

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 760 419 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.03.1997 Patentblatt 1997/10

(51) Int. Cl.⁶: **E21B 47/022**

(21) Anmeldenummer: **96112725.5**

(22) Anmeldetag: **07.08.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE ES FR IT LI LU

(30) Priorität: **04.09.1995 DE 19532605**

(71) Anmelder: **FLOWTEX TECHNOLOGIE-IMPORT
VON
KABELVERLEGEMASCHINEN GmbH
D-76275 Ettlingen (DE)**

(72) Erfinder: **Bayer, Hans-Joachim, Dr.
76275 Ettlingen (DE)**

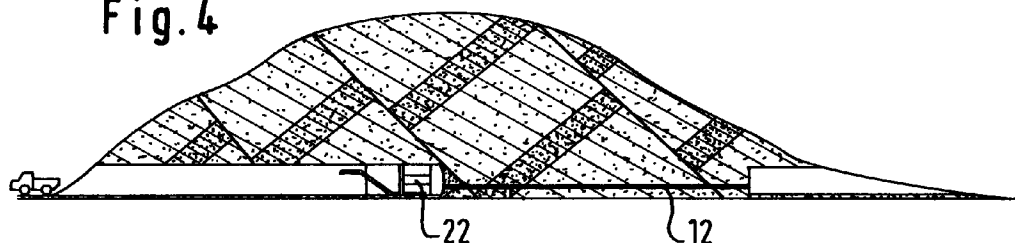
(74) Vertreter: **Füchsle, Klaus, Dipl.-Ing. et al
Hoffmann, Eitle & Partner,
Patentanwälte,
Arabellastrasse 4
81925 München (DE)**

(54) Verfahren zum Erkunden von geplanten Tunnelstrecken

(57) Bei einem Verfahren zum Erkunden einer geplanten Tunnelstrecke wird zunächst die Geologie entlang der geplanten Tunnelstrecke zur Vorbereitung einer Pilotbohrung (12) vorerkundet. Anschließend wird die durchgehende Pilotbohrung (12) mit einem im Bohrverlauf lenkbaren Bohrkopf entlang der geplanten Tun-

nelstrecke erstreckt. Zur Erkundung der geplanten Tunnelstrecke werden aus der Pilotbohrung Proben entnommen, und es erfolgt eine geophysikalische Bohrerkerkundung.

Fig. 4



EP 0 760 419 A2

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkunden von geplanten Tunnelstrecken.

Bei Tunnelbauvorhaben muß normalerweise vor Auffahren der Tunnelstrecke ein ingenieurgeologisches Gutachten erstellt werden, das genaue Informationen über die geologische Beschaffenheit der zu durchbohrenden Formation enthält. Ein derartiges Tunnelgutachten sollte Informationen über die Lithologie, Tektonik sowie über die vorherrschenden Grundwasserverhältnisse aufweisen, damit bei Auffahren der Tunnelstrecke keine unvorhergesehenen Komplikationen auftreten. Solche Komplikationen haben in der Vergangenheit Tunnelbauvorhaben um bis zu 50 % verteuert.

Bislang wurden zur Erkundung einer geplanten Tunnelstrecke von der Oberfläche der Formation aus geologische Tiefensondierungen durchgeführt, wobei eine Vielzahl von vertikalen Probebohrungen erforderlich sind, die teilweise auch eine beachtliche Tiefe aufweisen müssen. Hierdurch sind die bekannten Verfahren zum Erkunden einer geplanten Tunnelstrecke aufwendig und teuer, in ihrem Erfassungsgrad der eigentlichen Tunnelstrecke jedoch sehr unzureichend (max. 5-10 % der künftigen Tunnelstrecke erfahren eine direkte Erfassung).

Es ist das der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problem, ein Verfahren zum Erkunden einer geplanten Tunnelstrecke zu schaffen, das eine Erkundung entlang der gesamten Tunnelstrecke erlaubt und gleichzeitig effizient ist.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei unter einer im wesentlichen horizontal verlaufenden Tunnelstrecke jede Tunnelstrecke verstanden wird, die überwiegend unter einem Winkel von $< 45^\circ$ zur Horizontalen verläuft.

Erfindungsgemäß wird zunächst die Geologie entlang der geplanten Tunnelstrecke vorerkundet, um eine Pilotbohrung vorzubereiten. Nachdem durch diese Vorerkundung erste Informationen über die vorhandene Geologie erhalten sind, wird in einem zweiten Schritt mit einem im Bohrverlauf lenkbaren Bohrkopf entlang der geplanten Tunnelstrecke eine durchgehende Pilotbohrung erstellt. Schließlich werden aus der Pilotbohrung Proben entnommen, und es wird eine petrographische, tektonische und z.B. geophysikalische Bohrlöcherkundung durchgeführt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ergeben sich erhebliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen Erkundungsverfahren. Da erfindungsgemäß erstmals eine durchgehende, im wesentlichen horizontal verlaufende Pilotbohrung erstellt wird, kann mit Hilfe dieser Pilotbohrung die gesamte Tunnelstrecke auf ihrer ganzen Länge erkundet werden. Gleichzeitig ist eine gezielte und selektive Probennahme entlang der gesamten Tunnelstrecke möglich, wodurch auch schwierige Gebirgsbereiche erkannt werden können. Da keine langen Vertikalbohrungen erforderlich sind und da ein sehr schneller Bohrvortrieb ohne Umsetzen

der Geräte möglich ist, ist das erfindungsgemäße Verfahren sehr schnell und kostengünstig und damit effizient. Schließlich können durch das erfindungsgemäße Verfahren die Erkundungsdaten genau an der Stelle gewonnen werden, an denen später der Tunnel gebohrt werden soll, d.h. es erfolgt eine 100%ige Erkundung der künftigen Tunnelstrecke.

Ein im Bohrverlauf lenkbarer Bohrkopf zum Erstellen von durchgehenden, im wesentlichen horizontalen Bohrungen ist zwar bereits bekannt (vgl. DE 40 16 965 A1). Jedoch wurde bislang noch nicht vorgeschlagen, derartige Bohrköpfe zum Erkunden einer geplanten Tunnelstrecke heranzuziehen. Weiterhin war es bislang nicht möglich, gekrümmte Tunnelstrecken bohrtechnisch zu erschließen, was mit lenkbaren Bohrköpfen nun technisch möglich ist.

