

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 557 268 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.01.1997 Patentblatt 1997/02

(51) Int Cl.6: **E21D 9/06, E21D 11/08**

(21) Anmeldenummer: **93890020.6**

(22) Anmeldetag: **17.02.1993**

(54) Verfahren zum Herstellen langer Tunnel in Tübbingbauweise

Method of making long tunnels using tubbings as lining

Procédé pour l'exécution de tunnels longs en utilisant le cuvelage comme revêtement

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

(30) Priorität: **21.02.1992 AT 324/92**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.08.1993 Patentblatt 1993/34

(73) Patentinhaber:
• **"MAYREDER" BAUHOLDING GESELLSCHAFT m.b.H.**
A-4020 Linz (AT)
• **TUNNEL AKTIENGESELLSCHAFT TUNNEL PLANUNGS-, ERRICHTUNGS- UND BETRIEBS-AKTIENGESELLSCHAFT**
A-1050 Wien (AT)

• **Schulter, Alfred, Dipl.-Ing.**
A-4020 Linz (AT)
• **Pfeil, Helmut, Dipl.-Ing.**
A-4040 Linz (AT)
• **Schubert, Otto**
A-1050 Wien (AT)

(74) Vertreter: **Hübscher, Heiner, Dipl.-Ing. et al**
Spittelwiese 7
4020 Linz (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 097 113 **AT-B- 389 149**
AT-B- 393 871 **CH-A- 545 888**
DE-A- 2 101 092 **DE-B- 1 238 945**
GB-A- 2 146 371

(72) Erfinder:
• **Wagner, Harald, Dr.**
A-4310 Mauthausen (AT)

EP 0 557 268 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein neues Verfahren zur Herstellung langer Tunnels in Tübbingbauweise. Ferner betrifft die Erfindung einen nach diesem neuen Verfahren hergestellten Tunnelausbau und schließt auch Überlegungen für einen rationellen Betrieb des Tunnels sowie neue Fahrbetriebsmittel für den Tunnel ein.

Unter "langen" Tunnels werden in der Folge Tunnels mit Längen von mindestens 10 km, insbesondere aber wesentlich längere Tunnels verstanden, die zur Lösung überregionaler Verkehrsprobleme, insbesondere des Problems des grenzüberschreitenden Transitverkehrs dienen sollen. Ausgangspunkt für die Überlegungen ist die Planung einer neuen Tunneltrasse zwischen dem südbayerischen und norditalienischen Raum, wobei konkret an einen Tunnel zur Aufnahme des Transitverkehrs mit Nordportal im Bereich Rosenheim und Südportal im Raum Sterzing oder Franzensfeste gedacht ist, für den sich eine Länge von etwa 116 km ergibt.

Im konkreten Fall erscheint ein entsprechend langer Tunnel die zweckmäßigste Lösung, da durch ihn die kritischen Verkehrsbereiche im Inntal, im Raume Innsbruck und im Brennerbereich entlastet würden.

Eine Grundüberlegung der Erfindung besteht darin, daß bei entsprechend langen Tunnels bei Planung, Errichtung, Koordination des Ausbaues und beim Betrieb neue Wege beschritten werden müssen, wenn der Tunnel in einer tragbaren Bauzeit kostengünstig errichtet werden soll und auch der Betrieb bei hoher Durchsatzleistung nur erträgliche Kosten verursacht.

Eine Grundvoraussetzung für die obigen Bedingungen besteht darin, daß der Tunnel unter möglichst hoher Vortriebsgeschwindigkeit und unter Einhaltung weitgehender Sicherheitsbedingungen errichtet werden muß und zwischen Errichtungszeit und Fertigausbau sowie Inbetriebnahme keine zu langen Zeiträume vergehen. Damit scheidet die herkömmliche Tunnelbauweise, aber auch die Neue Österreichische Tunnelbauweise als Herstellungsverfahren aus, da in beiden Fällen nach dem Ausbruch Gebirgssicherungsarbeiten notwendig sind und dann erst ein Endausbau erfolgen kann. Bei der Tübbingbauweise gibt es bereits Ansätze, die einen rationelleren Ausbau eines Tunnels unter Verwendung von Fertigteilen ermöglichen. Ein möglicher Tübbingausbau bietet sich aus der AT-B-389 149 an, bei der vorgesehen wird, Tübbingringe aus in der Grundform trapezoidförmigen Tübbingsteinen zusammenzusetzen, wobei zwischen den Schrägseiten dieser Tübbingsteine Nut-Federverbindungen mit in zueinander offene Nuten der Steine eingelegten, vorzugsweise im Querschnitt runden Federn, die auch als Gleitführung beim Einfügen der einzelnen Steine in den Ring verwendbar sind, und für die Verbindung an den Ringstirnseiten in die Steine einsetzbare Dübel Verwendung finden. Hier können die Tübbingsteine untereinander nach

einem Baukastensystem zu Ringen und die Ringe untereinander nach einem Stecksystem verbunden werden und es besteht auch die Möglichkeit, dadurch Richtungsabweichungen des Tunnelausbaues von der Geraden zu erzielen, daß man Tübbingsteine verwendet, die einander zu Tübbingringen mit untereinander einen spitzen Winkel einschließenden, durch die Stirnseiten bestimmten Ebenen verwendet, wobei zwei gegenüber gleich zusammengesetzte Ringe einen Zylinder mit parallelen Stirnseiten ergeben, durch Verdrehung der Ringe aus dieser Lage aber Abweichungen des Ausbaues nach den Seiten und oben und unten möglich werden.

Es ist auch bei der Tübbingbauweise an sich bekannt, zur Aufnahme von Gebirgsverformungen in die Tübbingringe nachgiebige Zonen aus verformbaren Körpern einzubauen. Schließlich sind verschiedene Arten der Abdichtung zwischen aufeinanderfolgenden Tübbingsteinen unter Verwendung von Ein- oder Auflagedichtungen bekannt.

Hauptaufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines neuen Verfahrens, das die Herstellung langer Tunnels bei hoher Vortriebsgeschwindigkeit und weitgehend dem Vortrieb folgendem Endausbau ermöglicht. Eine Teilaufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung von für dieses Verfahren geeigneten Tunnelausbauten sowie von neuen für lange Tunnels besonders geeigneten, eine hohe Betriebssicherheit verbürgenden Fahrbetriebsmitteln.

Erfindungsgemäßes Verfahren ist grundsätzlich durch die Kombination der zum Teil für sich bekannten Mittel und Verfahrensschritte, gemäß Anspruch 1 gekennzeichnet.

