

(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
20. August 2009 (20.08.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/100695 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
E21B 43/17 (2006.01) *F24J 3/08* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/001245
- (22) Internationales Anmeldedatum:
25. Juli 2008 (25.07.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 009 499.4
15. Februar 2008 (15.02.2008) DE
- (71) Anmelder und
(72) Erfinder: **JUNG, Reinhard** [DE/DE]; Gottfried-Buhr-Weg 19, 30916 Isernhagen (DE). **SPERBER, Axel** [DE/DE]; Edesser Strasse 1, 31234 Edemissen (DE).
- (74) Anwalt: **HANSEN, Jochen**; Eisenbahnstrasse 5, 21680 Stade (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, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, 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, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

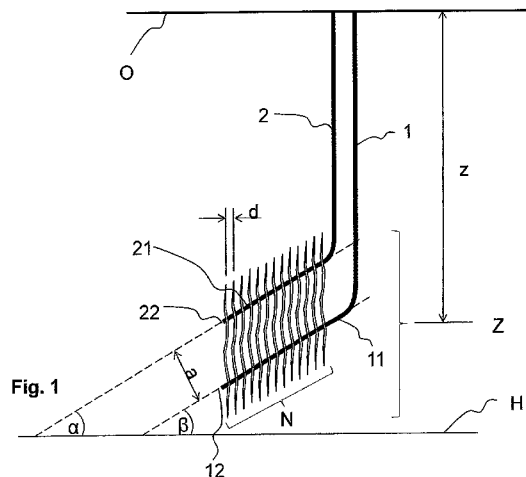
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: GEOTHERMAL CIRCULATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: GEOTHERMISCHES ZIRKULATIONSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method for configuring a geothermal circulation system in a target underground region, comprising at least one injection bore (1) and at least one production bore (2), a hydraulic connection being created between the injection bore (1) and the production bore (2) via a crack system (4, 4') in the target underground region, and a heat transfer medium being circulated via the injection bore (1), crack system (4, 4'), and production bore (2), characterized by the steps of creating a plurality of cracks (4, 4') in the target underground region by the incremental hydraulic separation of short borehole sections and hydraulic crack generation starting from the respective separated borehole section. The invention further relates to an arrangement for a geothermal circulation system in a target underground region, comprising at least one injection bore and at least one production bore, wherein a hydraulic connection exists between the injection bore and the production bore via a crack system in the target underground region, wherein the injection bore and the production bore in the target underground region have borehole segments that are deflected at angles (α , β) of 0° to 80° to the horizontal line, and a plurality of cracks are provided for the hydraulic connection between the injection bore and production bore.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/100695 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ausbildung eines geothermischen Zirkulationssystems in einem Zieluntergrundbereich bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung (1) und wenigstens einer Produktionsbohrung (2), wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) über ein Rissssystem (4, 4' im Zieluntergrundbereich erzeugt wird und ein Wärmeträgermedium über Injektionsbohrung (1), Rissssystem (4, 4') und Produktionsbohrung (2) zirkuliert wird, gekennzeichnet durch die Schritte Erzeugen einer Vielzahl von Rissen (4, 4') im Zieluntergrundbereich durch schrittweise hydraulische Separierung kurzer Bohrlochabschnitte und hydraulische Risserzeugung vom jeweiligen separierten Bohrlochabschnitt aus. Ferner betrifft die Erfindung eine Anordnung für ein geothermisches Zirkulationssystem in einem Zieluntergrundbereich bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung und wenigstens einer Produktionsbohrung, wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung über ein Rissystem im Zieluntergrundbereich besteht, wobei die Injektionsbohrung und die Produktionsbohrung im Zieluntergrundbereich Bohrlochstrecken aufweisen, die abgelenkt in einem Winkel (α , β) von 0° bis 80° zur Horizontalen angeordnet sind, und eine Vielzahl von Rissen zur hydraulischen Verbindung zwischen Injektionsbohrung und Produktionsbohrung vorgesehen sind.

B E S C H R E I B U N G

Geothermisches Zirkulationssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ausbildung eines geothermischen Zirkulationssystems in gering permeablen Gesteinen des tiefen Untergrundes, dem Zieluntergrundbereich, bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung und wenigstens einer Produktionsbohrung, wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung über ein hydraulisch erzeugtes Rissystem im Zieluntergrundbereich geschaffen und ein Wärmeträgermedium über Injektionsbohrung, Rissystem und Produktionsbohrung zirkuliert wird. Ferner betrifft die Erfindung eine Anordnung für ein geothermisches Zirkulationssystem in gering permeablen Gesteinen, dem Zieluntergrundbereich, bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung und wenigstens einer Produktionsbohrung, wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung über ein Rissystem im Zieluntergrundbereich besteht.

Die gering permeablen Gesteine des tiefen Untergrundes sind die mit Abstand größte geothermische Ressource, die auch in Ländern wie Deutschland, die arm an konventionell nutzbaren geothermischen Lagerstätten sind, einen substantiellen Beitrag zur Wärme- und Stromversorgung liefern könnte. In internationalen Forschungsprojekten wird seit rund 35 Jahren an Verfahren zu ihrer Erschließung gearbeitet. Beispielsweise wurden in den sog. „Hot Dry Rock“-Forschungsvorhaben Zirkulationssysteme im heißen und trockenen Granit in Tiefen von 2.000 bis 5.000 m erstellt. Dabei wurden in der Tiefe über mehrere hundert Meter lange unverrohrte Bohrlochstrecken Wasser mit sehr hohen Fließraten und -drücken ins Gestein injiziert, um ein Rissystem zu induzieren. Mit diesem Verfahren konnten bisher nur unzureichende Fließraten und eine entsprechend niedrige thermische Leistung des Zirkulationssystems erreicht werden. Zudem muss befürchtet werden, dass keine ausreichend großen

Wärmeaustauschflächen erzeugt werden. Das erzeugte Rissystem dürfte sich im Wesentlichen auf einen Hauptriss beschränken. Den hohen geothermischen Potenzialen in Deutschland stehen somit erhebliche Schwierigkeiten in der Erstellung eines wirtschaftlich nutzbaren Zirkulationssystems gegenüber.

- 5 Ausgehend von den bisher erprobten „Hot Dry Rock“-Konzepten ist es daher Aufgabe der Erfindung ein geothermisches Zirkulationssystem anzugeben, das in ingenieurmäßig planbarer Weise wirtschaftlich realisiert werden kann.

- Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Verfahren zur Ausbildung eines geothermischen Zirkulationssystems gemäß Anspruch 1. Ferner wird die
10 Aufgabe vorrichtungsgemäß mit einer Anordnung gemäß Anspruch 10 gelöst.

- Der Ausbildung des Zirkulationssystems mit einer Vielzahl von Rissen liegt die Überlegung zugrunde, dass im Untergrund eine Spannungsanisotropie vorherrscht, womit hydraulisch induzierte Risse sich bevorzugt orthogonal zur geringsten Hauptspannung ausbilden. Im Allgemeinen herrschen hohe
15 mechanische Vertikalspannungen und geringere Horizontalspannungen vor. Ferner besteht in den Horizontalspannungen meist eine ausgeprägte Richtungsanisotropie, womit hydraulisch induzierte Risse bevorzugt vertikal und aufgrund der Anisotropie der horizontalen Spannungen im Wesentlichen in Richtung der maximalen Horizontalspannung ausgerichtet sind. Werden nun die Injektions-
20 und Produktionsbohrung beim Bohren bevorzugt in Richtung der minimalen Horizontalspannung umgelenkt, können vertikale und senkrecht zur Umlenkungsrichtung der Bohrung orientierte Risse ausgehend von der jeweiligen Bohrung erzeugt werden. Diese Risse verschneiden mit der jeweiligen Bohrung je nach Neigung der abgelenkten Bohrlochstrecke über einen relativ kurzen
25 Bohrlochabschnitt. Entsprechend kann bei einer längeren abgelenkten Bohrlochstrecke eine Vielzahl von zueinander im Wesentlichen parallel angeordneten und vertikal orientierten Rissen erzeugt werden.

In seltenen Fällen ist im Untergrund die Vertikalspannung die minimale Hauptspannung, beispielsweise in Gebieten mit ausgeprägter Aufschiebungstektonik. In diesem Fall werden sich hydraulisch induzierte Risse bevorzugt in einer Horizontalebene, nämlich orthogonal zur minimalen Hauptspannung ausrichten.

- 5 Entsprechend brauchen die Bohrlochstrecken in der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung nicht abgelenkt zu werden. Somit kann direkt aus der vertikalen Bohrlochstrecke die schrittweise Rissinduzierung zur Erzeugung vieler parallel und in diesem Fall im Wesentlichen horizontal angeordneten Risse erfolgen.
- 10 Zur Risserzeugung wird bevorzugt ein an einem Rohrgestänge geführter Doppelpacker verwendet, der die hydraulische Separierung eines kurzen Bohrlochabschnittes erlaubt und über den Wasser gezielt in den separierten Bohrlochabschnitt verpresst werden kann. Durch Versetzen des Doppelpackers können somit nacheinander die in Abstand und Anzahl gewünschten Risse
- 15 erzeugt werden. Somit ist ein Multirissystem in ingenieurmäßig planbarer Weise im Zieluntergrundbereich realisierbar.