Für Tunnelvortriebe sind Verformungsmessungen des Gebirges im Vorfeld des eigentlichen Tunnelanbruchs sehr wesentlich. Üblicherweise geschieht dies bisher durch die Anlage von Erkundungstollen, die sehr teuer sind, in die Spannungsmeßgeräte eingebaut werden. Erst nach einer Meß- und Beobachtungszeit wird ein Tunnelausbruch begonnen. Die Messung aus einem Pilotbohrloch spart hier beachtliche Kosten ein. Bei langen Tunnelauffahrungen sind nach der Tunnelherstellung noch Verformungsmessungen während des Betriebes in extra angelegten Seitenstollen erforderlich. Diese können künftig entfallen, da aus dem Pilotbohrloch auch seitliche, sackgassenförmige Abzweigungen zur Installation von Meßstollen möglich sind, so daß Verformungsmessungen hier auch vor, während und nach der Tunnelauffahrung möglich sind.

Sollte die Pilotbohrung später nicht die Mittelachse des künftigen Tunnels darstellen, sondern z.B. eine seitliche Versorgungsstrecke oder eine mittig angeordnete Versorgungsstrecke bei Doppeltunneln, oder außerhalb des Profils der Sohlentwässerung oder Firstbelüftung dienen, so ist dies bohrtechnisch auch darstellbar. Auch für nachträgliche Versorgungsstrecken zu bestehenden oder erweiterungsbedürftigen Tunnelstrecken sind Pilotbohrungen durchführbar. Gleiches gilt für Fluchtweg- oder Bewetterungstunnel, die zusätzlich oder nachträglich installiert werden müssen.

Ebenso sind spannungsmeßtechnische und hydrogeologische Untersuchungen möglich, die für den Vortrieb und späteren Ausbau des Tunnels entscheidende Daten liefern. So kann der in der Pilotbohrung feststellbare Wasserandrang die Dimensionierung und die Einläufe des Tunnelentwässerungssystems definieren, während die spannungsmeßtechnischen Daten den Ausbruchsquerschnitt im Hinblick auf den verstellbaren festlegbaren Wandstärkenbedarf des Tunnels definieren. Auch während des Vortriebes sind Spannungsmessungen im jeweils verbleibenden Teil des Pilotbohrloches möglich. Dies kann in entscheidender Weise Informationen über aufgehende Entlastungsklüfte liefern, welche für spontane Einbruchereignisse verantwortlich sind. Derartige Informationen aus dem Auffahrungsvorfeld waren bisher nicht erhältlich.

Zur Vorerkundung der Geologie können beispielsweise Bohrlochkameras, Akustik-Sonden z.B. (Digital Acoustic Borehole Televiwer), Bohrloch-Radarantennen, Widerstandsmeßsonden (resistivity imaging tool, microresistivity), Gamma-Sonden, Ultrasonic-Sonden, Pulsed neutron-Sonden etc. verwendet werden. Eine weitere Methode ist beispielsweise die sogenannte Widerstands-Tiefensondierung, die zur Bestimmung vertikaler Schichtenfolgen insbesondere bei horizontaler Lagerung von Schichten unterschiedlicher Mächtigkeiten und spezifischer Widerstände dient.

Bei der Widerstands-Tiefensondierung werden zwei Stromelektroden in die Erdoberfläche eingesetzt, durch die ein Gleichstrom einer Stromquelle fließt. Zwei weitere Potentialelektroden, die ebenfalls in die Erdoberfläche eingesetzt werden, sind mit einem Spannungsmeßgerät verbunden. Durch Messung der Spannung an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche läßt sich der spezifische elektrische Widerstand der geologischen Formation ermitteln, und hierdurch lassen sich Rückschlüsse auf den geologischen Aufbau der Formation erzielen. Durch manuelle Änderung der Elektrodenkonfigurationen kann der Meßaufbau jeweils der geologischen Aufgabe, der petrophysikalischen Situation und den geometrischen Verhältnissen angepaßt werden. Der Abstand der Meßprofile und der Meßpunkte bestimmt dabei das Auflösungsvermögen der Widerstands-Tiefensondierung.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Unteransprüche gekennzeichnet.

So kann die Pilotbohrung vorteilhafterweise im wesentlichen entlang der Mittellinie der geplanten Tunnelstrecke erstellt werden, auch wenn diese einen gekrümmten Verlauf haben sollte. Hierdurch wird die Erkundung genau in dem Bereich durchgeführt, der beim Auffahren der Tunnelstrecke entfernt werden muß. Gleichzeitig läßt sich die so erstellte Pilotbohrung in diesem Fall als Orientierungshilfe beim Auffahren der Tunnelstrecke einsetzen, ohne daß weitere (teure) Positionsmessungen vorgenommen werden müssen. Da heutzutage Pilotbohrungen mit einer hohen Genauigkeit erstellt werden können, können durch diese vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung erhebliche Kosten und auch Zeit eingespart werden, die anderenfalls zur Positionssteuerung der Tunnelbohrmaschinen erforderlich sind.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung können bereits beim Erstellen der Pilotbohrung Bohrfortschrittsparameter aufgezeichnet werden, die anschließend zur Bohrlocherkundung mitherangezogen werden können. Da sich bereits beim Bohren der Pilotbohrung aus derartigen Bohrfortschrittsparametern wertvolle Informationen auf die Beschaffenheit der zu durchbohrenden Formation erhalten lassen, können erfindungsgemäß diese Informationen zur Bohrlocherkundung verwendet werden. Beispielsweise kann durch Messen des Bohrandruckes, der Vortriebsgeschwindigkeit oder auch der Abrasion des Bohrkopfes auf die Festigkeit, den Gefügeverbund, die Klüftigkeit und

anderes der vorhandenen Fels- oder Erdformation rückgeschlossen werden.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann bei der erfindungsgemäß vorgesehenen Probenentnahme der Spülungsrückfluß der Pilotbohrung verwendet werden, um Proben zu entnehmen. Hierdurch entfallen aufwendige Probenentnahmen und durch In-Bezug-Setzen des Bohrfortschrittes mit den Proben aus dem Spülungsrückfluß der Pilotbohrung läßt sich die vorhandene Formation bereits vorteilhaft analysieren.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden bei der Probenentnahme seitliche Probebohrungen durchgeführt, die von der im wesentlichen vertikalen Pilotbohrung ausgehen. Dieses Verfahren, das auch unter dem Begriff "side wall coring" grundsätzlich bekannt ist, wurde bislang jedoch noch nicht in Zusammenhang mit einer horizontalen Pilotbohrung vorgeschlagen. Gleichzeitig ist hierdurch eine gezielte und selektive Probennahme entlang der gesamten Tunnelstrecke möglich.

