

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. September 2011 (09.09.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/107331 A2

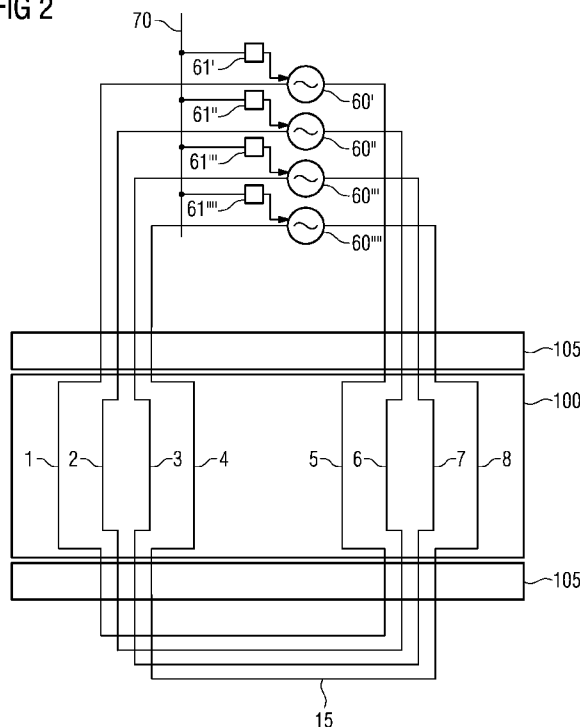
- (51) Internationale Patentklassifikation:
E21B 43/24 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/051861
- (22) Internationales Anmeldedatum:
9. Februar 2011 (09.02.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 010 219.9 3. März 2010 (03.03.2010) DE
10 2010 020 154.5 11. Mai 2010 (11.05.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DIEHL, Dirk [DE/DE]; Berliner Platz 3, 91052 Erlangen (DE). WACKER, Bernd [DE/DE]; Haundorferstr. 2 A, 91074 Herzogenaurach (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE "IN-SITU" TRANSPORT OF BITUMEN OR EXTRA-HEAVY OIL

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR "IN-SITU"-FÖRDERUNG VON BITUMEN ODER SCHWERSTÖL

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for transporting a substance containing a hydrocarbon, in particular bitumen or extra-heavy oil, from a reservoir (100), the reservoir (100) being supplied with thermal energy in order to reduce the viscosity of the substance. At least two conductor loops (1, 2, ..., 8) for inductive energization are provided as electric/electromagnetic heating elements. Each of the at least two conductor loops (1, 2, ..., 8) comprises at least two extended conductors (1, 2, ..., 8), at least some sections of which are guided horizontally in parallel inside the reservoir (100). In addition, at least two alternating current generators (60; 60', 60'', 60''', 60''''') for electric power are provided, each being connected to a respective conductor loop (1, 2, ..., 8). A first of the at least two alternating current generators (60; 60', 60'', 60''', 60''''') and at least one second of the at least two alternating current generators (60; 60', 60'', 60''', 60''''') are operated synchronously and with a fixed phase position in relation to one another.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/107331 A2



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Förderung von einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, insbesondere Bitumen oder Schweröl, aus einem Reservoir (100), wobei das Reservoir (100) mit Wärmeenergie zur Verringerung der Viskosität der Substanz beaufschlagt wird, wozu mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) zur induktiven Bestromung als elektrische/elektromagnetische Heizung vorgesehen sind. Eine jeweilige der mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) umfasst wenigstens zwei ausgedehnte Leiter (1, 2, ..., 8), die zumindest abschnittsweise parallel in horizontaler Ausrichtung innerhalb des Reservoirs (100) geführt sind. Weiterhin sind mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''') für elektrische Leistung vorgesehen, die jeweils an eine jeweilige der Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) angeschlossen sind, wobei ein erster der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''') und mindestens ein zweiter der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''') bezüglich ihrer Frequenz synchron zueinander und mit fester Phasenlage zueinander betrieben werden.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur „in-situ“-Förderung von Bitumen oder Schwerstöl

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur „in-situ“-Förderung von Bitumen oder Schwerstöl aus Ölsandlagerstätten als Reservoir gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige
10 Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Förderung von Schwerstölen oder Bitumen aus Ölsand- oder Ölschiefervorkommen mittels Rohrsystemen, welche durch Bohrungen eingebracht werden, muss die Fließfähigkeit der in
15 fester Konsistenz vorliegenden Ausgangsstoffe erheblich erhöht werden. Dies kann durch Temperaturerhöhung des Vorkommens im Reservoir erreicht werden.

