



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 108 818 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.06.2001 Patentblatt 2001/25**

(51) Int Cl.7: **E02D 3/12**

(21) Anmeldenummer: **00126332.6**

(22) Anmeldetag: **02.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(72) Erfinder: **Falk, Eduard, Dipl.-Ing.**  
**8010 Graz (AT)**

(74) Vertreter: **Neumann, Ernst Dieter, Dipl.-Ing. et al**  
**Harwardt Neumann Patent- und Rechtsanwälte,**  
**Brandstrasse 10**  
**53721 Siegburg (DE)**

(30) Priorität: **13.12.1999 DE 19960023**

(71) Anmelder: **KELLER GRUNDBAU GmbH**  
**63067 Offenbach (DE)**

(54) **Aktive Gründung**

(57) Verfahren zur Bodenverbesserung, gemäß dem Injektionen von Bindemittelsuspension aus einer Vielzahl von über eine Bodenoberfläche nach einem Flächenraster verteilt angeordneten Bohrlöchern durchgeführt werden, mit den folgenden Verfahrensschritten: in einer ersten Phase werden aus nach einem ersten

Raster angeordneten unverrohrten Bohrlöchern Düsenstrahl-injektionen (Düsenstrahlfracturing) jeweils in verschiedenen Höhen und nach verschiedenen Richtungen ausgeführt; in einer weiteren Phase werden nach einem weiteren vom ersten abweichenden Raster angeordnete Bohrlöcher mit Ventilrohren bzw. Einzelventilen bestückt.

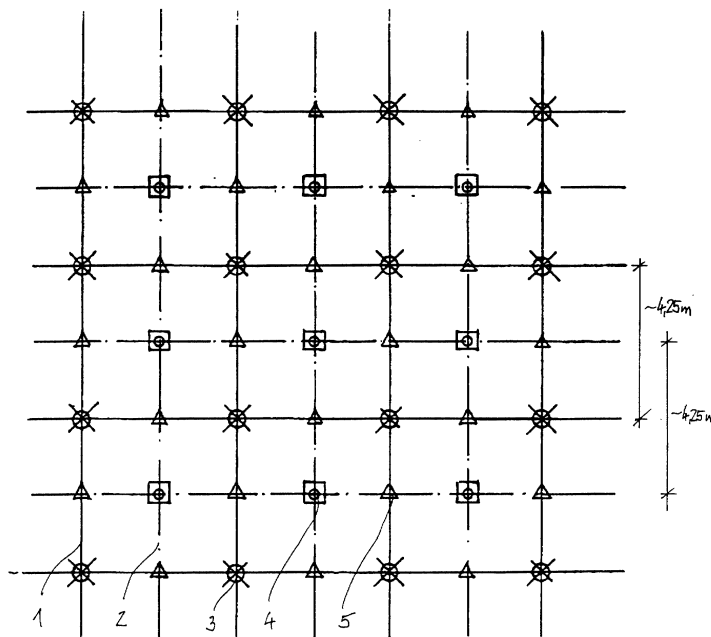


Fig. 1

EP 1 108 818 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bodenverbesserung, gemäß dem Injektionen von Bindemittelsuspension aus einer Vielzahl von über eine Bodenoberfläche nach einem Flächenraster verteilt angeordneten Bohrlöchern ausgeführt werden. Verfahren zur Bodenverbesserung dieser Art dienen zum Einbringen von erhärtenden Feststoffen, die in Suspensionen aufgeschlossen sind, in den Boden, um die Tragfähigkeit des Bodens zu verbessern und Setzungen zu vermeiden. Die Injektionen können im Düsenstrahl unmittelbar nach dem Bohren aus einem entsprechend hergerichteten Bohrgestänge ausgebracht werden. Es ist auch bekannt, Injektionen durch in Bohrlöcher fest eingebaute Ventilrohre oder Einzelventile auszuführen, um bereits erfolgte Setzungen der Bodenoberfläche auszugleichen. Die Ventilrohre sind hierbei an einfache Zuführleitungen angeschlossen und am freien Ende verschlossen, während die Einzelventile jeweils in einzelne Leitungsschleifen integriert sind, die Zufluß und Rückfluß gewährleisten. Im folgenden werden häufig vereinfachend nur Ventile angesprochen.

**[0002]** Ein Düsenstrahlverfahren ist beispielsweise in der DE 43 11 917 beschrieben. Hierbei werden durch Rotieren eines Bohrgestänges mit Hochdruckdüsen kreisscheibenförmige in einer gemeinsamen Ebene liegende Erosionsbereiche im Boden gebildet. Ein Injektionsverfahren, bei dem ventilgesteuerte Verpressungen aus verbauten Ventilrohren ausgebracht werden, ist z. B. in der DE 35 21 434 A1 beschrieben. Hierbei werden die Ventilrohre insbesondere fächerförmig von der Seite her unter ein bestehendes Bauwerk geführt.

**[0003]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bodenverbesserung bereitzustellen, das im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren wirtschaftlich günstiger ist.

**[0004]** Die Lösung hierfür besteht in einem Verfahren mit den folgenden Verfahrensschritten:

in einer ersten Phase werden aus nach einem ersten Raster angeordneten unverrohrten Bohrlöchern Düsenstrahlinjektionen (Düsenstrahlfracturing) jeweils in verschiedenen Höhen und nach verschiedenen Richtungen ausgeführt;

in einer weiteren Phase werden nach einem weiteren vom ersten abweichenden Raster angeordnete Bohrlöcher mit Ventilrohren bzw. Einzelventilen bestückt, die im weiteren betriebsbereit gehalten werden.

**[0005]** Es wird hiermit also ein zumindest zweistufiges Verfahren vorgeschlagen, bei welchem in einer ersten Phase eine generelle Bodenverbesserung unter sparsamen Materialeinsatz erfolgt und in einer weiteren Phase die Voraussetzungen geschaffen werden, daß in zumindest einer nachfolgenden ergänzenden Phase Zusatzverbesserungen situationsbezogen, d. h. also

örtlich differenziert bedarfsabhängig, durchgeführt werden. Die Durchführung der ventilgesteuerten Injektionen einer ergänzenden Phase kann hierbei bei zu beobachtenden Bodensenkungen während oder aber auch nach dem Fertigstellen des zu erstellenden Bauwerks erfolgen. Zum Beobachten der Bodensenkungen bzw. der Erfolge der ventilgesteuerten Injektionen ist das Bauwerk mit Meßpegeln zu bestücken.

**[0006]** Eine günstige Ausführungsform besteht in einem Verfahren mit dem zusätzlichen Verfahrensschritt: in einer zweiten auf die erste folgenden Phase werden aus nach einem zweiten vom ersten abweichenden Raster angeordneten unverrohrten Bohrlöchern Düsenstrahlinjektionen (Düsenstrahlfracturing) jeweils in verschiedenen Höhen und nach verschiedenen Richtungen ausgeführt.

**[0007]** Hiermit wird ein zumindest dreistufiges Verfahren vorgeschlagen, bei welchem in einer ersten Phase eine generelle Bodenverbesserung unter sparsamen Materialeinsatz erfolgt, in einer zweiten Phase eine ergänzende Verbesserung erfolgt, bei der durch Beobachtung der Bodenoberfläche bereits die Qualität der erreichten Verbesserung ermittelt und beurteilt werden kann, und dann in einer weiteren Phase die Voraussetzungen geschaffen werden, daß in zumindest einer nachfolgenden ergänzenden Phase Zusatzverbesserungen situationsbezogen, d. h. also wieder örtlich differenziert, und bedarfsabhängig durchgeführt werden können. Durch Bestückung der Bodenoberfläche mit Meßpegeln im Anschluß an die Durchführung der ersten Phase können die genannten Beobachtungen und daraus folgende Anpassungen bei der Durchführung der zweiten Phase der Düsenstrahlinjektionen erfolgen.

**[0008]** In beiden Verfahrensführungen ist es bevorzugt, die Düsenstrahlinjektionen der ersten Phase bzw. im zweiten Fall auch die der zweiten Phase jeweils unmittelbar nach dem Niederbringen eines jeden Bohrloches des ersten Rasters bzw. eines jeden Bohrloches des zweiten Rasters mittels eines Bohrgestänges mit einer Düsenöffnung beim Ziehen des Bohrgestänges vorzunehmen.

