

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50837/2021
(22) Anmeldetag: 21.10.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2023

(51) Int. Cl.: **E01B 35/00** (2006.01)
E01B 27/17 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2008129105 A1
AT 305334 B
CN 2550407 Y

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

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen**

(57) Ein Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen (2) umfasst die Schritte: Verlagern eines Schienenabschnitts (6) mindestens einer der Gleisschienen (2) aus einer Ausgangsanordnung in eine Prüfanordnung durch Bereitstellen einer Prüfkraft (F_P), Erfassen mindestens eines mit der Prüfkraft (F_P) korrelierenden Kraft-Messwerts in der Prüfanordnung, und Bestimmen der Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene (2) anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts, wobei beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts mindestens eine Gleisschwelle (8) an dem Schienenabschnitt (6) befestigt ist.

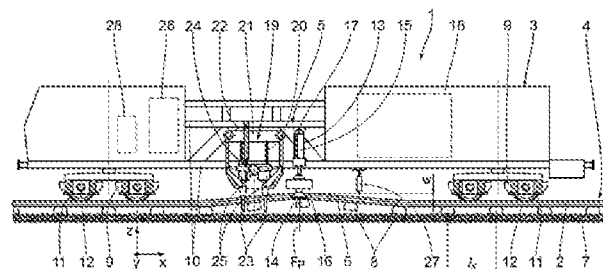


Fig. 2

Zusammenfassung

Ein Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen (2) umfasst die Schritte: Verlagern eines Schienenabschnitts (6) mindestens einer der Gleisschienen (2) aus einer Ausgangsanordnung in eine Prüfanordnung durch Bereitstellen einer Prüfkraft (F_P), Erfassen mindestens eines mit der Prüfkraft (F_P) korrelierenden Kraft-Messwerts in der Prüfanordnung, und Bestimmen der Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene (2) anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts, wobei beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts mindestens eine Gleisschwelle (8) an dem Schienenabschnitt (6) befestigt ist.

- Fig. 2 -

Verfahren und Vorrichtung zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in
5 Gleisschienen. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Ausführen eines derartigen Verfahrens.

Durch offenkundige Vorbenutzung bekannt ist ein Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen, bei welchem vollständig von Gleisschwellen gelöste Gleisschienen vertikal angehoben werden. Die hierzu erforderliche Prüfkraft wird erfasst. Anhand der Prüfkraft werden die in den
10 Gleisschienen vorliegenden Längskräfte bestimmt. Nachteilig ist, dass das Lösen der Gleisschienen von den Gleisschwellen zeit- und kostenintensiv ist. Für den Schienenverkehr steht das Gleis in diesem Zeitraum nicht zur
15 Verfügung. Um Verwerfungen der Gleisschienen beim Lösen von den Gleisschwellen zu vermeiden, ist das Verfahren zudem nur dann durchführbar, wenn die Temperatur der Gleisschienen unterhalb der Neutraltemperatur liegt.

20 Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen zu schaffen, welches insbesondere besonders flexibel, zeiteffizient und wirtschaftlich ausführbar ist.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Es wurde erkannt, dass das Bestimmen der Längskräfte in
25 mindestens einer Gleisschiene anhand mindestens eines mit einer Prüfkraft korrelierenden Kraft-Messwerts besonders flexibel, zeiteffizient und wirtschaftlich ausführbar ist, wenn beim Erfassen des mindestens einen Kraft-

Messwerts mindestens eine der Gleisschwellen an demjenigen Schienenabschnitt befestigt ist, welcher durch Bereitstellen der Prüfkraft zwischen einer Ausgangsanordnung und einer Prüfanordnung verlagert wird. Dadurch, dass die mindestens eine Gleisschwelle an der Gleisschiene befestigt bleibt, kann das Lösen bzw. das Herstellen der Verbindung entfallen. Sperrzeiten von Gleisstrecken können reduziert oder vollständig vermieden werden. Verwerfungen der Gleisschienen, insbesondere bei Schienentemperaturen oberhalb der Neutraltemperatur, beispielsweise aufgrund unerwartet hoch oder rasch ansteigender Umgebungstemperaturen, können aufgrund der fortbestehenden Stützung der Gleisschienen durch die Gleisschwellen zuverlässig verhindert werden.

Unter den Längskräften in Gleisschienen werden nachfolgend in den Gleisschienen herrschende Beanspruchungen und auf die Gleisschienen wirkende Belastungen verstanden, welche entlang der Längsrichtung der Gleisschienen wirken. Derartige Belastungen sind beispielsweise äußere Kräfte und/oder Temperaturen, insbesondere Temperaturänderungen. Entsprechende Beanspruchungen umfassen Spannungen und Dehnungen.

Unter der Prüfkraft wird diejenige Kraft verstanden, welche das Verlagern des Schienenabschnitts der mindestens einen Gleisschiene in die Prüfanordnung und/oder das Halten des Schienenabschnitts in der Prüfanordnung bewirkt. Die Prüfkraft kann mindestens eine Punktlast und/oder mindestens eine Streckenlast umfassen. Vorzugsweise wird die Prüfkraft in Form einer einzelnen Punktlast auf den Schienenabschnitt ausgeübt. Die mindestens eine Punktlast kann beispielsweise mittels eines Aktors, insbesondere eines hydraulischen Aktors, bewirkt und/oder mittels eines Greifers auf den jeweiligen Schienenabschnitt übertragen werden.

- Unter dem Schienenabschnitt wird derjenige Abschnitt der mindestens einen Gleisschiene verstanden, welcher in der Prüfanordnung gegenüber der Ausgangsordnung verlagert ist. Der Schienenabschnitt überlappt entlang der Längsrichtung des Gleises zumindest den Ort, an dem die Prüfkraft an
- 5 der mindestens einen Gleisschiene bereitgestellt wird. Der Schienenabschnitt ist vorzugsweise entlang der Längsrichtung begrenzt durch diejenigen Abschnitte der mindestens einen Gleisschiene, welche in der Prüfanordnung keine Verlagerung gegenüber der Ausgangsanordnung erfahren.
- 10 Das Gleis umfasst vorzugsweise die Gleisschwellen und zwei parallel und entsprechend einer Spurweite beabstandet zueinander angeordnete Gleisschienen. Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden durch Bereitstellen der Prüfkraft zwei parallele, einander in Längsrichtung des Gleises vollständig überlappende, Schienenabschnitte der beiden Gleisschienen durch
- 15 Bereitstellen der Prüfkraft verlagert. Insbesondere kann ein der Längserstreckung dieser Schienenabschnitte entsprechender Gleisabschnitt durch Bereitstellen der Prüfkraft aus der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung verlagert werden.
- 20 Das Verlagern des Schienenabschnitts der mindestens einen Gleisschiene erfolgt vorzugsweise senkrecht zur Längsrichtung des Gleises, insbesondere in Horizontalrichtung und/oder in Vertikalrichtung, insbesondere ausschließlich in eine dieser Richtungen. Der Kraft-Messwert kann hierzu eine Horizontalkomponente und/oder eine Vertikalkomponente aufweisen. Das
- 25 Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts kann mittels mindestens eines Kraft-Messmittels, insbesondere mindestens einer Kraftmessdose, erfolgen.