- Dadurch, dass vor der hydraulischen Risserzeugung die Injektions- und/oder Produktionsbohrung(en) verrohrt und zementiert werden sowie eine Perforation der Verrohrung an zu jeder hydraulischen Risserzeugung zugeordneten Bohr-
- 20 lochabschnitten erfolgt, wird eine Bohrlochstrecke mit glatter und gleichmäßiger Wandung bereitgestellt, die mit einer Doppelpackeranordnung sicher hydraulisch zu separieren ist. Durch das gezielte Vornehmen von Perforationen durch die Verrohrung und Zementierung werden in genau vorgegebenen Abständen die hydraulischen Verbindungen zum Zieluntergrundbereich erzeugt. Verrohrung
- 25 bedeutet dabei ein Rohrausbau der Bohrung über die gesamte Bohrung oder über Teilabschnitte der Bohrung, die auch Liner genannt werden.

Wenn die Injektionsbohrung und die Produktionsbohrung so niedergebracht und abgelenkt werden, dass sie im Wesentlichen horizontale Bohrlochstrecken aufweisen, die in einer vorbestimmten Tiefe zueinander antiparallel gebohrt

werden, besteht über jeden der Risse im Wesentlichen dieselbe Druckdifferenz zwischen Injektionsbohrung und Produktionsbohrung, so dass die Fließraten jedes einzelnen Risses miteinander vergleichbar sind. Bei antiparalleler Bohrung werden die aufgrund der von der Leitungslänge abhängenden Strömungsdruckverluste bei im Wesentlichen gleichen hydraulischen Risseigenschaften ausgeglichen, womit sich der Förderstrom des Wärmeträgermediums auf die Risse im Wesentlichen gleich aufteilt. Thermische Kurzschlüsse werden so vermieden. Dabei bedeutet im Wesentlichen horizontal, dass die Bohrlochstrecken eine maximale Neigung von 20° und bevorzugt von 10° zur Horizontalen haben. In bevorzugter Ausgestaltung werden die Injektionsbohrung und die Produktionsbohrung nahe beieinander an einer Bohrlokation niedergebracht und so abgelenkt, dass die Bohrlochstrecken beabstandet aufeinander zu gebohrt werden.

Dadurch, dass in einem Zieluntergrundbereich mit einer Störungszone jeweils von der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung die hydraulische Risserzeugung erfolgt, so dass die erzeugten Risse von der jeweiligen Bohrung bis in die Störungszone reichen und somit eine hydraulische Verbindung zwischen den Rissen der Injektionsbohrung und den Rissen der Produktionsbohrung über die Störungszone erzeugt wird, kann eine im Zieluntergrundbereich befindliche Störungszone mit in die hydraulische Zirkulation integriert werden.

Wenn eine Erstbohrung der Bohrungen, insbesondere die Injektionsbohrung, zuerst gebohrt wird und die hydraulische Risserzeugung aus dieser Erstbohrung erfolgt, können aus der Erstbohrung bereits geologische und geophysikalische Tests zur Untergrunderkundung durchgeführt werden, um dann bei Eignung die gewünschten Risse in der im Zieluntergrundbereich befindlichen Bohrlochstrecke auszuführen.

Wenn nach der Erzeugung der Vielzahl von Rissen diese von einer Zweitbohrung der Bohrungen, insbesondere der Produktionsbohrung, durchörtert

werden, kann beim Bohren der Zweitbohrung die tatsächliche Ausbildung der hydraulisch erzeugten Risse, die beispielsweise zuvor durch geophysikalische Messmethoden ermittelt werden, bei der Ausbildung und Ausrichtung der Zweitbohrung berücksichtigt werden. Beim Durchörteren der Risse mit der Zweitbohrung wird meist eine ausreichende hydraulische Verbindung geschaffen, so dass das aus Injektionsbohrung, Risssystem und Produktionsbohrung bestehende geothermische Zirkulationssystem funktionsfähig ist. Über die Injektionsbohrung kann nun das Wärmeträgermedium, meist Wasser, eingepresst und über die Produktionsbohrung entnommen werden. Dabei wird das Wärmeträgermedium mit Fließraten von 10 – 200 l/s, insbesondere 30 – 100 l/s zirkuliert. Bei Zirkulationsraten von 100 l/s kann bei einer Gesteinstemperatur von 160 °C ein geothermisches Kraftwerk mit einer Leistung von ca. 4 MW_e betrieben werden. Zudem eignen sich derartige geothermische Zirkulationssysteme auch und ergänzend für die Wärmeerzeugung und / oder Klimatisierung, beispielsweise für die Wohnraumbeheizung über Fernwärmesysteme.

Ergänzend oder als alternative Ausführungsform wird auch die Zweitbohrung verrohrt und zementiert, wonach die Verrohrung an zugeordneten Bohrlochabschnitten perforiert wird und dort eine selektive hydraulische Risserzeugung aus dieser Zweitbohrung erfolgt. Bei dieser Ausgestaltung werden somit auch hydraulische Risse ausgehend von der Zweitbohrung erzeugt, die sich mit den aus der Erstbohrung erzeugten Rissen ausreichend hydraulisch verschneiden, so dass die erforderliche hydraulische Verbindung zur Zirkulation erreicht wird.

Dadurch, dass die Bohrlochstrecken der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung im Zieluntergrundbereich im Wesentlichen parallel oder antiparallel zueinander ausgebildet sind, ist die im Zieluntergrund entlang des jeweiligen Risses zu überbrückende Fließstrecke im Wesentlichen vergleichbar. Jedoch ergibt sich bei parallel verlaufenden Bohrlochstrecken der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung im Rahmen eines Mehrfach-Risssystems die Problematik, dass aufgrund der von der Leitungslänge abhängenden Strömungsdruckverluste bei gleichen hydraulischen Risseigenschaften diejenigen Risse, die

die kürzeste Leitungslänge aufweisen, also am nächsten zur Energiegewinnungseinheit liegen, die höchsten Volumenströme durchleiten. Die weiter entfernt liegenden Risse werden entsprechend weniger stark durchströmt. Es besteht somit die Gefahr, dass ein thermischer Kurzschluss entsteht, womit die thermische Leistung der Anlage insgesamt sinkt. Besonders bevorzugt ist daher die Ausbildung von antiparallel angeordneten horizontalen Bohrlochstrecken, da dabei über jeden der Risse dieselbe Druckdifferenz zwischen Injektionsbohrung und Produktionsbohrung besteht. Entsprechend sind die Fließraten jedes einzelnen Risses miteinander vergleichbar. Ein thermischer Kurzschluss wird vermieden. Alternativ können zum Ausgleich der erheblichen Strömungswiderstände im Bohrloch die geneigten oder horizontalen Bohrlochstrecken sich auch zur Bohrlochsohle hin leicht annähernd angeordnet werden. Damit wird erreicht, dass trotz des in der Bohrlochstrecke entstehenden hydrodynamischen Druckgefälles die Gesamtließrate gleichmäßiger auf die Einzelrisse verteilt wird und zudem in den weiter von der Bohrlochsohle entfernten Rissen eine größere Wärmeaustauschfläche zur Verfügung steht.

Der Neigungswinkel der abgelenkten Bohrlochstrecken, nachfolgend auch Ablenkstrecken genannt, zur Horizontalen beträgt bevorzugt 0° bis 60° , insbesondere 0° bis 45° , um eine möglichst kurze Verschneidung jedes vertikalen Einzelrisses mit der Bohrlochstrecke zu erreichen. Entsprechend kann bei gleicher Länge der abgelenkten Bohrlochstrecke eine größere Anzahl von Rissen mit einem gegebenen Abstand zueinander erzeugt werden, je weiter die Bohrlochstrecke zur Horizontalen umgelenkt ist. Bei einem Zieluntergrundbereich, der aus einer geologischen Schicht mit relativ geringer Mächtigkeit, beispielsweise nur wenige 100 m, besteht, ist ein geringer Neigungswinkel zur Horizontalen von 0° bis maximal 15° bevorzugt.

Um den Fließwiderstand in den Einzelrissen zu begrenzen und um bei akzeptablen Abständen zwischen den Ablenkstrecken der beiden Bohrungen eine hinreichende Nutzungsdauer zu erzielen, sollten für eine gewünschte

Gesamtfliessrate von 10 – 200 l/s, bevorzugt 100 l/s mindestens 6 Risse, bevorzugt 20 bis 50 Risse vorgesehen werden.

Um eine Gesamtnutzungsdauer von wenigstens 20 Jahren für die geothermische Ausbeutung der Lagerstätte sicherzustellen und somit ein ausreichend großes

- 5 Untergrundsvolumen abkühlen zu können, haben die horizontalen oder geneigten Bohrlochstrecken der Injektions- und Produktionsbohrung(en) eine Länge von 300 m bis 2.000 m, insbesondere 500 m bis 1.200 m und der Abstand der beiden Bohrlochstrecken zueinander beträgt etwa 200 m bis 1.000 m, insbesondere ca. 500 m.