Nach einer weiteren Ausbildung der vorliegenden Erfindung können bei der Bohrlocherkundung auf herkömmliche Weise geophysikalische Sonden durch das Bohrloch gezogen werden. Derartige Sonden können beispielsweise Bohrlochkameras, Akustik-Sonden z.B. (Digital Acoustic Borehole Televiwer), Bohrloch-Radarantennen, Widerstandsmeßsonden (resistivity imaging tool, microresistivity), Gamma-Sonden, Ultrasonic-Sonden, Pulsed neutron-Sonden etc. sein.

Derartige geophysikalische Sonden sind aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt. So beschreibt beispielsweise die EP 0 384 823 A1 eine geoelektrische Sonde in Form eines Meßblockes, der mit einer zentralen Elektrode versehen und in eine Testbohrung abgelassen wird. Zur Fokussierung der Testströme sind ein aktives und ein passives Fokussierungssystem vorgesehen. Allerdings wurde bislang nicht vorgeschlagen, derartige Sonden in Zusammenhang mit durchgehenden horizontalen Pilotbohrungen zu verwenden.

Nach einer weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird bei der Bohrlocherkundung ein Elektrodenmeßstrang mit mindestens sechs Elektroden in das Bohrloch der Pilotbohrung eingeführt. Hierbei sind die Elektroden an dem Meßstrang unter gleichen gegenseitigen Abständen angeordnet und der Meßstrang weist mehrere elektrische Anschlußleitungen auf, die von mindestens einem Ende des Meßstranges zu den Elektroden führen. Ferner wird bei dieser vorteilhaften Ausführungsform ein Strom durch zwei Elektroden des Meßstranges geleitet, und es wird zwischen zwei anderen Elektroden des Meßstranges gemessen. Schließlich werden die Elektroden innerhalb des Bohrloches versetzt, und es werden erneut zwei Elektroden von Strom durchflossen und die Spannung zwischen zwei weiteren Elektroden wird gemessen.

Durch einen derartigen Meßstrang lassen sich unterschiedliche Elektroden, die an dem Meßstrang angeordnet sind, von dem Ende des Meßstranges aus

ansteuern, so daß dieser nicht verschoben oder ausgetauscht werden muß. Das Erzielen unterschiedlicher Eindringtiefen kann auf einfachste Weise dadurch erfolgen, daß unterschiedlich weit auseinanderliegende Elektroden für die Messung herangezogen werden. Gleichzeitig lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Meßstrang die unterschiedlichsten Elektrodenanordnungen verwirklichen, ohne daß die Elektroden selbst versetzt werden müßten.

Weiterhin kann das Bohrloch für Temperaturmeßkabel, für Feuchtesensorkabel, für Spannungsmeßeinrichtungen und andere Instrumente zur gebirgsmechanischen und hydrogeologischen Überwachung genutzt werden.

Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Auffahren eines Tunnels vorgesehen, bei dem zunächst ein Erkunden der geplanten Tunnelstrecke nach einem der oben beschriebenen Verfahren erfolgt. Anschließend wird die Tunnelstrecke aufgefahren, wobei eine Orientierung des Vortriebs an der Pilotbohrung erfolgt. Wie eingangs bereits erwähnt wurde, können heutzutage mit Hilfe von im Bohrverlauf lenkbaren Bohrköpfen hochgenaue Bohrungen durchgeführt werden, so daß der eigentliche Tunnelverlauf bereits durch die Pilotbohrung bestimmt werden kann. Sofern sich beim Auffahren der Tunnelstrecke die Bohrmaschinerie an der Pilotbohrung orientiert, d.h. dem Verlauf der Pilotbohrung folgt, müssen keine weiteren Positionsmessungen oder -korrekturen vorgenommen werden, damit der Tunnel den gewünschten Verlauf enthält.

Die Pilotbohrung kann auch zur Gestängeführung für Aufweitbohrungen, z.B. nach dem Raise-Bohrverfahren, genutzt werden. Bei entsprechend großer bzw. mehrfacher Aufweitbohrung läßt sich auf diese Weise der Soll-Tunnelquerschnitt erstellen.

Nach einer weiteren Ausbildung dieses Verfahrens kann beim Auffahren der Tunnelstrecke die Pilotbohrung gleichzeitig zur Vorfeldd entwässerung herangezogen werden. Hierzu kann es vorteilhaft sein, die Pilotbohrung als freie Drainage zu nutzen oder sie bei Lockergestein zu einer Drainageleitung auszubauen.

Beim Auffahren des Tunnels kann nach einer weiteren Ausbildung die Pilotbohrung zu einem Einbruchsbohrloch für bergtechnische Auffahrungen erweitert werden. Auch kann die Pilotbohrung während des Tunnelbaus zur Verlegung von Kommunikationsleitungen und Versorgungsleitungen verwendet werden.

Vorfeldd entwässerungen werden oft auch zu einer hydraulischen Entspannung des Gebirges benötigt, auch um Wassereinbrüche während der Tunnelauffahrung zu vermeiden. Solche Wassereinbrüche können den gesamten Vortrieb beeinträchtigen und zum Teil zum Stillstand bringen. Aufwendige Umplanungen, Zusatzmaßnahmen und Zeitverzögerungen sind die Folge.

Mittels der Pilotbohrung können jedoch Entwässerungen in Gegenrichtung zum Vortrieb vorgenommen werden. Ein entsprechend dem Vortrieb versetzbarer

Packer wird als künstliche Wasserscheide im Bohrloch installiert, bei gegenläufigem Gefälle kann mittels Tauchpumpe für die Abförderung des Wasserandranges gesorgt werden.

Bei sehr starkem Wasseranfall kann die Pilotbohrung aufgeweitet werden, um querschnittseitig die anfallenden Wassermengen aufnehmen zu können.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung rein beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer bergartigen geologischen Formation, in die eine horizontale Pilotbohrung eingebracht wird;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Formation von Fig. 1, wobei aus der Pilotbohrung Gesteinsproben entnommen werden;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Formation von Fig. 1, wobei in die Pilotbohrung ein Meßstrang eingeführt ist;

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Formation von Fig. 1, wobei eine begonnene Tunnelauffahrung dargestellt ist; und

Fig. 5 einen Vertikalschnitt durch das Erdreich im Bereich einer geplanten Tunnelstrecke mit einer zusätzlichen Erkundungsbohrung im verformungshaften Gebirge.

Fig. 1 zeigt eine bergartige geologische Formation, wobei Bereiche mit unterschiedlichem geologischen Aufbau unterschiedlich stark schraffiert dargestellt sind.