Vorzugsweise wird die mindestens eine an dem Schienenabschnitt befestigte Gleisschwelle durch Bereitstellen der Prüfkraft, insbesondere zusammen mit dem Schienenabschnitt aus der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung, verlagert. In dem Schienenabschnitt der mindestens einen Gleisschiene sind vorzugsweise mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens fünf der Gleisschwellen befestigt.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird der Schienenabschnitt, insbesondere die paarweisen Schienenabschnitte, und/oder das Gleis, aus der Ausgangsanordnung in mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens fünf, und/oder maximal zehn, der Prüfanordnungen verlagert. In diesen Prüfanordnungen kann jeweils ein mit der jeweiligen Prüfkraft korrelierender Kraft-Messwert ermittelt werden. Hieraus können die Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene bestimmt werden. Insbesondere kann ein Verlauf des mindestens einen Kraft-Messwerts beim Verlagern in die mindestens eine Prüfanordnung bestimmt werden. Anhand des Verlauf des mindestens einen Kraft-Messwerts können die Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene mehrfach bestimmt werden. Ein Mittelwert der mehrfach bestimmten Längskräfte kann gebildet werden. Hierdurch können die Längskräfte besonders zuverlässig und präzise bestimmt werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann das Bestimmen der Längskräfte ferner anhand des Gewichts der mindestens einen Gleisschiene und/oder der mindestens einen an dem Schienenabschnitt befestigten Gleisschwelle erfolgen. Das Gewicht der Gleisschiene kann beispielsweise als Streckenlast angenommen werden. Das Gewicht der mindestens einen Gleisschwelle kann ebenfalls überschlägig als Streckenlast und/oder in

Form einzelner Punktlasten in die Bestimmung der Längskräfte einfließen. Hierdurch können die Längskräfte besonders präzise bestimmt werden.

5 Gemäß einem Aspekt der Erfindung erfolgt das Verlagern aus der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung und/oder das Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts bei einer Schienentemperatur, welche oberhalb und/oder unterhalb der Neutraltemperatur liegt. Unter der Neutraltemperatur wird diejenige Schienentemperatur verstanden, bei welcher die Längskräfte, insbesondere die Längsdehnungen, in der jeweiligen Gleisschiene
10 gleich null sind. Vorteilhaft wird hierdurch erreicht, dass das Verfahren auch bei erhöhten Umgebungstemperaturen und/oder ohne Kenntnis der Neutraltemperatur ausführbar ist. Dies wird insbesondere dadurch ermöglicht, dass die Gleisschienen nicht von den Gleisschwellen gelöst werden müssen, wodurch diese in ihrer Lage fixiert bleiben und, wodurch Verwerfungen quer zur Längsrichtung vermieden werden. Das Verfahren ist somit
15 sehr robust gegenüber hohen Schienentemperaturen, beispielsweise aufgrund ungenauer Wetterprognosen oder Montageverzögerungen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein mit der Temperatur
20 der mindestens einen Gleisschiene korrelierender Temperatur-Messwert erfasst. Vorzugsweise erfolgt das Erfassen des Temperatur-Messwerts berührend und/oder berührungslos, insbesondere mittels eines Pyrometers. Das Erfassen des Temperatur-Messwerts kann eine Mittelwertbildung über mehrere Einzelmessungen umfassen. Vorzugsweise wird der Temperatur-
25 Messwert im Bereich des Schienenabschnitts und/oder zum Zeitpunkt des Erfassens des mindestens einen Kraft-Messwerts erfasst. Vorzugsweise erfolgt eine örtliche und zeitliche Zuordnung, insbesondere eine kombinierte Dokumentation, der Längskräfte und dem zugehörigen Temperatur-Messwert.

Ein Verfahren nach Anspruch 2 ist besonders zeiteffizient und wirtschaftlich ausführbar. Vorzugsweise ist das Gleis vollständig montiert. Das Verfahren kann nach dem Herstellen des Gleises, insbesondere vor der erstmaligen Freigabe für den Fahrbetrieb, und/oder nach der bereits erfolgten Benutzung im Fahrbetrieb, insbesondere im Zuge einer Instandhaltungsmaßnahme, durchgeführt werden. Die Befestigung der Gleisschienen an sämtlichen Gleisschwellen bleibt vorzugsweise, insbesondere gegenüber dem für den Fahrbetrieb vorgesehenen Zustand, vollständig erhalten. Hierdurch können Sperrzeiten der Gleisstrecke reduziert, insbesondere vermieden werden. Der erforderliche Montageaufwand ist zudem reduziert.

Ein Verfahren nach Anspruch 3 ist besonders flexibel einsetzbar. Die Neutraltemperatur wird vorzugsweise anhand des mindestens einen Temperatur-Messwerts und der ermittelten Längskräfte, insbesondere der Längsdehnung, ermittelt. Entsprechend bekannter Zusammenhänge kann über den Wärmedehnungskoeffizienten einer Gleisschiene in Längsrichtung auf die zum Erzielen einer bestimmten Längsdehnung erforderlichen Temperaturdifferenz geschlossen werden. Über die Neutraltemperatur ist die Beanspruchung der Gleisschienen besonders anschaulich darstellbar und vergleichbar. Insbesondere kann ein Neutraltemperatur-Grenzwert vorgegeben werden. Beim Unterschreiten und/oder Überschreiten des Neutraltemperatur-Grenzwerts wird vorzugsweise bestimmt, dass Instandhaltungsmaßnahmen notwendig sind. Der normale Fahrbetrieb kann in Folge dessen eingeschränkt oder gesperrt werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 4 gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders zuverlässiger und präziser Weise. Der mindestens eine

Weg-Messwert kann an einer beliebigen Position entlang des Schienenabschnitts, vorzugsweise aber im Bereich, insbesondere am Ort, der auf den Schienenabschnitt wirkenden Prüfkraft, bestimmt werden. Der mindestens eine Weg-Messwert kann mit der Vertikalauslenkung und/oder einer Horizontalauslenkung des Schienenabschnitts zwischen der Ausgangsanordnung und der Prüfanordnung korrelieren. Alternativ zum Erfassen des Weg-Messwerts kann der Schienenabschnitt in eine vorbestimmte Prüfposition verlagert werden, beispielsweise mittels einer Verlagerungsmechanik mit festem Endanschlag, insbesondere mittels eines Kniehebels.

10

Ein Verfahren nach Anspruch 5 ist besonders zeiteffizient und wirtschaftlich in der Ausführung. Unter dem Hebe- und Richtaggregat wird eine Einrichtung zum Verlagern eines Gleises aus einer Ist-Gleisanordnung in eine Soll-Gleisanordnung verstanden. Das Hebe- und Richtaggregat ist vorzugsweise zum Verlagern des Gleises quer zu der Längsrichtung, insbesondere in Vertikalrichtung und/oder Horizontalrichtung, ausgebildet. Hebe- und Richtaggregate stehen für den Gleisbau vielfach bereits zur Verfügung. Auf die Anschaffung zusätzlicher Einrichtungen zum Verlagern des Schienenabschnitts kann somit verzichtet werden. Insbesondere kann das Verfahren zeitlich parallelisiert mit einem Verfahren zum Heben und/oder zum Verlagern des Gleises in die Soll-Gleisanordnung ausgeführt werden.

20

Ein Verfahren nach Anspruch 6 ist besonders zeiteffizient und wirtschaftlich in der Ausführung. Das Verdichten der dem Schienenabschnitt zugrundeliegenden Gleisbettung erfolgt vorzugsweise bei einer zumindest anteilig durch das Verlagern von der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung erreichten Bearbeitungsanordnung des Schienenabschnitts. Das für ein Verdichtungsverfahren förderliche Anheben des Gleises kann somit zeitlich

25

parallelisiert zum Bestimmen der Längskräfte genutzt werden. Das Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts erfolgt vorzugsweise zeitlich getrennt von dem Verdichtungsvorgang, insbesondere dem Eindringen der Stopfpickel in die Schotterbettung. Hierdurch können Messfehler, insbesondere aufgrund störender Einflüsse auf das Erfassen des Kraft-Messwerts, vermieden werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 7 gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders zuverlässiger und präziser Weise. Durch Berücksichtigung des Einflusses der Bettungssteifigkeit auf das Bestimmen der Längskräfte wird gewährleistet, dass die Längskräfte, insbesondere bei unterschiedlicher Beschaffenheit der Gleisbettung, zuverlässig und präzise bestimmt werden können. Die Bettungssteifigkeit kann beispielsweise in ein Bettungsmodell einfließen, welches auf dem Bettungsmodulverfahren nach Winkler basiert.

