

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50203/2021  
(22) Anmeldetag: 24.03.2021  
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2022

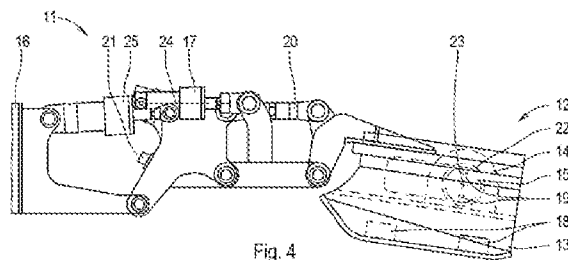
(51) Int. Cl.: **E01B 27/10** (2006.01)  
**E01C 19/22** (2006.01)  
**E02D 3/046** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 2458089 A2  
EP 3219855 A1

(73) Patentinhaber:  
Plasser & Theurer Export von  
Bahnbaumaschinen Gesellschaft m. b. H.  
1010 Wien (AT)

### (54) Vorrichtung und Verfahren zum Verdichten eines Gleisbettes

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (11) zum Verdichten von Planums- und/oder anderen Unterbauschichten bzw. Tragschichten (7, 8, 9) eines Gleises (4), auf einer verfahrbaren Gleisbaumaschine (1) montierbar, umfassend eine Verdichtungseinheit (12), wobei dieser eine Rüttelplatte (13), wenigstens ein Unwuchterreger (14) sowie eine zugehörige Antriebseinheit (15) zugeordnet sind, wobei die Vorrichtung (11) einen Tragrahmen (16) umfasst und die Verdichtungseinheit (12) variabel im Arbeitsbereich des Gleises (4) positionierbar ist, indem die Verdichtungseinheit (12) über einen Verstellaktor (17) mit dem Tragrahmen (16) gekoppelt ist. Dabei ist vorgesehen, dass die Vorrichtung (11) wenigstens zwei Beschleunigungssensoren (18), eine Lagemesseinheit (19) des Unwuchterregers (14) und eine Kraftmesseinheit (20) umfasst. Damit werden die Leistungsfähigkeit sowie die Verdichtungsqualität der Gleisbaumaschine erhöht.



## Beschreibung

### VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM VERDICHTEN EINES GLEISBETTES

#### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Verdichten von Planums- und/oder anderen Unterbauschichten bzw. Tragschichten eines Gleises, auf einer verfahrbaren Gleisbaumaschine montierbar, umfassend eine Verdichtungseinheit, wobei dieser eine Rüttelplatte, wenigstens ein Unwuchterreger sowie eine zugehörige Antriebseinheit zugeordnet sind, wobei die Vorrichtung einen Tragrahmen umfasst und die Verdichtungseinheit variabel im Arbeitsbereich des Gleises positionierbar ist, indem die Verdichtungseinheit über einen Verstellaktor mit dem Tragrahmen gekoppelt ist. Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben der Vorrichtung.

#### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Eine den Anforderungen entsprechende und qualitativ hochwertig ausgeführte Verdichtung von Schüttlagen, Tragschichten oder Frostschutzschichten und dergleichen hat im Bahn- und Tiefbau einen maßgeblichen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit und die Lebensdauer der darauf zu errichtenden Gleisanlage. Als Werkzeuge zur Bodenverdichtung eignen sich gezogene Verdichter, Vibrationswalzen, oder Vibrationsplatten. Im Bahnbau kommen bei Gleisbaumaschinen vorwiegend Vibrationsplatten, auch als Rüttelplattenverdichter bezeichnet, zum Einsatz.

**[0003]** Bei der Verdichtung des Untergrundes besteht grundsätzlich der Wunsch, eine Aussage über den jeweils vorliegenden Verdichtungsgrad zu erhalten, um einerseits die geforderten Verdichtungswerte garantieren zu können und andererseits einen möglichst effizienten Einsatz der Verdichtungsgeräte zu erreichen.

**[0004]** Bei der punktuellen Verdichtungskontrolle wird zwischen direkten und indirekten Prüfverfahren differenziert. Eine Bestimmung der Dichte mitsamt Ermittlung des Verdichtungsgrades entspricht einer direkten Verdichtungskontrolle. Als indirekte Prüfverfahren zählen hingegen die Druck- oder Rammsondierung, die Nivellierung und die Lastdruckplattenversuche. Letztere werden auch als Plattendruckversuche oder Lastplattenversuche bezeichnet und stellen zerstörungsfreie Messverfahren dar.

**[0005]** Der statische Lastplattenversuch als Versuch gemäß ÖNORM B 4417 sowie DIN 18134 dient unter anderem zur Ermittlung des Verformungsmoduls  $E_{v1}$  und  $E_{v2}$  sowie des Verdichtungsverhältnisses  $E_{v2}/E_{v1}$  im gesamten Erd-, Grund- und Straßenbau zur Erstprüfung, Eignungsprüfung und Konformitätsprüfung bzw. Kontrollprüfung. Hingegen liefert der dynamische Lastplattenversuch den dynamischen Verformungsmodul  $E_{vd}$ . Als Richtlinie dient hier die RVS 08.03.04 (März 2008). Aufgrund der einfacheren, praktikablen Handhabung und der sofort gewonnenen Versuchsergebnisse kommt letztere Methode häufig zu Anwendung.

**[0006]** Bislang wird im Bahnbau die Qualität der Verdichtung beim Neubau von Gleisanlagen und Unterbausanierungsarbeiten über den Verformungsmodul  $E_{vd}$  und den Verdichtungsgrad  $D_{pr}$  ermittelt. Bei Bestimmung des Verformungsmoduls ist zu beachten, dass dieser auch von den Eigenschaften des Untergrundes unter der zu verdichtenden Schicht abhängt. Dieser Einfluss folgt aus der Tiefenwirkung der Versuchsmethode.

**[0007]** Den Verdichtungsgrad  $D_{pr}$  erhält man aus den Dichteverhältnissen im Proctorversuch. Der Proctorversuch wird gemäß ÖNORM B 4418 oder auch DIN 18127 ausgeführt. Der Verdichtungsgrad  $D_{pr}$  gibt Auskunft über die Qualität der Verdichtung und kann aus diesem Grund als Kontrollwert herangezogen werden. Der Verdichtungsgrad errechnet sich aus dem Verhältnis der Trockendichte des geprüften Bodens gegenüber der Proctordichte.