**[0009]** Die Bohrlöcher des weiteren Rasters, die mit Ventilen bestückt werden, können bei großem Rastermaß des ersten Rasters bzw. des zweiten Rasters gesondert und alleine für die Bestückung mit Ventilen ausgeführt werden. Bevorzugt ist es jedoch, daß bei Anwendung des erstgenannten Verfahrens ein Teil der Bohrlöcher des ersten Rasters für das weitere Raster herangezogen werden, bzw. daß bei Anwendung des zweitgenannten Verfahrens die Gesamtheit der Bohrlöcher des zweiten Rasters als weiteres Raster für die weitere Phase, d. h. also für die Bestückung mit Ventilen, herangezogen werden.

**[0010]** Sämtliche durchzuführende Injektionen, d. h. also die Düsenstrahlinjektionen (Düsenfracturing) der ersten und gegebenenfalls der zweiten Phase ebenso wie die ventilgesteuerten Injektionen der ergänzenden Phase werden bevorzugt mit der gleichen Art von Sus-

pension durchgeführt, so daß nur eine einheitliche Aufbereitungsanlage zur Herstellung von Suspension erforderlich ist.

**[0011]** Das Verfahren ist insbesondere für Flachgründungen bis zur Behandlungstiefe von ca. 10 m ab Geländeoberkante geeignet. Darüberhinaus kann das Verfahren in zahlreichen Fällen als Ersatz für Tiefgründungen als geeignet erscheinen. Als Ziel wird die setzungs-freie Abtragung von Sohlspannungen von 100 bis ca. 1000 kN/m<sup>2</sup> angesehen. Das erfindungsgemäße Ver-fahren ist insbesondere zur Verbesserung von Grün-dungsböden bei örtlich unterschiedlichen Belastungs-intensitäten und damit für die Überwindung der damit üb-licherweise verbundenen Differenzsetzungen geeignet.

**[0012]** Hinsichtlich der Bauwerksgröße des auf dem verbesserten Gründungsboden zu erstellenden Bau-werkes bestehen keine Beschränkungen. Bereits wäh-rend der Lastaufbringung bei Errichtung des Bauwerkes besteht durch wiederholte Durchführung der ventilge-steuerten Injektionen der ergänzenden Phase die Mög-lichkeit eines aktiven Setzungsausgleiches.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann zum Ausgleich von Gesamtsetzungen und Differenzsetzun-gen bei unterschiedlichen Belastungen eingesetzt wer-den, beispielsweise kann ein unterschiedliches Set-zungsverhalten von Stützen im Vergleich zu Hallenbö-den ebenso wie unterschiedliches Setzungsverhalten von Teilen mit unterschiedlicher Geschoßanzahl oder unterschiedlichen Gründungstiefen im Sinne eines Aus-gleichs berücksichtigt werden. Der genannte Ausgleich der unterschiedlichen Setzungen setzt eine geodäti-sche Beobachtung bzw. eine meßtechnische Aufnahme der Setzungserscheinungen mit bekannten und geeig-neten Mitteln voraus. Durch die nur bedarfsweise erfol-genden ventilgesteuerten Injektionen der genannten er-gänzenden Phase wird ein geringer Materialeinsatz ein-gehalten. Die Darstellung überzogen hoher Verbesse-rungsgrade infolge von einheitlichen Bedarfsannahmen für ein Gesamtareal wird damit vermieden.

**[0014]** Neben dem bedarfsabhängig zu bemessen-den Materialeinsatz wird in gleicher Weise auch der Ar-beitsaufwand und Geräteaufwand nur in örtlich speziell angepaßtem Umfang erforderlich.

**[0015]** Für verschiedene Bodenparameter können standardisierte Injektionsmengen insbesondere für die Düsenstrahlinjektion zur Anwendung kommen, so daß die Durchführung des Verfahrens vereinheitlicht und vereinfacht werden kann und von individuellen Ent-scheidungen in der ersten Phase unabhängig wird. Eine einfache Aufschlußbohrung kann hierbei für die Pa-rameterbestimmung ausreichend sein, nach der die Injek-tionsmengen tabellarisch ausgewählt werden.

**[0016]** In einer typischen Verfahrensanwendung wird die Bodenoberfläche im zu behandelnden Bereich mit einem quadratischen Raster mit ca. 4,25 m Rastermaß überzogen. Die Schnittpunkte des Rastergitters können die Lage der ersten Bohrlöcher und der Düsenstrahlin-jektionen der ersten Phase bestimmen. Ein weiteres

gleichartiges Raster wird bevorzugt um das halbe Ra-stermaß versetzt auf der Bodenoberfläche aufgerissen, dessen Schnittpunkte die Lage der zweiten Bohrlöcher und der Düsenstrahlinjektionen der zweiten Phase be-stimmen, die in der weiteren Phase mit Ventilrohren oder Einzelventilen versehen werden, aus denen die Verpressungen der ergänzenden Phasen erfolgen. Das Rastermaß des zweiten Rasters kann gegebenenfalls auch weiter als das des ersten sein, z.B. von doppelter Größe.

**[0017]** Das Niederbringen der Bohrungen für die erste Phase erfolgt mit Suspensionsspülung auf die Endtiefe t<sub>B</sub>, wobei ein Austreten der Bohrspülung an der Boden-oberfläche nach Möglichkeit vermieden wird. Bohrges-tänge mit geeigneten Abdichtmanschetten werden im weiteren vorgeschlagen. Aus den Bohrlöchern des er-sten Rasters wird nach Erreichen der Endtiefe das mit einer Düsenöffnung für Suspension ausgerüstete Bohr-gestänge in Stufen von 10 bis 20 cm, im Mittel 15 cm, gezogen und dabei jeweils von Stufe zu Stufe um 90° geschwenkt. Auf jeder Stufe wird eine bodenparameter-abhängig vorbestimmte Injektionsmenge im Hoch-druckdüsenstrahl ausgebracht. Die Injektionsmenge wird bevorzugt mit abnehmender Tiefe von Stufe zu Stu-fe reduziert. Dies bewirkt, daß sich die Reichweite der Lamellen annähernd gleich groß ausbildet.

**[0018]** Danach werden die zweiten Bohrungen im zweiten Raster ausgeführt. In gleicher Weise wie vorher wird nach Erreichen der Endtiefe das Bohrgestänge in Stufen von 10 bis 20 cm gezogen und jeweils von Stufe zu Stufe um 90° geschwenkt. Hierbei kann jedoch be-reits die Injektionsmenge in Abhängigkeit von den Bo-denhebungen, die dabei erzielt werden, bemessen wer-den. In der Regel werden in Abhängigkeit von den Bo-denverhältnissen die Injektionsmengen der ersten Pha-se um einen konstanten Faktor reduziert als Injek-tions-mengen der zweiten Phase eingesetzt. Diese Bodenhe-bungen können mit zuvor aufgestellten Meßpegeln überwacht werden. Nachdem das Bohrgestänge voll-ständig gezogen ist, können in die Bohrlöcher des zwei-ten Rasters anschließend Ventilrohre oder Einzelventile eingeführt werden. Diese können in üblicher Weise mit Verfüllmasse gegenüber dem Bohrloch fixiert werden. Zuführleitungen zu den Ventilrohren oder Einzelventilen werden entweder in Schutzrohren nach oben durch eine dann herzustellende Bodenplatte oder gegebenenfalls auch quer unter dieser bis außerhalb der zu erstellen-den Bodenplatte geführt. Während und gegebenenfalls nach der anschließenden Lastaufbringung durch Erstel-len eines Bauwerkes können die Setzungen durch ven-tilgesteuerte Verpressungen ausgeglichen werden, die jeweils im Mitteldruckbereich erfolgen und bei denen in verschiedenen Höhen aus den einzelnen Ventilöffnun-gen bzw. aus den in verschiedenen Höhen verbauten Einzelventilen jeweils vorbestimmte Injektionsmengen ausgebracht werden. Je nach dem sich einstellenden Ergebnis können weitere Injektionen dieser ergänzen-den (abschließenden) Phase nur aus einer Teilmenge

der verbaute Ventile, z. B. jedem zweiten Ventil in horizontaler Linie, erzeugt werden, oder es können die ventilgesteuerten Injektionen dieser ergänzenden Phase aus den einzelnen Ventilen mehrfach wiederholt werden.

**[0019]** Als Ergebnis der Durchführung dieses Verfahrens erfolgt der Aufbau eines Feststoffgerüsts im Boden, das die Lastübertragung in größere Tiefen übernimmt. Ein Verbundsystem aus erhärtenden Mörtellarmellen und in seiner Verformung behindertem Boden läßt ein Bodenmaterial mit gegenüber dem Ausgangsboden verbessertem Tragverhalten entstehen. Durch Beobachtung der Setzungstendenzen in charakteristischen Bauwerksbereichen kann das Erfordernis von Nachinjektionen zur Vermeidung von unzulässigen Setzungsdifferenzen bereits frühzeitig festgestellt werden. Dies kann zu einer Verringerung der Setzungen in vorseilenden Bereichen genutzt werden. Andererseits sind bei übermäßigen örtlichen Setzungen auch Rückhebungen durch wiederholte Ausübung der ergänzenden Phase möglich.