Wird dazu eine induktive Heizung ausschließlich oder zur Unterstützung des üblichen SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)-Verfahrens verwendet, tritt das Problem auf, dass benachbarte gleichzeitig bestromte Induktoren sich gegenseitig negativ beeinflussen können. So schwächen sich benachbarte entgegengesetzt bestromte Induktoren bezüglich der im Reservoir
20 deponierten Heizleistung.
25

Bei den älteren deutschen Patentanmeldungen mit den Anmelde-
nummern 10 2007 008 292.6, 10 2007 036 832.3 sowie
10 2007 040 605.5 werden einzelne Induktorpaare, d.h. Hin-
30 und Rückleiter, in vorgegebener geometrischer Konfiguration bestromt, um das Reservoir induktiv zu erhitzen. Dabei wird die Stromstärke zum Einstellen der gewünschten Heizleistung genutzt, während die Phasenlage mit 180° zwischen benachbarten Induktoren fest eingestellt ist. Diese gegenphasige
35 Bestromung ergibt sich zwangsläufig aus dem Betrieb eines Induktorpaares mit Hin- und Rückleiter zu einem Generator. In einer parallelen Patentanmeldung der Anmelderin mit der Bezeichnung „Anlage zur In-Situ-Gewinnung einer kohlenstoffhal-

tigen Substanz" wird unter anderem die Steuerung der Heizleistungsverteilung bei einem Array von Induktoren beschrieben, wobei dies durch die Einstellbarkeit der Stromamplituden und Phasenlage benachbarte Induktorpaare erreicht wird. Alle
5 bisherigen Patentanmeldungen gehen davon aus, dass die Bestromung über größere Zeiträume von Tagen bis Monaten nur geringe Anpassungen erfährt und eine feste Zuordnung eines Generators zu einem Induktorpaar besteht.

10 Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, geeignete Verfahren vorzuschlagen und zugehörige Vorrichtungen zu schaffen, die zur Verbesserung der Effektivität bei der Förderung aus Ölsand- oder Ölschiefer-Reservoirien dienen.

15 Die Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die Maßnahmen des Patentanspruches 1 gelöst. Eine zugehörige Vorrichtung ist im Patentanspruch 11 angegeben. Weiterbildungen des Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung sind Gegenstand der jeweils abhängigen Ansprüche.

20

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Förderung von einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, insbesondere Bitumen oder Schwerstöl, aus einem Reservoir, wobei das Reservoir mit Wärmeenergie zur Verringerung der Viskosität der Substanz beaufschlagt wird, wozu mindestens zwei Leiterschleifen zur induktiven Bestromung als elektrische/elektromagnetische Heizung
25 vorgesehen sind. Eine jeweilige der mindestens zwei Leiterschleifen umfasst wenigstens zwei linear ausgedehnte Leiter, die in horizontaler Ausrichtung in vorgegebener Tiefe des Reservoirs geführt sind. Mindestens zwei Wechselstromgeneratoren für elektrische Leistung sind vorgesehen, die jeweils an eine der Leiterschleifen angeschlossen sind, wobei ein erster der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren und mindestens ein zweiter der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren be-
30 züglich ihrer Frequenz synchron zueinander und mit fester Phasenlage zueinander betrieben werden.

Die Leiter sind dabei vorzugsweise im wesentlichen in einem Abschnitt linear und parallel zueinander.

Die Phasenlage weist vorzugsweise eine Phasendifferenz von
5 Null auf. Alternativ kann eine von Null verschiedene konstante Phasendifferenz vorgesehen sein. Wesentlich ist lediglich, dass die beiden Generatoren zueinander eine feste, d.h. zueinander gleichlaufende Phasenlage aufweisen.

