

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 534 338 A2**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92116084.2**

(51) Int. Cl.⁵: **E21B 47/022**, E21B 7/06,
E21B 7/20

(22) Anmeldetag: **21.09.92**

(30) Priorität: **24.09.91 DE 4131673**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.03.93 Patentblatt 93/13

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI NL SE

(71) Anmelder: **Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH**
Alte Nussdorfer Strasse 15 Postfach 1120
W-7770 Überlingen/Bodensee(DE)
Anmelder: **Colshorn, Helmut**
Kirchheimer Strasse 8
W-7317 Wendlingen(DE)
Anmelder: **Bosse, Carl B.**
Am Bahnhof 5
W-3060 Stadthagen(DE)

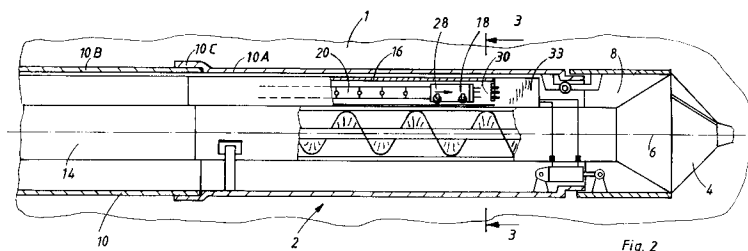
(72) Erfinder: **Heitmann, Peter**
Römerstrasse 19
W-7772 Uhlidingen 1(DE)
Erfinder: **Müller, Franz Josef**
Zum Guggenbühl 10
W-7776 Owingen(DE)
Erfinder: **Colshorn, Helmut**
Kirchheimer Strasse 8
W-7317 Wendlingen(DE)
Erfinder: **Bosse, Carl B.**
Am Bahnhof 4
W-3060 Stadthagen(DE)

(74) Vertreter: **Weisse, Jürgen, Dipl.-Phys. et al**
Patentanwälte Dipl.-Phys. Jürgen Weisse
Dipl.-Chem. Dr. Rudolf Wolgast Bökenbusch
41 Postfach 11 03 86
W-5620 Velbert 11 Langenberg (DE)

(54) **Steuereinrichtung für eine Tunnelbohrmaschine.**

(57) Die Steuereinrichtung enthält eine Sensoreinheit (18) mit einem dynamisch abgestimmten Kreisel, der zwei lineare, orthogonalen Messachsen zugeordnete Beschleunigungsmesser enthält und auf Azimutal- und Nickbewegungen anspricht. Die Sensoreinheit befindet sich in einem Gehäuse (28), das in einem Laufrohr (16) reproduzierbar geführt ist. In ihrer Arbeitsstellung ist die Sensoreinheit mit dem Vortriebskopf (4) der Tunnelbohrmaschine lösbar verbunden. Das Gehäuse ist mit Hilfe eines an einer Trommel (22) auf- und abwickelbaren Kabels (20) in dem

Laufrohr und aus dem Laufrohr in eine Referenzstellung verfahrbar. In der Referenzstellung erfolgt zu bestimmten Zeitpunkten der Tunnelbohrung eine Neujustierung der Sensoreinheit. Die Ausgangssignale der Sensoreinheit und einer Weglängenmess-einrichtung an der Trommel werden in einer Steuereinheit (26) zur Bestimmung der Position des Vortriebskopfes ausgewertet, wobei Abweichungen von einer Sollachse (6) bestimmt werden und zur Regelung des Vortriebs dienen.



EP 0 534 338 A2

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Steuervorrichtung zur Steuerung des Vortriebs eines Vortriebskopfes, beispielsweise für eine Tunnelbohrmaschine), mit einem Signalgeber, von welchem Steuersignale im Sinne einer Führung des Vortriebskopfes längs einer vorgegebenen Bahn ableitbar sind.

Zugrundeliegender Stand der Technik

Es ist bekannt, bei Tunnelbohrmaschinen die Vermessung und Steuerung des Vortriebs des Vortriebskopfes beispielsweise durch einen Theodoliten oder einen Laserstrahl als Leitstrahl vorzunehmen, vgl. z.B. D. Stein, K. Möllers und R. Bielecki; "Leitungstunnelbau"; Ernst und Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1988, Seiten 195 bis 204. Dabei trifft der Laserstrahl über grössere Entfernungen auf eine mit Photodioden besetzte Zieltafel die als Matrix geschaltet ist und sich im Vortriebskopf der Tunnelbohrmaschine befindet. Bei kleineren Entfernungen bis zu 40 Meter kann auch ein Theodolit in Verbindung mit einer beleuchteten Zielscheibe im Vortriebskopf eingesetzt werden.

Weicht der Vortrieb des Vortriebskopfes von der Ausrichtung zu der Sollachse ab, die durch den Laserstrahl vorgegeben wird, so werden aussermittig an der Zielscheibe angeordnete Photodioden von dem Laserstrahl beaufschlagt. Dadurch werden Steuersignale erzeugt, die auf die Steuereinheit des Vortriebskopfes einwirken und dadurch den Vortrieb wieder auf die Ausrichtung zur Sollachse zurückführen.

Die Verwendung eines Laserstrahls, also eines Lichtstrahls zur Steuerung des Vortriebs ist mit einer Reihe von Nachteilen verbunden, die durch die Eigenschaften des Laserstrahls bedingt sind und die Durchführung der Steuerung negativ beeinflussen. Dazu gehört, dass ungleichmässige Erwärmungen der Luft im Tunnelrohr Luftschichtungen hervorrufen können, die den Laserstrahl brechen und dadurch eine bogenförmige Abweichung von der Sollachse bewirken. Durch Luftturbulenzen im Tunnelrohr kann der Laserstrahl ferner so weit deformiert werden, dass die Steuerung unmöglich gemacht wird. Wird der Vortriebsweg durch Hindernisse so stark aus dem vorgeschriebenen Vortriebsweg gedrängt, dass der Laserstrahl nicht mehr auf die Zieltafel trifft, wird die Vortriebssteuerung ebenfalls unmöglich gemacht. Schliesslich besteht ein grundsätzlicher Nachteil der Laserstrahlsteuerung darin, dass wegen der geradlinigen Fortpflanzung des Laserstrahls ein gekrümmter Vortriebsweg nicht durchlaufen werden kann.