Um die in Fig. 1 dargestellte Pilotbohrung entlang einer geplanten Tunnelstrecke einbringen zu können, wird gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren zunächst die Geologie entlang der geplanten Tunnelstrecke vorerkundet. Dieses Vorerkunden kann auf herkömmliche Weise durch geoelektrische Tiefensondierung von der Oberfläche aus erfolgen, wie dies eingangs beschrieben wurde. Nachdem durch diese Vorerkundung Informationen über die grundsätzliche Beschaffenheit der Formation erhalten wurden, wird eine durchgehende Pilotbohrung 12 erstellt. Hierzu wird eine Bohrapparat 14 eingesetzt, die mit Hilfe eines im gesamten Bohrverlauf lenkbaren Bohrkopfes eine Pilotbohrung entlang der geplanten Tunnelstrecke erstellt. Durch die Informationen, die im Rahmen der Vorerkundung erhalten wurden, läßt sich das zum Erstellen der Pilotbohrung geeignete Bohrgerät entsprechend wählen.

Nach dem Vorerkunden und dem Erstellen der durchgehenden Pilotbohrung 12 werden aus der Pilotbohrung Proben entnommen, um die geplante Tunnelstrecke weiterzuerkunden. Dies kann durch Probenentnahme aus dem Spülungsrückfluß der Pilotbohrung erfolgen. Es können jedoch auch ausgehend

von der Pilotbohrung 12 an verschiedenen Stellen derselben seitliche Probebohrungen 16 durchgeführt werden (vgl. Fig. 2), wobei das Ergebnis dieser Probebohrungen an das Ende der Pilotbohrungen gefördert wird.

Zur weiteren geophysikalischen Bohrlocherkundung können z.B. geoelektrische Sonden durch das Bohrloch gezogen werden. Es kann jedoch auch ein eingangs beschriebener Elektrodenmeßstrang 18 in das Bohrloch der Pilotbohrung eingeführt werden, der in Fig. 3 dargestellt ist. Der Meßstrang 18 weist eine Vielzahl von Elektroden 20 auf, die an diesem unter gleichen gegenseitigen Abständen angeordnet sind, wobei elektrische Anschlußleitungen von einem Ende des Meßstranges zu jeder einzelnen Elektrode geführt sind. Ein solcher Meßstrang 18 kann nach Erstellen des Bohrloches 12 durch Ankoppeln an das Bohrgestänge ohne weiteres durch das Bohrloch 12 gezogen werden.

Zur Durchführung der geoelektrischen Bohrlocherkundung werden zwei Elektroden des Meßstranges als Stromelektroden (A_i , B_i) beschaltet und zwei weitere Elektroden werden als Potentialelektroden (M_i , N_i) beschaltet. Durch Messen der entstehenden Potentialdifferenz lassen sich die geoelektrischen Daten erzielen. Insbesondere ist es durch Verwendung des Meßstranges möglich, die jeweils passende Elektrodenanordnung zu wählen, indem lediglich jeweils andere Elektroden zugeschaltet werden bzw. indem zwischen den Elektroden umgeschaltet wird. Hierbei können bekannte Anordnungen verwendet werden, wie z.B. die Wenner-Anordnung (A_i , M_i , N_i , B_i), die Dipol-Anordnung (A_i , B_i , M_i , N_i) oder die Carpenter-Anordnung (A_i , M_i , B_i , N_i). Für die Untersuchung in Gebieten mit homogener Schichtbildung und unterschiedlicher Neigung wird vorrangig die Wenner-Anordnung eingesetzt. Für die Kartierung von steilstehenden Inhomogenitäten, wie Verwerfungen und anderem, ist es jedoch günstiger, Messungen mit der Dipol-Anordnung durchzuführen. Der Abstand zwischen den einzelnen Elektroden bestimmt die Eindringtiefe, kann jedoch durch Zuhilfenahme des Meßstranges nahezu frei gewählt werden.

Für eine noch genauere Erkundung der Tunnelstrecke kann eine sogenannte geoelektrische Tomographie durchgeführt werden. Hierzu wird, wie in Fig. 3 gezeigt, ein Meßstrang 18 in das horizontale Bohrloch 12 der Pilotbohrung eingebracht, wobei an dem Meßstrang eine Vielzahl von Elektroden in gleichmäßigen Abständen angeordnet ist. Die Anschlußleitungen der einzelnen Elektroden des Meßstranges sind zu einem Ende des Meßstranges geführt. Die Elektroden 20 (M_1 , N_1 , M_2 , N_2 bzw. M_n , N_n) werden so gewählt, daß der zu untersuchende Gesteinskomplex komplett "durchstrahlt", d.h. durchströmt, werden kann. Um eine "Schattenbildung" eines niederohmigen Störkörpers erfassen zu können, wird eine Stromelektrode (nicht dargestellt) an einer Stelle der Erdoberfläche fixiert und eine weitere Stromelektrode (nicht dargestellt) wird in weiter Entfernung von der Meßstelle im Erdboden ange-

bracht. Zur Messung werden zunächst die Potentialelektroden entlang der Strecke des Bohrloches bewegt, was durch mechanische Bewegung des Meßstranges erfolgen kann. Einfacher ist jedoch die Verwendung von unterschiedlichen Elektroden des Meßstranges. Wenn sich eine "Schattenbildung" abzeichnet, so muß zur Abgrenzung der Umrisse des Störkörpers die Messung von mehreren Stromelektrodenpositionen aus wiederholt werden. Im Anschluß kann die Stromelektrode an eine andere Stelle versetzt werden oder, wenn für die Stromelektroden ebenfalls ein Meßstrang eingesetzt wird, wird die danebenliegende Stromelektrode aktiviert und die Messung wird wiederholt.

Es können auch Stromelektroden und Spannungselektroden vertauscht sein, d.h. die Elektroden innerhalb des Bohrloches werden als Stromelektroden eingesetzt, wohingegen die an der Erdoberfläche befindlichen Elektroden als Potentialelektroden herangezogen werden.

Die oben beschriebene geoelektrische Tomographie eignet sich hervorragend zur Lokalisierung von Auflockerungszonen und tektonischen Störungen, zur Ortung von Wasserwegigkeiten und Wassereinschlüssen, und es kann zwischen parallel verlaufenden Bohrlochern eine Inventur von vorhandenen Strecken auf nieder- oder hochohmige Bereiche untersucht werden.

