiären Erdölgewinnung werden insbesondere Stickstoff, Kohlendioxid, Erdgas und/oder Erdölbegleitgas(e) verwendet.

[0003] Neben der primären und sekundären Erdölgewinnung gibt es die sog. tertiäre Erdölgewinnung bzw. Enhanced Oil Recovery. Bei dieser werden die Ausbeuten von Erdöllagerstätten dadurch erhöht, dass technische Gase in die Öllagerstätte eingebracht bzw. injiziert werden. Um Erdöl jedoch durch den erhöhten Druck der eingebrachten Gase in der Lagerstätte bzw. Quelle zum Fließen zu bringen, muss das technische Gas im Regelfall zunächst vergleichsweise lange injiziert werden, ehe ein nennenswerter Effekt zu erkennen ist. Üblicherweise muss das technische Gas dazu zwischen 6 und 12 Monate eingebracht werden, bis die gewünschte, erhöhte Ölförderung erreicht ist. Während dieses Zeitraumes ist es jedoch ungewiss, ob der gewünschte Effekt - nämlich die Erhöhung der Erdölausbeute - überhaupt erreicht werden kann. Oftmals weist das Gestein einer Lagerstätte Risse auf, durch die das eingebrachte Gas abfließen und folglich nicht zur Ölgewinnung beitragen kann.

[0004] Bei dem Einbringen des technischen Gases ist darauf zu achten, dass das Gas weder zu schnell noch zu langsam strömt. Ist die Strömungsgeschwindigkeit des Gases zu hoch, besteht die Gefahr, dass sich innerhalb des Erdöles ein Kanal bildet, in dem primär Gas und nur eine geringe Menge Öl fließt. Wird das Gas zu langsam injiziert, besteht wiederum die Gefahr, dass seine Geschwindigkeit und die damit eingebrachte Energie nicht ausreichend hoch sind, um das Öl zu transportieren.

[0005] Aus dem Stand der Technik ist des Weiteren die sog. Huff-und-Puff-Methode bekannt. Bei dieser wird mittels eines technischen Gases Druck auf eine Ölquelle gegeben und anschließend über die Leitung, über die das technische Gas in die Lagerstätte injiziert wurde, Öl aus der mit Druck beaufschlagten Quelle entnommen. Diese Öl-Entnahme erfolgt solange, bis der Druck wieder abgebaut ist. Anschließend wird der vorbeschriebene Vorgang wiederholt.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren zum Einbringen wenigstens eines technischen Gases im Bereich einer Öllagerstätte anzugeben, das eine Erhöhung der Ausbeute der Öllagerstätte ermöglicht.

[0007] Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein gattungsgemäßes Verfahren zum Einbringen wenigstens eines technischen Gases im Bereich einer Öllagerstätte vorgeschlagen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass das Gas mit einer Geschwindigkeit eingebracht wird, die ausreichend ist, eine turbulente Strömung des Gases in den Kanälen der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht zu erzeugen.

[0008] Erfindungsgemäß wird das in die Öllagerstätte einzubringende technische Gas derart eingebracht, dass sich eine turbulente Gasströmung in der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht ausbildet. Dadurch wird erreicht, dass die normalerweise laminare Gasströmung in den Kanälen des Gesteins der Lagerstätte in eine turbulente Strömung umgewandelt wird. Im Falle einer laminaren Strömung ist das durchgesetzte Gasvolumen in einem Kanal proportional zu dessen Querschnittsfläche, folglich zum Quadrat des Kanaldurchmessers ($V_{\text{Gas}} \approx d^2$). Ferner ist die Geschwindigkeit proportional zum Quadrat des Durchmessers eines Kanals. Für die durchgesetzte Gasmenge gilt somit: $V_{\text{Gas}} \approx d^2 \times d^2 = d^4$. Verdoppelt man den Durchmesser eines Kanals ergibt sich $V_{\text{Gas}} = 16 \times V_0$. Dabei ist V_{Gas} der Volumenstrom des Gases im Kanal mit dem verdoppelten Durchmesser, V_0 der Volumenstrom im ursprünglichen Kanal, bei jeweils gleichem Druckverlust. Bei dem erfindungsgemäßen Einbringen des Gases mit einer Geschwindigkeit, bei der sich eine turbulente Gasströmung ausbildet, verringert sich aufgrund der Turbulenz der vorbeschriebene Einfluss des Durchmessers auf das Quadrat. Eine Verdoppelung des Durchmessers führt also zum Vierfachen des Volumens der Gasströmung, und nicht wie bisher zur 16fachen. Dadurch wird durch das erfindungsgemäße Verfahren deutlich weniger Gas injiziert.

