

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51006/2022
(22) Anmeldetag: 27.12.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2025

(51) Int. Cl.: **E01B 27/20** (2006.01)
E01B 35/06 (2006.01)
E01B 35/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 4102869 A1
WO 2022008151 A1
WO 2017144152 A1

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

(54) Verfahren und ein System zur Überprüfung einer Befestigung zumindest einer Schiene eines Gleises

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überprüfung einer Befestigung zumindest einer Schiene (4a, 4b) eines Gleises (3) mit den folgenden Schritten:

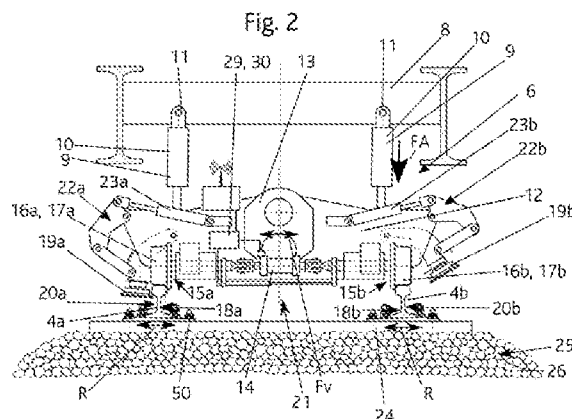
Erzeugen einer mechanischen Bewegung (F_v);
Anpressen zumindest eines ersten Übertragungselements (16a, 16b) an die Schiene (4a, 4b) mithilfe zumindest eines ersten Anpresselements (14), wobei das erste Anpresselement (14) einen ersten Anpressdruck (P_1) gemäß eines ersten statischen Soll-drucks ($P_{1\text{statisch_soll}}$) erzeugt;

Übertragen der mechanischen Bewegung (F_v) auf die Schiene (4a, 4b);

Erfassen der Bewegungsreaktionen (R) der schiene (4a, 4b) in Folge der mechanischen Bewegung (F_v) an einer ersten (27) und an einer zweiten Stelle (28);

Vergleichen der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28); und

Bewerten der Schienenbefestigung auf Basis des Verbleichs der Bewegungsreaktionen (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten und an der zweiten Stelle (28).
Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System (7) zur Ausführung des Verfahrens.



Beschreibung

VERFAHREN UND EIN SYSTEM ZUR ÜBERPRÜFUNG EINER BEFESTIGUNG ZUMINDEST EINER SCHIENE EINES GLEISES

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Überprüfung einer Befestigung zumindest einer Schiene eines Gleises.

STAND DER TECHNIK

[0002] Defekte Schienenbefestigungen stellen ein hohes Sicherheitsrisiko für Personen und Schienenfahrzeuge dar. Daher müssen Gleise, insbesondere wenn Errichtungs- oder Instandhaltungsarbeiten durchgeführt wurden, sehr genau auf mögliche Fehler in der Schienenbefestigung überprüft werden. Eine Sichtkontrolle ist sehr aufwendig und in den meisten Fällen unzureichend.

[0003] Da auch der Untergrund der Schienen ausreichend fest sein muss, wird die Befestigung der Schienen nicht nur durch die unmittelbare Fixierung der Schienen an den Schwellen, sondern auch durch die Stopfarbeiten des darunterliegenden Gleisbetts definiert. Eine ordnungsgemäße Unterstopfung der Schwellen ist Voraussetzung für einen langfristigen Erhalt der Gleisgeometrie und damit für geringere Infrastrukturkosten und hohe Sicherheit an der Bahnstrecke. Allerdings ist es mit bekannten Verfahren kaum oder nur sehr schwer möglich, die Stopfung des Gleisbetts unter der Schwelle zu prüfen. Eine schlechte Stopfung zeigt sich meist erst durch eine Änderung der Gleisgeometrie nach erfolgter Betriebsbelastung.

[0004] Aus der AT 523 949 A1 ist eine Maschine zum Verdichten eines Schotterbettes eines Gleises bekannt, mit der während des Stabilisierungsvorgangs Schwachstellen des Gleises erkannt werden können. Die Maschine besitzt Spreiz- und Klemmantriebe zur Beaufschlagung der Schienen mit einer variablen horizontalen Belastungskraft sowie eine Messvorrichtung zur Erfassung von durch die variable horizontale Belastungskraft bewirkten Schienenkopfauslenkungen bzw. Spurweitenänderungen. Auf Basis der Schienenkopfauslenkungen bzw. Spurweitenänderungen kann festgestellt werden, ob der Gleisrost in sich stabil ist.

[0005] Ein Nachteil der aus der AT 523 949 A1 bekannten Vorrichtung ist, dass der an sich höherfrequenten Vibrationsbewegung mit den Spreiz- und Klemmantrieben eine zusätzliche Belastungskraft geringerer Frequenz überlagert werden muss und durch die zusätzliche Belastungskraft bewusst herbeigeführte Spurweitenänderungen mit niedriger Frequenz in Kauf genommen werden müssen, die ihrerseits wiederum die Befestigungsqualität der Schienen beeinträchtigen können. Außerdem kann die Stopfung des Gleisbettes mit einer Messung der Reaktion auf die zusätzliche Belastungskraft nicht überprüft werden, da keine von der zusätzlichen, horizontal wirkenden Belastungskraft resultierende Kraft aus dem Bereich unterhalb der Schwellen des Gleises rückwirkt und gemessen werden kann. Eine weitere Gleisbaumaschine mit Stabilisationsaggregaten zum Verdichten der Schotterbettung ist aus DE 41 02 869 A1 bekannt. Mittels einer Messvorrichtung wird die Schwingungsamplitude des Gleises erfasst, wodurch Rückschlüsse auf den Zustand des Gleises und Erkennung von defekten Schienenbefestigungen ermöglicht werden. Schließlich ist aus WO 2017/144152 A1 eine gattungsgemäße Gleisbaumaschine bekannt, deren Messsystem eine Kamera aufweist und die Schwingungen des Gleisrostes erfasst. Dabei werden Lageänderungen der Schienenbefestigungen erfasst, aber nicht bezüglich eventueller Defekte ausgewertet.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Im Lichte dieser Ausführungen ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu lindern oder gar gänzlich zu beseitigen. Vorzugsweise ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein System zur Verfügung zu stellen, mit denen auf einfache Weise und mit geringem zusätzlichem Aufwand die Befestigung einer Schiene eines

