

(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  
4. März 2010 (04.03.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/023032 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
E21B 43/24 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/059168
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Juli 2009 (16.07.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2008 044 953.9  
29. August 2008 (29.08.2008) 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).
- (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, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

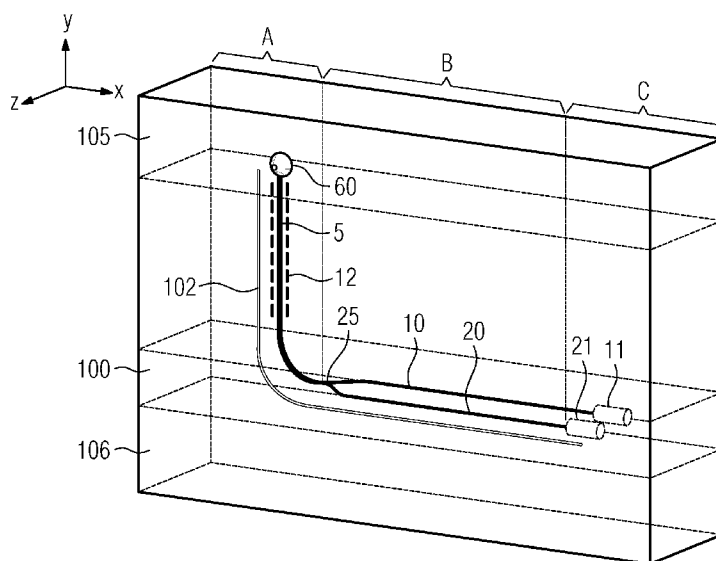
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, 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)

- (54) Title: INSTALLATION FOR THE *IN SITU* EXTRACTION OF A SUBSTANCE CONTAINING CARBON
- (54) Bezeichnung : ANLAGE ZUR IN-SITU-GEWINNUNG EINER KOHLENSTOFFHALTIGEN SUBSTANZ

FIG 2



(57) Abstract: According to known SAGD methods, an injection pipeline protruding into a deposit and at least one production pipe line leading out of the deposit are provided, superheated steam being applied to said pipelines, both as required, in order to improve the flowability of the extra-heavy oil and/or bitumen in the reservoir. According to prior art, the active region with the injection pipeline is also used for induction heating in relation to the surroundings thereof in the deposit. According to the invention, the conductor and return conductor (5, 5') of the inductor lines (10, 20; 110, 120) are guided essentially vertically in the capping (105) to the bottom of the deposit (100), at a small maximum lateral distance (a) of 10 m compared to the length of the lines, but especially less than 5 m. Preferably, the inductor lines (10, 20; 110, 120) are guided horizontally in the deposit (100) and are at different distances in certain areas. Furthermore, the electrical conductors and return conductors (5, 5') perpendicularly extending in the capping (105) preferably combine to form a conductor pair (5). In this way, the conductor pair (5) can be introduced into a single borehole (12) which

reaches into the reservoir (100) and splits only once it has arrived in the reservoir (100).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/023032 A2

---

Beim bekannten SAGD-Verfahren ist eine in die Lagerstätte hineinragende Injektionsrohrleitung und ist wenigstens eine aus der Lagerstätte herausführende Produktionsrohrleitung vorhanden, die zur Verbesserung der Fließfähigkeit des Schwerstöl und/oder Bitumens im Reservoir beide bei Bedarf insbesondere mit Heißdampf beaufschlagbar sind. Es wurde bereits vorgeschlagen, den aktiven Bereich mit der Injektionsrohrleitung zusätzlich als Induktionsheizung bezüglich seiner Umgebung in der Lagerstätte auszubilden. Gemäß der Erfindung sind die Hin- und Rückleiter (5, 5') der Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) im Deckgebirge (105) bis zur Tiefe der Lagerstätte (100) im Wesentlichen vertikal geführt und haben im Vergleich zur Längenausdehnung der Leitungen einen geringem lateralen Abstand (a) von höchstens 10 m, insbesondere aber weniger als 5 m. Vorzugsweise sind die Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) in der Lagerstätte (100) horizontal geführt und haben bereichsweise unterschiedliche Abstände. Weiterhin wird vorgeschlagen, die im Deckgebirge (105) senkrecht verlaufenden elektrischen Hin- und Rückleiter (5, 5') vorzugsweise zu einem Leitungspaar (5) zusammenzufassen. Dadurch kann das Leitungspaar (5) in einer einzigen Bohrung (12), die bis in das Reservoir (100) hinabreicht, eingebracht und erst im Reservoir (100) verzweigt werden.

## Beschreibung

Anlage zur In-Situ-Gewinnung einer kohlenstoffhaltigen Substanz

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anlage zur In-Situ-Gewinnung einer kohlenstoffhaltigen Substanz aus einer unterirdischen Lagerstätte unter Herabsetzung von deren Viskosität. Eine solche Vorrichtung dient insbesondere zur Förderung von Bitumen oder Schwerstöl aus einem Reservoir unter einem Deckgebirge, wie es bei Ölschiefer und/oder Ölsandvorkommen beispielsweise in Kanada gegeben ist.

Zur Förderung von Schwerstölen oder Bitumen aus den bekannten Ölsand- oder Ölschiefervorkommen muss deren Fließfähigkeit erheblich erhöht werden. Dies kann durch Temperaturerhöhung des Vorkommens (Reservoirs) erreicht werden. Wird dazu eine induktive Heizung verwendet, tritt das Problem auf, dass die elektrischen Hin- und Rückleiter zur Speisung der in das Reservoir eingebrachten Induktoren, unbeabsichtigt auch das Deckgebirge heizen. Die damit im Deckgebirge deponierte Heizleistung stellt Verluste auf Kosten der Reservoir-Heizung dar, die es zu vermeiden gilt.

Die Erhöhung der Fließfähigkeit kann zum einen durch Einbringen von Lösungs- bzw. Verdünnungsmitteln und/oder zum anderen durch Aufheizen bzw. Aufschmelzen des Schwerstöl oder Bitumens erfolgen, wozu mittels Rohrsystemen, welche durch Bohrungen eingebracht werden, eine Beheizung erfolgt.

30

Das am weitesten verbreitete und angewendete In-Situ-Verfahren zur Förderung von Bitumen oder Schwerstöl ist das SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)-Verfahren. Dabei wird Wasserdampf, dem Lösungsmittel zugesetzt sein können, unter hohem Druck durch ein innerhalb des Flözes horizontal verlaufendes Rohr eingepresst. Das aufgeheizte, geschmolzene und vom Sand oder Gestein abgelöste Bitumen oder Schwerstöl sickert zu einem zweiten etwa 5 m tiefer gelegenen Rohr, durch

35

das die Förderung des verflüssigten Bitumens oder Schwerstöl erfolgt, wobei der Abstand von Injektor und Produktionsrohr abhängig von Reservoirgeometrie ist.

5 Der Wasserdampf hat dabei mehrere Aufgaben gleichzeitig zu erfüllen, nämlich die Einbringung der Heizenergie zur Verflüssigung, das Ablösen vom Sand sowie den Druckaufbau im Reservoir, um einerseits das Reservoir geomechanisch für Bitumentransport durchlässig zu machen (Permeabilität) und andererseits die Förderung des Bitumens ohne zusätzliche Pumpen  
10 zu ermöglichen.

Das SAGD-Verfahren startet, indem für typischerweise drei Monate durch beide Rohre Dampf eingebracht wird, um zunächst  
15 möglichst schnell das Bitumen im Raum zwischen den Rohren zu verflüssigen. Danach erfolgt die Dampfeinbringung nur noch durch das obere Rohr und die Förderung durch das untere Rohr kann beginnen.

20 In der nichtvorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung AZ. 10 2007 008 292.6 mit älterem Zeitrang wird bereits angegeben, dass das dazu üblicherweise verwendete SAGD-Verfahren mit einer induktiven Heizvorrichtung komplettiert werden kann. Des Weiteren wird in der nichtvorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung AZ. 10 2007 036 832.3 mit älterem Zeitrang  
25 eine Vorrichtung vorbeschrieben, bei der in Fig. 5 parallel verlaufende Induktoren- bzw. Elektroden-Anordnungen vorhanden sind, die oberirdisch an den Oszillator bzw. Umrichter angeschlossen sind.

30

Bei den älteren, nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldungen AZ. 10 2007 008 292.6 und AZ. 10 2007 036 832.3 wird also vorgeschlagen, den Dampfeintrag mit einer induktiven Beheizung der Lagerstätte zu überlagern. Dabei kann gegebenenfalls weiter zusätzlich auch noch eine resistive Beheizung  
35 zwischen zwei Elektroden erfolgen.

Bei den vorbeschriebenen Einrichtungen muss immer die elektrische Energie über einen elektrischen Hinleiter und einen elektrischen Rückleiter geführt werden. Dazu ist ein nicht unerheblicher Aufwand notwendig.

5

Bei den älteren Patentanmeldungen werden einzelne Induktorpaare aus Hin- und Rückleiter oder Gruppen von Induktorpaaren in verschiedenen geometrischen Konfigurationen bestromt, um das Reservoir induktiv zu erhitzen. Dabei wird innerhalb des Reservoirs von einem konstanten Abstand der Induktoren ausgegangen, was bei homogener elektrischer Leitfähigkeitsverteilung zu einer konstanten Heizleistung entlang der Induktoren führt. Beschrieben sind die räumlich eng beieinander geführten Hin- und Rückleiter in den Abschnitten, in denen das Deckgebirge („Overburden“) durchstoßen wird, um dort die Verluste zu minimieren.

Eine Variation der Heizleistung entlang der Induktoren kann, wie in den älteren nicht vorveröffentlichten Anmeldungen beschrieben, speziell durch abschnittsweise Injektion von Elektrolyten erfolgen, womit die Impedanz verändert wird. Dies setzt entsprechend Elektrolytinjektionsvorrichtungen voraus, die aufwendig in die Induktoren zu integrieren sind oder zusätzliche kostspielige Bohrungen erfordern.

25

Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, die vorbeschriebene Einrichtung für eine induktive Beheizung zu optimieren und hinsichtlich des Energieeintrages zu vereinfachen. Daneben soll der Leistungsverbrauch selbst minimiert werden.

30

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Gesamtheit der Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Gegenstand der Erfindung ist eine induktionsbeheizte Anlage, bei der die Hin- und Rückleiter für die Induktorleitungen im Wesentlichen vertikal geführt sind und einen geringen lateralen Abstand von höchstens 10 m haben. Vorzugsweise ist der  
5 Abstand aber geringer als 5 m. Dafür können im Deckgefüge parallele Bohrungen in diesem Abstand vorhanden sein, so dass hierzu Rückleiter einzeln geführt werden. Vorteilhafterweise ist es möglich, von einem einzigen Bohrloch auszugehen, in dem Hin- und Rückleiter gemeinsam geführt werden. Dies hat  
10 den Vorteil, dass im vertikal geführten Bereich praktisch keine elektrische Leistung verbraucht wird, da sich bei den nahe zusammengeführten Leitern die elektromagnetischen Wirkungen kompensieren.

Bei der Erfindung können also Hin- und Rückleiter der Induktionsleiter separate, lateral nebeneinander geführte Leitungen sein. Sie können auch miteinander verseilte Leitungen und insbesondere auch Koaxialleitungen bilden. Insbesondere derartige Koaxialleitungen können in einem eng daran angepassten  
20 Bohrloch geführt werden.

