



(11)

EP 2 947 261 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
14.12.2016 Patentblatt 2016/50

(51) Int Cl.:
E21B 43/24^(2006.01) H05B 6/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14169319.2**

(22) Anmeldetag: **21.05.2014**

(54) Induktor und Verfahren zur Heizung einer geologischen Formation

Inductor and method for heating a geological formation

Inducteur et procédé de chauffage d'une formation géologique

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.11.2015 Patentblatt 2015/48

(73) Patentinhaber:
• **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)
• **Wintershall Holding GmbH**
34119 Kassel (DE)

(72) Erfinder:
• **Diehl, Dirk**
91088 Bubenreuth (DE)
• **Koch, Andreas**
91077 Neunkirchen am Brand (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-92/05676 WO-A1-2009/109489
WO-A1-2013/060610 WO-A1-2013/079201
AU-A1- 2012 203 086 US-A1- 2011 006 055
US-A1- 2011 042 063

• **Bernd Wacker ET AL: "CSUG/SPE 148932 Electromagnetic Heating for In-Situ Production of Heavy Oil and Bitumen Reservoirs CAPEX Capital Expenditures CSS Cyclic Steam Stimulation d Days EM ElectroMagnetic EM-GD ElectroMagnetic Gravity Drainage h Hours HDD Horizontal Directional Drilling OB Overburden OPEX Operational Expen", , 15. November 2011 (2011-11-15), XP055158287, Gefunden im Internet:
URL:<https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-148932-MS?id=conference-paper/SPE-148932-MS> [gefunden am 2014-12-12]**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 947 261 B1

Beschreibung

[0001] Zur in-situ Förderung von Kohlenwasserstoffen aus einer unterirdischen Lagerstätte, beispielsweise zur Förderung von Schwerölen, Schwerstölen oder Bitumen aus Ölsand oder Ölschiefervorkommen, ist es notwendig, eine möglichst große Fließfähigkeit der zu fördernden Kohlenwasserstoffe zu erreichen. Eine Möglichkeit die Fließfähigkeit der Kohlenwasserstoffe bei ihrer Förderung zu verbessern ist, die in der Lagerstätte vorherrschende Temperatur zu erhöhen.

[0002] Eine angewendete Methode zur Erhöhung der Temperatur der Lagerstätte ist das induktive Heizen mittels eines Induktors, welcher in die Lagerstätte (d.h. in das Erdreich) eingebracht wird. Mittels des Induktors werden in elektrisch leitfähigen Lagerstätten (auch Reservoir genannt) durch sich ausbildende elektromagnetische Felder Wirbelströme induziert, welche die Lagerstätte aufheizen, so dass es folglich zu einer Verbesserung der Fließfähigkeit der in der Lagerstätte vorliegenden Kohlenwasserstoffe kommt. Wirbelströme werden dabei insbesondere in dem Porenwasser der Lagerstätte, das durch darin gelöste Salze eine elektrische Leitfähigkeit aufweist, induziert. Der Wärmeübergang vom Wasser zur Kohlenwasserstoff erfolgt durch Wärmeleitung.

[0003] Um eine zur geforderten Temperaturerhöhung ausreichende Heizleistung in der Umgebung des Induktors zu erreichen, sind typischerweise große Wechselstromstärken von einigen 100 A nötig, da das den Induktor umgebende Reservoir meist nur gering elektrisch leitfähig ist. Durch einen Betrieb des Induktors mit einer hohen Wechselstromstärke ergibt sich ein hoher induktiver Spannungsabfall entlang des Induktors, wobei der induktive Spannungsabfall in der Größenordnung von einigen 100 kV liegen kann. Solch hohe Spannungen lassen sich nur schwer praktisch handhaben, so dass es zweckmäßig ist, diese zu kompensieren.

[0004] Eine Kompensation des induktiven Spannungsabfalls wird, wie in der Patentschrift DE 10 2007 040 605 beschrieben, beispielsweise durch in Serie geschaltete Kondensatoren ermöglicht (Blindleistungskompensation). In der dort vorgestellten Lösung werden die stromführenden Leiter des Induktors zur Ausbildung der Kondensatoren unterbrochen und weisen somit eine Vielzahl von Unterbrechungsstellen auf.

[0005] Bei der Serienschaltung von Kondensatoren kann nachteilig sein, dass die Unterbrechungsstelle Schwachstellen des Induktors ausbilden kann. An den Unterbrechungsstellen könnten im Falle eines Fehlers beispielsweise Teilentladungen auftreten. Aufgrund der Unzugänglichkeit eines tief in die Lagerstätte eingebrachten Induktors sind besonders hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Induktors zu stellen. Insbesondere wird ein kontinuierlicher und wartungsfreier Betrieb über zehn bis zwanzig Jahre angestrebt. Bei Ausfall eines Kondensators des Induktors würde aufgrund der Reihenschaltung der Kondensatoren der gesamte Induk-

tor funktionsuntüchtig und müsste ausgetauscht werden.

[0006] Ein Induktor zur Heizung einer geologischen Formation mittels elektromagnetischer Induktion mit einem Leiter, der eine Unterbrechungsstelle aufweist, ist aus der US 2011/042063 A1 bekannt.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt folglich die Aufgabe zugrunde, die Zuverlässigkeit eines Induktors zu verbessern.

[0008] Die Aufgabe wird durch einen Induktor mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruches 1 und durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruches 11 gelöst. In den abhängigen Patentansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung angegeben. Die Erfindung betrifft einen Induktor zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, insbesondere zur Gewinnung der kohlenwasserstoffhaltigen Substanz aus der Lagerstätte, umfassend wenigstens einen Leiter, wobei der Leiter wenigstens eine Unterbrechungsstelle aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens an einem Endbereich des Leiters an der Unterbrechungsstelle ein abgerundeter leitender Körper aufgebracht ist.

[0009] Bevorzugt sind beide Endbereiche eines unterbrochenen Leiters an der Unterbrechungsstelle wie vorstehend beschrieben ausgebildet.

[0010] Unter dem erfindungsgemäßen Aufbringen eines abgerundeten leitenden Körpers wird insbesondere das Kontaktieren des abgerundeten leitenden Körpers mit dem Endbereich Leiter verstanden. Dabei stellt der abgerundete leitende Körper ein separates Element dar. Es handelt sich nicht bloß um eine Verformung des Endbereichs des Leiters.

[0011] Der Induktor stellt einen Stromleiter dar. Der Stromleiter ist vorzugsweise kabelähnlich aus einer Vielzahl von elektrisch zueinander isolierten Einzeldrähten hergestellt. Es kann bei wiederholter Anbringung von Unterbrechungsstellen am erfindungsgemäßen Induktor ein elektrischer Serienschwingkreis erhalten werden, wobei die Auslegung vorzugsweise derart erfolgt, dass eine Resonanzfrequenz im Bereich von ca. 10 kHz bis 200 kHz erhalten wird, die auch die bevorzugte Betriebsfrequenz des Induktors darstellt. Der Induktor wird dabei vorzugsweise über einen Generator angesteuert, der zumindest mit dem genannten Frequenzbereich betrieben wird.

[0012] Die erfindungsgemäße Unterbrechungsstelle wird verwendet, um kapazitiv wirkende Leiterabschnitte (im Sinne von Kondensatoren) zu bilden. Dies erfolgt durch die kapazitive Kopplung von benachbarten Leitergruppen über eine definierte Leiterlänge - beispielsweise 10 bis 50 m - zur Blindleistungskompensation. Die Kapazitäten werden vorzugsweise als Reihenschaltung angeordnet. Bei einer Reihenschaltung würde bei Ausfall eines Kondensators in Abhängigkeit vom Fehlerfall der komplette Induktor funktionsuntüchtig werden. Dieses

Problem wird erfindungsgemäß dadurch verringert, dass eine Teilentladung-Festigkeit von isolierten Einzeldrahtenden gegen benachbarte durchgehende Drähte und dem gegenüberliegenden Drahtende erhöht wird.

[0013] Ein weiterer erfindungsgemäßer Vorteil ist, dass scharfe Kanten, die ansonsten zu einer Feldstärkeüberhöhung (Überhöhung der elektrischen Feldstärke) an der Unterbrechungsstelle führen würden, mittels der erfindungsgemäßen Ausgestaltung vermieden werden. Vorteilhafterweise wird durch die Vermeidung von Feldstärkeüberhöhungen, die über die Dauer des kontinuierlichen Betriebes des Induktors zu einer Zerstörung der Isolierschicht an der Unterbrechungsstelle und folglich zu einem Ausfall des Induktors führen können, die Zuverlässigkeit des Induktors weiter verbessert.

[0014] Eine Ausgestaltung der Erfindung ist darauf gerichtet, jeden einzelnen Draht - eine Ader -, der vorzugsweise individuell isoliert ist, mit einer derartigen Unterbrechungsstelle vorzusehen. Jeder Draht hat vorzugsweise in wiederholenden Abständen solche Unterbrechungsstellen. Diese Ausgestaltung ist vorteilhaft, wenn ein Draht für einen Induktor in einem ersten Schritt vorbereitet wird und erst anschließend, mitsamt einer Abfolge von Unterbrechungsstellen mit weiteren Drähten verseilt wird.

[0015] Eine andere Ausgestaltung der Erfindung ist darauf gerichtet, ein Bündel von Drähten, wobei die Drähte vorzugsweise individuell isoliert sind, mit einer derartigen Unterbrechungsstelle vorzusehen. An einer Position im Induktor werden alle Drähte eines Bündels unterbrochen und nicht lediglich ein Draht. Die Unterbrechungsstellen erfolgen über die Länge des Induktors in wiederholenden Abständen. Diese Ausgestaltung ist vorteilhaft, wenn bereits vollständig verseiltes Kabel ohne Unterbrechungsstellen vorliegt und zur Erreichung eines Induktors in einem nachfolgenden Schritt nachbearbeitet wird, in dem ein Bündel von Drähten an des Kabels wiederholt an bestimmten Stellen durchtrennt wird.

[0016] In einer Ausgestaltung der Erfindung kann der abgerundete leitende Körper eine halbkugelförmige Oberfläche oder eine kontinuierlich gekrümmte kragenförmige Oberfläche umfassen.

[0017] In einer weiteren Ausgestaltung kann der Leiter aus mehreren, vorzugsweise einzeln - d.h. individuell - isolierten, Drähten bestehen. Drahtenden des Endbereichs des Leiters können mit dem abgerundeten leitenden Körper mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder elektrisch leitfähigen Klebung verbunden sind.

[0018] Des Weiteren kann der Leiter aus einem einzelnen Draht bestehen. Eine Vielzahl von Leitern können den Induktor bilden.

[0019] Weiterhin kann der abgerundete leitende Körper an einem Ende als Hülse ausgebildet sein. Der Endbereich des Leiters kann in die Hülse eingeführt sein.

[0020] Insbesondere kann die Hülse eine Sackbohrung oder Durchgangsbohrung aufweisen, in die der Endbereich des Leiters in die Hülse eingeführt ist.

[0021] Vorzugsweise kann eine mechanische Verbindung zwischen der Hülse und des Endbereichs des Leiters mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder elektrisch leitfähigen Klebung erfolgen.

[0022] In einer Ausgestaltung kann an einem weiteren Endbereich des Leiters an der Unterbrechungsstelle ein weiterer abgerundeter leitender Körper aufgebracht sein. Zwischen dem abgerundeten leitenden Körper und dem weiteren abgerundeten leitenden Körper kann ein isolierender Abstandshalter positioniert sein.

[0023] Weiterhin kann der isolierende Abstandshalter einen Oberflächenabschnitt aufweisen, derart ausgestaltet, dass der Oberflächenabschnitt des isolierenden Abstandshalters mechanisch und vorzugsweise form-schlüssig mit einem Oberflächenabschnitt des abgerundeten leitenden Körpers verbunden ist.

[0024] Ferner kann der isolierende Abstandshalter so ausgestaltet sein und können Oberflächenformen des isolierenden Abstandshalters derart in Oberflächenformen des abgerundeten leitenden Körpers und in Oberflächenformen des weiteren abgerundeten leitenden Körpers eingreifen, dass der abgerundete leitende Körper und in der weitere abgerundete leitende Körper zueinander ohne Versatz und in vorgegebenem Abstand fixiert werden.

[0025] Vorzugsweise kann eine mechanische Verbindung zwischen dem abgerundeten leitenden Körper und des isolierenden Abstandshalter mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder Klebung erfolgen.

[0026] Weiterhin kann der abgerundete leitende Körper und der weitere abgerundete leitende Körper und der isolierende Abstandshalter in eine hohlzylindrischen weiteren Hülse eingeführt sein, wobei die weitere Hülse als Isolator oder als leitfähige Hülse ausgebildet ist.

[0027] Drähte eines weiteren Leiters können dabei durch das Material der als Isolator ausgebildeten weiteren Hülse geführt werden.

[0028] Vorzugsweise können Drähte eines weiteren Leiters mit dem Material der leitfähigen Hülse leitend verbunden sein.

[0029] Der Induktor kann weiterhin mindestens zwei Leiterbündel umfassen, wobei ein erstes der zwei Leiterbündel mindestens den ersten Leiter und einen zweiten Leiter umfassen kann und ein zweites der zwei Leiterbündel mindestens einen dritten Leiter und einen vierten Leiter umfassen kann, wobei eine erste hohlzylindrische Hülse mit einer zweiten hohlzylindrischen Hülse derart einstückig ausgebildet ist, dass ein Mantelkörper der ersten hohlzylindrischen Hülse und ein Mantelkörper der zweiten hohlzylindrischen Hülse für einen Abschnitt miteinander vereint sind. Es entsteht somit eine Hülse, die im Querschnitt der Form der Zahl 8 entspricht.

[0030] Darüber hinaus kann der Induktor mindestens drei Leiterbündel umfassen. Ein erstes der drei Leiterbündel kann mindestens den ersten Leiter und einen zweiten Leiter umfassen. Ein zweites der drei Leiterbün-

del kann mindestens einen dritten Leiter und einen vierten Leiter umfassen. Ein drittes der drei Leiterbündel kann mindestens einen fünften Leiter und einen sechsten Leiter umfassen. Eine erste hohlzylindrische Hülse kann mit einer zweiten hohlzylindrischen Hülse und mit einer dritten hohlzylindrischen Hülse derart einstückig ausgebildet sein, dass:

- ein Mantelkörper der ersten hohlzylindrischen Hülse und ein Mantelkörper der zweiten hohlzylindrischen Hülse für einen ersten Abschnitt miteinander vereint sind, und
- der Mantelkörper der ersten hohlzylindrischen Hülse und ein Mantelkörper der dritten hohlzylindrischen Hülse für einen zweiten Abschnitt miteinander vereint sind, und
- der Mantelkörper der zweiten hohlzylindrischen Hülse und der Mantelkörper der dritten hohlzylindrischen Hülse für einen dritten Abschnitt miteinander vereint sind.

Es entsteht auf diese Weise eine besonders kompaktes Hülselement aus drei hohlen Zylindern.

[0031] In einer Weiterbildung der Erfindung können die Unterbrechungsstelle des Leiters und an die Unterbrechungsstelle anschließende Leiterabschnitte und an der Unterbrechungsstelle vorgesehene Komponenten von einer Muffe umschlossen sein. Vorzugsweise kann der Induktor als Multifilamentleiter ausgebildet sein. Insbesondere kann der Leiter einen Leiter oder einen Draht des Multifilamentleiters ausbilden.