Ein Verfahren nach Anspruch 8 ist besonders flexibel anwendbar und gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders präziser Weise. Vorzugsweise wird ein mit der Bettungssteifigkeit der dem Schienenabschnitt zugrundeliegenden Gleisbettung korrelierender Bettungs-Messwert erfasst. Der Bettungs-Messwert kann zur Bestimmung der Längskräfte herangezogen werden. Hierdurch kann der Einfluss unterschiedlicher Bettungssteifigkeiten auf die Bestimmung der Längskräfte berücksichtigt werden. Der Bettungs-Messwert kann beispielsweise in Form eines Verdichtungs-Messwerts, insbesondere anhand eines mittels des Stopfaggregats erfassten Messwerts, und/oder anhand mindestens eines mit der Prüfkraft korrelierenden Kraft-Messwerts ermittelt werden. Der Verdichtungs-Mess-

wert korreliert insbesondere mit Reaktionskräften zwischen der Gleisbettung und den Stopfpickeln des Stopfaggregats beim Verdichten der Gleisbettung.

- 5 Ein Verfahren nach Anspruch 9 gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders flexibler und zeiteffizienter Weise. Die zum Ausführen des Verfahrens erforderliche Rechenkapazität ist vergleichsweise gering. Insbesondere kann das Bestimmen der Längskräfte anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts mittels einer Auswerteeinrichtung mit einem her-
- 10 kömmlichen Microcontroller und/oder einem herkömmlichen Desktop-PC ausgeführt werden. Geeignete analytische Methoden umfassen beispielsweise ein Strukturmodell, bei welchem die mindestens eine Gleisschiene, insbesondere zusammen mit den Gleisschwellen, als Balken, insbesondere als elastisch gebetteter Balken modelliert ist. Eine entsprechende analyti-
- 15 sche Methode kann beispielsweise auf der linearen Balkentheorie nach Bernoulli oder einer nicht-linearen Balkentheorie basieren.

- Gemäß einem, insbesondere eigenständigen, Aspekt der Erfindung erfolgt das Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen unter Berücksichtigung
- 20 der Bettungssteifigkeit der einem entsprechenden Schienenabschnitt zugrundeliegenden Gleisbettung. Insbesondere können die Längskräfte anhand von Eigenschaften der, insbesondere mit der mindestens einen Gleisschiene verbundenen, Gleisschwelle, insbesondere dem Gewicht der Gleisschwelle, bestimmt werden.

25

Ein Verfahren nach Anspruch 10 gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders flexibler und robuster Weise. Das Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts, welcher mit einer Prüfkraft zum Verlagern eines Schienenabschnitts

aus einer Ausgangsanordnung in eine Prüfanordnung korreliert, auf Basis der Finite Elemente Methode (FEM) stellt insbesondere einen eigenständigen Aspekt der Erfindung dar. Die FEM kann mittelbar zum Bestimmen der Längskräfte genutzt werden. Alternativ kann die FEM zur Bestimmung
5 von Parametern analytischer Methoden zum Bestimmen der Längskräfte genutzt werden. Ein entsprechendes Verfahren wird auch als semi-analytisches Verfahren bezeichnet. Vorzugsweise basiert die FEM auf einer Modellierung der mindestens einen Gleisschiene mittels Lagrange-Polynomen, noch bevorzugter auf einer Modellierung mittels Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS). Eine besonders präzise Bestimmung der Längskräfte in
10 Gleisschienen wird ermöglicht durch eine isogeometrische Analyse eines Strukturmodells des Gleises und/oder der Gleisbettung.

Ein Verfahren nach Anspruch 11 gewährleistet das Bestimmen der Längskräfte in besonders robuster und präziser Weise. Das Bestimmen der
15 Längskräfte erfolgt vorzugsweise anhand von mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens fünf, insbesondere mindestens zehn der Kraft-Messwerte. Die Kraft-Messwerte werden vorzugsweise an derselben Position und/oder an unterschiedlichen Positionen entlang der
20 Längsrichtung des Gleises erfasst. Ein Mittelwert über mehrere der Kraft-Messwerte kann gebildet werden. Ferner kann die Anzahl erforderlicher vorbekannter Parameter zum Berechnen der Längskräfte reduziert werden. Das Verfahren ist besonders flexibel einsetzbar und führt zu besonders präzisen Ergebnissen.

25

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine verbesserte Vorrichtung zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen, insbesondere zum Ausführen des vorstehend beschriebenen Verfahrens, zu schaffen, welche besonders flexibel, zeiteffizient und wirtschaftlich einsetzbar ist.

- Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Die Vorteile der Vorrichtung entsprechen den Vorteilen des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Vorzugsweise ist die Vorrichtung mit mindestens einem der Merkmale weitergebildet, die vorstehend in Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben sind. Die Prüfeinrichtung weist vorzugsweise mindestens einen Prüffaktor, insbesondere einen Hebeaktor und/oder einen Richtaktor, zum Verlagern des jeweiligen Schienenabschnitts der mindestens einen Gleisschiene, insbesondere zweier Gleisschienen, insbesondere eines Gleisabschnitts, aus der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung durch Bereitstellen der Prüfkraft auf. Der mindestens eine Prüffaktor kann zum Verlagern des Schienenabschnitts in vertikaler Richtung und/oder in horizontaler Richtung ausgebildet sein.
- 15 Die Prüfeinrichtung kann zum Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts vorzugsweise mindestens ein Kraft-Messmittel aufweisen. Die Prüfeinrichtung kann mindestens ein Weg-Messmittel zum Erfassen des mindestens einen Weg-Messwerts aufweisen.
- 20 Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist die Vorrichtung als Gleisbaumaschine, insbesondere zur Herstellung und/oder Instandhaltung eines Gleises, ausgebildet.

- Eine Vorrichtung nach Anspruch 13 ist besonders flexibel und zeiteffizient einsetzbar. Der Fahrwagen kann als Zwei-Wege-Fahrzeug ausgebildet sein. Der Fahrwagen kann einen Fahrmotor aufweisen oder als Anhänger ohne Fahrantrieb ausgebildet sein. Die Prüfeinrichtung ist vorzugsweise unlösbar oder lösbar an dem Fahrwagen angebracht. Die Prüfeinrichtung kann eine Kopplung zum lösbaren Verbinden mit dem Fahrwagen aufweisen.
- 25

Eine Vorrichtung nach Anspruch 14 ist besonders flexibel und wirtschaftlich einsetzbar. Mittels der Prüfeinrichtung sind vorzugsweise die Längskräfte in demjenigen Schienenabschnitt bestimmbar, auf dem der Fahrwagen angeordnet ist, insbesondere den der Fahrwagen entlang der Längsrichtung des Gleises überlappt. Mittels der Vorrichtung können zusätzlich oder alternativ die Längskräfte in einem Schienenabschnitt eines benachbarten Gleises bestimmt werden. Hierzu kann die Vorrichtung eine mit dem Fahrwagen verbundene Positioniereinrichtung zum Verlagern der Prüfeinrichtung senkrecht zu dem Gleis aufweisen.

Eine Vorrichtung nach Anspruch 15 ist besonders flexibel und wirtschaftlich im Betrieb. Vorzugsweise wird der mindestens eine Prüfkraftaktor zum Verlagern des Schienenabschnitts aus der Ausgangsanordnung in die Prüfanordnung sowohl zum Bestimmen der Längskräfte, insbesondere zum Bewirken der Prüfkraft, als auch zum Verdichten der dem Schienenabschnitt zugrundeliegenden Gleisbettung verwendet. Ein separater Hebeaktor kann eingespart werden. Das Verdichten der Gleisbettung und das Bestimmen der Längskräfte in den Gleisschienen ist zeitlich zumindest teilweise parallelisierbar.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figuren. Es zeigen:

25

Fig. 1 Eine Seitenansicht einer Vorrichtung, insbesondere einer Gleisbaumaschine, zum Bestimmen der Längskräfte in Schienen, aufweisend eine Prüfeinrichtung zum Verlagern eines

Schienenabschnitts, wobei der Schienenabschnitt in einer Ausgangsanordnung angeordnet ist,

Fig. 2 eine Seitenansicht der Vorrichtung in Fig. 1, wobei mittels
5 der Prüfeinrichtung eine Prüfkraft auf den Schienenabschnitt ausgeübt wird und wobei der Schienenabschnitt in einer Prüfanordnung angeordnet ist,

Fig. 3 ein Strukturmodell des Schienenabschnitts in Fig. 2 zum Be-
10 stimmen der Längskräfte anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts, und

Fig. 4 ein Freischnitt eines Abschnitts des Strukturmodells in Fig. 3
15 mit den an den Schnittgrenzen wirkenden Schnittkräften.