Insbesondere bei letzterer Ausbildung ist am Ende der zusammengeführten Leitungen eine Verzweigung (sog. Y-Junction) vorhanden. Die davon abgehenden, horizontal geführten Induktorleitungen können in gleiche, aber auch in entgegengesetzte  
25 Richtungen verlaufen.

In erfinderischer Weiterbildung können die in der Lagerstätte horizontal verlaufenden Induktorleitungen bereichsweise unterschiedliche Abstände haben. Insbesondere können dadurch  
30 Verluste vermieden werden, indem in Bereichen, in denen keine induktive Heizung notwendig und/oder erwünscht ist, die Leitungen wiederum eng parallel geführt werden, so dass keine unnötige Heizleistung verbraucht wird.

Bei der Erfindung ergeben sich unterschiedlichste Merkmalskombinationen bzw. Möglichkeiten einer erfinderischen Weiterbildung. Die wesentlichen Weiterbildungen sind nachfolgend im Einzelnen aufgeführt:

5

1. Die in einem Leitungspaar zusammengefassten senkrecht verlaufenden Hin- und Rückleiter lassen sich - wie bereits erwähnt - vorteilhafterweise in eine einzige Bohrung, die bis ins Reservoir hinabreicht, einbringen, um erst im Reservoir zu verzweigen (,Y-Junction'). Dabei kann das Hin-/Rückleiterpaar verseilt oder koaxial ausgeführt sein und einzeln oder zusammen - in einer zusammenhängenden Isolation - isoliert sein. Die Verwendung eines einzigen Bohrlochs, das ins Reservoir hinabreicht, ist auch für mehrer Hin-/Rückleiterpaare möglich.

15

Daneben ist mit der Erfindung eine spezialisierte, auf den jeweiligen Abschnitt optimierte Ausführung der Leiteranordnung möglich. Dabei kann ein erster Abschnitt - vom Oszillator bis zur Verzweigung - beispielsweise durch HF-Litzenleiter besonders verlustarm ausgeführt werden, bei evtl. verringerter Anforderung an die Temperaturbeständigkeit. Ein zweiter Abschnitt wird durch den als Induktor wirksamen einzeln isolierten Leiter gebildet. Dabei sind erhöhte mechanische Anforderungen zur Installation und erhöhte thermische Anforderung zum Betrieb zu berücksichtigen, während geringe ohmsche Leiterverluste nachrangig sind. Ein dritter Abschnitt wird durch die Elektrode gebildet, einem nichtisolierten Leiterende, das aufgrund seiner Länge und z. B. mittels umgebenden Salzwassers einen geringen Übergangswiderstand zum Reservoir aufweist. Derartige Maßnahmen (,Saline injected regions at non-isolated tips') sind bekannt und stellen damit eine niederohmige Erdung dar.

20

25

30

Um die Aufsummierung des induktiven Spannungsabfalls entlang der gesamten Leiterlänge zu verhindern, wird auch hier vorteilhafterweise ein kompensierter Leiter mit einem resonanten Leitersystem und einem Serienresonanzkreis - wie in den oben  
5 angegeben älteren Patentanmeldungen beschrieben ist - verwendet.

Die Verwendung kompensierter Leiter ist im Abschnitt der im Reservoir geführten Induktorenleitungen aufgrund seiner Länge  
10 und des meist großen Abstands ( $> 5$  m) zwischen den Induktoren zwingend notwendig. In den Abschnitten I und III kann u. U. auf kompensierte Leiter verzichtet werden, wenn die Abschnitte kurz ( $< 20$  m) sind bzw. der Abstand zwischen Hin- und Rückleiter sehr gering ( $< 0,5$  m) ist. Sehr geringer Abstand,  
15 und damit verbunden geringe Induktivitätsbelag des Leitungsabschnitt liegt insbesondere bei verseilten oder koaxialen Hin- und Rückleitern vor.

2. Bei der Erfindung werden Leistungsgeneratoren benötigt.  
20 Eine günstige Ausführungsform von Leistungsgeneratoren in dem betrachteten Frequenzbereich sind Stromrichter - wie in oben erwähnten deutschen Patentanmeldung AZ 10 2007 008 292.6 im Einzelnen beschrieben ist. Stromrichter liefern neben der Leistung bei der Grundfrequenz (Schaltfrequenz) erhebliche  
25 Anteile höhere Harmonischer, d.h. Leistung bei ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz. Im Rahmen vorliegender Erfindung wird in einer spezifischen Weiterbildung vorgeschlagen, mehre benachbarte Hin-/Rückleiterpaare, die überwiegend bei der Grundfrequenz resonant sind, und einige, die bei Harmonischen resonant sind, parallel an einem oder einer Gruppe von  
30 Umrichtern zu betreiben, so dass die Leistung der Umrichter auch bei den höheren Harmonischen genutzt wird. Wegen der unmittelbaren Nähe der Einspeisepunkte sind dazu besonders die multi-lateralen Bohrungen geeignet.

3. Wesentlich sind bei der Erfindung die Zuordnung und Ausbildung der Induktorleitungen. Der einzelne kompensierte Induktor besteht aus abschnittsweise sich wiederholenden, kapazitiv verkoppelten Leitergruppen, deren Induktivitäts- und Kapazitätsbeläge sowie Länge die Resonanzfrequenz festlegt. Im vorliegenden Zusammenhang werden solche Leiterquerschnittskonfigurationen vorgeschlagen, deren Stromdichteverteilungen auf beiden Leitern rotationssymmetrisch oder annähernd rotationssymmetrisch zur Induktorachse sind. Dies ist bereits Gegenstand der älteren nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung der Anmelderin AZ 10 2008 012895.4.

4. Alternativ können die beiden endseitig geerdeten Induktoren in unterschiedliche, beispielsweise entgegen gesetzte Richtungen auseinanderstreben. Weiterhin wird vorgeschlagen, die Induktoranordnung periodisch in x-Richtung und/oder periodisch in y-Richtung fortzusetzen. In spezifischer Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, die Stromamplituden und Phasenlage benachbarter Generatoren einstellbar zu machen, wozu ein Array aus Induktorleitungen und Generatoren geeignet ist.

5. Das Array von Induktoren entsprechend Pkt. 4 ist geeignet, das Reservoir großräumig zu beheizen. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, mehrere Injektions- und Produktionsröhren senkrecht zur Orientierung (und unterhalb) der Induktoren anzuordnen. Demzufolge brauchen die Induktoren nicht wie bisher meist beschrieben parallel zu den Produktions- und Injektionsrohren verlaufen, sondern unter einem Winkel, im speziellen senkrecht zum Produktionsrohr orientiert - d.h. in Querrichtung. Dies erlaubt eine Variation der Heizleistung entlang der Produktionsrohre und insbesondere einen frühzeitigen Förderbeginn, da an den Kreuzungspunkten von Induktoren und Produktionsrohren der Abstand zwischen diesen sehr gering ist. Dabei ist die senkrechte Orientierung nur der Spezialfall. Dieselben Vorteile ergeben sich bereits auch unter kleineren Winkel zwischen Induktoren und Produktionsrohren.

6. Wenn eine Kühlung der Induktoren mittels z. B. Salzwasser nicht erforderlich ist, kann Salzwasser alternativ mittels senkrechter Bohrungen an die zu erdenden Induktorenden, d.h. Elektrodenabschnitte, eingebracht werden. Weiterhin können  
5 Kühlmedium und Elektrolyt (Salzwasser) unterschiedliche Flüssigkeiten sein. Das Kühlmedium kann im Induktor zirkulieren (z. B. koaxial verlaufende Hin- und Rückleitungen für das Kühlmedium) und in einem geschlossenen Kühlkreis mit Wärmetauscher umgewälzt werden. Hierzu wird nochmals auf die ältere  
10 Anmeldung AZ 10 2007 008 292.6 verwiesen.

7. Die Salzwasserinjektion zur besseren Erdung einer Zeile eines Induktor-Arrays entsprechend Pkt.6 kann alternativ mittels eines stellenweise geschlitzten Rohres, das durch eine  
15 Horizontalbohrung eingebracht wird und senkrecht zu den Induktoren orientiert ist, für mehrere Induktoren gemeinsam erfolgen.

Alternativ können im Rahmen der Erfindung die Elektrodenabschnitte auch in wasserführende Schichten außerhalb des Reservoirs (oberhalb oder unterhalb) geführt werden, um eine elektrisch gut leitenden Verbindung zum umliegenden Erdreich zu realisieren, was mit geringerem apparativen Aufwand möglich ist. Vielfach sind wasserführende Schichten in Over-  
25 und/oder Underburden enthalten.

In erfinderischer Weiterbildung wird weiterhin vorgeschlagen, den Abstand von Hin- und Rückleiter eines kapazitiv kompensierten Induktors innerhalb des Reservoirs abschnittsweise zu  
30 variieren. Die Abstandsänderung verursacht abschnittsweise unterschiedliche Induktivitätsbeläge der Doppelleitung. Es wird vorgeschlagen, die Variation des Induktivitätsbelages durch angepasste Resonanzlängen und/oder durch angepasste Kapazitätsbeläge, beispielweise durch unterschiedliche Dielektrikumsdicken, bei konstanten Resonanzlängen auszugleichen.  
35 Es ist auch möglich, die Variation des Induktivitätsbelages durch eine Kombination aus Kapazitätsbelagsänderung und Anpassung der Resonanzlängen auszugleichen.

Die Verlegung von abstandsoptimierten Induktoren im Reservoir kann nunmehr angepasst an die geologischen Gegebenheiten im Reservoir bereits zu Beginn der Förderung erfolgen. Sie kann  
5 gegebenenfalls als Nachrüstung für bestehende bereits fördernde Produktions- und Dampf-injektionsrohrpaare erfolgen.

Die Verlegung eines abstandsoptimierten Induktors kann auch zusätzlich zu bereits vorhandenen Induktoren erfolgen. Dabei  
10 kann eine elektrische Verschaltung mit Hin- oder Rückleitern früher verlegter Induktoren erfolgen, wobei der Betrieb bei der Serienresonanz durch Frequenzanpassung am Generator/Umrichter erfolgen kann. Die Abstandsvariation kann in vertikaler und/oder horizontaler Richtung erfolgen, womit eine An-  
15 passung der Heizleistungsverteilung an die Reservoirgeometrie möglich ist.

Mit letzterer erfinderischer Weiterbildung ergibt sich vorteilhafterweise eine Homogenisierung der Heizleistung entlang  
20 der Induktoren für abschnittsweise unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten durch Abstandsanpassung. Dabei kann eine Induktorverlegung derart erfolgen, dass groß ausgebildeten Dampf-kammern horizontal und/oder vertikal ausgewichen wird.

Durch die angegebene erfinderische Weiterbildung ist eine Vermeidung der Durchdringung der vielfach am Anfang des In-  
25 jektionsrohres ausgebildeten Dampf-kammer durch nach vorne verlagertem bzw. und/oder unter einem stumpferen Winkel als  $90^\circ$  nach unten verlaufenden Induktors möglich. Gegebenenfalls  
30 kann dabei die Installation des Oszillators im Endbereich des Injektions- und Produktionsrohrpaars erfolgen.