**[0020]** Das zu behandelnde Gelände wird nach Abschluß der ersten Phase üblicherweise mit einer Reihe von Meßpegeln versehen, so daß die durch die Injektion der zweiten Phase hervorgerufenen Oberflächenbewegungen festgestellt werden können. Wenn gleiche Mengenzugaben zu gleichen Bodenhebungen zwischen den einzelnen Bohrlöchern führen, kann auf das Erreichen einer gewünschten Homogenität geschlossen werden. Nach Abschluß der zweiten Phase und dem Einbauen von Ventilrohren oder Einzelventilen in der weiteren Phase erfolgt ein gegebenenfalls vorgesehener Bodenaushub, der tiefer reichen soll, als die obere Grenze des Injektionsbereiches liegt. Die Versorgungsleitungen der Ventilrohre bzw. der Einzelventile sind dabei zu schützen und funktionsfähig zu halten und gegebenenfalls mit Verlängerungsleitungen zu verbinden, die dauernd betriebsbereit bleiben. Nach dem Fertigstellen der Bodenplatte oder des Bauwerks werden wieder Meßpegel auf bzw. an diesen installiert.

**[0021]** Die Zugabemenge wird mit 2 bis 5 % des behandelten Bodenvolumens angenommen. Hierbei sollen feststoffreiche Suspensionen zur Anwendung kommen, deren Volumen in erhärtetem Zustand nicht wesentlich vom Flüssigvolumen abweicht.

**[0022]** Eine für die Durchführung des Verfahrens geeignete Arbeitseinheit besteht aus folgenden Elementen:

- selbstfahrendes Drehbohrgerät mit einer ca. 6 bis 10 m langen Lafette und einem Durchsteckdrehkopf; alternativ mehrere Kleinbohrgeräte mit Leichtbohrlafetten, die gleichzeitig zur Anwendung kommen;
- Zweifachbohrgestänge mit Außendurchmesser 88,9 mm mit maximal 11 m Länge und einem Spülkopf am oberen Ende;
- Dreiflügelbohrkrone mit Durchmesser 100 bis 105

mm;

- Düsenkopf mit einer Düse mit Durchmesser ca. 4,0 mm für Suspension und einer zweiten Düse mit Durchmesser ca. 1,9 mm für Beschleuniger (mit Rückschlagsicherung);
- Ringraummanschette am Gestänge in einem Bereich von ca. 0,5 bis 1,0 m über dem Düsenkopf angebracht, die der weitgehenden Verhinderung des Aufsteigens von Injektionsmaterial entlang des Bohrgestänges dient;
- automatischer Hochfrequenzmischer, geeignet für die Aufbereitung von Suspensionen mit einem Wasser-Feststoff-Gehalt von 0,45 bis 0,55;
- Suspensionspumpe für Druckbereich bis mindestens 100 bar bei Pumpmenge 100 l/min.;
- Vorratsbehälter für 500 bis 1000 l Suspension mit Füllstandskontrolle;
- Vorratsbehälter für Beschleuniger, die Beigabe des Beschleunigers kann direkt über die zweite Düse oder bereits in der Mischung erfolgen;
- Pumpe für Beschleuniger bei direkter Beigabe über die zweite Düse bis 150 bar Druck bei Pumpmenge 20 l/min. (Beigabe über zweiten Spülkanal im Gestänge);
- Stromaggregat ca. 80 kVA;
- elektronische Ausrüstung zur Steuerung und Parameteraufzeichnung für Drücke und Durchflussmengen;
- Mehrfachventilrohre mit Zuleitungen;
- Vermessungstechnische Ausrüstung zur geodätischen Überwachung der behandelten Oberfläche.

**[0023]** Als Suspensionen kommen Mischungen auf der Basis von Wasser, Zement, Füller, Bentonit zur Verwendung, als Fertigmischung oder vor Ort aufbereitet. Als Beschleuniger kommt verdünntes Wasserglas oder ein alkalifreier Beschleuniger in Betracht.

**[0024]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann zur relevanten Bodenverbesserung bis in 1 m Abstand von der Bodenoberfläche, besser jedoch nur bis zu 2 m Abstand von der Bodenoberfläche eingesetzt werden. Um das genannte Maß soll das Arbeitsplanum über der späteren Gründungssohle liegen. Nach dem Abschieben eines Fundamentaushubs wird eine Vlieschicht und darüber eine Kieslage mit ca. 30 cm Stärke aufgebracht und verdichtet. Die Zuführleitungen der Ventile werden verlängert und abgeschirmt. Danach werden die Fundamente und die Bodenplatte hergestellt.

**[0025]** Unter Bezugnahme auf die in den Ansprüchen genannten bevorzugten Ausführungen werden noch folgende Einzelheiten benannt:

- die Düsenstrahlinjektionen der ersten Phase und der zweiten Phase können mit einem Druck zwischen 100 und 400 bar ausgeführt werden, die ventilgesteuerten Injektionen bzw. Verpressungen der ergänzenden Phase mit einem Druck von bis zu 40 bar;

- die Injektionsmengen der Düsenstrahlinjektionen werden mit abnehmender Bohrungstiefe reduziert, um einen Austritt von Suspension an der Oberfläche zu vermeiden;
- die durch die Düsenstrahlinjektionen darstellbaren Injektionskörper und das Rastermaß der ersten Bohrungen und gegebenenfalls der zweiten Bohrungen müssen so aufeinander abgestimmt werden, daß die einzelnen Injektionskörper einander berühren oder sich durchdringen;
- die ventilgesteuerten Verpressungen der ergänzenden Phase erfolgen jeweils in mehreren Höhen aus jedem Ventilrohr bzw. aus den mit Abstand verbauten Einzelventilen, insbesondere mit Abstand von mehreren Metern zueinander;
- die ventilgesteuerten Verpressungen der ergänzenden Phase erfolgen bevorzugt in einem ersten Durchgang aus sämtlichen Ventilrohren bzw. Einzelventilen einmal und in einem zweiten Durchgang bedarfsweise - gegebenenfalls nur aus einer Teilmenge der Ventilrohre oder Einzelventile - und zwar in einfacher Wiederholung oder in mehrmaliger Wiederholung.

**[0026]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von Zeichnungen näher erläutert.

- Figur 1 zeigt zwei auf einer Bodenoberfläche aufgerissene Raster für das erfindungsgemäße Verfahren in Aufsicht;
- Figur 2 zeigt die Durchführung des Verfahrens im vertikalen Schnitt durch den Boden
- a) in der ersten Phase  
b) in der zweiten Phase  
c) in der weiteren Phase  
d) in der ergänzenden Phase;
- Figur 3 zeigt Einzelheiten zu den geometrischen Verhältnissen und Injektionsmengen während der ersten Phase im vertikalen Schnitt in isometrischer Darstellung;
- Figur 4 zeigt ein Bohrloch nach Abschluß der ersten Phase gemäß Figur 3 im vertikalen Schnitt mit einander überlagerten Lamellen;
- Figur 5 zeigt Einzelheiten zu den geometrischen Verhältnissen und Injektionsmengen während der ersten Phase im Querschnitt;
- Figur 6 zeigt das vordere Ende eines erfindungsgemäßen Bohrgestänges in einem Bohrloch in einer ersten Ausführung;
- Figur 7 zeigt das vordere Ende eines erfindungs-

gemäßen Bohrgestänges in einem Bohrloch in einer zweiten Ausführung;

- Figur 8 zeigt das vordere Ende eines erfindungsgemäßen Bohrgestänges in einem Bohrloch in einer dritten Ausführung;
- Figur 9 zeigt zwei Einzelventile mit Zuführleitungen in einem Bohrloch während der weiteren Phase;
- Figur 10 zeigt eine Gesamtanlage zur Durchführung des Verfahrens.