10 Es ergibt sich durch diese Synchronität des eingespeisten Stroms, dass auch die Leiterschleifen im Reservoir synchron zueinander ein magnetisches Feld aufbauen und sich somit das induzierte elektrische Feld im Reservoir verstärkt.

15 Beim Stand der Technik kann der Betrieb mehrerer Leiterschleifen an einem Standort vorgesehen sein, indem jeder Umrichter sequentiell zugeschaltet wird. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Energiemenge in diesem Aussetzbetrieb
20 nicht maximiert werden kann. Der Aussetzbetrieb und abwechselnde Betrieb von Induktionsschleifen kann dabei vorgesehen sein, weil es durch Interferenz der angewendeten Mittelfrequenz zur Auslöschung von Wirbelströmen kommen kann, welche im Reservoir Dissipation von Joulscher Wärme verursachen.

25 Die vorliegende Erfindung zielt jedoch insbesondere darauf ab, dass zur Förderung von Kohlenwasserstoffen wie Schwerölen oder Bitumen aus Ölsand- oder Ölschiefervorkommen mittels Rohrsystemen, welche durch Bohrungen eingebracht werden, deren Fließfähigkeit erheblich erhöht werden kann. Durch Gravi-
30 tät kann dann eine Drainage des Kohlenwasserstoffgemisches erreicht werden.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, die Wechselstromgeneratoren (Umrichter) aller Leiterschleifen synchron zu betreiben,
35 insbesondere mit gleicher Frequenz und konstanter - aber vorzugsweiser einstellbarer - Phasenlage relativ zueinander. Für den Fall, dass Teile des Reservoirs unterschiedlich aufgeheizt werden sollen, kann eine individuelle Stromamplituden-

regelung der einzelnen Leiterschleifen und alternativ oder zusätzlich eine Anpassung der Phasenlage erfolgen.

5 Durch synchronen Betrieb bei gleicher Frequenz und Phasenlage kann eine erhöhte maximal mögliche Energie, die die Umrichter zusammen liefern können, in das Reservoir eingebracht werden.

10 Vorzugsweise kann bei Änderung von Frequenz und/oder Phasenlage des ersten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren die Frequenz und/oder Phasenlage des zweiten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren derart angepasst werden, dass nach dieser Anpassung die zwei Wechselstromgeneratoren bezüglich Frequenz und/oder Phasenlage wieder synchron zueinander betrieben werden.

15

In einer Ausgestaltung kann beispielsweise vorgesehen sein, dass in verschiedenen zeitlichen Ausbeutungsphasen des Reservoirs die Bestromung der Leiterschleifen bezüglich Strom- bzw. Spannungsamplitude und/oder Frequenz und/oder Phasenlage
20 geändert werden kann. Bezüglich der Frequenz kann die Variation auf +/- 10% um die Resonanzfrequenz der kapazitiv kompensierten Leiterschleife beschränkt werden.

25 Insbesondere können jedoch der erste der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren und der zweite der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren derart betrieben werden, dass ihre Phasenlagen zueinander konstant sind, wobei insbesondere ihre Phasenlagen zueinander vorgebbar versetzt sein kann.

30 Vorzugsweise können die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren im Vergleich zueinander gleiche oder unterschiedliche Stromamplituden erzeugen.

35 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, können die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren derart miteinander synchronisiert werden, dass eine Änderung der Frequenz und/oder eine Änderung der Phase repräsentierende Information von einem ersten der mindestens zwei Wechselstrom-

generatoren an weitere der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren übermittelt wird.

Die Übermittlung der Information kann dabei vorzugsweise zwischen 5 Steuereinheiten der Wechselstromgeneratoren erfolgen.

Einer der Wechselstromgeneratoren kann also als Master definiert werden, welcher vorzugsweise über Bus-Ankopplung, z. B. Lichtwellenleiter, oder durch Funksignal die genannte Information - die ein Taktsignal oder eine Frequenzinformation darstellen kann - an alle weiteren Wechselstromgeneratoren (Slaves) weiterleitet, so dass die für alle Wechselstromgeneratoren die gleiche Frequenz, beispielsweise eine bevorzugte Arbeitsfrequenz zwischen 1 kHz und 200 kHz, für den Betrieb 10 verwendet wird. Zusätzlich kann, wie bereits vorstehend erwähnt, an jedem Wechselstromgenerator individuell die Einstellung der Stromamplitude sowie einer Phasendifferenz relativ zum Master-Generator erfolgen.