Die neue Anlage hat gegenüber den vom Stand der Technik vor-  
bekannten und auch gegenüber den in den älteren, nicht vorver-  
35 öffentlichten Patentanmeldungen vorbeschriebenen Anlagen bzw. Vorrichtungen erhebliche Vorteile. Diese sind im Einzelnen:

Zu 1: Die Magnetfelder der in geringem Abstand geführten entgegengesetzt bestromten Hin- und Rückleiter kompensieren sich nahezu vollständig, so dass bereits in unmittelbarer Umgebung im Deckgebirge (,Overburden') nur noch kleine Wirbelströme induziert werden und damit die Verlustleistung drastisch reduziert wird. Dabei ist die koaxiale Ausführung von Hin- und Rückleiter aus Verlustleistungssicht ideal, erfordert jedoch erhöhten Aufwand an der Verzweigung. Bei der koaxialen Anordnung ist die Umgebung vollständig feldfrei. Dies erlaubt insbesondere auch die Verwendung von elektrisch leitfähigen und magnetischen Werkstoffen (Stahl) für eine Umhüllung des Hin-/Rückleiterpaares bzw. einer Auskleidung der Bohrung mit Stahlrohren im Abschnitt des Leiterpaares. Weiterhin wird eine Bohrung eingespart. Weiterhin wird die Abstrahlung elektromagnetische Wellen erheblich reduziert und die Schirmung des Oszillators am Einspeisepunkt kompakter bzw. erleichtert, was den Expositionsbereich, in dem sich kein Betriebspersonal aufhalten darf, verkleinert.

Zu 2: Es ergibt sich eine beachtliche Einsparung an Bohrungen unter Beibehaltung des unter Pkt. 1 angegebenen Vorteils. Die dazu benötigte Bohrtechnik ist zwischenzeitlich entwickelt und als ,multi-lateral drilling' bekannt. Weiterhin kann ein Oszillator aufgrund der räumlichen Nähe wechselweise an verschiedenen Induktoren betrieben werden, bzw. mehrere Oszillatoren zeitweise, z. B. in während der Vorheizphase, auf einen Induktor zusammengeschaltet werden. Wiederum verringert sich der Schirmungsaufwand, wenn mehrerer Oszillatoren in einer Schirmkabine betreiben werden können.

30

Zu 3: Die Erdung der Leiterenden führt zum elektrischen Schließen der Leiterschleife, ohne dass eine direkte elektrische Verbindung der Leiterenden notwendig wird. Damit erfordert die Leiterkonfiguration keine besonderen Bohrtechniken, sondern kommt mit den vorhandenen Standardbohrtechniken aus. Der isolierte Induktor-Abschnitt hält den Strom im Leiter und verhindert den vorzeitigen Kurzschluss über das Reservoir,

35

was eine gleichmäßige Verlustverteilung entlang des Induktors ermöglicht. Man kann die Verlustverteilung, die mittels 3d-EM Simulation ermittelbar ist, in der Ebene auf Tiefe des Induktors darstellen. In einem konkreten Beispiel (10 kHz,  
5 707 A rms) verteilen sich die ins Erdreich eingebrachten Verluste wie folgt: 0,3 % beim Hin-/Rückleiterpaar (Abschnitt A), 96,5 % beim Induktor (Abschnitt B) und 3,2 % um die Leiterenden (Abschnitt C).

10 Zu 4: Damit werden Wellenlängeneffekte vermieden, die sonst zu Stromvariationen entlang der Leiter und damit zu entsprechender Variation der Verlustleistungsdichte führen würden.

Zu 5: Die Leistung in den höheren Harmonischen der Umrichter-  
15 generatoren kann zur Reservoirheizung genutzt werden, die anderenfalls als Verluste im Umrichter anfallen würden und diesen sogar zerstören könnten.

Zu 6: Die rotationssymmetrische Stromverteilung liefert, für  
20 den Fall, dass in einem gewissen Radius um die Induktorachse kein Stromdichte vorliegt, ein feldfreies Induktorinneres, das zur Hindurchleitung des Salzwassers oder zur mechanischen Verstärkung des Induktors durch z. B. ein Stahlseil genutzt werden kann, ohne dass dabei im Salzwasser bzw. Stahlseil  
25 Wirbelstromverluste auftreten, d.h. ohne dass eine weitere Erwärmung des Induktors auftritt.

Zu 7: Bei auseinander strebenden Induktoren wie auch bei  
Fortsetzung in x-Richtung und parallel verlaufenden Injekti-  
30 ons- und Produktionsröhren braucht die Induktorlänge nur einen Bruchteil der Länge der Röhren zu haben, was bei Herstellung, Installation (max. Einbringlänge ist von Steifigkeit des Induktors abhängig und evtl. geringer als von Röhren) und Betrieb (Herabsetzung der Spannungsanforderungen an die Generatoren und Herabsetzung der Druckanforderungen zur Salzwasserinjektion) vorteilhaft ist. Die Einstellbarkeit der Pha-  
35

Senlage der Generatoren relativ zueinander erlaubt die Beeinflussung der Rückströme durch das Reservoir und damit der Verlustleistungsdichteverteilung im Reservoir.

5 Zu 8: Die von den Induktoren induzierten elektrischen Felder verlaufen parallel zu diesen und damit bei der vorgeschlagenen Orientierung senkrecht zu den Injektions- und Produktionsröhren. Damit kann eine weitgehende induktive Entkopplung von Induktoren und Röhren erreicht werden, womit Spannungen  
10 auf den Röhren, Wirbelstromheizung in der unmittelbaren Umgebung der Röhren sowie die Beeinflussung bzw. Störung von elektrischer Ausstattung (wie Sensoren) in/an den Röhren verhindert oder zumindest stark vermindert werden.

15 Zu 9: Die Herstellung und die Betriebssicherheit der Induktoren werden vereinfacht, wenn keine Vorrichtung zur Salzwasserleitung vorgesehen werden muss. Andererseits verringert sich die Zahl der zusätzlichen (senkrechten) Bohrungen, die zur Injektion des Salzwassers benötigt wird, wenn die Elektrodenabschnitte dicht zusammengeführt werden.  
20

Zu 10: Die vorzugsweise erfolgende Zusammenfassung von elektrischem Hin- und Rückleiter und Einbringen in eine Bohrung spart in der Praxis erhebliche Bohrkosten.

25

Es kann eine abschnittsweise angepasste Heizleistungsstärke erzeugen werden. In den vorwiegend vertikalen Abschnitten sind Hin- und Rückleiter eng beieinander geführt. Damit können sehr geringe induktive Heizleistungen in der umgebenden  
30 Deckschicht (,Overburden') von beispielsweise nur 2,5 W/m (Fig. 5: Tabelle Zeile 1, Distance 0,25 m) erhalten werden, was wünschenswert ist, da Heizung des Deckschicht nicht beabsichtigt ist. In den Abschnitten 2 bis 7 werden die Hin- und Rückleiter mit verschiedenen Abständen geführt, womit die  
35 Heizleistungsstärke an den jeweiligen Abschnitt angepasst werden kann. Je größer der Abstand desto höher der Heizleistung pro Länge. In Tabelle (Fig. 5) sind Heizleistungen für

ein typisches Reservoir für unterschiedliche Abstände von Hin- und Rückleiter gelistet, die sich bei Bestromung mit 825 A (peak) @ 20 kHz ergeben. Die heutige Bohrtechnik erlaubt die Abstände bis auf 5m zu reduzieren, womit sich eine  
5 Variation der Heizleistung in dem betrachteten Reservoir um den Faktor 80 erzielen lässt (111 W/m mit 5 m Abstand, 8874 W/m mit 100 m Abstand) bei gleicher Bestromung der Abschnitte, was aufgrund der Reihenschaltung zwingend ist. Damit ist eine auf geologischen und fördertechnischen Gegebenheiten des Reservoirs abschnittsweise angepasste Heizleistungseinbringung möglich.  
10

In der Tabelle weiter unten sind die Induktivitätsbeläge einer Doppelleitung aus Hin- und Rückleiter des Induktors angegeben. Diese variieren in Abhängigkeit vom Abstand. Dabei ist der Einfluss unterschiedlicher Reservoir-Leitfähigkeiten sehr gering. Der Induktor als ganzes stellt eine Serienschaltung von Serienresonanzkreisen dar. Ein Serienkreis wird durch den Leitungsabschnitt mit der Resonanzlänge gebildet. Idealerweise sind alle Serienkreise bei derselben Frequenz resonant.  
15  
Damit werden die geringsten Spannungen entlang des Induktors erhalten. Abschnittsweise variierte Abstände führen bei Induktoren konstanter Resonanzlänge zu abschnittsweise unvollständiger Kompensation, was mit erhöhte Anforderungen an die  
20  
Spannungsfestigkeit des Dielektrikum zwischen Filamentgruppen führt, was schlimmstenfalls zu Durchschlägen und Zerstörung des Induktors führen kann. Abhilfe ist zu schaffen, indem die Resonanzlänge und damit die Kapazität dieses Abschnittes an den dort vorliegenden Induktivitätsbelag angepasst werden.  
25

30  
Bei der Erfindung kann der Kapazitätsbelag vorteilhafterweise leicht an den jeweiligen Induktivitätsbelag angepasst werden, womit ohne Änderung der Resonanzlänge wiederum abschnittsweise dieselbe Resonanzfrequenz eingestellt werden kann. Auch  
35  
mit einer Kombination von letzterer Maßnahme kann das Ziel minimaler Spannungsanforderung abschnittsweise erreicht werden.

Wenn die geologischen Gegebenheiten im Reservoir gut bekannt sind, kann darauf abgestimmt die Induktorverlegung mit abschnittsweise an den Heizleistungsbedarf angepassten Abständen erfolgen. Dies kann praktisch zeitgleich mit der Einbringung der Dampf-injektions- und Produktions-Rohre für SAGD erfolgen, so dass die induktive Heizung bereits für die Vorheizphase zur Verfügung steht.

Vorteilhaft kann auch folgende Vorgehensweise sein: Der SAGD-Prozess wird zunächst einige Monate bis Jahre ohne EM-Unterstützung gefahren. Die Dampfkammern sind bereits ausgebildet. Variationen der Dampfkammerausdehnung entlang der Dampf-injektions- und Produktions-Rohre sind im Allgemeinen unerwünscht, da sie zu einem vorzeitigen Dampfdurchbruch in einzelnen Abschnitten führen können („Steam breakthrough region“). Ist ein solcher Dampfdurchbruch erfolgt, kann und Umständen das in den übrigen Abschnitten des Reservoirs noch befindliche Bitumen nicht mehr wirtschaftlich (Steam to Oil Ratio (SOR) < 3) gefördert werden, womit große finanzielle Verluste verbunden sein können. Solche Verluste können vermieden werden, wenn lange bevor ein Dampfdurchbruch erfolgt, die induktive Heizung zur Regulation der Dampfkammerausdehnung genutzt wird. Dazu kann angepasst auf die abschnittsweise erforderliche induktive Zusatzheizleistung die abstandsoptimierte Induktorverlegung erfolgen. Mit dieser Nachrüstlösung kann die Ausbeute bestehender SAGD-Felder erfolgen.