**[0027]** In Figur 1 ist in Draufsicht auf eine Bodenoberfläche mit durchgezogenen Linien ein erstes quadratisches Raster 1 gezeigt und mit strichpunktierten Linien ein gegenüber diesem jeweils um das halbe Rastermaß versetztes zweites Raster 2. Die Rasterpunkte 3 des ersten Rasters 1 definieren die Bohrlöcher für Düsenstrahlinjektionen einer ersten Phase; die Rasterpunkte 4 des zweiten Rasters definieren die Bohrlöcher für Düsenstrahlinjektionen einer zweiten Phase, die zugleich die Einbaupositionen für die Ventilrohre bzw. Einzelventile wiedergeben, deren Einbau in einer weiteren Phase vorgenommen wird. Sofern in einer vereinfachten Verfahrensdurchführung die weitere Phase des Einbaus der Ventile unmittelbar der ersten Phase von Düsenstrahlinjektionen folgt, d. h. keine Düsenstrahlinjektionen einer zweiten Phase vorgenommen werden, definieren die Rasterpunkte 4 des zweiten Rasters unmittelbar die Bohrlöcher für die Aufnahme der Ventilrohre bzw. Einzelventile in der weiteren Phase. Jeweils zwischen zwei Rasterpunkten 3 des ersten Rasters 1 ebenso wie zwischen zwei Rasterpunkten 4 des zweiten Rasters 2 liegen Positionen 5 für Meßpegel, die somit jeweils gleichen Abstand von sie umgebenden Bohrungen haben. Das bevorzugte Rastermaß liegt in der Größenordnung von 4,25 m, bedingt durch die Reichweite der Düsenstrahlinjektionen.

**[0028]** In Figur 2a ist ein vertikaler Schnitt durch einen zu behandelnden Boden gezeigt, wobei die Bodenoberfläche 11 das Arbeitsplanum bildet und mit der Höhe  $\pm 0,0$  m bezeichnet ist. In gleichmäßigem Abstand sind nach einem ersten Raster erste Bohrungen 12 gezeigt, von denen aus Düsenstrahlinjektionen 13 ausgeführt sind (Düsenstrahlfracturing), die den Boden in im wesentlichen horizontalen Bindemittellamellen durchdringen. Diese reichen von einer Tiefe von - 2,0 m bis zu einer Tiefe von - 10,0 m unter Arbeitsplanum.

**[0029]** In Figur 2b sind in einer um ein halbes Rastermaß versetzten Schnittebene zweite Bohrungen 14 gezeigt, von denen in einer zweiten Phase ebenfalls Düsenstrahlinjektionen 15 ausgeführt sind, die den Boden ebenfalls in horizontalen Lamellen durchsetzen. Die ersten Bohrungen 12 sind gestrichelt in einer dahinterliegenden Ebene angedeutet, wobei die bereits vorhandenen Lamellen aus der Durchführung der ersten Phase

nicht gezeigt sind. Auf der Bodenoberfläche 11 sind Meßpegel 16 installiert, die während der Injektionen der zweiten Phase bereits in Betrieb sind und mit denen die Auswirkungen der Durchführung der zweiten Phase überwacht werden, d. h. Bodenhebungen festgestellt werden können. Die einzelnen Injektionen werden hierbei mengenmäßig so gesteuert, daß bestimmte absolute oder zugabemengenbezogene Hebungswerte an den einzelnen Pegeln erreicht werden.

**[0030]** In Figur 2c ist dargestellt, daß in die Bohrlöcher 14 der zweiten Phase in einer weiteren Phase jeweils zwei Einzelventile 17, 18 eingeführt sind. Im übrigen stimmen die Einzelheiten mit denen aus Figur 2b überein; auf deren Beschreibung wird Bezug genommen.

**[0031]** In Figur 2d ist dargestellt, daß ausgehend vom Arbeitsplanum 11 eine Baugrube 19 bis zur Tiefe einer Fundamentunterkante ausgehoben ist, die unterhalb der Obergrenze der vorherigen Verfestigungsmaßnahmen liegt. In der Baugrube 19 ist eine Bodenplatte 20 erstellt. Die Zuführungsleitungen der Einzelventile 17, 18 sind geschützt durch diese Bodenplatte hindurchgeführt, so daß die Ventile 17, 18 in jedem der Bohrlöcher 14 weiterhin betriebsbereit sind. Auf der Bodenplatte sind weitere Meßpegel 21 aufgestellt. Darüber hinaus ist gezeigt, wie aus den Einzelventilen 17, 18 ventilgesteuerte Verpressungen 22, 23 zum Ausgleich von Setzungen beim Erstellen der Bodenplatte erzeugt sind bzw. beim weiteren Baufortschritt und zusätzlicher Belastung durch das Bauwerk zum Ausgleich von Setzungserscheinungen wiederholt ausgeführt werden können.

**[0032]** In Figur 3 ist eine der Bohrungen 12 der ersten Phase gezeigt, in der ein Bohrgestänge 31 mit einer Bohrkrone 32 und einer Düse 33 in der tiefsten Lage gestrichelt und in einer höheren Lage ausgezogen gezeigt ist. In einzelnen Höhenlagen, die im wesentlichen etwa gleichen Abstand voneinander haben, und nach unterschiedlichen Drehrichtungen sind mittels der Düse 33 einzelne Bindemittellamellen 24 (Fracs) erzeugt, die Bodenmaterial zum Teil durchdringen, zum Teil verdrängen und somit zur Bodenverbesserung führen.

**[0033]** In Figur 4 ist die Bohrung 12 nach Figur 3 nach Abschluß der ersten Phase gezeigt. Durch die unregelmäßige Ausbildung der Lamellen 24 sind Überschneidungen entstanden.

**[0034]** In Figur 5 ist in einem Querschnitt durch eines der Bohrlöcher 12 das Ergebnis der Düsenstrahlinjektionen in verschiedenen Höhenlagen und nach verschiedenen Richtungen gezeigt, wobei ein Kernbereich mit 25 und ein Grenzbereich mit 26 bezeichnet sind.

**[0035]** In den Figuren 6 bis 8 ist jeweils das untere Ende eines Bohrgestänges 31 mit einer am vorderen Ende erkennbaren Bohrkrone 32 in einem der Bohrlöcher 12 dargestellt. Die Düse für die Bindemittelsuspension ist mit 33 bezeichnet, eine kleinere Düse für Beschleuniger ist mit 34 bezeichnet. Die geneigte Darstellung des Bohrloches soll verdeutlichen, daß das Verfahren auch mit unter einem Neigungswinkel niederge-

bracht parallel zueinander verlaufenden Bohrlöchern durchgeführt werden kann.

**[0036]** In Figur 6 ist eine einfache auf das Gestänge 31 aufgezogene Stahlringmanschette 35 oberhalb der Düsenöffnungen gezeigt, die das Bohrloch 12 so abdichtet, daß möglichst wenig Bohrspülung bzw. Suspension nach oben aus dem Bohrloch abfließen kann. Die Stahlringmanschette 35 kann unterschiedliche Stärke aufweisen und ist am Gestänge 31 angeschweißt.

**[0037]** In Figur 7 ist in der gleichen Position wie zuvor bezeichnet eine elastische Manschette 36 mittel zweier Klemmringe 37, 38 auf dem Gestänge 31 befestigt, die sich unter Innendruck elastisch aufweiten kann und auf diese Weise das Bohrloch 12 ebenfalls abdichtet.

**[0038]** In Figur 8 ist in der zuvor bezeichneten Position auf dem Gestänge 31 eine gummielastische Manschette vorgesehen, die aus zwei symmetrisch zueinander angeordneten Ringlippen 39, 40 besteht, die mit Spannbändern 41, 42 auf dem Gestänge 31 festgelegt sind. Diese Ringlippen dichten unter Eigenelastizität das Gestänge gegenüber dem Bohrloch 12 ab.

**[0039]** In Figur 9 ist ein Bohrloch 26 gezeigt, das hier als zusätzliches Bohrloch für die Durchführung der weiteren Phase ausgeführt ist und noch nicht für Düsenstrahlinjektionen Verwendung gefunden hat. In dieses sind in unterschiedlichen Höhen zwei Einzelventile 43, 44 abgelassen, die jedes für sich als Schleifen ausgebildete Versorgungsleitungen 45, 46 haben. Die Einzelventile 43, 44 können in Durchführung der weiteren Phase nach ihrem Instellungbringen in dem Bohrloch 26 mit Füllmasse, beispielsweise mit der zur Verfügung stehenden Suspension, drucklos verfüllt werden. Die Versorgungsleitungen 45, 46 sind an der Austrittsöffnung gegen nachfolgende Baumaßnahmen abzuschirmen, so daß die Einzelventile 43, 44 betriebsbereit gehalten werden.