20 In einer alternativen Ausgestaltung, können die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren derart miteinander synchronisiert werden, dass eine Änderung der Frequenz und/oder eine Änderung der Phase repräsentierende Information von einem Taktgeber an die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren 25 übermittelt wird.

Somit kann beispielsweise ein Signal eines separat angeordneten Referenzoszillators an alle Wechselstromgeneratoren-Steuereinheiten verteilt werden und dort mittels Synthesizer 30 (mit z.B. PLL-Schaltungen) die gewünschte Frequenz und die gewünschte Phasenlage - evtl. inkl. individuell versetzter Phasenlage - erzeugt werden.

Vorzugsweise erfolgt die Übermittlung der Information zur 35 Synchronisation zwischen Steuereinheiten der Wechselstromgeneratoren digital.

Weiterhin kann durch einen jeweiligen der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren aufgrund des Empfangens der eine Änderung der Frequenz und/oder eine Änderung der Phase repräsentierenden Information die Frequenz und/oder die Phasenlage für den jeweiligen der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren aktualisiert werden. Dabei erfolgen die Aktualisierung der Frequenz und/oder Phasen alle Wechselstromgeneratoren vorzugsweise gleichzeitig. Alternativ oder zusätzlich kann kurzzeitig - beispielsweise einige Sekunden bis Minuten - die Strom- bzw. Spannungsamplitude alle Generatoren auf einen kleinen Wert, beispielsweise unterhalb 5% eines Maximalwertes, oder auf Null reduziert werden, während die Aktualisierung von der Frequenz und/oder der Phasendifferenzen erfolgt. Die Steigerung der Ausgangsströme alle Generatoren auf die Sollwerte erfolgt dann mit aktualisierten Parametern.

Darüber hinaus kann für den jeweiligen Wechselstromgenerator bei der Aktualisierung der Frequenz und/oder Phasenlage ein vorgegebener Wert für eine Stromamplitude und ein vorgegebener Wert für eine Phasendifferenz gegenüber der übermittelten Phasenlage beibehalten werden.

Weiterhin kann Gegenstand einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung sein, dass bei der elektrischen Beheizung des Reservoirs die dafür maßgeblichen Parameter der notwendigen elektrischen Wechselstromgeneratoren zeitlich und/oder örtlich variabel gestaltet werden können und die Möglichkeit vorgesehen werden kann, diese Parameter von außerhalb des Reservoirs zur Optimierung des Fördervolumens während der Förderung des Bitumens oder Schwerstöls zu verändern. Damit werden weitestgehende Steuerungsmöglichkeiten für die Bestromung der Induktoren der Leiterschleifen geschaffen, wobei insbesondere auch lokal erfasste Temperaturen als Steuergrößen herangezogen werden können. Dazu können die Temperaturen im Reservoir, aber gegebenenfalls auch außerhalb des Reservoirs gemessen werden.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung können thermisch gering belastete Induktoren bevorzugt bestromt werden bzw. Reservoirbereiche geringer Temperatur bevorzugt beheizt werden.

- 5 Weiterhin kann während verschiedener zeitlicher Ausbeutungsphasen des Reservoirs zwischen beiden Bestromungsarten - zeitlich sequentielle oder gleichzeitige Bestromung mit mehreren Generatoren -umgeschaltet werden.
- 10 Es kann eine räumlich eng beieinander liegende Leitungsführung durch Overburden auf der Generator- und/oder Verbindungsseite erfolgen, um die unerwünschte Beheizung des Overburdens zu vermeiden bzw. zu verringern.
- 15 Weiterhin können die Wechselstromgeneratoren so ausgelegt sein, dass ihre Betriebsfrequenzen einstellbar sind.

Darüber hinaus können benachbarte Leiterschleifen derart bestromt werden, dass keine Auslöschungseffekte auftreten.