Bei den konkreten Ausführungsbeispielen mit den zugehörigen Figuren weiter unten sind die Induktoren innerhalb des Reservoirs in derselben Tiefe dargestellt und die Abstandsänderung wird ausschließlich in horizontaler Richtung bewerkstelligt. Eine Verlegung von Hin- und Rückleiter eines Induktors kann auch in unterschiedlichen Tiefen erfolgen, wenn die damit erzielte Heizleistungsverteilung und/oder die Verlegung der Induktorleitungen damit günstiger werden, beispielsweise aufgrund geringerer Bohrkosten, die sich wegen weicheren Gesteinsformationen oder anderer geologischer Randbedingungen ergeben können.

Liegen abschnittsweise unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten im Reservoir vor, so kann die Heizleistungsdichte homogenisiert werden, indem der Induktorabstand angepasst wird. In Tabelle ist dazu ein Beispiel angegeben. Sollen 5 4 kW/m in einem Reservoir-Abschnitt mit spezifischem Widerstand von 555 Ohm\*m eingebracht werden, hat bei dieser Beispielgeometrie der Induktorabstand 50 m zu betragen. Beträgt die elektrische Leitfähigkeit in einem anderen Abschnitt des 10 Reservoirs nur die Hälfte, so ist der Induktorabstand auf 67 m zu erhöhen, um wiederum 4 kW/m Heizleistung einzubringen.

In bestimmten Sektionen können Hin- und Rückleiter vorteilhafterweise eng beieinander geführt werden, wenn dort nur geringer Heizleistungsdichten erforderlich sind. Damit verlaufen Hin- und Rückleiter eventuell durch die Dampfkammer und sind den dort herrschenden hohen Temperaturen (beispielsweise 200°C) ausgesetzt, was zu vorzeitigen Alterung des Induktors 20 und damit zur Verringerung der Lebensdauer führen kann. Dies kann vermieden werden, wenn wie in Sektion VI dargestellt, der Bereich der Dampfkammer horizontal und/oder vertikal umgangen wird.

Vielfach wächst beim SAGD-Verfahren am Beginn des horizontalen Abschnitts die Dampfkammer schneller als in den weiter vorne liegenden Abschnitten, da die Dampftemperatur nahe des Einleitungspunkts, am heißesten ist und der Dampfdruck am höchsten ist. Das führt vielfach zur Ausbildung einer großen 30 Dampfkammer. Daher kann es sinnvoll sein dort auf eine zusätzliche induktive Heizung zu verzichten, auch um vorzeitige Dampfdurchbrüche zu vermeiden. Dazu kann der Oszillator nach vorne verlagert werden, so dass der Induktor die Dampfkammer am Beginn nicht zu durchlaufen braucht.

Gleiches kann erreicht werden, wenn der Induktor unter einem stumpferen Winkel nach unten geführt wird, wenn der Oszillator weiterhin nahe der Injektions- und Produktionsrohre installiert werden soll. Vorteilhaft ist, dass Induktorlänge und damit verbundene Bohrkosten eingespart werden können.  
5 Weiterhin wird die vorzeitige Alterung des Induktors im Bereich der ersten Dampfkammer vermieden.

Bei der Erfindung sind Induktoranordnungen möglich, bei der die Schleife unterirdisch geschlossen ist, was mit weiterentwickelten Bohrtechniken erfolgen kann. Der Oszillator kann dabei wie dargestellt im Endbereich des Rohrpaares installiert werden oder wie in den vorigen Figuren in der Nähe des Anfang der Rohrpaare (sog. Well-Heads). Die unterirdisch geschlossenen Leiterschleife mit Aussparung der Dampfkammer spart  
10 Induktorlänge und damit Kosten.  
15

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen.  
20

Es zeigen jeweils in schematischer und teilweise perspektivischer Darstellung  
25

Figur 1 eine Ölsand-Lagerstätte aus mehreren Elementarbereichen mit mehreren Leiteranordnungen zur induktiven Reservoir-Heizung und einem Förderrohr,  
Figur 2 eine Leiteranordnung zur induktiven Reservoir-Heizung mit geerdeten Induktoren,  
30 Figur 3 eine Anordnung entsprechend Figur 2 mit abschnittsweise verschiedenen Abständen der Induktorleitungen,  
Figur 4 die Aufsicht einer Induktoranordnung gemäß Figur 3 mit acht Sektionen unterschiedlicher Leiterabstände,  
35 Figur 5 den schematischen Aufbau eines kompensierten Induktors mit verteilten Kapazitäten,  
Figur 6 den Querschnitt eines Multifilamentleiters mit zwei Filamentgruppen,

Figur 7 eine Aufsicht auf eine Anordnung mit einer groß ausgebildeten Dampfkammer am Anfangsabschnitt des Injektionsrohres und einer davon verlagerten Oszillatorposition,

5 Figur 8 eine von Figur 7 abgewandelte Aufsicht mit Oszillatorposition im Endbereich des Rohrpaars und unterirdisch geschlossener Leiterschleife,

Figur 9 eine Anordnung zur induktiven Reservoir-Heizung mit in entgegen gesetzten Richtungen verlaufenden und geerdeten Induktoren und

10

Figur 10 einen Ausschnitt aus einem zweidimensionalen Induktor-Oszillator-Array mit abschnittsweise zusammengeführten Elektrodenabschnitten zwecks Erdung.

15 Bei den einzelnen Figuren haben gleiche Elemente gleiche bzw. sich entsprechende Bezugszeichen. Die Figuren werden teilweise gemeinsam beschrieben.

In den dreidimensionalen Darstellungen eines Flözes mit Ölreservoir entsprechend den Figuren 1 bis 3 sowie 6, 9 und 10 bedeutet 100 jeweils eine Elementareinheit des Reservoirs, das jeweils für die Einzelbeschreibungen der weiteren Figuren betrachtet wird. Eine solche Elementareinheit ist in beide horizontale Richtungen des Flözes beliebig wiederholbar.

25

Letzteres geht beispielsweise aus der Figur 1 hervor: Ein unter Tage liegendes Ölsand-Vorkommen (Flöz) bildet das Reservoir, wobei sich hintereinander bzw. nebeneinander sich Elementareinheiten 100 einer Länge  $l$ , Höhe  $h$  und Dicke  $w$  ergeben. Über dem Reservoir 100 befindet sich eine Deckgebirgsschicht 105 („Overburden“) mit Dicke  $s$ . Entsprechende Schichten („Underburden“) befinden sich unter dem Reservoir 100, sind aber in Figur 1 nicht im Einzelnen gekennzeichnet.

30

35 Beim bekannten SAGD-Verfahren sind auf dem Grund des Reservoirs 100 im Wesentlichen übereinander ein Injektionsrohr zum Einbringen von Dampf, durch den die Viskosität des Bitumens oder Schwerstöls erniedrigt wird, und ein Förder- bzw. Pro-

duktionsrohr vorhanden. Das Produktionsrohr ist in Figur 1 mit 102 bezeichnet, während ein Injektionsrohr hier nicht dargestellt und gegebenenfalls auch überflüssig ist. Bereits vorgeschlagen wurde, zur elektrischen Beheizung des Reser-  
5 voirs 100 Leitungen und/oder Elektroden vorzusehen. Speziell zur induktiven Beheizung sind in Figur 1 die Leitungen als Induktorleitungen 10, 20 ausgeführt. Die Induktorleitungen 10, 20 sind im Reservoir 100 im vorgegebenen Abstand  $a_1$  im Wesentlichen parallel und horizontal geführt.

10

Wesentlich ist in Figur 1 dass Produktionsrohr 102 und Induktorleitungen 10, 20 nicht in gleiche Richtung verlaufen, sondern insbesondere einen rechten Winkel bilden. Es können auch andere Winkel, d.h. Orientierungen von Induktorleitungen und  
15 Produktionsrohren, vorliegen. Damit lässt den geologischen Randbedingungen Rechnung tragen.

Den sich wiederholenden Einheiten 100 ist jeweils ein Oszillatoreinheit 60, 60', ... als HF-Leistungsgenerator über Tage zugeordnet, von denen die elektrische Leistung erzeugt wird und über Hin- und Rückleiter in die Induktoren eingespeist  
20 wird. Dazu müssen Hin- und Rückleiter durch das Deckgebirge senkrecht in das Reservoir geführt werden. Sofern der Abstand  $a_2$  von Hin- und Rückleiter im vertikalen Bereich möglichst gering ist und  $a_1 > a_2$  gilt, erfolgt keine Beheizung und es  
25 wird Energie eingespart.

In Figur 1 sind dafür zwei Bohrungen 12, 12' vorhanden, die einen Abstand von weniger als 10 m haben. Dies ist gering im  
30 Vergleich zu den Dimensionen des Reservoirs und insbesondere der Länge der Induktorleitungen 10, 20. In der einen Bohrung wird der Hinleiter und in der anderen Bohrung der Rückleiter geführt, wobei im Reservoir beim Übergang zu den Induktorleitungen eine Aufweitung auf einen mehrfachen Abstand vorgenommen  
35 wird.

Statt in separaten parallelen Bohrungen können Hin- und Rückleiter auch in einer einzigen Bohrung geführt werden, womit

sich die Möglichkeit eines noch geringeren Abstandes ergibt. In einem einzigen Bohrloch können die Hin- und Rückleiter miteinander verseilt werden oder auch ein Koaxialkabel bilden, das im Reservoir verzweigt wird.

5

In den Figuren 1, 2 sowie 6 bis 8 ist jeweils ein Koordinatensystem mit den Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  eingezeichnet, das die bergmännische Orientierung erleichtert. Das Koordinatensystem kann auch eine andere Orientierung haben.

10

Speziell anhand Figur 2 ist verdeutlicht, dass unterhalb des Erdbodens zunächst ein Bereich 105 mit Deckgebirge, anschließend eine Lagerstätte mit einem Reservoir 100 an Bitumen und/oder Schwerstöl und darunter ein für Öl undurchlässiger Bereich 106, das so genannte Grundgebirge, folgen. Solche Boden- bzw. Gesteinsformationen sind für Ölschiefer- bzw. Ölsandlagerstätten typisch.

15

Gemäß Figur 2 wird von einem Oszillator 60 als Hochfrequenzgenerator, der über Tage steht, elektrische Energie in die Lagerstätte 100 hineingebracht. Dafür ist in diesem Fall eine einzige Vertikalbohrung 12 vorhanden, die bis in den Bereich des Reservoirs 100 verläuft und dort in zwei horizontale Bohrungen übergeht, die nicht im Einzelnen gekennzeichnet sind. Von außerhalb des Deckgebirges sind weiterhin Mittel zum Einbringen von in Wasser gelöstem Salz (so genannte Saline) vorgesehen, welche geeignete Leitfähigkeitseigenschaften haben.

20

25

In die Vertikalbohrung 12 ist ein Leiterpaar mit einem gemeinsamen elektrischen Hin- und Rückleiter 5 eingebracht, wobei die endseitigen Enden von Hin- und Rückleiter mit dem Oszillator 60 als Energiewandler verbunden sind. Die anderen Enden verlaufen bis zum Reservoir 100.