Aus der genannten Literaturstelle (Seiten 201 und 202) ist weiterhin eine Laser-Positions- und

Richtungsüberwachungseinrichtung bekannt, bei welcher ein mit einer Vortriebsmaschine verbundenes optisches Empfangsgerät "aktive Zieltafeln" aufweist, die von einem Laserstrahl beaufschlagt sind und Ablagesignale liefern. In dem optischen Empfangsgerät sind zwei um 90° versetzte Neigungsmesser vorgesehen, welche den Rollwinkel und den Nickwinkel des Empfangsgerätes liefern. Aus den Ablagesignalen und Roll- und Nickwinkel liefert ein Steuerrechner die Parallelabweichungen sowie den Gierwinkel bezogen auf den Laserstrahl.

Auch hier wird die Vortriebsmaschine nach einem Laserstrahl geführt.

Es ist weiterhin bekannt eine Vortriebsmaschine durch eine CCD-Kamera zu steuern. Die CCD-Kamera beobachtet eine an dem Vortriebskopf angebrachte Zielscheibe. Deren Auslenkungen aus einer Sollage werden von der CCD-Kamera erfasst und in Steuersignale umgesetzt. An der CCD-Kamera sind Neigungsmesser angebracht. Dadurch wird die Lage der CCD-Kamera bestimmt. Auch hier machen sich temperaturbedingte Brechungen in Luftschichten genau wie bei der Steuerung nach einem Laserstrahl störend bemerkbar.

Es ist weiterhin bekannt, die Vortriebsrichtung mittels eines nordsuchenden Kreisels oder eines Kreiselkompasses zu bestimmen. Dabei wird die Lage der Vortriebsmaschine mit dem Kreisel diskontinuierlich nach dem Einbau jedes Rohres bestimmt und die Winkelabweichung zu Nord notiert. Durch ein Rechnerprogramm wird daraus die Vortriebsrichtung bestimmt.

Durch die US-A-4 823 626 und die EP-A-0 251 157 ist eine Trägheitssensoranordnung mit zwei elektrisch gefesselten, dynamisch abgestimmten Kreisel und drei Beschleunigungsmessern bekannt. Die Kreisel bestimmen drei zueinander senkrechte Eingangsachsen. Abgriffssignale werden nach A/D-Wandlung einem digitalen Rechner zugeführt, der einen Teil der Fesselkreise bildet. Die Ausgangssignale sind auf einen D/A-Wandler geschaltet, der entsprechende Ströme auf die Drehmomenterzeuger der Kreisel gibt.

Einen elektrisch gefesselten Kreisel mit digitalem Fesselkreis zeigt auch die US-A-4 282 470.

Die DE-C-29 22 415 zeigt ein Navigationsgerät für Land-, Luft- oder Seefahrzeuge. Das Navigationsgerät enthält eine inertielle Sensoreinheit mit einem zweiachsigen elektrisch gefesselten Kreisel und zwei Beschleunigungsmessern. Aus den Signalen der Sensoreinheit werden Lageparameter gewonnen. Aus den Lageparametern und Geschwindigkeitsinformationen von einem Geschwindigkeitsgeber wird die Position berechnet.

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Steuereinrichtung für einen Vortriebskopf (z. B. für eine Tunnelbohrmaschine) so auszubilden, dass sie eine kontinuierliche, genaue Steuerung des Vortriebskopfes bzw. seines Trägers weitgehend unabhängig von äusseren Einflüssen gestattet.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass als Steuersignalgeber mit dem Vortriebskopf bzw. seinem Träger eine autonome, auf Lageänderungen im Raum ansprechende inertielle Sensoreinheit verbunden ist.

Die inertielle Sensoreinheit kann mit Kreisel und Beschleunigungsmessern aufgebaut sein. Die Sensoren der inertialen Sensoreinheit können aber auch Drehgeschwindigkeitssensoren enthalten, die auf dem Sagnac-Effekt beruhen, z.B. "Laserkreisel".

Auf diese Weise werden die Steuersignale von einer autonomen inertialen Sensoreinheit geliefert, die mit dem Vortriebskopf verbunden ist. Die Sensoreinheit ist unabhängig von einem Laserstrahl oder den Sichtverhältnissen einer CCD-Kamera. Die Sensoreinheit liefert aber kontinuierlich Steuersignale.

Um den Einfluss von Driften der inertialen Sensoren zu vermindern, ist zweckmässigerweise die Sensoreinheit an den Vortriebskopf durch lösbare Verbindungsmittel in definierter Lage ankuppelbar und zur Driftkorrektur wahlweise in eine genau vermessene Ausgangsposition zurückführbar. Diese Vermessung der Ausgangsposition kann mittels eines Meridiankreisels erfolgen. Die Sensoreinheit wird bei einer nach der Schildbauweise arbeitenden Tunnelbohrmaschine zweckmässigerweise jedesmal dann in die Ausgangsposition zurückgeführt, wenn ein neuer Rohrabchnitt in die Tunnelbohrung eingeführt wird.

Dabei kann vorteilhafterweise die Sensoreinheit in einem in der Tunnelbohrung verlaufenden Führungsrohr geführt sein. Die Sensoreinheit kann dann durch Führungsglieder in dem Führungsrohr in definierter Lage zu dessen Wandung geführt sein.

Bei einer bevorzugten Ausführung enthält die Sensoreinheit einen zweiachsigen, elektrisch gefesselten Wendekreis mit zwei zueinander und zu der Drallachse senkrechten Eingangsachsen. Weiterhin weist die Steuereinheit zwei Beschleunigungsmesser auf, die auf Beschleunigungen in Richtung einer der Eingangsachsen bzw. der Drallachse des zweiachsigen Wendekreisels ansprechen.

Zur Bestimmung nicht nur der Lage sondern auch der Position des Vortriebskopfes kann ein Weggeber vorgesehen sein, der ein Mass für den Vorschubweg der Sensoreinheit bezogen auf einen

Referenzpunkt liefert, wobei Mittel zur Bestimmung der Position der Sensoreinheit aus Lagesignalen der Sensoreinheit und Wegsignalen des Weggebers nach der Methode der Koppelnavigation vorgesehen sind. Der Weggeber kann dabei aus einem Kabel bestehen, das von einem im Referenzpunkt oder einem sonstigen bekannten und vermessenen Punkt angeordneten Kabelspeicher abwickelbar ist. Das Kabel kann gleichzeitig Versorgungs- und Messleitungen der Sensoreinheit enthalten.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen:

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen

- Fig. 1 eine schematische Längsschnittansicht einer Tunnelbohrmaschine, die mit der erfindungsgemässen Steuereinrichtung ausgerüstet ist;
- Fig. 2 eine Detailansicht von Fig. 1 in vergrössertem Maßstab;
- Fig. 3 einen Querschnitt durch die Tunnelbohrmaschine nach Fig. 2 entlang der Linie 3-3 in Fig. 2;
- Fig. 4 eine schematische Seitenansicht des Gehäuses der Sensoreinheit in der Tunnelbohrmaschine nach Fig. 2.
- Fig. 5 eine Draufsicht auf die Sensoreinheit von Fig. 4,
- Fig. 6 zeigt den Aufbau der als Referenzpunkt für die Sensoreinheit dienenden Start- und Referenzrampe mit einer Kabeltrommel des Weggebers und die Anordnung dieser Teile in bezug auf eine Pressvorrichtung, durch welche Rohrabchnitte in die Tunnelbohrung hineinschiebbar sind.
- Fig. 7 zeigt als Blockdiagramm die inertielle Sensoreinheit und die Verarbeitung der von dieser gelieferten Signale.