- 20 Zusätzlich kann ausgenutzt werden, dass der Wirkwiderstand, den das Reservoir als Sekundärwicklung darstellt, für weit voneinander entfernte Hin- und Rückleiter sehr viel höher als bei eng benachbarten Leitern sein kann, wodurch mit ver-
- 25 gleichsweise geringen Strömen in der Leiterschleife (Primärwicklung) hohe Heizleistungen ins Reservoir eingebracht werden können.

- Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich
- 30 aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen.

Es zeigen

Figur 1 einen Ausschnitt aus einer Ölsand-Lagerstätte mit sich wiederholenden Einheiten als Reservoir und jeweiliger horizontal im Reservoir verlaufenden elektrischen Leiterstruktur,

5 Figur 2 das Schema der Beschaltung von vier Induktorpaaren mit gleichzeitiger Bestromung mit separaten Generatoren mit zueinander anpassbarer Frequenz, wobei die zugehörigen Hin- und Rückleiter räumlich weit auseinander liegen.

10

Während Figur 1 eine perspektivische Darstellung als sich linear wiederholende Anordnung (Array) zeigt, sind in Figur 2 eine Aufsicht, d.h. ein horizontaler Schnitt in der Induktorrebene von oben gesehen, dargestellt, wobei sich das Deckgebirge („Overburden“) beidseitig gegenüber befindet. Gleiche Elemente in den Figuren haben gleiche Bezugszeichen. Die Figuren werden nachfolgend teilweise gemeinsam beschrieben.

Zur Förderung von Schwerstölen oder Bitumen aus Ölsand- oder Ölschiefervorkommen mittels Rohrsystemen, welche durch Bohrungen in die Öllagerstätte eingebracht werden, muss die Fließfähigkeit des feststoffartigen Bitumens bzw. der zähen Schwerstöle erheblich verbessert werden. Dies kann durch Temperaturerhöhung des Vorkommens (Reservoirs) erreicht werden, was eine Erniedrigung der Viskosität des Bitumens bzw. Schwerstöls bewirkt.

Die früheren Patentanmeldungen der Anmelderin zielten vorwiegend darauf ab, eine induktive Heizung zur Unterstützung des üblichen SAGD-Verfahrens zu verwenden. Dabei sind Hin- und Rückleiter der Induktorleitungen, die zusammen die Induktionsschleife bilden, in vergleichsweise großen Abstand von beispielsweise 50-150 m angeordnet.

35 Zunehmend werden sog. EMGD-Verfahren betrachtet, bei denen die induktive Heizung als alleiniges Heizverfahren des Reservoirs ohne Heißdampfeinbringung eingesetzt werden soll, was

u. a. den Vorteil von vermindertem bzw. von praktisch keinem Wasserverbrauch mit sich bringt.

Bei alleiniger induktiver Heizung müssen die Induktoren näher
5 am Bitumen-Produktionsrohr angeordnet werden, um einen früh-
zeitigen Produktionsbeginn bei gleichzeitig vermindertem
Druck im Reservoir zu ermöglichen. Damit rücken Hin- und
Rückleiter ebenfalls näher aneinander. Dies bringt das Prob-
10 lem mit sich, dass die gegenseitige Feldschwächung der entge-
gengesetzt bestromten Hin- und Rückleiter erheblich ist und
zu verminderter Heizleistung bei konstanter Stromstärke, d.h.
zu geringen Wirkwiderständen, führt. Dies kann zwar prinzi-
piell durch höhere Induktorströme ausgeglichen werden, womit
15 jedoch die Anforderungen an die Stromtragfähigkeit der Leiter
und damit deren Herstellungskosten erheblich steigen würden.

Es ist möglich, räumlich eng benachbarte Leiter zeitlich se-
quentiell, d.h. also nicht gleichzeitig, zu bestromen, womit
das Problem der Feldschwächung nicht auftritt. Vorteilhaft
20 dabei ist, dass ein Generator (Umrichter) für mehrere Leiter-
schleifen eingesetzt werden kann. Dabei ist aber nachteilig,
dass die Induktoren nur einen Bruchteil der Zeit bestromt
sind und nur dann zur Reservoirheizung beitragen.