Der in Fig. 3 nur schematisch dargestellte Meßstrang 18 weist eine Vielzahl von ringförmigen Elektroden 20 auf, die an dem Meßstrang unter einem jeweils gleichen Abstand von 100 cm angeordnet sind. Die ringförmigen Elektroden 20 sind in einen Kunststoffschlauch so eingearbeitet, daß der ringförmige Außenumfang der metallenen Elektroden 20 frei bleibt. Die Anschlußleitungen für die jeweiligen Elektroden 20 verlaufen innerhalb des Kunststoffschlauches und sind abgeschirmt. Insgesamt ist der Meßstrang flexibel und läßt sich problemlos auf eine Kabeltrommel aufwickeln.

Innerhalb des Meßstranges 18 verlaufen zwei Spannungsleitungen, die einen Spannungsbus bilden, zwei Stromleitungen, die einen Strombus bilden, sowie eine zweipolige Signalleitung. Ferner ist zur Spannungsversorgung eine Leitung vorgesehen.

Der Meßstrang weist in seinem Inneren eine Schalteinrichtung auf, die einen Umschalter enthält, der die Elektrode 20 wahlweise mit den Anschlußleitungen des Strombusses und des Spannungsbus verbindet. Hierdurch ist innerhalb des Meßstranges ein zweiadriger Strombus und ein zweiadriger Spannungsbus vorgesehen. Durch die beiden Signalleitungen lassen sich die jeweiligen Elektroden auf die einzelnen Busleitungen schalten, so daß eine beliebige Anzahl von Elektroden mit nur wenigen Anschlußleitungen angesteuert werden kann.

Bei Aktivierung der Schalteinrichtung über eine am Ende des Meßstranges 18 angeordnete Anschlußvorrichtung (nicht dargestellt), kann die Elektrode 20 auf jede Anschlußleitung geschaltet werden. Die Schalteinrichtung ist an die Versorgungsspannung angeschlossen und wird über die Signalleitung aktiviert. Das

Ansprechen der Schalteinrichtung erfolgt über eine digitale Adresse, wobei über einen vorgesehenen Digitalcode eingestellt werden kann, auf welchen Bus die zugeordnete Elektrode 20 geschaltet werden soll. Selbstverständlich ist jeder Elektrode 20 eine Schalteinrichtung zugeordnet. Die Schalteinrichtung besteht aus einem kleinen elektronischen Schaltkreis und ist innerhalb des Meßstranges aufgenommen.

Sofern jede erste Elektrode mit einer der beiden Stromleitungen und einer der beiden Spannungsleitungen verbindbar ist und jede zweite Elektrode mit der anderen der beiden Stromleitungen und der anderen der beiden Spannungsleitungen verbindbar ist, kann der schaltungstechnische Aufwand reduziert werden. Die obengenannte Schalteinrichtung kann vorzugsweise über die Signalleitung aktivierbar und digital ansteuerbar sein. Bei einer erfolgten Ansteuerung schaltet die Schalteinrichtung die zugeordnete Elektrode auf die gewünschte Ader des Strombusses oder des Spannungsbusses. Eine Abschirmung der Anschlußleitung ist insofern vorteilhaft, als die geoelektrischen Messungen dann nicht gestört werden.

Auch kann der Körper des Meßstranges durch die Anschlußleitungen gebildet sein, die von den Elektroden ringförmig umgeben sind. Eine solche Ausführungsform ist sehr kostengünstig und einfach herzustellen, da lediglich die ringförmigen Elektroden in regelmäßigen Abständen an den Anschlußleitungen befestigt werden müssen, die durch die Elektroden hindurchgeführt werden. Des weiteren können die Elektroden des Meßstranges ringförmig und in einen Kunststoffschlauch eingearbeitet sein, in dessen Inneren die Anschlußleitungen verlaufen. Eine solche Ausführungsform ist sehr robust und wenig störungsanfällig, da die Anschlußleitungen im Inneren des Kunststoffschlauches geschützt sind.

Der erfindungsgemäße verwendete Meßstrang kann eine Länge > 100 m, vorzugsweise > 400 m aufweisen und kann durchaus auch die Länge von Kilometern annehmen, abhängig von der Länge des zu erstellenden Tunnels. Ein derartig langer Meßstrang in der Größenordnung von 100 m oder mehr ermöglicht die geoelektrische Erfassung eines sehr großräumigen Gebietes, ohne daß jedoch Elektroden versetzt werden müßten.

Zur erhöhten Sicherheit kann die Schalteinrichtung an jeder Elektrode auch doppelt vorgesehen sein. Da die Kosten einer derartigen Schalteinrichtung gering sind, ist eine solche Ausführungsform besonders vorteilhaft, da bei Ausfall einer Schalteinrichtung der Meßstrang nicht funktionslos ist, sondern die jeweilige Elektrode durch die zweite vorgesehene Schalteinrichtung, die eine andere Adresse aufweist, angesprochen werden kann.

Ein nicht dargestelltes Meßsystem weist eine Stromquelle sowie ein Spannungsmeßgerät auf, die in einem Computer integriert sind. Eine Anschlußvorrichtung ist an einem Ende des Meßstranges mit dessen Anschlußleitungen verbunden, so daß die Stromquelle

und das Spannungsmeßgerät mit mindestens vier beliebigen Elektroden des Meßstranges verschaltbar sind. Der Zugriff auf die jeweiligen gewünschten Elektroden kann programmgesteuert erfolgen, wobei beliebige Meßprogramme, d.h. Elektrodenabstände gewählt werden können. Das Meßsystem und dessen Anschlußvorrichtung kann vorzugsweise von einem Computer ansteuerbar sein. Hierdurch erhält man ein vollautomatisches Bohrlocherkundungssystem mit noch nicht dagewesenen Möglichkeiten, das innerhalb kürzester Zeit eine detaillierte Erfassung der geologischen Formation erlaubt, durch die der Tunnel gebohrt werden soll, und das gleichzeitig sehr kostengünstig arbeitet. Die Kosten eines derartigen Systemes liegen bei ca. einem Drittel der Kosten von vergleichbaren seismischen Systemen.

Zur Durchführung der geoelektrischen Tomographie kann die Anschlußvorrichtung mit den Anschlußleitungen eines zweiten Meßstranges verbunden werden, der an der Erdoberfläche liegt, wobei die Elektroden mit Hilfe der vorgesehenen Adapter in das Erdreich eingesteckt sind. Durch eine derartige Anordnung läßt sich die gesamte bergartige Formation komplett durchmessen, wobei aufgrund der großen Variationsmöglichkeiten geologische Profile mit einer bislang noch nicht dagewesenen Informationsdichte aufgenommen werden können. Hierbei können beliebige Schnitte durch die bergartige Formation vorgenommen werden.