Bevorzugte Ausführung der Erfindung

In der schematischen Längsschnittansicht von Fig. 1 erkennt man im Erdreich 1 eine nach der Schildbauweise arbeitenden Tunnelbohrmaschine 2 mit einem Vortriebskopf 4, der in einer Vortriebsrichtung von links nach rechts entlang einer Sollachse 6 von einer Startbaugrube 1A in das Erdreich 1 vorgetrieben wird. Die von dem Vortriebskopf 4 gebohrte Tunnelbohrung 8 ist mit einem Tunnelrohr 10 ausgekleidet, das am rückwärtigen Ende der Tunnelbohrung 8 durch eine an sich bekannte und daher nicht weiter beschriebene Tunnelrohreführung 12 in die Tunnelbohrung 8 eingeführt wird.

Innerhalb des Tunnelrohres 10 verläuft ausgehend vom rückwärtigen Ende des Vortriebskopfes 4 eine Fördereinrichtung 14 für das von dem Vortriebskopf 4 ausgebrochene Gestein. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist diese als rohrförmige Fördereinrichtung ausgebildet, in deren Innerem das ausgebrochene Gestein durch bekannte Fördermittel abgefördert und ausgetragen wird.

Zwischen dem Tunnelrohr 10 und der rohrförmigen Fördereinrichtung 14 befindet sich ein Laufrohr 16, in dem eine Sensoreinheit 18 geführt ist. Die Sensoreinheit 18 ist in der weiter unten beschriebenen Weise mit dem Vortriebskopf 4 lösbar verbunden und an ein Kabel 20 angeschlossen, das alle Versorgungs- und Datenübertragungsleitungen für die Sensoreinheit 18 enthält. Das Kabel 20 ist in einem Strang ohne Verbindungselemente ausgebildet und an einer Trommel 22 auf- und abwickelbar, wodurch die Sensoreinheit 18 in dem Laufrohr 16 verfahren wird. Das Kabel 20 ist durch eine nur schematisch angedeutete Verbindungsleitung 24 mit einer oberirdisch angeordneten Steuereinheit 26 verbunden. Durch die Verbindungsleitung 24 werden von der Sensoreinheit 18 ausgehende Steuersignale der Steuereinheit 26 zugeführt, die den Vortrieb des Vortriebskopfes 4 überwacht und entsprechend den von der Sensoreinheit 18 ausgehenden Steuersignalen steuert. Die Verbindungsleitung 24 soll ferner andeuten, dass über diese Verbindungsleitung 24 die Trommel 22 angesteuert wird, um das Kabel 20 auf- oder abzuwickeln und dadurch die Sensoreinheit 18 entsprechend in dem Laufrohr 16 zu verfahren. Die Trommel 20 enthält eine übliche Weglängenmessenrichtung, die zur Messung der abgewickelten Kabellänge dient und an die Steuereinheit 26 angeschlossen ist.

Im einzelnen enthält die Sensoreinheit einen konventionell gebauten, dynamisch abgestimmten Kreisel, der mit zwei linearen Beschleunigungsmessern in zwei zueinander orthogonalen Messachsen versehen ist und dadurch auf Azimutal- und Nickbewegungen anspricht. In der Startbaugrube 1A befindet sich eine Start- und Referenzrampe als Referenzpunkt 15, über welche die Sensoreinheit 18 ausgerichtet und mit Hilfe eines Teleskoprohres in das Laufrohr 16 ein- und ausgefahren wird. Die Start- und Referenzrampe wird zum Beispiel durch terrestrische Vermessung oder mittels eines nord-suchenden Kreisels mit einer Winkelgenauigkeit von 1,5 Winkelminuten azimutal ausgerichtet.

Die Steuereinheit 26 enthält einen Navigationsrechner, der die von der Sensoreinheit 18 und der Weglängenmessenrichtung ausgehenden Signale empfängt und auswertet. Dabei ist eine Koppelnavigation der Sensoreinheit 18 dadurch möglich, dass der dynamisch abgestimmte Kreisel mit den beiden linearen Beschleunigungsmessern in konven-

tioneller Weise die Drehgeschwindigkeiten um die Azimut- und Nickachse und daraus durch Integration die jeweiligen Drehwinkel und die Weglängenmessenrichtung Signale über den zurückgelegten Weg liefert. Von den Beschleunigungsmessern ausgehende Signale werden in zweifacher Weise genutzt: einerseits wird durch Rückführung dieser Signale der Lagealgorithmus gerechnet; andererseits werden die momentanen Signale zur Fehlerkompensation der beschleunigungsabhängigen Fehlerterme des Kreisels verwendet.

In dem vergrößerten Maßstab von Fig. 2 erkennt man, dass das Tunnelrohr 10 aus Rohrabschnitten zusammengesetzt ist, die in der Schildbauweise nacheinander in die Tunnelbohrung 8 eingeführt werden. Es sind nur die beiden Rohrabschnitte 10A und 10B dargestellt, die durch einen übergreifenden Kragen 10C in üblicher Weise zusammengehalten werden. Das Laufrohr 16 ist ebenfalls aus einzelnen Abschnitten zusammengesetzt, die fest mit den Rohrabschnitten 10A und 10B verbunden sind und daher zusammen mit den Rohrabschnitten des Tunnelrohres 10 in die Tunnelbohrung 8 eingeführt werden.

Die Sensoreinheit 18 befindet sich in einem Gehäuse 28, das in dem Laufrohr 16 mittels des Kabels 20 zwischen einer Arbeitsstellung und einer Referenzstellung verfahrbar ist. In der Darstellung von Fig. 2 ist die Meßsonde 18 aus der Arbeitsstellung am Vortriebskopf 4 gelöst. Die Verbindung wird in der Arbeitsstellung durch eine Steckverbindung 30 zwischen dem Gehäuse 28 und einem Verbindungskasten 33 hergestellt.