**[0008]** Nach aktuellem Stand erfolgt eine Verdichtungskontrolle bedingt durch die aufwendigen und zeitintensiven Messverfahren nur punktuell. Für die Ausführung ist entsprechend geschultes

Fachpersonal erforderlich. Da diese Messungen unterhalb der Gleisbaumaschine durchgeführt werden, ist der gesamte Arbeits- bzw. Verdichtungsprozess zu unterbrechen. Die Gleisbaumaschine muss aus Sicherheitsgründen angehalten und die Gerätschaften zur Ausführung der Versuche installiert werden. Bei dieser konventionellen, punktuellen Prüfmethode erfolgt an ausgewählten Stellen eine Verdichtungskontrolle. Der Nachweis der Verdichtungskontrolle und deren Protokollierung ist auch seitens der Infrastrukturbetreiber und Behörden vorgeschrieben. Ein kontinuierlicher, unterbrechungsfreier und damit lückenloser Verdichtungsnachweis ist mit Rüttelplattenverdichtern bislang nicht möglich.

**[0009]** Mit den oben beschriebenen Versuchen und Methoden sind Messverfahren bekannt, mit deren Hilfe bei entsprechendem Aufwand Bodenkennwerte, wie beispielsweise die Tragfähigkeit oder Elastizitätseigenschaften, erfasst werden können. Diese Messverfahren sind unabhängig von Verdichtungsmaschinen einsetzbar.

**[0010]** Auch weitere, unmittelbar in Zusammenhang mit Verdichtungsmaschinen eingesetzte oder gar auf Verdichtungsmaschinen realisierte Verfahren und Vorrichtungen für die Anwendung im Grund- und Straßenbau sind bekannt. Ein System zur Verdichtungskontrolle bei Vibrationsplatten ist z.B. in der EP 1164223 A2 beschrieben.

**[0011]** Die EP 2458089 A2 offenbart ein Verfahren zur Bestimmung einer Bodeneigenschaft mittels einer Bodenverdichtungsvorrichtung in Form eines Bodenrüttlers. Dabei wird mittels Sensoren das Schwingungsverhalten, vorzugsweise die auftretenden Beschleunigungen gemessen und dadurch auf die Verdichtungskennwerte rückgeschlossen. Diese Kennwerte werden zur Steuerung und Regelung der Bodenverdichtungsvorrichtung genutzt.

**[0012]** Weiters ist der EP 3219855 A1 ein Anbauverdichter zu entnehmen, der von einem Baggerarm eines Baggers aufgenommen und zur Verdichtung eines Planums genutzt werden kann. Eine Sensoranordnung überwacht den Verdichtungs Vorgang und ermöglicht eine optimale Verdichtungsdauer und damit eine Erzielung des gewünschten Verdichtungsgrades. Merkmale für speziell im Gleisbau erforderliche technische Merkmale sind auch diesem Dokument nicht zu entnehmen.

**[0013]** In der EP 1172481 B1 ist eine Maschine zur Erneuerung eines aus Schienen und Schwellen bestehenden Gleises offenbart. Neben einer Aufnahmevorrichtung und einer Ablagevorrichtung für Schwellen, einer Räumvorrichtung zur Aufnahme von Schotter und einer Förderbandeinheit zum Schottertransport werden auch Vorrichtungen zur Bearbeitung und Verdichtung des Schotters eingesetzt. Etwa ist in Fig. 3 eine durch Antriebe (26) höhenverstellbare Schotterplaniereinrichtung (27) und ein in Vibration versetzbarer Schotterverdichter (28) beschrieben. Eine integrierte Verdichtungskontrolle erfolgt dabei nicht.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0014]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für eine Gleisbaumaschine der eingangs genannten Art eine dahingehende Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik anzugeben, um die Leistungsfähigkeit und damit die fertiggestellte Gleislänge je Zeiteinheit der Gleisbaumaschine beim Bearbeiten und Verdichten von Planums- und/oder anderen Unterbauschichten bzw. Tragschichten eines Gleises zu erhöhen. Weiters wird eine Steigerung der Verdichtungsqualität, des Verdichtungserfolges und deren parallele, lückenlose Dokumentation als Verdichtungsnachweis erzielt. Zudem soll ein mittels der Vorrichtung durchgeführtes Verfahren zum Bearbeiten eines Gleises angegeben werden.

**[0015]** Erfindungsgemäß werden diese Aufgaben gelöst durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 und ein Verfahren gemäß den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 11. Abhängige Ansprüche geben vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung an.

**[0016]** Dabei ist vorgesehen, dass die Vorrichtung wenigstens zwei Beschleunigungssensoren, eine Lagemesseinheit des Unwuchterregers und eine Kraftmesseinheit umfasst. Die mechanische Vorrichtung zur Verdichtung zeichnet sich durch eine integrierte Erfassung von physikalischen Größen aus. Für den Verdichtungsprozess relevante, vorherrschende Zustände werden

direkt im Bereich der Verdichtungseinheit bzw. des Verstellmechanismus erfasst. Dazu zählen die Beschleunigung an den Randbereichen der Rüttelplatte, die Position bzw. Winkellage der Unwuchtmassse des Unwuchterregers sowie die Kraft bzw. Auflast auf die Verdichtungseinheit.

**[0017]** Vorteilhaft ist, wenn die Vorrichtung wenigstens einen Druck-Messumformer umfasst. So können die anliegenden hydraulischen Öldrücke in den Verstellaktoren erfasst werden. Dadurch wird ein präzises Verstellen und Regeln der Auflast auf die Verdichtungseinheit erreicht.

**[0018]** Eine Weiterbildung sieht vor, dass die Beschleunigungssensoren sowohl auf der Rüttelplatte der Verdichtungseinheit wie auch auf dem Tragrahmen angeordnet sind. Die zusätzliche Erfassung der Beschleunigung am Tragrahmen der Vorrichtung lässt eine genauere Bewertung und Interpretation der Messdaten durch die Auswertelgorithmen zu. Dabei lassen sich durch das Verhältnis der Beschleunigungswerte von Rüttelplatte zu den Beschleunigungswerten des Tragrahmens konkrete Rückschlüsse auf das Betriebs- und Bewegungsverhalten der Rüttelplatte ableiten. Mögliche Betriebszustände der Rüttelplatte sind in den Figuren 7-10 skizziert und der Beschreibung der Ausführungsformen dargelegt.