30

Beim Erreichen des Reservoirs 100 verzweigt sich das Hin-/Rückleiterpaar 5. Dafür ist eine so genannte Y-Verzweigung 25 vorhanden. Von der Y-Verzweigung 25 ausgehend verlaufen im Reservoir 100 die Induktorleitungen 10 und 20 horizontal und

35

parallel im Reservoir 100 und bis in den Bereich der salzin-  
jizierten Region, in welchem die Leitungen 10 und 20 nicht  
isoliert sind und als elektrische Induktoren wirken. Insbe-  
sondere im Bereich der Induktorleitungen 10, 20 soll sich al-  
5 so die Induktionsheizung ausbilden.

Mit einer solchen Einrichtung wird die Verlustleistung erheb-  
lich reduziert, da sich die Magnetfelder der in geringem Ab-  
stand geführten entgegengesetzt bestromten Hin- und Rücklei-  
10 ter sich im Bereich A nahezu vollständig kompensieren. Das  
zusammengefasste Hin- und Rückleiterpaar kann beispielsweise  
als Koaxialleitung 5 ausgebildet sein. Insbesondere bei der  
koaxialen Anordnung ist die Umgebung eines solchen Leiterpaa-  
res vollständig feldfrei. Dies erlaubt dann die Verwendung  
15 von elektrisch leitfähigen und magnetischen Werkstoffen für  
eine Umhüllung des Hin-/Rückleiterpaares bzw. einer Einfas-  
sung der vertikalen Bohrung 12 mit Stahlrohren.

Die Ausbildung der Y-Verzweigung 25 erfolgt in elektrotech-  
20 nisch bekannter Art und Weise, auf die im vorliegenden Zusam-  
menhang nicht näher eingegangen wird.

Da die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen im Bereich des  
senkrechten Bohrloches 12 erheblich reduziert ist, kann die  
25 Schirmung des Oszillators 60 am Einspeisepunkt kompakter aus-  
gebildet sein. Dies erweist sich als vorteilhaft für den so  
genannten Expositionsbereich, in dem sich kein Betriebsperso-  
nal aufhalten darf.

30 In den Figuren ist das eigentliche Produktionsrohr mit 102  
angedeutet. Dies ist in üblicher Weise gemäß dem Stand der  
Technik so ausgebildet, dass sich darin das verflüssigte Bi-  
tumen sammelt, wonach es in bekannter Weise abgesaugt wird.

35 Am Ende der beiden Leiter 10 und 20 ergibt sich gemäß Figur 1  
jeweils ein in etwa zylindrischer salzbeeinflusster Bereich  
11/12, der für die elektrische Leitfähigkeit und damit die  
induktive Heizwirkung von besonderer Bedeutung ist. Es wird

damit die Wirkung einer niederohmigen Erdung der Induktoren erreicht, ohne dass diese über eine separate Leiterschleife unter- oder über Tage miteinander verbunden sein müssen.

5 Insgesamt bilden sich in Figur 2 also drei Bereiche aus:  
Die Leitungen 10/20 vom Oszillator 60 bis zur Verzweigung 25 bilden einen ersten Abschnitt A, im Reservoir 100 einen zweiten Abschnitt B und im Endbereich einen dritten Abschnitt C. In den einzelnen Abschnitten A, B und C können vorteilhafterweise unterschiedliche Leiteranordnungen gewählt werden. Bei-  
10 spielsweise sind im ersten Abschnitt A Litzenleiter verwendet. Im zweiten Abschnitt B werden dagegen für die Induktoreitleitungen wirksame isolierte Leiter („isolated single conductor“) verwendet, während im dritten Abschnitt C nicht iso-  
15 lierte Leiterenden vorhanden sind, die Elektroden bilden.

In Figur 3 ist gezeigt, dass bei einer Anordnung entsprechend Figur 1 in diesem Fall geführten Induktionsleitungen 10 und 20 nicht parallel verlaufen brauchen. Vielmehr haben sie abschnittsweise unterschiedliche Abstände  $a_i$ , was den Gegebenheiten der Lagerstätte angepasst werden kann. Sie können je nach den geologischen Bedingungen untereinander Abschnitte für eine induktive Wechselwirkung haben und dort sehr eng geführt sein, so dass sich deren Felder kompensieren. Insbesondere für den Fall, dass in der Lagerstätte 100 eine Gasblase 30 durch den Dampfeintrag mittels SAGD-Verfahren vorhanden ist, die einen so genannte „tauben“ Bereich darstellt und/oder die bereits ausgebeutet ist, kann dort die parallele Anordnung der Leitungen 1/20 um diesen Dampfblasen-Bereich eng herumgeführt werden und sich hinter der Dampfblase 30 wieder erweitern, um die induktive Heizwirkung zu generieren. Am Ende ergibt sich wiederum in bekannter Weise eine Leiterschleife, die insbesondere überirdisch geschlossen wird, was fertigungstechnisch einfach zu erreichen ist.

Eine entsprechende Aufsicht einer solchen Induktoranordnung ergibt sich aus Figur 4. Es sind hier insgesamt acht Sektionen I, II, ..., VIII mit unterschiedlichen Abständen  $a_i$  der Induktorleitungen 10/20 eingetragen. Zu beachten ist, dass für die Sektionen I, II, ..., VIII jeweils separat einzelne Kompensationsmaßnahmen der Leitungen unter Berücksichtigung der veränderten Resonanzlängen durchgeführt werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Induktivitätsbeläge einer Doppelleitung, d.h. Hin- und Rückleiter des Induktors, angegeben. Wie erwähnt variieren diese in Abhängigkeit vom Abstand  $a_i$  zwischen etwa 0,46 und 1,61  $\mu\text{H}/\text{m}$ . Dabei ist der Einfluss unterschiedlicher Reservoir-Leitfähigkeiten sehr gering. Der Induktor als ganzes stellt eine Serienschaltung von Serienresonanzkreisen dar.

Ein Serienkreis wird durch den Leitungsabschnitt mit der Resonanzlänge  $L_R$  gebildet. Idealerweise wären daher alle Serienkreise bei derselben Frequenz resonant. Damit würden die geringst möglichen Spannungen entlang des Induktors erhalten. Abschnittsweise variierende Abstände führen aber bei Induktoren konstanter Resonanzlänge zu einer abschnittsweise unvollständigen Kompensation, was zu erhöhten Anforderungen an die Spannungsfestigkeit des Dielektrikums zwischen Filamentgruppen führt. Unter Umständen kann es ansonsten zu Durchschlägen oder gar zur Zerstörung des Induktors kommen.

Abhilfe kann dadurch geschaffen werden, indem in den einzelnen Abschnitten die Resonanzlänge und damit die Kapazität dieses Abschnittes an den dort vorliegenden Induktivitätsbelag angepasst werden.

Tabelle:

Entfernung der Leiter [m]	Reservoir- Widerstand [ $\Omega$ m]	Heizlei- stungs- rate [W/m]	Induk- tivität (analy- tisch) [ $\mu$ H/m]	Indukti- vität (FEM) [ $\mu$ H/m]	Resonanz- länge @ 20kHz [m]
0.25	555	2.5	0.456	0.456	37.1
5	555	111	1.055	1.055	24.4
10	555	356	1.194	1.193	22.9
15	555	688	1.275	1.273	22.2
50	555	4059	1.516	1.490	20.5
100	555	8874	1.564	1.569*	20.0
100	2*555	6859	1.564	1.608*	19.8
67	2*555	4067	1.574	1.552	20.1

In Spalte 1 der Tabelle ist der Abstand der Induktionsleitun-  
 5 gen in m, in Spalte 2 die Resistivität der des Reservoirs in  
 m, in Spalte 3 die eingebrachte elektrische Leistung in W/m,  
 n Spalte 4 und die Induktivität in  $\mu$ H/m (analytisch und mit-  
 tels FEM berechnet) und in Spalte 6 die Resonanzlänge i m für  
 eine Oszillatorfrequenz von 20kHz aufgetragen.

10

Es ist ersichtlich, dass mit größer werdendem Abstand der In-  
 duktorleitungen die Heizleistungsrate als elektrische Ver-  
 lustleistung ansteigt. In Umkehrung ergibt sich daraus, dass  
 bei vergleichsweise geringem Abstand der Induktorleitungen  
 15 nur eine geringe Verlustleistung anfällt, da sich bei nahe  
 nebeneinander liegenden Leitungen die elektromagnetischen  
 Felder - wie bei dem vertikal geführten Hin- und Rückleiter-  
 paar 5 - weitestgehend kompensieren und damit keine induktive  
 Heizungswirkung entsteht. Dieser Effekt kann bedarfsweise  
 20 ausgenutzt werden. Gleichermaßen ändert sich dabei die Reso-  
 nanzlänge  $L_R$  der Leitung, die entsprechend angepasst werden  
 muss wie es im Einzelnen in der älteren Anmeldung  
 AZ 10 2007 008 282.6 dargestellt ist.

In der Tabelle sind also die für den jeweiligen Abstand von Hin- und Rückleiter angepassten Resonanzlängen gelistet, um abschnittsweise dieselbe Resonanzfrequenz, beispielsweise 20 kHz, zu erhalten. Die relative Änderung der Resonanzlänge ist proportional zu  $1/\sqrt{\text{Induktivitätsbelag}}$ . Dies bedeutet, dass die Resonanzlänge in den vertikalen Abschnitten Induktorabstand von z. B. 0,25 m etwa doppelt so groß ist, wie bei einem nominellen Induktorabstand von 100 m. Entsprechende Änderungen ergeben sich beispielsweise bei einer Resonanzfrequenz von 100 kHz. Im Einzelnen werden Resonanzfrequenzen zwischen 1 und 500 kHz als geeignet angesehen, wobei bei den Berechnungen einerseits 10 kHz und andererseits 100 kHz gewählt wurden.

Wie einleitend bereits erwähnt, ist die Kompensation der Induktorleitungen Gegenstand der älteren Patentanmeldung AZ 10 2007 008 282.6 und dort bereits im Einzelnen beschrieben, worauf hier ausdrücklich Bezug genommen wird. Insbesondere können dazu so genannte Multifilamentleiter entsprechend Figur 5 verwendet werden, wozu wiederum auf die ältere Patentanmeldung AZ 10 2008 036 832.3 verwiesen wird.

In letzterem Zusammenhang wird auf die Figuren 5 und verwiesen: Figur 5 zeigt den schematischen Aufbau der kompensierten Leiter für die Induktorleitungen mit verteilten Kapazitäten und Figur 6 den Querschnitt längs der Linie VI - VI. Die Leitungen werden aus Leitern 51 und 52 gebildet, die entsprechend Figur 6 Multifilament-Leitungen innerhalb einer Isolation 53 bilden. Die Resonanzlänge  $L_R$  kann dabei an den sich sektionsweise ändernden Abstand der Induktorleitungen angepasst werden.

Anhand Figur 7 wird verdeutlicht, dass bei einer Anordnung entsprechend Figur 2 eine beispielsweise besonders groß ausgebildete Dampfkammer 30 am Anfangsabschnitt des Injektionsrohres vorhanden sein kann. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Oszillatorposition, d.h. den Generator 60, über Tage zu

verschieben oder auch im Endbereich des Leiterpaares 10/20 anzuordnen. Die Leitungen werden in diesem Fall mit einer unterirdischen Leiterschleife 15 geschlossen, die auch direkt hinter der Dampfblase angeordnet sein kann.