[0009] Laminar strömendes Gas fließt in einer sog. Pfropfenströmung durch die Gesteinskanäle. Dies hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit an der Wand eines Kanals annähernd null ist und somit kein Stoffaustausch stattfindet. Im Falle einer turbulenten Strömung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die Gasgeschwindigkeit hingegen über den Querschnitt annähernd gleich bleibend hoch bis an die Wand eines Kanals, so dass die Ablösekräfte für Öl ebenfalls hoch bleiben. Somit wirken an den Kanalrändern nach dem erfindungsgemäßen Verfahren deutlich höhere Ablösekräfte, wodurch auch deutlich mehr Öl aus der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht herausgelöst werden kann. Das heißt, die Ausbeute an Erdöl nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist deutlich höher als bei einem Verfahren nach dem Stand der Technik.

[0010] Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann somit bei geringerer eingebrachter Gasmenge wesentlich schneller ein Effekt bei der Förderung des Erdöls beobachtet werden. Dies ist insbesondere von wirtschaftlichem Vorteil, wenn entschieden werden muss, ob und mit welchem Aufwand weiter Erdöl nach einem Verfahren der tertiären Erdölförderung aus der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht gewonnen werden kann.

[0011] Bevorzugt beträgt die Geschwindigkeit des Gas beim Einbringen mindestens Schallgeschwindigkeit beträgt. Durch das Einbringen des Gases mit Schallgeschwindigkeit wird in dieser Ausgestaltung der Erfindung sichergestellt, dass sich in der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht eine turbulente Gasströmung ausbildet. Das Gas erreicht dabei die Schallgeschwindigkeit an der Öffnung der Leitung bei der Injektion in die Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht. Besonders bevorzugt wird das Gas mit Überschallgeschwindigkeit eingebracht.

[0012] Vorteilhafterweise wird das Gas als Druckwelle eingebracht. Zum Erreichen der Schallgeschwindigkeit wird das Gas in dieser Ausgestaltung als Druckwelle eingebracht. Unter einer Druckwelle wird im Rahmen dieser Anmeldung verstanden, dass das Gas zumindest zeitweise mit einem hohen Druck eingebracht wird. Durch das Anlegen eines hohen Druckes strömt das Gas mit hoher Geschwindigkeit, z.B. Schallgeschwindigkeit oder Überschallgeschwindigkeit, in die Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht. Unter einem hohen Druck wird im Rahmen dieser Erfindung ein Druck im Bereich von über 10 bar verstanden. Der genau zu wählende Druck hängt dabei von der Porosität der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht ab und kann beim Einbringen in tiefere Schichten auch über 300 bar betragen kann.

[0013] Zweckmäßigerweise wird die Dauer der Druckwellen variiert. Dabei wird die Dauer einer Druckwelle zwischen 1 Minute und 5 Stunden, vorzugsweise zwischen 3 Minuten und 3 Stunden gewählt. Die Dauer einer Druckwelle hängt in dieser Ausgestaltung der Erfindung von der Porosität der Erdölhaltigen Gesteins- oder Erdschicht ab. Je poröser die Erdölhaltige Gesteins- oder Erdschicht ist, desto niedriger kann der Differenzdruck der Druckwelle zum Gesteinsdruck gewählt werden, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Bei Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschichten, die eine sehr geringe Porosität aufweisen, kann die Dauer eine Druckwelle auch durchaus länger als angegeben gewählt werden.