**[0019]** Sinnvoll ist, wenn der Unwuchterreger als rotierende Masse mit einer Exzentrizität des Massenschwerpunktes zur Drehachse ausgeführt ist. Diese Bauform des Unwuchterregers zeichnet sich in Kombination mit einer gut ausgelegten Lagerung als robust und langlebig aus. Auch ist bei dieser Bauart im Bedarfsfall eine relativ einfache Durchführung von Instandhaltungs- wie auch Reparaturarbeiten möglich.

**[0020]** Zudem ist es von Vorteil, dass sich eine Längsachse des zwischen dem Tragrahmen und der Verdichtungseinheit angeordneten Verstellaktors in annähernd horizontaler Richtung erstreckt. Damit ist neben festigkeitstechnisch gut platzierten Krafteinleitungspunkten eine kompakte, platzsparende Ausführung des mechanischen Verstellmechanismus gegeben.

**[0021]** Des Weiteren ist vorgesehen, dass für sämtliche Sensorik und Aktorik eine Steuer- und Regeleinheit eingerichtet ist. Diese ermöglicht eine gezielte Ansteuerung bzw. Regelung der Aktoren und sorgt für einen stabilen, kontinuierlichen Verdichtungsprozess.

**[0022]** In einer Ausprägung ist vorgesehen, dass die Vorrichtung eine GNSS-Positionseinheit umfasst. Dadurch werden die erfassten, physikalischen Messgrößen auch mit der jeweils aktuellen, geographischen Position ergänzt. Damit erhält der Gleisstreckenbetreiber in seinem Streckennetz geographisch zuordenbare Messdaten.

**[0023]** Es ist vorteilhaft, wenn die Vorrichtung für den Arbeitsbetrieb mit einem bordeigenen Hydrauliksystem sowie Strom- und Datenleitungsnetz der Gleisbaumaschine verbindbar ist. Somit ist eine einfache Anbindung oder auch nachträgliche Installation der Vorrichtung an die Gleisbaumaschine gegeben.

**[0024]** Dabei ist in einer Variante vorgesehen, dass mehrere Verdichtungseinheiten über den Tragrahmen zu einer gemeinsamen Gruppe angeordnet sind und ein paralleler Arbeitsbetrieb vorgesehen ist. Eine solche Gruppierung der Verdichtungseinheiten bietet eine platzsparende, kostengünstige Anordnung auf nur einem Tragrahmen. Der Verdichtungsprozess wird so annähernd in nur einem Durchgang „auf einer Linie“ ausgeführt.

**[0025]** Eine Verbesserung sieht vor, dass die Lagemesseinheit des Unwuchterregers wenigstens zwei Hall-Sensoren umfasst. Das Messprinzip funktioniert berührungslos, entsprechend verschleißfrei erfolgt deren Anwendung. Die hohe Lebensdauer gilt dabei als großer Vorteil.

**[0026]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben der Vorrichtung werden die Beschleunigungssensoren der Vorrichtung von einer Recheneinheit eingelesen, in weiterer Folge mittels Auswertelgorithmen bewertet und daraus Parameter für einen kontrollierten, geregelten Betrieb der Vorrichtung ermittelt. In Abhängigkeit von Parametervorgaben erfolgt eine voll- oder auch halbautomatische Ansteuerung des Verstellaktors zur Positionierung und/oder Kraftbeaufschlagung der Verdichtungseinheit und insbesondere wenigstens eines weiteren Verstellaktors zur Positionierung der Verdichtungseinheit.

Das Einlesen und Auswerten der Messdaten ermöglicht eine breite, umfangreiche Analyse des

Verdichtungsvorganges wie auch des Verhaltens der Verdichtungseinheit. Damit können Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Bodens und damit die Boden-/Untergrundsteifigkeit, den Verformungsmodul und den Verdichtungsgrad gezogen werden. Ziel ist dabei eine den Anforderungen und Vorgaben entsprechende, homogene Verdichtung in nur einem fortlaufenden Arbeitsdurchgang zu erreichen. Dies wird durch entsprechende Beeinflussung der Parameter und Anpassung wie auch Ansteuerung der Aktoren erreicht.

**[0027]** Die bisher konventionelle Verdichtung des Bodens von der Oberfläche aus findet normalerweise in mehreren Übergängen statt. So wird üblicherweise das lockere Planum mit großer Amplitude und geringer Frequenz verdichtet um tiefere Bereiche zu erreichen. In einer nächsten Überfahrt erfolgt die dynamische Verdichtung mit großer Amplitude. Nach diesem Verdichten der tieferen Regionen werden mit kleiner Amplitude und hoher Frequenz die oberflächennahen Bereiche durch mehrmalige Verdichtungsfahrten endverdichtet. Im Gegensatz dazu bewerkstelligt das neue Verfahren der Anmelderin die komplette Verdichtung des Planums in einer einzigen Überfahrt bei geringer Geschwindigkeit. Dabei werden die beschriebenen Verdichtungsvorgänge zur Verdichtung von Tiefenlagen und Oberflächenbereichen durch ein periodisches Ändern der Parameter bewirkt. Damit wird ein Durchfahren unterschiedlicher Betriebszustände bei nur einer Überfahrt erreicht. Die möglichen Betriebszustände sind in den Figuren 7-10 dargestellt und beschrieben.

**[0028]** Entsprechend den Verdichtungsvorgaben des Betreibers erfolgt die Ansteuerung der Verstellaktoren vollautomatisch wobei auch ein halbautomatischer Betrieb möglich ist, der teilweise Eingaben und/oder Quittierungen durch einen Maschinenbediener erfordert. Unerwünschte Betriebs- bzw. Bewegungszustände werden von der Steuer- und Regeleinheit erkannt und in weiterer Folge durch gezielte Ansteuerung und Regelung der Verstellaktoren entgegenwirkt. So wird eine gleichmäßige Verdichtungsqualität entsprechend den Vorgaben erreicht.

**[0029]** Sinnvoll ist dabei, dass aus den ermittelten Parametern für den Betrieb die über den Verstellaktor ausgeübte Auflast auf die zu bearbeitende Schicht des Gleises stetig über die Steuer- und Regeleinheit entsprechend den eingestellten bzw. hinterlegten Parametervorgaben geregelt wird. Dadurch wird eine für den jeweiligen Verdichtungsvorgang bzw. den Betriebszustand der Rüttelplatte erforderliche Auflast geregelt und eine entsprechende, konstante Verdichtungsqualität erreicht. Dabei ist auch ein sogenannter Schwellbetrieb vorgesehen, bei dem ein periodischer Wechsel der Auflast erfolgt. Alternativ dazu zeigen die Figuren 5 und 6 für Anwendungen mit geringeren Ansprüchen an die Verdichtungsqualität eine kostengünstigere Abwandlung, in der der Verstellaktor durch eine Feder ersetzt ist.