5

In Figur 7 und 8 sind entsprechende Schemata als Aufsicht dargestellt. Aus diesen beiden Figuren wird insbesondere deutlich, dass das erfindungsgemäße Konzept auch zur Nachrüstung bestehender Bitumen oder Schwerstöl-Förderanlagen geeignet ist. In der Praxis können bestimmte Gebiete von Ölsandlagerstätten bereits mit dem bekannten SAGD-Verfahren ausgebeutet worden sein, wobei sich in den bereits ausgebeuteten Bereichen üblicherweise große Dampfblasen ausbilden. Durch eine Vorrichtung mit „mobilem“ Hochfrequenzgenerator 60 ist es möglich, die Induktoranordnung vom Anfangsabschnitt der Injektions-/Förderrohr-Vorrichtung zu verschieben und nach vorne zu verlagern. Genauso gut ist es möglich, die Oszillatorposition im Endbereich des Rohrpaars vorzusehen. In diesem Fall wird dann die Induktor-Leiterschleife vorteilhafterweise immer unterirdisch geschlossen

In Figur 9 ist eine Anordnung dargestellt, bei der entsprechend Figur 1 eine Vertikalbohrung 12 etwa in der Mitte des gezeigten Reservoirs 100 vorhanden ist. An einem dort befindlichen Oszillator 60 ist wiederum ein Leiterpaar 5 in die Vertikalbohrung 12 eingebracht. Beim Erreichen der Lagerstätte 100 ist nunmehr eine solche Verzweigung 25 vorhanden, bei der die Horizontalleiter 110, 120 diametral in entgegengesetzte Richtungen - also mit größer werdenden Abstand - verlaufen und jeweils dort abschließend über Elektroden 111 und 121 geerdet sind.

Die zugehörige Verteilung der Heizleistung bei dieser Geometrie wurde auch für diesen Fall mittels FEM (Finite Elemente Methoden) berechnet werden und ergab befriedigende Randbedingungen.

35

Es ist bei einer solchen Verlegung der Induktorleitungen auch möglich, die nicht isolierten Leiterenden aus dem Reservoir heraus in Bereiche höherer elektrischer Leitfähigkeit zu führen. Beispielsweise bieten sich dafür wasserführende Schichten außerhalb des Reservoirs, beispielsweise im Overburden oder Underburden an.

In der Figur 10 ist schließlich eine Modifikation einer Anlage gemäß Figur 1b mit Anordnungen gemäß Figur 9 dargestellt, bei der ein zweidimensionales 200 aus einzelnen Induktoren gebildet ist. Die Induktoren sind mit auseinanderlaufenden Leitungen hintereinander und in zwei Reihen nebeneinander dargestellt. Über der Lagerstätte 100 sind dabei ganz entsprechend zwei jeweils zwei Reihen von Oszillatoren 60, 60', 60'', ... vorhanden, von denen jeweils Leiterpaare 5, 5', 5'', ... senkrecht durch das Deckgebirge zur Lagerstätte 100 verlaufen und sich über entsprechende Reihen von Verzweigungen 25, 25', 25'', ... in entgegengesetzte Richtungen abzweigen.

Durch Gegeneinanderschaltungen solcher Anordnungen lässt sich die Verlustleistung minimieren und damit die umgesetzte Heizleistung optimieren.

Spezifisch für das in Figur 10 dargestellte zweidimensionale Array ist, dass es aus einer Vielzahl von Antennen besteht, die in Figur 10 konkret durch die einzelnen Induktorpaare  $110_{ij}/120_{ij}$ , gebildet sind, welche individuell nach Stromamplitude und Phase angesteuert werden können. Dazu ist jedem Induktorpaar ein eigener Generator aus der Gruppe der in Figur 10 dargestellten arraymäßig verteilten Generatoren  $60_{ij}$  zugeordnet.

Insgesamt ist festzuhalten, dass nunmehr die Hin- und Rückleiter der Induktorleitungen im Deckgebirge bis zur Tiefe der Lagerstätte im Wesentlichen vertikal geführt sind und im Vergleich zur Längenausdehnung der Leitungen einen geringem lateralen Abstand  $a$  von höchstens 10 m, insbesondere aber weniger als 5 m haben. Vorzugsweise sind die Induktorleitungen in

der Lagerstätte horizontal geführt und bereichsweise unterschiedliche Abstände haben, womit die Leistungsverteilung veränderbar ist. Werden die im Deckgebirge senkrecht verlaufenden elektrischen Hin- und Rückleiter zu einem Leitungspaar  
5 zusammengefasst, kann das Leitungspaar in einer einzigen Bohrung, die bis in das Reservoir hinabreicht, eingebracht und erst im Reservoir verzweigt werden. Im Deckgebirge entstehen dann keine Leistungsverluste.

## Patentansprüche

1. Anlage zur In-Situ-Gewinnung einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz aus einer unterirdischen Lagerstätte über wenigstens eine aus der Lagerstätte herausführende Produktionsrohrleitung, insbesondere zur Förderung von Bitumen oder Schwerstöl aus einem Reservoir unter einem Deckgebirge, unter Herabsetzung von deren Viskosität, wobei der Produktionsrohrleitung in der Lagerstätte Mittel für eine Induktionsheizung bezüglich der Umgebung der Produktionsrohrleitung zugeordnet sind, die einen elektrischen Hochleistungsgenerator außerhalb des Deckgebirges und Lagerstätte, einen elektrischer Hin- und Rückleiter sowie daran angeschlossene Induktorleitungen beinhalten, dadurch gekennzeichnet, dass die Hin- und Rückleiter (5) der Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) im Deckgebirge (105) bis zur Tiefe der Lagerstätte (100) im Wesentlichen vertikal geführt sind und im Vergleich zur Längenausdehnung der Leitungen einen geringen lateralen Abstand (a) von höchstens 10 m, insbesondere aber weniger als 5 m, haben.
2. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die die Hin- und Rückleiter (5) für die beiden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) in parallelen Bohrungen (12, 12') mit einem Abstand von höchstens 10 m geführt werden.
3. Anlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in den parallelen Bohrungen (12, 12') die Hin- und Rückleiter (5) für die beiden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) als kapazitiv kompensierte Leitungen geführt sind.
4. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die die Hin- und Rückleiter (5) für die beiden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) einen lateralen Abstand von maximal 0,25 m haben und in einer gemeinsam Bohrung (12) geführt sind.
5. Anlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die gemeinsame Bohrung (12) einen Durchmesser  $< 0,5\text{m}$  hat, in dem

die Hin- und Rückleiter (5) für die beiden Induktorleitungen in einem Abstand eng nebeneinander geführt sind.

5 6. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Hin- und Rückleiter (5) für die beiden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) gegeneinander isoliert sind und eine gemeinsame Leitung bilden.

10 7. Anlage nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass Hin- und Rückleiter (5) in der Bohrung (12) gegen- bzw. miteinander verseilt sind.

15 8. Anlage nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass Hin- und Rückleiter (5) in der Bohrung (12) eine Koaxialleitung bilden.

20 9. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der einzigen Bohrung (12) mehrere Leiterpaare ( $5_i$ ) aus Hin-/Rückleiter für die Induktorleitungen ( $10_i / 20_i$ ;  $110_i / 120_i$ ) geführt sind.

25 10. Anlage nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das zusammengefasste Leitungspaar (5) aus Hin- und Rückleiter für die Induktorleitungen (10, 20) im Reservoir (100) verzweigt wird.

11. Anlage nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verzweigung ein so genanntes Y-Junction (25) gebildet wird.

30 12. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vom Oszillator (60) bis zum Reservoir (100) ein erster Abschnitt (A), im Reservoir ein zweiter Abschnitt (B) im Reservoir und im Endbereich mit Leiterschleife (15) und/oder Saline (11, 21) ein dritter Abschnitt (C) gebildet wird.

35 13. Anlage nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass in den einzelnen Abschnitten (A, B, C) jeweils ein un-

terschiedlicher Aufbau der Leiter (5; 10, 20; 11, 21; 110, 120) gewählt sind.

14. Anlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass im  
5 ersten Abschnitt (A) Litzleiter für das Hin-/Rückleiterpaar (5) verwendet werden.

15. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im  
10 zweiten Abschnitt (B) für die Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) wirksam isolierte Leiter („isolated single conductor“) verwendet werden.

16. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im  
15 zweiten Abschnitt (B) für die Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) kapazitiv kompensierte Leiter verwendet werden.

17. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im  
20 dritten Abschnitt (C) nicht isolierte Leiterenden vorhanden sind, die Elektroden (11, 21) zum Salinenbereich bilden.

18. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Elektroden (11, 21) zusammen mit Salzanreicherungen einen elektrische Schleife bilden.

25 19. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die nicht isolierte Leiterenden (11, 21) vom Reservoir (100) in Schichten höherer elektrischer Leitfähigkeit, beispielsweise zu wasserführenden Schichten außerhalb des Reservoirs (100) geführt werden.

30 20. Anlage nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende von Abschnitt A die Induktorleitungen (110, 120) in die gleiche Richtung verlaufen.

35 21. Anlage nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende von Abschnitt A die Induktorleitungen (110, 120) in entgegengesetzte Richtung verlaufen.

22. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die im Reservoir (100) horizontal verlaufenden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) untereinander bereichsweise unterschiedliche Abstände ( $a_i$ ) haben.

5

23 Anlage nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass bei den Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) im Reservoir (100) jeweils Sektionen (I - VIII) mit angepasster Resonanzlänge ( $L_R$ ) gebildet sind, derart dass alle Sektionen bei derselben

10 Frequenz resonant sind.

24. Anlage nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass „taube“ bzw. ausgebeutete Gebiete der Lagerstätte (100), beispielsweise Bereiche mit einer Dampfblase (30), von den Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) jeweils paarweise umgangen

15 werden.

25. Anlage nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Induktorleitungen (10, 20; 110, 120) im umgange-  
nem Gebiet eng geführt sind und sich deren elektromagnetischen Fel-  
der somit kompensieren und der Heizleistungseintrag gering

20 ist.

26. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Array (160) von Leiterpaaren ( $110_i$ ,  $120_i$ ) und Leistungsgeneratoren ( $60_{ij}$ ) gebildet ist.

25

27. Anlage nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Leistungsgenerator ( $60_{ij}$ ) ein Leiterpaar ( $110_i$ ,  $120_i$ ) zugeordnet ist.

30

28. Anlage nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Array (160) mit der Ausrichtung der Leitungspaare (110, 120) in einem vorgegebenen Winkel zur Richtung der Förderrohre ( $102_i$ ), insbesondere quer dazu, angeordnet ist.

35

29. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Leistungsgenerator (60) für mehrere Leitungspaare ( $110_i$ ,  $120_i$ ) verwendbar ist.