Ein Einsatz des Meßstranges in einem horizontalen Bohrloch erhöht im Gegensatz zu den klassischen Bohrlochsonden die Investigationstiefe erheblich. Diese kann in Abhängigkeit von der Bohrlochlänge und der Länge des Elektrodenmeßstranges ca. 10 m betragen, was die bisherigen Eindringtiefen bei weitem übersteigt. Gleichzeitig kann der Elektrodenmeßstrang auch für die oben beschriebene geoelektrische Tomographie als Sender und auch als Empfänger eingesetzt werden. Hierdurch ist der komplette Gebirgskörper mit einer noch nicht dagewesenen Auflösung und Informationsdichte zu erfassen.

Durch dieses neuartige Meßverfahren ist es unter Zuhilfenahme des oben beschriebenen Meßstranges erstmals möglich, detaillierte Informationen über eine geologische Formation im unmittelbaren Bereich einer geplanten Tunnelstrecke zu erhalten, wobei die Eindringtiefe durch Verwendung unterschiedlicher Elektroden des Meßstranges frei gewählt werden kann. Es müssen also nicht - wie dies bislang im Stand der Technik der Fall war - jeweils unterschiedliche Sonden in vertikale Probebohrungen mit großer Tiefe eingesetzt werden.

Eine besonders vorteilhafte Variante des oben beschriebenen Verfahrens wird dadurch erzielt, daß das Versetzen der Elektroden innerhalb des Bohrloches dadurch erfolgt, daß andere Elektroden des gleichen Meßstranges verwendet werden. Hierdurch läßt sich der geologische Aufbau entlang des gesamten Bohrloches erfassen, ohne daß der Meßstrang mechanisch versetzt oder bewegt werden müßte. Gleichzeitig läßt

sich die Eindringtiefe, die von dem Relativabstand der Elektroden abhängig ist, durch Wahl der entsprechenden Elektroden frei einstellen. Hierdurch läßt sich erstmals eine geologische Formation größeren Ausmaßes "durchleuchten", ohne daß eine Vielzahl von vertikalen Testbohrungen angebracht werden müßte. Gleichzeitig ist es nicht erforderlich, den Elektrodenmeßstrang innerhalb des Bohrloches mehrfach mechanisch zu versetzen.

Alternativ werden einerseits Elektroden in das im wesentlichen horizontale Bohrloch der Pilotbohrung eingeführt und zusätzlich weitere Elektroden an der Erdoberfläche angesetzt werden. Bei diesem Verfahren werden mindestens zwei Potentialelektroden in das Bohrloch eingeführt. Als nächster Schritt wird ein Strom durch zwei Stromelektroden geleitet, die an der Oberfläche angesetzt sind. Durch Messen der Spannung zwischen den beiden Potentialelektroden läßt sich der zwischen den an der Erdoberfläche angesetzten Elektroden und den innerhalb des Bohrloches befindlichen Elektroden befindliche Gesteinskomplex "durchstrahlen", so daß völlig neue Informationen in einer bislang noch nicht dagewesenen Informationsdichte erhalten werden können. Durch Wiederholen der Spannungsmessung zwischen den beiden Potentialelektroden innerhalb des Bohrloches mit jeweils innerhalb des Bohrloches versetzten Elektroden läßt sich der zwischen Bohrloch und Erdoberfläche befindliche Gesteinskomplex vollständig kartieren, wobei beliebige Schnittebenen vorgenommen werden können, weshalb dieses Verfahren auch als geoelektrische Tomographie bezeichnet wird.

Da das Bohrloch durchgängig ist, kann der Elektrodenmeßstrang nach Erstellen des Bohrloches an dem Bohrgestänge durch das Bohrloch gezogen werden, so daß ein Verlegen des Meßstranges innerhalb kürzester Zeit möglich ist.

Auch wenn das Versetzen der Potentialelektroden innerhalb des Bohrloches durch mechanisches Versetzen des Meßstranges erreicht werden kann, besteht die bevorzugte Verfahrensweise darin, zur Kartierung der Gesteinsinformation lediglich andere Elektroden des Meßstranges als Potentialelektroden zu verwenden. Dies kann unter Verwendung des oben beschriebenen erfindungsgemäßen Meßsystemes auf einfachste Weise dadurch erfolgen, daß andere Elektroden aktiviert oder verschaltet werden, so daß der Meßtechniker von seinem Meßplatz aus, die gesamte geologische Formation entlang des Bohrloches und oberhalb des Bohrloches vermessen kann, ohne daß tatsächlich Elektroden mechanisch versetzt werden müßten. Durch Verwendung von computergesteuerten Meßprogrammen eröffnen sich durch das erfindungsgemäße Verfahren ungeahnte Möglichkeiten.

Eine weitere Ausführungsform des oben beschriebenen Verfahrens wird dadurch erzielt, daß nicht nur die innerhalb des Bohrloches befindlichen Elektroden variiert werden, sondern daß auch zumindest eine der Stromelektroden an der Erdoberfläche versetzt wird.

Hierdurch wird die Auflösung der erhaltenen Messungen bedeutend erhöht.

Sofern als Stromelektrode bei den oben beschriebenen Verfahren eine Elektrode eines Meßstranges verwendet wird, ist das beschriebene Verfahren der geoelektrischen Tomographie noch weiterverbessert, da in diesem Fall das Versetzen der Stromelektroden an der Erdoberfläche ebenfalls nicht mehr mechanisch erfolgen muß, sondern durch Wahl unterschiedlicher Elektroden des Meßstranges erfolgen kann. In diesem Fall empfiehlt sich die Verwendung von Adaptern, welche die Elektroden stabartig verlängern. Derartige Adapter, die ein Einleiten der Meßströme in das Erdreich erleichtern, können in das Erdreich eingesteckt werden. Für die Verwendung im Erdreich können die Adapter spießartig ausgebildet sein und mit Hilfe einer Gelenkschelle an den Ringelektroden befestigt werden.

Nachdem die geplante Tunnelstrecke vollständig erkundet worden ist, kann die Tunnelauffahrung anhand der Pilotbohrung 12 erfolgen, wie dies in Fig. 4 dargestellt ist. Hierbei orientiert sich das Tunnelvortriebsgerät 22 an der Pilotbohrung 12, so daß keine aufwendige Positionsüberwachung durchgeführt werden muß. Die Pilotbohrung läßt sich beim Streckenvortrieb zur Vorfelddentwässerung heranziehen. Auch können während des Tunnelbaus Kommunikationsleitungen durch die Pilotbohrung geführt werden, die gegebenenfalls auch zu einem Einbruchsbohrloch erweitert werden kann.