**[0030]** Weiters ist es von Vorteil, wenn mittels der Lagemesseinheit die Winkellage der Exzentrizität des Unwuchterregers ermittelt und von der Recheneinheit erfasst wird. Diese Information ermöglicht der Recheneinheit und den Auswertelgorithmen eine umfangreiche Bewertung der vorherrschenden Bewegungszustände und damit präzisere Bestimmung der Parameter.

**[0031]** Auch ist es möglich, dass die aus allen oder auch einzelnen Sensoren bzw. Messeinheiten gewonnen Messdaten über Auswertelgorithmen der Recheneinheit eine Bestimmung relevanter Bodeneigenschaften bzw. charakteristischer Kennwerte erfolgt, um Rückschlüsse auf den lokalen Zustand und die Beschaffenheit der jeweils zu verdichtenden Schicht zu ziehen. Etwa ist es über das Verhältnis zwischen aufgebrachter Kraft und eingebrachter Verdichtungsenergie möglich auf die Bodensteifigkeit rückzuschließen, sowie den Verdichtungszustand und damit den Verdichtungserfolg zu detektieren, aufzuzeichnen und wiederzugeben. Darüber hinaus soll durch geeignete Analyse von Messdaten langfristig die Grundlage für ein System zur Verdichtungskontrolle und zur Optimierung der Schotterverdichtung geschaffen werden.

**[0032]** Eine Erweiterung sieht vor, dass sowohl die Erfassung als auch die Aufzeichnung der ermittelten Messwerte, der GNSS-Positionsdaten bzw. Koordinaten und auch der Parametervorgaben kontinuierlich erfolgt. Mit den um die jeweils aktuelle, geographische Position ergänzten Messgrößen lassen sich beispielsweise lokal unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten und Bodenparameter auf einer Land-/Streckennetzkarte darstellen oder umfangreich visualisieren. Dies ist auch als bedeutende Erleichterung in der Planung von Neubau- wie auch Sanierungsvorhaben

zu nennen. Entsprechend den vorliegenden Bodeneigenschaften kann eine gezielte Materialbeschaffung in Abstimmung an die Vorgaben und Anforderungen an die Schutzschicht(en), den Unterbau, oder die Tragschicht erfolgen.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0033]** Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

- [0034]** Fig. 1    Seitenansicht einer Gleisbaumaschine mit einer Vorrichtung zum Verdichten und einer vorgelagerten Förder- bzw. Räumkettenanordnung zum Abtrag und zur Aufnahme von Gleisbaumaterial
- [0035]** Fig. 2    Draufsicht der Arbeitsvorrichtungen der Gleisbaumaschine aus Fig. 1
- [0036]** Fig. 3    Querschnitt eines Gleiskörpers mit Schichtaufbau
- [0037]** Fig. 4    Seitenansicht einer Vorrichtung zum Verdichten mit Verstellaktor zum Aufbringen einer variablen Last
- [0038]** Fig. 5    Seitenansicht einer Vorrichtung zum Verdichten mit Auflast über eingespannte Feder (Feder nur durch Führungsdorn dargestellt)
- [0039]** Fig. 6    Isometrie der Vorrichtung aus Fig. 5 (Verdichtungseinheit 12 zur besseren Übersicht nicht dargestellt)
- [0040]** Fig. 7    Bewegungsverhalten des Betriebszustandes „Kontakt“
- [0041]** Fig. 8    Bewegungsverhalten des Betriebszustandes „Abheben“
- [0042]** Fig. 9    Bewegungsverhalten des Betriebszustandes „Springen“
- [0043]** Fig. 10   Bewegungsverhalten des Betriebszustandes „Chaos“

## BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0044]** Fig. 1 zeigt eine schematisch dargestellte Gleisbaumaschine 1 mit einer auf einem Maschinenrahmen 2 angebrachten Förder- bzw. Räumkettenanordnung 10 sowie eine Vorrichtung 11 zum Verdichten einer Schutzschicht 8, die durch Schienenfahrwerke 3 auf einem Gleis 4 verfahrbar ist. Die Förder- bzw. Räumkettenanordnung 10 und die Vorrichtung 11 sind unterhalb des Gleises 4 positionierbar. Diese Ausführung der Vorrichtung 11 zeigt mehrere Verdichtungseinheiten 12, die auf einem gemeinsamen Tragrahmen 16 in Gruppen angeordnet sind. Zum Erfassen einer geographischen Position der Vorrichtung 11 ist eine GNSS-Positionseinheit 27 auf dem seitlichen Tragprofil des Tragrahmens 16 angebracht. Weiters sind eine Steuer- und Regeleinheit 31 sowie eine Recheneinheit 32 in einem geschützten Bereich am Maschinenrahmen 2 oder in einer Kabine 30 verbaut.

**[0045]** Ergänzend zu Fig. 1 ist in Fig. 2 eine Draufsicht dargestellt, wobei der Darstellungsfokus auf die Arbeitseinrichtungen und deren Gruppierung gerichtet ist. Die Gleisbaumaschine 1 selbst sowie der Maschinenrahmen 2 sind einer besseren Übersicht zufolge darin nicht abgebildet. In dieser Ausführung der Konstruktion bilden vier Verdichtungseinheiten 12 eine gemeinsame Gruppe 26 zur Verdichtung des mittleren Hauptfahrbereiches unterhalb des Gleises 4, während für die Randbereiche des Gleisaufbaus weitere verstellbar angeordnete Verdichtungseinheiten 12 zum Einsatz kommen. So dienen für die in Blickrichtung der Gleislängsachse 40 links und rechts an den mittleren Hauptfahrbereich angrenzenden Randbereiche je eine variabel dreh- und höhenpositionierbare Verdichtungseinheit 12 der Glättung und Verdichtung. Diese sind mittels eigener Antriebe über bewegliche Seitenarme schwenkbar und auch in ihrer vertikalen Höhenlage einstellbar. Der Vorrichtung 11 ist weiters ein Räum-/Planierschild 39 vorgeordnet, um eine Beseitigung von Materialanhäufungen der vorgelagerten Materialeinbringung bzw. Aufschüttung zu glätten und in weiterer Folge unebene, qualitativ nicht entsprechende Planier-/Verdichtungsergebnisse zu verhindern.