- 10 Nachfolgend werden vier Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Figuren dargestellt.

Darin zeigt:

- Fig. 1 in einer schematischen Querschnittsdarstellung ein geothermisches Zirkulationssystem in einer ersten Ausführungsform,
- 15 Fig. 2 in einer schematischen Querschnittsdarstellung ein geothermisches Zirkulationssystem in einer zweiten Ausführungsform,
- Fig. 3 die in Fig. 2 in einer Querschnittsskizze dargestellte Ausführungsform eines Zirkulationssystems in einer Ansicht senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 2,
- 20 Fig. 4 eine Detailansicht einer Bohrlochstrecke mit Doppelpacker,
- Fig. 5 die in Fig. 4 gezeigte Situation während oder nach Erzeugung eines Risses,
- Fig. 6 die in Fig. 5 dargestellte Situation mit einem weiteren Riss,

- Fig. 7 eine weitere Ausführungsform des geothermischen Zirkulationssystems,
- Fig. 8a, b eine dritte Ausführungsform des geothermischen Zirkulationssystems und
- 5 Fig. 9a, b eine Horizontal- und Vertikalprojektion für ein viertes Ausführungsbeispiel des Zirkulationssystems mit zwei antiparallel angeordneten Bohrlochstrecken.

In Fig. 1 ist ein geothermisches Zirkulationssystem in einer ersten Ausführungsform dargestellt. Das Zirkulationssystem weist eine Injektionsbohrung 1 und eine
10 Produktionsbohrung 2 auf. Die Injektionsbohrung 1 führt von der Erdoberfläche O bis zu einem Zieluntergrundbereich Z, der beispielsweise in einer mittleren Tiefe z von 4.000 bis 5.000 m liegt. Im Zieluntergrundbereich Z ist die Injektionsbohrung 1 abgelenkt und führt in einem Winkel β von beispielsweise 30° zur Horizontalen H entlang einer ersten Bohrlochstrecke 11 bis zur ersten
15 Bohrlochsohle 12 der Injektionsbohrung 1.

Zumindest die erste Bohrlochstrecke 11 der Injektionsbohrung 1 weist eine Verrohrung 13 auf, die mit einer Zementierung 14 versehen ist, wie in der Detailansicht in Fig. 4 ersichtlich ist. Die Verrohrung 13 weist entlang der ersten Bohrlochstrecke 11 Perforationen 15 in den gewünschten Rissabständen d auf.

20 In Fig. 4 ist in der ersten Bohrlochstrecke 11 ein Doppelpacker 3 dargestellt, der aus einem ersten Packer 31 und einem zu diesem beabstandeten zweiten Packer 32 besteht. Der Doppelpacker 3 wird an einem Rohrgestänge 33 von der Erdoberfläche O durch die Injektionsbohrung 1 bis zur gewünschten Position abgeteuft. Dort wird der entsprechende Bohrlochabschnitt durch Aufweiten der
25 beiden Packer 31, 32 hydraulisch separiert. Über das Rohrgestänge 33 wird Wasser unter hohem Druck und ausreichender Fließrate zur Erzeugung eines Risses in den separierten Bohrlochabschnitt und von diesem durch die

Perforation 15 in den Zieluntergrundbereich Z injiziert. Entsprechend bildet sich ein im Wesentlichen vertikaler Riss, dessen Fläche im Wesentlichen orthogonal zur minimalen Horizontalspannung im Zieluntergrundbereich Z ausgerichtet ist. In Fig. 5 ist schematisch ein entsprechender Riss 4 dargestellt. Nach dem

5 Erzeugen des Risses werden die hydraulischen Eigenschaften des Risses durch den Druckabfall bzw. durch Beobachtung der Rücklauffließrate beim Entspannen ermittelt. Nach Druckausgleich und Entspannen der beiden Packer 31, 32 wird der Doppelpacker 3 mit dem Rohrgestänge 33 zur benachbarten Risslokation an der nächsten Perforation 15 in der Verrohrung 13 verschoben und erneut

10 gesetzt. Nach hydraulischer Separierung des entsprechenden Bohrlochabschnitts wird erneut durch Einpumpen von Wasser unter hohem Druck und ausreichender Fließrate über das Rohrgestänge 33 ein weiterer Riss 4 erzeugt, wie dies in Fig. 6 abgebildet ist.

Nach Erzeugung einer Vielzahl von Rissen, im in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel beispielhaft $N = 13$, wird die Produktionsbohrung 2 gebohrt. Dabei wird die Produktionsbohrung 2 ebenfalls im Zieluntergrundbereich Z abgelenkt, wobei eine geneigte zweite Bohrlochstrecke 21 entsteht, die die zuvor mit geophysikalischen Messmethoden georteten Risse 4 durchörtert. Im

15 Verschneidungsbereich der Produktionsbohrung 2 mit den Rissen 4 entsteht eine hydraulische Verbindung, so dass das geothermische Zirkulationssystem funktionsfähig ist. Die zweite Bohrlochstrecke 21 der Produktionsbohrung 2 endet nach der Verschneidung mit dem letzten Riss 4 und bildet dort eine zweite Bohrlochsohle 22. Die zweite Bohrlochstrecke 21 ist bevorzugt parallel mit einem

20 Abstand a von beispielsweise 500 m zur ersten Bohrlochstrecke 11 der Injektionsbohrung 1 angeordnet. Zur Stützung der Bohrlochstrecke 21 kann diese mit einer geschlitzten Verrohrung bzw. Liner versehen werden.

25

In Fig. 2 ist eine zweite Ausführungsform des geothermischen Zirkulationssystems im schematischen Querschnitt dargestellt. Funktionsgleiche Bauelemente tragen gleiche Bezugszeichen wie zur Ausführungsform gemäß

30 Fig. 1. Im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 1 sind in Fig. 2 von

beiden Bohrlochstrecken 11 und 21 Risse 4, 4' induziert worden, die sich im Zieluntergrundbereich Z verschneiden. Diese Situation ist in Fig. 3 in einer zur Zeichenebene von Fig. 2 vertikalen Ebene in Ansicht zur Fig. 2 von links dargestellt. In der Ausführung gemäß Fig. 2 sind die erste Bohrlochstrecke 11
5 und die zweite Bohrlochstrecke 21 wiederum im Wesentlichen parallel zueinander in einem Abstand a angeordnet. Die Neigungswinkel α , β zur Horizontalen H betragen ebenfalls ca. 30°.

In einer weiteren Ausführungsform ist in Fig. 7 ein geothermisches Zirkulationssystem dargestellt. Funktionsgleiche Bauelemente tragen gleiche Bezugszeichen wie zur Ausführungsform gemäß Fig. 1 und Fig. 2. In der Ausführung gemäß Fig.
10 7 werden die Injektions- und Produktionsbohrung 1, 2 so weit abgelenkt, dass die erste und zweite Bohrlochstrecken 11, 21 horizontal innerhalb des Zieluntergrundbereichs Z verlaufen. Diese Ausführung ist bei Zieluntergrundbereichen Z mit relativ geringer Mächtigkeit zu bevorzugen.

15 In einer dritten Ausführungsform ist in Fig. 8 ein geothermisches Zirkulationssystem dargestellt, bei dem im Zieluntergrundbereich Z eine geologische Störungszone S vorliegt. Die Darstellung ähnelt der Darstellung zum ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 in einer Drahtmodellansicht. Dabei sind
20 funktionsgleiche Bauelemente mit gleichen Bezugszeichen wie zu den vorgenannten Ausführungsformen bezeichnet. In dieser dritten Ausführungsform gemäß Fig. 8 sind die Risse 4, ausgehend von der Injektionsbohrung 1 so ausgeführt, dass sie bis in die Störungszone S hineinreichen. Auf der anderen Seite der Störungszone S ist die Produktionsbohrung 2 angeordnet. Von dieser
25 Produktionsbohrung 2 werden ebenfalls Risse 4' erzeugt, die wiederum so ausgerichtet sind, dass sie bis in die Störungszone S reichen. Die hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung 1 und der Produktionsbohrung 2 wird somit über das erste Rissystem 4 bis in die Störungszone S und von der Störungszone S über das Rissystem 4' erreicht. Vorteilhaft bei dieser
30 Ausgestaltung ist, dass die Rissausbreitung jeweils lediglich bis zu der zwischen den befindlichen Bohrungen Störungszone S reichen müssen. Dabei ist es nicht