Anhand der Fig. 1 bis Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung
1 zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen 2 beschrieben. Die
Vorrichtung 1 weist einen Fahrwagen 3 zum Befahren eines Gleises 4 und
eine Prüfeinrichtung 5 zum Verlagern eines Schienenabschnitts 6 der min-
20 destens einen Gleisschiene 2 und zum Erfassen mindestens eines Kraft-
Messwerts auf.

Das Gleis 4 ist auf einer Gleisbettung 7, insbesondere einem Schotterbett,
angeordnet. Zwei parallel und beabstandet zueinander angeordnete Gleis-
25 schienen 2 sind an Gleisschwellen 8 befestigt. Die Gleisschwellen 8 liegen
auf der Gleisbettung 7 auf. Das Gleis 4 weist einen befahrbaren Montage-
zustand auf.

Der Fahrwagen 3 ist zum Befahren des Gleises 4 auf den Gleisschienen 2 angeordnet. Der Fahrwagen 3 umfasst zwei Drehgestelle 9 und einen daran angebrachten Tragrahmen 10. Die Drehgestelle 9 weisen schienenführbare Räder 11 auf. Mindestens ein Fahrmotor 12 des Fahrwagens 3 stellt die
5 zum Verlagern entlang des Gleises 4 erforderliche Antriebskraft bereit.

Die Prüfeinrichtung 5 umfasst ein Hebe- und Richtaggregat 13. Das Hebe- und Richtaggregat 13 weist einen Greifer 14 zum reversiblen Greifen der Gleisschiene 2 auf. Je ein Hebeaktor 15 pro Gleisschiene 2 ist zum Verla-
10 gern des Schienenabschnitts 6 entlang einer Vertikalrichtung z vorgesehen. Ein nicht dargestellter Richtaktor ist zum Verlagern der mindestens einen Gleisschiene 2 in eine senkrecht zu einer Längsrichtung x des Gleises 4 orientierten Horizontalrichtung y ausgebildet. Der jeweilige Hebeaktor 15 und der jeweilige Richtaktor sind als fluidische, insbesondere hydraulische,
15 Aktoren ausgebildet. Der Hebeaktor 15 und/oder der Richtaktor sind vorzugsweise zum Bewirken einer Prüfkraft F_P , insbesondere über den Greifer 14, auf die jeweilige Gleisschiene 2 ausgebildet.

Das Hebe- und Richtaggregat 13 weist ein Kraft-Messmittel 16 auf, das
20 zum Erfassen eines Kraft-Messwerts ausgebildet ist, der mit der Prüfkraft F_P zum Verlagern des mindestens einen Schienenabschnitts 6 zwischen einer Ausgangsanordnung und einer Prüfanordnung korreliert. Das Kraft-Messmittel 16 ist vorzugsweise als Kraftmessdose ausgebildet. Das Hebe- und Richtaggregat 13 weist ferner ein Weg-Messmittel je Hebeaktor 15
25 und je Richtaktor zum Erfassen jeweils eines Weg-Messwerts w auf, welcher mit einer vertikalen und/oder horizontalen Auslenkung der mindestens einen Gleisschiene 2, insbesondere des Schienenabschnitts 6, insbesondere im Bereich des Greifers 14, zwischen der Ausgangsanordnung und der

Prüfanordnung korreliert. Das jeweilige Weg-Messmittel 17 weist vorzugsweise mindestens einen Stellwegsensensor, insbesondere ein Potentiometer, zum Erfassen eines Stellwegs des jeweiligen Hebeaktors 15 und/oder des jeweiligen Richtaktors auf.

5

Das Hebe- und Richtaggregat 13 ist an dem Tragrahmen 10 angebracht. Eine Versorgungseinrichtung 18 der Vorrichtung 1 stellt die zum Betreiben der Vorrichtung 1 erforderliche elektrische und fluidische Leistung bereit, insbesondere die zum Betreiben des jeweiligen Hebeaktors 15 und des

10 Richtaktors erforderliche hydraulische Leistung.

Die Vorrichtung 1 weist ein Stopfaggregat 19 zum Verdichten der dem Gleis 4 zugrundeliegenden Gleisbettung 7 auf. Das Stopfaggregat 19 ist über eine vertikal orientierte Linearführung 20 an einem Aggregatträger 21
15 angebracht. Der Aggregatträger 21 ist an dem Tragrahmen 10 befestigt. Ein Vertikalantrieb 22 ist zum Verlagern des Stopfaggregats 19 entlang der Linearführung 20 ausgebildet.

Das Stopfaggregat 19 umfasst zwei Stopfpickel 23 und einen Stopfantrieb
20 24. Der Stopfantrieb 24 ist zum Schwenken der Stopfpickel 23 um horizontale Stopfpickelachsen 25 ausgebildet. Auf die Stopfpickel 23 wird mittels des Stopfantriebs 24 eine kombinierte Schwenk- und Vibrationsbewegung um die jeweilige Stopfpickelachse 25 übertragen. Der Stopfantrieb 24 umfasst elektrische und/oder fluidische, insbesondere hydraulische Aktoren.
25 Der Stopfantrieb 24 steht mit der Versorgungseinrichtung 18 in leistungübertragender Verbindung. Mittels der Versorgungseinrichtung 18 wird das Stopfaggregat 19 mit der benötigten elektrischen und/oder fluidischen Leistung versorgt.

Die Vorrichtung 1 weist eine Steuereinrichtung 26 auf. Die Steuereinrichtung 26 steht in Signalverbindung mit dem Hebe- und Richtaggregat 13 und dem Stopfaggregat 19, insbesondere ferner dem Fahrwagen 3 und der Versorgungseinrichtung 18. Die Steuereinrichtung 26 ist dazu ausgebildet, 5 das Anordnen des Gleises 4, insbesondere der mindestens einen Gleisschiene 2, mittels des Hebe- und Richtaggregats 13 zu steuern. Ferner ist die Steuereinrichtung 26 ist dazu ausgebildet, das Verdichten der Gleisbettung 7 mittels des Stopfaggregats 19 zu steuern. Insbesondere ist die Steuereinrichtung 26 zum Steuern der Versorgungseinrichtung 18 und/oder der 10 Fahrbewegung des Fahrwagens 3 entlang des Gleises 4 ausgebildet.

Das Stopfaggregat 19 weist ein nicht dargestelltes Reaktionskraft-Messmittel zum Erfassen eines Reaktionskraft-Messwerts auf, welcher mit einer zwischen der Gleisbettung 7 und den Stopfpickeln 23 wirkenden Schotterkraft korreliert. Das Reaktionskraft-Messmittel kann beispielsweise als 15 Drucksensor zum Erfassen des hydraulischen Drucks in einem hydraulischen Aktor des Stopfantriebs 24 ausgebildet sein. Vorzugsweise ist das Reaktionskraft-Messmittel dazu ausgebildet, einen Reaktionskraft-Messwert zu erfassen, welcher beim Eindringen des mindestens einen Stopfpickels 23 in die Gleisbettung 7, insbesondere in vertikaler Richtung, und/oder bei einer zyklischen Bewegung, insbesondere einer Vibrationsbewegung, des mindestens einen Stopfpickels 23 zwischen dem mindestens einen Stopfpickel 23 und der Gleisbettung 7 wirkt. Der Reaktionskraft-Messwert kann entsprechend mit der auf den mindestens Stopfpickel 23 wirkenden 20 Eindringkraft und/oder einer beim Verdichten auf den mindestens einen Stopfpickel 23 wirkenden Vibrationskraft korrelieren.