**[0046]** Der Tragrahmen 16 ist gegenüber dem Maschinenrahmen 2 mehrachsrig drehbar gelagert, um Lage und Position der Vorrichtungen 11 an den jeweils vorherrschenden Arbeitsbereich im Bereich des Gleises 4 anzupassen. Darüber hinaus ist der Tragrahmen 16 teilbar ausgeführt, dadurch ist eine platzsparende sowie sichere Überstellungs- bzw. Transportstellung einnehmbar und hohe Flexibilität im Arbeitseinsatz gegeben.

**[0047]** Der Querschnitt eines Gleiskörpers mit Schichtaufbau ist in Fig. 3 dargestellt. In oberster Ebene ist ein Schienenfahrzeug bzw. die Gleisbaumaschine 1 mit den Schienenfahrwerken 3 auf den Schienen 5 angedeutet. Die beiden Schienenstränge der Schienen 5 werden auf Schwellen 6 gelagert, während die Schwellen 6 selbst im Schotter 7 des Oberbaus gebettet sind. Unterhalb des Schotters 7 schließt die Schutzschicht 8, auch ungebundene Tragschicht bezeichnet, an. Diese ist ein- oder mehrschichtig aufgebaut und in der Regel mit Gefälle zur Wasserableitung angelegt. Die Schutzschicht 8 dient dabei als Planumsschutzschicht „PSS“ und/oder Frostschutzschicht „FSS“. Der Unterbau/Untergrund 9 stellt die unterste Ebene im Querschnitt dar. In einer nicht dargestellten Anwendung ist die Gleisbaumaschine 1 aus Fig. 1 neben der oben beschriebenen Bearbeitung bzw. Glättung und Verdichtung der Schutzschicht 8 bei entsprechender Lage-/Höhenverstellung der Vorrichtung 11 auch für den Oberbau und damit Schotter 7 wie auch den Unterbau/Untergrund 9 einsetzbar.

**[0048]** Fig. 4 zeigt als Seitenansicht die Vorrichtung 11, die einen Verstellmechanismus und eine Verdichtungseinheit 12 umfasst. Der Verstellmechanismus ist an den Tragrahmen 16 gefügt. Diese Verbindung (nicht dargestellt) ist in geschraubter oder geschweißter Form ausgeführt. Der Verstellmechanismus fungiert damit als Koppereinrichtung zur beweglichen Lagerung und Positionsverstellbarkeit der Verdichtungseinheit 12 gegenüber dem Tragrahmen 16. Dieser Mechanismus umfasst neben nicht näher bezeichneten Koppel- und Verbindungselementen als wesentliche Komponenten einen ersten Verstellaktor 17, eine Kraftmesseinheit 20, sowie einen zweiten Verstellaktor 25. Mittels letzterem Verstellaktor 25 ist die Verdichtungseinheit 12 in ihrer Lage/Position gegenüber dem Tragrahmen 16 wie auch die Höhenlage gegenüber der zu verdichtenden Materialschicht entsprechend dem jeweiligen Arbeitsprozess einstellbar. Über den ersten Verstellaktor 17 wird eine variable, geregelte Auflast über die Koppellemente des Verstellmechanismus und die Kraftmesseinheit 20 auf die Verdichtungseinheit 12 eingeleitet.

**[0049]** Die Auflast wird im Verdichtungsprozess direkt von einer Rüttelplatte 13 auf die zu verdichtenden Schutzschicht 8 bzw. den Unterbau 9 übertragen. Die Kraftmesseinheit 20 dient hier neben der Krafterfassung zugleich als Anlenkelement zur Kraftübertragung. Die Rüttelplatte 13 steht direkt in Kontakt mit der zu bearbeitenden Materialschicht. Die Kraftmesseinheit 20 erfasst kontinuierlich die Auflast und übermittelt diese an die Recheneinheit 32. Die mit der Steuer- u. Regeleinheit 31 gekoppelte Recheneinheit 32 regelt die Auflast entsprechend den Parametervorgaben. In einer nicht dargestellten Ausführung ist die Kraftmesseinheit 20 auch direkt mit dem Verstellaktor 17 kombinierbar oder direkt integrierbar.

**[0050]** Die Verdichtungseinheit 12 umfasst dabei die Rüttelplatte 13, einen Unwuchterreger 14, eine Antriebseinheit 15, Beschleunigungssensoren 18 sowie eine Lagemesseinheit 19. Die Beschleunigungssensoren 18 sind auf der Rüttelplatte 13 in Bewegungsrichtung gesehen im vorderen wie auch im hinteren Bereich angeordnet. In diesen Bereichen ist die Rüttelplatte 13 leicht nach oben gebogen ausgeführt. Dadurch ist ein gutes Gleit- und Bewegungsverhalten der Verdichtungseinheit 12 möglich.

**[0051]** Der Unwuchterreger 14 ist an die Rüttelplatte 13 gefügt und umfasst eine rotierende Masse 22, welche mittels der Antriebseinheit 15 beaufschlagt ist. Die Antriebseinheit 15 ist als Hydraulikmotor ausgeführt. Diese versetzt die rotierende Masse 22 um eine Drehachse 23 rotatorisch in Bewegung. Eine Exzentrizität des Massenmittelpunktes der Masse 22 zur Drehachse 23 sorgt bei Drehbewegung für eine Fliehkraft und ein resultierendes Arbeitsmoment.

**[0052]** Zur Ermittlung der Position bzw. Winkellage der rotierenden Masse 22 ist im Gehäuse des Unwuchterregers 14 eine Lagemesseinheit 19 installiert. Diese umfasst zwei Hall-Sensoren, kann in anderen Ausführungen auch über mehrere Sensoren verfügen.

**[0053]** Der Verstellaktor 17 ist im Verstellmechanismus zwischen Tragrahmen 16 und der Verdichtungseinheit 12 derart angeordnet, dass eine ihm zugordnete Längsachse 24 sich annähernd in horizontaler Richtung erstreckt. Ausgeführt sind beide Verstellaktoren 17, 25 als hydraulische Linearaktoren. Die Versorgung dieser, wie auch der Antriebseinheit 15 ist über ein bordeigenes Hydrauliksystem 28 gegeben. Ein auf der Gleisbaumaschine 1 installiertes Strom- und Datenleitungsnetz 29 verbindet sämtliche Sensoren mit der Steuer- u. Regeleinheit 31 bzw. der Recheneinheit 32. Weiters ist auf der Vorrichtung 11 zum Erfassen der hydraulischen Öldrücke ein Druckmessumformer 21 in Nähe zu den Verstellaktoren 17, 25 angebracht.