Gleises, welche besonders bevorzugt auch die Unterstopfung des Gleises betrifft, überprüft werden kann.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie durch ein System nach Anspruch 11. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Überprüfung einer Befestigung zumindest einer Schiene eines Gleises weist folgende Schritte auf:

Erzeugen einer mechanischen Bewegung, insbesondere einer Vibrationsbewegung, durch ein Bewegungsaggregat, das an einer entlang des Gleises verfahrbaren Vorrichtung angeordnet ist;

Anpressen zumindest eines ersten Übertragungselements der verfahrbaren Vorrichtung, insbesondere einer ersten Rolle, an die Schiene mithilfe zumindest eines ersten Anpresselements, wobei das erste Anpresselement einen ersten Anpressdruck gemäß eines ersten statischen Soll-drucks erzeugt;

Übertragen der mechanischen Bewegung auf die Schiene;

Erfassen der Bewegungsreaktionen der Schiene in Folge der mechanischen Bewegung an einer ersten Stelle und an einer zweiten Stelle, wobei die Stellen in Längsrichtung der Schiene voneinander beabstandet sind;

Vergleichen der Bewegungsreaktion, insbesondere Amplitude und Phasenlage, der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion, insbesondere Amplitude und Phasenlage, der Schiene an der zweiten Stelle; und

Bewerten der Schienenbefestigung auf Basis des Vergleichs der Bewegungsreaktion der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an der zweiten Stelle.

[0009] Der Erfindung liegt der Erkenntnis zugrunde, dass durch einen Vergleich der Bewegungsreaktionen einer Schiene an verschiedenen Stellen auf eine potentiell mangelhafte Schienenbefestigung geschlossen werden kann. Wenn die Schienenbefestigung an einer der Stellen unzureichend ist, ist die Schiene an dieser Stelle beweglicher als an einer der anderen Stellen, an denen die Schiene ordnungsgemäß befestigt ist, sodass die Bewegungsreaktionen der Schiene an den Stellen in Folge der übertragenen mechanischen Bewegung, insbesondere in Amplitude und Phase, unterschiedlich sind. Dabei wurde erkannt, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren auch die Unterstopfung des Gleises, die einen Teil der Schienenbefestigung ausmacht, erfasst werden kann, da sich diese wegen des lockereren Untergrunds auf die Bewegungsreaktion der Schiene auswirkt. Dies deshalb, weil die mechanische Bewegung auch in die Unterstopfung übertragen wird und dort entsprechende Reaktionskräfte hervorruft, was bei einer horizontalen Belastungskraft wie in AT 523 949 A1 nicht der Fall ist.

[0010] Vorteilhafterweise kann das erfindungsgemäße Verfahren mit einer Gleisstabilisierung durch einen dynamischen Gleisstabilisator (DGS) kombiniert werden, da bei der Gleisstabilisierung bereits eine mechanische Bewegung auf die Schienen des Gleises übertragen wird, um das Gleis bzw. das Gleisbett zu stabilisieren. Günstig ist daher, wenn die erfindungsgemäße verfahrbare Vorrichtung bei einer Ausführungsform der Erfindung als dynamischer Gleisstabilisator ausgebildet ist. Ein DGS weist ein Bewegungsaggregat zur Erzeugung einer mechanischen Bewegung, insbesondere einer Vibrationsbewegung, auf und wird eingesetzt, um nach einem Stopfvorgang die Körner im Gleisbett zu verdichten. Die mechanische Bewegung des DGS kann genutzt werden, um Bewegungsreaktionen der Schienen an unterschiedlichen Stellen zu erzeugen, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren miteinander verglichen werden können.

[0011] Bei der mechanischen Bewegung handelt es sich vorzugsweise um eine periodische Vibrationsbewegung. Die mechanische Bewegung kann aber generell eine beliebige Form besitzen und zeitlich begrenzt sein. Die mechanische Bewegung kann beispielsweise mittels einer oder mehrerer rotierender Unwuchtmassen erzeugt werden. Das Bewegungsaggregat kann an einem Rahmen der verfahrbaren Vorrichtung montiert sein, sodass die mechanische Bewegung über den Rahmen, das zumindest eine erste Anpresselement und das zumindest eine erste Übertragungselement auf die Schiene übertragen wird.

[0012] Die verfahrbare Vorrichtung kann selbständig mittels eines eigenen Antriebs entlang der

Schiene fahrbar und/oder insbesondere durch ein vorzugsweise übergeordnetes Schienenfahrzeug verschiebbar ausgebildet sein. Zu diesem Zweck kann die verfahrbare Vorrichtung Räder oder Rollen aufweisen, die entlang eines Gleises rollen können. Wenn die mechanische Bewegung eine Vibrationsbewegung ist, liegt deren Frequenz vorzugsweise zwischen 25 Hz und 40 Hz, insbesondere zwischen 30 Hz und 35 Hz.

[0013] In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung besitzt die mechanische Bewegung eine Amplitude, die so gewählt ist, dass ein korrekt befestigter Schienenkopf eine in Draufsicht gesehen horizontale Bewegung mit einer Amplitude zwischen 1 mm und 2 mm erfährt. Eine solche Amplitude beeinträchtigt nicht die Schienenbefestigung, erlaubt aber die Feststellung von Fehlern oder Mängeln in der Schienenbefestigung.