- erforderlich, dass sich die beiden Rissysteme 4 und 4' ausgehend von den beiden jeweiligen Bohrungen direkt verschneiden, vielmehr wird die hydraulische Verbindung zwischen den verschiedenen Rissystemen 4 und 4' über die Störungszone S erreicht. Die Störungszone S wirkt somit zusätzlich als
- 5 Strömungsleiter und somit auch als Wärmeaustauschfläche, so dass die gesamte wirksame Wärmeaustauschfläche für das geothermische Zirkulationssystem über die bereits im Untergrund vorhandene geologische Störungszone S erweitert wird. Der Wirkungsgrad des Zirkulationssystems kann somit durch Nutzung der Störungszone S verbessert werden.
- 10 Ein viertes Ausführungsbeispiel ist in den Fig. 9a und 9b dargestellt. Aus der in Fig. 9a dargestellten Vertikalprojektion von zwei Bohrungen ist erkennbar, dass die in durchgezogener Linie dargestellte Injektionsbohrung 1 an der Bohrlokation mit den Koordinaten 0,0 an der Erdoberfläche beginnt. Die Bohrung weist in einer Tiefe von 1000 m eine Ablenkung Richtung Süden auf, so dass die weitere
- 15 Bohrung geneigt bis zu einer Tiefe von ca. 3500 m weitergeführt ist. Dort wird sie in entgegengesetzter Richtung, also Richtung Norden abgelenkt und geht in einer Tiefe von 4400 m in eine horizontale, erste Bohrlochstrecke 11 mit einer Länge von ca. 1000 m über.
- Spiegelbildlich hierzu ist die in Fig. 9a gestrichelt dargestellte Produktionsbohrung 2 ausgeführt. Wie sich aus der Horizontalprojektion der Fig. 9b ergibt, ist neben den Auslenkungen in Süd- bzw. Nordrichtung der beiden Bohrungen auch eine seitliche Ablenkung in Ost- bzw. Westrichtung vorgenommen worden, woraus sich ein Abstand von 400 m der beiden antiparallel angelegten
- 20 horizontalen Bohrlochstrecken 11, 21 ergibt.
- 25 Mit diesen antiparallel angeordneten horizontalen Bohrlochstrecken 11, 21 wird erreicht, dass der Strömungsweg von der Erdoberfläche durch die Injektionsbohrung 1, ihrer horizontalen Bohrlochstrecke 11, einem der zwischen den horizontalen Bohrlochstrecken 11, 21 erzeugten Risse (hier nicht dargestellt) sowie dem entsprechenden Abschnitt in der Produktionsbohrung 2 – unabhängig

von dem durchströmten Riss – stets gleiche Länge aufweist, so dass bei jedem Strömungsweg mit etwa dem gleichen Strömungswiderstand zu rechnen ist. Entsprechend verteilt sich das Wärmeträgermedium im Wesentlichen gleichmäßig auf alle zwischen den horizontalen Bohrlochstrecken 11, 21

5 erzeugten Risse, so dass das gesamte Gesteinsvolumen thermisch gleichmäßig ausgenutzt wird.

Alternativ kann zum Ausgleich der Strömungswiderstände auch eine Anordnung gewählt werden, bei denen die beiden Bohrlochstrecken 11, 21 im Wesentlichen zueinander gleichgerichtet angeordnet sind, wobei beide Bohrungen in Richtung

10 zu ihrer Bohrlochsohle 12, 22 sich leicht annähernd angeordnet sind. Damit kann annähernd der höhere Strömungswiderstand aufgrund der längeren Führung des Wärmeträgermediums in der Bohrung durch einen geringeren Strömungswiderstand im die beiden Bohrungen verbindenden Riss aufgrund des geringeren

15 Abstandes der beiden Bohrungen im Bereich der Bohrlochsohle annähernd ausgeglichen werden. Gleichzeitig wird durch diese Maßnahmen der durchströmte Bereich der sohlenferneren Risse vergrößert und damit einem schnelleren Auskühlen dieser Risse entgegengewirkt.

Bezugszeichenliste

	1	Injektionsbohrung
	11	erste Bohrlochstrecke
	12	erste Bohrlochsohle
5	13	Verrohrung
	14	Zementierung
	15	Perforation
	2	Produktionsbohrung
10	21	zweite Bohrlochstrecke
	22	zweite Bohrlochsohle
	3	Doppelpacker
	31	erster Packer
15	32	zweiter Packer
	33	Rohrgestänge
	4, 4'	Riss
20	α, β	Winkel
	a	Abstand
	d	Rissabstand
	H	Horizontalebene
	N	Rissanzahl
25	O	Erdoberfläche
	z	Tiefe
	S	Störungszone
	Z	Zieluntergrundbereich

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Ausbildung eines geothermischen Zirkulationssystems in einem Zieluntergrundbereich (Z) bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung (1) und wenigstens einer Produktionsbohrung (2),
5 wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) über ein Risssystem (4, 4') im Zieluntergrundbereich (Z) erzeugt wird und ein Wärmeträgermedium über Injektionsbohrung (1), Risssystem (4, 4') und Produktionsbohrung (2) zirkuliert wird, gekennzeichnet durch die Schritte:
10
 - Erzeugen einer Vielzahl von Rissen (4, 4') im Zieluntergrundbereich (Z) durch schrittweise hydraulische Separierung kurzer Bohrlochabschnitte und hydraulische Risserzeugung vom jeweiligen separierten Bohrlochabschnitt aus.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
15 Injektions- und Produktionsbohrung (1, 2) beim Bohren abgelenkt werden, so dass der Zieluntergrundbereich (Z) von den Bohrungen geneigt bis horizontal durchörtert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass vor
20 der hydraulischen Risserzeugung die Injektions- und/oder Produktionsbohrung(en) (1, 2) verrohrt und zementiert werden sowie eine Perforation (15) der Verrohrung (13) an zu jeder hydraulischen Risserzeugung zugeordneten Bohrlochabschnitten erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
25 die Injektionsbohrung (1) und die Produktionsbohrung (2) so niedergebracht und abgelenkt werden, dass sie im Wesentlichen horizontale Bohrlochstrecken (11, 21) aufweisen, die in einer vorbestimmten Tiefe zueinander antiparallel gebohrt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Zieluntergrundbereich (Z) mit einer Störungszone (S) jeweils von der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) die hydraulische Risserzeugung erfolgt, so dass die erzeugten Risse von der jeweiligen Bohrung bis in die Störungszone (S) reichen und somit eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) über die Störungszone (S) erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Erstbohrung der Bohrungen, insbesondere die Injektionsbohrung (1), zuerst gebohrt wird und die hydraulische Risserzeugung aus dieser Erstbohrung erfolgt, wobei nach der Erzeugung der Vielzahl von Rissen (4) diese von einer Zweitbohrung der Bohrungen, insbesondere der Produktionsbohrung (2), durchörtert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Erstbohrung der Bohrungen, insbesondere die Injektionsbohrung (1), zuerst gebohrt wird, wobei eine Zweitbohrung der Bohrungen, insbesondere die Produktionsbohrung (2) so abgeteuft wird, dass durch die Erzeugung einer Vielzahl von Rissen (4, 4') in den beiden Bohrungen, ein sich verschneidendes Rissystem und damit eine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Bohrungen entsteht.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Zweitbohrung verrohrt und zementiert wird, wonach die Verrohrung (13) an zugeordneten Bohrlochabschnitten perforiert wird und dort eine selektive hydraulische Risserzeugung aus dieser Zweitbohrung erfolgt.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Risserzeugung mit einem an einem

Rohrgestänge geführten Doppelpacker innerhalb der perforierten Verrohrung (13) durchgeführt wird.

- 5 10. Anordnung für ein geothermisches Zirkulationssystem in einem Zieluntergrundbereich (Z) bestehend aus wenigstens einer Injektionsbohrung (1) und wenigstens einer Produktionsbohrung (2), wobei eine hydraulische Verbindung zwischen der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) über ein Rissystem (4,4') im Zieluntergrundbereich (Z) besteht, dadurch gekennzeichnet,
- 10 - dass die Injektionsbohrung (1) und die Produktionsbohrung (2) im Zieluntergrundbereich (Z) Bohrlochstrecken (11, 21) aufweisen, die abgelenkt in einem Winkel (α , β) von 0° bis 80° zur Horizontalen (H) angeordnet sind, und
- 15 - dass eine Vielzahl von Rissen (4, 4') zur hydraulischen Verbindung zwischen Injektionsbohrung (1) und Produktionsbohrung (2) vorgesehen ist.
- 20 11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Bohrlochstrecken (11, 21) der Injektionsbohrung (1) und der Produktionsbohrung (2) im Zieluntergrundbereich (Z) im Wesentlichen parallel zueinander oder in einem spitzen Winkel zueinander, so dass der Abstand (a) zwischen den Bohrungen zur Bohrsohle (13, 23) abnimmt oder antiparallel angeordnet sind.
- 25 12. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel (α , β) 0° bis 60°, insbesondere 0° bis 45°, besonders bevorzugt 0° bis 20° beträgt.
13. Anordnung nach Anspruch 10, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 6 Risse (4, 4'), bevorzugt 20 bis 50 Risse vorgesehen sind.

5 14. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Injektionsbohrung (1) eine Verrohrung (13) und Zementierung (14) aufweist, wobei an den gewünschten Risslokationen Perforationen (15) in der Verrohrung (13) vorgesehen sind.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Produktionsbohrung (2) eine Verrohrung und Zementierung aufweist, wobei an den gewünschten Risslokationen Perforationen in der Verrohrung vorgesehen sind.