Nach der Darstellung von Fig. 3 hat das Laufrohr 16 rechteckigen Querschnitt. Das Gehäuse 28 der Sensoreinheit 18 ist mit Führungselementen versehen, die das Gehäuse 28 innerhalb des Laufrohres 16 in reproduzierbarer Einstellung zu dem Laufrohr 16 führen. Dadurch wird erreicht, dass die Sensoreinheit 18 innerhalb des Laufrohres 16 reproduzierbare Stellungen einnimmt. Im einzelnen, vgl. Fig. 4 und 5, ist das Gehäuse 28 der Sensoreinheit 18 zylinderförmig ausgebildet. Die Führungselemente enthalten beispielsweise eine Gleitkufe 32, die an der Oberseite des Gehäuses 28 angebracht und an der Oberseite eines rechteckig ausgebildeten Laufrohres 16 geführt ist, und Rollen 38 und 40, die an radial von dem Gehäuse 28 der Meßsonde 18 vorstehenden Trägern in gegenüberliegenden Ecken an der Unterseite des rechteckigen Laufrohres 16 geführt sind. Es können aber auch andere gängige Führungselemente und andere geometrische Formen für das Laufrohr 16 und die darin ausgebildeten Führungsbahnen oder -rillen gewählt werden um sicherzustellen, dass das Gehäuse 28 und damit die Sensoreinheit 18 stets in reproduzierbarer Stellung in dem Laufrohr 16 geführt werden.

Wie Fig. 4 zeigt, erstreckt sich die Gleitkufe 32 über einen wesentlichen Teil der axialen Länge des Gehäuses 28 der Sensoreinheit 18 und ist auf Federn 34 abgestützt. Die Federn 34 stützen sich in Federgehäusen 36 mittig an der Oberseite des Gehäuses 28 der Sensoreinheit 18 ab. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwei gegenüberliegende Rollenpaare 38 und 40 jeweils nahe den axialen Enden des Gehäuses 28 vorgesehen.

In Fig. 6 ist der "Referenzpunkt" in einem Vertikalschnitt dargestellt.

Mit 1A ist eine vertikale Startbaugrube bezeichnet, von welcher die waagerechte Tunnelbohrung 8 abgeht. In die Tunnelbohrung 8 ist ein Tunnelrohr 10, wie in Fig. 2 dargestellt, in einzelnen Abschnitten eingeschoben. Das geschieht in bekannter Weise mittels eines Preßschildes 44. Das Preßschild 44 wird auf einer waagerechten Führungsschiene 46 geführt. Die Führungsschiene 46 ist über Ständer 48, 50 auf dem betonierten Fundament 52 am Boden der Startbaugrube abgestützt. Das Preßschild 44 und die Führungsschiene 46 fluchten mit der Achse 54 der Tunnelbohrung 8. Das Preßschild 44 kann durch einen Preßzylinder 56 nach rechts in Fig. 6 vorbewegt werden und drückt dann einen Rohrabschnitt des Tunnelrohres 10 in die Tunnelbohrung 8.

Der Referenzpunkt 15 für die Sensoreinheit 18 ist eine Start- und Referenzrampe 58, die über einen Ständer 60 und ein eigenes Fundament 62 unabhängig von dem Pressmechanismus auf dem Boden abgestützt ist. Die Start- und Referenzrampe 58 wird daher von den Schwingungen des Pressmechanismus praktisch nicht beeinflusst.

Die Sensoreinheit 18 enthält gemäß Fig. 7 einen zweiachsigen, elektrisch gefesselten dynamisch abgestimmten Kreisel 64 und zwei Beschleunigungsmesser 66 und 68 in einem Sensorblock 70. Die Signale des Kreisels 64 und die Signale der Beschleunigungsmesser 66 und 68 sind auf eine Sensorelektronik 72 aufgeschaltet. Die Sensorelektronik 72 enthält die Kreiselbetriebs-elektronik 74 und einen Analog-Digital-Wandler 76. Der Analog-Digital-Wandler 76 erhält die Beschleunigungssignale von den Beschleunigungsmessern 66 und 68 sowie über die Kreiselbetriebs-elektronik 74 Winkelgeschwindigkeitssignale von dem Kreisel 64. Die digitalisierten Signale sind auf einen Signalprozessor 78 aufgeschaltet. In dem Signalprozessor 78 erfolgt die Verarbeitung der Signale. Es erfolgt dann eine Digital-Analog-Wandlung, wobei die beiden erhaltenen analogen Ausgangssignale über Leitungen 80 und 82 auf Drehmomenterzeuger des dynamisch abgestimmten Kreisels 64 aufgeschaltet sind. An einem Ausgang 84 liefert der Signalprozessor 78 digitale Ausgangssignale, welche den Winkelgeschwindigkeiten um die Eingangsachsen des Kreisels 64 entspre-

chen. Mit 86 ist die Stromversorgung der Sensoreinheit 18 bezeichnet.

Die Anordnung entspricht etwa der EP-A-0 251 157 oder der US-A-4 823 626. Die Drallachse des dynamisch abgestimmten Kreisels liegt in Vortriebsrichtung. Die Eingangsachsen des Kreisels liegen im wesentlichen waagerecht und senkrecht. Der Kreisel 64 liefert dadurch Winkelgeschwindigkeiten um die Nick- und die Gierachse. Die Eingangsachsen der Beschleunigungsmesser 66 und 68 sind parallel zu der einen, in Richtung der Nickachse fallenden Eingangsachse bzw. zu der Drallachse.

Die digitalen Winkelgeschwindigkeiten am Ausgang 84 sind über die Leitung 24 auf die an der Erdoberfläche angeordnete Steuereinheit 26 (Fig. 1) geschaltet. Die Steuereinheit 26 enthält einen Zentralrechner 88 für Navigation und Steuerung. Über eine Schnittstelle 90 sind auf den Zentralrechner 88 die Winkelgeschwindigkeiten vom Kreisel 64 und die Beschleunigungen von den Beschleunigungsmessern 66 und 68 aufgeschaltet. Die Steuereinheit 26 enthält weiterhin eine Weglängen-Messeinrichtung 92. Die Weglängen-Messeinrichtung 92 liefert den Vorschubweg der Sensoreinheit 18 anhand der von der Trommel 22 abgewickelten Länge des Kabels 20. Auch dieser Vorschubweg ist über die Schnittstelle 90 auf den Zentralrechner 88 geschaltet. Weiterhin erhält der Zentralrechner 88 Eingaben von einer Anzeige- und Bedieneinheit 94. Mit 96 ist die Stromversorgung der Steuereinheit 26 bezeichnet.