[0014] Um die mechanische Bewegung auf eine Schiene eines Gleises zu übertragen, weist die verfahrbare Vorrichtung zumindest ein erstes Übertragungselement auf, welches bevorzugt zum Zwecke der Verfahrbarkeit als erste Rolle ausgebildet ist. Mithilfe des ersten Anpresselements wird das erste Übertragungselement gegen die Schiene gepresst, wobei der aufgewendete erste Anpressdruck einem ersten statischen Solldruck entspricht. Vorzugsweise wird das erste Übertragungselement in einer Draufsicht des Gleises gesehen von der Mitte des Gleises nach Außen an die Innenseite der Schiene gepresst.

[0015] Um die mechanische Bewegung auch auf die weitere Schiene desselben Gleises zu übertragen, kann vorzugsweise an derselben Längsposition des Gleises gegenüberliegend dem ersten Übertragungselement ein weiteres erstes Übertragungselement vorgesehen sein, das ebenfalls als erste Rolle ausgebildet sein kann. Das weitere erste Übertragungselement kann mithilfe desselben ersten Anpresselements oder mithilfe eines weiteren ersten Anpresselements gegen die weitere Schiene des Gleises gepresst werden, sodass die Vorrichtung zwischen den Schienen des Gleises eingespannt wird.

[0016] Im Falle eines weiteren ersten Anpresselements erzeugt dieses einen weiteren ersten Anpressdruck gemäß einem weiteren ersten statischen Solldruck, welcher vorzugsweise mit dem ersten statischen Solldruck im Wesentlichen ident ist. Gespiegelt zum ersten Übertragungselement wird das weitere erste Übertragungselement bevorzugt in einer Draufsicht des Gleises von der Mitte des Gleises nach Außen an die Innenseite der weiteren Schiene gepresst. Die ersten Übertragungselemente können demnach gegensinnig gegen die Schienen eines Gleises gepresst werden. Dabei wird die verfahrbare Vorrichtung zwischen den Schienen verspreizt, weshalb das zumindest eine erste Anpresselement auch als Spreizantrieb bezeichnet werden kann.

[0017] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann auch zumindest ein in Fahrtrichtung der Vorrichtung versetztes zweites Übertragungselement, insbesondere eine zweite Rolle, vorgesehen sein. Das zweite Übertragungselement kann mithilfe eines zweiten Anpresselements, das einen zweiten Anpressdruck gemäß einem zweiten Solldruck erzeugt, gegen die Innenseite der Schiene gepresst werden, um so die mechanische Bewegung auf die Schiene zu übertragen.

[0018] Wie bei dem ersten Übertragungselement kann auch vorzugsweise an derselben Längsposition des Gleises gegenüberliegend dem zweiten Übertragungselement ein weiteres zweites Übertragungselement, das ebenfalls als zweite Rolle ausgebildet sein kann, vorgesehen sein. Das weitere zweite Übertragungselement kann mithilfe desselben zweiten Anpresselements oder mithilfe eines weiteren zweiten Anpresselements gegen die weitere Schiene des Gleises gepresst werden. Im Falle eines weiteren zweiten Anpresselements erzeugt dieses einen weiteren zweiten Anpressdruck gemäß einem weiteren zweiten statischen Solldruck, welcher vorzugsweise mit dem zweiten statischen Solldruck im Wesentlichen ident ist. Wie bereits in Zusammenhang mit dem ersten und weiteren ersten Übertragungselement beschrieben, können das zweite bzw. weitere zweite Übertragungselement gegen die Innenseite der Schiene bzw. der weiteren Schiene gepresst werden. Mithilfe des (weiteren) ersten und (weiteren) zweiten Anpress- und Übertragungselements kann die mechanische Bewegung an zwei unterschiedlichen Längspositionen der Schiene bzw. der weiteren Schiene desselben Gleises übertragen werden.

[0019] Sämtliche Anpresselemente und Übertragungselemente können gleichartig ausgebildet sein. Ausführungen in der vorliegenden Offenbarung, die sich auf das erste Anpresselement und das erste Übertragungselement beziehen, gelten, wenn nicht anders angegeben, auch für alle anderen Anpresselemente und alle anderen Übertragungselemente sinngemäß.

[0020] Um die Vorrichtung noch besser am Gleis zu fixieren, können auch eine oder mehrere Klemmrollen vorgesehen sein, die an einer Außenseite der Schiene und/oder der weiteren Schiene angelegt werden können und die die Schiene und/oder die weitere Schiene von der Außenseite in einer Draufsicht des Gleises gesehen in Richtung der Gleismitte drücken. Beispielsweise kann jedem ersten, weiteren ersten, zweiten und/oder weiteren zweiten Übertragungselement eine Klemmrolle zugeordnet sein. Es kann auch vorgesehen sein, dass in Fahrtrichtung der Vorrichtung gesehen zwischen dem ersten und dem zweiten Übertragungselement und/oder zwischen dem weiteren ersten und dem weiteren zweiten Übertragungselement jeweils eine Klemmrolle vorgesehen ist.

[0021] Nachfolgend werden das erste Anpresselement und das erste Übertragungselement näher beschrieben. Die Ausführungen sind jedoch auf die anderen Anpresselemente und Übertragungselemente übertragbar, insbesondere, wenn diese gleichartig wie das erste Anpresselement bzw. das erste Übertragungselement ausgebildet sind. Das erste Anpresselement kann durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sein. Der erste statische Solldruck kann geregelt und/oder gesteuert werden. Dem ersten statischen Solldruck kann im Betrieb ein dynamischer Druck überlagert sein. Der vom ersten Anpresselement erzeugte dynamische Druck kann im Bereich zwischen 10 bar und 120 bar, insbesondere zwischen 20 bar und 110 bar, liegen. Ein zeitlicher Mittelwert des Druckes, der dem ersten statischen Solldruck entsprechen kann, kann zwischen 40 bar und 80 bar, beispielsweise bei 60 bar, liegen. Daraus können sich dynamische Druckkräfte zwischen 1,1 kN und 7 kN, insbesondere zwischen 1,2 kN und 6,6 kN ergeben, die auf das Übertragungselement wirken. Ein zeitlicher Mittelwert der Druckkräfte kann zwischen 3 kN und 4 kN, beispielsweise bei 3,6 kN, liegen.