25 In Figur 1 ist eine Anordnung zur induktiven Heizung darge-
stellt. Diese kann durch eine lange, d.h. einige 100 m bis
1,5 km, in einem Reservoir 100 verlegte Leiterschleife 10 bis
20 gebildet werden, wobei der Hinleiter 10 und Rückleiter 20
nebeneinander, also in derselben Tiefe, im vorgegebenen Ab-
30 stand geführt sind und am Ende über ein Element 15 als Lei-
terschleife innerhalb oder außerhalb des Reservoirs 100 mit-
einander verbunden sind. Am Anfang werden die Leiter 10 und
20 vertikal oder in einem vorgegebenen Winkel in Bohrungen
durch das Deckgebirge („Overburden“) hinunter geführt und von
35 einem HF-Generator 60, der in einem externen Gehäuse unterge-
bracht sein kann, mit elektrischer Leistung versorgt.

Insbesondere verlaufen die Leiter 10 und 20 im wesentlichen in gleicher Tiefe entweder nebeneinander oder aber übereinander. Dabei kann ein Versatz der Leiter sinnvoll sein. Typische Abstände zwischen den Hin- und Rückleitern 10, 20 sind
5 10 bis 60 m bei einem Außendurchmesser der Leiter von 10 bis 50 cm (0,1 bis 0,5 m).

Eine elektrische Doppelleitung 10, 20 in Figur 1 mit den vorstehend genannten typischen Abmessungen weist einen Längsinduktivitätsbelag von 1,0 bis 2,7 $\mu\text{H/m}$ auf. Der induktive Spannungsabfall entlang der Doppelleitung - gemeint ist hiermit der Hin- und Rückleiter des Induktors - wird durch die eingebrachten Serienkapazitäten kompensiert. Der Querkapazitätsbelag, der bei den genannten Abmessungen bei nur 10 bis
10 100 pF/m liegt, wird nicht wirksam, da praktisch keine Spannung zwischen den Leitungen anliegt und kann vernachlässigt werden. Damit werden Welleneffekte vermieden.

Die charakteristische Frequenz einer Induktoranordnung aus
20 Figur 1 ist bedingt durch die Schleifenlänge der Doppelleitung 10, 20 und den integrierten Serienkapazitäten.

In Figur 2 sind vier Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''' und 60'''' als erfindungsgemäße Wechselstromgeneratoren vorhanden sind, welche jeweils paarweise zwei der Induktoren 1 bis 8 ansteuern (vier Induktoren 1, 2, 3, 4 als Hinleiter, die übrigen vier Induktoren 5, 6, 7, 8 als Rückleiter).
25

Die einzelnen Induktoren 1 bis 8 sind entsprechend Figur 1 im Reservoir 100 angeordnet. Beidseitig des Reservoirs 100 sind Bereiche 105 vorhanden, die nicht beheizt werden sollen und phänomenologisch das „Overburden“ darstellen. Weiterhin ist eine Verbindung 15 an die Enden der Induktoren angeschlossen,
30 welche die Hin- und Rückleiter miteinander verbindet. Die Verbindung 15 kann ober- oder unterirdisch angeordnet sein.
35

Mit dieser Anordnung ist es insbesondere möglich, mehrere Induktorpaare gleichzeitig mit unterschiedlichen Stromstärken bei unterschiedlichen Frequenzen zu bestromen, wobei erfindungsgemäß gerade kein Betrieb mit unterschiedlichen Frequenzen vorgesehen ist, sondern ein synchroner Betrieb der Generatoren und somit auch der Induktoren.

Die Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' weisen jeweils eine Steuereinheit 61', 61'', 61''', 61'''' auf, die miteinander über einen Bus 70 oder eine andere Verbindung miteinander kommunikations- oder datentechnisch in Verbindung stehen. Über den Bus 70 können Informationen zwischen den Steuereinheiten 61', 61'', 61''', 61'''' ausgetauscht werden.