[0032] Bei einer Mehrzahl von Leitern, die jeweils eine Unterbrechungsstelle aufweisen, können die jeweiligen Unterbrechungsstellen der Leiter einen gegenseitigen Versatz entlang einer Längserstreckung des Induktors aufweisen.

[0033] Vorzugsweise können die Leiter eine verflochtene und/oder verseilte Struktur ausbilden, die sich entlang der Längserstreckung des Induktors erstreckt.

[0034] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Betriebsverfahren zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, insbesondere zur Gewinnung der kohlenwasserstoffhaltigen Substanz aus der Lagerstätte, bei dem ein in der geologischen Formation angeordneter Induktor mit wenigstens einem Leiter derart angesteuert wird, dass sich ein elektromagnetisches Feld in der geologischen Formation ausbildet, wobei dazu der Leiter wenigstens eine Unterbrechungsstelle aufweist, wobei wenigstens an einem Endbereich des Leiters an der Unterbrechungsstelle ein abgerundeter leitender Körper aufgebracht ist.

[0035] Vorzugsweise kann der Leiter mit Wechselstrom bestromt werden, vorzugsweise mit einer Frequenz im Bereich von 10 kHz bis 200 kHz.

[0036] Durch die halbkugelförmige Ausbildung der En-

den werden vorteilhafterweise scharfe Kanten oder Ecken, die bei der Herstellung der Unterbrechungsstelle entstehen können, beispielsweise durch die Durchtrennung des Leiters mit einem Schneidewerkzeug, ausgeglichen. Die Teilentladungsfestigkeit an der Unterbrechungsstelle des Leiters wird weiter verbessert. Das ist deshalb der Fall, da die halbkugelförmige ebene und/oder glatte Ausbildung des Endes Feldstärkeüberhöhungen, wie sie beispielsweise bei kantigen Formen auftreten, verhindert. Bevorzugt sind beide Enden der Unterbrechungsstelle halbkugelförmig ausgestaltet.

[0037] Bevorzugt ist eine Ausgestaltung des Endbereiches, bei der die Krümmungsradien größer oder gleich einem Radius des Querschnittes (Querschnittsradius) des Leiters sind.

[0038] Hierdurch werden Feldstärkeüberhöhungen weiter verringert, so dass die Teilentladungsfestigkeit des Leiters an der Unterbrechungsstelle zusätzlich vergrößert wird.

[0039] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bildet der Leiter einen Leiter eines Multifilamentleiters aus.

[0040] Hierbei ist vorgesehen, dass insbesondere alle Leiter des Multifilamentleiters eine Unterbrechungsstelle aufweisen, deren Endbereiche erfindungsgemäß ausgebildet sind. Durch Gestaltung eines Multifilamentleiters aus einer Mehrzahl von Leitern mit erfindungsgemäßen Endbereichen wird ein besonders vorteilhafter Induktor zur induktiven Heizung ermöglicht. Hierbei sind die Filamente des Multifilamentleiters mittels der Mehrzahl von Leitern gebildet. Bevorzugt umfasst ein Multifilamentleiter eine Mehrzahl von wenigstens 10 und höchstens 5000 Leitern. Hierdurch wird vorteilhafterweise die Heizleistung des Induktors erhöht.

[0041] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Unterbrechungsstelle des Leiters von einer elektrisch isolierenden Muffe umschlossen.

[0042] Die Muffe dient zur mechanischen, kraftschlüssigen Verbindung der beiden Enden des Leiters, welche Enden durch die Unterbrechungsstelle des Leiters gebildet werden. Hierbei ist die Muffe zweckmäßigerweise zur Vermeidung eines Kurzschlusses an der Unterbrechungsstelle elektrisch isolierend ausgebildet. Bevorzugt ist eine aus Isolierstoff und/oder Isolierkunststoff gespritzte Muffe, die beide Enden der Unterbrechungsstelle umschließt. Hierbei ist eine Muffe vorgesehen, deren Außendurchmesser wesentlich größer als der Durchmesser des Querschnittes des Leiters ist.

[0043] Muffe im Sinn der Erfindung ist ein elektrisch isolierendes Abdichtungselement. Es kann sich um eine gespritzte Muffe handeln, die sich ergibt, wenn eine Hohlform ausgespritzt wird. Sie wirkt isolierend und verleiht mechanische Stabilität.

[0044] Eine Muffe ist vorliegend eine Verbindungselement und insbesondere auch ein Isolations- und/oder Schutzelemente. Die Muffe ist vorzugsweise fest mit dem eingeführten Kabel verbunden werden. Sie umschließt eine Unterbrechungsstelle. Denkbar sind Ausgestaltungen

gen als Gießharzmuffen, Gelmuffen, Schrumpfmuffen - Warmschrumpf- oder Kaltschrumpfmuffen.

[0045] Bevorzugt ist ein Induktor mit einer Mehrzahl von Leitern, wobei die Unterbrechungsstellen der Leiter einer Leitergruppe einen gegenseitigen Versatz entlang einer Längsachse des Induktors aufweisen. Der Versatz ist bevorzugterweise gering im Vergleich zu den Abstand zu den benachbarten Unterbrechungsstellen der zweiten Leitergruppe.

[0046] Dadurch wird vorteilhafterweise ein Induktor ausgebildet, dessen einzelne Leiter kapazitiv miteinander verkoppelt sind. Durch die Reihenschaltung der Kondensatoren, die durch die kapazitiv gekoppelten Leiter ausgebildet wird, wird vorteilhafterweise die Blindleistung des Induktors reduziert und/oder im Resonanzfall annähernd kompensiert.

[0047] Besonders bevorzugt ist in Induktor aus einer Mehrzahl von Leitern, wobei sich die Leiter parallel entlang der Längsachse des Induktors erstrecken.

[0048] Vorteilhafterweise wird durch den parallelen Verlauf der Leiter eine annähernd konstante Kapazität zwischen den Leitern ermöglicht, so dass eine gleichmäßige und gleich verteilte Belastung der Leiter des Induktors vorliegt.

[0049] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die Leiter eine verflochtene und/oder verseilte Struktur aus, die sich entlang der Längsachse des Induktors erstreckt.

[0050] Dadurch wird vorteilhafterweise eine Kabelanordnung der Leiter des Induktors ermöglicht, die durch eine Verflechtung und/oder Verseilung zum einen mechanisch stabilisiert wird und zum anderen zur Bildung von Kapazitäten zwischen den einzelnen Leitern besonders geeignet ist.

[0051] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Leiter mit einem Wechselstrom bestromt. Wenn der Leiter einer Leitergruppe entspricht, wird die Leitergruppe mit einem Wechselstrom bestromt.

[0052] Vorteilhafterweise werden alle Leitergruppen des Induktors mit Wechselstrom bestromt.

[0053] Dadurch bildet sich vorteilhafterweise mittels der Induktivität des Leiter und den Kapazitäten, die durch die Unterbrechungsstelle und mittels benachbarter Leiter ausgebildet wird, ein elektrischer Schwingkreis mit einer dem Schwingkreis spezifischen Resonanzfrequenz aus. Vorteilhafterweise wird durch die Ausbildung eines Schwingkreises, insbesondere in der Resonanz des Schwingkreises, die Blindleistung, die für den Betrieb des Induktors zur Verfügung gestellt werden muss, verringert. Hierbei entspricht der Versatz der Unterbrechungsstellen, welcher Versatz sich entlang der Leiter oder des Induktors periodisch fortsetzt, der Resonanzlänge des Induktors.

[0054] Zweckmäßig ist eine Bestromung mit einem Wechselstrom, dessen Frequenz im Bereich von 10 kHz bis 200 kHz liegt.

[0055] Hierbei liegt vorteilhafterweise die Resonanzfrequenz des Schwingkreises im genannten Bereich von

10 kHz bis 200 kHz.

[0056] Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Herstellungsverfahren für einen Induktor zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, umfassend folgender Herstellungsschritte für mindestens eine longitudinale Position eines Kabels:

- Bereitstellen des Kabels mit mindestens zwei miteinander verdrehte Leiterbündeln;
- Aufspreizen eines ersten der zwei Leiterbündeln an der longitudinalen Position des Kabels;
- Trennen aller Drähte eines zweiten der zwei Leiterbündel an der longitudinalen Position des Kabels;
- Entisolieren von Kabelenden der durchtrennten Drähte;
- Verbinden von abgerundeten leitender Körpern jeweils auf ein jeweiliges entisoliertes Kabelende;
- Einfügen eines jeweiligen Abstandshalters zwischen Paaren von abgerundeten leitender Körpern;
- optional das Einbringen einer hohlzylinderförmigen Hülse, wobei Drähte des ersten Leiterbündels in einer Mantelfläche der Hülse geführt werden;
- optional das Anbringen einer Muffenform, Ausspritzen der Muffenform zu einer Muffe, wobei die Muffe die Hülse und die abgerundeten leitenden Körpern und einen Abschnitt der zwei Leiterbündel umschließt, und das Entfernen der Muffenform.

[0057] Alternativ betrifft die Erfindung ein weiteres Herstellungsverfahren für einen Induktor zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, umfassend folgender Herstellungsschritte:

- a) Durchführen der nachfolgenden Bearbeitungsschritte für mindestens eine longitudinale Position eines Drahts:
 - Bereitstellen des, vorzugsweise isolierten, Drahts;
 - Trennen des Drahts an der longitudinalen Position des Drahts;
 - Entisolieren von beiden Kabelenden des durchtrennten Drahts;
 - Verbinden von abgerundeten leitenden Körpern jeweils auf ein jeweiliges entisoliertes Kabelende;
 - Einfügen eines jeweiligen Abstandshalters zwischen Paaren von abgerundeten leitender Körpern ;
 - optional das Anbringen einer Muffenform, Ausspritzen der Muffenform zu einer Muffe, wobei die Muffe die abgerundeten leitenden Körper

und zwei Endbereiche des aufgetrennten Drahts umschließt, und das Entfernen der Muffenform;

b) Aufwickeln des bearbeiteten Drahts und/oder Verseilen einer Vielzahl derartig bearbeiteter Drähte zu einem Induktor.

[0058] Bei dem vorstehenden Verfahren werden vorzugsweise die abgerundeten leitenden Körper zuerst mit den jeweiligen entisolierten Kabelenden verbunden. Anschließend werden die jeweiligen Abstandshalter zwischen Paaren von abgerundeten leitender Körpern eingefügt.

[0059] Diese zuletzt genannten Schritte lassen sich alternativ auch umkehren, so dass zuerst eine bereits verbundene Einheit bestehend aus einem Abstandshalter und einem Paar mit diesem verbundenen abgerundeten leitenden Körpern bereitgestellt wird. Diese Einheit ist vorzugsweise bereits kraftschlüssig miteinander verbunden. Anschließend kann diese Einheit mit den beiden entisolierten Kabelenden verbunden werden. b) Aufwickeln des bearbeiteten Drahts und/oder Verseilen einer Vielzahl derartig bearbeiteter Drähte zu einem Induktor.

[0060] Das Herstellungsverfahren kann vorzugsweise so umgesetzt werden, dass das Verbinden von abgerundeten leitenden Körpern jeweils auf ein jeweiliges entisoliertes Kabelende mit folgenden Schritten durchgeführt wird:

- Aufschieben von Hülsen an die jeweiligen Kabelenden, wobei die Hülsen jeweils die abgerundeten leitenden Körper umfassen;
- Kraftschlüssiges Verbinden, insbesondere Crimpen, der jeweiligen Hülse mit dem jeweiligen entisolierten Kabelende.

[0061] Darüber hinaus kann das vorstehend genannte Verseilen einer Vielzahl derartig bearbeiteter Drähte zu einem Induktor mit folgenden Schritten durchgeführt werden:

- Anordnen mehrerer bearbeiteter Drähte so zueinander, dass mindestens zwei Bündel von Drähten gebildet werden, wobei die Drähte eines ersten der zwei Bündel in longitudinaler Ausrichtung so zueinander ausgerichtet werden, dass Trennstellen der durchtrennten Drähte des ersten Bündels weitgehend nebeneinander zu liegen kommen und die Drähte eines zweiten der zwei Bündel in longitudinaler Ausrichtung so zueinander ausgerichtet werden, dass Trennstellen der durchtrennten Drähte des zweiten Bündels weitgehend nebeneinander zu liegen kommen, wobei die Trennstellen des ersten Bündels zu den Trennstellen des zweiten Bündels zueinander versetzt angeordnet werden;
- Verseilen der derart angeordneten Drähte derart, dass die Drähte des ersten Bündels und des zweiten

Bündels abwechselnd zueinander verseilt werden.

[0062] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus dem im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen in schematischer Darstellung:

- | | | |
|----|----------|--|
| 5 | Figur 1 | eines Induktor-Abschnitts, der einen Leiter mit kugelförmigen Abschlüssen einer Unterbrechungsstelle aufweist, nach einem ersten Herstellungsschritt; |
| 10 | Figur 2 | eine Schnittzeichnung der Figur 1 mit einem Abstandshalter, nach einem zweiten Herstellungsschritt; |
| 15 | Figur 3 | eine Schnittzeichnung der Figur 2 mit einem zusätzlichen hohlzylindrischen umgebenden Isolationskörper, nach einem dritten Herstellungsschritt; |
| 20 | Figur 4 | eine dreidimensionale Darstellung der Figur 3; |
| 25 | Figur 5 | eine dreidimensionale Darstellung der Figur 2 mit einem zusätzlichen hohlzylindrischen umgebenden Isolationskörper, nach einem alternativen dritten Herstellungsschritt; |
| 30 | Figur 6 | eine Darstellung von drei Leiterabschnitten mit jeweilig angebrachten zusätzlichen hohlzylindrischen umgebenden Isolationskörpern, die Teil des gemeinsamen Induktors sind; |
| 35 | Figur 7 | eine Darstellung einer alternativen Ausgestaltung von drei Leiterabschnitten mit jeweilig angebrachten zusätzlichen hohlzylindrischen umgebenden Isolationskörpern, die Teil des gemeinsamen Induktors sind; |
| 40 | Figur 8 | schematische Darstellung eines Induktor-Abschnitts, der zwei Multifilamentleiter umfasst; |
| 45 | Figur 9 | eine Schnittzeichnung eines alternativen Induktorabschnitts, bei dem eine Unterbrechungsstelle über zwei Hülsen, einen Abstandshalter und einer Muffe mechanisch verbunden wird; |
| 50 | Figur 10 | eine Schnittzeichnung eines weiteren alternativen Induktor-Abschnitts, bei dem eine Unterbrechungsstelle über zwei alternativ gestaltete Hülsen, einen daran angepassten Abstandshalter und einer Muffe mechanisch verbunden wird; |
| 55 | | |

Figur 11 eine schematische Darstellung einer perspektivischen Ansicht eines Induktor in einer Lagerstätte.

[0063] Gleichartige Elemente können in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

[0064] Die Figuren betreffen einen Induktor 1 für die Ausbeutung von Ölsand- und Schweröllagerstätten, der dafür vorgesehen ist, eine Aufheizung einer Lagerstätte zu bewirken, um die Fließfähigkeit der zu fördernden Hydrokarbone in-situ zu verbessern. Die vorgestellte elektromagnetische Heizmethode wird auch als induktives Heizen genannt, bei dem eine oder mehrere Leiterschleifen in die Lagerstätte eingebracht werden, die mit Wechselstrom bestromt werden. Daraufhin werden in der elektrisch leitfähigen Lagerstätte Wirbelströme induzieren, die daraufhin die Lagerstätte aufheizen. Die Stromleiter sind gemäß der vorliegenden Erfindung kabelähnlich, vorzugsweise aus einer Vielzahl von elektrisch isolierten Einzeldrähten hergestellt.