[0022] Alternativ kann das erste Anpresselement auch beispielsweise durch ein fixierbares Gestänge gebildet sein. Aufgrund der mechanischen Bewegung, die durch das erste Übertragungselement auf eine Schiene übertragen wird, wird auch die Schiene in Bewegung versetzt. Die Bewegungsreaktion ist ein Maß für die Befestigungsqualität der Schiene. Die Bewegungsreaktion der Schiene kann direkt oder indirekt erfasst werden. Beispielsweise kann die Bewegungsreaktion mithilfe eines optischen, eines induktiven, eines kapazitiven und/oder eines elektromechanischen Sensors gemessen werden. Die Bewegungsreaktion der Schiene kann als diskreter oder kontinuierlicher zeitlicher Verlauf erfasst werden.

[0023] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Bewegungsreaktionen der Schiene an einer ersten und an einer zweiten, von der ersten verschiedenen Stelle der Schiene erfasst werden. Zu diesem Zweck kann die verfahrbare Vorrichtung bei einer Ausführungsform an die erste und an die zweite Stelle verfahren werden. Die erste und die zweite Stelle der Schiene können beispielsweise zumindest 60 cm, vorzugsweise zumindest 100 cm, besonders bevorzugt zumindest 140 cm, voneinander beabstandet sein. Je größer der Abstand, desto besser sind die Bewegungsreaktionen an den Stellen voneinander entkoppelt.

[0024] Nach Erfassen der Bewegungsreaktionen an der ersten und an der zweiten Stelle werden die Bewegungsreaktionen miteinander verglichen. Bevorzugt werden nur die dynamischen Anteile der Bewegungsreaktionen für den Vergleich herangezogen. Wenn der Unterschied zwischen den Bewegungsreaktionen, insbesondere in Amplitude und/oder Phase, größer als ein vorgegebener Grenzwert ist, kann davon ausgegangen werden, dass an einer der beiden Stellen eine defekte oder unzureichende Schienenbefestigung vorliegt.

[0025] Der Vergleich der Bewegungsreaktionen kann auf Basis einer mathematischen Verknüpfung erfolgen. Hierzu kann zum Beispiel eine Klasse von mathematischen Verknüpfungen gewählt werden, die die Bewegungsreaktionen multiplikativ verknüpft, vorzugsweise in Kombination mit einer zeitlichen Integration. Konkrete Beispiele hierfür sind Auto- bzw. Kreuzkorrelationsfunktionen oder die Faltung. Das Verfahren funktioniert jedoch auch, wenn beispielsweise die Amplitu-

den und/oder Phasen der Bewegungsreaktionen direkt miteinander verglichen werden. Eine defekte Schienenbefestigung kann beispielsweise vorliegen, wenn eine Amplituden- und/oder eine Phasendifferenz zwischen den Bewegungsreaktionen an der ersten und der zweiten Stelle einen Grenzwert überschreitet.

[0026] Richtungsangaben in dieser Offenbarung beziehen sich auf den bestimmungsgemäßen Gebrauchszustand der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der sich die Vorrichtung auf einem horizontal, d.h. senkrecht zur Erdbeschleunigung, angeordneten Gleis befindet.

[0027] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es möglich, die Befestigungsqualität beider Schienen eines Gleises zu bestimmen, insbesondere wenn ein weiteres erstes Übertragungselement und ein weiteres erstes Anpresselement vorgesehen sind.

[0028] Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Erfassen der Bewegungsreaktionen der Schiene an der ersten Stelle und an der zweiten Stelle mithilfe einer Messung des ersten Anpressdrucks und durch Verschieben der Vorrichtung von der ersten zur zweiten Stelle erfolgt. Der erste Anpressdruck wird vorzugsweise als zeitlicher Druckverlauf erfasst. Die Messung des ersten Anpressdrucks kann zu dessen Regelung gemäß dem ersten statischen Solldruck verwendet werden. Die Bewegungsreaktion der Schiene wirkt auf das erste Übertragungselement und das erste Anpresselement zurück, sodass durch die Bewegungsreaktion der Schiene dem statischen Solldruck ein dynamischer Druckanteil überlagert wird. Dieser dynamische Druckanteil steht mit der Bewegungsreaktion der Schiene in Relation, sodass durch Messen des ersten Anpressdrucks die Bewegungsreaktion der Schiene erfasst werden kann. Ein größerer Bewegungsspielraum der Schiene aufgrund einer defekten Schienenbefestigung führt zu einer höheren Amplitude des dynamischen Druckanteils. Des Weiteren kann eine defekte Schienenbefestigung auch zu einer Phasenverschiebung im dynamischen Druckanteil führen.

[0029] Die Messung des ersten Anpressdrucks kann im oder am ersten Anpresselement erfolgen. Wenn das erste Anpresselement ein Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder ist, kann die Messung des Fluids beispielsweise in der Druckkammer oder an deren Ein- bzw. Auslass erfolgen. Wenn mehrere erste Anpresselemente vorgesehen sind, kann jeweils der erste Anpressdruck dieser ersten Anpresselemente gemessen werden. Zur Erfassung der Bewegungsreaktion kann, aber muss nicht zwangsläufig der erste Anpressdruck direkt herangezogen werden. Die Bewegungsreaktion der Schiene wirkt sich auch auf Größen aus, die mit dem ersten Anpressdruck in Verbindung stehen, die auch als von dem ersten Anpressdruck abgeleitete Größen bezeichnet werden können. Eine solche abgeleitete Größe kann beispielsweise eine Reglereingangsgröße bzw. Regelabweichung oder eine Stellgröße der Regelung für den ersten Anpressdruck sein. „Mithilfe einer Messung des ersten Anpressdrucks“ bedeutet daher, dass die Messung des ersten Anpressdrucks auch indirekt zur Erfassung der Bewegungsreaktion dienen kann. Im Falle eines weiteren ersten Übertragungselements, das mit dem ersten Anpresselement verbunden ist, kann die Bewegungsreaktion der weiteren Schiene auch mithilfe der Messung des ersten Anpressdrucks erfasst werden. Wenn ein weiteres erstes Anpresselement und ein weiteres erstes Übertragungselement vorhanden sind, kann vorgesehen sein, dass das Erfassen der Bewegungsreaktionen der weiteren Schiene an der ersten Stelle und an der zweiten Stelle der weiteren Schiene mithilfe einer Messung des weiteren ersten Anpressdrucks und durch Verschieben der Vorrichtung von der ersten zur zweiten Stelle der weiteren Schiene erfolgt.