Ferner umfasst die Vorrichtung 1 ein Temperatur-Messmittel 27 zum Bestimmen der Temperatur der mindestens einen Gleisschiene 2. Das Temperatur-Messmittel 27 ist als Pyrometer ausgebildet. Es steht mit der Steuereinrichtung 26 in Signalverbindung.

5

Eine Auswerteeinrichtung 28 der Vorrichtung 1 ist zum Bestimmen der Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene 2 anhand eines Signals des Kraft-Messmittels 16, insbesondere ferner anhand von Signalen des jeweiligen Weg-Messmittels 17, des Reaktionskraft-Messmittels und/oder

10

des Temperatur-Messmittels 27, ausgebildet.

Die Funktionsweise der Vorrichtung 1 zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen 2 ist wie folgt:

- 15 In der Fig. 1 ist die Vorrichtung 1 in einer ersten Arbeitsstellung dargestellt. In der ersten Arbeitsstellung ist die Vorrichtung 1 auf dem Gleis 4 angeordnet. Die Stopfpickel 23 des Stopfaggregats 19 stehen außer Eingriff mit der Gleisbettung 7. Die beiden paarweise angeordneten Schienenabschnitte 6 überlappen entlang der Längsrichtung x das Hebe- und Richtaggregat 13, die beiden Greifer 14 und das Stopfaggregat 19. Das Hebe- und
- 20 Richtaggregat 13 ist über die beiden Greifer 14 formschlüssig mit den Schienenabschnitten 6 verbunden. Das Hebe- und Richtaggregat 13 übt in der ersten Arbeitsstellung keine Kraft auf das Gleis 4, insbesondere die Schienenabschnitte 6 der Gleisschienen 2, aus. Die beiden Gleisschienen 2,
- 25 insbesondere die Schienenabschnitte 6, befinden sich in der Ausgangsanordnung.

Zum Bestimmen der Längskräfte in den beiden Gleisschienen 2 stellt die Steuereinrichtung 26 ein Signal zum Aktivieren der beiden Hebeaktoren 15

an der Versorgungseinrichtung 18 bereit. Die Hebeaktoren 15 stellen die Prüfkraft F_P bereit und verlagern die beiden Greifer 14 mit den Schienenabschnitten 6 in Vertikalrichtung z nach oben. Die Vorrichtung 1 befindet sich in der in der Fig. 2 dargestellten zweiten Arbeitsstellung. Die beiden
5 Gleisschienen 2, insbesondere die Schienenabschnitte 6, befinden sich in der Prüfanordnung.

Die Vertikalauslenkung w ist bestimmt durch den Abstand des jeweiligen Schienenabschnitts 6 zwischen der Ausgangsanordnung und der Prüfanord-
10 nung am Ort der Einleitung der Prüfkraft F_P , also an dem jeweiligen Greifer 14. Das jeweilige Weg-Messmittel 17 des Hebe- und Richtaggregats 13 erfasst den mit dem Stellweg des zugehörigen Hebeaktors 15 und entsprechend den mit der Vertikalauslenkung w korrelierenden Weg-Messwert. Mittels des Kraft-Messmittels 16 wird ein Kraft-Messwert erfasst, der mit
15 der über den jeweiligen Greifer 14 auf die jeweilige Gleisschiene 2 wirkenden Prüfkraft F_P korreliert.

Die Gleisschienen 2 sind in der Prüfanordnung, insbesondere beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts, an den Gleisschwellen 8 befestigt. In der Prüfanordnung befindet sich das Gleis 4, insbesondere im Be-
20 reich des mindestens einen Schienenabschnitts 6, in einem befahrbaren Montagezustand.

Das Temperatur-Messmittel 27 erfasst, insbesondere berührungslos, einen
25 mit der Temperatur der jeweiligen Gleisschiene 2 korrelierenden Temperatur-Messwert.

Die Steuereinrichtung 26 stellt ein Signal zum Beginnen des Verdichtens der Gleisbettung 7 bereit. Das Stopfaggregat 19 wird mittels des Vertikal-
 antriebs 22 abgesenkt. Die Stopfpickel 23 dringen in die Gleisbettung 7
 ein. Die Stopfpickel 23 werden um die jeweilige Stopfpickelachse 25 ge-
 5 geschwenkt und mit einer Vibrationsbewegung beaufschlagt. Der Schotter
 der Gleisbettung 7 wird im Bereich unterhalb des Stopfaggregats 19 ver-
 dichtet. Ein Reaktionskraft-Messwert wird beim Verdichten der Gleisbet-
 tung 7 mittels des Reaktionskraft-Messmittels erfasst. Der Verdichtungs-
 vorgang wird beendet und das Stopfaggregat 19 wird wieder in die erste
 10 Arbeitsstellung verlagert.

Die Längskräfte, insbesondere eine Normalkraft N , in den Gleisschienen 2
 werden anhand der erfassten Kraft-Messwerte, Weg-Messwerte, Tempera-
 tur-Messwerte und Reaktionskraft-Messwerte bestimmt. In der Auswer-
 15 teereinrichtung 28 sind Informationen bezüglich der gewichtsbasierten Stre-
 ckenlast aufgrund des Längengewichts q_g der Gleisschienen 2 hinterlegt.
 Ferner umfasst die Auswertereinrichtung 28 Informationen über das resul-
 tierende Längengewicht q_s der Gleisschwellen 8 entlang der Längsrichtung
 x . Dieses Längengewicht q_s der Gleisschwellen 8 entspricht dem Quotien-
 20 ten aus dem mittleren Gewicht der einzelnen Gleisschwelle 8, insbesondere
 innerhalb des Schienenabschnitts 6, und dem mittleren Abstand l_s zwischen
 den Mittellängsachsen zweier benachbarter Gleisschwellen 8. Ebenfalls in
 der Auswertereinrichtung 28 hinterlegt sind Informationen bezüglich des
 Elastizitätsmoduls E , der Querschnittsfläche A und des Wärmeausdeh-
 25 nungskoeffizienten α_T der Gleisschienen 2 sowie des Flächenträgheitsmo-
 ments I der Gleisschienen 2, um die horizontale Querachse y und/oder um
 die Vertikalachse z . Die Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene
 2 werden vorzugsweise bestimmt anhand des Flächenträgheitsmoments I
 der Gleisschiene 2 um die horizontale Querachse y bei einer Verlagerung

des Schienenabschnitts 6 in Vertikalrichtung z und/oder anhand des Flächenträgheitsmoments I der Gleisschiene 2 um die Vertikalachse z beim Verlagern des Schienenabschnitts 6 in Horizontalrichtung y.

- 5 Ein Bettungsmodul k der Gleisbettung 7 ist in der Auswerteeinrichtung 28 hinterlegt. Der Bettungsmodul k entspricht der Steifigkeit der Gleisbettung 7 in Vertikalrichtung z. Der Bettungsmodul k wird anhand des Reaktionskraft-Messwerts bestimmt, insbesondere angepasst.
- 10 Anhand der vorstehend beschriebenen Informationen werden die Längskräfte, insbesondere die Normalkräfte N, die Normalspannung σ_N und/oder die Längsdehnung ϵ_N , in den Gleisschienen 2 berechnet. Die Berechnung erfolgt gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel ausschließlich anhand eines in der Auswerteeinrichtung 28 hinterlegten FEM-Modells.
- 15 Ferner wird eine Neutraltemperatur T_N der jeweiligen Gleisschiene 2 bestimmt. Unter der Neutraltemperatur T_N wird jene Temperatur verstanden, bei welcher die Längskräfte, insbesondere Normalkräfte N, in den Gleisschienen 2 zu null werden. Hierzu wird die Prüftemperatur T_P der Gleis-
- 20 schienen 2 anhand des Temperatur-Messwerts bestimmt, der beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts vorliegt. Die Neutraltemperatur T_N des jeweiligen Schienenabschnitts 6 wird hieraus wie folgt bestimmt:

$$T_N = T_P + \frac{N}{EA\alpha_T}$$

25

Zum Bestimmen der Prüftemperatur T_P wird der Temperatur-Messwert mittels des Temperatur-Messmittels 27 vorzugsweise mehrfach während der Überfahrt über den jeweiligen Schienenabschnitt 6 erfasst. Aus den

mehreren Messwerten kann ein Mittelwert bestimmt werden, welcher eine besonders präzise Bestimmung der Prüftemperatur T_P ermöglicht. Durch die Mittelung können lokale Temperaturschwankungen und Messabweichungen ausgeglichen werden.