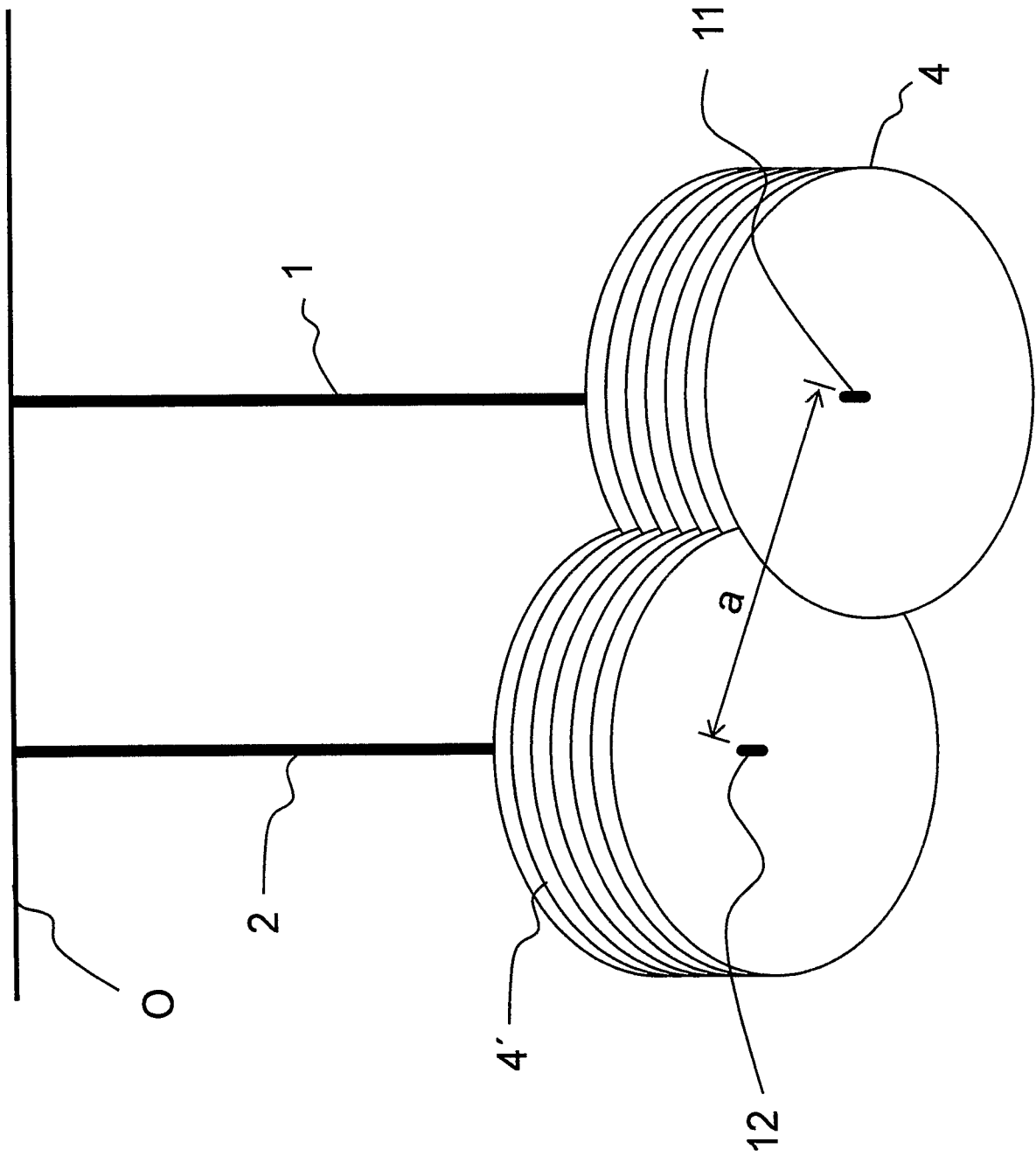


Fig. 3

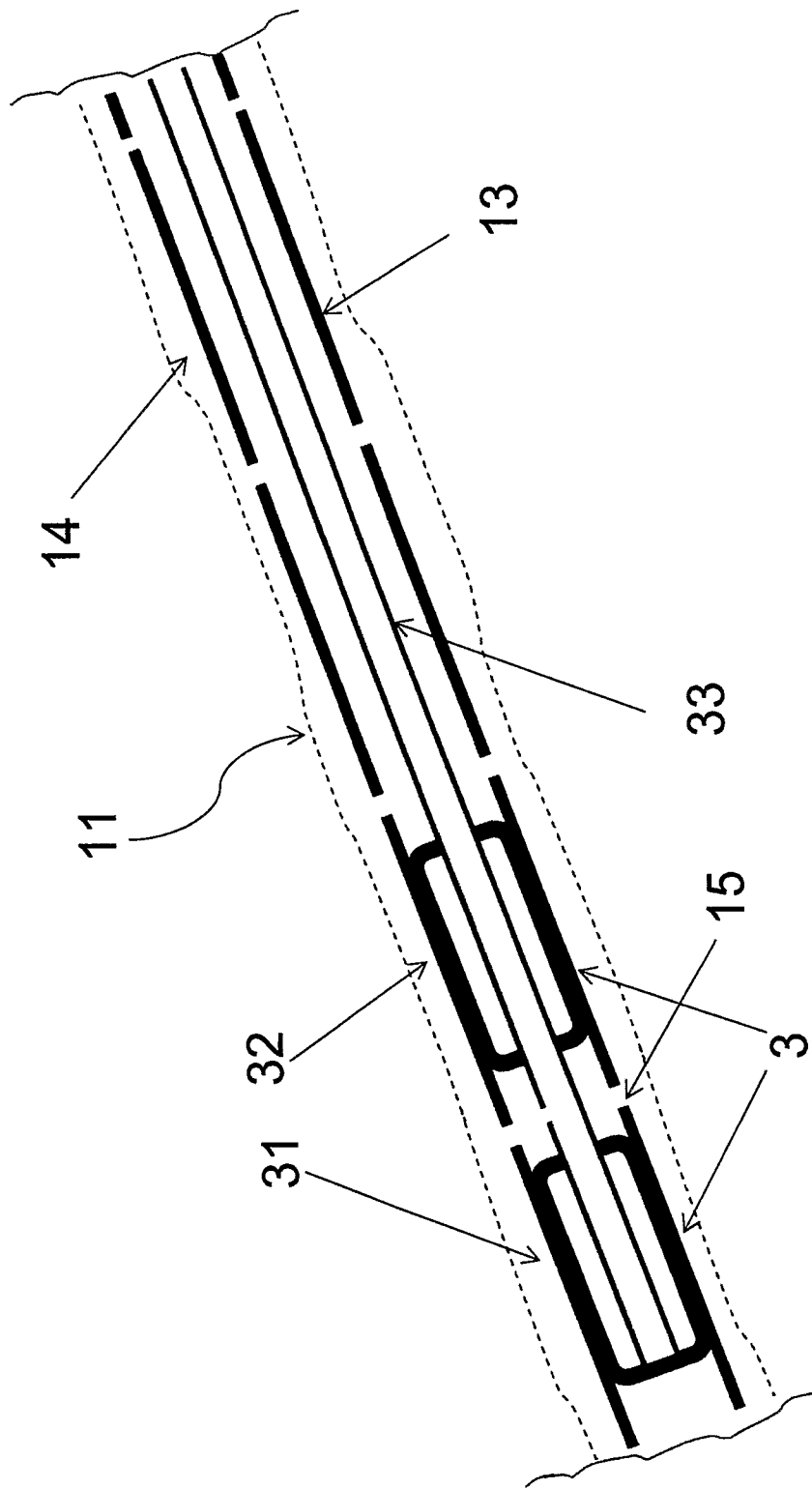