**[0040]** In Figur 10 ist symbolhaft eine Gesamtanlage zum Aufbereiten von Suspension und zum Durchführen der Bohrungen und Düsenstrahlinjektionen der ersten und zweiten Phase gezeigt. Zu erkennen sind ein Stromaggregat 51, ein Zementsilo 52, ein Mischer 53, ein Vorratsbehälter 54 für Suspension, eine Pumpe 55 und ein selbstfahrendes Bohrgerät 56, an dem das Bohrgestänge 31 geführt ist. Injektionen der ersten Phase sind an einem Bohrloch 12 abgeschlossen, an einem weiteren in Arbeit.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bodenverbesserung, gemäß dem Injektionen von Bindemittelsuspension aus einer Vielzahl von über eine Bodenoberfläche nach einem Flächenraster verteilt angeordneten Bohrlöchern durchgeführt werden, mit den folgenden Verfahrensschritten:

in einer ersten Phase werden aus nach einem

- ersten Raster angeordneten unverrohrten Bohrlöchern Düsenstrahlinjektionen (Düsenstrahlfracturing) jeweils in verschiedenen Höhen und nach verschiedenen Richtungen ausgeführt;  
in einer weiteren Phase werden nach einem weiteren vom ersten abweichenden Raster angeordnete Bohrlöcher mit Ventilrohren bzw. Einzelventilen bestückt.
2. Verfahren nach Anspruch 1 mit dem zusätzlichen Verfahrensschritt:  
in einer zweiten auf die erste folgenden Phase werden aus nach einem zweiten vom ersten abweichenden Raster angeordneten unverrohrten Bohrlöchern Düsenstrahlinjektionen (Düsenstrahlfracturing) jeweils in verschiedenen Höhen und nach verschiedenen Richtungen ausgeführt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsenstrahlinjektionen der ersten Phase jeweils unmittelbar nach dem Niederbringen eines jeden Bohrloches des ersten Rasters mittels eines Bohrgestänges mit Düsenöffnung erfolgen.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsenstrahlinjektionen der zweiten Phase jeweils unmittelbar nach dem Niederbringen eines jeden Bohrloches des zweiten Rasters mittels eines Bohrgestänges mit Düsenöffnung erfolgen.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bohrlöcher des weiteren Rasters für die weitere Phase des Einbringens der Ventilrohre gesondert ausgeführt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der Bohrlöcher des ersten Rasters für das weitere Raster für die weitere Phase des Einbringens der Ventilrohre herangezogen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtheit der Bohrlöcher des zweiten Rasters als weiteres Raster für die weitere Phase des Einbringens der Ventilrohre herangezogen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Durchführung der zweiten Phase der Düsenstrahlinjektionen die Bodenoberfläche mit Meßpegeln bestückt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß in zumindest einer ergänzenden (abschließenden) Phase ventilgesteuerte Injektionen aus den Ventilrohren bzw. Einzelventilen ausgebracht werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Durchführen der zumindest einen ergänzenden Phase ein Bodenaushub erfolgt und/oder ein Bauwerk erstellt wird, wobei die Ventilrohre funktionsfähig gehalten werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Teile eines zu erstellenden Bauwerks und/oder das fertiggestellte Bauwerk mit Meßpegeln bestückt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsenstrahlinjektionen mit einem Druck von 100 bis 400 bar ausgeführt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Düsenstrahlinjektionen aus jedem der Bohrlöcher jeweils um gleiche Drehwinkel von insbesondere 90° voneinander entfernt sind.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Düsenstrahlinjektionen aus jedem der Bohrlöcher jeweils um gleiche Höhenbeiträge von insbesondere 10 bis 20 cm voneinander entfernt sind.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsenstrahlinjektionen in jeder der Höhen einmalig mit einem vorbestimmten Einzelvolumen ausgeführt werden.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsenstrahlinjektionen mit bodenabhängig nach dem Ergebnis eines Bodenaufschlusses vorbestimmten Injektionsmengen durchgeführt werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Injektionsmengen der Düsenstrahlinjektionen mit abnehmender Bohrungstiefe reduziert werden, insbesondere im Verhältnis von 5/3 : 1 : 1/3 in drei unterschiedlichen Tiefen mit gleichmäßigem Abstand ausgebracht werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Injektionskörper der Düsenstrahlinjektionen einen stabilen Kernbereich haben, dessen radiale Ausdehnung vom Bohrloch aus dem halben Rastermaß des ersten Rasters entspricht. 5
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die ventilsteuerten Injektionen der zumindest einen ergänzenden Phase während und/oder nach einer Lastaufbringung auf die Bodenoberfläche durchgeführt werden. 10
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die ventilsteuerten Injektionen mit einem Druck von bis zu 40 bar durchgeführt werden. 15
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die ventilsteuerten Injektionen zahlenmäßig in Abhängigkeit von örtlichen Hebungen der Bodenoberfläche durchgeführt werden. 20
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die ventilsteuerten Injektionen in Abhängigkeit von Setzungen der Bodenoberfläche - gegebenenfalls mehrfachwiederholt werden. 25 30
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Raster im Muster der Kreuzungspunkte eines Quadrat-, Rechteck- oder Rautengitters ausgeführt wird. 35
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Raster und/oder das weitere Raster im Muster der Kreuzungspunkte des ersten Rasters, jedoch um das halbe Rastermaß zu diesem versetzt, ausgeführt wird. 40
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß in für erhöhte Auflasten vorbestimmten Bereichen das erste Raster verengt ausgeführt wird, insbesondere indem zusätzliche Zwischenpunkte für zusätzliche erste Bohrlöcher von gegebenenfalls geringerer Tiefe vorgesehen werden. 45 50
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Raster im Muster von Mittelpunkten in jedem der Gitterfelder des ersten Rasters ausgeführt wird. 55
27. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 26, gekennzeichnet durch die Merkmale:
- ein Bohrgestänge ist mit einer Bohrkrone und einer oberhalb derselben liegenden Injektionsdüse versehen;
  - oberhalb der Düsenöffnung ist ein Abdichtmittel vorgesehen, das das Bohrloch nach oben elastisch abdichtet;
28. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Abdichtmittel aus einem auf dem Bohrgestänge festgelegten radial beweglichen Stahlring bestehen.
29. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Abdichtmittel aus einem elastischen ringförmigen Gummielement bestehen.
30. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die elastischen Abdichtmittel aus einem aufweitbaren Packerelement bestehen.