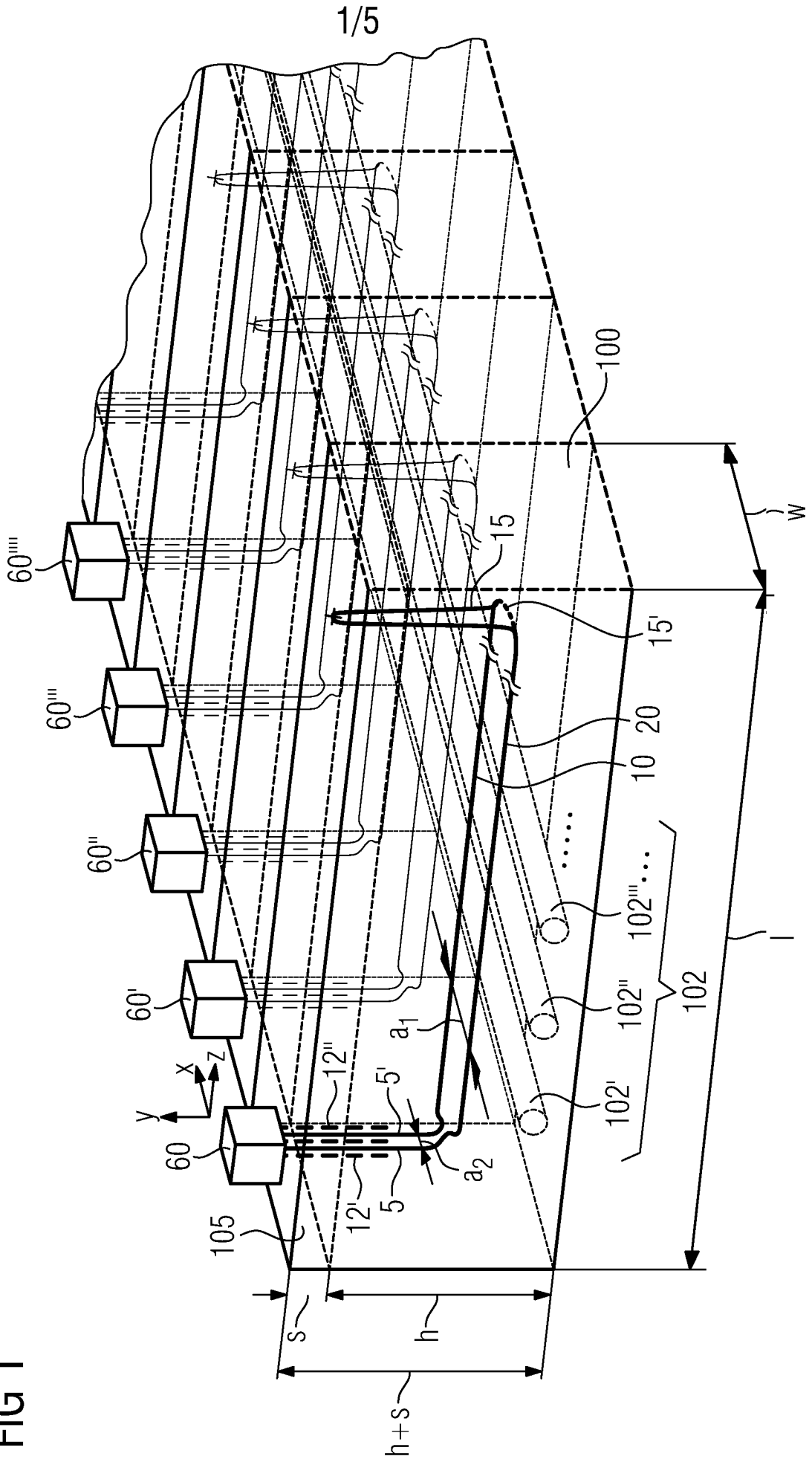
5 30. Anlage nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsgeneratoren ( $60_{ij}$ ) des Arrays (160) umschaltbar sind.

10 31. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsgeneratoren Hochfrequenz-Oszillatoren ( $60_{ij}$ ) sind, die elektrische Leistung mit Frequenzen zwischen 1 und 500 kHz erzeugen

15 32. Anlage nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz ca. 10 kHz ist.