Fig. 5 zeigt einen Vertikalschnitt durch das Erdreich im Bereich einer geplanten Tunnelstrecke. Eine parallel zur geplanten Tunneltrasse 120 verlaufende Bohrung 112c befindet sich in größerem Abstand zur geplanten Tunneltrasse unterhalb der geplanten Tunnelauffahrung. Diese vorzugsweise voll verlaufsgesteuert ausgeführte Erkundungsbohrung 112c kann Aufschluß über die unterlagernden geologischen Schichten geben. So läßt sich bspw. erkennen, ob sich in dem betreffenden Gebiet unterhalb der geplanten Tunnelauffahrung quellfähige Horizonte, z.B. Tone oder Anhydrite, befinden, die möglicherweise einen Quelldruck aufbauen können. Dies kann insbesondere in Bereichen von Interesse sein, in denen auch heute noch Verformungen auftreten, die möglicherweise erst zu einem späteren Zeitpunkt zu einer Gefährdung der Tunnelstrecke führen können. Ebenso lassen sich Gesteinsproben aus der Bohrung unterhalb der geplanten Tunnelauffahrung entnehmen und ebenfalls ein Meßstrang 110c einführen, um eine geoelektrische Tomographie durchzuführen. Hierbei lassen sich, wie in Fig. 5 angedeutet ist, beliebige Schichten zwischen dem in der Erkundungsbohrung entlang der geplanten Tunneltrasse eingeführten Meßstrang 110b, dem Meßstrang 110a bzw. den Elektroden auf der Erdoberfläche und dem Meßstrang 110c in der Erkundungsbohrung 112c aufnehmen. Schließlich bietet sich hierdurch auch die Möglichkeit, Spannungsmeßnehmer 140 einzubauen, um das verformungshafte Gebirge zu überwachen und möglicherweise auch von dieser Bohrung aus eine untersöhlige Entspannung einleiten. Zuletzt besteht die

Möglichkeit, diese Bohrung zur untersöhligen Entwässerung zu nutzen.

Wenn es von besonderer Wichtigkeit ist, daß eine hohe Informationsdichte insbesondere im Bereich der geplanten Tunneltrasse gewonnen wird, dann können zwei in etwa horizontal verlaufende Bohrungen im Bereich der geplanten Tunneltrasse aufgeföhren werden, in die jeweils ein Meßstrang eingeföhrt wird. In gleicher Weise können selbstverständlich auch vier oder noch mehr Meßstränge in entsprechend parallel zueinander verlaufende Bohrungen eingeföhrt werden, wobei die Messungen jeweils zwischen zwei Meßsträngen durchgeführt werden. In dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel könnten zwei Meßstränge in den mit 120 bezeichneten, mit unterbrochenen Linien dargestellten Bereichen eingeföhrt sein. Wenn jeweils unterschiedliche Elektroden des einen Meßstranges als Stromelektroden geschaltet werden und zwei Elektroden des anderen Meßstranges als Potentialelektroden geschaltet werden, so lassen sich zwischen den beiden Meßsträngen eine Vielzahl von Schnitten anfertigen und ein sehr präzises, tomographisches Bild im gewünschten Bereich der geplanten Tunnelaufföhung gewinnen.

Sind entlang einer geplanten Tunneltrasse beispielsweise vier parallel zueinander verlaufende Horizontalbohrungen eingebracht, so können diese präzisen Schichtdarstellungen zwischen jeweils zwei Meßsträngen angefertigt werden und somit insgesamt sechs verschiedene Schnitte im Bereich der geplanten Trassenföhung gewonnen werden (vier Seiten und zwei Diagonalen zwischen den vier parallel verlaufenden Probebohrungen).

Befinden sich im Bereich des geplanten Trassenverlaufs Bereiche mit besonderen geologischen Eigenschaften, so können diese zum einen erkannt werden und zum anderen ihre Abmessungen mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Aufgrund der Tatsache, daß die Elektroden in den jeweiligen Meßsträngen jeweils sowohl mit einer Strom-, wie auch einer Spannungsleitung verbindbar sind, lassen sich diese Messungen mit hoher Präzision durchführen und insbesondere auch entlang des geplanten Trassenverlaufs durchführen, ohne nach jeder Messung jeweils den Meßstrang versetzen zu müssen.

Geplante Tunnelstrecken oder auch andere Bauwerke liegen häufig sehr weit unter der Erdoberfläche oder Gewässeroberfläche, so daß Messungen von der Erd-, oder Gewässeroberfläche aus nur noch mit einer geringeren Auflösung durchgeführt werden können. Durch eine Messung zwischen zwei in etwa parallel angeordneten Meßsträngen, die in zwei Horizontalbohrungen eingebracht wurden, lassen sich auch in großer Tiefe Erkundungen mit sehr hoher Informationsdichte erzielen. Da die Struktur des Untergrunds vorher nicht bekannt ist, läßt sich durch die gezielte Erkundung entlang der geplanten Trassenföhung eine sehr hohe Auflösung der in diesem Bereich vorhandenen geologischen Informationen gewinnen.