[0065] Die Hälfte der Einzeldrähte wird alternierend und in definierten Abständen unterbrochen. Damit wird der elektrische Strom gezwungen die Einzeladerisolation als Verschiebungsstrom zu durchdringen. Der Kabelinduktor - Induktor 1 - wirkt damit abschnittsweise als Kapazität wodurch die unvermeidbare Induktivität der Leiteranordnung gezielt für eine Frequenz kompensiert werden kann. Die Leiterschleife mit den periodisch angeordneten Unterbrechungen wirkt elektrisch als Serienschwingkreis, der bei seiner Resonanzfrequenz ohne Reaktanz, d.h. ohne Blindleistung, betrieben werden kann.

[0066] Die im Folgenden diskutierte Ausgestaltung von Unterbrechungsstellen im Kabelinduktor hat den Vorteil, dass scharfkantige Drahtenden vermieden werden können. Da an scharfkantigen Drahtenden besonders hohe elektrische Feldstärken auftreten können, ist es vorteilhaft derartige Ausgestaltungen zu vermeiden.

[0067] Die Figuren 1 bis 7 betreffen eine Ausgestaltung, in der ein Leiter im Sinne der Erfindung aus einer Vielzahl von Einzeldrähten besteht. Alle diese zu einem Leiter zugehörigen Einzeldrähte werden an einer Unterbrechungsstelle getrennt.

[0068] Figur 1 zeigt einen Ausschnitt eines Induktors 1, wobei der Induktor 1 einen Leiter 2 mit einer Unterbrechungsstelle 4 umfasst. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Induktor 1 somit mittels des Leiters 2 und weiteren nicht dargestellten Leitern ausgebildet, wobei eine Mehrzahl von gleichartig ausgebildeten Leitern für den Induktor 1, beispielsweise zur Anpassung der Resonanzfrequenz, bevorzugt ist. Zur Bildung einer geeigneten Kapazität ist ein zweiter zum Leiter 2 weitgehend parallel verlaufender Leiter (nicht dargestellt in Figur 1, jedoch verdeutlicht in Figur 4) vorgesehen. Hierbei kann der zweite Leiter (in Figur 3 und 4 mit Bezugszeichen 3 markiert) eine gegenüber dem Leiter 2 versetzt angeordnete Unterbrechungsstelle 4 aufweisen, wobei der Versatz sich periodisch fortsetzt und der Resonanzlänge

entspricht.

[0069] An der Unterbrechungsstelle 4 weist der Leiter 2 zwei Endbereiche 6 auf, an denen jeweils ein abgerundeter leitender Körper 40 und 40' aufgebracht ist. Die abgerundeten leitenden Körper 40 bilden Enden der leitfähigen kabelförmigen Struktur.

[0070] Die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' sind gemäß Figur 1 halbkugelförmig bzw. dreiviertelkugelförmig ausgebildet, wobei sich die Rundungen der beiden abgerundeten leitenden Körper 40, 40' gegenüberliegen und zueinander einen Abstand aufweisen und somit nicht in Berührung stehen. Durch die halbkugelförmige Ausgestaltung oder Ausbildung der Enden werden Feldstärkeüberhöhungen an den Enden und folglich an der Unterbrechungsstelle 4 vermieden, so dass hierdurch die Teilentladungsfestigkeit an der Unterbrechungsstelle 4 erhöht wird.

[0071] Gemäß Figur 1 bilden mehrere verdrehte Drähte den Leiter 2.

[0072] Der sich entlang einer Längsachse A erstreckende Leiter 2 ist vorzugsweise von einer Isolierschicht umgeben (nicht dargestellt), die den Leiter 2 umschließt. Einzelne Drähte sind ebenfalls bevorzugterweise mit einer individuellen Isolierschicht versehen.

[0073] Die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' sind jeweils Vollkörper, die leitend ausgebildet sind. Als Material kommen insbesondere Metalle oder metallische Legierungen in Betracht.

[0074] Die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' können als Elektroden bezeichnet werden. Sie sind vorzugsweise massive Körper und/oder Festkörper. Die Abrundung erfolgt in dieselbe Richtung, in die sonst das durchtrennte Kabelende zeigen würde.

[0075] Enden der einzelnen Drähte werden mit dem jeweiligen abgerundeten leitenden Körper 40 bzw. 40' verbunden, insbesondere an einer Rückseite der abgerundeten leitenden Körper 40 bzw. 40', die wiederum eine ebene Fläche bilden kann. Die mechanische und leitende Verbindung der Drähte mit einem jeweiligen abgerundeten leitenden Körper 40, 40' kann durch Löt-, Schweißen, Crimpen oder eine andere Verbindungstechnik erfolgen. Ein Eindringen eines Drahtendes in die Rückseite eines abgerundeten leitenden Körpers 40, 40' zur Erreichung einer festen und leitenden Verbindung ist beispielsweise in Figur 2 angedeutet.

[0076] Die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' weisen im Betrieb das gleich elektrische Potential auf wie der Leiter 2.

[0077] Der abgerundete leitende Körper 40 (bzw. auch 40') kann auch als Elektrode einer Kapazität angesehen werden. Gemäß Figur 1 werden paarweise kugelförmige Elektroden in die alle oder zumindest mehrere Drahtenden zusammengeführt und elektrisch verbunden werden. Damit werden scharfkantigen Drahtenden vermieden, sowie daraus resultierende hohe elektrische Feldstärken an diesen scharfkantigen Drahtenden, an den Teilentladungen bevorzugt zünden würden.

[0078] Eine kraft- und formschlüssige paarweise Fixie-

rung der abgerundeten leitenden Körper 40, 40' kann vorgesehen sein. Dies ist in Figur 2 in einer Schnittzeichnung veranschaulicht. Dort ist ein Isolierkörper als isolierender Abstandshalter 32 gezeigt. Dieser ist vorzugsweise aus keramischen und/oder mineralischem und/oder kunststoffbasiertem Material. Er umfasst ein Paar von abgerundeten leitenden Körper 40, 40' zumindest teilweise. Die Oberflächenform eines Abschnitts des isolierenden Abstandshalters 32 ist dabei der Oberflächenform eines der abgerundeten leitenden Körper 40, 40' angepasst. Vorzugsweise - wie in Figur 2 dargestellt, umfasst der isolierende Abstandshalter 32 zwei sich gegenüberliegende Vertiefungen, in die jeweils ein abgerundeten leitenden Körper 40, 40' zumindest teilweise eingeführt werden kann.

[0079] Der isolierenden Abstandshalters 32 kann dabei ein Festkörper sein, der vorab hergestellt wurde und lediglich mit den abgerundeten leitenden Körpern 40, 40' verbunden wird. Alternativ kann der isolierenden Abstandshalters 32 auch mittels Spritz- und/oder Fülltechnik in flüssiger Form aufgebracht werden, wobei das Material anschließend aushärtet. Eine Aufbringung des isolierenden Abstandshalters 32 (auch Isolierschicht genannt) auf die Oberfläche des Leiters 2 kann mittels Extrusion erfolgen.

[0080] Der isolierenden Abstandshalters 32, der vorzugsweise aus keramisch- bzw. mineralisch- oder kunststoffbasiert sein kann, umfasst die Elektroden, hält sie auf definiertem Abstand, zentriert sie relativ zu der durchgehenden Leiterstruktur (in Figur 1 und 2 nicht dargestellt, jedoch in Figur 3) und sorgt so für eine definierte E-Feldverteilung ohne große Feldüberhöhungen (d.h. geringe relative Spitzenwerte).

[0081] Die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' ermöglichen zusammen mit dem isolierenden Abstandshalter 32 zugleich eine mechanische und elektrische Festigkeit der Isolation an der Unterbrechungsstelle 4 des Leiters 2.

[0082] Der abgerundete leitende Körper 40 bzw. 40' stellt gemäß der Erfindung vor dem Zusammenfügen ein getrenntes Element bzw. einen separaten Körper dar, welches/welcher erst durch Zusammenfügen mit dem Leiter 2 eine Einheit bildet. Der abgerundete leitende Körper 40 bzw. 40' ist insbesondere nicht lediglich das Kabelende eines durchtrennten Leiters.

[0083] Figur 1, 2, und 3 können so verstanden werden, dass es den Induktor 1 bei verschiedenen aufeinanderfolgenden Herstellungsschritten veranschaulicht.

[0084] Figur 3 verdeutlicht in einer Schnittzeichnung, wie zwei Leiter 2 und 3 an einer Unterbrechungsstelle 4 eines der Leiter 2 vorteilhafterweise angeordnet werden. Ein innerer Leiter entspricht dem Leiter 2, der eine Unterbrechungsstelle 4 aufweist mit einem Paar von abgerundeten leitenden Körpern 40, 40' und einen dazwischen angeordneten isolierenden Abstandshalter 32. Ein weiterer Leiter 3 - ebenfalls ausgebildet durch mehrere verdrehte Drähte - wird an der Unterbrechungsstelle 4 außen - weitgehend annular - vorbeigeführt. Für diesen

Zweck kann an der Unterbrechungsstelle 4 ein umgebender hohlzylindrischer Isolationskörper 34 vorgesehen sein, wobei die Drähte des weiteren Leiters 3 durch eine Mantelfläche des des hohlzylindrischen Isolationskörpers 34 geführt werden. Zu diesem Zweck kann der hohlzylindrischen Isolationskörpers 34 Nuten aufweisen, in die die Drähte des Leiters 3 eingelegt werden können.

[0085] Der Leiter 2 stellt für den dargestellte Zeichnungsausschnitt einen Innenleiter dar, der weitere Leiter 3 einen Außenleiter. Für einen anderen Abschnitt kann jedoch der Leiter 2 den Außenleiter darstellen und Leiter 3 den Innenleiter.

[0086] Figur 4 zeigt die selbe Anordnung wie Figur 3 in einer dreidimensionalen Darstellung von außen.

[0087] Der Gesamtaufbau der Unterbrechung gemäß Figur 3 und 4 wird durch Auseinanderführen der beiden Leitergruppen (2 und 3) in eine innere Gruppe und eine äußere Gruppe erreicht. Die inneren Drähte (also der Leiter 2) werden unterbrochen und beidseitig in Kugelelektroden zusammengeführt, während die äußeren durchgehenden Drähte (also der weitere Leiter 3) definiert in einem Isolierkörper geführt werden. Die Gesamtanordnung kann zusätzliche mit einer isolierenden Masse eingegossen und/oder mit Schrumpfschläuchen umschlossen werden.

[0088] Figur 3 und 4 verdeutlichen, wie ein verdrehtes Kabel bestehend aus zwei Gruppen von Drähten bearbeitet werden kann, in dem eine erste Gruppe von Drähten geweitet und/oder aufgespreizt wird, um für eine zweite Gruppe von Drähten eine Unterbrechung vorzunehmen. Im axialen Verlauf werden die beiden Gruppen wieder zusammengeführt, so dass an den beiden Bildrändern von Figur 4 ein weitgehend normales verdrehtes Kabel zu sehen ist. Würde man Figur 4 nun verlängern, was allerdings nicht dargestellt ist, würde im Abstand der Resonanzlänge nun die zweite Gruppe von Drähten geweitet und/oder aufgespreizt, um dort nun für die erste Gruppe von Drähten eine Unterbrechung vorzunehmen.

[0089] Der hohlzylindrische Isolationskörpers 34, durch dessen Mantelfläche die Drähte des weiteren Leiters 3 geführt werden, sichert einen definierten Abstand der Drähte des weiteren Leiters 3 zu den abgerundeten leitenden Körpern 40, 40'. Auf diese Weise werden Gefahren von elektrischen Überschlüssen verhindert. Die Drähte des weiteren Leiters 3 werden durch den hohlzylindrischen Isolationskörper 34 nicht unterbrochen sondern verlaufen durch den Isolationskörpers 34 hindurch.

[0090] In ihrer äußeren Ausgestaltung weitgehend identisch zu Figur 3 und 4, kann der hohlzylindrischen Isolationskörpers 34 auch durch ein hohlzylindrisches Leiterstück 33 ersetzt werden. Dies wird an Hand von Figur 5 erläutert.

[0091] Figur 5 stellt eine Alternative zu Figur 3 und 4 dar zeigt, dass die durchgehenden äußeren Drähte des weiteren Leiters 3 (für den dargestellte Zeichnungsausschnitt somit der Außenleiter) mechanisch und elektrisch in einem hohlzylinderförmigen Leiter 33 zusammengeführt werden. Der weiterhin bestehende innere Isolier-

körper - der Abstandshalter 32 - hält die Kugelelektroden relativ zueinander und relativ zum Außenleiter (3) bzw. zum hohlzylinderförmigen Leiter 33 auf Position. Wiederum werden definierte E-Feldverteilungen mit geringen Feldüberhöhungen erreicht, wofür vorzugsweise auch die Kanten des hohlzylinderförmigen Leiters 33 gerundet sich.

[0092] Ähnlich wie beim hohlzylindrischen Isolationskörpers 34, können die Drähte des weiteren Leiters 3 einfach durch den hohlzylinderförmigen Leiters 33 hindurchgeführt werden, so dass der hohlzylinderförmige Leiter 33 und die Drähte des Leiters 3 das selbe Potential aufweisen.

[0093] Alternativ, können auch die Drähte des weiteren Leiters 3 an der Unterbrechungsstelle durchtrennt werden. Anschließend können die getrennten Enden mechanisch und elektrisch mit dem hohlzylinderförmigen Leiter 33 verbunden werden. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass der komplette Induktor an der Stelle durchtrennt werden kann, dann für den Leiter 2 die abgerundeten leitenden Körper 40, 40' und der Abstandshalter 32 eingefügt werden kann, und abschließend die Drähte des Leiters 3 über den hohlzylinderförmigen Leiter 33 wieder verbunden werden können. Die Bearbeitung wird somit vereinfacht.

[0094] Der Kabelinduktor (Induktor 1) kann aus mehreren Leiterbündeln aufgebaut sein. Figur 6 zeigt den Induktor 1 mit drei Leiterbündeln, die jeweils einen äußeren Isolator (34) gemäß Figur 3 und 4 aufweisen. In der Figur 6a ist ein Leiterbündel in dreidimensionaler Ansicht durch ein weiteres Leiterbündel weitgehend verdeckt. Figur 6b zeigt die Sicht der drei Leiterbündel aus axialer Richtung. Alle Leiterbündel haben jeweils eine Unterbrechungsstelle 4, wobei die Unterbrechungsstellen 4 an unterschiedlicher longitudinaler Position entlang des Induktors 1 erfolgen. Die Positionierung der Unterbrechungsstellen 4 wird anhand von Figur 8 erläutert.

[0095] Der Kabelinduktor gemäß Figur 6 ist aus mehreren Leiterbündeln aufgebaut, die alle innerhalb eines kurzen axialen Abstandes zueinander (z.B. innerhalb 1m) unterbrochen werden. Die Innenleiter der Bündel können einzeln unterbrochen werden, wobei die Unterbrechungen mit geringem axialen Versatz erfolgen. Die Unterbrechungen (d.h. die Unterbrechungsstellen 4) könnten dann gemeinsam in einer Kabelmuffe vergossen werden (nicht dargestellt).