[0030] Um die Bewegungsreaktion einer Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion an der zweiten Stelle auf einfache Weise vergleichen zu können, ist es günstig, wenn für den Vergleich der Bewegungsreaktion der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an der zweiten Stelle ausschließlich die dynamischen Anteile der Bewegungsreaktionen, insbesondere des ersten Anpressdruckes oder einer daraus abgeleiteten Größe, berücksichtigt werden. Auf diese Weise werden allfällige Übereinstimmungen des statischen Anteils der Bewegungsreaktionen an der ersten und an der zweiten Stelle ignoriert, sodass Fehler in der Schienenbefestigung zuverlässig erkannt werden können. Die Filterung des statischen Anteils kann beispielsweise mithilfe einer Tiefpassfilterung erfolgen. Da der erste statische Solldruck bekannt ist, kann dieser, wenn der erste Anpressdruck direkt herangezogen wird, alternativ zur Tief-

passfilterung vom gemessenen ersten Anpressdruck subtrahiert werden. Die Ausführungen gelten entsprechend auch, wenn mehrere erste Anpresselemente vorhanden sind, insbesondere auch für den weiteren ersten Anpressdruck oder einer daraus abgeleiteten Größe. Eine abgeleitete Größe des Anpressdrucks kann, wie bereits erwähnt, beispielsweise eine Reglereingangsgröße bzw. Regelabweichung oder eine Stellgröße für die Regelung des ersten Anpressdruckes sein.

[0031] Eine besonders zuverlässige Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, wenn der Vergleich der Bewegungsreaktion der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an der zweiten Stelle durch eine mathematische Verknüpfung des ersten Anpressdruckes oder einer daraus abgeleiteten Größe mit sich selbst unter Berücksichtigung einer Zeitverschiebung, insbesondere durch eine Autokorrelationsfunktion des ersten Anpressdruckes oder der daraus abgeleiteten Größe, erfolgt. Die mathematische Verknüpfung ist bevorzugt eine multiplikative Verknüpfung, insbesondere in Kombination mit einer zeitlichen Integration. Die mathematische Verknüpfung ist vorzugsweise normiert. Besonders bevorzugt wird eine Autokorrelationsfunktion verwendet. Wie bereits erläutert, kann eine abgeleitete Größe beispielsweise eine Reglereingangsgröße bzw. Regelabweichung oder eine Stellgröße für die Regelung des ersten Anpressdruckes sein. Die Zeitverschiebung entspricht vorzugsweise der Zeitdauer zwischen der Erfassung der Bewegungsreaktion an der ersten und an der zweiten Stelle. Dabei kann, insbesondere bei periodischen mechanischen Bewegungen, eine Phasenverschiebung in der Bewegungsreaktion ausgeglichen werden, die nicht auf die Schienenbefestigungsqualität, sondern lediglich auf den zeitlichen Abstand aufgrund der Verschiebung der verfahrbaren Vorrichtung zwischen der ersten und der zweiten Stelle zurückzuführen sind. Dies kann zum Beispiel unter Berücksichtigung der Phasenlagen der erfassten Bewegungsreaktionen an der ersten und der zweiten Stelle zu der Phasenlage der mechanischen Bewegung erfolgen.

[0032] Alternativ kann die Phasenverschiebung aufgrund des zurückgelegten Weges bzw. des zeitlichen Abstands zwischen dem Vergleich der Bewegungsreaktionen an der ersten und der zweiten Stelle kompensiert werden, indem auf Basis eines Signals des Bewegungsaggregats, insbesondere eines Drehwinkelsignals, die Phasenverschiebung aufgrund des zurückgelegten Weges bzw. der zwischen dem Vergleich der Bewegungsreaktionen liegenden Zeit bestimmt und damit die Phase der Bewegungsreaktion an der zweiten Stelle korrigiert wird. Auf diese Weise können Fehler bei der Bewertung der Schienenbefestigung vermieden werden. Die Ausführungen gelten entsprechend auch, wenn mehrere erste Anpresselemente vorhanden sind, insbesondere auch für den weiteren ersten Anpressdruck oder einer daraus abgeleiteten Größe.

[0033] Bei einer Ausführungsform der Erfindung kann die Vorrichtung entlang des Gleises bewegt, der erste Anpressdruck erfasst und unter Berücksichtigung der Zeitverschiebung zwischen der Messung an der ersten und der zweiten Stelle, die sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit der Vorrichtung und der Distanz zwischen der ersten und der zweiten Stelle ergibt, der zeitliche Verlauf des ersten Anpressdruckes mit sich selbst mathematisch verknüpft, insbesondere autokorreliert, werden. Zur Autokorrelation kann beispielsweise die allgemeine Formel

$$\Psi_{P1P1}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_0^{2T} P1(t)P1(t + \tau)dt$$

Gleichung 1

verwendet werden, wobei Ψ das Autokorrelationssignal, τ die Zeitverschiebung zwischen dem Vergleich der Bewegungsreaktionen an der ersten und an der zweiten Stelle, T eine Zeitdauer und $P1(t)$ den zeitlichen Druckverlauf des ersten Anpressdruckes bezeichnet. Für periodische Signale kann die Formel

$$\Psi_{P1P1}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P1(t)P1(t + \tau)dt$$

Gleichung 2

verwendet werden, wobei T in diesem Fall die Periodendauer der Vibrationsbewegung bezeichnet. Die Autokorrelation kann durch Division der Gleichungen 1 und 2 durch $|\Psi_{P1P1}(0)|^2$ normiert

werden. Bevorzugt wird eine normierte Autokorrelationsfunktion verwendet. Für $P1(t)$ können auch nur die dynamischen Druckanteile herangezogen werden.