Fig. 4

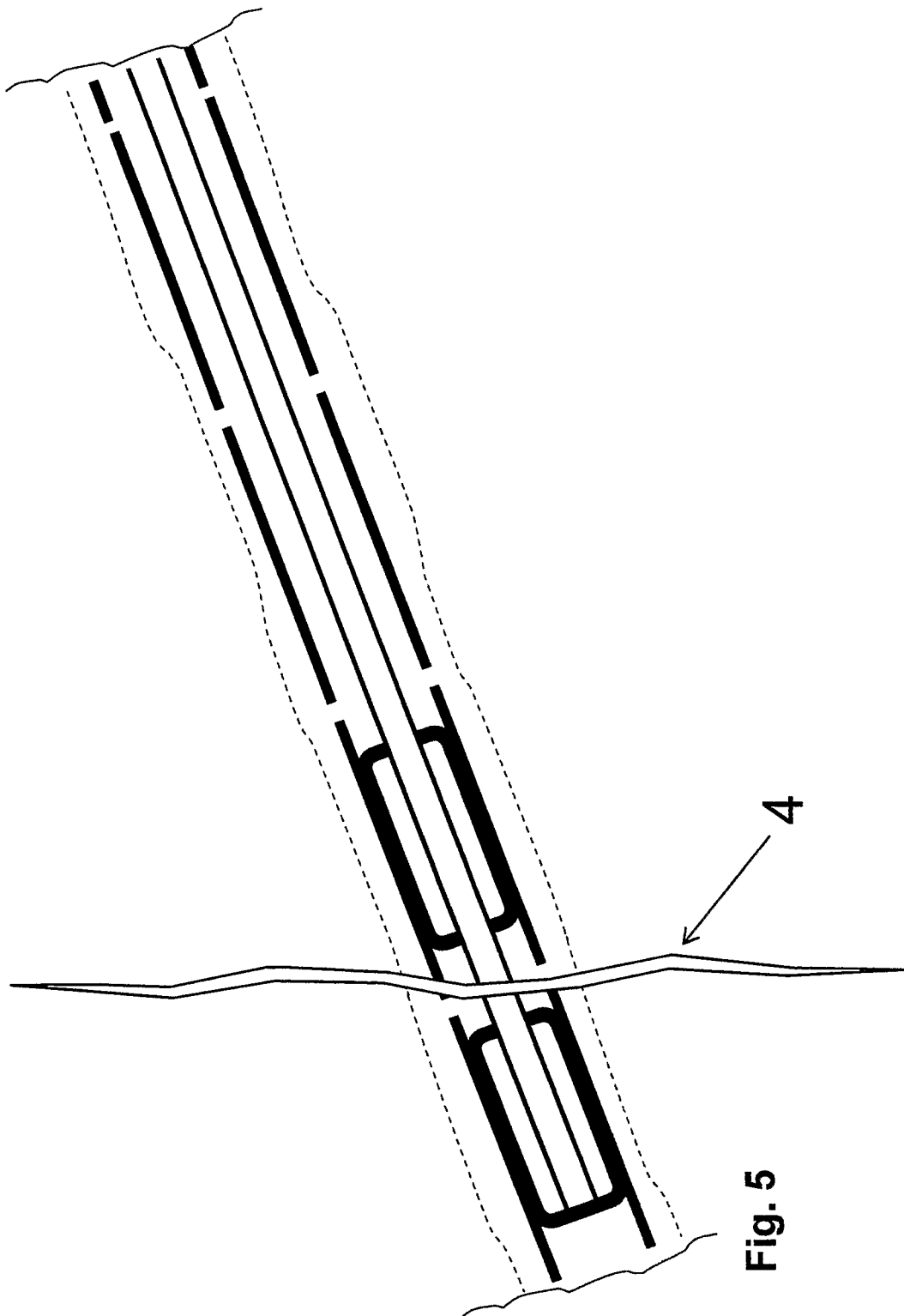
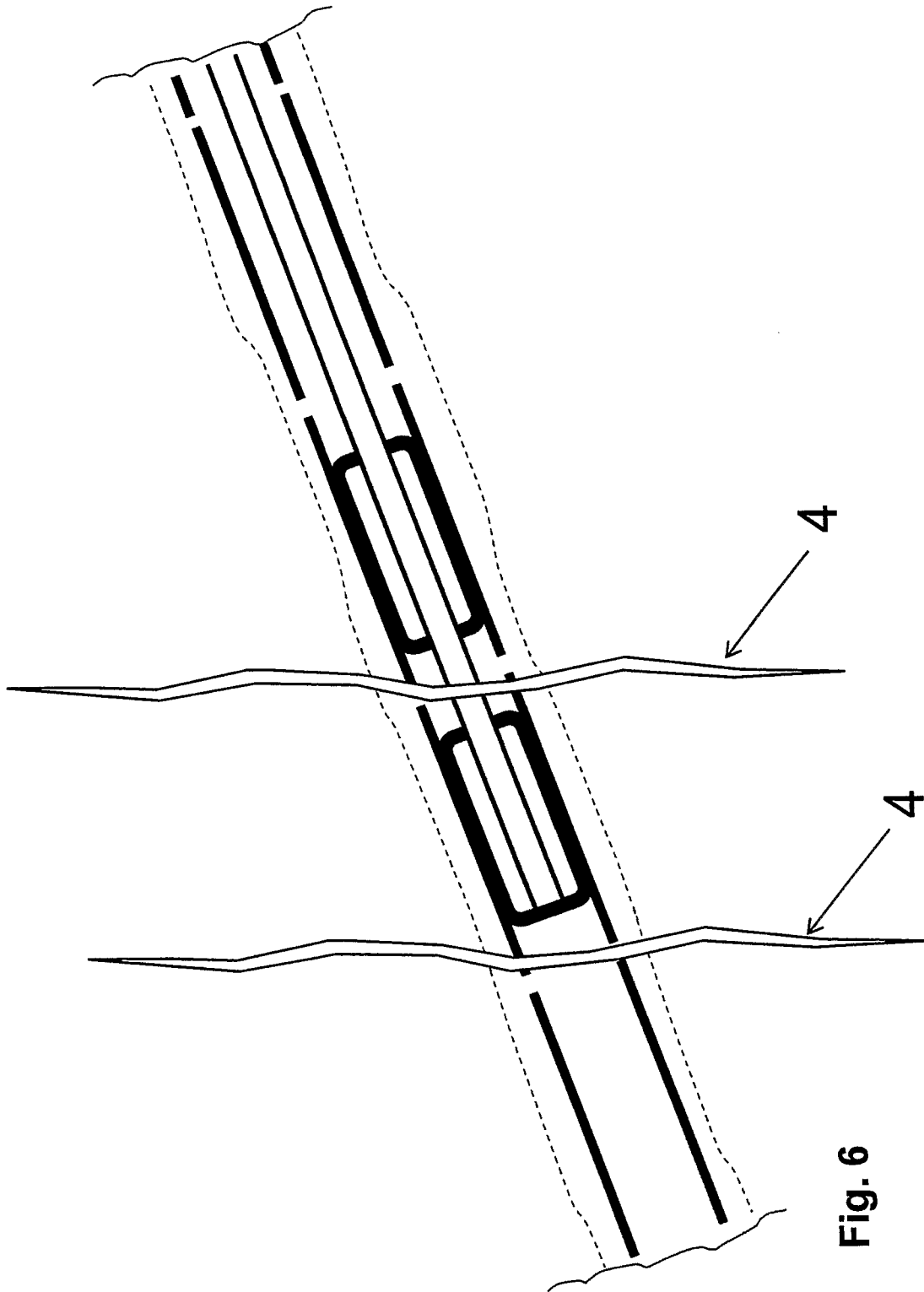