[0096] Alternativ - nicht dargestellt - können nun alle Drähte eines jeweiligen Außenleiters (entsprechend dem weiteren Leiter 3, wie in den Figuren dargestellt) aus verschiedenen Bündeln zu einem gemeinsamen Außenleiter geformt werden. Ebenfalls ohne Abbildung könnte der gemeinsame Außenleiter durch einen gemeinsamen äußeren Isolierkörper geführt werden.

[0097] Die Figur 6 zeigt eine Darstellung mit mehreren hohlzylindrischen Isolationskörpern 34. Analog kann auch eine Ausgestaltung mit metallischem Zylinder (aus Figur 5) gemäß Figur 6 ausgebildet werden. D.h. in diesem Fall handelt es sich nicht um hohlzylindrische Iso-

lationskörper 34, sondern um hohlzylindrische metallische Körper 33. Ansonsten gilt die Ausgestaltung gemäß Figur 6 entsprechend.

[0098] Die Figur 6b zeigt einen Schnitt durch den Induktor an einem Induktor-Abschnitt, in dem die Drähte nicht aufgespreizt sind. Der Schnitt erfolgt also durch einen Abschnitt, in dem die Drähte kompakt verdreht sind. Die Schnittebene wäre außerhalb des in Figur 6a veranschaulichten Bereichs. Figur 6b veranschaulicht daher im Übrigen auch, dass die Drähte des Leiters 2 und die Drähte des weiteren Leiters 3 in den Induktor-Abschnitten, in denen sie nicht aufgespreizt sind, derart verdreht sind, dass die Drähte des Leiters 2 und die Drähte des weiteren Leiters 3 abwechselnd - alternierend - angeordnet sind.

[0099] Figur 7 zeigt analog zu Figur 6 den Induktor 1 mit drei Leiterbündeln, die jeweils einen äußeren Isolator (34) gemäß Figur 3 und 4 aufweisen. In der Figur 7a ist ein Leiterbündel in dreidimensionaler Ansicht durch ein weiteres Leiterbündel weitgehend verdeckt. Figur 7b zeigt die Sicht der drei Leiterbündel aus axialer Richtung. Alle Leiterbündel haben jeweils eine Unterbrechungsstelle 4, wobei die Unterbrechungsstellen 4 an unterschiedlichen longitudinaler Position entlang des Induktors 1 erfolgen kann oder an gleicher longitudinaler Position. Die Darstellung in Figur 7 ist so zu verstehen, dass bei dem gezeigten Isolationskörper 34 lediglich nur ein Leiter unterbrochen ist. Alternativ können auch mehrere Leiter bei dem gezeigten Isolationskörper 34 unterbrochen sein.

[0100] Der Kabelinduktor gemäß Figur 7 ist aus mehreren Leiterbündeln aufgebaut. Die Innenleiter der Bündel können einzeln unterbrochen werden. Die Unterbrechungen könnten dann gemeinsam in einer Kabelmuffe vergossen werden (nicht dargestellt).

[0101] Die drei separat ausgestalteten hohlzylindrischen Isolationskörper 34 aus Figur 6 sind nun nach Figur 7 als ein gemeinsamer Körper 34' ausgebildet, in dem drei Hohlzylinder über ihre Mantelfläche miteinander verbunden sind. Figur 7b verdeutlicht dabei, dass zentrale Achsen der drei Hohlzylinder um jeweils 120° zueinander versetzt angeordnet sind, in Bezug auf eine Mittelachse des Isolationskörpers (34'). Diese Art der Anordnung führt zu keinem lateralen Versatz und damit einer sehr kompakten Bauweise.

[0102] Die Figur 7 zeigt eine Darstellung mit mehreren vereinten hohlzylindrischen Isolationskörpern 34'. Analog kann auch eine Ausgestaltung mit einem gemeinsamen metallischen Zylinder (zusammengefügt aus den individuellen metallischen Zylindern aus Figur 5) gemäß Figur 7 ausgebildet werden. D.h. in diesem Fall handelt es sich nicht um einen Körper aus mehreren hohlzylindrischen Isolationskörpern, sondern um mehrere hohlzylindrische metallische Körper. Ansonsten gilt die Ausgestaltung gemäß Figur 7 entsprechend.

[0103] Aus Figur 4, 5, 6 und 7 ist zu erkennen, dass der Induktor 1 an sich ein verdrehtes Kabel aus einer Vielzahl an einzeln isolierten Drähten ist, wobei die Verdreh-

lung für die Unterbrechungsstellen evtl. aufgeweitet wird. In den genannten Figuren sind zwei Leiterbündel - mit 2 und 3 bezeichnet - dargestellt, wobei alle Drähte eines Leiterbündels auf dem selben Potential liegt. Die Drähte der Leiterbündel werden so verdreht, dass Drähte des ersten Leiterbündels zu Drähten eines zweiten Leiterbündels benachbart sind, und dann wiederum Drähte des ersten Leiterbündels anschließen. Durch diese Nachbarschaft unterschiedlicher Phasen der Drähte kann der kapazitive Effekt zwischen den Drähten verbessert werden.

[0104] Denkbar sind auch Induktoren mit mehr als zwei Leiterbündeln. Dann werden bei N Leiterbündeln je ein Draht der verschiedenen Leiterbündel benachbart zueinander angeordnet, woran sich die nächsten N Drähte von je einem Draht der verschiedenen Leiterbündel anschließen.

[0105] All diese Drähte verlaufen in Erstreckung des Induktors 1, allerdings gemeinsam verdreht.

[0106] Denkbar ist auch verschiedene Gruppen von Drähten zu bilden und jede Gruppe einzeln zu verdrehen, wobei der Induktor 1 alle verdrehten Gruppen umfasst.

[0107] Figur 8 zeigt einen Induktor 1, der wenigstens zwei Multifilamentleiter 21, 22 umfasst, wobei die Multifilamentleiter 21, 22 jeweils aus einer Mehrzahl von Leitern 2 gebildet sind.

[0108] Jeder Leiter 2 der Multifilamentleiter 21, 22 weist folglich Unterbrechungsstellen 4 auf, wobei die nicht dargestellten Endbereiche 6 der Leiter 2 an den Unterbrechungsstellen 4 erfindungsgemäß ausgebildet sind. Mit anderen Worten setzen sich die Multifilamentleiter 21, 22 aus einer Mehrzahl von Leitern 2 gemäß Figur 1 zusammen.

[0109] Die Leiter 2 der Multifilamentleiter 21, 22 verlaufen im Wesentlichen zueinander parallel. Durch die Unterbrechungsstellen 4 und einen Versatz 14 der Unterbrechungsstellen 4 des ersten Multifilamentleiters 21 gegenüber den Unterbrechungsstellen 4 des zweiten Multifilamentleiters 22 werden vorteilhafterweise die Leiter 2 des ersten Multifilamentleiters 21 kapazitiv mit den Leitern 2 des zweiten Multifilamentleiters 22 gekoppelt. Hierbei entspricht der Versatz 14 im Wesentlichen einer Resonanzlänge, wobei sich der Versatz 14 entlang der Leiter 2 periodisch fortsetzt. Hierbei weist jeder Leiter 2 eine Mehrzahl von Unterbrechungsstellen 4 auf, wobei die Unterbrechungsstellen 4 eines jeden Leiters 2 einen konstanten Abstand zueinander aufweisen.

[0110] Vorteilhafterweise wird durch die nicht näher dargestellten und erfindungsgemäß ausgebildeten Endbereiche 6 der Leiter 2 der Multifilamentleiter 21, 22 die Teilentladungsfestigkeit des Induktors 1 verbessert. Zudem wird die mechanische Festigkeit an den Unterbrechungsstellen 4 vergrößert.

[0111] Figur 9 zeigt ein schematisches Schnittbild, in dem der abgerundete leitende Körper 40, 40' als Hülse 31 auf ein Kabelende eines jeweiligen Drahts des Induktors aufgesetzt wird.

[0112] Die Figuren 9 und 10 betreffen dabei eine Ausgestaltung, in der ein Leiter im Sinne der Erfindung aus

einem einzigen Einzeldraht - eine einzelne Ader - besteht. Jeder Einzeldraht wird an einer Unterbrechungsstelle getrennt und die beiden sich ergebenden Enden werden individuell mit je einer Hülse 31 versehen.

[0113] Gemäß Figur 9 ist eine Unterbrechungsstelle 4 dargestellt als alternative Ausgestaltung zu Figur 1 bis 5. Ein Endbereich 6 des Leiters 2 - bei diesem kann es sich um eine Vielzahl von verdrehten Adern handeln - ist abisoliert. Ansonsten ist der Leiter 2 von einer Isolation 55 umgeben. Eine weitgehend zylindrische und weitgehend rotationssymmetrische Hülse 31 umfasst eine Aussparung zur Aufnahme des Endbereichs 6 des Leiters 2. Das andere Ende der Hülse 31 bildet den abgerundeten leitenden Körper 40, 40'. Durch Aufnahme des Endbereichs 6 des Leiters 2 in die Aussparung der Hülse 31 und Herstellung einer festen Verbindung, wird somit der abgerundete leitende Körper 40, 40' auf den Leiter 2 aufgebracht. Die feste Verbindung - leitend und kraftschlüssig - erfolgt vorzugsweise mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder elektrisch leitfähigen Klebung.

[0114] Das andere Ende des unterbrochenen Leiters erhält ebenfalls eine entsprechende Hülse 31.

[0115] Die Hülse 31 - im Folgenden auch Schirmhülse genannt - ist dabei ein Formteil, vorzugsweise auf Kupfer oder einem anderen elektrisch leitenden Material.

[0116] Die Hülse 31 entspricht einem Kabelschuh, der bei der Herstellung des Induktors über ein Drahtende - den Endbereich 6 - geschoben werden kann.

[0117] Die Hülse 31 weist somit im Betrieb das gleich elektrische Potential auf wie der Leiter 2.

[0118] Entsprechend der oberflächlichen Form des abgerundeten leitenden Körpers 40, 40' ist ein isolierender Abstandshalter 32 mit zwei gegenüberliegenden Aussparungen vorgesehen, die jeweils der oberflächlichen Form des abgerundeten leitenden Körpers 40, 40' entsprechen.

[0119] Auf diese Weise kann der isolierende Abstandshalter 32 formschlüssig und/oder kraftschlüssig mit dem abgerundeten leitenden Körper 40, 40' verbunden werden.

[0120] Der isolierende Abstandshalter 32 weist nach Figur 9 eine Ausnehmung auf, in die der abgerundete leitende Körper 40, 40' eindringen kann. Der isolierende Abstandshalter 32 umgibt die Hülse 31 vorzugsweise auch quer zur axialen Erstreckung der Hülse 31, so dass die Hülse 31 mit dem Leiter 2 und/oder dem isolierende Abstandshalter 32 coaxial angeordnet ist.

[0121] Gemäß Figur 9 wird die gesamte Anordnung der Unterbrechungsstelle 4 von einer elektrisch isolierenden Muffe 30 umschlossen. Die Muffe 30 ist dabei insbesondere eine Spritzmuffe. Eine Spritzmuffe hat den Vorteil, dass Hohlräume und Lufteinschlüsse vermieden werden können. Die Muffe 30 wirkt isolierend und verleiht zugleich mechanische Stabilität.

[0122] Die Muffe 30 umschließt insbesondere die beiden Endbereiche 6 des Leiters 2, die beiden Hülsen 31 und den Abstandshalter 32. Vorzugsweise umschließt

die Muffe 30 bereits noch isolierte Abschnitte des Leiters 2, aber auch insbesondere die abisolierten Abschnitte des Leiters 2 in den Endbereichen 6. Die Muffe 30 ist dabei insbesondere ein rotationssymmetrischer Körper.

[0123] Zur Erläuterung des Herstellungsverfahrens, wird weiter auf Figur 9 Bezug genommen. Die beiden Drahtenden, die bei der Unterbrechung eines Drahtes entstehen, werden in das Isolationselement eingeführt, um sie mechanisch, in definierte Position zueinander zu verbinden und elektrisch zu isolieren. Das Isolationselement besteht aus zwei leitenden Schirmhülsen (31) (beispielsweise ein Kupfer-Formteil), einem die Schirmhülsen (31) mechanisch verbindenden elektrisch isolierenden Abstandshalter 32 und einer nach außen wirkenden isolierenden Umhüllung, welche insbesondere als Spritzmuffe (30) ausgestaltet ist. Jede Schirmhülse (31), die aus elektrisch gut leitendem Material - beispielsweise Kupfer, Aluminium, andere Metalle oder Legierungen, Graphit, evtl. elektrisch leitfähige Kunststoffe wie CF PEEK (carbonfaserverstärktes Polyetheretherketon) - besteht, weist eine Bohrung auf, in die das zuvor um einige Millimeter von der Drahtisolation befreite Einzeldrahtende eingeführt wird. Die mechanische und elektrische Verbindung von Einzeldrahtende und Schirmhülse (31) kann durch Verformung des Kragens der Schirmhülse (31) mittels eines geeigneten Press-/Crimp-Werkzeuges erfolgen, wobei das Werkzeug derart gestaltet ist, dass keine Grate oder Kanten an der Schirmhülse (31) entstehen. Alternativ kann die Verbindung mit einer Lötung, Schweißung oder elektrisch leitfähigen Klebung erfolgen. Der Abstandshalter 32 ist aus einem hochtemperaturbeständigen und elektrisch isolierenden Werkstoff gefertigt beispielsweise einem Kunststoff wie PFA (Perfluoralkoxylalkan), PTFE (Polytetrafluorethylen) oder PEEK (Polyetheretherketon) oder einer Keramik. Die Schirmhülsen (31) sind mechanisch fest, vorzugsweise formschlüssig in den Abstandshalter 32 eingebracht. Der Abstandshalter schafft einen definierten axialen Abstand zwischen den Schirmhülsen (31), orientiert die Schirmhülsen (31) koaxial und zentriert sie. Die Fertigung des Isolationselements wird abgeschlossen durch eine gasfreie Umhüllung (in Form der genannten Spritzmuffe) von Schirmhülsenpaar (31) und Abstandshalter 32 durch einen hochtemperaturbeständigen Isolierstoff, der bereits an der Einzeladerisolation aufsetzt. Bevorzugt können dazu isolierende Kunststoffe (beispielsweise die oben genannten) verwendet werden. Insbesondere eignen sich solche, die durch ein Spritz-, (Vakuum-)Verguss- oder Extrudier-Verfahren aufgebracht werden können. Insbesondere kann derselbe thermoplastische Kunststoff verwendet werden, der bereits die Außenlage der Einzeladerisolation und / oder den Abstandshalter 32 bilden, beispielsweise PFA.

[0124] Figur 10 zeigt eine alternative Ausgestaltung zu Figur 9, bei der die Anordnung bis auf die Form der Hülsen 31 und des Abstandshalters 32 analog zu Figur 9 ausgebildet ist. Der Übergang zwischen der Hülse 31 und dem Abstandshalter 32 ist allerdings weitgehend in-

vers zu Figur 9, d.h. konkave Oberflächen sind nun konvex und umgekehrt.