33. Anlage nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz ca. 100 kHz ist.

FIG 1



1/5

FIG 2

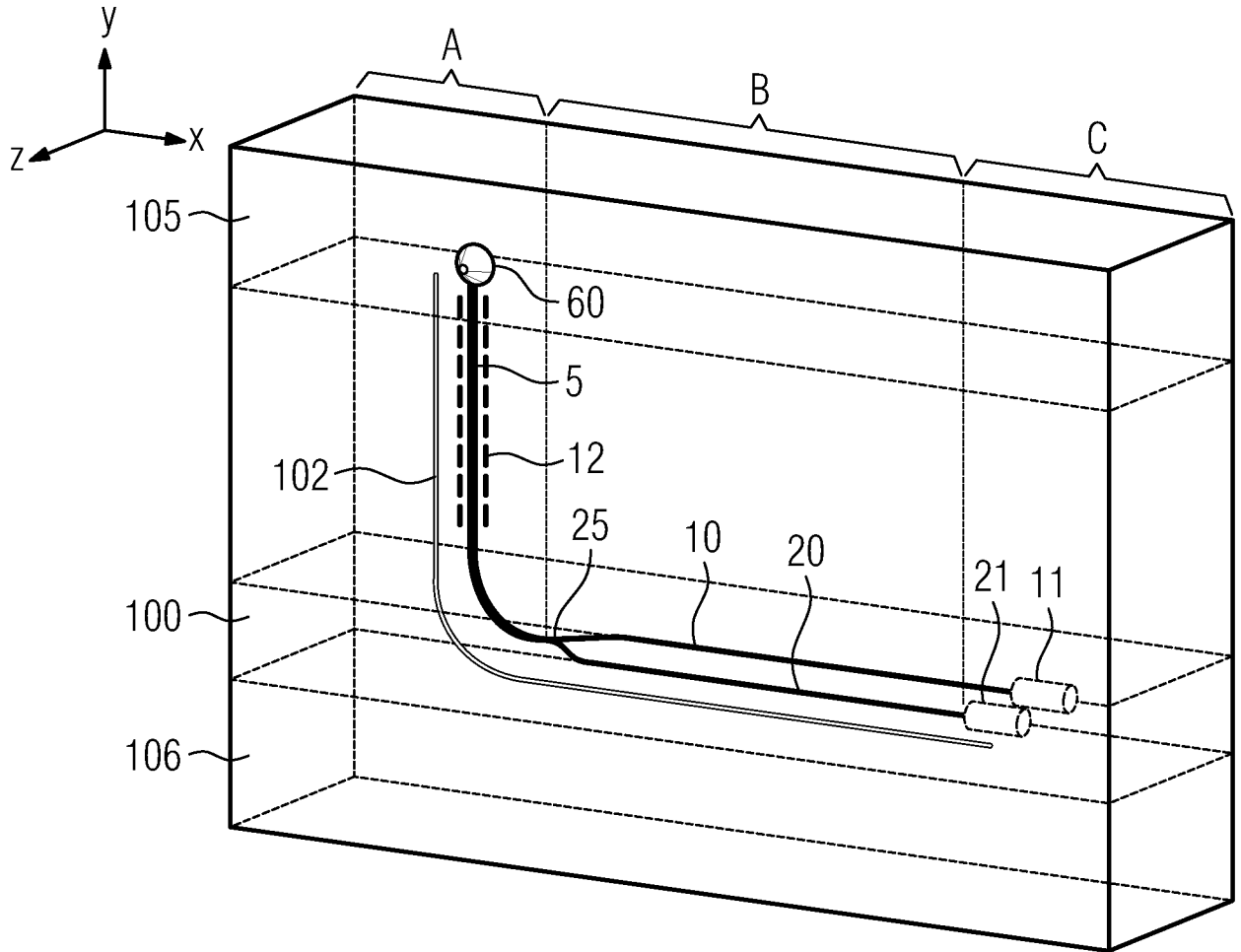


FIG 3

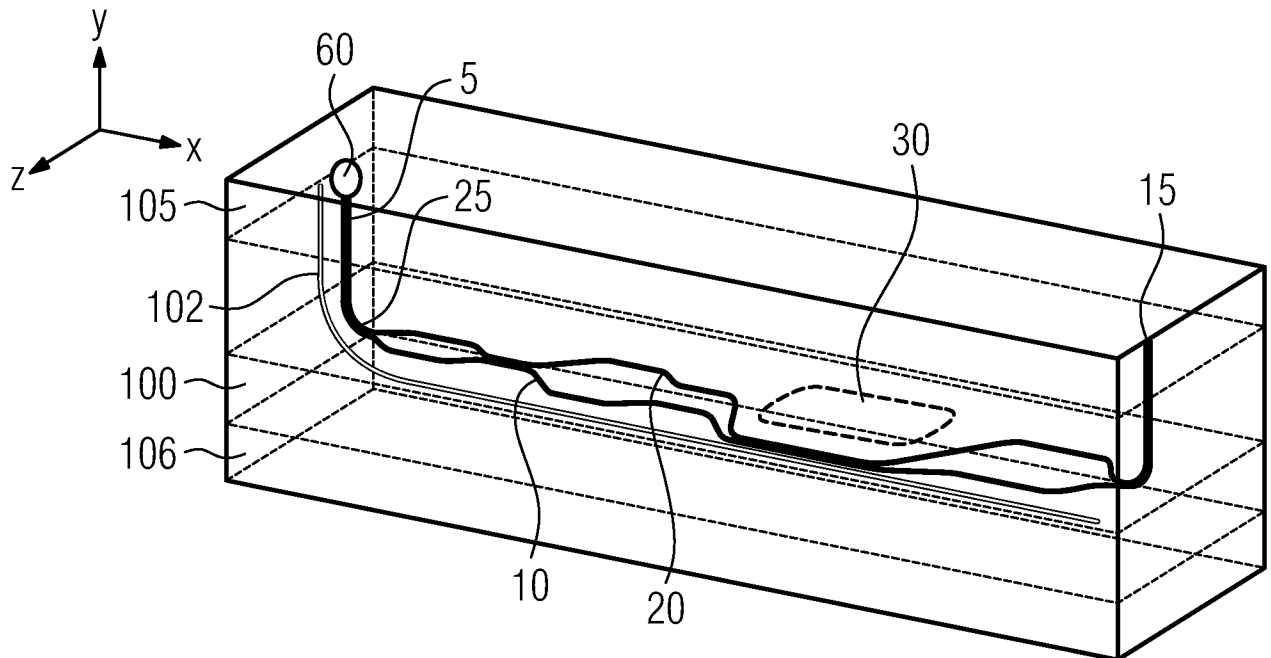


FIG 4

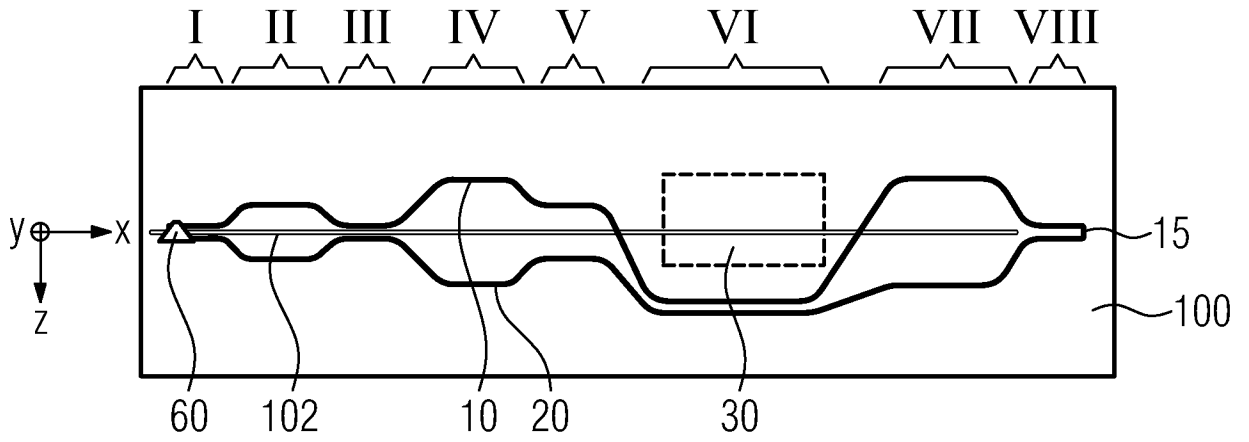


FIG 5

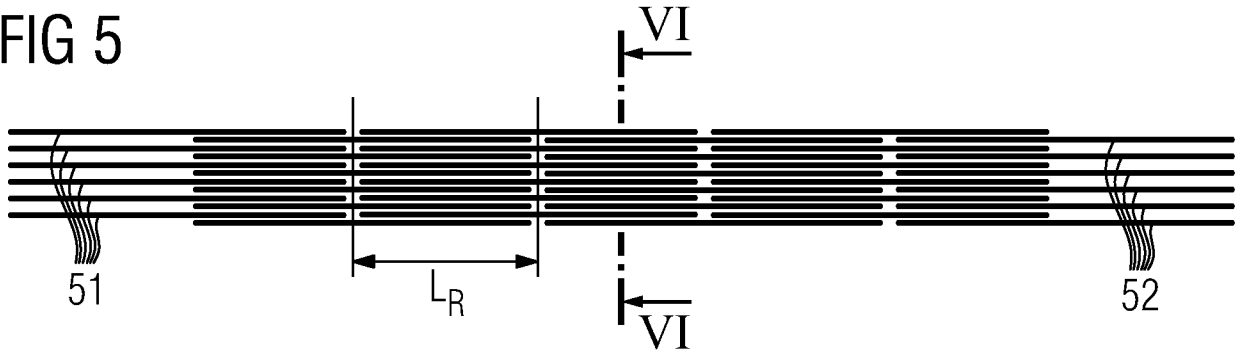


FIG 6

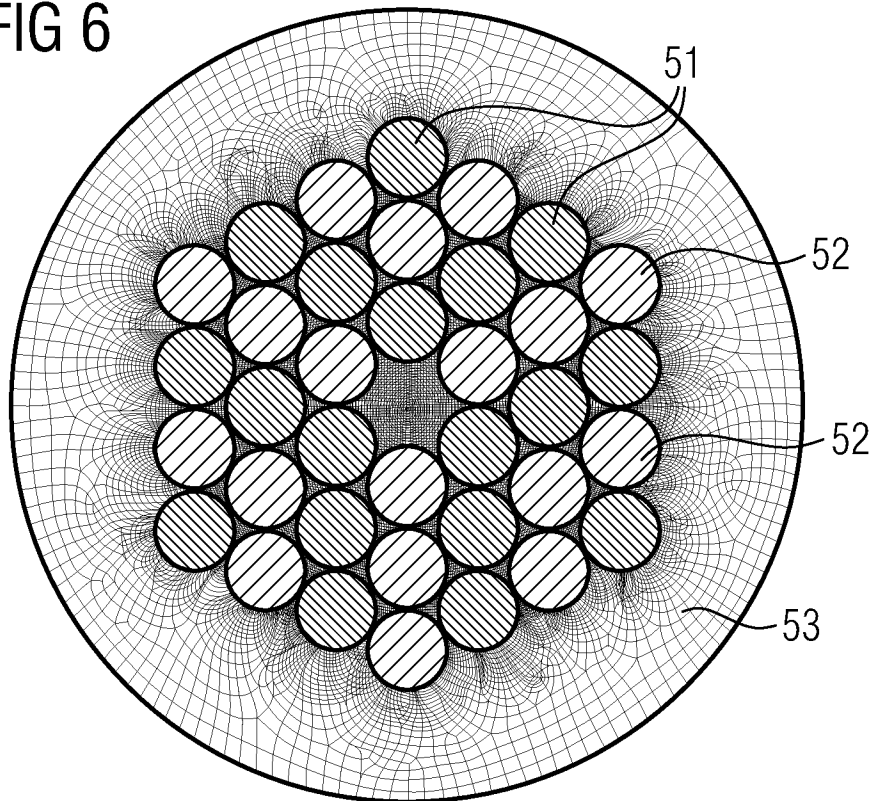


FIG 7

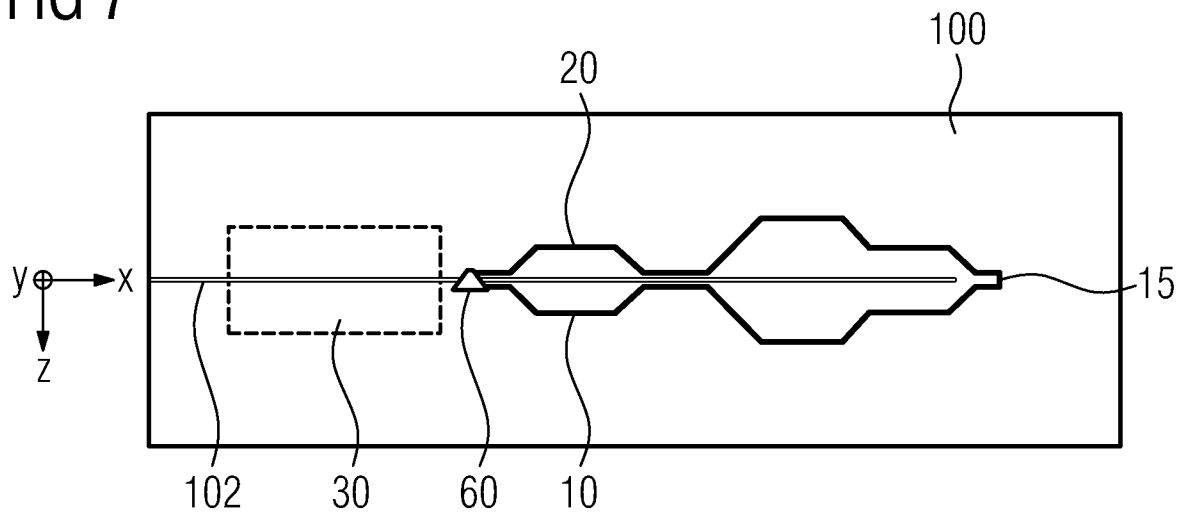


FIG 8

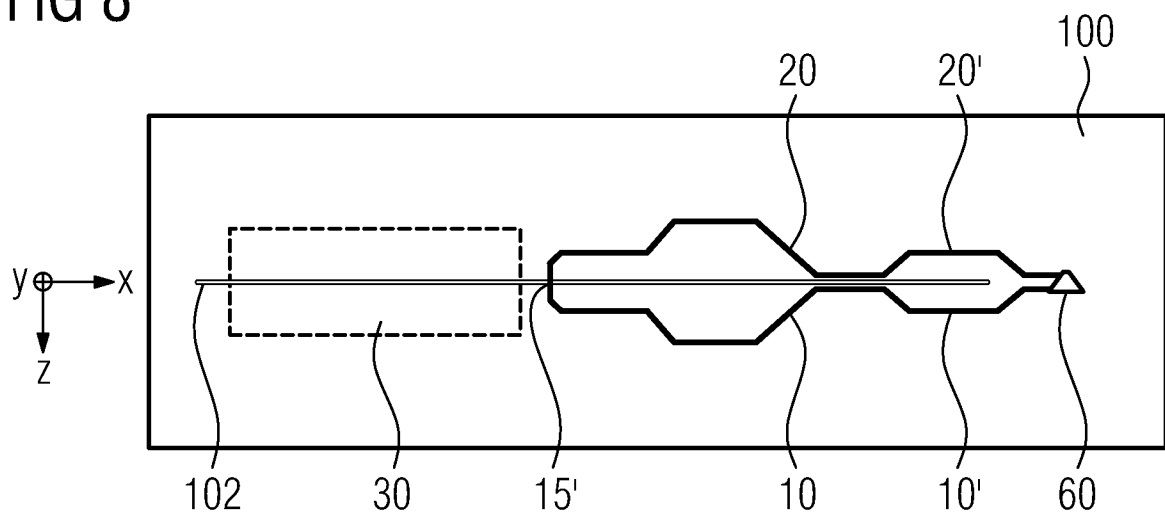


FIG 9

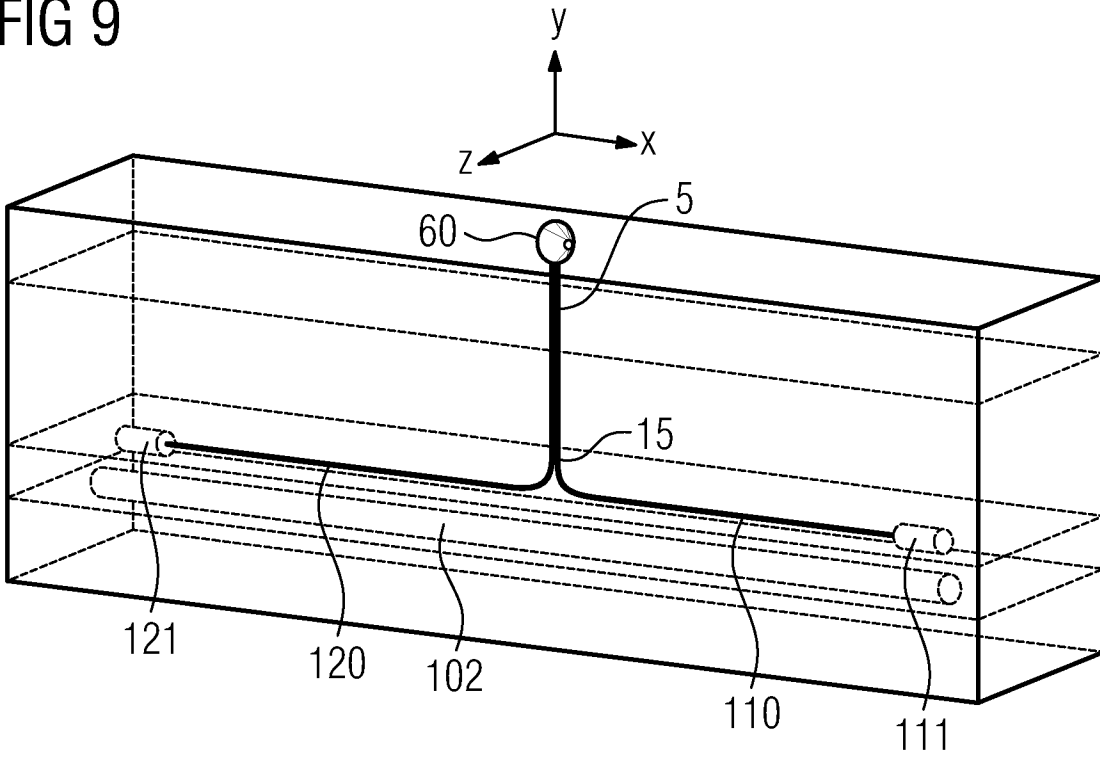


FIG 10