[0014] Bevorzugt werden/wird als einzubringendes technisches Gas Stickstoff, Kohlendioxid, Erdgas und/ oder Erdölbegleitgas(e) verwendet. Dabei wird das jeweils verwendete Gas zweckmäßigerweise nach den Beschaffenheiten und Gegebenheiten der Erdölhaltigen Gesteins- oder Erdschicht ausgewählt. Gasförmige Kohlenwasserstoffe vermischen sich mit dem Erdöl in der Gesteins- oder Erdschicht, verringern dadurch die Kapillarkräfte, welche das Erdöl in der Gesteins- oder Erdschicht festhalten und erleichtern so den Transport zur Förderleitung. Ein ähnlicher Effekt tritt bei der Verwendung von gasförmigem Kohlendioxid auf. Gasförmiges Kohlendioxid vermischt sich mit dem Erdöl und verringert die Viskosität. So wird bei der Verwendung von gasförmigem Kohlendioxid ebenfalls ein leichter Transport des Erdöls in der Erdölhaltigen Gesteins- oder Erdschicht erreicht. Der wirtschaftlich billigere Stickstoff dagegen vermischt sich praktisch nicht mit dem Erdöl. Bei mehrfacher Injektion von gasförmigem Stickstoff bildet sich eine Gasfront, durch die das Erdöl aus der Gesteins- oder

Erdschicht herausgelöst wird.

[0015] Zweckmäßigerweise wird der Anfangsdruck der Druckwelle maximal so hoch gewählt, dass das Lagergestein der Öllagerstätte nicht geschädigt wird. So lässt sich die maximale Turbulenz der Gasströmung erreichen, ohne die Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht zu schädigen.

[0016] Entsprechend der letztgenannten vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der aufzubringende Druck an die Belastbarkeit des Lagergesteins angepasst, so dass keine neuen Brüche innerhalb des Lagergesteins entstehen. Vorteilhafterweise beträgt der Anfangsdruck der Druckwelle mindestens 10 bar höher als der Gesteinsdruck in der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht. Bei oberflächennahen Schichten kann das Druckmaximum daher ggf. weniger als 15 bar betragen, während bei tief unter der Oberfläche liegenden Schichten, bspw. in 3000 m Tiefe, üblicherweise ein Druckmaximum von 300 bar und höher realisiert werden kann.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Einbringen wenigstens eines technischen Gases im Bereich einer Öllagerstätte ermöglicht eine Erhöhung der Ausbeute der Öllagerstätte, wobei die benötigte Menge des technischen Gases verringert wird und zudem der Effekt der Ausbeuteerhöhung, verglichen mit den zum Stand der Technik zählenden Verfahren, wesentlich schneller sichtbar wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einbringen eines Gases in eine Erdöl-haltige Gesteins- oder Erdschicht mittels einer geeigneten Leitung, wobei die Leitung in die Gesteins- oder Erdschicht eingebracht wird, und das Gas zum Zweck einer erhöhten Förderung von Erdöl aus der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht injiziert wird (Enhanced Oil Recovery), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas mit einer Geschwindigkeit eingebracht wird, die ausreichend ist, eine turbulente Strömung des Gases in den Kanälen der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht zu erzeugen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit des Gases beim Einbringen mindestens Schallgeschwindigkeit beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas als Druckwelle eingebracht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dauer der Druckwellen variiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass die Dauer einer Druckwelle zwischen 1 Minute und 5 Stunden, vorzugsweise zwischen 3 Minuten und 3 Stunden gewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als einzubringendes technisches Gas Stickstoff, Kohlendioxid, Erdgas und/oder Erdölbegleitgas(e) verwendet wird bzw. werden. 5
10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anfangsdruck der Druckwelle maximal so hoch gewählt wird, dass das Lagergestein der Öllagerstätte nicht geschädigt wird. 15
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anfangsdruck der Druckwelle mindestens 10 bar höher als der Gesteinsdruck in der Erdöl-haltigen Gesteins- oder Erdschicht beträgt. 20

25

30

35

40

45

50

55