[0125] Der abgerundete leitende Körper 40, 40' weist in Figur 9 eine halbkugelförmige konvexe Oberfläche auf. Gemäß Figur 10 weist er nun eine kontinuierlich gekrümmte kragenförmige Oberfläche (40B) auf. Die Oberfläche der Hülse 31 ist abschnittsweise konkav. Da die Hülse 31 vorzugsweise rotationssymmetrisch ist, kann man die Form der zum Abstandshalter 32 gerichteten axialen Endseite auch als torusförmig, genauer als halbtorusförmig bezeichnen.

[0126] Der Abstandshalter 32 ist wieder an die Oberfläche der Hülse 31 angepasst. Folglich weist der isolierende Abstandshalter 32 einen abgerundeten Stift auf. Der Stift kann dabei in die Vertiefung der zentralen kragenförmigen Oberfläche (40B) der Hülse 31 eingeführt werden, so dass eine stabile Verbindung zwischen Hülse 31 und Abstandshalter 32 entsteht.

[0127] Vorzugsweise wird der Abstandshalter 32 in Figur 9 und 10 achsensymmetrisch und rotationssymmetrisch ausgebildet. Allerdings ist es auch möglich individuelle Formen vorzusehen, so dass der Abstandshalter 32 und die Hülse 31 so ineinander eingreifen, dass nur eine bestimmte Position möglich wird. Hierbei ist allerdings darauf zu achten, dass die Oberflächen der leitenden Elemente so gleichförmig wie möglich sind und der leitende Körper abgerundet ist, so dass ein Überspringen eines Strombogens vermieden werden kann.

[0128] Der Abstandshalter 32 schafft einen definierten axialen Abstand zwischen den zueinander gewandten Oberflächen (40A) der Schirmhülsen (31). Er orientiert die Schirmhülsen (31) koaxial zueinander. Er zentriert sie zueinander.

[0129] Die Ausgestaltung der Figur 10 unterscheidet sich gegenüber Figur 9, dass der Abstandshalter 32 analog zu den Drahtenden in eine ihrerseits modifizierte Schirmhülse (31) mit beidseitigen Sackbohrungen eingeführt wird. Alternativ - nicht dargestellt - kann auch eine Durchgangsbohrung mit evtl. unterschiedlichen Radien auf beiden Seiten einer Schirmhülse (31) verwendet werden. Die Verbindung von Schirmhülsen (31) und elektrisch isolierenden Abstandshalter 32 kann durch Pressung bzw. Crimpung (evtl. in einem Arbeitsgang zusammen mit den Drahtenden) oder Klebung erfolgen. Die abschließend angebrachte Spritzmuffe - also die Muffe 30 - stellt wiederum die Isolation radial nach außen, insbesondere zu den benachbarten durchgängigen Drähten, sicher.

[0130] Die Figuren 1 bis 7 betreffen eine Ausgestaltung, in der der Leiter 2 im Sinne der Erfindung aus einer Vielzahl von Einzeldrähten besteht. Alle diese zu einem Leiter zugehörigen Einzeldrähte werden an einer Unterbrechungsstelle getrennt. Dies ist vorteilhaft, wenn bereits ein verdrehtes Kabel existiert und nachträglich Unterbrechungsstellen eingefügt werden sollen.

[0131] Die Figuren 9 und 10 betreffen dagegen eine Ausgestaltung, in der der Leiter 2 im Sinne der Erfindung aus einem einzigen Einzeldraht besteht. Dieser Einzel-

draht kann beispielsweise einen Querschnitt von ca. 1 mm² aufweisen. Jeder Einzeldraht wird an einer Unterbrechungsstelle getrennt und die beiden sich ergebenden Enden werden individuell mit je einer Hülse 31 versehen. Diese Ausgestaltung ist vorteilhaft, wenn Einzeldrähte vorab mit Unterbrechungsstellen versehen werden und erst anschließend eine Verdrillung oder Verseilung oder Wicklung zu einem gemeinsamen Kabel umfassend mehrerer dieser Einzeldrähte hergestellt wird. Die Verseilung bewirkt eine Zugentlastung für den Induktor 1.

[0132] Die Verwendung von abgerundeten Oberflächen (vgl. 40, 40') an der Unterbrechungsstelle 4 weist folgende Vorteile auf:

Die Anordnung ermöglicht die Vermeidung von lokalen Überhöhungen der elektrischen Feldstärke an sonst vorliegenden Leiterkanten und -spitzen, die zu Teilentladungen und damit zum Ausfall des Induktors 1 führen können. Weiterhin vorteilhaft ist, dass die Zahl der kritischen Leiter-Enden drastisch reduziert wird, was ebenfalls der Erhöhung der Zuverlässigkeit dient.

[0133] Ein positiver Nebeneffekt ist, dass das Induktorkabel (in einem ersten Schritt jedoch ohne Unterbrechungen) wie ein übliches Kabel kontinuierlich hergestellt werden kann, und die Unterbrechungen nachträglich vorgenommen werden. Damit wird es insbesondere möglich das noch unterbrechungsfreie Kabel vorab einem Teilentladungstest zu unterziehen, um eventuelle Schwachstellen der Einzelleiterisolation vorab zu identifizieren.

[0134] Weiterhin kann die Festlegung der Resonanzfrequenz, die neben der Induktor-Schleifengeometrie vom Abstand der Unterbrechungen abhängt, nach der Kabelherstellung abgestimmt auf das jeweilige Reservoir erfolgen und muss nicht bereits vor der Kabelherstellung bekannt sein. D.h. das Kabel kann in Grenzen unabhängig von der individuellen Lagerstätte hergestellt werden und die Anpassung daran findet erst durch die nachträgliche Einbringung der Unterbrechungsstellen in individuell definiertem Abstand (Resonanzlänge) statt.

[0135] Die Vorteile des Isolationselements sind weiterhin wie folgt:

Die Schirmhülsen (31) umhüllen die Einzeldrahtenden, die aufgrund der Auftrennung/Zerschneidung ohne weitere Maßnahmen in der Regel scharfe Kanten und Grate aufweisen, und vermeiden Überhöhungen des elektrischen Feldes an den Einzeldrahtenden, aufgrund der Schirmwirkung bedingt durch gleiches Potential von Drahtende und Schirmhülse (31).

[0136] An den Außenflächen der Schirmhülsen (31) treten keine Feldüberhöhungen des elektrischen Feldes auf, da die Schirmhülsen (31) erfindungsgemäß keine

Kanten sondern nur Rundungen aufweisen.

[0137] Die Abstandshalter 32 stellen sicher, dass die elektrische Feldstärke zwischen einem Schirmhülsepaar (jeweils Bezugszeichen 31) keine kritischen Werte übersteigen.

[0138] Kritische Feldstärken am Ende der Einzeladerisolation des Drahtendes werden durch den vorgesehenen Überhang der Schirmhülse (31) vermieden bzw. verringert. Diese Stelle ist kritisch, da evtl. nicht sichergestellt werden kann, dass sie gasfrei umspritzt werden kann.

[0139] Die Isolationselement schafft eine zugfeste Verbindung von einem Drahtende über erste Schirmhülse (31), Abstandshalter 32, zweite Schirmhülse (31) zum anderen Drahtende. Diese wird für nachfolgende Verseilungsschritte benötigt.

[0140] Der Abstandshalter nach Figur 9 garantiert eine Mindestdicke der Isolationsdicke in radialer Richtung, auch wenn die Spritzmuffe - d.h. die Muffe 30 - axial versetzt aufgebracht wird, da der Abstandshalter während des Spritzvorgangs maximal an der Innenwand der Spritzform anliegen kann.

[0141] Mit dem Abstandshalter 32 nach Figur 10 lässt sich evtl. eine rationellere Fertigung erreichen, indem die Drahtenden gleichzeitig mit dem Abstandshalter 32 mit der Schirmhülse (31) verpresst werden können.

[0142] Figur 11 zeigt einen perspektivischen Ausschnitt aus einem Ölsand-Reservoir als Lagerstätte mit einem weitgehend horizontal im Reservoir verlaufenden Induktor 1, der auch als elektrische Leiterschleife bezeichnet werden kann. Es ist eine als Reservoir bezeichnete Ölsand-Lagerstätte dargestellt, wobei für die spezifischen Betrachtungen immer eine quaderförmige Einheit 100 mit der Länge 1, der Breite w und der Höhe h herausgegriffen wird. Die Länge 1 kann beispielsweise bis zu einigen 500 m, die Breite w 60 bis 100 m und die Höhe h etwa 20 bis 100 m betragen. Zu berücksichtigen ist, dass ausgehend von der Erdoberfläche E ein "Deckgebirge" der Stärke s bis zu 500 m vorhanden sein kann.

[0143] Weiter ist eine Anordnung zur induktiven Heizung des Reservoirausschnittes 100 dargestellt. Diese kann durch eine lange, d.h. einige 100 m bis 1,5 km, im Boden verlegte Leiterschleife 120 bis 121 gebildet werden, wobei der Hinleiter 120 und Rückleiter 121 nebeneinander, also in derselben Tiefe, geführt sind und am Ende über ein Element 15 innerhalb oder außerhalb des Reservoirs miteinander verbunden sind. Am Anfang werden die Leiter 120 und 121 vertikal oder in einem flachen Winkel hinunter geführt und von einem Hochfrequenz-Generator 60, der in einem externen Gehäuse untergebracht sein kann, mit elektrischer Leistung versorgt. Der Hochfrequenz-Generator 60 bzw. Mittelfrequenz-Generator deckt vorzugsweise einen Bereich von 10 kHz bis 200 kHz oder einen Unterbereich dazu ab und kann vorzugsweise auf beliebige Frequenzen in diesem Frequenzbereich eingestellt werden. Denkbar ist auch ein Betriebsbereich von 1kHz bis 500kHz.

[0144] In Figur 11 verlaufen die Leiter 120 und 121 in

gleicher Tiefe nebeneinander. Sie können aber auch übereinandergeführt werden. Unterhalb der Leiterschleife (d.h. der Leiter 120 und 121), d.h. auf dem Boden der Reservoirereinheit 100, ist ein Förderrohr 102 angedeutet, über das verflüssigtes Bitumen oder Schweröl gesammelt und/oder abtransportiert werden kann.

[0145] Typische Abstände zwischen den Hin- und Rückleitern 120, 121 sind 5 bis 60 m bei einem Außendurchmesser der Leiter von 10 bis 50 cm (0,1 bis 0,5 m).

[0146] Der Hinleiter 120 und der Rückleiter 121 aus Figur 11 sind zumindest im Bereich ihrer weitgehend horizontalen Erstreckung vorzugsweise mit Unterbrechungen gemäß der Figuren 1 bis 10 ausgebildet.

[0147] Beispielhafte Betriebsparameter sind beispielsweise eine induktiv eingebrachte Heizleistung von 1 kW pro Meter Doppelleitung. Eine Stromamplitude kann beispielsweise 300 A bis 1000 A vorgesehen sein. Ein einzelner Draht kann beispielsweise 0,5 bis 1 mm Durchmesser aufweisen. In Summe können alle Drähte im Induktor einen Querschnitt von 1000 bis 1500 mm² haben. Beispielsweise kann der Induktor aus 2500 bis 3500 einzelnen massiven Drähten bestehen. Als Material für die Drähte kann Kupfer vorgesehen sein. Als Isolation für jeden einzelnen Draht kann beispielsweise Teflon vorgesehen sein. Wandstärke der Isolation kann beispielsweise 0,2 bis 0,3 mm betragen. Die doppelte Resonanzlänge für einen beispielhaften Induktor kann z.B. 35 bis 50 m betragen. Die Anordnung der Drähte in Längsrichtung erfolgt mit einem Versatz der Unterbrechungsstellen um die Resonanzlänge.

[0148] Die Erfindung gemäß der Figuren betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zum Eintragen von Wärme in eine geologische Formation, insbesondere in eine in einer geologischen Formation vorliegenden Lagerstätte, insbesondere zur Gewinnung einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz - insbesondere Erdöl - aus der Lagerstätte. Es wird ein Induktor vorgeschlagen, der für die "in-situ"-Gewinnung bei unterirdischen Lagerstätten, etwa ab einer Tiefe von etwa 75 m, ausgelegt ist. Das bedeutet, dass bei dieser Technik der Ölsand - also der Sand und das Gestein mit dem enthaltenen Öl - an Ort und Stelle verbleibt. Das Öl bzw. das Bitumen wird mittels elektromagnetischer Wellen und evtl. weiterer verschiedener Verfahren vom Sandkorn getrennt und fließfähiger gemacht, damit es gefördert werden kann. Die vorgestellte "in situ"-Methode hat das Prinzip, die Temperatur im Untergrund zu erhöhen und somit die Viskosität des gebundenen Öls bzw. des Bitumens zu verringern und es fließfähiger zu machen, um es anschließend abpumpen zu können. Die Hitzeeinwirkung bewirkt insbesondere, dass sich langkettige Kohlenwasserstoffe des hochviskosen Bitumens aufspalten. Der Induktor - d.h. ein elektrischer Leiter der als Induktionsleitung ausgebildet ist -, kann verlustarm als Resonanzkreis betrieben werden. Da vorzugsweise beide Enden des Induktors an den Frequenzgenerator angeschlossen werden, bildet die Induktionsleitung eine Induktionsschleife. Die technische Realisierung der elektrischen Leitung wird als Re-

sonanzkreis durchgeführt. Der Frequenzgenerator kann vorzugsweise als Frequenzumrichter ausgebildet werden, welcher eine Spannung mit einer Frequenz von 50Hz oder 60Hz aus dem Netz in eine Spannung mit einer Frequenz im Bereich von 1kHz bis 500kHz umwandelt. Der Frequenzumrichter kann Obertage installiert sein. Weiterhin kann vorzugsweise in die durch die Induktionsschleife erwärmte Lagerstättenzone mindestens eine Förderbohrung gebohrt werden. Darüber hinaus kann optional zwischen zwei durchgehenden quasiparallelen Bohrungen, in denen die Induktionsschleife angeordnet ist, mindestens eine Injektionsbohrung zur Injektion von heißem Wasserdampf vorgesehen sein.

[0149] Nach Verlegung des Induktors als Induktionsschleife in mindestens zwei Bohrungen und dem Anschluss der Induktionsschleife an den Frequenzgenerator beginnt im Betrieb das Bestromen des Leiters, und somit das induktive Erwärmen Untergrunds mit sich ergebender Bildung einer Erwärmungszone, die sich durch eine erhöhte Temperatur auszeichnet. Die Leiterschleife oder Induktionsschleife wirkt im Betrieb als Induktionsheizung, um zusätzliche Wärme in die Lagerstätte einzubringen. Der aktive Bereich des Leiters kann in im wesentlichen horizontaler Richtung innerhalb der Lagerstätte eine nahezu geschlossenen Schleife (also ein Oval) beschreiben. An den aktiven Bereich kann sich ein - eventuell oberirdisch gelegener - Endbereich anschließen. Die oberirdisch gelegenen Teile des Anfangs- und Endbereiches des Leiters können elektrisch mit einer Stromquelle - dem Frequenzgenerator - kontaktiert sein. Es ist vorzugsweise vorgesehen, die Leitungsinduktivität des Leiters abschnittsweise durch Serienkapazitäten zu kompensieren. Dabei kann für die Leitung mit integrierter Kompensation vorgesehen sein, dass die Frequenz des Frequenzgenerators auf die Resonanzfrequenz der Stromschleife abgestimmt wird. Die Kapazität im Leiter kann zwischen Kabel-Abschnitten gebildet. Ein vorliegendes Dielektrikum wird dabei so gewählt, dass es eine hohen Spannungsfestigkeit und eine hohe Temperaturbeständigkeit erfüllt.