Eine hohe Vortriebsgeschwindigkeit wird dadurch ermöglicht, daß für den Ausbruch ein nur unwesentlich größerer Ausbruchsquerschnitt vorzusehen ist als dem äußeren Ausbauquerschnitt des Tunnels entspricht. Entscheidend für das erfindungsgemäße Verfahren ist, daß die Last des Gebirges bereits während des Ausbruches von der Tunnelbohrmaschine und deren Schildmantel aufgenommen und kontinuierlich sowie nachgiebig auf den Ausbau übertragen wird, so daß der Ausbruchsbereich dauernd unter dem Gegendruck des Schildschwanzes und in weiterer Folge der Tübbingringe steht und dadurch Auflockerungen vermieden werden. Dadurch wird der neue Gleichgewichtszustand meist schon auf geringen Verformungswegen erreicht und zusätzliche Sicherungen und Abstützungen des Gebirges z.B. durch Ankerung, Spritzbeton, Injektionen usw. werden, von Sonderfällen abgesehen, unnötig. Selbstverständlich kann man bei absolut standfestem Gebirge in den entsprechenden Teilbereichen des Tunnels auf einen Teil der angeführten Maßnahmen zur Aufnahme von Langzeitverformungen verzichten und man wird auch nur dort abdichten, wo es notwendig ist. Die vorgesehene Außenabdichtung gibt eine weitgehende Sicherheit gegen Gas- und Flüssigkeitseinbrüche und der Tunnelausbau bis zur Fertigstellung folgt praktisch unmittelbar auf den Ausbruch, so daß der Tunnel bis in

den Ausbruchsbereich für Transportaufgaben voll eingesetzt werden kann.

Damit können auch Zugänge zum Tunnel über Schächte usw. weitgehend entfallen und man wird im Idealfall solche Zugänge nur etwa im Bereich von Talquerungen, wo der Tunnel die Oberfläche erreicht, oder bei für die Versorgung, das Rangieren od. dgl. der später einzusetzenden Fahrbetriebsmittel und ähnliche Aufgaben benötigten Anschluß- oder Erweiterungsstellen vorsehen. Im Endausbau wird es sich empfehlen, die Tunnelröhre zur Sicherung eines geschützten Betriebes auch in Bereichen der Trassenführung fortzusetzen, wo der Tunnel an sich die Oberfläche erreicht oder die Fahrbahn über der Landschaftsoberfläche verläuft.

Eine einwandfreie Abdichtung wird erzielt.

Eine Hauptüberlegung, die der Weiterbildung nach Anspruch 2 zugrundeliegt, besteht darin, daß es sich empfehlen wird, den Tunnel für Schienenfahrzeuge auszulegen, da entsprechend modifizierte Schienenfahrzeuge unproblematisch sowohl hinsichtlich der Energieversorgung der Fahrbetriebsmittel als auch hinsichtlich einer völligen oder teilweisen Automatisierung und Fernsteuerung der Fahrbewegungen sind, so daß einerseits die vorhandene Tunnelkapazität optimal ausnützlich wird und andererseits die Möglichkeit gegeben ist, etwa für den Gütertransport den gesamten Tunnel oder wesentliche Tunnelabschnitte ohne Personaleinsatz zu durchfahren, d. h. die Güter ohne Personal und mitfahrende Personen durch den Tunnel zu leiten, wodurch auf die besonders teuren und aufwendigen Sicherheitsmaßnahmen verzichtet werden kann, die bei mitfahrendem Begleitpersonal oder beim Personentransport unbedingt einzuhalten sind. Als Beispiel für diese sonst notwendigen Sicherheitsmaßnahmen seien hier nur kurze Fluchtwege aus jeder Stelle des Tunnels, Brandschutzmaßnahmen, überdimensionierte Belüftungseinrichtungen, Beleuchtung der Fluchtwege usw. erwähnt.

Um die Bauzeit wesentlich zu verringern und trotzdem eine weitgehende Anpassung an die Gegebenheiten zu erzielen, wird gemäß Anspruch 3 vorgegangen. Mit modernen Tunnelbohrmaschinen lassen sich hohe Vortriebsgeschwindigkeiten von z. B. 60 m pro Tag erzielen. Wenn nun über Sensoren unter Einsatz von der Tunnelbohrmaschine voreilenden Sonden und laufend von der Bohrmaschine aus vorgenommenen geophysikalischen oder seismographischen Untersuchungen Problemzonen rechtzeitig erkannt werden, kann man solche Problemzonen häufig umgehen, sich jedenfalls darauf vorbereiten oder nur in jenen Bereichen anschneiden, in denen dies mit weniger Störungen verbunden ist bzw. nur über kurze Strecken den Einsatz zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen nötig macht.

Durch diesen gezielten Einsatz der Sensorik und Robotik läßt sich eine maximale Automatisierung von Vortrieb und Ausbau unter geringstem Personalaufwand und damit auch unter geringster Personalgefährdung erzielen, wobei in Abhängigkeit von den Meldungen der Sensoren angepaßte, selbst programmierende

Steuerprogramme für Vortriebs- und Ausbauautomaten gewählt werden können, so daß für jede Momentanbedingung die relativ günstigste Abstimmung dieser Bauteile aufeinander wählbar ist. Über die Steuereinheit bzw. den übergeordneten Rechner werden auch Zu- und Abtransport des Materials insbesondere der Bauteile einerseits und des Ausbruchmaterials andererseits in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Fahrbetriebsmitteln und der bis zur nächsten Be- bzw. Entladestelle zurückzulegenden Strecke koordiniert, um sowohl die Fahrbetriebsmittel optimal auszunützen als auch die Dauerver- und -entsorgung des Ausbruchbereiches zu gewährleisten.

Ein nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellter Tunnelausbau in Tübbingbauweise ist in Anspruch 4 angegeben. Neben der möglichen Zusammensetzung der Tübbingsteine zu den Ringen und der Ringe zur Tunnelröhre nach einem einfachen Baukastensystem hat diese Ausgestaltung den besonderen Vorteil, daß die Federn der Nut-Federverbindungen zugleich die zur Aufnahme des auf die Tübbingringe entfallenden Anteiles des zum anderen Teil schon vom nachgiebigen Schildmantel aufgenommenen unmittelbar auftretenden Verformungsweges des Gebirges notwendigen Elemente bilden, so daß sonst notwendige aufwendigere Ausgleichseinrichtungen wie in eigenen Gehäusen untergebrachte Verformungselemente vermieden werden und die zusammendrückbaren Federn gegebenenfalls in Verbindung mit Fugendichtbändern zugleich für die Abdichtung der Längsfugen zusätzlich verwendbar sind.

Bei einer Ausführung gemäß Anspruch 5 hat die Verwendung eines Linearmotorantriebes für die Schienenfahrzeuge gegenüber einem an sich ebenfalls möglichen Betrieb der Schienenfahrzeuge mit Elektrolokomotiven oder elektrischen Triebwagen verschiedene grundsätzliche Vorteile. Zunächst kann die eingesetzte Antriebsleistung an Neigung und Gefälle der Strecke angepaßt werden und es ist eine vollautomatisierte Steuerung der momentan im Tunnel vorhandenen Fahrbetriebsmittel möglich, wobei die Versorgungsleitungen zu den Wicklungsabschnitten des Linearmotors ortsfest verlegt werden können, so daß die sich durch Fahrleitungen und Stromabnehmer ergebenden Probleme wegfallen und auch die Absicherung spannungsführender Teile vereinfacht wird. Der Hauptvorteil eines Linearmotors besteht zusätzlich zu den schon erwähnten Vorteilen darin, daß es möglich wird, über den Linearmotor unmittelbar über die Dauermagneteinheiten im wesentlichen in Fahrtrichtung auf die Fahrbetriebsmittel wirkende Antriebs- bzw. Bremskräfte zu erzeugen, so daß relativ leichte Fahrbetriebsmittel und keine wegen der Übertragung der Vortriebskräfte durch Reibung auf die Schienen notwendigerweise sehr schweren Lokomotiven benötigt werden, also das Leergewicht/Nutzlastverhältnis wesentlich günstiger als beim E-Lokbetrieb wird.