**[0054]** Fig. 5 zeigt die Seitenansicht einer weiteren Vorrichtung zum Verdichten, wobei die Auflast der Verdichtungseinheit 12 über eine eingespannte Feder 38 erfolgt. Der Verstellaktor 17 der Ausführung in Fig. 4 zu variablen Anpassung und Regelung der Auflast entfällt dabei. Die Feder 38 ist hier nur durch einen Führungsdorn und die äußeren Gewindestangen zum Spannen dargestellt. Der weitere Aufbau und die Funktionsweise entsprechen der Ausführung in Fig. 4. Dazu ist in Fig. 6 eine Isometrie mit dem Verstellmechanismus der Vorrichtung aus Fig. 5 abgebildet. Die Verdichtungseinheit 12 ist zur besseren Übersicht nicht dargestellt.

**[0055]** Die Figuren 7-10 zeigen zeitliche Abläufe 32, 33, 34, 35 von möglichen Bewegungsmustern der Rüttelplatte 13 der Verdichtungseinheit 12. Die Einteilung ist dabei in vier Betriebszustände vorgenommen. Dabei basiert die Kategorisierung auf Simulationen an einem mechanischen Modell und der Auswertung der Untersuchungen. Das gewählte mechanische Modell entspricht einer eindimensionalen Betrachtung der Bewegungsabläufe in vertikaler Richtung. Dieser Randbedingung zufolge kann sich die Rüttelplatte ausschließlich parallel zum Untergrund verschieben und es ist lediglich ein Verdichtungszustand beschrieben. Es sind die vertikalen Verschiebungen  $s$  der identifizierten Betriebszustände Kontakt 32, Abheben 33, Springen 34 und Chaos 35 nachfolgend in den Figuren 7-10 zusammengefasst.

**[0056]** Fig. 7 zeigt das Bewegungsverhalten des Betriebszustandes Kontakt, dabei ist eine ständige Berührung zwischen der Rüttelplatte und dem zu verdichtenden Untergrund bzw. Boden gegeben. Der Verschiebungsgraph der Rüttelplatte 36 deckt sich mit dem Verschiebungsgraph des Bodens 37.

**[0057]** Bei zunehmender Steifigkeit erfolgt der Übergang in den Betriebszustand Abheben, der in Fig. 8 dargestellt ist. Wenn der Verdichter regelmäßig die Betriebsphasen Belastung, Entlastung und Abheben durchläuft, spricht man vom Betriebszustand Abheben. Ausgehend von diesem Betriebszustand führt eine Gewichtserhöhung zu einer Verlängerung der Kontaktzeit zwischen Rüttelplatte und Untergrund und es kann in weiterer Folge wieder ein Übergang in den Betriebszustand Kontakt erfolgen. Das Abheben stellt mit dem periodischen Aufschlagen der Rüttelplatte auf dem Untergrund eine sehr effiziente Verdichtung dar.

**[0058]** Mit einer Verringerung der Auflast oder einer Zunahme der Untergrundsteifigkeit erfolgt der Übergang vom Abheben zum Springen. Wie in Fig. 9 skizziert ist der Betriebszustand Springen durch einen abwechselnd starken und einen schwachen Schlag auf das zu verdichtende Material gekennzeichnet. Beim vollen Springen verschwindet der schwache Schlag zur Gänze und stattdessen tritt ein Luftschlag auf. Zwischen den Aufschlägen auf dem Boden können auch mehrere Schläge in der Luft erfolgen. Das auf die Luftschläge folgende Auftreffen auf den Untergrund erfolgt dann mit einer wesentlich größeren Bodenkontaktkraft. Das Springen stellt im Hinblick auf den Verdichtungserfolg einen sehr günstigen Betriebszustand dar. Allerdings wird das Verdichtungsgerät deutlich stärker beansprucht als im Betriebszustand Abheben. Die Verschiebungsgraphen der Rüttelplatte 36 und des Bodens 37 decken sich nur mehr teilweise.

**[0059]** Eine weitere Zunahme der Untergrundsteifigkeit führt zu einem chaotischen, nicht periodischen Bewegungsverhalten des Verdichters. Dieser ungewollte Betriebszustand Chaos ist in Fig. 10 dargestellt. Eine ausreichende Verdichtungswirkung kann in diesem Fall nicht mehr gewährleistet werden, weshalb dieser Betriebszustand zu vermeiden ist. Zudem vermindert sich im Betriebszustand Chaos die Oberflächenqualität und die gesamte Verdichtungseinheit wird stark belastet.