[0150] Eine Isolierung des Induktors gegen das umliegende Erdreich ist vorteilhaft, um resistive Ströme durch das Erdreich zwischen den benachbarten Kabel-Abschnitten insbesondere im Bereich der Kondensatoren zu verhindern. Die Isolation verhindert weiterhin einen resistiven Stromfluss zwischen Hin- und Rückleiter.

[0151] Die Kompensation der Längsinduktivität kann im Betrieb mittels Querkapazitäten erfolgen. Der Kapazitätsbelag - den eine Zweidrahtleitung wie z. B. eine Koaxialleitung oder Mehrdrahtleitungen ohnehin über ihre gesamte Länge bereitstellt - kann zur Kompensation der Längsinduktivitäten verwendet werden. Dazu wird in gleichen Abständen abwechselnd der Innen- und Außenleiter unterbrochen und so der Stromfluss über die verteilten Querkapazitäten erzwungen.

[0152] Die Temperatur im Betrieb in der Erwärmungszone hängt von der eingebrachten elektromagnetischen Leistung ab, welche sich aus den geologischen und phy-

sikalischen (z. B. elektrische Leitfähigkeit) Parametern der Lagerstätte, sowie den technischen Parametern der elektrischen Anordnung, insbesondere bestehend aus dem Induktor und dem Hochfrequenzgenerator, ergibt. Diese Temperatur kann bis zu 300°C erreichen und ist regelbar durch Änderung der Stromstärke durch die Schleife des Induktors. Die Regelung erfolgt über den Frequenzgenerator. Die elektrische Leitfähigkeit der Lagerstätte kann durch zusätzliches Injizieren von Wasser oder eines anderen Fluides, z. B. eines Elektrolytes, erhöht werden.

[0153] Die Temperaturentwicklung erfolgt zunächst aufgrund der Induktion von Wirbelströmen in den elektrisch leitfähigen Bereichen des Untergrunds. Im Verlauf der Erwärmung entstehen Temperaturgradienten, das heißt Orte höherer Temperatur, als der ursprünglichen Reservoirtemperatur. Die Orte höherer Temperatur entstehen dort, wo Wirbelströme induziert werden. Der Ausgangspunkt der Wärme ist daher nicht die Induktionsschleife bzw. der elektrische Leiter, sondern es sind die durch das elektromagnetische Feld in der elektrisch leitfähigen Schicht induzierten Wirbelströme. Durch die im Laufe der Zeit entstehenden Temperaturgradienten kommt es in Abhängigkeit der thermischen Parameter wie thermischer Leitfähigkeit auch zur Wärmeleitung, wodurch sich das Temperaturprofil ausgleicht. Mit größerem Abstand zum Leiter verringert sich die Stärke des Wechselfeldes, so dass dort nur noch eine geringere Erwärmung ermöglicht wird.

[0154] Erfolgt dagegen ein Abtransport der Fluide oder der fluide gemachten elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten sofort, sobald sie fluide gemacht wurden, so erfolgt an den leergeforderten Stellen um so weniger Erwärmung durch elektrische Wirbelströme, je mehr das Erdreich mit seiner elektrischen Leitfähigkeit mit abtransportiert wurde. Zwar ist das elektromagnetische Feld immer noch da, jedoch können sich Wirbelströme nur dort ausbilden, wo noch Leitfähigkeit vorhanden sein wird. Allerdings kann ein Abfließen einer Flüssigkeit bewirken, dass andere Flüssigkeit nachfließt.

[0155] Die eingebrachte Leistung wird vorzugsweise zwischen 100kW bis mehrere Megawatt eingestellt.

[0156] Die Erfindung betrifft lediglich einen Induktor. In einer Lagerstätte können allerdings je nach Größe mehrere Induktoren nebeneinander und mit Abstand zueinander verlegt werden.

[0157] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt oder andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Induktor (1) zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte (100) einer koh-

lenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, insbesondere zur Gewinnung der kohlenwasserstoffhaltigen Substanz aus der Lagerstätte (100), umfassend wenigstens einen Leiter (2), wobei der Leiter (2) wenigstens eine Unterbrechungsstelle (4) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens an einem Endbereich (6) des Leiters (2) an der Unterbrechungsstelle (4) ein abgerundeter leitender Körper (40) aufgebracht ist und dass der abgerundete leitende Körper (40) an einem Ende als Hülse (31) ausgebildet ist und der Endbereich (6) des Leiters (2) in die Hülse (31) eingeführt ist.

2. Induktor (1) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der abgerundete leitende Körper (40) eine halbkugelförmige Oberfläche (40A) oder eine kontinuierlich gekrümmte kragenförmige Oberfläche (40B) umfasst.

3. Induktor (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leiter (2) aus einem einzelnen Draht besteht und eine Vielzahl von Leitern (2) den Induktor (1) bilden.

4. Induktor (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hülse (31) eine Sackbohrung oder Durchgangsbohrung aufweist, in die der Endbereich (6) des Leiters (2) in die Hülse (31) eingeführt ist.

5. Induktor (1) gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mechanische Verbindung zwischen der Hülse (31) und des Endbereichs (6) des Leiters (2) mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder elektrisch leitfähigen Klebung erfolgt.

6. Induktor (1) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einem weiteren Endbereich (6) des Leiters (2) an der Unterbrechungsstelle (4) ein weiterer abgerundeter leitender Körper (40') aufgebracht ist und dass zwischen dem abgerundeten leitenden Körper (40) und dem weiteren abgerundeten leitenden Körper (40') ein isolierender Abstandshalter (32) positioniert ist.

7. Induktor (1) gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierende Abstandshalter (32) einen Oberflächenabschnitt aufweist, wobei der Oberflächenabschnitt des isolierenden Abstandshalters (32) mechanisch und vorzugsweise formschlüssig mit einem Oberflächenabschnitt des abgerundeten leitenden Körper (40) verbunden ist.

8. Induktor (1) gemäß Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierenden Abstandshal-

ter (32) so ausgestaltet ist und Oberflächenformen des isolierenden Abstandshalters (32) derart in Oberflächenformen des abgerundeten leitenden Körpers (40) und in Oberflächenformen des weiteren abgerundeten leitenden Körpers (40') eingreifen, dass der abgerundete leitende Körper (40) und in der weitere abgerundete leitende Körper (40') zueinander ohne Versatz und in vorgegebenem Abstand fixiert werden.

9. Induktor (1) gemäß einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mechanische Verbindung zwischen dem abgerundeten leitende Körper (40) und des isolierenden Abstandshalter (32) mittels Pressung und/oder Crimpung und/oder Lötung und/oder Schweißung und/oder Klebung erfolgt.
10. Induktor (1) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Unterbrechungsstelle (4) des Leiters (2) und an die Unterbrechungsstelle (4) anschließende Leiterabschnitte und an der Unterbrechungsstelle (4) vorgesehene Komponenten von einer Muffe (30) umschlossen ist.
11. Betriebsverfahren zur Heizung einer geologischen Formation, insbesondere einer Lagerstätte einer kohlenwasserstoffhaltigen Substanz, beispielsweise eine Ölsand-, Ölschiefer- oder Schweröllagerstätte, mittels elektromagnetischer Induktion, insbesondere zur Gewinnung der kohlenwasserstoffhaltigen Substanz aus der Lagerstätte, bei dem ein in der geologischen Formation angeordneter Induktor (1) mit wenigstens einem Leiter (2) derart angesteuert wird, dass sich ein elektromagnetisches Feld in der geologischen Formation ausbildet, wobei dazu der Leiter (2) wenigstens eine Unterbrechungsstelle (4) aufweist, wobei wenigstens an einem Endbereich (6) des Leiters (2) an der Unterbrechungsstelle (4) ein abgerundeter leitender Körper (40) aufgebracht ist und wobei der abgerundete leitende Körper (40) an einem Ende als Hülse (31) ausgebildet ist und der Endbereich (6) des Leiters (2) in die Hülse (31) eingeführt ist.

Claims

1. Induktor (1) for heating a geological formation, especially a reservoir (100), of a substance containing hydrocarbons, for example an oil sand, oil shale or heavy oil reservoir, by means of electromagnetic induction, especially for extracting the substance containing hydrocarbons from the reservoir (100), comprising at least one conductor (2), wherein the conductor (2) has at least one interruption point (4), **characterised in that** a rounded conductive body

(40) is fitted to at least to one end area (6) of the conductor (2) at the interruption point (4) and that the rounded conductive body (40) is embodied at one end as a sleeve (31) and the end area (6) of the conductor (2) is introduced into the sleeve (31).

2. Induktor (1) according to claim 1, **characterised in that** the rounded conductive body (40) comprises a hemispherical surface (40A) or a continuously curved collar-shaped surface (40B).
3. Induktor (1) according to claim 1 or 2, **characterised in that** the conductor (2) consists of an individual wire and a plurality of conductors (2) form the inductor (1).
4. Induktor (1) according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the sleeve (31) has a blind hole or a through-hole into which the end area (6) of the conductor (2) is introduced into the sleeve (31).
5. Induktor (1) according to claim 4, **characterised in that** a mechanical connection between the sleeve (31) and the end area (6) of the conductor (2) is made by means of pressing and/or crimping and/or soldering and/or welding and/or electrically-conductive glueing.
6. Induktor (1) according to one of the preceding claims, **characterised in that** a further rounded conductive body (40') is fitted to a further end area (6) of the conductor (2) at the interruption point (4) and that an insulating spacer (32) is positioned between the rounded conductive body (40) and the further rounded conductive body (40').
7. Induktor (1) according to claim 6, **characterised in that** the insulating spacer (32) has a surface section, wherein the surface section of the insulating spacer (32) is connected mechanically and preferably with a form fit to a surface section of the rounded conductive body (40).
8. Induktor (1) according to claim 6 or 7, **characterised in that** the insulating spacer (32) is embodied and surface shapes of the insulating spacer (32) engage into surface shapes of the rounded conductive body (40) and into surface shapes of the further rounded conductive body (40') such that the rounded conductive body (40) and the further rounded conductive body (40') are fixed in relation to one another without an offset and at a pre-specified distance.
9. Induktor (1) according to one of claims 6 to 8, **characterised in that** a mechanical connection between the rounded conductive body (40) and the insulating spacer (32) is made by means of pressing and/or crimping and/or soldering and/or welding and/or

glueing.

10. Inducteur (1) according to one of the preceding claims, **characterised in that** the interruption point (4) of the conductor (2) and conductor sections adjoining the interruption point (4) and components provided at the interruption point (4) are surrounded by an outer sleeve (30).
11. Operating method for heating a geological formation, especially a reservoir of a substance containing hydrocarbons, for example an oil sand, or oil shale or heavy oil reservoir, by means of electromagnetic induction, especially for recovering the substance containing hydrocarbons from the reservoir, in which an inductor (1) disposed in the geological formation with at least one conductor (2) is activated such that an electromagnetic field forms in the geological formation, wherein for this purpose the conductor (2) has at least one interruption point (4), wherein a rounded conductive body (40) is attached at least to one end area (6) of the conductor (2) at the interruption point (4) and wherein the rounded conductive body (40) is embodied at one end as a sleeve (31) and the end area (6) of the conductor (2) is introduced into the sleeve (31).

Revendications

1. Inducteur (1) de chauffage d'une formation géologique, notamment d'un gisement (100) d'une substance hydrocarbonée, par exemple d'un gisement de sable pétrolifère, de schiste bitumineux ou d'huile lourde, au moyen d'une induction électromagnétique, notamment pour obtenir la substance hydrocarbonée du gisement (100), comprenant au moins un conducteur (2), le conducteur (2) ayant au moins un point (24) d'interruption, **caractérisé en ce que**, au moins sur une partie (6) d'extrémité du conducteur (2), un corps (40) conducteur arrondi est déposé au point (4) d'interruption et **en ce que** le corps (40) conducteur arrondi est constitué à une extrémité sous la forme d'un manchon (31) et la partie (6) d'extrémité du conducteur (2) est insérée dans le manchon (31).
2. Inducteur (1) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le corps (40) conducteur arrondi comprend une surface (40A) hémicirculaire ou une surface (40B) en forme de collet incurvée continuellement.
3. Inducteur (1) suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le conducteur (2) est constitué d'un fil métallique unique et une pluralité de conducteurs (2) forment l'inducteur (1).
4. Inducteur (1) suivant l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le manchon (31) a un trou borgne ou un trou traversant, dans lequel la partie (6) d'extrémité du conducteur (2) est insérée dans le manchon (31).
5. Inducteur (1) suivant la revendication 4, **caractérisé en ce qu'**une liaison mécanique entre le manchon (31) et la partie (6) d'extrémité du conducteur (2) s'effectue au moyen d'un serrage et/ou d'un sertissage et/ou d'un brasage et/ou d'un soudage et/ou d'un collage conducteur électriquement.
6. Inducteur (1) suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, sur une autre partie (6) d'extrémité du conducteur (2), un autre corps (40') conducteur arrondi est déposé au point (4) d'interruption et **en ce que**, entre le corps (40) conducteur arrondi et l'autre corps (40') conducteur arrondi, est placée une entretoise (32) isolante.
7. Inducteur (1) suivant la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'entretoise (32) isolante a une partie de surface, la partie de surface de l'entretoise (32) isolante étant reliée mécaniquement et de préférence à complémentarité de forme à une partie de surface du corps (40) conducteur arrondi.
8. Inducteur (1) suivant la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** l'entretoise (32) isolante est conformée et des formes de surface de l'entretoise (32) isolante pénètrent dans des formes de surface du corps (40) conducteur arrondi et dans des formes de surface de l'autre corps (40') conducteur arrondi, de manière à ce que le corps (40) conducteur arrondi et l'autre corps (40') conducteur arrondi soient immobilisés l'un par rapport à l'autre sans décalage et à une distance donnée à l'avance.
9. Inducteur (1) suivant l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce qu'**une liaison mécanique entre le corps (40) conducteur arrondi et l'entretoise (32) isolante a lieu au moyen d'un serrage et/ou d'un sertissage et/ou d'un brasage et/ou d'un soudage et/ou d'un collage.
10. Inducteur (1) suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le point (4) d'interruption du conducteur (2) et des tronçons du conducteur se raccordant au point (4) d'interruption et des composants prévus au point (4) d'interruption sont entourés d'un embout (30).
11. Procédé de chauffage d'une formation géologique, notamment d'un gisement d'une substance hydrocarbonée, par exemple d'un gisement de sable pétrolifère, de schiste bitumineux ou d'huile lourde, au moyen d'une induction électromagnétique, notam-

ment pour obtenir la substance hydrocarbonée d'un gisement, dans lequel on commande un inducteur (1) disposé dans la formation géologique et ayant au moins un conducteur (2), de manière à former un champ électromagnétique dans la formation géologique, le conducteur (2) ayant à cet effet au moins un point (4) d'interruption, dans lequel, au moins sur une partie (6) d'extrémité du conducteur (2), un corps (40) conducteur arrondi est déposé au point (4) d'interruption et dans lequel le corps (40) conducteur arrondi est constitué à une extrémité sous la forme d'un manchon (31) et la partie (6) d'extrémité du conducteur (2) est insérée dans le manchon (31).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