Es sei angenommen, dass der Leistungsgenerator 60' ein Master in Bezug auf einzustellender Frequenz und Phasenlage darstellt, an dem sich die anderen Leistungsgeneratoren 60'', 60''', 60'''' anpassen. Vorzugsweise wird von der Steuerung 61' des Leistungsgenerators 60' die aktuell beim Leistungsgenerators 60' eingestellte Frequenz und Phasenlage ermittelt und an alle weiteren Steuereinheiten 61'', 61''', 61'''' in beliebiger Kodierung übermittelt. Die empfangenen Steuereinheiten 61'', 61''', 61'''' werten die über den Bus 70 empfangene Mitteilung aus und steuern daraufhin die abhängigen Leistungsgeneratoren 60'', 60''', 60'''' derart, dass diese die Frequenz und die Phasenlage für den abzugebenden Strom an die Frequenz und Phasenlage des Master-Leistungsgenerators 60' anpassen.

Vorzugsweise werden durch alle abhängigen Leistungsgeneratoren 60'', 60''', 60'''' die im wesentlichen selbe Frequenz eingestellt wird wie die Frequenz beim Master-Leistungsgenerator 60'.

Bezüglich der Phaselage kann es sinnvoll sein, dass sich alle abhängigen Leistungsgeneratoren 60'', 60''', 60'''' auf die exakt gleiche Phasenlage des Master-Leistungsgenerators 60' einstellen. Die Phasendifferenz ist somit Null. Alternativ

können die Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' mit zueinander versetzter Phasenlage betrieben werden, sofern es im Betrieb zu keinen Verschiebungen kommt. Es wird somit von den abhängigen Leistungsgeneratoren 60'', 60''', 60'''' eine
5 Phasenlage eingestellt, die eine von Null verschiedene Phasendifferenz zum Master-Leistungsgenerators 60' aufweist, wobei jedoch die Phasendifferenz im Zeitverlauf konstant und unveränderlich bleibt.

- 10 Änderungen in der Frequenz und in der Phasenlage sind vorzugsweise nur vorzunehmen, wenn diese nachjustiert werden müssen, um weiterhin synchron zu sein.

Alternativ zur angegebenen Master-Slave-Struktur, können alle
15 vorgesehenen Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' abhängig von einem Taktsignal betrieben werden. Dieses Taktsignal kann an alle am Bus 70 angeschlossenen Steuereinheiten 61', 61'', 61''', 61'''' der Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' übermittelt werden, so daraufhin alle Leis-
20 tungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' sich in Frequenz und Phasenlage entsprechend dem Taktsignal anpassen bzw. aktualisieren.

Unabhängig von der Frequenz und Phasenlage kann es vorteil-
25 haft sein, dass alle Leistungsgeneratoren 60', 60'', 60''', 60'''' mit unterschiedlichen Stromamplituden betrieben werden, entsprechend der Gegebenheiten - z.B. Temperatur - im Reservoir.

- 30 Die Ankopplung über einen Bus 70 ist lediglich als beispielhaft zu sehen. Verschiedene andere Kommunikationswege sind denkbar.

Zum Erreichen einer guten Übereinstimmung und eines stabilen
35 Betriebs, kann auch ein Oszillator betrieben werden, der die Frequenz vorgibt.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass bei einer Anordnung des Leistungsgenerators außerhalb des Reservoirs auch eine unterirdische Installation des Generators möglich ist, was unter Umständen vorteilhaft sein kann. In diesem Fall würde
5 dann die elektrische Leistung bei niedriger Frequenz, d.h. 50-60Hz oder gegebenenfalls auch als Gleichstrom, nach unten geführt und könnte eine Umrichtung in den kHz-Bereich unterirdisch erfolgen, so dass keine Verluste im Deckgebirge auftreten.

10

Patentansprüche

1. Verfahren zur Förderung von einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, insbesondere Bitumen oder Schwerstöl, aus einem Reservoir (100), wobei das Reservoir (100) mit Wärmeenergie zur Verringerung der Viskosität der Substanz beaufschlagt wird, wozu mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) zur induktiven Bestromung als elektrische/elektromagnetische Heizung vorgesehen sind,
- 5
- 10 wobei eine jeweilige der mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) wenigstens zwei ausgedehnte Leiter (1, 2, ..., 8) umfasst, die in horizontaler Ausrichtung innerhalb des Reservoirs (100) geführt sind,
- wobei mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 15 60'', 60''', 60''''') für elektrische Leistung vorgesehen sind, die jeweils an eine jeweilige der Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') und mindestens ein zweiter der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') bezüglich ihrer Frequenz synchron zueinander und mit fester Phasenlage zueinander betrieben werden.
- 20
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Änderung von Frequenz und/oder Phasenlage des ersten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') die Frequenz und/oder Phasenlage des mindestens einen zweiten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') derart angepasst wird, dass nach dieser Anpassung die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') bezüglich Frequenz wieder synchron zueinander und fester Phasenlage zueinander betrieben werden.
- 30
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in verschiedenen zeitlichen Ausbeutungsphasen des Reservoirs (100) die Bestromung der Leiterschleifen be-