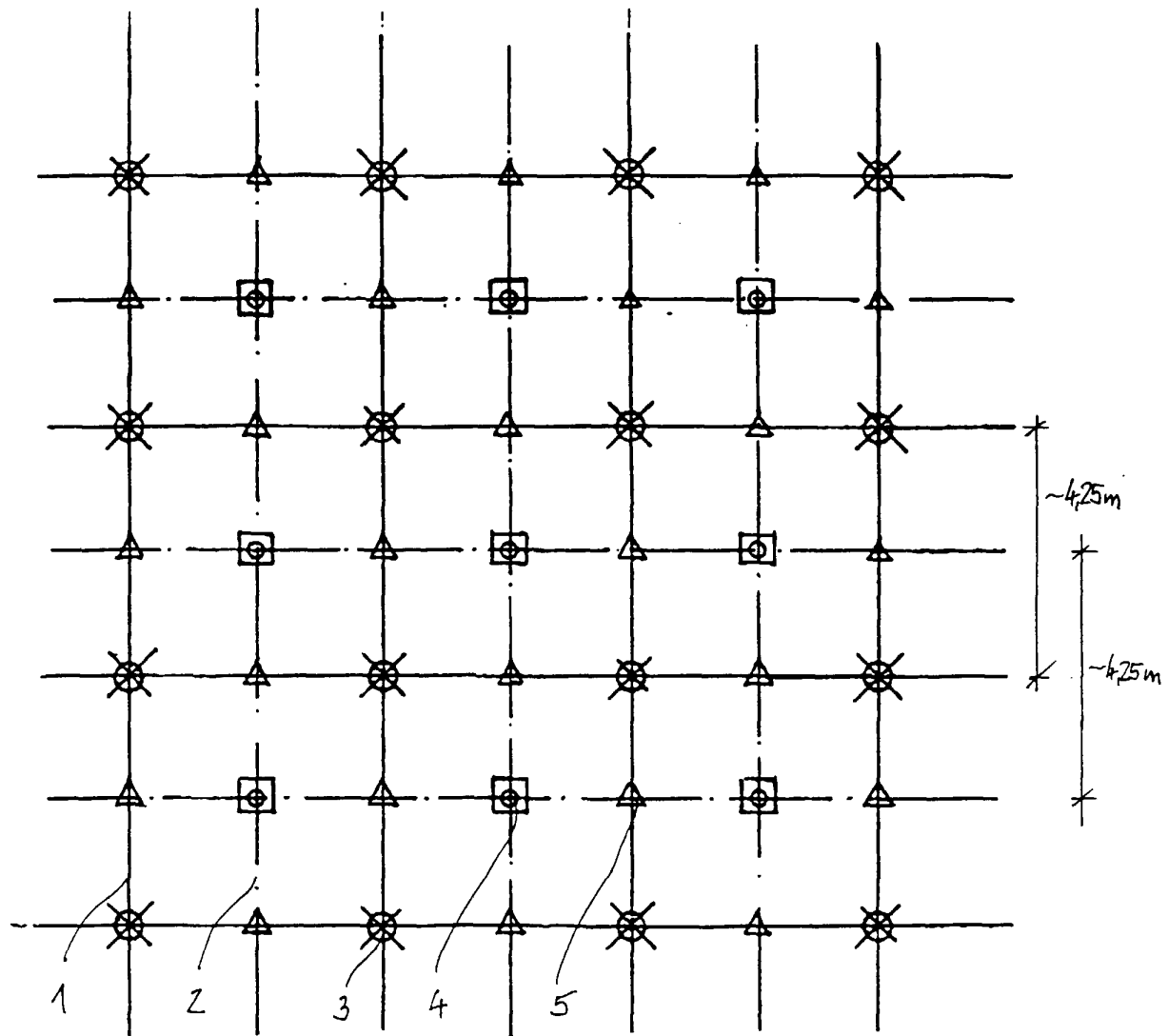
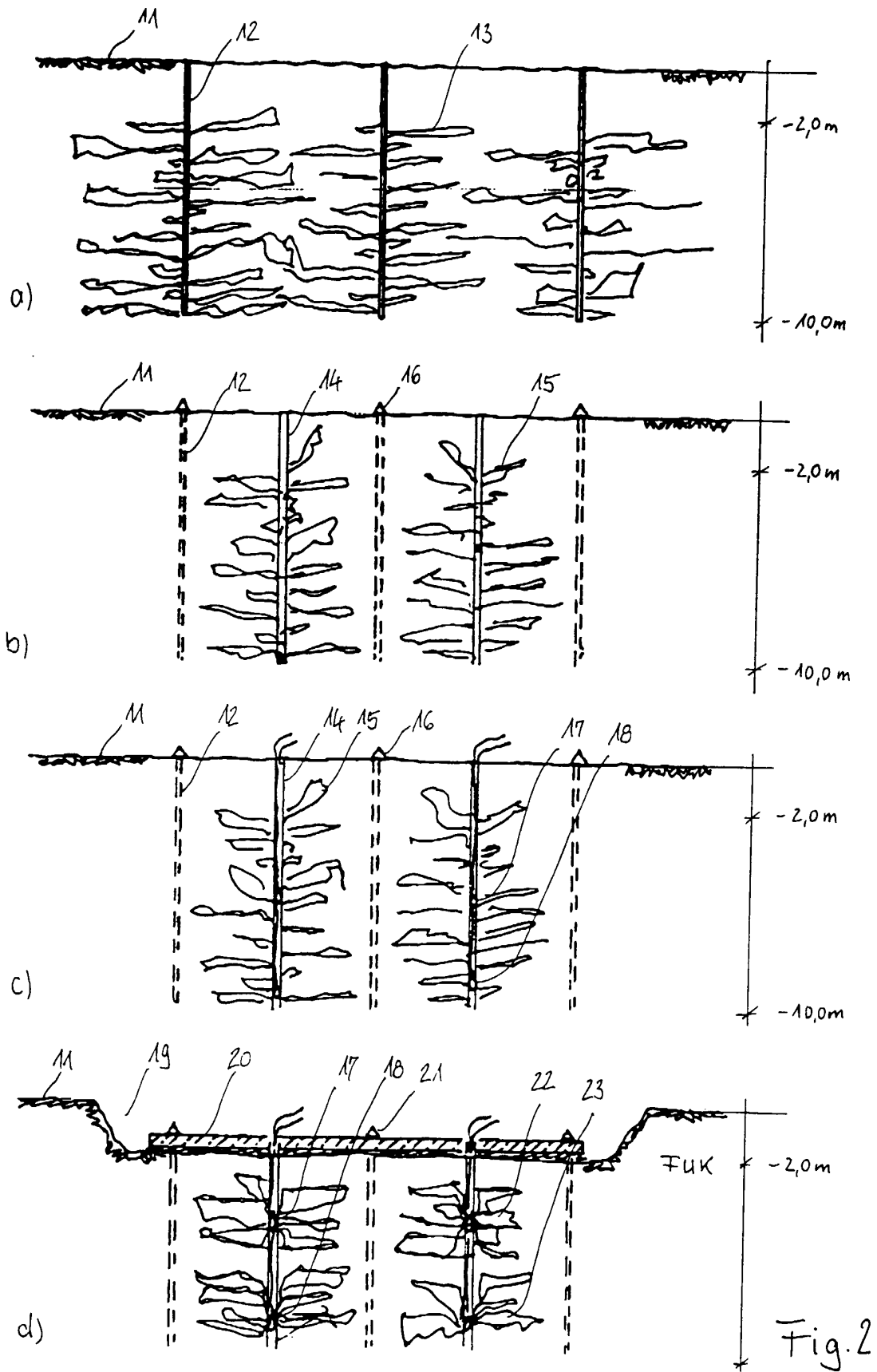