Fig. 5



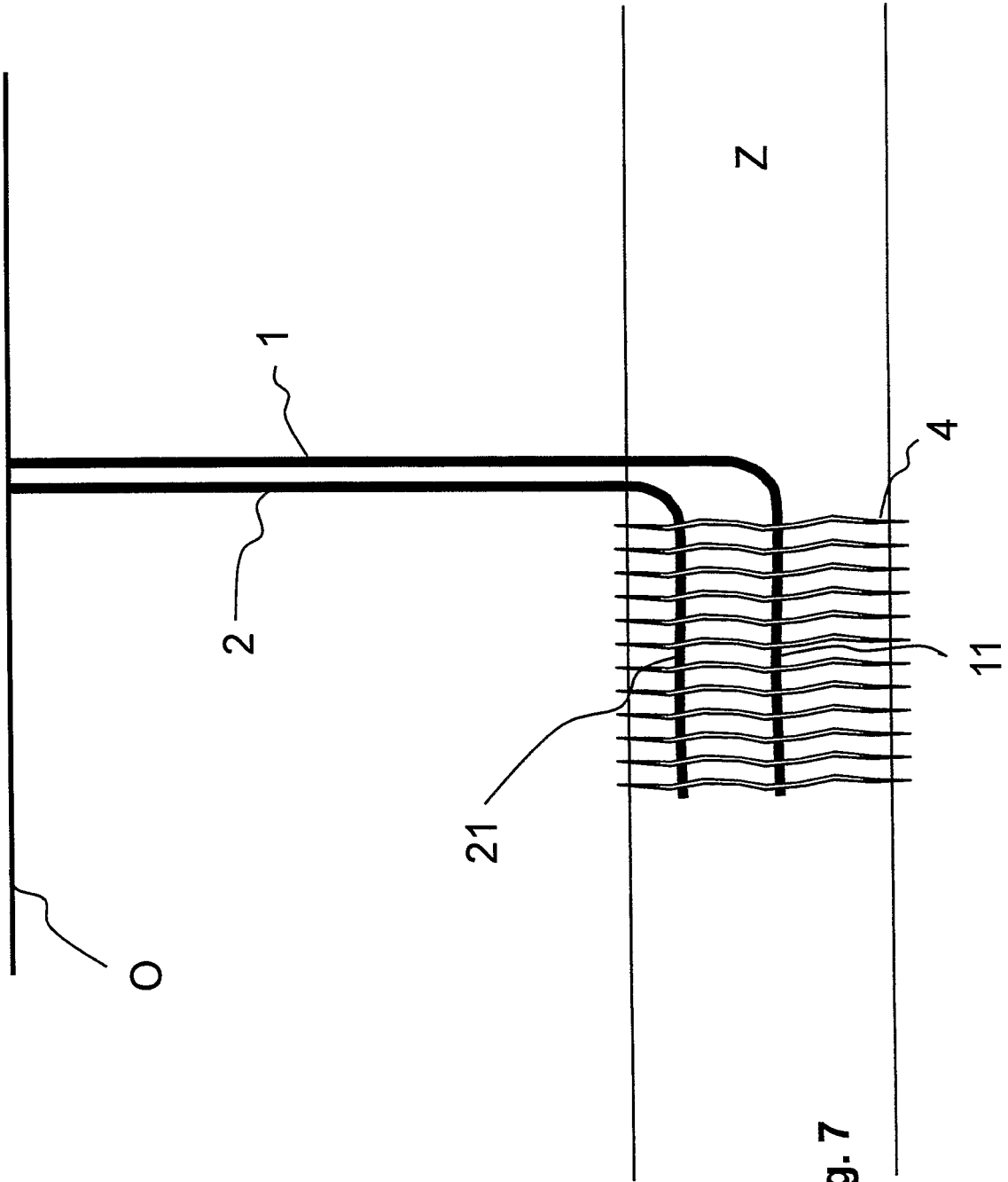


Fig. 7

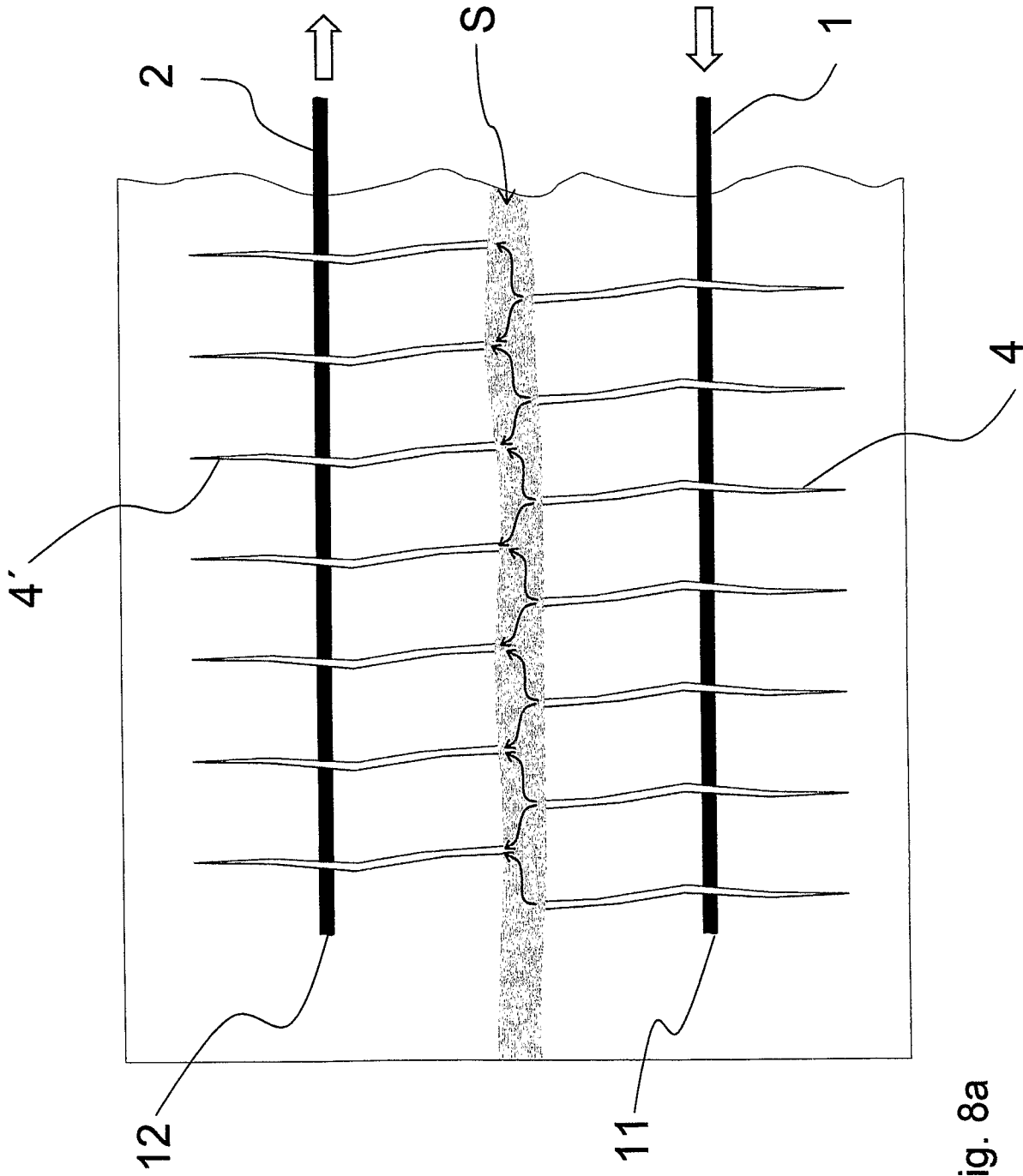


Fig. 8a

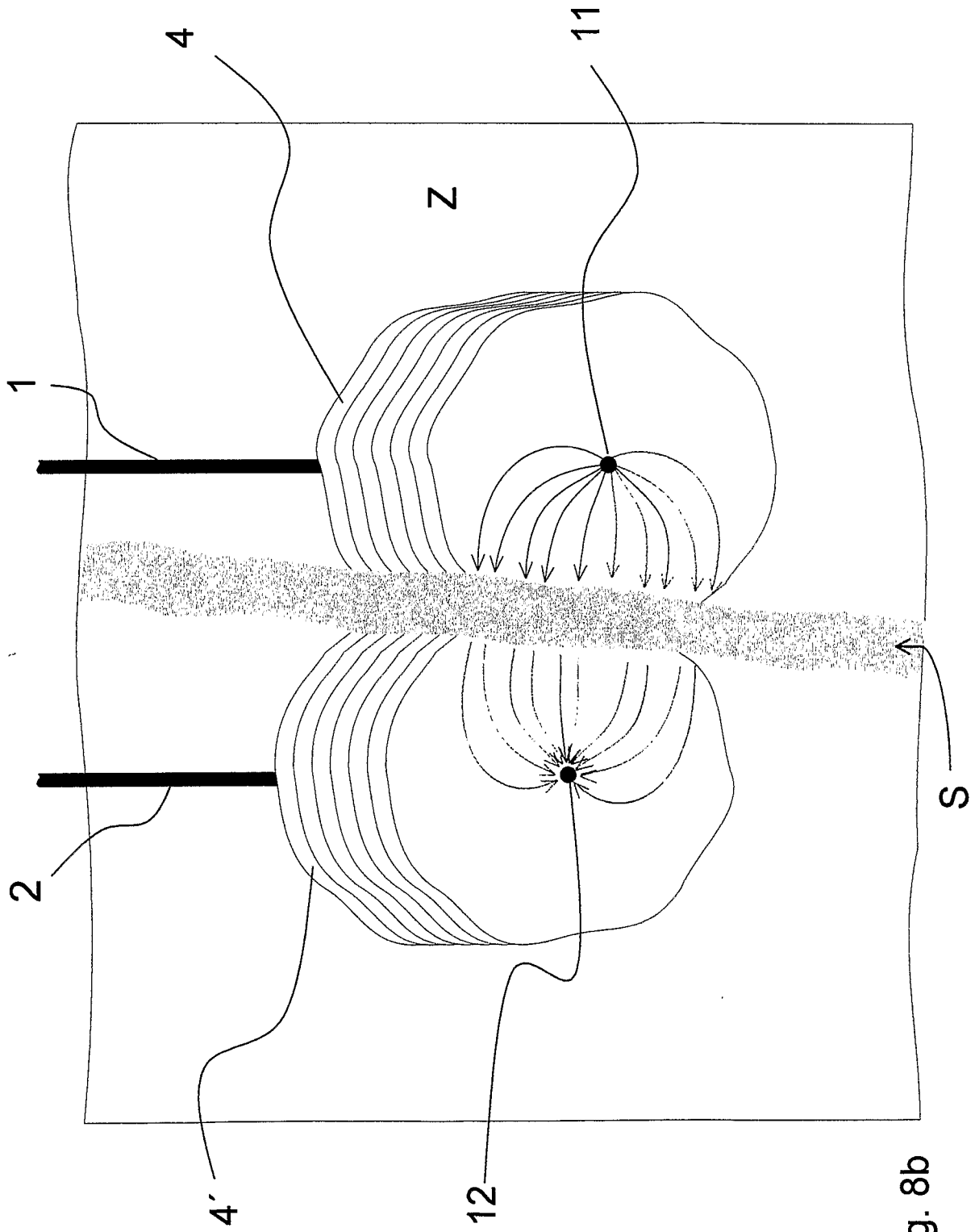


Fig. 8b

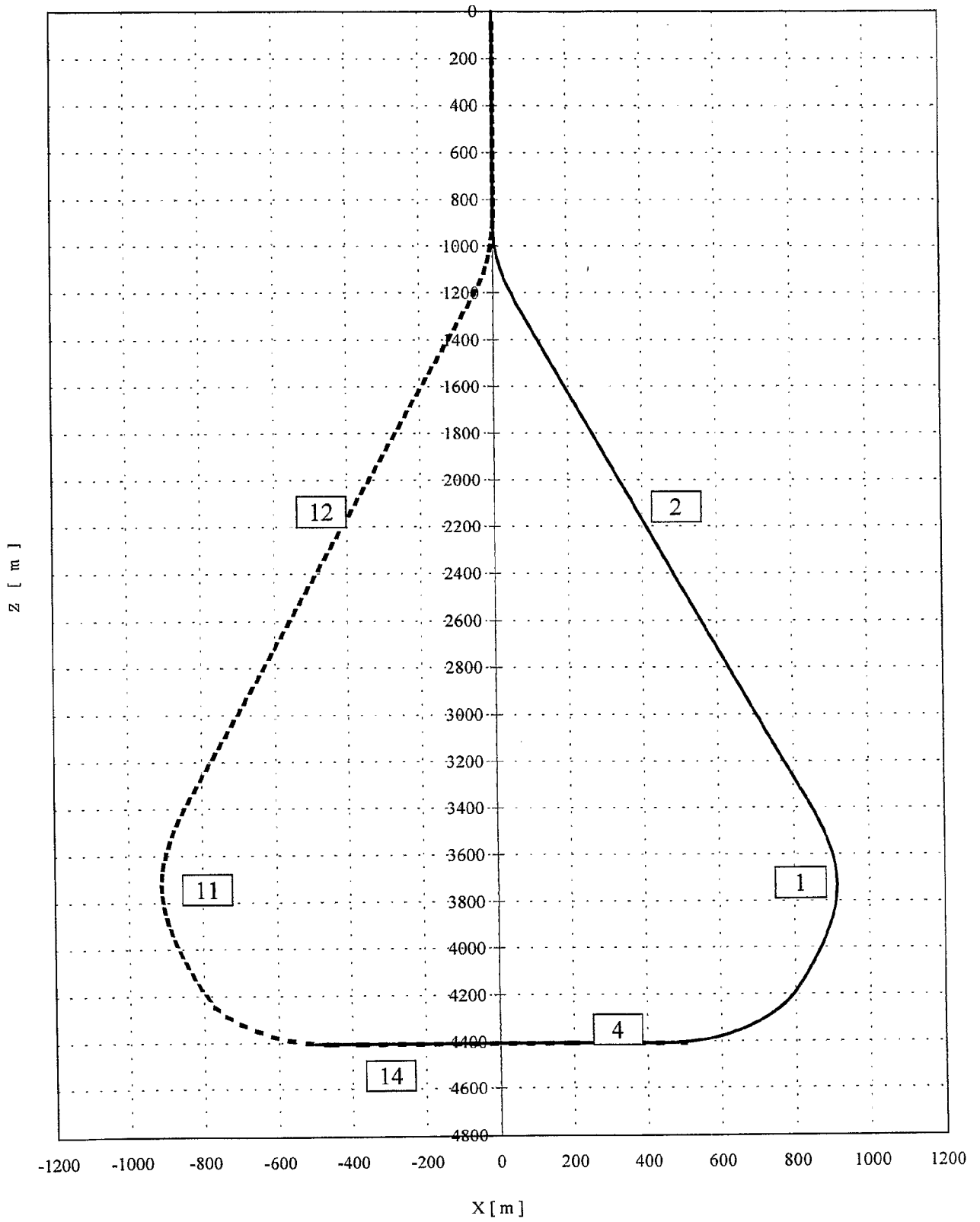


Fig. 9a

11/11
X [m]

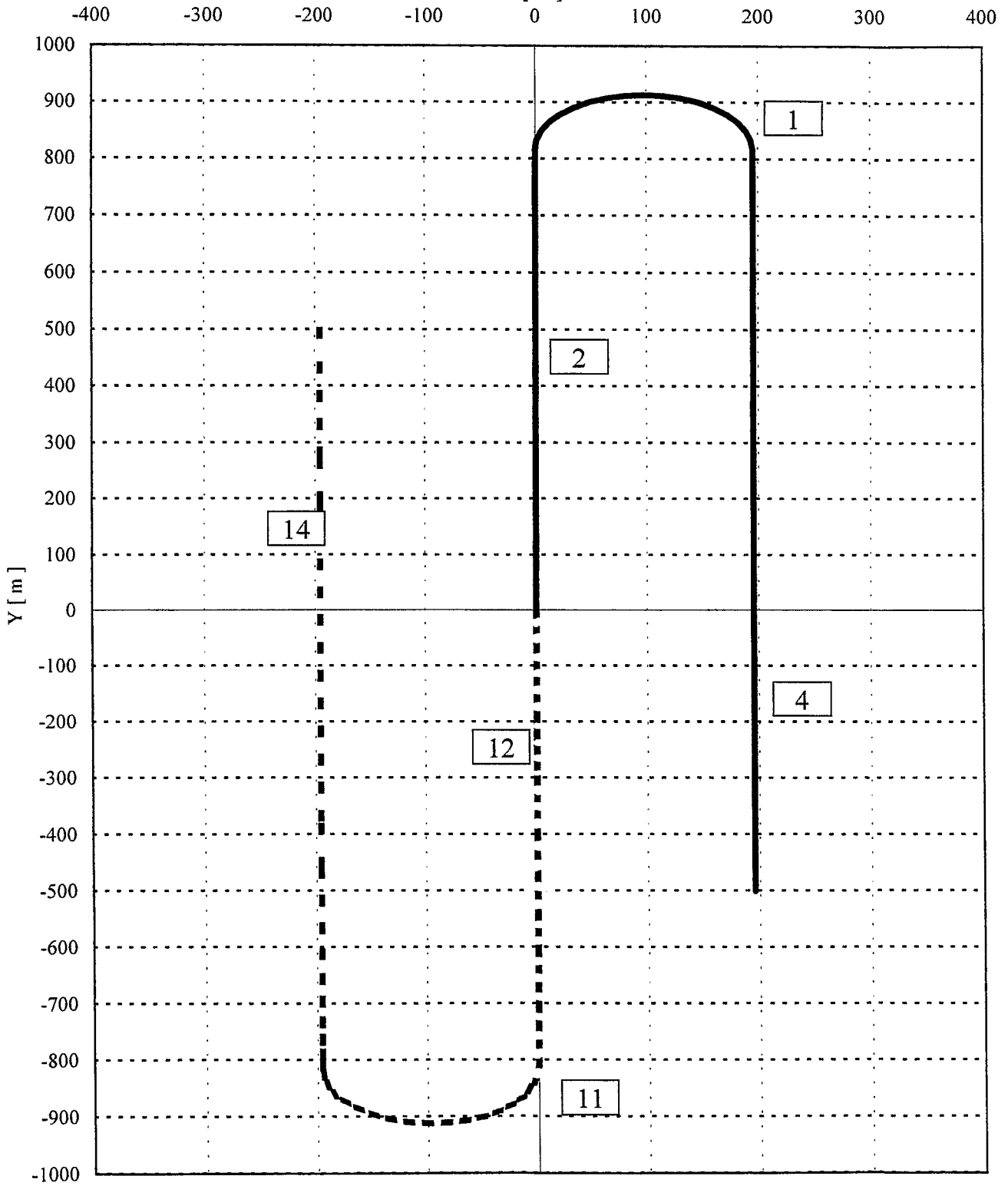


Fig. 9b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2008/001245A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. E21B43/17 F24J3/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
E21B F24J F03G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 863 709 A (FITCH JOHN L) 4 February 1975 (1975-02-04) column 3, line 19 - column 4, line 44 -----	1-15
X	US 4 223 729 A (FOSTER JOHN W) 23 September 1980 (1980-09-23) column 3, line 30 - column 5, line 28 -----	1-15
X	US 2007/223999 A1 (CURLETT HARRY B [US]) 27 September 2007 (2007-09-27) page 6, paragraph 45 - paragraph 47 -----	1-15

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- | | |
|---|---|
| *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| *E* earlier document but published on or after the international filing date | *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. |
| *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | * & * document member of the same patent family |
| *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

Date of the actual completion of the international search

27 März 2009

Date of mailing of the international search report

07/04/2009

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ott, Stéphane

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2008/001245

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3863709	A	04-02-1975	NONE	
US 4223729	A	23-09-1980	GB 2041041 A	03-09-1980
US 2007223999	A1	27-09-2007	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2008/001245

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. E21B43/17 F24J3/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
E21B F24J F03G

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 863 709 A (FITCH JOHN L) 4. Februar 1975 (1975-02-04) Spalte 3, Zeile 19 - Spalte 4, Zeile 44	1-15
X	US 4 223 729 A (FOSTER JOHN W) 23. September 1980 (1980-09-23) Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 5, Zeile 28	1-15
X	US 2007/223999 A1 (CURLLETT HARRY B [US]) 27. September 2007 (2007-09-27) Seite 6, Absatz 45 - Absatz 47	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. März 2009

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/04/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ott, Stéphane

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2008/001245

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3863709	A	04-02-1975 KEINE	
US 4223729	A	23-09-1980 GB	2041041 A 03-09-1980
US 2007223999	A1	27-09-2007 KEINE	