Konstruktiv empfiehlt sich eine Ausführung nach

Anspruch 6. Dadurch wird vermieden, daß Abweichungen der Schienen von einer Parallellage zum Linearmotor, die sowohl durch Montageungenauigkeiten als auch durch allfällige Bewegungen der Tunnelröhre unter dem Gebirgsdruck möglich sind bzw. Fahrbewegungen oder das Federungsspiel der Schienenfahrzeuge die Größe des Luftspaltes beeinflussen bzw. eine einen schlechten Wirkungsgrad ergebende große durchschnittlich Luftspaltgrößen erforderlich machen.

Schließlich wird eine weitere Rationalisierung durch die Ausübung nach Anspruch 7 erzielt.

Gleicht man den Querschnitt der einzelnen Tunnelröhren an die Außenumrisse der für den Tunnel vorgesehenen Fahrbetriebsmittel bzw. der durch den Tunnel zu transportierenden Güter, z. B. LKW-Züge oder Container an, so findet man mit einer Lichtweite einer Tunnelröhre von etwa 5,5 m das Auslangen. Der Ausbruchsquerschnitt und damit die Materialabtragung bei zwei solchen Tunnelröhren ist wesentlich kleiner als der Ausbruchsquerschnitt einer einzigen Tunnelröhre, die, wenn sie zwei entsprechende Fahrbetriebsmittel nebeneinander aufnehmen soll, einen Durchmesser von wenigstens 9,5 m haben müßte. Ferner wird die Betriebssicherheit durch gesonderte Tunnelröhren für die beiden Fahrtrichtungen erhöht und das Gebirge wird durch zwei kleinere Tunnel wesentlich weniger als durch einen Großtunnel gestört, wobei auch der Gebirgsdruck in ungünstigen Bereichen auf einen kleinen Tunnel entscheidend geringer ist, so daß beim kleineren Tunnel wesentlich schwächere Tübbingbausteine zum Einsatz gelangen können.

Weitere Einzelheiten und Vorteile des Erfindungsgegenstandes entnimmt man der nachfolgenden Zeichnungsbeschreibung.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise veranschaulicht. Es zeigen

- Fig. 1 in stark schematisierter Darstellungsweise einen im Vortrieb befindlichen Tunnel im Längsschnitt durch den Ausbruchsbereich,
 Fig. 2 als Detail zu Fig. 1 den Schildmantel und Schildschwanz der Tunnelbohrmaschine,
 Fig. 3 als Detail zu Fig. 2 das Schildschwanzende mit den dort vorgesehenen Dichtungen,
 Fig. 4 zwei miteinander verbundene Tübbingsteine in Vorderansicht,
 Fig. 5 den fertiggestellten Tunnel im Querschnitt mit seinen Fahrbetriebsmitteln bei der Verwendung als rollende Landstraße,
 Fig. 6 einen weiteren Querschnitt durch den Tunnel mit einem Waggon,
 Fig. 7 als Detail zu den Fig. 5 und 6 den unteren Bereich der Tunnelröhre mit einem auf Schienen abgestützten Zugfahrzeug und dem vorgesehenen Linearmotor und
 Fig. 8 eine Seitenansicht zu Fig. 7, wobei nur der Linearmotor und die ihm zugeordneten Teile des Zugfahrzeuges veranschaulicht wurden.

Nach den Fig. 1 bis 4 wird eine Tunnelbohrmaschine 1 für den Vortrieb eines Tunnelausbruches 2 eingesetzt. Derartige Tunnelbohrmaschinen 1 sind dem Prinzip nach bekannt, sie tragen in einem kombinierten Fräs- und Ausbruchsvorgang die Stollenbrust 3 des Tunnels ab und fördern das Ausbruchsmaterial zu nicht dargestellten Aufnahmeeinrichtungen, wie Transportbänder u. dgl., die dieses Material zu bereitgestellten Fahrzeugen, insbesondere als Schienenfahrzeuge ausgebildeten Kippern weiterleiten. Die Tunnelbohrmaschine 1 besitzt einen nachgiebig ausgebildeten Schildmantel 4 und einen an diesen Schildmantel anschließenden, ebenfalls nachgiebigen Schildschwanz. Für die Erzeugung der Vorschubbewegung sind an der Bohrmaschine 1 hydraulische Pressen 5 vorgesehen, mit deren Hilfe in später noch zu beschreibender Weise auch Tübbingsteine an vorher verlegte Steine angedrückt bzw. Tübbingringe zusammengepreßt werden können.

Im Schutze des Schildschwanzes werden in kritischen Ausbruchsbereichen mit potentiellen Wasser- oder Gaszutritt Dichtungsmembranen 6 verlegt und zu geschlossenen Ringen geformt, die sich im Bereich der Ränder 7, 8 mit bereits vorher verlegten Membranen 6 überlappen und gegebenenfalls verklebt werden. In die so gebildete gas- und feuchtigkeitsdichte Hülle werden Tübbingsteine 9 bis 14 eingelegt, wobei jeweils eine gerade Anzahl, beim Ausführungsbeispiel sechs Tübbingsteine einander zu einem geschlossenen Tübbingring 15 ergänzen. Die Tübbingsteine haben die Grundform von Trapezen bzw. Trapezoiden, wobei bei der Trapezform die Parallelseiten der Steine zugleich die Stirnseiten der Ringe 15 bilden. Trapezoidförmige Steine werden verwendet, wenn die Stirnseiten der Ringe in im spitzen Winkel zueinander verlaufenden Ebenen verlaufen sollen, damit die Möglichkeit besteht, durch Aneinanderreihung solcher Ringe in verschiedenen Drehstellungen Abweichungen der Tunnellängsachse von der Geraden zu fahren.

Bei trapezförmigen Steinen können untereinander gleiche Steine 9 bis 14 Verwendung finden. Bei trapezoidförmigen Steinen sind zur Bildung eines Ringes drei paarweise gleiche Steine notwendig. In allen Fällen wird für die Verbindung der Ringstirnseiten und für das Ansetzen eines neuen Steines an einem bestehenden Ring 15 eine gegebenenfalls zugkraftübertragende Steckdübelverbindung vorgesehen, wobei Steckdübel Verwendung finden, die in zugeordnete Einführungslöcher der Steine eingreifen, mit Hilfe der Pressen 5 eingepreßt werden und die eine beschränkte Übertragung von Scherkräften zulassen.

Für die Verbindung der Steine 9 bis 14 zu einem Ring 15 sind die Steine an den schrägen Längsseiten mit beim Ausführungsbeispiel einen Halbkreis oder kreisabschnittsförmigen Querschnitt aufweisenden Längsnuten versehen und es werden zur Herstellung von Nut-Federverbindungen in diese Längsnuten 16 Federn 17 eingelegt, die nach Fig. 4 einen rohrförmigen Querschnitt aufweisen können, aber auch aus Vollmate-

rial herstellbar sind, wobei gegebenenfalls in einer äußeren Rohrhülle ein weicherer Kern angebracht wird.