5

Gemäß einer alternativen Ausführungsform können die Längskräfte, insbesondere die Normalkraft N , die Normalspannung σ_N und die Längsdehnung ε_N , in der jeweiligen Gleisschiene 2 anhand analytischer Methoden be-

10

stimmt werden. Die jeweilige Gleisschiene 2 wird auf Grundlage der linearen Balkentheorie nach Bernoulli als elastisch gebetteter Balken modelliert. Die Gleisbettung 7 wird basierend auf dem vorbekannten Bettungsmodulverfahren nach Winkler modelliert. Das Randwertproblem für die Vertikal-

auslenkung w entlang der Längsrichtung x kann dabei wie folgt beschrieben werden:

15

$$EIw''''(x) + k\gamma(w(x))w(x) = q_g + q_s.$$

Die Auflagerpunkte der dem Hebe- und Richtaggregat 13 nächsten Räder 11 werden als Festlager bezüglich der Längsrichtung x angenommen, wo-

20

raus folgt

$$w'(x = 0) = w'(x = l) = 0,$$

$$-EIw'''(x = 0) = F_{R1}, \text{ und}$$

$$-EIw'''(x = l) = F_{R2}.$$

25

F_{R1} und F_{R2} sind die an den Rädern 11 auf die Gleisscheinen 2 wirkenden, vertikalen Querkräfte. γ ist eine Indikatorfunktion für den Bettungsausfall aufgrund der Prüfkraft F_P , die bestimmt wird gemäß

- 22 -

$$\gamma(w(x)) = \frac{1}{2} [\tanh(\lambda w(x)) + 1].$$

Der Bettungsparameter λ beschreibt den Übergang zwischen dem auf der
 5 Gleisbettung 7 aufliegenden Bereich des Schienenabschnitts 6 und dem Bereich des Schienenabschnitts 6, der außer Kontakt mit der Gleisbettung 7 steht. Vorzugsweise wird der Bettungsparameter λ deutlich größer angenommen als der maximal auftretende Wert der Vertikalauslenkung w . Zum Bestimmen der Vertikalauslenkung $w(x)$ kann die obige Differentialgleichung
 10 nummerisch gelöst werden. Hierauf basierend werden die Positionen x_A und x_B bestimmt, in denen die Querkräfte $Q_A = Q(x = x_A)$, $Q_B = Q(x = x_B)$ gleich null sind. In diesen Positionen werden die der Neigung der Gleisschienen 2 entsprechenden Gleisschienenwinkel α , β folgendermaßen bestimmt:

15

$$\alpha \approx \tan \alpha = w'(x_A), \text{ und}$$

$$\beta \approx \tan \beta = w'(x_B).$$

Das Kräftegleichgewicht in vertikaler Richtung liefert die zu bestimmende
 20 Normalkraft N gemäß

$$N = \frac{F_P - (x_B - x_A) * (q_s + q_g)}{\sin \alpha + \sin \beta}.$$

Alternativ können die Gleisschienenwinkel α , β näherungsweise als Quoti-
 25 ent aus der Vertikalauslenkung w und einem empirisch ermittelten Längenwert bestimmt werden, welcher mit dem Abstand zwischen den Positionen

x_A, x_B korreliert. Anhand der Normalkraft N kann die Normalspannung σ_N wie folgt bestimmt werden:

$$\sigma_N = \frac{N}{A}.$$

5

Die Längsdehnung ε_N kann folgendermaßen berechnet gemäß

$$\varepsilon_N = \frac{N}{EA}.$$

- 10 Vorzugsweise wird der mit der Prüfkraft F_P korrelierende mindestens eine Kraft-Messwert bei mindestens zwei unterschiedlichen Vertikalauslenkungen w erfasst. Insbesondere kann ein Verlauf des mindestens einen Kraft-Messwerts über der Vertikalauslenkung w bestimmt. Hierdurch können die Längskräfte in der jeweiligen Gleisschiene 2, insbesondere während des
- 15 Verlagerns des Schienenabschnitts 6 zwischen der Ausgangsordnung und der Prüfanordnung mehrfach bestimmt werden. Durch Mittelwertbildung über diese mehreren Längskräfte kann eine Steigerung der Genauigkeit erzielt werden. Ferner kann hierdurch auf das Gewicht der jeweiligen Gleisschiene 2 und/oder der Gleisschwellen 8 rückgeschlossen werden. Die
- 20 Längskräfte in den Gleisschienen 2 sind somit besonders zuverlässig und präzise bestimmbar.

- Vorzugsweise wird ein Computerprogrammprodukt zum Ausführen des vorstehend beschriebenen Verfahrens bereitgestellt. Das Computerprogrammprodukt kann auf einer Speichereinheit, insbesondere der Auswerteeinrichtung 28, hinterlegt sein.
- 25

- Dadurch, dass das Verfahren in einem befahrbaren Montagezustand des Gleises 4 ausführbar ist, kann das Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen 2 besonders zeiteffizient und wirtschaftlich erfolgen. Die mindestens eine an dem Schienenabschnitt 6 befestigte Gleisschwelle 8 wird, wie
- 5 vorstehend beschrieben, insbesondere durch Berücksichtigung ihres Gewichts und der darauf einwirkenden Gleisbettung 7, bei der Bestimmung der Längskräfte einbezogen. Ein Lösen der Verbindung zwischen den Gleisschienen 2 und den Gleisschwellen 8 zum Bestimmen der Längskräfte kann vermieden werden. Eine zerstörungsfreie Prüfung des Gleises 4 wird
- 10 ermöglicht. Das Verfahren ist insbesondere unabhängig von der Differenz zwischen der Neutraltemperatur T_N und der Prüftemperatur T_P ausführbar. Insbesondere kann die Prüftemperatur T_P zum Ausführen des Verfahrens größer sein als die Neutraltemperatur T_N , weil ein Verlagern der Gleisschienen 2 relativ zu den Gleisschwellen 8 nicht zu befürchten ist.
- 15
- Dadurch, dass das Verfahren mittels der Vorrichtung 1, insbesondere mittels einer Gleisbaumaschine, ausgeführt wird, kann das Bestimmen der Längskräfte in besonders wirtschaftlicher Weise erfolgen. Eine entsprechende Vorrichtung 1 weist einen besonders breiten Einsatzbereich auf.
- 20 Das Verdichten der Gleisbettung 7 und das Bestimmen der Längskräfte kann mittels der Vorrichtung 1 zeitlich zumindest teilweise parallelisiert und somit besonders zeiteffizient erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Längskräfte in Gleisschienen (2), aufweisend die Schritte:
 - 5 1.1 Verlagern eines Schienenabschnitts (6) mindestens einer der Gleisschienen (2) aus einer Ausgangsanordnung in eine Prüfanordnung durch Bereitstellen einer Prüfkraft (F_P),
 - 1.2 Erfassen mindestens eines mit der Prüfkraft (F_P) korrelierenden Kraft-Messwerts in der Prüfanordnung, und
 - 10 1.3 Bestimmen der Längskräfte in der mindestens einen Gleisschiene (2) anhand des mindestens einen Kraft-Messwerts,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - 1.4 beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts mindestens eine Gleisschwelle (8) an dem Schienenabschnitt (6) befestigt ist.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schienenabschnitt (6) beim Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts einen befahrbaren Montagezustand aufweist.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** Bestimmen der Neutraltemperatur (T_N) der mindestens einen Gleisschiene (2) anhand der Längskräfte.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Erfassen mindestens eines mit einer Auslenkung (w) der mindestens eine Gleisschiene (2) zwischen der Ausgangsanordnung und der Prüfanordnung korrelierenden Weg-Messwerts.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verlagern mittels eines Hebe- und Richtaggregats (13) einer Gleisbaumaschine (1) erfolgt.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Verdichten einer dem Schienenabschnitt (6) zugrundeliegenden Gleisbettung (7).
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Bestimmen der Längskräfte unter Berücksichtigung der Bettungssteifigkeit (k) einer dem Schienenabschnitt (6) zugrundeliegenden Gleisbettung (7).
10
8. Verfahren nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** Bestimmen der Bettungssteifigkeit (k) anhand mindestens eines beim Verdichten der Gleisbettung (7) erfassten Verdichtungs-Messwerts und/oder anhand des mindestens einen mit der Prüfkraft (F_P) korrelierenden Kraft-Messwerts.
15
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmen der Längskräfte mittels analytischer Methoden erfolgt.
20
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmen der Längskräfte mittels der Finite Elemente Methode erfolgt.
25
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Bestimmen der Längskräfte anhand von mindestens zwei der