Fig. 1



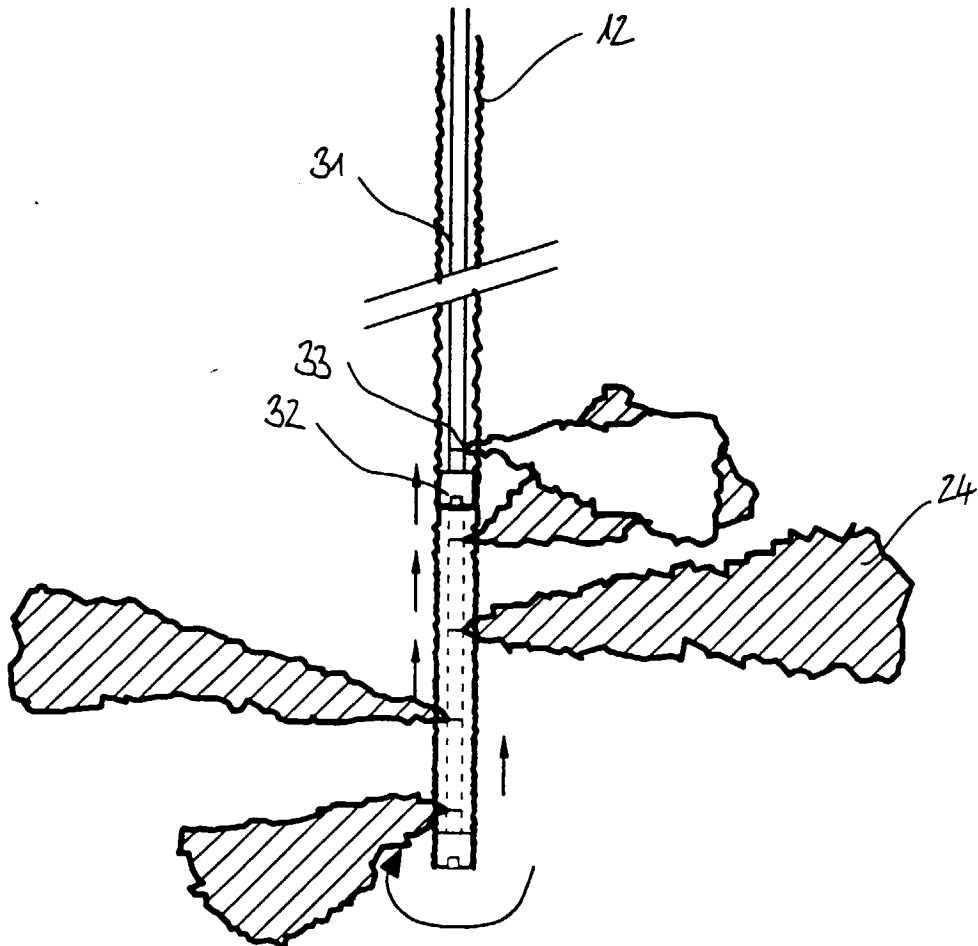


Fig. 3

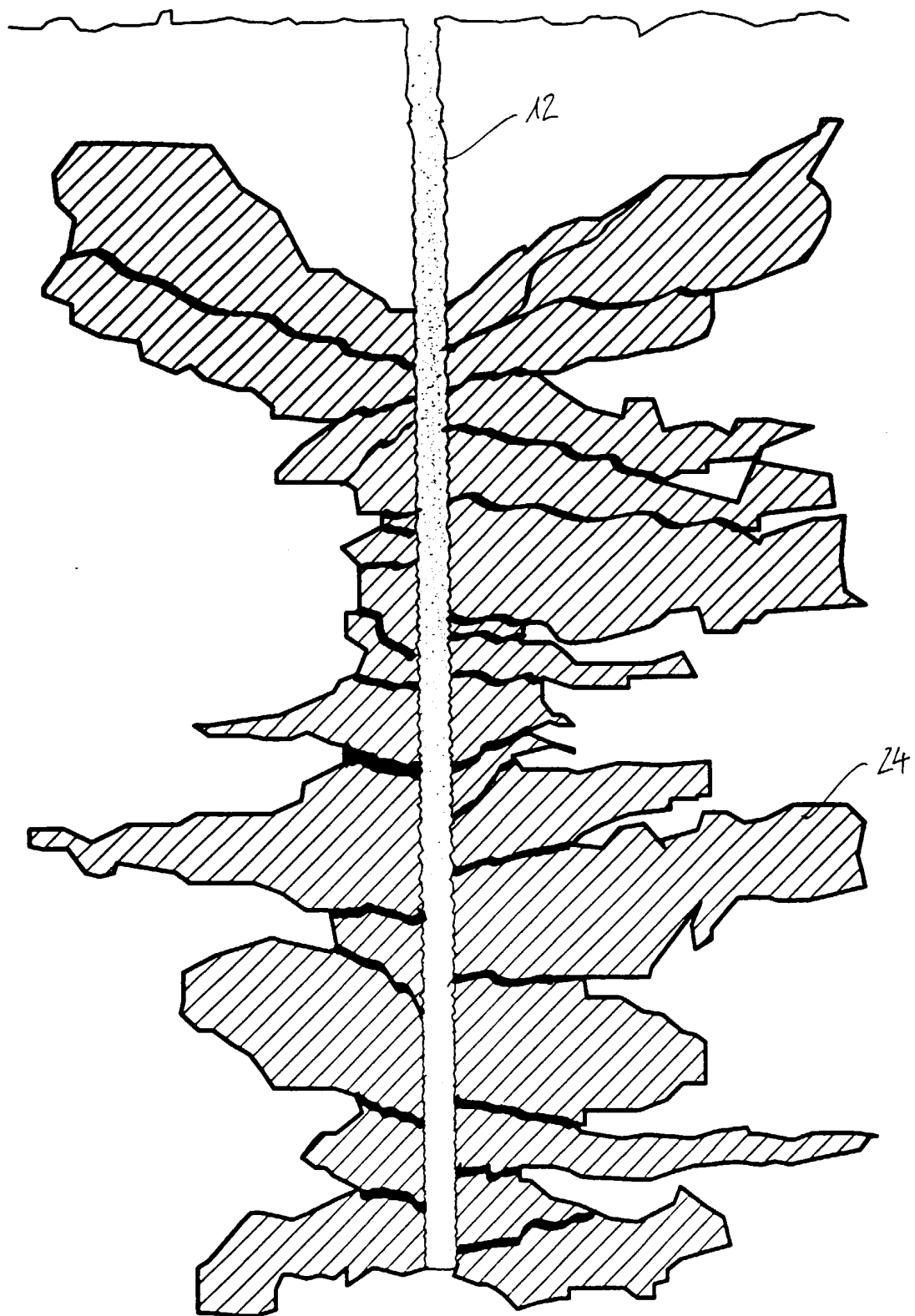


Fig. 4

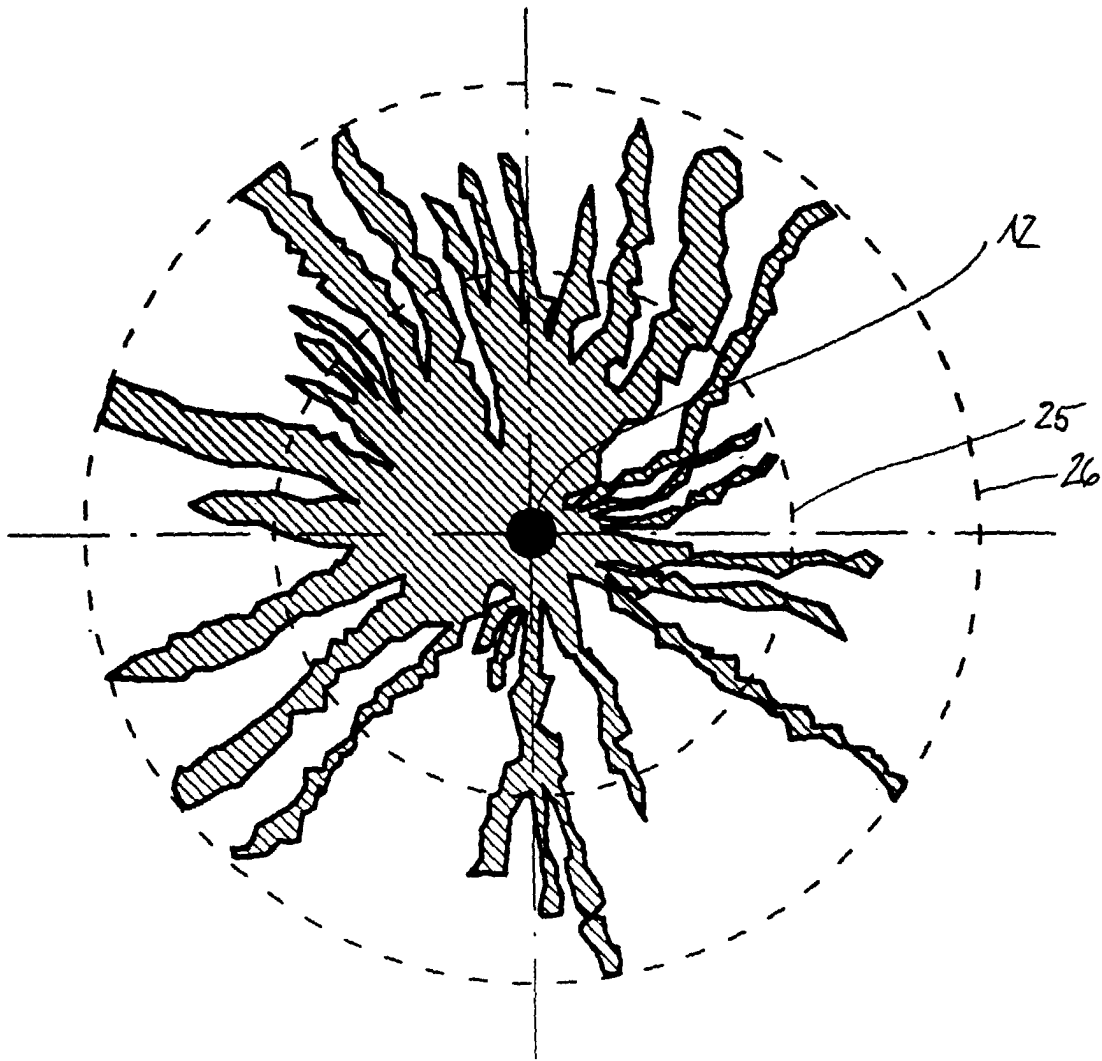
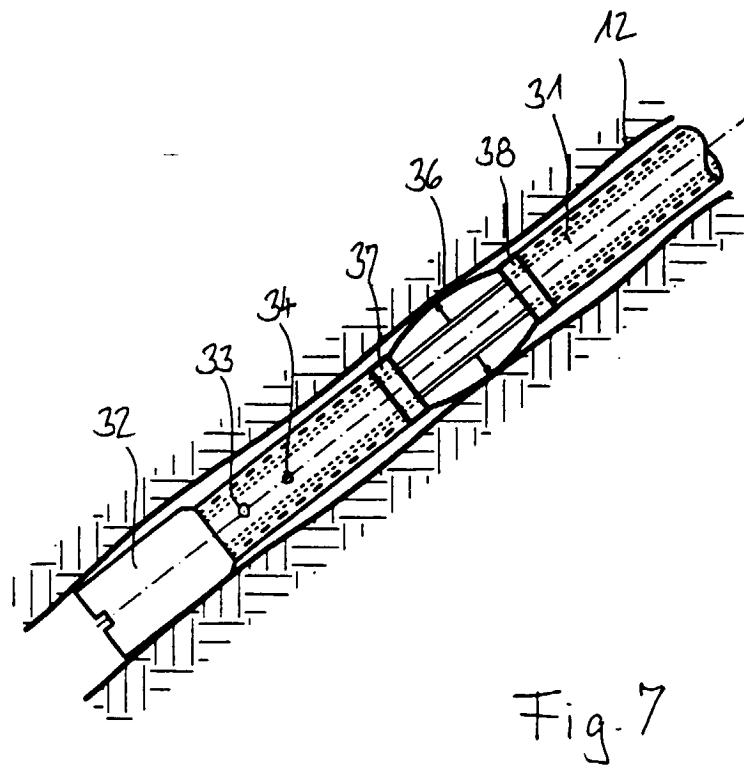
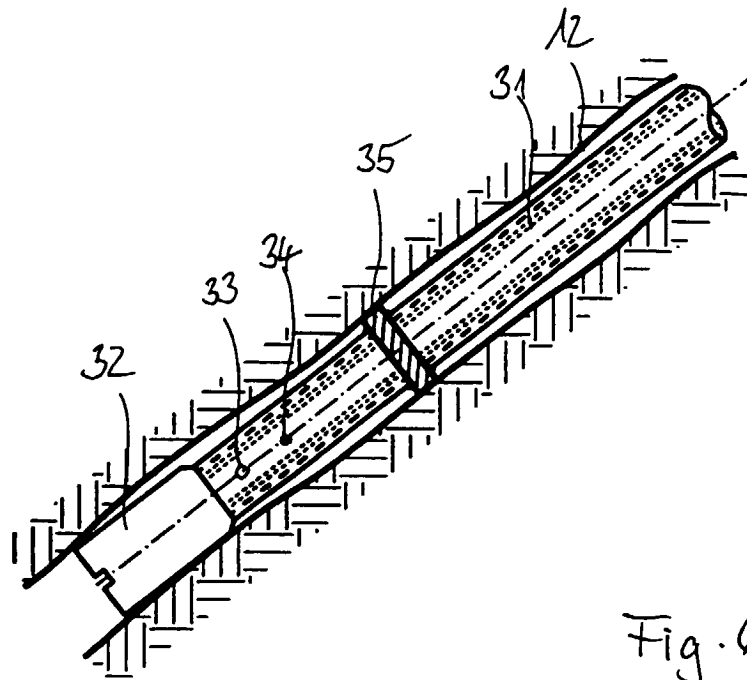