Wie vor allem die Fig. 2 und 3 zeigen, werden die Steine 9 bis 14 innerhalb der Dichtungsmembranen 6 im Schutze des Schildschwanzes 5 zu den Ringen 15 zusammengefügt und an die bereits fertig verlegten Ringe 15 angeschlossen. Der Schildschwanz 5 besitzt eine umlaufende Lippendichtung 18, sowie gegebenenfalls (Fig. 2) eine Ringdichtung 18a, mit denen er sich über die jeweilige Dichtungsmembran 6 auf einem schon fertig zusammengesetzten Ring 15 abstützt und kann ferner eine Bürstendichtung aus einzelnen Inkrementen 19 aufweisen, die sich dicht an die Ausbruchswand 2 legen. Der zwischen den Membranen und dem Ausbruch 2 freibleibende Hohlraum 20 wird über im oder entlang des Schildschwanzes verlegte Leitungen 21 mit einem Füllmaterial 22 ausgepreßt, wobei die Auspressung jeweils bis zu den Dichtungen 18, 19 erfolgt, wodurch erreicht wird, daß der Druck des Gebirges beim Vorschub der Tunnelbohrmaschine 1 und des Schildschwanzes 4 kontinuierlich von Vortriebsmaschine und Schildschwanz auf die bereits fertiggestellten Tübbingringe 15 übergeht und dort allenfalls eine Verformung der Federn 17 bewirkt. Später auftretende Langzeitverformungen können, wenn die durch die Federn 17 ursprünglich bestimmten Fugen zwischen aufeinanderfolgenden Steinen, z. B. 10, 12, sich schließen sollten, dadurch ausgeglichen werden, daß man ein in begrenztem Maße zusammendrückbares und/oder thixotropes Füllmaterial 22 verwendet, für das gegebenenfalls sogar in Hohlräumen der Steine 9 bis 14 führende Auslässe vorgesehen werden, durch die Material ab einem bestimmten Überdruck durchtreten kann. Der Vortrieb der Tunnelbohrmaschine wird von einer Steuereinheit überwacht und gesteuert. Dabei können Sensoren zur Überprüfung des vor der Tunnelbrust 3 liegenden Gebirges Verwendung finden, die allfällige Störungen im Gebirge anzeigen, so daß die Trassenführung im Sinne einer Umfahrung geändert werden kann. Auch der Einsatz und das Zusammenfügen der Tübbingsteine 9 bis 14 zu den Tübbingringen 15 wird von der zentralen Steuereinheit gesteuert, wobei vorzugsweise für das Einsetzen der Teile Montageroboter Verwendung finden. Auch die meisten anderen Arbeitsvorgänge, wie das Einlegen der Membranen 6, die Steuerung der Pressen 5, die Zufuhr des Füllmaterials 22 sowie die Verladung des Ausbruchsmaterials für den Abtransport, der Abtransport selbst und die Zulieferung der Bauteile für die Tunnelröhre wird weitgehend automatisiert.

Bei den dargestellten Ausführungsformen wird angenommen, daß zumindest im Endausbau zwei Tunnelröhren für die beiden Fahrrichtungen Verwendung finden. Selbstverständlich kann in einer Zwischenausbauweise eine Tunnelröhre im intermittierenden Betrieb einmal für die eine und dann für die andere Fahrrichtung verwendet werden.

Nach den Fig. 5 und 6 sind die fertigen Tunnelröhren 23 mit Geleisen 24 ausgestattet, deren Abstützun-

gen unmittelbar an den die Sohlsteine der Röhre 23 bildenden Tübbingsteinen 14 angebracht sind. Bei einer Variante nach Fig. 7 findet ein normaler Sohlstein 14' bei den Tübbingringen Verwendung und die Geleise 24 sind auf Einlageformteilen 25 angebracht, wobei diese Formteile 25 ohne weiteres auch über mehrere Tübbingringe durchlaufen können.

In Fig. 5 ist ein Tieflader-Schienenfahrzeug 26 veranschaulicht, auf das ein LKW-Zug 27 aufgebockt ist. In Fig. 6 fährt ein normaler Waggon 28 auf den Gleisen 24. In beiden Fällen ist die Tunnellichte nur unwesentlich größer als die Außenumrisse der jeweiligen Transporteinheit 26, 27 bzw. 28. In Fig. 5 wurde noch außerhalb des Fahrbereiches ein mit Geländer 29 ausgestatteter Laufsteg 30 angedeutet und es wurden in einem Kabelschacht zusammengefaßte Belüftungs- und Energieversorgungsleitungen 31 angedeutet.

Für die jeweils eingesetzten Fahrbetriebsmittel 26, 28 wird vorzugsweise ein Linearmotorantrieb verwendet. Ein derartiger Antrieb besteht dem Prinzip nach aus am Sohlstein 14 bzw. dem Stein 25 abgestützten Trägern 32, auf denen in Tunnellängsrichtung die Feldwicklungen 33 eines Linearmotors angeordnet werden. Die Fahrbetriebsmittel sind mit Dauermagnetsätzen 34 ausgestattet, auf die das Linearfeld wirkt und damit eine Fortbewegung in Tunnellängsrichtung erzeugt. Neben den Feldwicklungen 33 und an deren Seitenflanken sind Fahrbahnen 35, 36 ausgebildet, auf denen Wägelchen 37 mit um horizontale und vertikale Achsen drehbaren Laufrollen 38, 39 abgestützt sind, die die Dauermagneteinheiten 34 unter Einhaltung eines konstanten Luftspaltes entlang den Feldwicklungen 33 führen. Zwischen diesen Wägelchen 37 und dem jeweiligen Fahrzeug 26 bzw. 28 ist eine ein Vertikal- und Seitenspiel zulassende Kupplung 40 vorhanden, so daß Relativbewegungen des jeweiligen Fahrbetriebsmittels 26, 28 gegenüber dem Linearmotor 33 möglich werden.

Bei Tiefladerkonstruktionen 26 kann man jeden einzelnen Tieflader mit einem Dauermagnetsatz 34 und damit einem eigenen Antrieb ausstatten. Über den Linearmotor können sowohl Vortriebs- als auch Bremskräfte erzeugt werden. Die Steuerung erfolgt extern über zentrale Steuereinheiten. Innerhalb einer Zugseinheit können auch nur einige der Fahrbetriebsmittel 26 Dauermagnetsätze aufweisen. Für das Durchschleusen normaler Eisenbahnwaggons durch die Tunnelröhre 23 werden zweckmäßig eigene Zugfahrzeuge eingesetzt, die, da der Vortrieb über den Linearmotor erfolgt, im Gegensatz zu Lokomotiven nur ein geringes Eigengewicht aufzuweisen brauchen.

Bei den dargestellten Ausführungsbeispielen wird sich als Dauer- und Höchstgeschwindigkeit der Fahrbetriebsmittel ein Bereich von etwa 60 bis 80 km/h empfohlen. Bei höheren Geschwindigkeiten käme es bei den vergleichsweise engen Tunnelröhren 23 zu Problemen infolge der Luftwirbelbildung und der Luftverdrängung durch die Fahrbetriebsmittel. Bei höheren Geschwindigkeiten müßte man möglichst geschlossene

Stromlinienform aufweisende Fahrbetriebsmittel einsetzen, also LKW und Container in entsprechend stromlinienförmig gestaltete Waggon, die mit den Folgewaggon ohne Unterbrechung zusammenhängen verladen und/oder in kurzen Abständen Umleitvorrichtungen für die verdrängte Luft anbringen, die den Gesamtaufwand des Tunnelbaus wesentlich erhöhen würden.