Während im vorstehenden insbesondere die

Anwendung von Meßsträngen in den parallel zueinander verlaufenden Bohrungen beschrieben wurde, lassen sich selbstverständlich auch alle anderen, oben genannten Meßverfahren und Erkundungstechniken in den jeweiligen Bohrungen bzw. auch zwischen den Bohrungen einsetzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkunden von geplanten Tunnelstrecken, die im wesentlichen horizontal verlaufen, umfassend die folgenden Schritte:
 - Vorerkundung der Geologie entlang der geplanten Tunnelstrecke zur Vorbereitung einer Pilotbohrung;
 - Erstellen einer durchgehenden Pilotbohrung mit einem im Bohrverlauf lenkbaren Bohrkopf entlang der geplanten Tunnelstrecke;
 - Probenentnahme aus der Pilotbohrung; und
 - geophysikalische Bohrlocherkundung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung im wesentlichen entlang der Mittellinie der geplanten Tunnelstrecke erstellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Erstellen der Pilotbohrung Bohrfortschrittsparameter aufgezeichnet werden, die anschließend zur Bohrlocherkundung herangezogen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der folgenden Bohrfortschrittsparameter zur Bohrlocherkundung herangezogen werden: Bohrandruck, Vortriebsgeschwindigkeit, Abrasion des Bohrkopfes.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Probenentnahme aus dem Spülungsrückfluß der Pilotbohrung Proben entnommen werden.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Probenentnahme, ausgehend von der im wesentlichen horizontalen Pilotbohrung, seitliche Probebohrungen durchgeführt werden.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorerkundung durch geophysikalische Tiefensondierung von der Oberfläche aus erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bohrloch zum vorübergehenden Einbau von Spannungsmeßgeräten verwendet wird. 5
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Bohrloch hydrogeologische Untersuchungen, beispielsweise pH- oder Leitfähigkeitsmessungen vorgenommen werden, und daß hierbei durchgehende oder abschnittsweise Wasserproben genommen werden. 10
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bohrloch mittels Videokameras untersucht wird. 15
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bohrloch mittels Filterstrang zu einer Drainage bzw. zu einem Horizontalbrunnen ausgebaut wird. 20
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bohrloch für Erschütterungsmessungen während des Vortriebes genutzt wird. 25
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vom Bohrloch aus seitliche Sackgassenbohrungen vorgenommen werden. 30
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bohrlocherkundung geophysikalische Sonden durch das Bohrloch gezogen werden. 35
15. Verfahren zum Auffahren eines Tunnels, umfassend die folgenden Schritte: 40
- Erkunden der geplanten Tunnelstrecke nach einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 13; 45
 - Auffahren der Tunnelstrecke unter Orientierung des Vortriebs an der Pilotbohrung. 50
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung gleichzeitig zur Vorfelddentwässerung herangezogen wird. 55
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung während des Tunnelbaus für Kommunikationsleitungen verwendet wird.
18. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung zu einem Einbruchsbohrloch erweitert wird.
19. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung für ausziehende Wetter und damit zur Ortsbrustentstaubung oder für einziehende Wetter verwendet wird.
20. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung als Rettungsversorgungsbohrloch nach Vollinkationen (Verbruchereignissen) für den Ortsbrustbereich verwendet wird.
21. Verfahren nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Pilotbohrung zur Gestängeführung für Aufweitbohrungen, z.B. nach dem Raise-Bohrverfahren, genutzt wird.

Fig.1

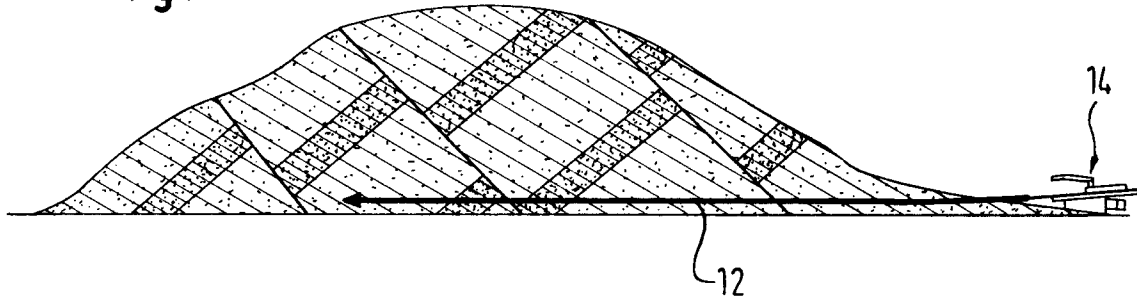


Fig.2

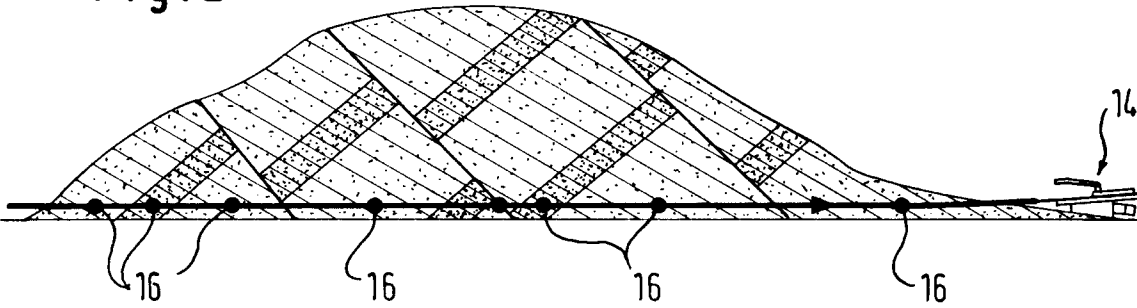


Fig.3

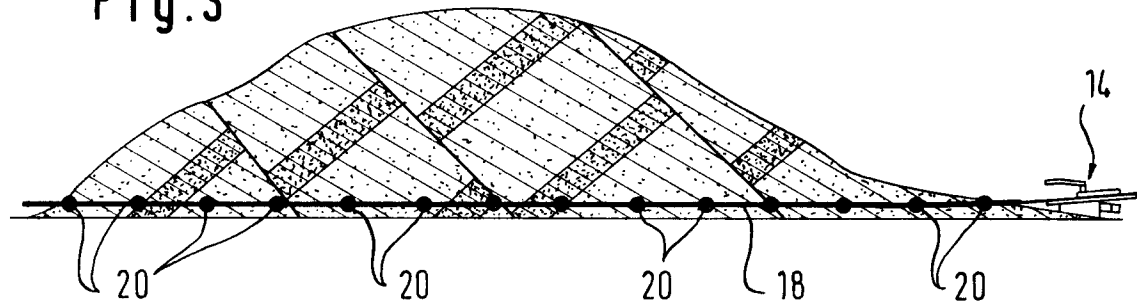


Fig.4

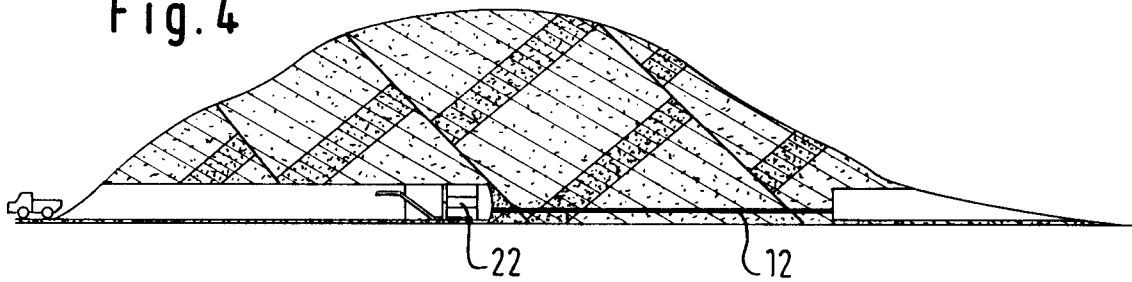


Fig. 5