Kraft-Messwerte, welche mit Prüfkräften (F_P) in jeweils unterschiedlichen Prüfanordnungen korrelieren.

- 5 12. Vorrichtung (1) zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Prüfeinrichtung (5) zum Verlagern des Schienenabschnitts (6) und zum Erfassen des mindestens einen Kraft-Messwerts.
- 10 13. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12, **gekennzeichnet durch** einen Fahrwagen (3) zum Befahren eines Gleises (4), wobei die Prüfeinrichtung (5) an dem Fahrwagen (3) befestigt ist.
- 15 14. Vorrichtung (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese derart ausgebildet ist, dass ein Schienenabschnitt (6) der den Fahrwagen (3) tragenden Gleisschiene (2) mittels der Prüfeinrichtung (5) verlagerbar ist.
- 20 15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **gekennzeichnet durch** ein Stopfaggregat (19) zum Verdichten einer dem Schienenabschnitt (6) zugrundeliegenden Gleisbettung (7).

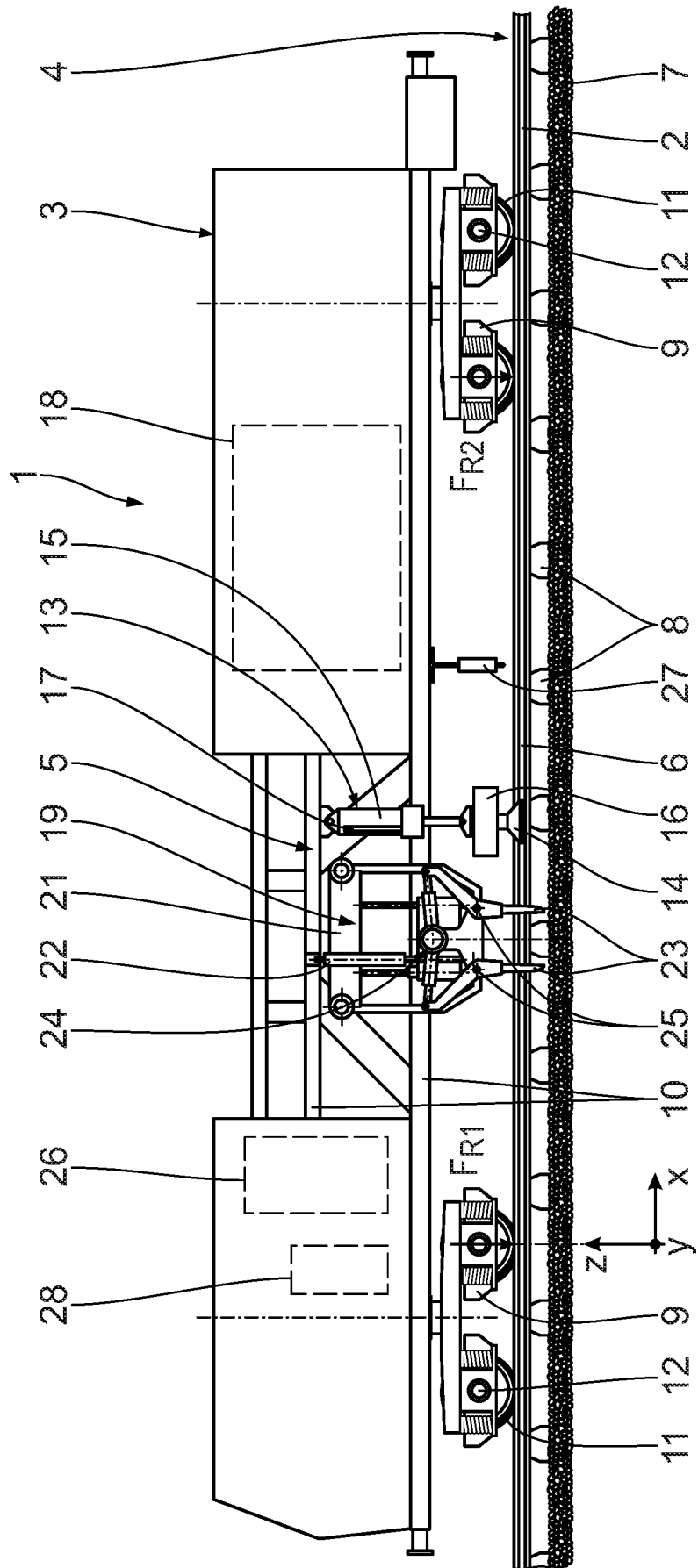


Fig. 1

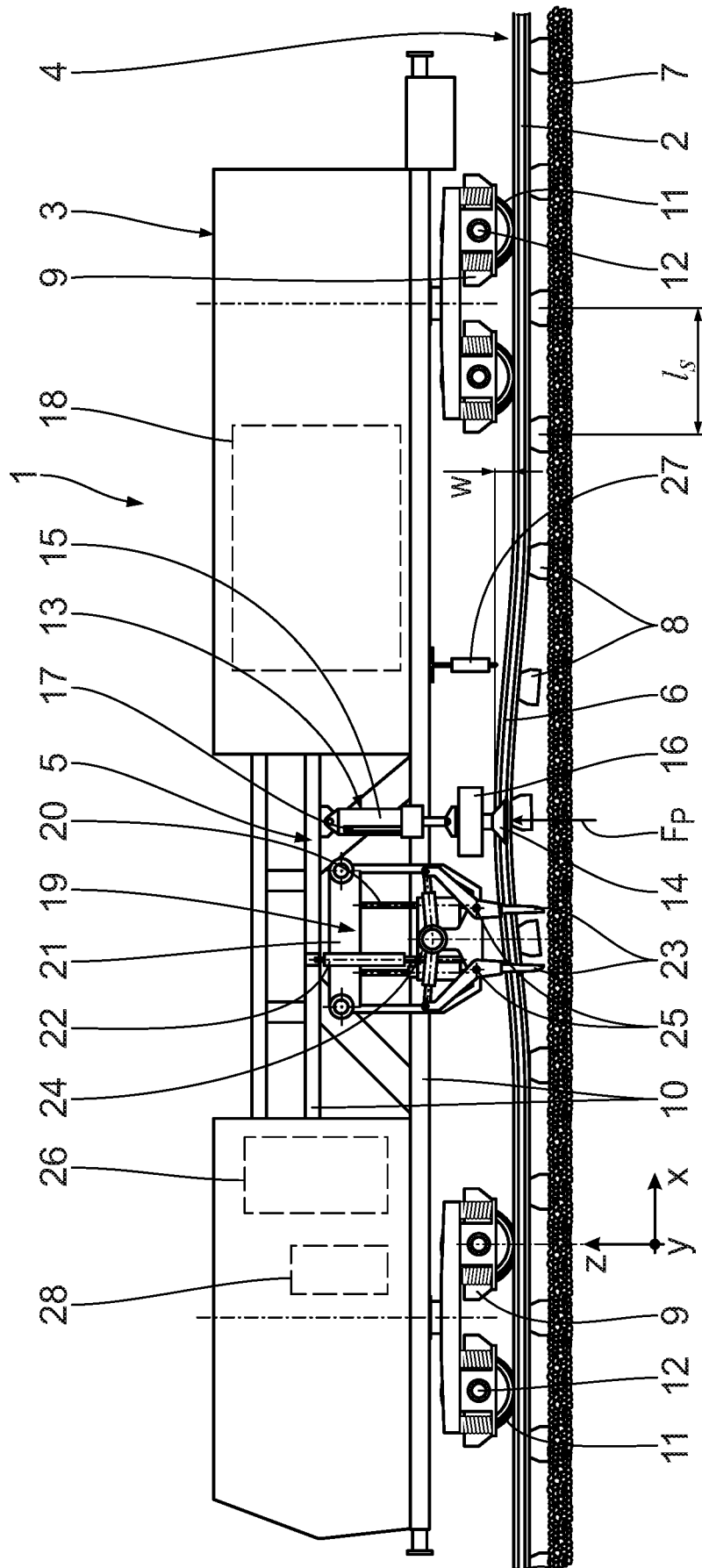


Fig. 2

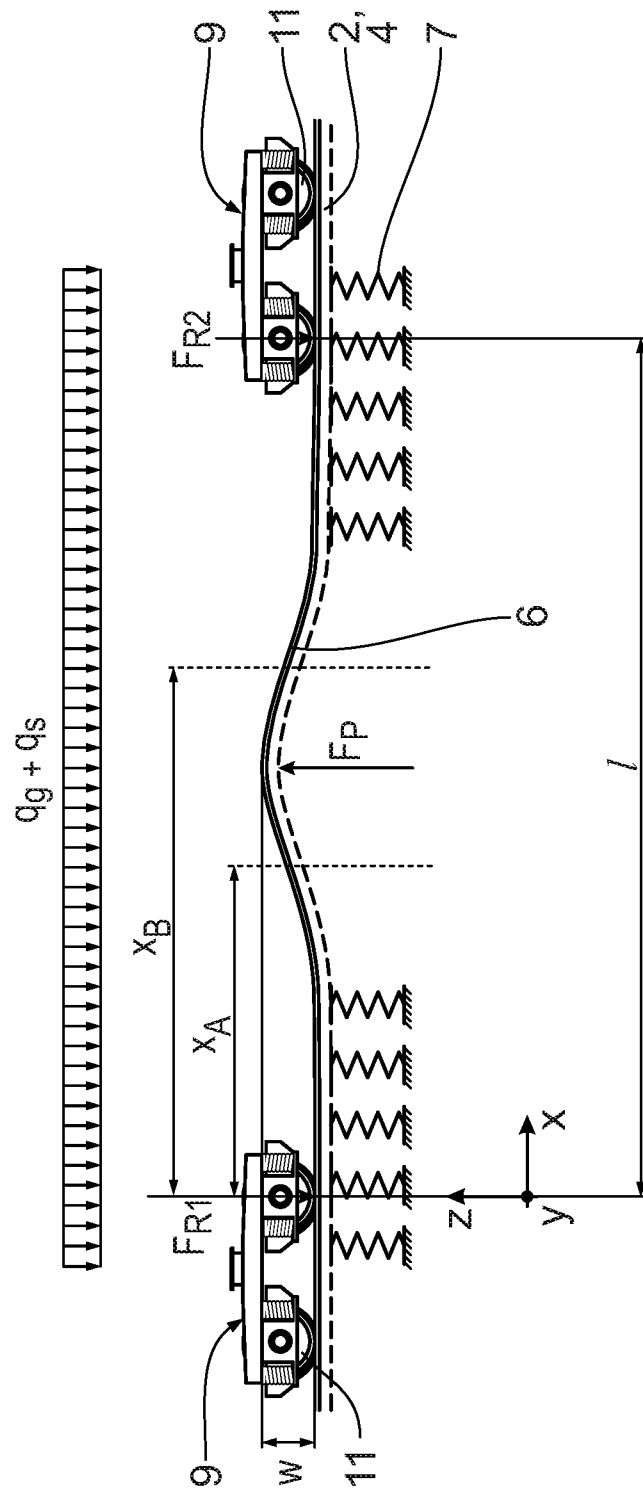


Fig. 3

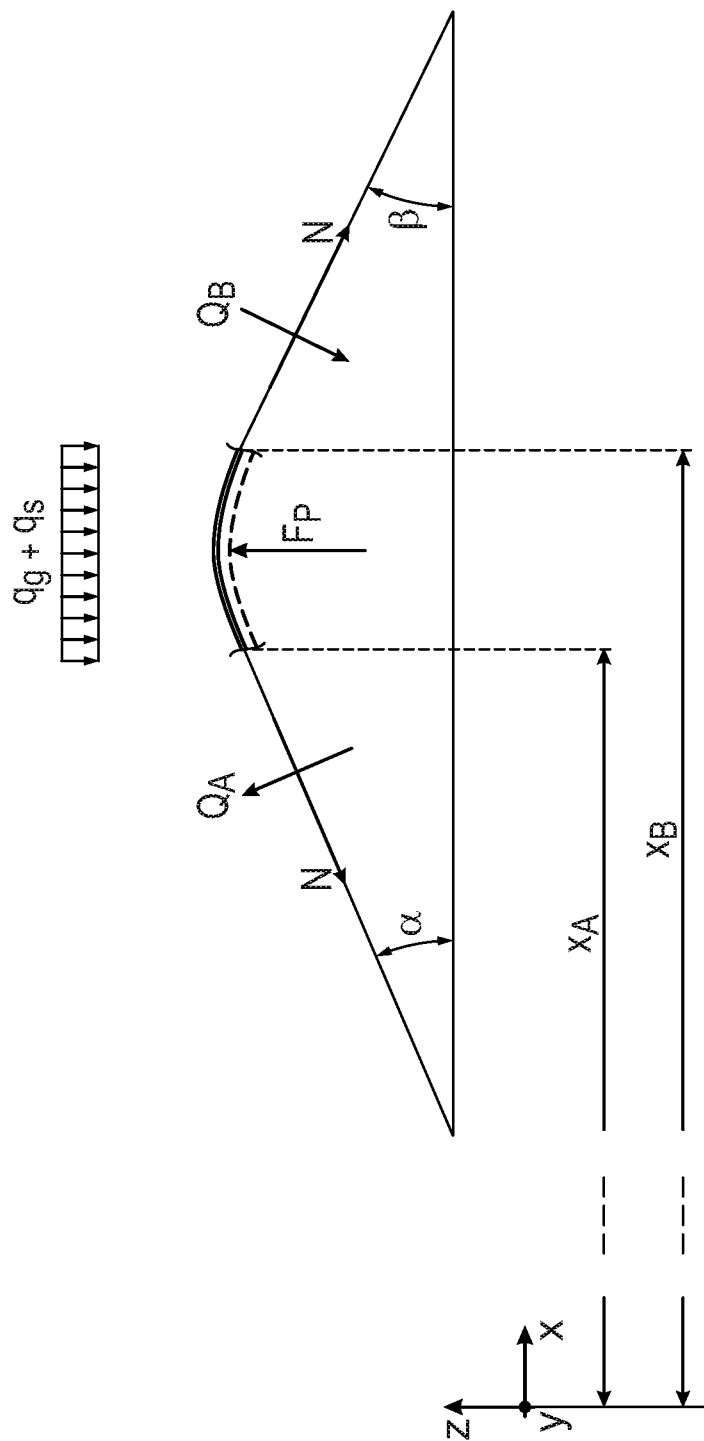


Fig. 4