Eine Möglichkeit wäre hier statt des Geländers 29 in Fig. 5 eine durchgehende Wand anzubringen und den dadurch segmentförmig abgeteilten Außenbereich der Tunnelröhre über abstandsweise angebrachte Löcher zur Aufnahme der vor dem Fahrbetriebsmittel verdrängten Luft und zu deren Rückleitung zur Rückseite des Fahrbetriebsmittels zu verwenden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen langer Tunnels in Tübbingbauweise, gekennzeichnet durch die Kombination der zum Teil für sich bekannten Mittel und Verfahrensschritte, daß

- der Ausbruch gebirgsschonend mit einer Tunnelbohrmaschine (1) mit nachgiebigem, sich von der Ausbruchsbrust weg verjüngendem, Schildmantel (4) vorgenommen wird,
- kontinuierlich entsprechend dem Ausbruchfortschritt im Schutze des Schildschwanzes der Ausbau mit einander zu Tübbingringen (15) ergänzenden, in ihrer Grundform trapezoidförmigen Tübbingsteinen (9 - 14) vorgenommen wird,
- die Tübbingringe (15) mit nachgiebigen Elementen, nämlich nachgiebigen, in die Tübbingsteine integrierten Längsfugen zonen oder die Steine zum Ring verbindenden Zwischenstücken (17) versehen werden, so daß die bei und nach dem Ausbruch des Gebirges bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichtszustandes auftretenden Verformungen vom Schildmantel (4) und zu einem weiteren Teil von diesen nachgiebigen Elementen (17) aufgenommen werden und
- für die Aufnahme von Langzeitverformungen des Gebirges und zur gleichmäßigen Druckverteilung auf die Tübbingringe eine Hinterfüllung des Ringspaltes zwischen Ausbruch und aus den Tübbingringen gebildeter Tunnelröhre mit einem im beschränkten Maße kompressiblen oder einem thixotropen, über Auslässe im Schildschwanz auspreßbarem Material (22) vorgenommen wird, wobei der Schildschwanz (4) mit Gleitdichtungen (18, 19) gegen den Ausbruch (2) und den jeweils vordersten vollständig zusammengesetzten Tübbingring (9) bzw. die zwischenliegende Membran (6) abgedichtet und das Hinterfüllmaterial (22) in den Ring-

spalt jeweils bis zu diesen Dichtungen eingepreßt wird, so daß der Gebirgsdruck beim Vorschub kontinuierlich vom Schildschwanz auf das Hinterfüllmaterial und damit die Tübbingringe übergeht, und

- die aus den Tübbingringen (15) gebildete Tunnelröhre zumindest im Bereich wasser- oder gasführender Zonen des Gebirges von einer im Schutze des Schildschwanzes vor dem Einbau der Tübbingsteine angebrachten Dichtungsmembran umhüllt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Endausbau des Tunnels mit Gleisanlage (24) und vornehmlich elektrischen Fahrbetriebsmitteln (33) für Schienenfahrzeuge (26, 28) entsprechend dem Vortriebsfortschritt jeweils bis in die unmittelbare Nähe der Tunnelbohrmaschine (1) vorgenommen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Baubetrieb und Trassenführung des Tunnels nur näherungsweise vorausbestimmt, beim Vortrieb das vor der Tunnelbohrmaschine (1) befindliche Gebirge fortlaufend überprüft und Vortrieb sowie Endtrasse nach den Ergebnissen dieser Überprüfungen unter allfälliger Umgehung gefährlicher oder problematischer Gebirgszonen bestimmt wird, wobei der Vortrieb unter Einsatz der Sensorik über elektronische Steuereinrichtungen weitgehend automatisiert überwacht und gesteuert wird und daß auch der Einbau zumindest der Tübbingsteine (9 - 14) und deren Zusammensetzung zu den Tübbingringen und zur Tunnelröhre über Roboter vorgenommen wird, wobei eine übergeordnete Steuereinheit auch den Materialzu- und -abtransport durch die schon bestehende Tunnelröhre koordiniert.

4. Nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3 hergestellter Tunnelausbau in Tübbingbauweise, bei dem einander in gerader Anzahl zu je einem Tübbingring (15) ergänzende, untereinander zumindest ähnliche in der Grundform trapezoidförmige Tübbingsteine (9 - 14) als Fertigteile vorgesehen sind, die an den nach Einbau die Ringfuge bestimmenden Stirnseiten über dübelartige, eine beschränkte Übertragung von Scherkräften zulassende Steckverbindungen und entlang der schrägen Längsfugen über aus durchlaufenden Längsnuten (16) der schrägen Längsseiten und eingelegten Federn (17) bestehende Nut-Federverbindungen zusammengehalten sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Federn (17) einen runden, z.B. rohrförmigen Querschnitt und die Nuten (16) in den Längsseiten der Tübbingsteine (9 - 14) eine angepaßte Profilform aufweisen, in unbelastetem Zustand die Steine (9 - 14) unter Längsfugenbildung auf Distanz

halten und unter dem Gebirgsdruck unter Verringerung der Fugenbreite zusammendrückbar ausgebildet sind und die die Sohlsteine (14) der einzelnen, Tübbingringe (15) bildenden Tübbingsteine (9 - 14) innenseitig mit Verankerungen oder Abstützungen für die Schienen (24) einer Gleisanlage versehen sind.

5. Tunnelausbau nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Fahrbetriebsmittel für den Tunnel (23) Schienenfahrzeuge (26, 28) und ein Linearmotorantrieb (33, 34) vorgesehen sind, wobei die Wicklungsabschnitte (33) des Linearmotors entlang der Strecke zwischen den Schienen (24) des Geleises ortsfest angeordnet und mit den Schienenfahrzeugen (26) zugeordnete Dauermagneteinheiten (34) gekuppelt sind.

6. Tunnelausbau nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die einem Schienenfahrzeug bzw. einer Zugeinheit zugeordneten Dauermagneteinheiten (34) zur Einhaltung im wesentlichen konstanter Luftspalte mit Wägelchen (37) auf eigenen, den Wicklungen (33) des Linearmotors zugeordneten Laufbahnen (35, 36) abgestützt und gerührt sind und über ein Querspiel zulassende Mitnehmerkupplungen (40) mit dem zugeordneten Schienenfahrzeug od.dgl. (26) verbunden sind.

7. Tunnelausbau nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die beiden Fahrrichtungen gesonderte Tunnelröhren (23) mit kreisförmigem Querschnitt vorgesehen sind.