[0034] Bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein zum ersten Übertragungselement in Längsrichtung der Schiene versetztes zweites Übertragungselement, insbesondere eine zweite Rolle, vorgesehen ist und an die Schiene mithilfe eines zweiten Anpresselements gepresst wird, wobei das zweite Anpresselement einen zweiten Anpressdruck gemäß eines zweiten statischen Solldrucks erzeugt und das Erfassen der Bewegungsreaktionen der Schiene an der ersten Stelle und an der zweiten Stelle mithilfe einer Messung des ersten und des zweiten Anpressdrucks erfolgt. Dadurch kann auf einfache Weise die Bewegungsreaktion der Schiene an zwei unterschiedlichen Stellen erzeugt und erfasst werden. Eine Verschiebung der Vorrichtung ist hierzu nicht notwendig, aber vorteilhaft, um die Schiene und deren Befestigung über eine bestimmte Distanz zu überprüfen. Das erste und das zweite Übertragungselement sind in eine Fahrtrichtung der Vorrichtung voneinander beabstandet. Der Abstand zwischen erstem und zweitem Übertragungselement kann zumindest 60 cm, vorzugsweise zumindest 100 cm, besonders bevorzugt zumindest 140 cm, betragen. Der zweite statische Solldruck kann im Wesentlichen dem ersten statischen Solldruck entsprechen. Das zweite Übertragungselement kann gleichartig wie das erste Übertragungselement ausgebildet sein. Wie bereits in Zusammenhang mit dem ersten Übertragungselement erläutert, kann das zweite Übertragungselement in Draufsicht auf das Gleis von der Mitte des Gleises aus gesehen nach Außen gegen eine Innenseite der Schiene gepresst werden. Wie bereits oben erwähnt, können auch ein weiteres erstes Übertragungselement und ein weiteres zweites Übertragungselement vorgesehen sein, die mit dem ersten bzw. zweiten Anpresselement oder einem weiteren ersten bzw. weiteren zweiten Anpresselement verbunden sein können. In diesem Fall gelten die Ausführungen sinngemäß auch für diese Anpresselemente und Übertragungselemente.

[0035] Um die Bewegungsreaktionen der Schienen an der ersten und an der zweiten Stelle einfacher miteinander vergleichen zu können, ist es günstig, wenn für den Vergleich der Bewegungsreaktion der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an der zweiten Stelle ausschließlich die dynamischen Anteile der Bewegungsreaktionen, insbesondere des ersten und des zweiten Anpressdruckes oder einer jeweils daraus abgeleiteten Größe, berücksichtigt werden. Zur Filterung des statischen Anteils kann ein Tiefpassfilter verwendet werden. Da der statische Solldruck bekannt ist, kann dieser, wenn der Anpressdruck direkt für den Vergleich der Bewegungsreaktionen herangezogen wird, alternativ zur Tiefpassfilterung vom gemessenen Anpressdruck subtrahiert werden. Eine abgeleitete Größe kann, wie bereits erwähnt, beispielsweise eine Reglereingangsgröße bzw. Regelabweichung oder eine Stellgröße für die Regelung des ersten Anpressdruckes sein. Die Ausführungen gelten entsprechend auch, wenn ein weiteres erstes Anpresselement und ein weiteres zweites Anpresselement vorhanden sind, insbesondere auch für den weiteren ersten und weiteren zweiten Anpressdruck oder einer daraus abgeleiteten Größe.

[0036] Vorteilhaft ist, wenn der Vergleich der Bewegungsreaktion der Schiene an der ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an der zweiten Stelle durch eine mathematische Verknüpfung des ersten und des zweiten Anpressdrucks oder einer jeweils daraus abgeleiteten Größe, insbesondere durch eine Kreuzkorrelationsfunktion, erfolgt. Die mathematische Verknüpfung ist bevorzugt eine multiplikative Verknüpfung in Kombination mit einer zeitlichen Integration. Ganz besonders bevorzugt wird eine Kreuzkorrelationsfunktion verwendet. Aber auch eine Faltung ist möglich. Eine abgeleitete Größe kann beispielsweise eine Reglereingangsgröße bzw. Regelabweichung oder eine Stellgröße für die Regelung des ersten Anpressdruckes sein. Die Ausführungen gelten sinngemäß auch, wenn ein weiteres erstes Anpresselement und ein weiteres zweites Anpresselement vorhanden sind, insbesondere auch für den weiteren ersten Anpressdruck und den weiteren zweiten Anpressdruck oder einer daraus abgeleiteten Größe. Zur Kreuzkorrelation kann beispielsweise die allgemeine Formel

$$\Psi_{P1P2}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_0^{2T} P1(t)P2(t + \tau)dt$$

Gleichung 3

verwendet werden, wobei Ψ das Kreuzkorrelationssignal, τ eine Zeitverschiebung, T eine Zeitdauer, $P1(t)$ den zeitlichen Druckverlauf des ersten Anpressdrucks und $P2(t)$ den zeitlichen Druckverlauf des ersten und zweiten Anpressdrucks bezeichnet. Da die mechanische Bewegung gleichzeitig von den beiden Übertragungselementen auf die Schiene übertragen wird, kann $t=0$ angenommen werden, sodass sich Gleichung 3 zu

$$\Psi_{P1P2}(0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_0^{2T} P1(t)P2(\tau)dt$$

Gleichung 4

vereinfacht. Für periodische Signale kann die Formel

$$\Psi_{P1P2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P1(t)P2(t+\tau)dt$$

Gleichung 5

bzw.

$$\Psi_{P1P2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P1(t)P2(t)dt$$

Gleichung 6

verwendet werden, wobei T in diesem Fall die Periodendauer bezeichnet. Die Kreuzkorrelation kann durch Division der Gleichungen 1 und 2 durch $|\Psi_{P1P1}(0)| \cdot |\Psi_{P2P2}(0)|$ (siehe Autokorrelation oben) normiert werden. Bevorzugt wird eine normierte Kreuzkorrelationsfunktion verwendet. Für $P1(t)$ und $P2(t)$ können auch nur die dynamischen Druckanteile herangezogen werden.