## Patentansprüche

1. Vorrichtung (11) zum Verdichten von Planums- und/oder anderen Unterbauschichten bzw. Tragschichten (7, 8, 9) eines Gleises (4), auf einer verfahrbaren Gleisbaumaschine (1) montierbar, umfassend eine Verdichtungseinheit (12), wobei dieser eine Rüttelplatte (13), wenigstens ein Unwuchterreger (14) sowie eine zugehörige Antriebseinheit (15) zugeordnet sind, wobei die Vorrichtung (11) einen Tragrahmen (16) umfasst und die Verdichtungseinheit (12) variabel im Arbeitsbereich des Gleises (4) positionierbar ist, indem die Verdichtungseinheit (12) über einen Verstellaktor (17) mit dem Tragrahmen (16) gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (11) wenigstens zwei Beschleunigungssensoren (18), eine Lagemesseinheit (19) des Unwuchterregers (14) und eine Kraftmesseinheit (20) umfasst.
2. Vorrichtung (11) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (11) wenigstens einen Druck-Messumformer (21) umfasst.
3. Vorrichtung (11) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungssensoren (18) sowohl auf der Rüttelplatte (13) der Verdichtungseinheit (12) wie auch auf dem Tragrahmen (16) angeordnet sind.
4. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Unwuchterreger (14) als rotierende Masse (22) mit einer Exzentrizität des Massenschwerpunktes zur Drehachse (23) ausgeführt ist.
5. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich eine Längsachse (24) des zwischen dem Tragrahmen (16) und der Verdichtungseinheit (12) angeordneten Verstellaktors (17) in annähernd horizontaler Richtung erstreckt.
6. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für sämtliche Sensorik und Aktorik eine Steuer- und Regeleinheit (31) eingerichtet ist.
7. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (11) eine GNSS-Positionseinheit (27) umfasst.
8. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (11) für den Arbeitsbetrieb mit einem bordeigenen Hydrauliksystem (28) sowie Strom- und Datenleitungsnetz (29) der Gleisbaumaschine (1) verbindbar ist.
9. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Verdichtungseinheiten (12) über den Tragrahmen (16) zu einer gemeinsamen Gruppe (26) angeordnet sind und ein paralleler Arbeitsbetrieb vorgesehen ist.
10. Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lagemesseinheit (19) des Unwuchterregers (14) wenigstens zwei Hall-Sensoren umfasst.
11. Verfahren zum Verdichten von Planums- und/oder anderen Unterbauschichten bzw. Tragschichten (7, 8, 9) eines Gleises (4) mit einer Vorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungssensoren (18) der Vorrichtung (11) von einer Recheneinheit (32) eingelesen, in weiterer Folge mittels Auswertelgorithmen bewertet und daraus Parameter für einen kontrollierten, geregelten Betrieb der Vorrichtung (11) ermittelt werden und dass in Abhängigkeit von Parametervorgaben eine voll- oder auch halbautomatische Ansteuerung des Verstellaktors (17) zur Positionierung und/oder Kraftbeaufschlagung der Verdichtungseinheit (12) und insbesondere wenigstens eines weiteren Verstellaktors (25) zur Positionierung der Verdichtungseinheit (12) erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den ermittelten Parametern für den Betrieb die über den Verstellaktor (17) ausgeübte Auflast auf die zu bearbeitende Schicht des Gleises (4) stetig über die Steuer- und Regeleinheit (31) entsprechend den eingestellten bzw. hinterlegten Parametervorgaben geregelt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Lagemesseinheit (19) die Winkellage der Exzentrizität des Unwuchterregers (14) ermittelt und von der Recheneinheit (32) erfasst wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aus allen oder auch einzelnen Sensoren bzw. Messeinheiten (18, 19, 20, 21) gewonnen Messdaten über Auswertelgorithmen der Recheneinheit (32) eine Bestimmung relevanter Bodeneigenschaften bzw. charakteristischer Kennwerte erfolgt, um Rückschlüsse auf den lokalen Zustand und die Beschaffenheit der jeweils zu verdichtenden Schicht (7, 8, 9) zu ziehen.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl die Erfassung als auch die Aufzeichnung der ermittelten Messwerte, der GNSS-Positionsdaten bzw. Koordinaten und auch der Parametervorgaben kontinuierlich erfolgt.