Claims

1. A method of constructing long tunnels of tubing construction, characterised by a combination of means and steps partly known per se, in that

- excavation is carried out in a manner which protects the rock, using a tunnelling machine (1) with a flexible shield outer shell (4) which tapers away from the excavated face,
- lining with basically trapezoidal tubing bricks (9 - 14) fitted together to form tubing rings (15) is carried out continuously corresponding to the rate of advance, to protect the shield tail,
- the tubing rings (15) are provided with flexible elements, i.e. flexible longitudinal joint zones incorporated in the tubing bricks, or intermediate members (17) connecting the bricks to form a ring, so that the deformation occurring during and after excavation of the rock until a new state of equilibrium is reached is taken by

the shield outer shell (4) and additionally by the flexible elements (17), and

- in order to take long-term deformation of the rock and simultaneously distribute pressure over the tubing rings, the annular gap between the excavation and the tubular tunnel formed by the tubing rings is filled with a material (22) which is to a limited extent compressible or thixotropic and can be pressed out through outlets in the shield tail, and the shield tail (4) is sealed by sliding seals (18, 19) against the excavated material (2) and the front completely assembled tubing ring (9) or the intermediate diaphragm (6) and the filling material (22) is pressed into the annular gap up to the said seals, so that during the advance the pressure of the rock is transmitted continuously from the shield tail to the filling material and consequently to the tubing rings, and
- the tubular tunnel formed by the tubing rings (15), at least in those of the zones of the rock which convey water or gas, is surrounded by a sealing diaphragm for protecting the shield tail before the tubing bricks are fitted in.

2. A method according to claim 1, characterised in that the tunnel end lining is effected by a track system (24) and preferably electric traction means (33) for rail vehicles (26, 28) corresponding to the rate of advance, up to the immediate neighbourhood of the tunnelling machine (1) in each case.

3. A method according to claim 1 or 2, characterised in that the construction and route of the tunnel are only approximately determined in advance, during the advance the rock in front of the tunnelling machine (1) is continuously tested, and the advance and the final route are determined in accordance with the results of the tests so as to avoid dangerous or difficult rock zones in all cases, the advance being monitored and controlled largely automatically by use of sensors and electronic control devices, and in that robots are used at least for fitting in the tubing bricks (9 - 14) and fitting them together to form the tubing rings and the tubular tunnel, and an overriding control unit coordinates the supply and removal of material through the already-constructed tubular tunnel.

4. Tubing-construction tunnel lining produced by the method according to any of claims 1 to 3, wherein trapezoidal tubing bricks (9 - 14) similar to one another at least in basic shape and fitted together in even numbers to form each tubing ring (15) are provided in the form of finished parts, and, after being fitted in, are held together at the end faces de-

fining the annular joints by dowel-like plug-in connections permitting limited transmission of shearing forces and are held together along the sloping longitudinal joints by tongue and groove connections consisting of tongues (17) inserted into grooves (16) extending across the sloping longitudinal joints, characterised in that the tongues (17) have a round, e.g. tubular, cross-section and the grooves (16) in the longitudinal sides of the tubbing bricks (9 - 14) have a matching cross-sectional shape, hold the bricks (9 - 14) spaced apart, forming longitudinal joints, in the unloaded state and are compressible by the pressure of the rock, with reduction of the joint width, and the tubbing bricks (9 - 14) forming the bottom ones (14) of the individual tubbing rings (15) are internally provided with anchoring or bracing means for the rails (24) of a track system.

5. Tunnel lining according to claim 4, characterised in that the traction means for the tunnel (23) consists of rail vehicles (26, 28) and a linear motor drive (33, 34), the portions (33) of the linear motor winding being stationary and disposed along the road between the rails (24) of the track and coupled to permanent-magnet units (34) associated with the rail vehicles (26).

6. Tunnel lining according to claim 5, characterised in that the permanent-magnet units (34) associated with a rail vehicle or train unit are braced and guided by balancing means (37) on separate tracks associated with the windings (33) of the linear motor, in order to maintain a substantially constant air gap, and are connected to the associated rail vehicle or the like (26) by driver couplings (40) which permit transverse play.

7. Tunnel lining according to claim 5 or 6, characterised in that separate tubular tunnels (23) with a circular cross-section are provided for the two directions of travel.

Revendications

1. Procédé pour exécuter des tunnels longs par cuvelage, caractérisé par la combinaison des moyens et étapes de procédé, pour partie connus en eux-mêmes, selon lesquels :

- le creusement est réalisé en protégeant la roche au moyen d'un tunnelier (1) comprenant une enveloppe de bouclier flexible (4) qui se rétrécit en s'éloignant du front de creusement,
- le cuvelage est réalisé continûment, en fonction des progrès du creusement et sous la protection de la queue du bouclier, au moyen d'élé-

ments de cuvelage (9 à 14) dont la forme de base est trapézoïdale et qui se complètent entre eux pour former des voussoirs (15),

- les voussoirs (15) sont pourvus d'éléments élastiques, à savoir de zones longitudinales élastiques formant des joints et intégrées aux éléments de cuvelage ou de pièces intercalaires élastiques (17) qui relient les éléments pour former le voussoir, de sorte que les déformations qui interviennent pendant ou après le creusement de la roche jusqu'à ce qu'un nouvel état d'équilibre soit atteint sont absorbées par l'enveloppe (4) du bouclier et pour une autre partie par ces éléments élastiques (17), et :

- pour recevoir les déformations à long terme de la roche et pour répartir régulièrement la pression sur les voussoirs, on réalise derrière l'ouvrage un remplissage de l'espace annulaire situé entre le creusement et les cuvelages formés par les voussoirs au moyen d'un matériau (22) qui est compressible dans une mesure limitée ou d'un matériau qui est thixotrope et qui peut être injecté sous pression dans la queue du bouclier par l'intermédiaire de sorties ménagées dans la queue du bouclier, cependant que la queue du bouclier (4) est rendue étanche au moyen de joints d'étanchéité glissants (18, 19) par rapport au creusement (2) et au voussoir complètement assemblé (9) qui est à chaque fois le plus en avant ou à la membrane interposée (6), respectivement, et que le matériau (22) de remplissage derrière l'ouvrage est à chaque fois comprimé dans l'espace annulaire jusqu'à ces joints d'étanchéité, de sorte que, lors de l'avance, la pression de la roche est transférée en continu de la queue du bouclier au matériau de remplissage derrière l'ouvrage, et donc aux voussoirs, et :

- le cuvelage formé par les voussoirs (15) est entouré, du moins dans la région des zones aquifères ou gazeuses de la roche, par une membrane d'étanchéité qui est mise en place avant le montage des éléments de cuvelage sous la protection de la queue du bouclier.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'une installation complète du tunnel est réalisée au moyen d'une voie ferrée (24) et de moyens de déplacement (33), principalement électriques, qui sont destinés à des véhicules ferroviaires (26, 28), et ce, en fonction des progrès de l'avance et à chaque fois jusqu'au voisinage immédiat du tunnelier (1).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'exploitation de la construction et le guidage du tracé du tunnel ne sont prédéterminés qu'approximativement, que l'on inspecte en continu

lors de l'avance la roche qui se trouve devant le tunnelier (1), et que l'avance, ainsi que le tracé final, sont déterminés d'après les résultats de ces inspections et en contournant éventuellement les zones dangereuses ou à problèmes de la roche, cependant que l'avance est surveillée et commandée de manière largement automatisée en utilisant des automatismes et par l'intermédiaire de dispositifs de commande électroniques, et par le fait qu'au moins le montage des éléments de cuvelage (9 à 14) et leur assemblage pour former les voussoirs et le cuvelage sont aussi réalisés par l'intermédiaire de robots, cependant qu'une unité de commande principale coordonne aussi l'amenée et l'évacuation des matériaux à travers les cuvelages déjà existants.