Der Zentralrechner 88 ermittelt aus den gerätefesten Winkelgeschwindigkeits- und Beschleunigungssignalen Winkelgeschwindigkeiten der Sensoreinheit 18 in einem erdfesten System. Aus diesen Winkelgeschwindigkeiten werden Lagewinkel oder Elemente der Richtungskosinusmatrix berechnet. Aus den Lagewinkeln bzw. den Elementen der Richtungskosinusmatrix kann in Verbindung mit dem Vorschubweg von der Weglängen-Messeinrichtung 92 die jeweilige Position der Sensoreinheit 18 bestimmt werden.

Die Signalverarbeitung kann in ähnlicher Weise erfolgen, wie das in der DE-A-29 22 415 beschrieben ist. Die Steuereinheit 26 liefert Steuersignale für den Vortriebskopf 4, welche den Vortriebskopf 4 in einer vorgegebenen Vortriebsrichtung zu halten trachten aber ausserdem auf die Einhaltung einer vorgegebenen Bahn hinwirken.

Die vorstehend beschriebene Steuereinrichtung arbeitet folgendermassen:

Der Vortriebskopf 4 der Tunnelbohrmaschine 2 wird im Erdreich entlang der Sollachse 6 vorgetrieben, wobei das ausgebrochene Gestein durch die rohrförmige Fördereinrichtung 14 ständig abgefördert und ausgetragen wird. Das Gehäuse 28 der Sensoreinheit 18 ist durch die Steckverbindung 30

mit dem Vortriebskopf 4 verbunden und wird gemeinsam mit diesem aber in dem gesonderten Laufrohr 16 vorgetrieben. Die von der Meßsonde 18 ausgehenden Daten oder Steuersignale werden über das Kabel 20 der Steuereinheit 26 zugeführt, wodurch der Vortrieb des Vortriebskopfes 4 laufend überwacht und zu der Sollachse 6 in Ausrichtung gehalten wird. Dabei erhält die Steuereinheit 26 von der Weglängenmesseinrichtung der Trommel 20 aus der abgewickelten Kabellänge auch die Daten über den zurückgelegten Weg, so dass die Position der Sensoreinheit 18 und damit die Position des Vortriebskopfes 4 durch den Navigationsrechner der Steuereinheit 26 während des Vortriebs jederzeit genau bestimmt ist. Wenn der Vortrieb der Tunnelbohrung 8 über die Länge des Rohrabschnittes 10A des Tunnelrohres 10 erfolgt ist, wird die Trommel 22 angetrieben, um das Kabel 20 aufzuwickeln, das Gehäuse 28 der Sensoreinheit 18 aus der Steckverbindung 30 zu lösen und das Gehäuse 28 mit der Sensoreinheit 18 in dem Laufrohr 16 aus der Arbeitsstellung in die Referenzstellung auf der Start- und Referenzrampe 58 zu verfahren. Wenn das Gehäuse 28 der Sensoreinheit 18 die Referenzstellung erreicht hat, wird die Justierung der Sensoreinheit 18 überprüft. Der Rohrabschnitt 10B wird in die Tunnelbohrung 8 eingeführt und in Eingriff mit dem Flansch 10C an dem rückwärtigen Ende des bereits eingebrachten Rohrabschnittes 10A gebracht. Dadurch entsteht ein um die Länge des Rohrabschnittes 10B verlängertes Tunnelrohr 10, dessen Rohrabschnitte 10A und 10B genau zueinander ausgerichtet sind. Dadurch ist auch ein weiterer Abschnitt des Laufrohres 16 fluchtend mit dem bereits vorhandenen Abschnitt eingebracht.

Danach wird das Gehäuse 28 durch Abwickeln des Kabels 20 von der Trommel 22 von der Start- und Referenzrampe 58 über das Teleskoprohr wieder in das verlängerte Laufrohr 16 eingeführt und darin in exakt reproduzierbarer Weise bis zur Arbeitsstellung verfahren, in der die Steckverbindung 30 zu dem Verbindungskasten 33 wieder hergestellt wird. Der Vortriebskopf 4 ist dann zum erneuten Vortrieb in Ausrichtung zur Sollachse 6 um eine weitere Rohrabschnittslänge bereit.

Die Neujustierung der Sensoreinheit 18 jeweils nach dem Vortrieb des Vortriebskopfes 4 über eine Rohrabschnittslänge hat den Vorteil, dass eine Sensoreinheit 18 und damit ein Kreisel relativ geringer Einbaugröße und mit relativ geringen Genauigkeitsansprüchen insbesondere hinsichtlich der Langzeitkonstanz verwendet werden kann.

Als weiterer Vorteil ergibt sich aus der vorstehend beschriebenen Betriebsweise, dass durch die Sensoreinheit 18 auch ein Parallelversatz des Vortriebskopfes 4 zur Sollachse 6 erfasst werden kann.

Vorstehend ist die Steuereinrichtung mit der Sensoreinheit 18 im Zusammenhang mit einer nach der Schildbauweise arbeitenden Tunnelbohrmaschine 2 beschrieben worden. Es versteht sich, dass eine solche Steuereinrichtung bei entsprechenden, dem Fachmann ohne weiteres zugänglichen Modifikationen auch in Verbindung mit nach anderen Prinzipien arbeitenden Tunnelbohrmaschinen eingesetzt werden kann.

Patentansprüche

1. Steuereinrichtung zur Steuerung des Vortriebs eines Vortriebskopfes (4), beispielsweise für eine Tunnelbohrmaschine, mit einem Steuersignalgeber, von welchem Steuersignale im Sinne einer Führung des Vortriebskopfes längs einer vorgegebenen Bahn ableitbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Steuersignalgeber mit dem Vortriebskopf (4) oder seinem Träger eine autonome, auf Lageänderungen im Raum ansprechende inertielle Sensoreinheit (18) verbunden ist.
2. Steuereinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (18) an den Vortriebskopf (4) durch lösbare Verbindungsmittel (30) in definierter Lage ankuppelbar und zur Driftkorrektur wahlweise in eine genau vermessene Ausgangsposition (15) zurückführbar ist.
3. Steuereinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (18) in einem in der Tunnelbohrung verlaufenden Laufrohr (16) geführt ist.
4. Steuereinrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (18) durch Führungsglieder (38,40) in dem Laufrohr (16) in definierter Lage zu dessen Wandung geführt ist.
5. Steuereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinheit (18) einen zweiachsigen elektrisch gefesselten Wendekreis (64) mit zwei zueinander und zu der Drallachse senkrechten Eingangsachsen enthält.
6. Steuereinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (18) zwei Beschleunigungsmesser (66,68) aufweist, die auf Beschleunigungen in Richtung einer der Eingangsachsen bzw. der Drallachse des zweiachsigen Wendekreises (64) ansprechen.

7. Steuereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Weggeber (92) vorgesehen ist, der ein Mass für den Vorschubweg der Sensoreinheit bezogen auf einen Referenzpunkt (15) liefert und dass Mittel zur Bestimmung der Position der Sensoreinheit (18) aus Lagesignalen der Sensoreinheit (18) und Wegsignalen des Weggebers (92) nach der Methode der Koppelnavigation vorgesehen sind.
8. Steuereinrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Weggeber (92) ein Kabel (20) enthält, das von einem im Referenzpunkt (15) angeordneten Kabelspeicher (22) abwickelbar ist.
9. Steuereinrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kabel (20) Versorgungs- und Messleitungen der Sensoreinheit (18) enthält.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

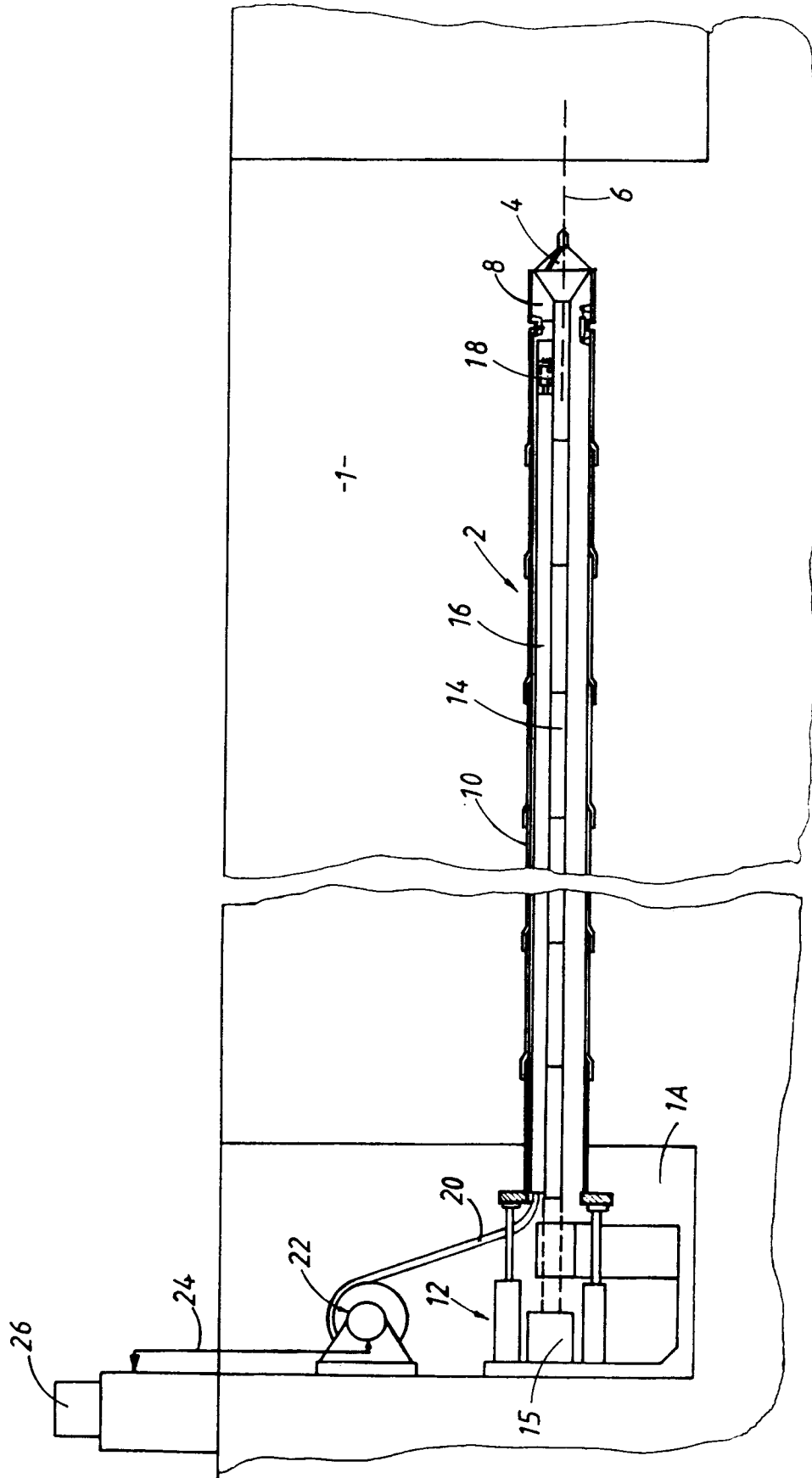


Fig.1

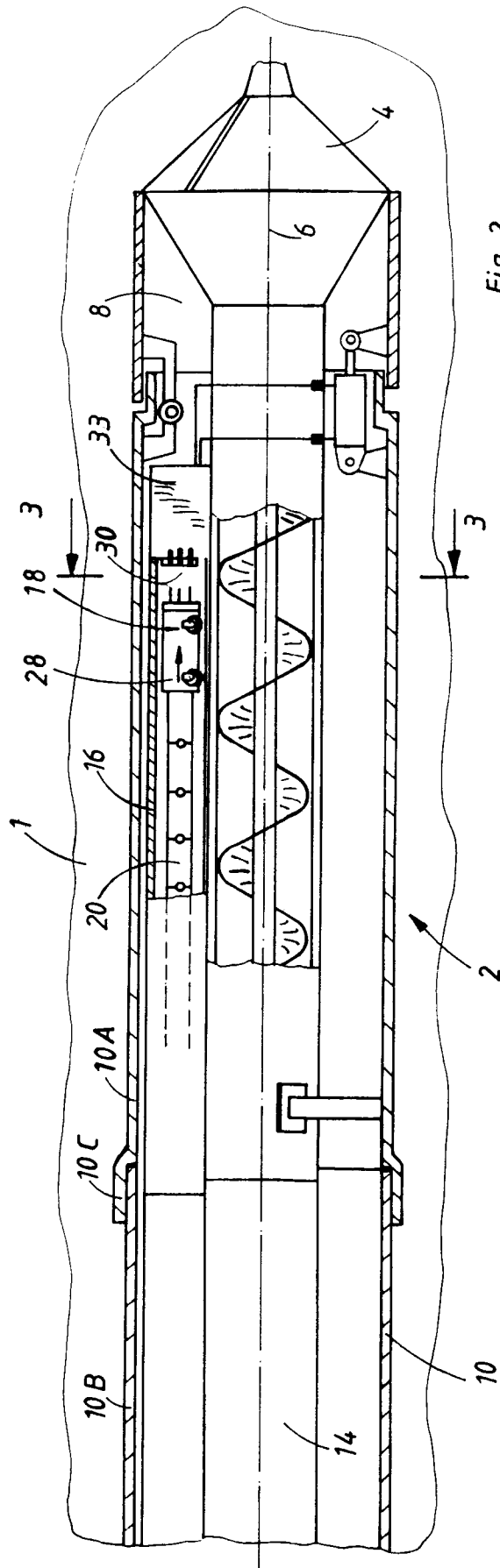


Fig. 2

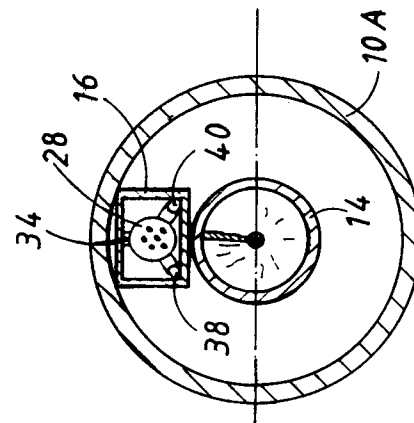
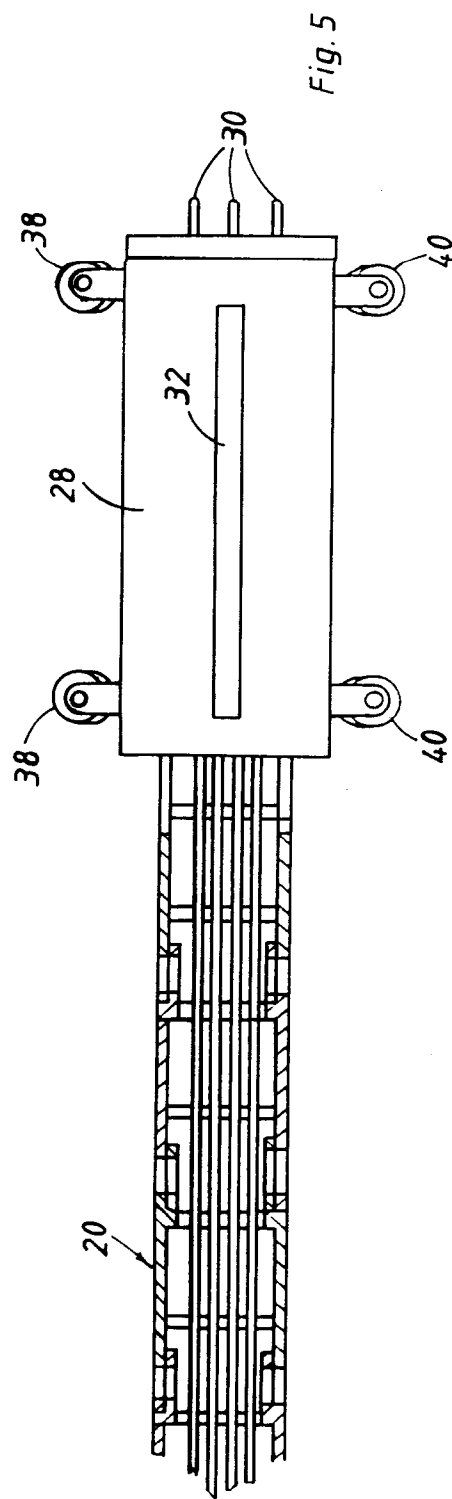
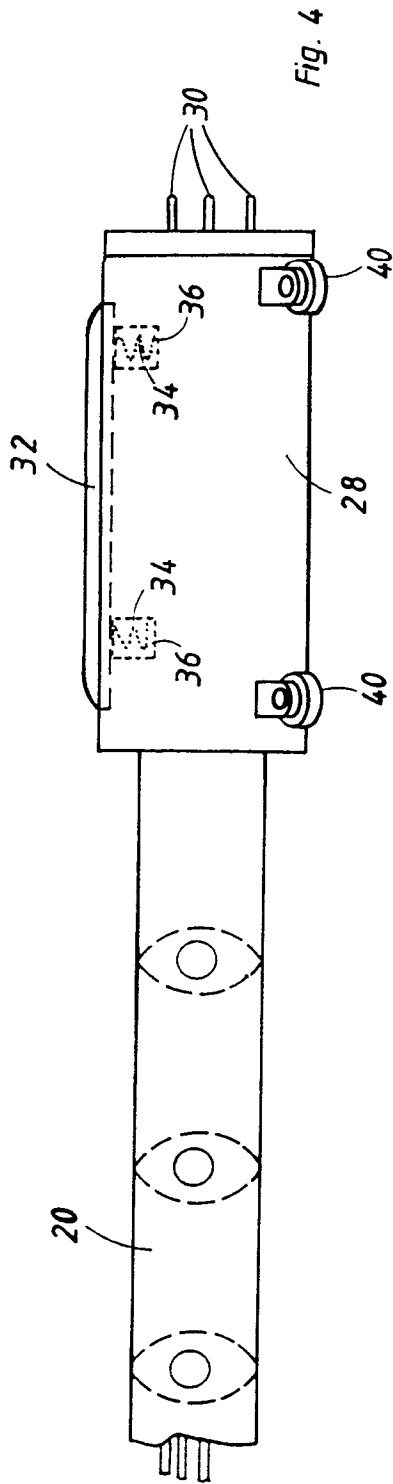
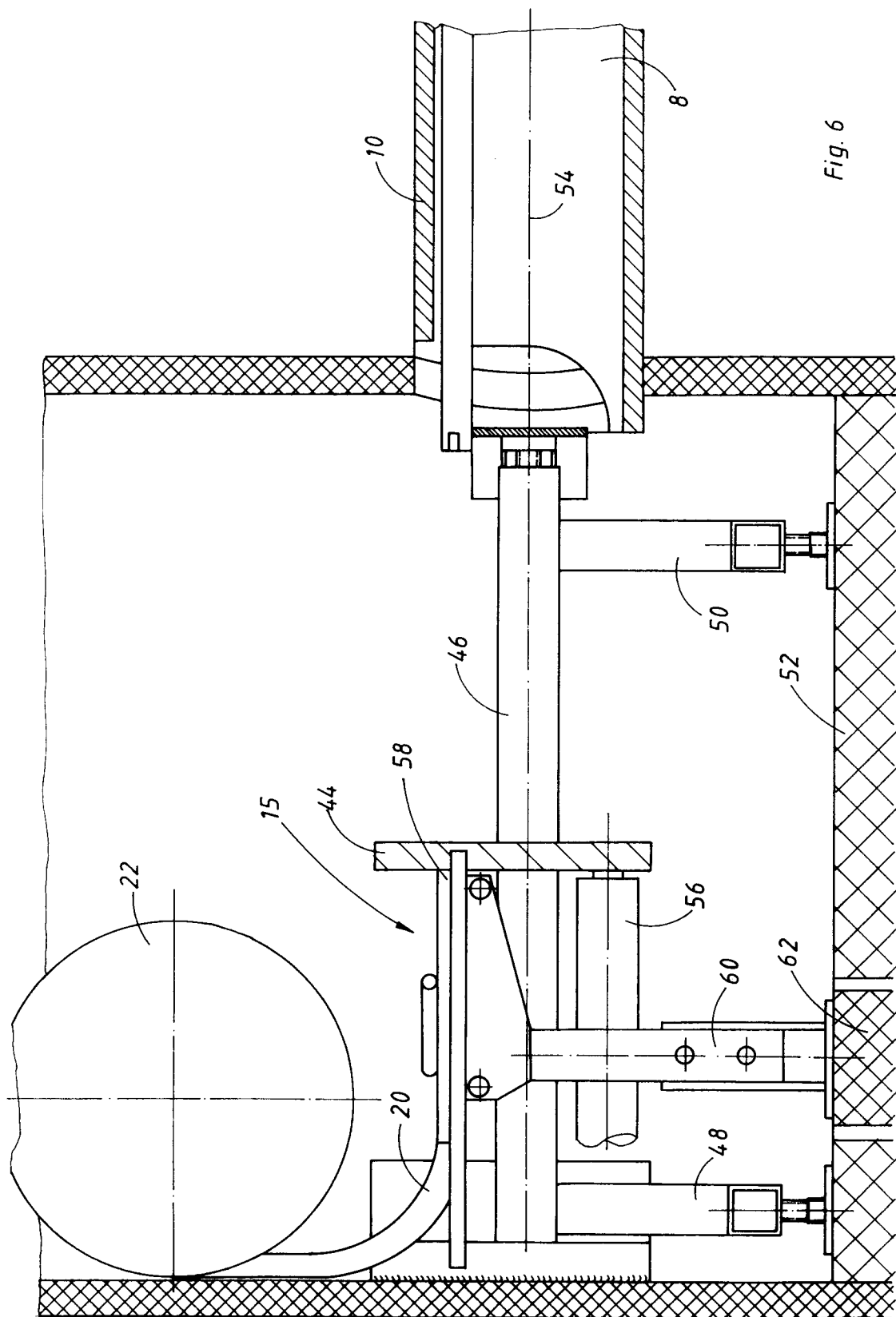