[0037] Damit die Schienenbefestigung eines Gleises entlang eines Abschnittes der Bahnstrecke beurteilt werden kann, ist es vorteilhaft, wenn die mathematische Verknüpfung laufend oder mehrmals in zeitlichen Abständen durchgeführt wird, während die verfahrbare Vorrichtung entlang des Gleises bewegt wird. Dabei können laufend erste und zweite Stellen an der Schiene, und wenn ein weiteres erstes und ein weiteres zweites Übertragungselement vorhanden sind, an der weiteren Schiene festgelegt werden.

[0038] Um die Schienenbefestigungsqualität an allen Stellen gleich bewerten zu können, ist es vorteilhaft, wenn die mathematische Verknüpfung normiert ist und ein Fehler in der Schienenbefestigung festgestellt wird, wenn der Betrag der mathematischen Funktion unterhalb eines Grenzwertes liegt, vorzugsweise wobei der Grenzwert zwischen 0,75 und 0,95 liegt. Durch die Normierung kann die Schienenbefestigungsqualität einheitlich bewertet werden. In einem Beispiel ist die mathematische Verknüpfung auf das Produkt der größten zu erwartenden Werte der Bewegungsreaktionen an den ersten und an den zweiten Stellen normiert. Eine Auto- und eine Kreuzkorrelationsfunktion kann wie oben angegeben normiert sein.

[0039] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, wenn die mechanische Bewegung eine Vibrationsbewegung mit einer Frequenz zwischen 20 Hz und 40 Hz, vorzugsweise zwischen 25 Hz und 35 Hz, ist. Tests haben gezeigt, dass es günstig ist, wenn die Amplitude der Vibrationsbewegung derart gewählt wird, dass eine Horizontalbewegung eines ordnungsgemäß befestigten Schienenkopfs eine Amplitude von 1 mm bis 2 mm aufweist.

[0040] Die oben erwähnte Aufgabe wird auch durch ein System zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene eines Gleises nach Anspruch 11 gelöst. Das System umfasst:

- eine entlang des Gleises verfahrbare Vorrichtung, insbesondere eine Vorrichtung zum Verdichten eines Schotterbettes eines Gleises, aufweisend:
 - einen Rahmen;
 - zumindest ein erstes Übertragungselement, vorzugsweise eine erste Rolle, insbesondere eine Spurkranzrolle;
 - ein Bewegungsaggregat an dem Rahmen zum Erzeugen einer mechanischen Bewegung, insbesondere einer Vibrationsbewegung;
 - ein erstes Anpresselement, das dazu eingerichtet ist, einen ersten Anpressdruck gemäß

- eines ersten statischen Solldrucks zu erzeugen und das zumindest eine Übertragungselement an die Schiene des Gleises zu pressen, sodass die mechanische Bewegung auf die Schiene übertragen wird;
- eine Erfassungseinheit zum Erfassen einer Bewegungsreaktion der Schiene in Folge der mechanischen Bewegung;
 - eine Auswerteeinheit, die dazu eingerichtet ist, die Bewegungsreaktion der Schiene an einer ersten Stelle mit der Bewegungsreaktion der Schiene an einer zweiten Stelle zu vergleichen und auf Basis des Vergleichs die Schienenbefestigung zu bewerten.

[0041] Das erfindungsgemäße System ist dazu eingerichtet, das oben beschriebene Verfahren zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene eines Gleises auszuführen. Die oben in Zusammenhang mit dem Verfahren beschriebenen Merkmale und Vorteile sind daher auf das System übertragbar. An dem Rahmen können das zumindest eine erste Übertragungselement, das Bewegungsaggregat, das zumindest eine erste Anpresselement und die Erfassungseinheit direkt oder indirekt befestigt sein. Die Auswerteeinheit kann in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ebenfalls direkt oder indirekt am Rahmen befestigt sein. In einem alternativen Ausführungsbeispiel ist die Auswerteeinheit als entfernte Auswerteeinheit ausgebildet, die nicht an der Vorrichtung, sondern an einem entfernten Ort oder an einem übergeordneten Schienenfahrzeug angeordnet ist (siehe unten). Die Auswerteeinheit kann mit der Erfassungseinheit kabelgebunden oder drahtlos verbunden sein. Die Auswerteeinheit kann durch einen Mikroprozessor, einen Computer oder Server gebildet sein. Die Erfassungseinheit kann einen optischen, einen induktiven, einen kapazitiven und/oder einen elektromechanischen Sensor aufweisen. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Erfassungseinheit zumindest einen Druckmesssensor auf, der den ersten Anpressdruck des ersten Anpresselements misst. Das erste Übertragungselement ist bevorzugt eine drehbare Rolle, kann aber auch beispielsweise durch einen Klotz gebildet sein. Die Vorrichtung kann einen eigenen Antrieb zum Verfahren der Vorrichtung, beispielsweise einen Elektromotor, aufweisen oder einen Teil eines übergeordneten Schienenfahrzeugs bilden, welches die Vorrichtung verschieben kann. Wie oben in Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben, kann auch ein weiteres erstes Übertragungselement vorgesehen sein, das mit dem ersten Anpresselement oder einem weiteren Anpresselement verbunden ist.

[0042] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist das erste Anpresselement durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet. Der Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder kann den Solldruck über das erste Übertragungselement auf die Schiene übertragen. Der Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder kann im Wesentlichen horizontal, d.h. im Wesentlichen quer zur Erdbeschleunigung, angeordnet sein. Wenn ein zweites Anpresselement vorgesehen ist, kann auch dieses durch einen insbesondere gleichartigen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sein. Auch allfällige weitere erste bzw. zweite Anpresselemente können durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sein und vorzugsweise horizontal angeordnet sein.