4. Tunnel exécuté par cuvelage selon le procédé de l'une des revendications 1 à 3, dans lequel il est prévu comme éléments finis des éléments de cuvelage en forme de volumes trapézoïdaux (9 à 14) qui se complètent entre eux en nombre pair pour former un voussoir (15), qui sont analogues entre eux, du moins dans leur forme de base, et qui sont rendus solidaires, sur les côtés frontaux déterminant le joint annulaire après le montage, par l'intermédiaire de liaisons par enfouissement analogues à des chevilles permettant une transmission limitée des forces de cisaillement, et, le long des joints longitudinaux obliques, par l'intermédiaire d'assemblages à clavette et à rainure constitués par des rainures longitudinales continues (16) des côtés longitudinaux obliques et par des clavettes insérées (17), caractérisé par le fait que les clavettes (17) présentent une section transversale circulaire, par exemple tubulaire, cependant que les rainures (16) qui sont ménagées dans les côtés longitudinaux des éléments de cuvelage (9 à 14) présentent une forme de profil adaptée, qu'à l'état où elles ne sont pas chargées, elles maintiennent à distance les éléments (9 à 14) en formant un joint longitudinal, et qu'elles sont conformées de manière à pouvoir être comprimées sous la pression de la roche, ce qui diminue la largeur du joint, et cependant que les éléments de cuvelage (9 à 14) qui forment l'élément de fond (14) des voussoirs individuels (15) sont pourvus intérieurement d'ancrages ou d'appuis destinés aux rails (24) d'une voie ferrée.
5. Tunnel selon la revendication 4, caractérisé par le fait qu'il est prévu comme moyens de déplacement dans le tunnel (23) des véhicules ferroviaires (26, 28) et un entraînement à moteur linéaire (33, 34), cependant que les parties de bobinage (33) du moteur linéaire sont montées fixes le long de la voie entre les rails (24) de la voie, et qu'elles sont accouplées par des unités à aimants permanents (34) qui sont associées aux véhicules ferroviaires (26).

6. Tunnel selon la revendication 5, caractérisé par le fait que les unités à aimants permanents (34) qui sont associées à un véhicule ferroviaire ou à une unité de traction, respectivement, sont appuyées et guidées par des chariots (37) sur des voies de roulement qui leur sont propres (35, 36) et qui sont associées aux bobinages (33) du moteur linéaire pour conserver un intervalle constant pour l'essentiel, et qu'elles sont reliées au véhicule ferroviaire associé ou similaire (26) par l'intermédiaire d'accouplements d'entraînement (40) qui permettent un jeu transversal.
7. Tunnel selon la revendication 5 ou 6, caractérisé par le fait qu'il est prévu des tunnels séparés (23) à section transversale circulaire pour les deux sens de marche.

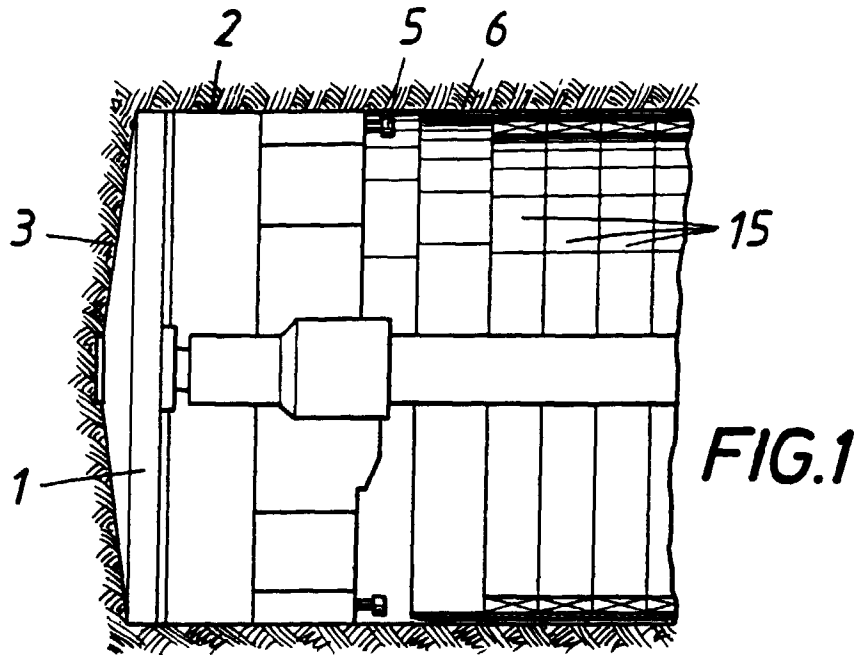


FIG. 2

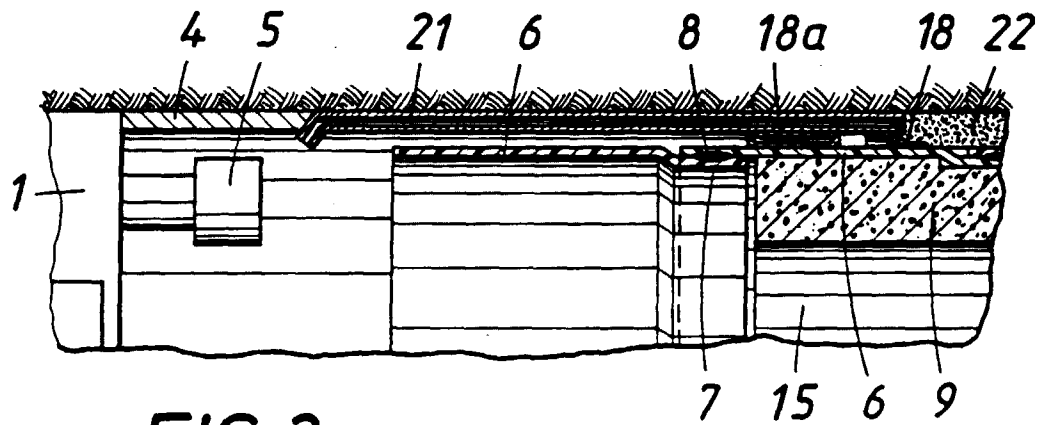


FIG. 3

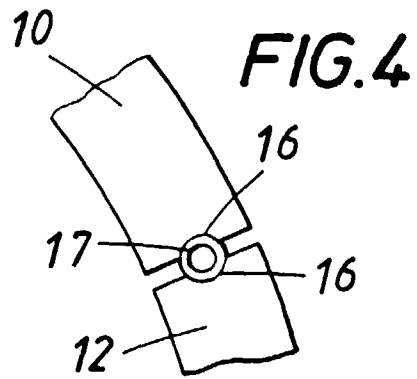
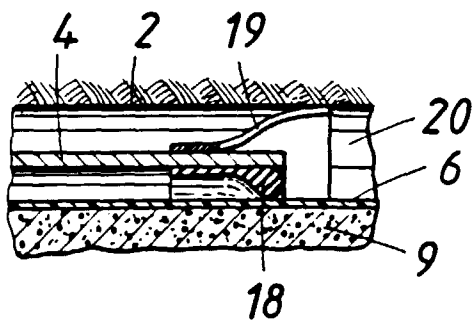