Fig. 5



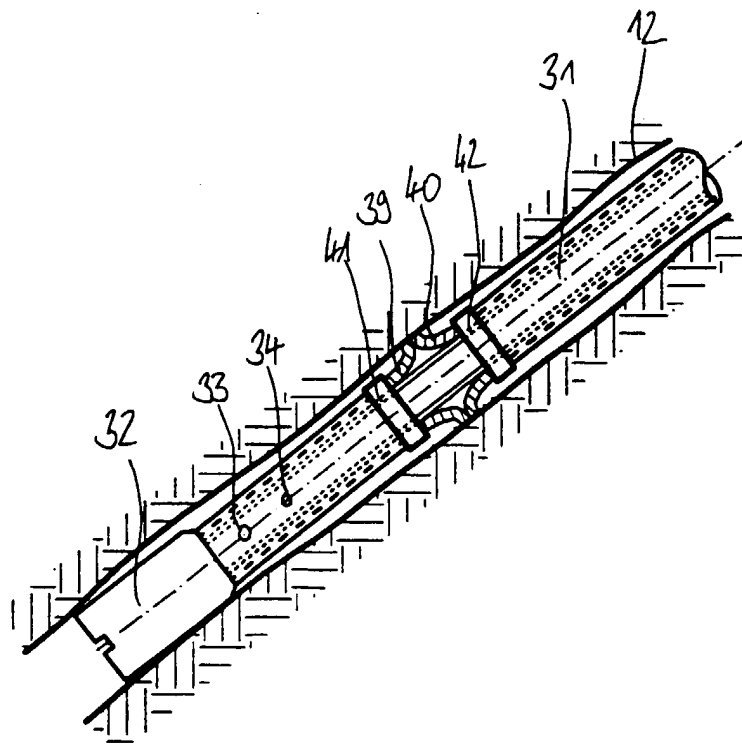


Fig. 8

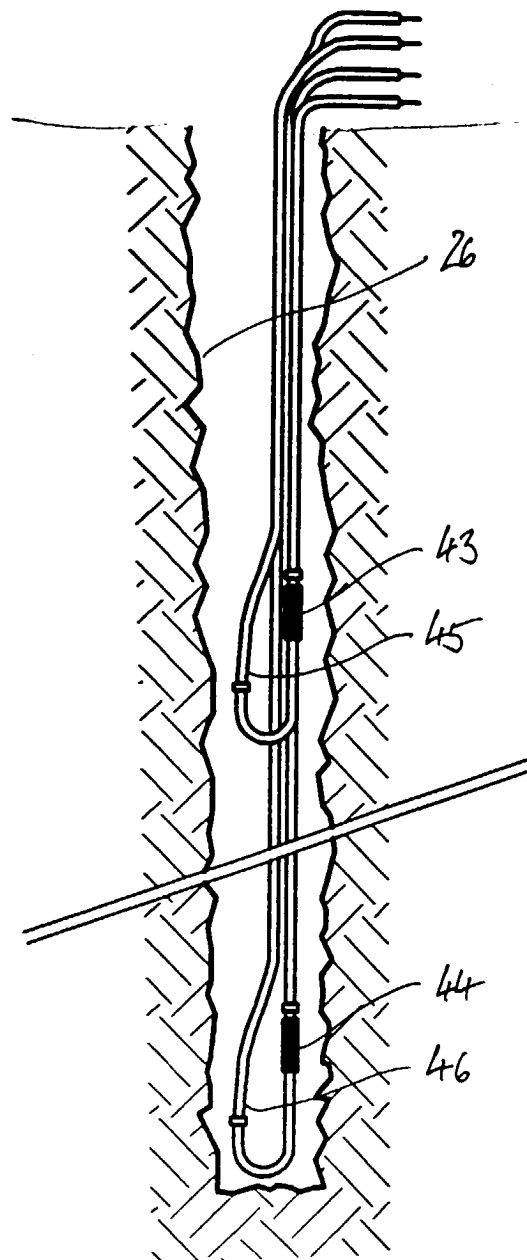


Fig. 9

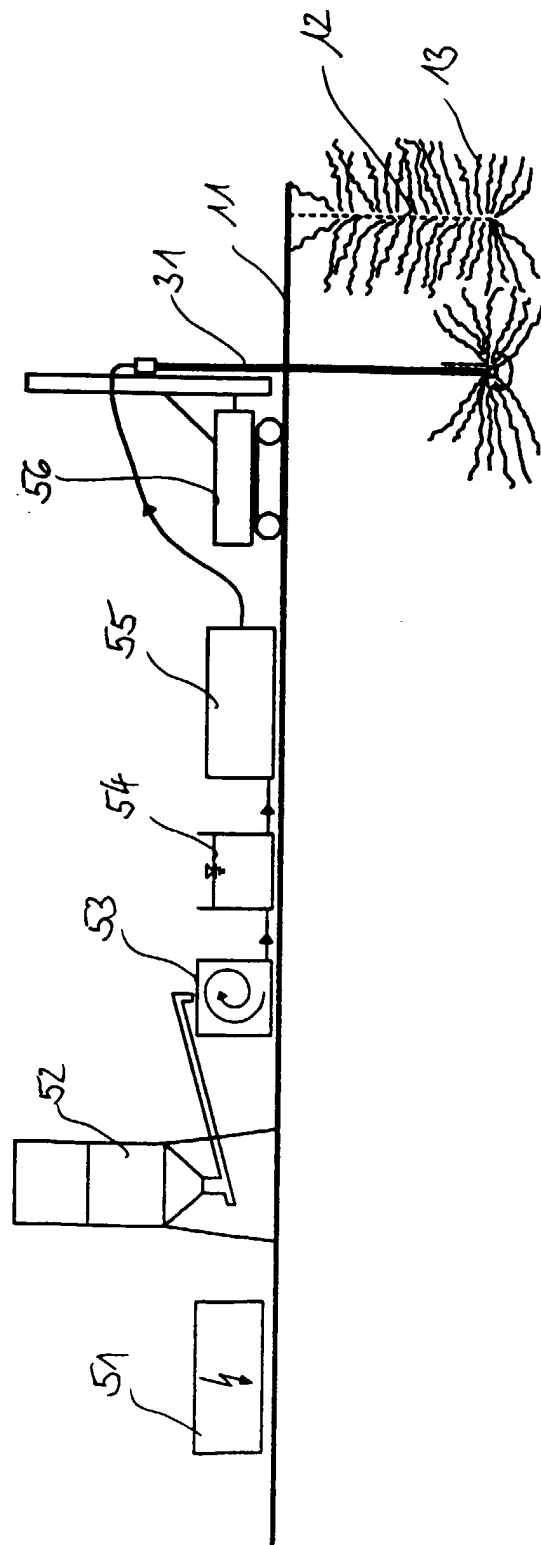


Fig. 10