Fig. 3





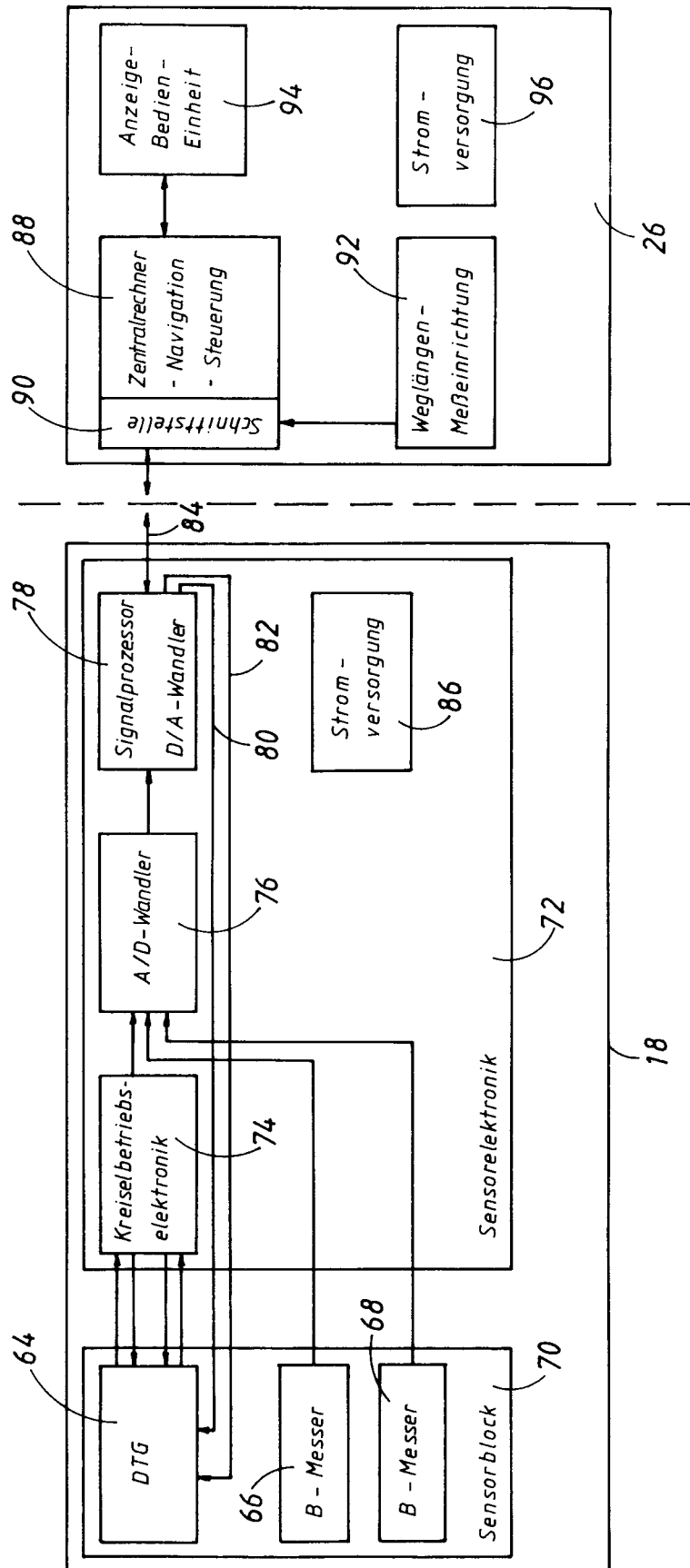


Fig.7