FIG. 5

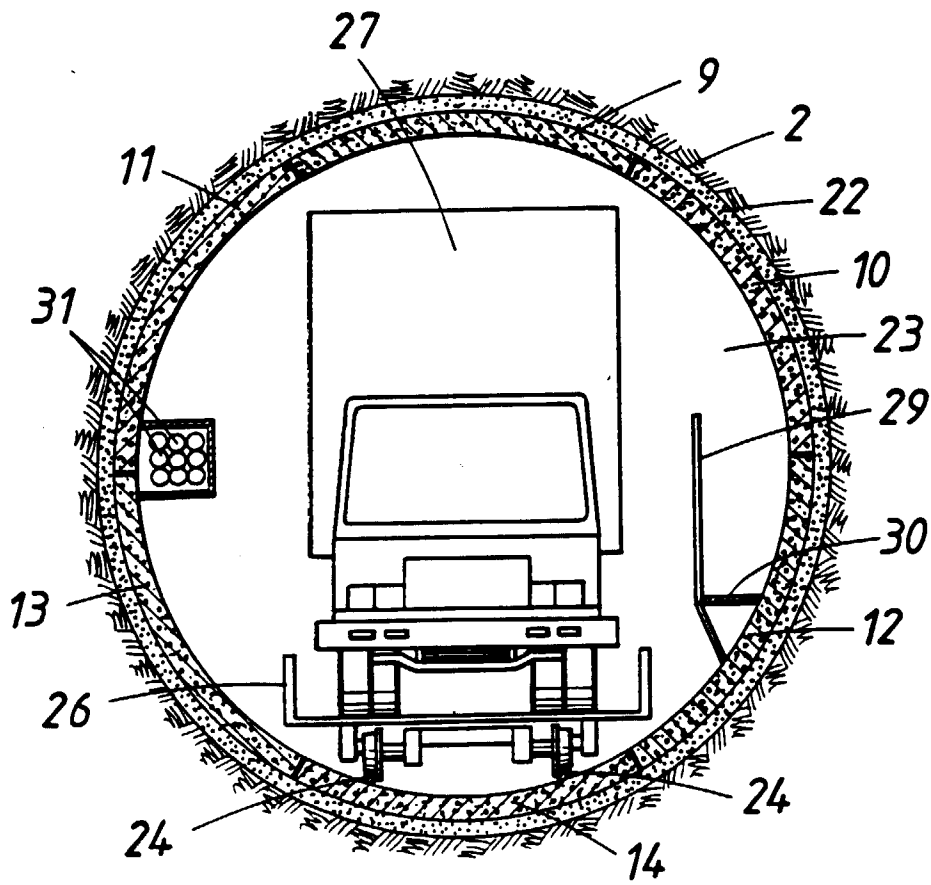


FIG. 6

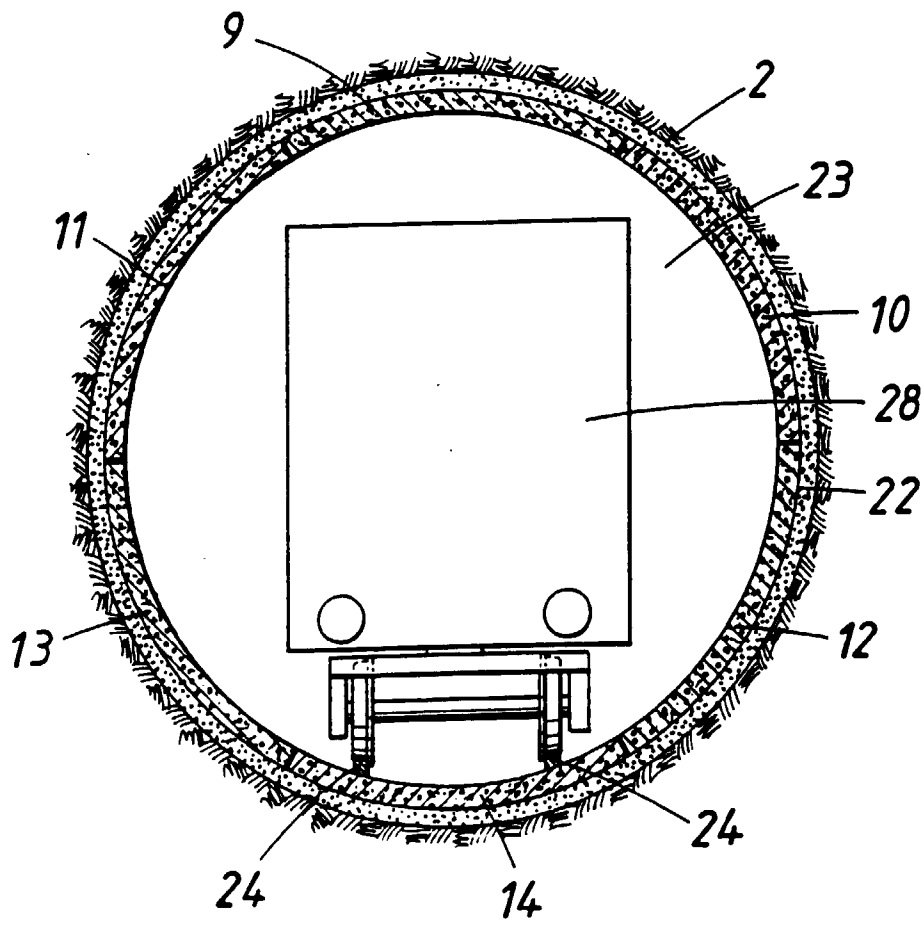


FIG.7

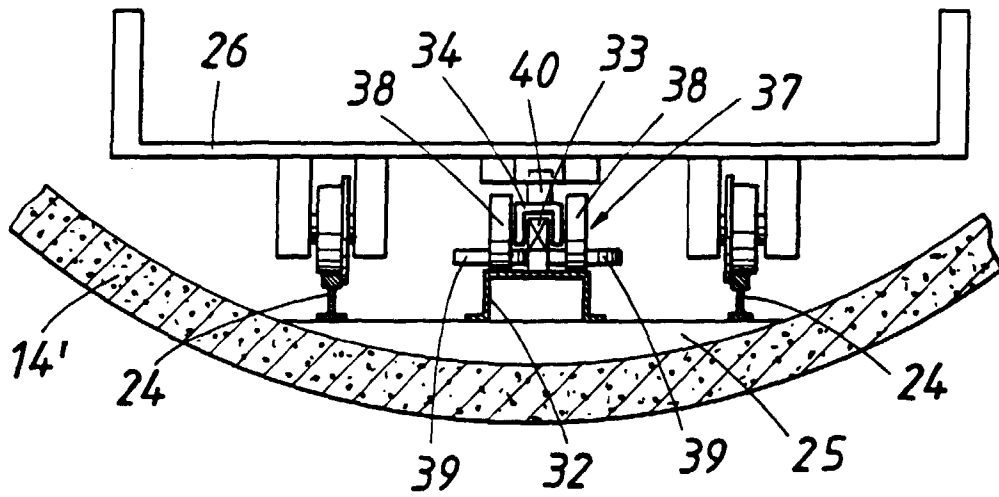


FIG.8