zöglich Strom- bzw. Spannungsamplitude und/oder Frequenz und/oder Phasenlage geändert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') und der zweite der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') derart betrieben werden, dass ihre Phasenlagen zueinander konstant sind, wobei insbesondere ihre Phasenlagen zueinander vorgebbar versetzt sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') gleiche oder unterschiedliche Stromamplituden aufweisen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') derart miteinander synchronisiert werden, dass eine eine Änderung der Frequenz und/oder eine Änderung der Phase repräsentierende Information von einem ersten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') an weitere der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') übermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') derart miteinander synchronisiert werden, dass eine eine Änderung der Frequenz und/oder eine Änderung der Phase repräsentierende Information von einem Taktgeber an die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') übermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass durch einen jeweiligen der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') aufgrund des Empfangens der eine Änderung der Frequenz und/oder

Phase repräsentierenden Information die Frequenz und/oder die Phasenlage für den jeweiligen der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') aktualisiert wird.

5

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass für den jeweiligen Wechselstromgenerator (60; 60', 60'', 60''', 60''''') bei der Aktualisierung der Frequenz und/oder Phasenlage ein vorgegebener Wert für eine Stromamplitude und ein vorgegebener Wert für eine Phasendifferenz gegenüber der übermittelten Phasenlage beibehalten werden.

10

10. Verfahren nach einem der vorliegenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturen innerhalb des Reservoirs lokal erfasst und zur Steuerung der Bestromung der Leiterschleifen, insbesondere zur Steuerung von Phasenlagen der Bestromung, und/oder zur Stromamplitudensteuerung der Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') verwendet werden.

20

11. Vorrichtung zur Förderung von einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, insbesondere Bitumen oder Schwerstöl, aus einem Reservoir (100), wobei das Reservoir (100) mit Wärmeenergie zur Verringerung der Viskosität der Substanz beaufschlagbar ist, wozu mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) zur induktiven Bestromung als elektrische/elektromagnetische Heizung vorgesehen sind, wobei eine jeweilige der mindestens zwei Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) wenigstens zwei ausgedehnte Leiter umfasst, die in horizontaler Ausrichtung innerhalb des Reservoirs (100) geführt sind, wobei mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') für elektrische Leistung vorgesehen sind, die jeweils an eine jeweilige der Leiterschleifen (1, 2, ..., 8) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mittel zum Koppeln eines ersten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') und

25

30

35

mindestens eines zweiten der mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') vorgesehen ist, mittels dem die mindestens zwei Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') bezüglich ihrer Frequenz synchron
5 zueinander und mit fester Phasenlage zueinander betrieben werden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens ein Wechselstromgenerator (60; 60',
10 60'', 60''', 60''''') für die elektrische Leistung hinsichtlich seiner die Ausgangsleistung bestimmender Parameter variabel ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass Temperatursensoren die Temperaturen innerhalb
15 und/oder außerhalb des Reservoirs (100) angeordnet sind und zur zeitlichen Steuerung der Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60'''''), vorzugsweise zur Steuerung von Phasenlagen von durch die Wechselstromgeneratoren (60; 60',
20 60'', 60''', 60''''') generierten Strömen, und/oder Stromamplituden-Steuerung der Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') verwendet werden.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Temperatursensoren in und/oder an den
25 Leiterschleifen im Reservoir angeordnet sind und zur zeitlichen Steuerung und/oder Stromamplituden-Steuerung der Wechselstromgeneratoren (60; 60', 60'', 60''', 60''''') verwendet werden, um eine Überhitzung der Leiterschleifen zu vermeiden.

30

FIG 2