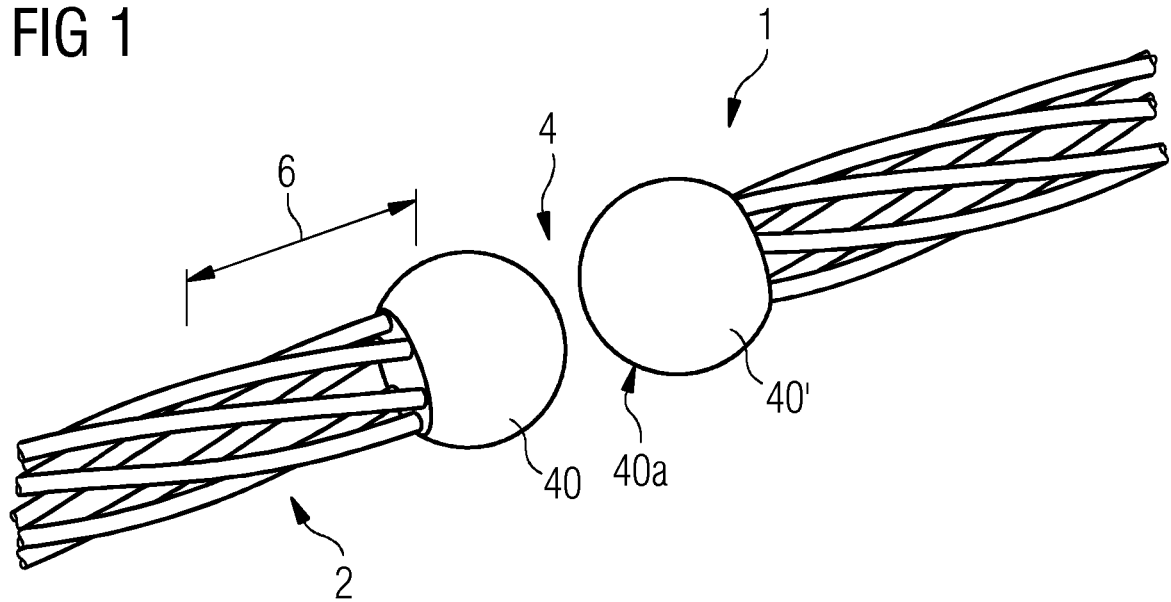


FIG 2

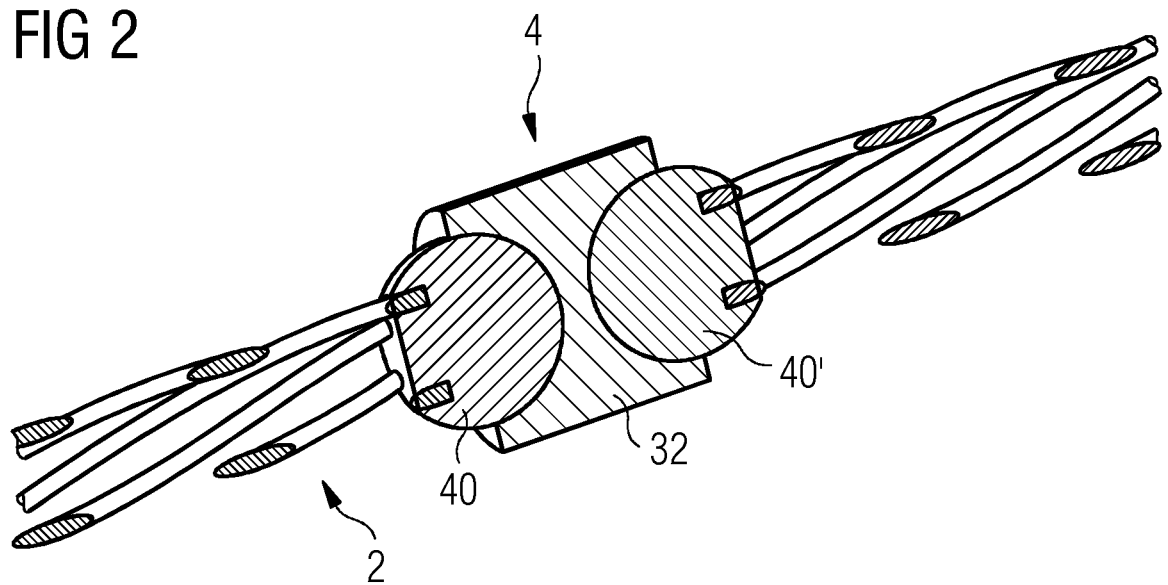


FIG 3

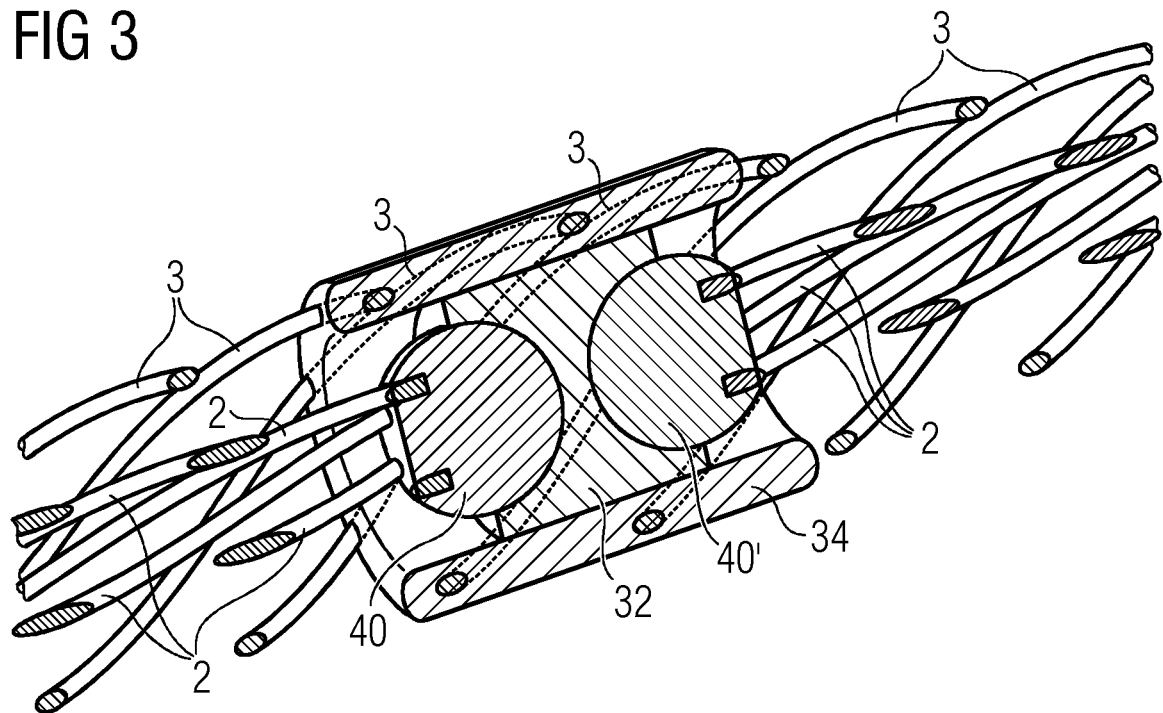


FIG 4

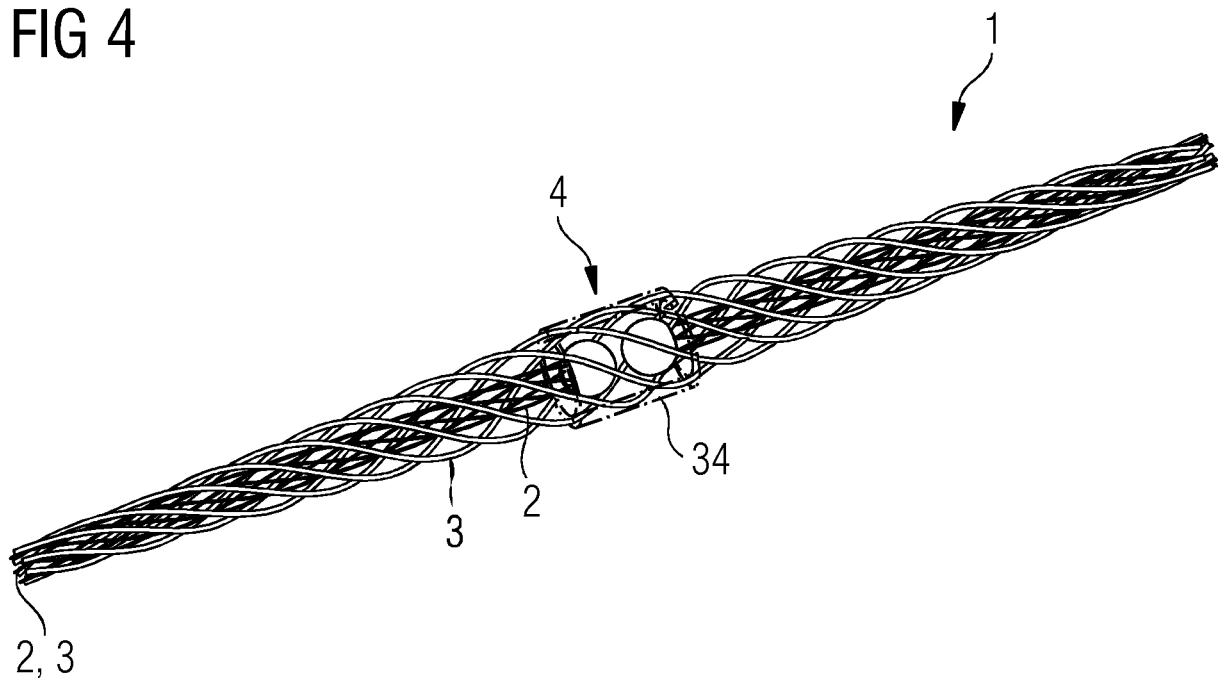


FIG 5

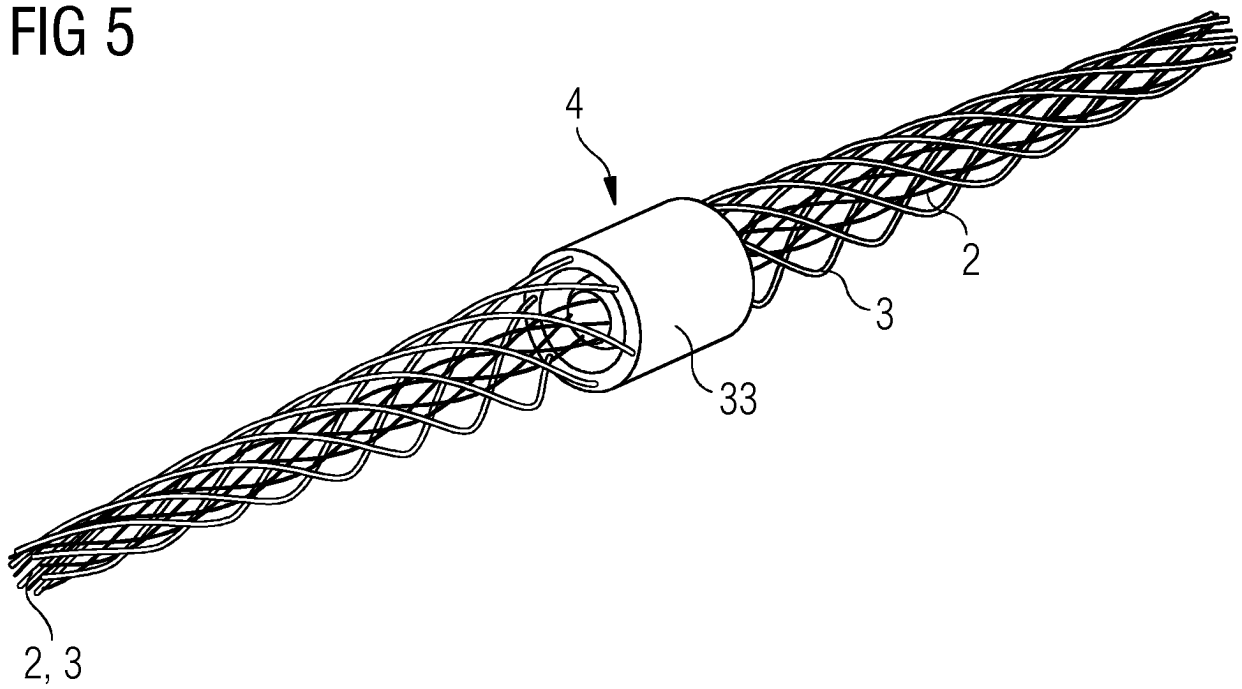


FIG 6A

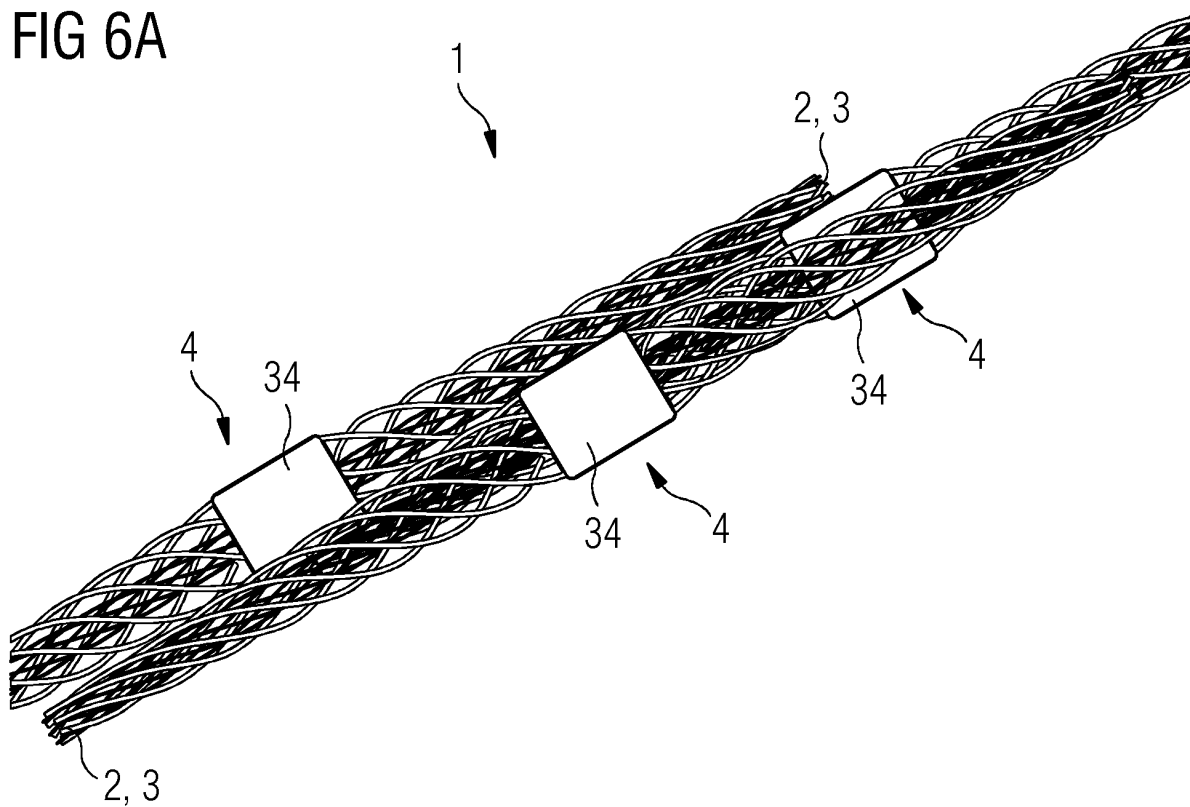


FIG 6B

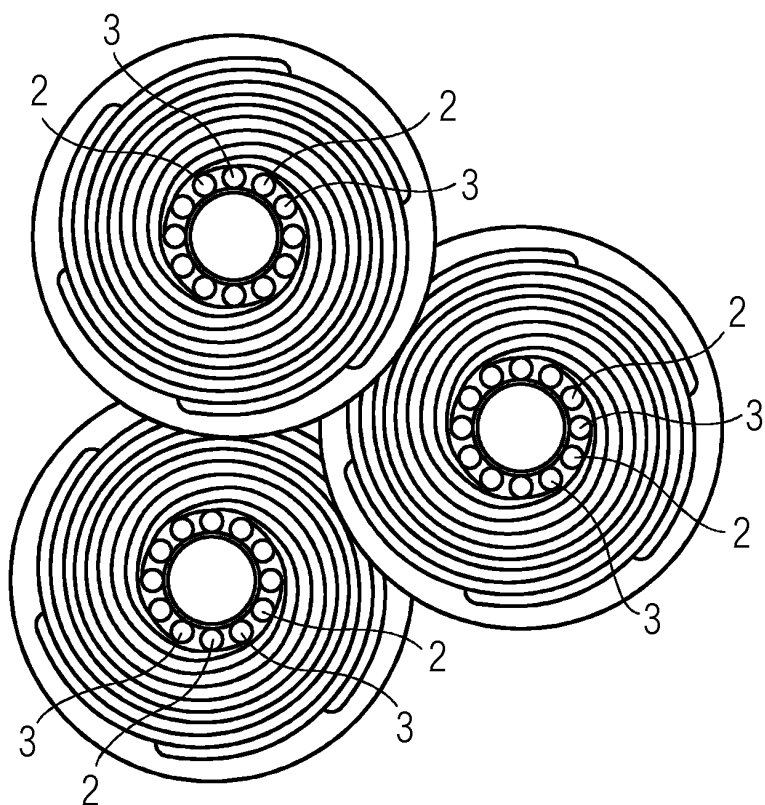


FIG 7A