**Hierzu 3 Blatt Zeichnungen**

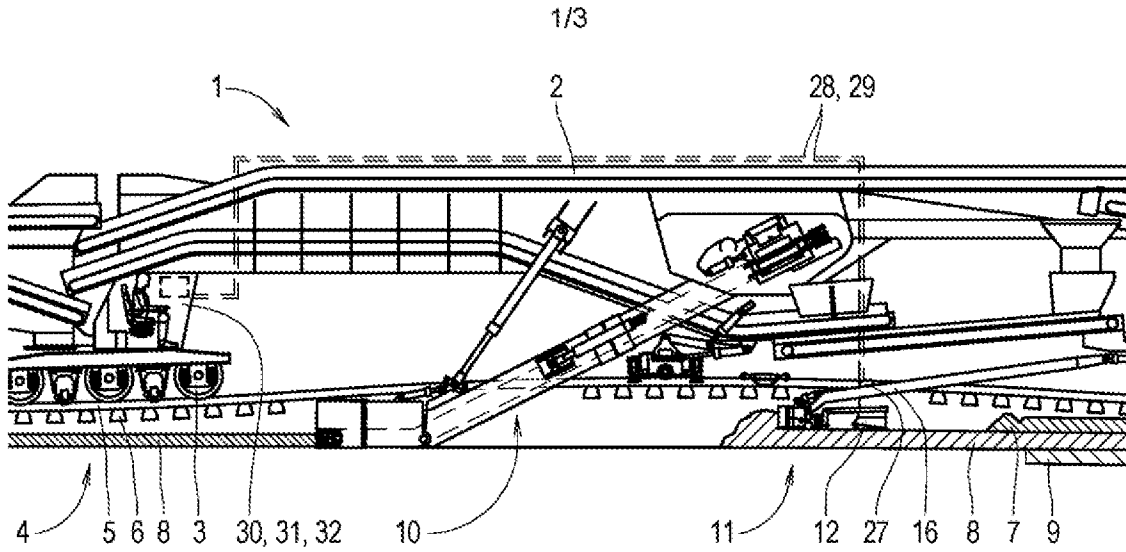


Fig. 1

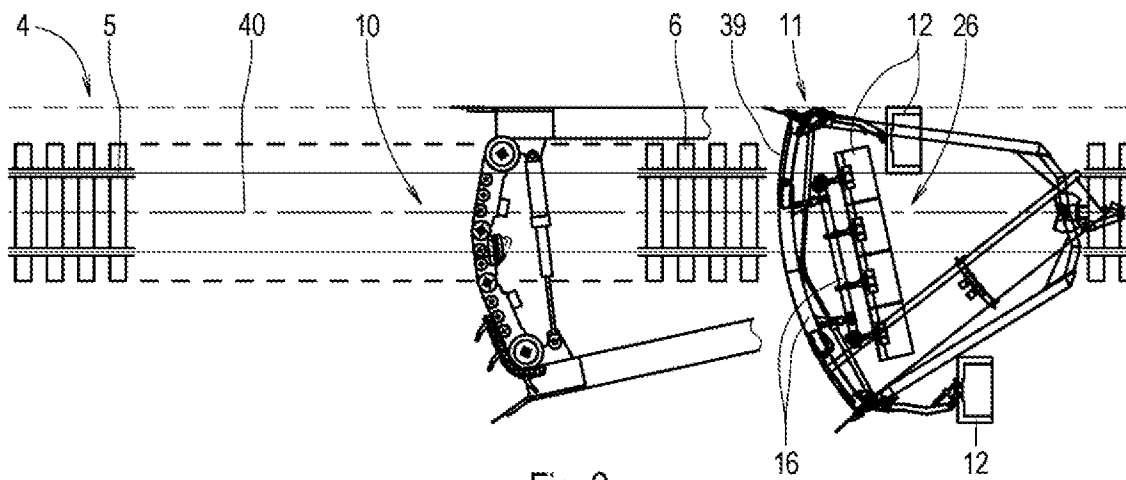


Fig. 2

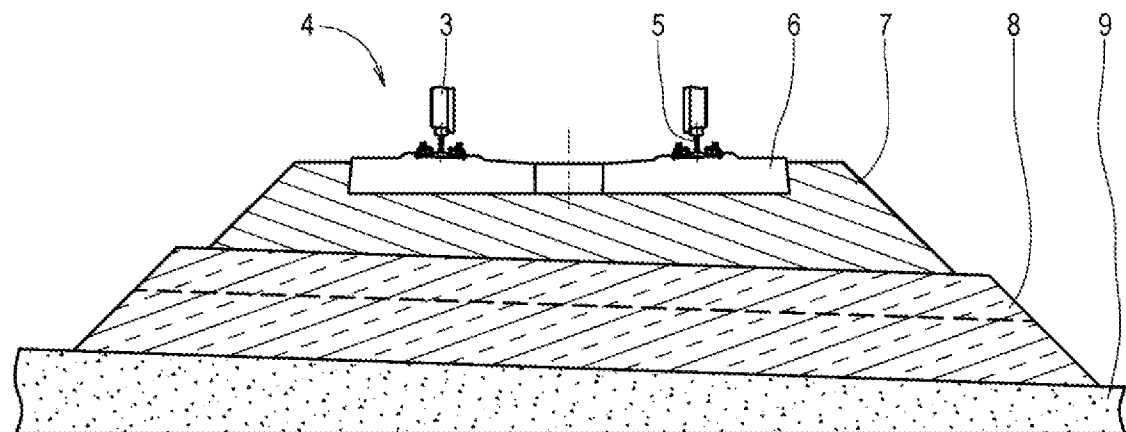


Fig. 3

2/3

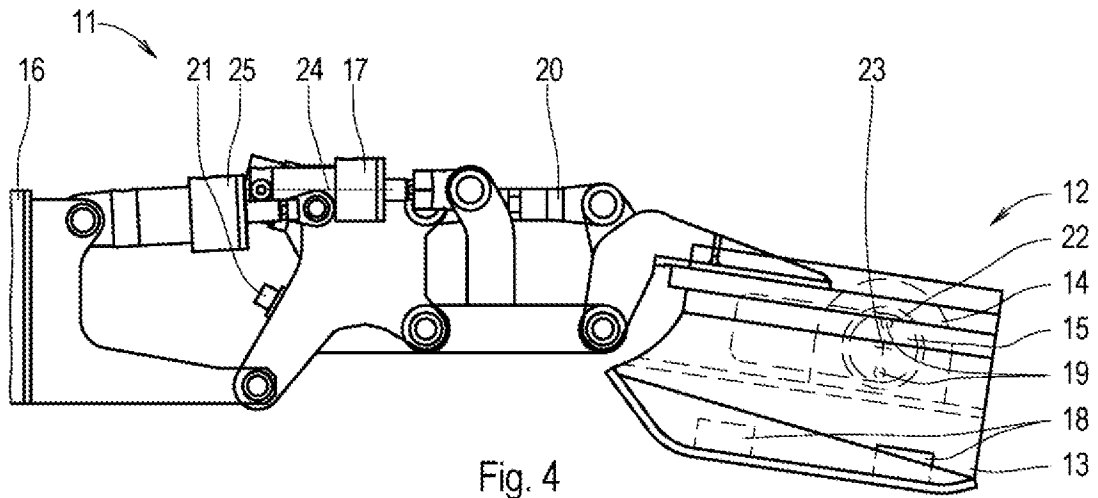


Fig. 4

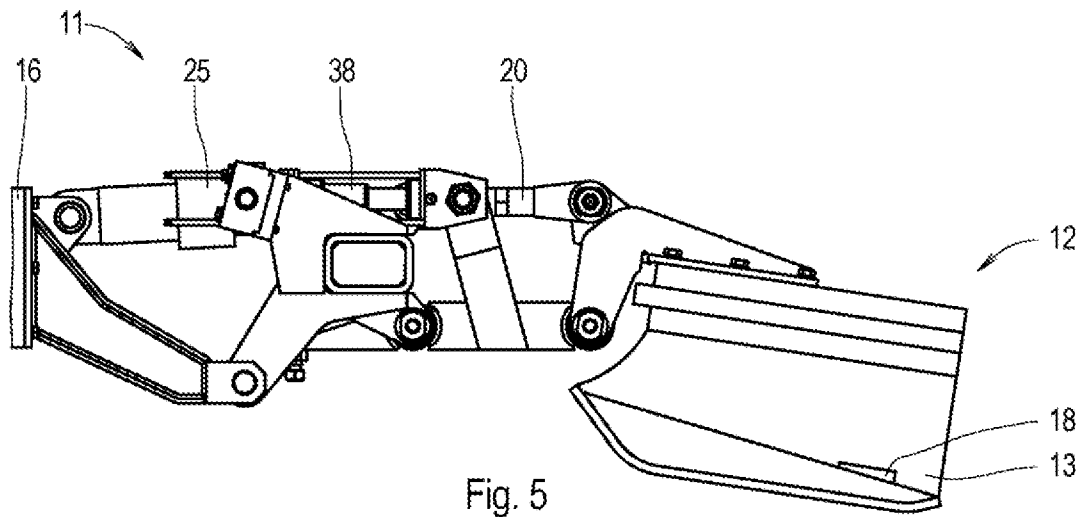


Fig. 5

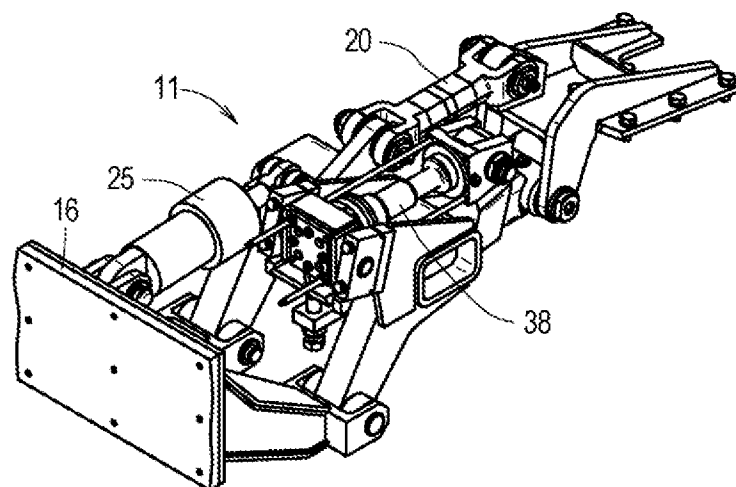


Fig. 6

3/3