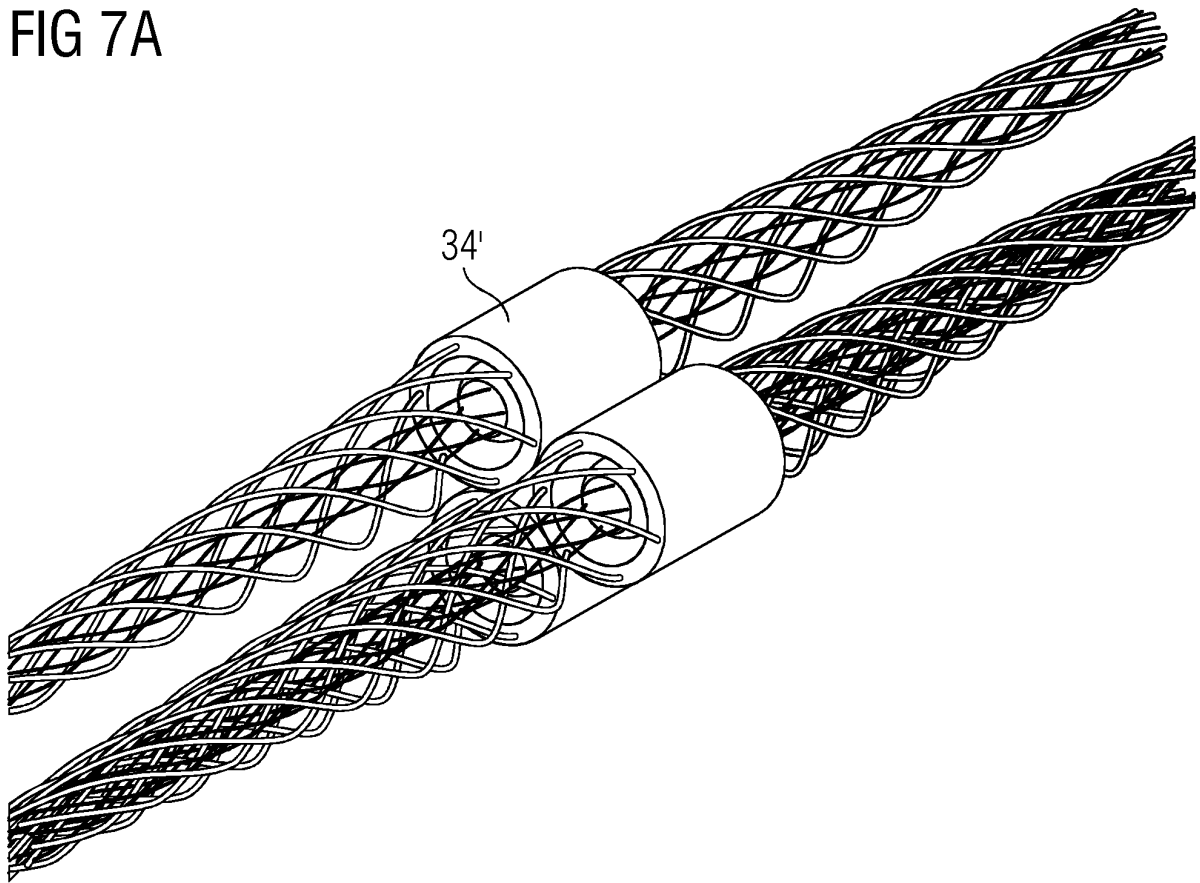


FIG 7B

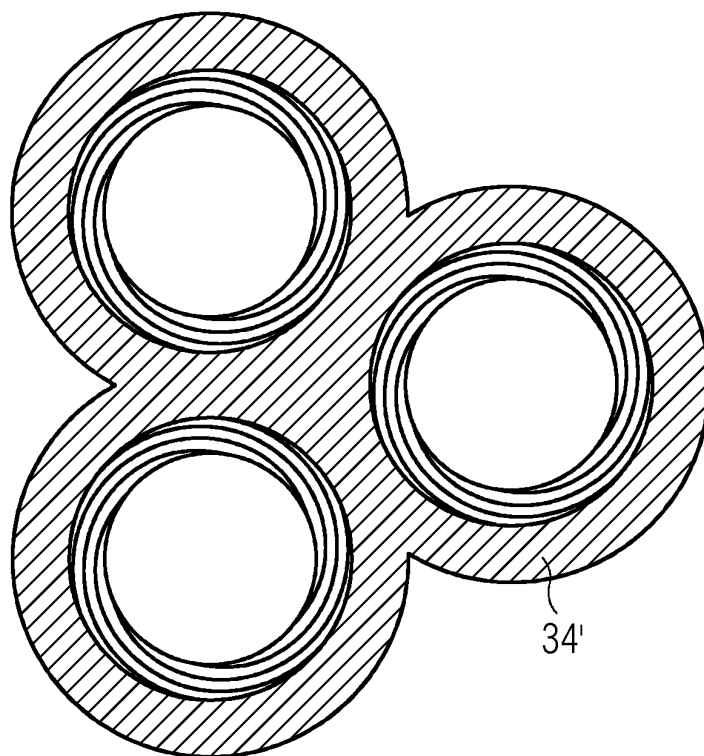


FIG 8

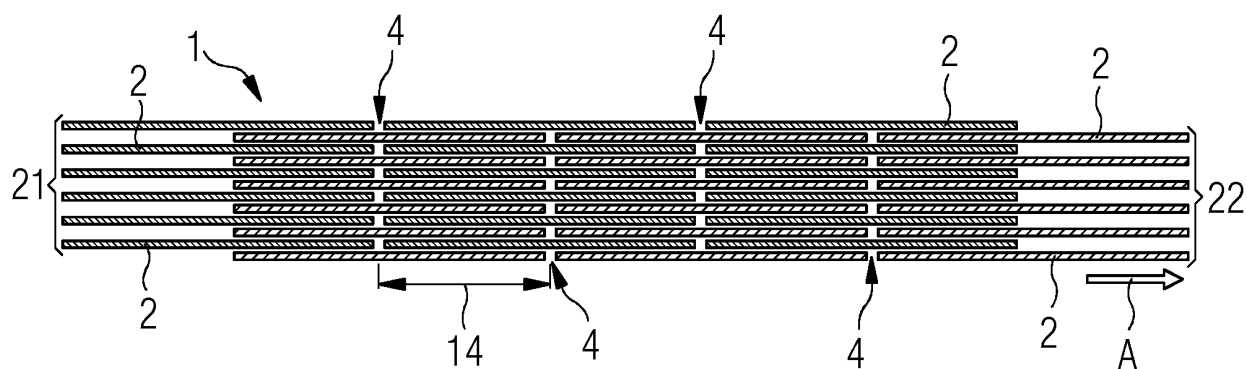


FIG 9

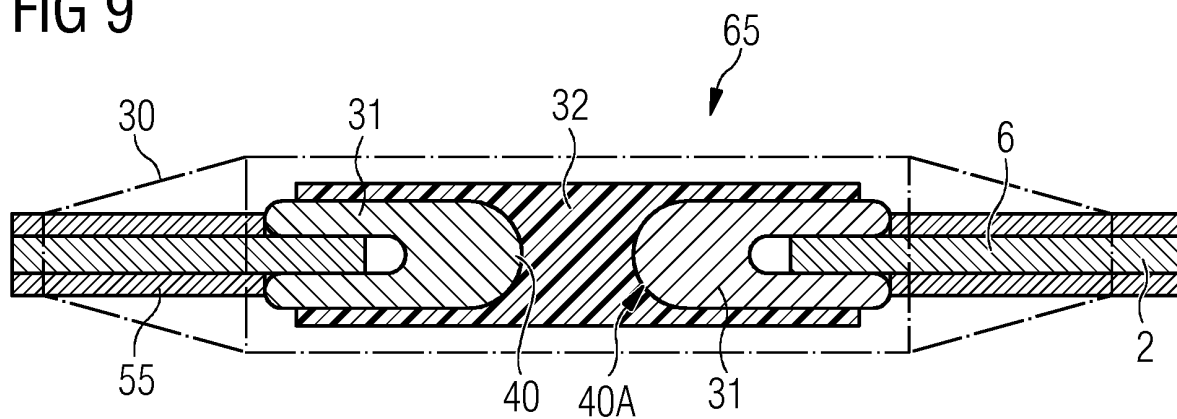


FIG 10

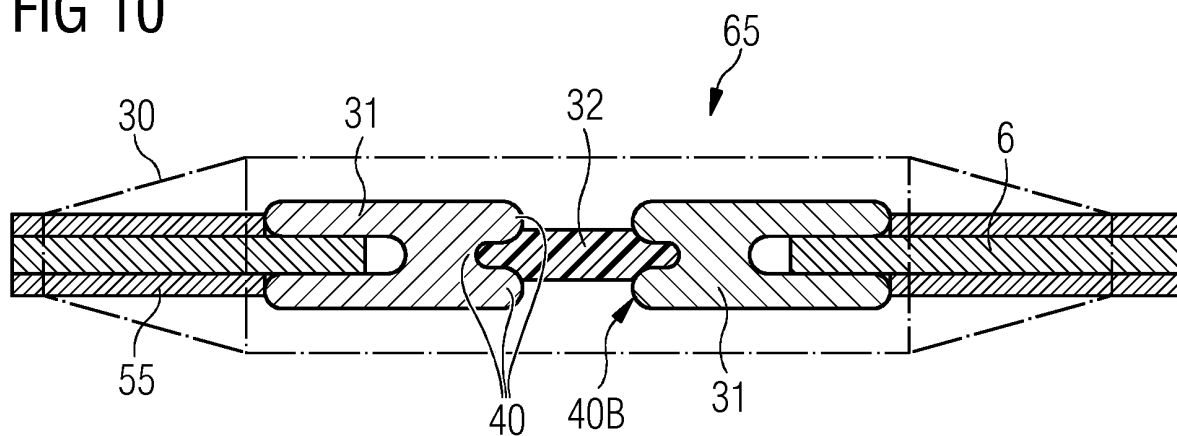
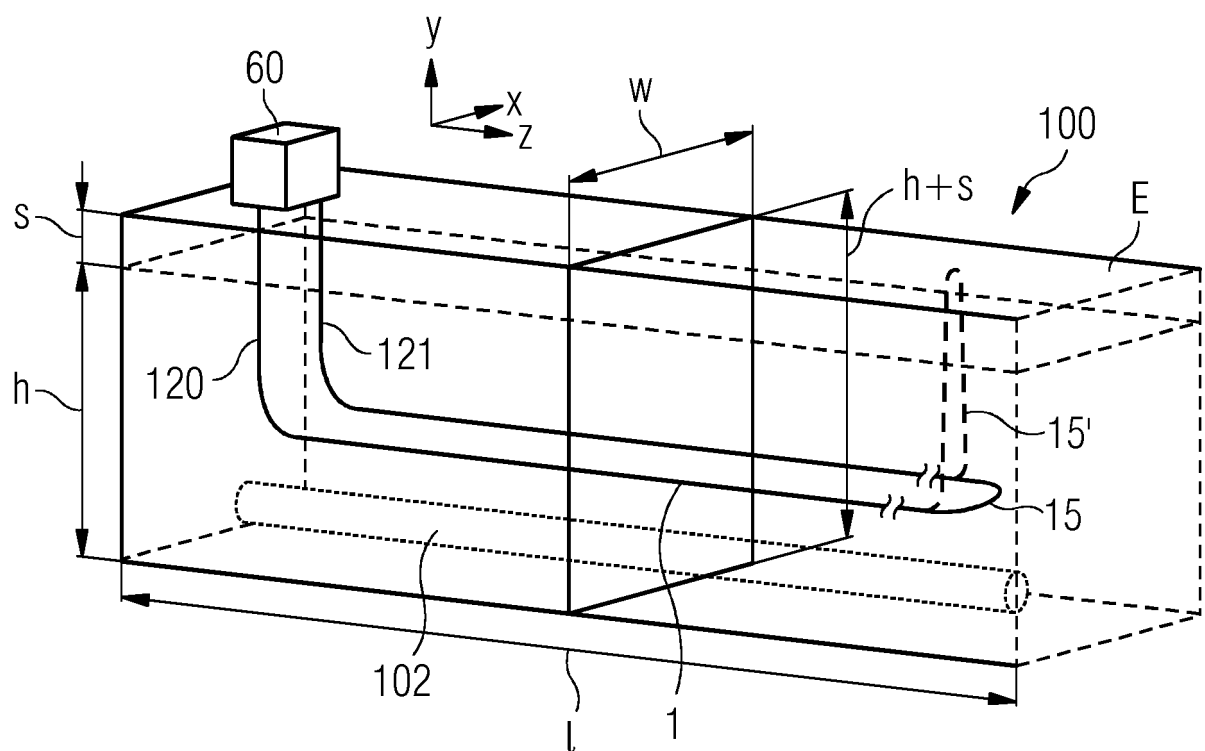


FIG 11



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007040605 [0004]
- US 2011042063 A1 [0006]