[0043] Damit die Bewegungsreaktion der Schiene erfasst werden kann, kann vorgesehen sein, dass die Erfassungseinheit einen Druckmesssensor in oder an dem Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder aufweist. Wenn mehrere Anpresselemente vorgesehen sind, die durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sind, kann in oder an jedem Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder ein eigener Druckmesssensor vorgesehen sein. Ein Druckmesssensor kann den Anpressdruck des ihm zugeordneten Anpresselements messen.

[0044] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann zumindest ein in eine Fahrtrichtung der Vorrichtung zum ersten Anpresselement versetztes zweites Anpresselement vorgesehen sein, das dazu eingerichtet ist, einen zweiten Anpressdruck gemäß eines zweiten statischen Solldrucks zu erzeugen und das zweite Übertragungselement an die Schiene des Gleises zu pressen. Das zweite Anpresselement ist bevorzugt horizontal angeordnet. Das zweite Anpresselement und das erste Anpresselement können gleichartig ausgebildet sein. Vorteilhafterweise kann die Schiene durch zwei in Fahrtrichtung versetzte Anpresselemente gleichzeitig an zwei Stellen in Bewegung versetzt werden. Das zweite Anpresselement kann ebenfalls als Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder ausgebildet sein. Auch allfällige weitere zweite Anpresselemente (siehe oben) können durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sein. Es kann

auch ein weiteres zweites Übertragungselement vorgesehen sein. Das weitere zweite Übertragungselement kann ebenfalls durch das zweite Anpresselement oder durch ein weiteres zweites Anpresselement gegen die weitere Schiene gepresst werden. Im Falle eines weiteren zweiten Anpresselements erzeugt dieses einen weiteren zweiten Anpressdruck gemäß einem weiteren zweiten statischen Solldruck, welcher vorzugsweise mit dem zweiten statischen Solldruck ident ist.

[0045] Um eine vertikale Drucklast auf das Gleis einstellen zu können, kann zumindest ein Auflastanpresselement vorgesehen sein, mit dem eine vertikale Anpresskraft auf die Schiene einstellbar ist. Diese Ausführungsform ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Vorrichtung einen Teil eines Schienenfahrzeugs bildet. Das Auflastanpresselement kann ebenfalls durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet sein.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0046] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Figuren näher erläutert, auf die sie allerdings nicht beschränkt sein soll. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Seitenansicht eines übergeordneten Schienenfahrzeugs, das eine verfahrbare Vorrichtung eines Systems zur Überprüfung der Befestigung einer Schiene verfährt;
- Fig. 2 eine verfahrbare Vorrichtung eines Systems zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene eines Gleises in einer Ansicht von vorne;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer verfahrbaren Vorrichtung eines Systems zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene eines Gleises in einer Draufsicht;
- Fig. 4 eine verfahrbare Vorrichtung eines Systems zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene eines Gleises in einer Draufsicht;
- Fig. 5A ungefilterte Drucksignale,
- Fig. 5B gefilterte Drucksignale,
- Fig. 5C dynamische Druckanteile von gefilterten Drucksignalen;
- Fig. 6 ein Kreuzkorrelationssignal;
- Fig. 7A ungefilterte Drucksignale,
- Fig. 7B gefilterte Drucksignale,
- Fig. 7C dynamische Druckanteile von gefilterten Drucksignalen;
- Fig. 8A ungefilterte Drucksignale,
- Fig. 8B gefilterte Drucksignale,
- Fig. 8C dynamische Druckanteile von gefilterten Drucksignalen; und
- Fig. 9A ungefilterte Drucksignale,
- Fig. 9B gefilterte Drucksignale,
- Fig. 9C dynamische Druckanteile von gefilterten Drucksignalen.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0047] Fig. 1 zeigt ein übergeordnetes Schienenfahrzeug 1 mit einem Schienenfahrzeugantrieb 2, das entlang eines Gleises 3 mit zwei parallelen Schienen 4a, 4b fährt. Zwischen den Radsätzen 5 des übergeordneten Schienenfahrzeugs 1 ist eine verfahrbare Vorrichtung 6 eines erfindungsgemäßen Systems 7 zur Überprüfung einer Befestigung der Schiene 4a, 4b des Gleises 3 angeordnet. Die verfahrbare Vorrichtung 6 ist mit dem übergeordneten Schienenfahrzeug 1, vorzugs-

weise einem Fahrgestell 8 des übergeordneten Schienenfahrzeugs 1, verbunden. Das übergeordnete Schienenfahrzeug 1 kann die verfahrbare Vorrichtung 6 entlang des Gleises 3 verfahren. Bei einer anderen Ausführungsform kann die verfahrbare Vorrichtung 6 einen eigenen Antrieb (nicht gezeigt) aufweisen und selbst verfahren. Bevorzugt ist die verfahrbare Vorrichtung 6 als Vorrichtung zum Verdichten des Schotterbetts des Gleises 3 (dynamischer Gleisstabilisator 52) ausgebildet.

[0048] Fig. 2 zeigt die Verbindung der verfahrbaren Vorrichtung 6 mit dem Fahrgestell 8 des übergeordneten Schienenfahrzeugs 1. Die verfahrbare Vorrichtung 6 besitzt in der gezeigten Ausführungsform mehrere Auflastanpresselemente 9 in Form von Hydraulikzylindern 10, mit denen eine vertikale Anpresskraft F_A der verfahrbaren Vorrichtung 6 auf die Schienen 4a, 4b einstellbar ist. Enden 11 der Auflastanpresselemente 9 sind mit dem Fahrgestell 8 des übergeordneten Schienenfahrzeugs 1 verbunden. Mit den Auflastanpresselementen 9 kann die Auflast der verfahrbaren Vorrichtung 6 auf die Schienen 4a, 4b eingestellt werden.

[0049] Wie in Fig. 2 ersichtlich, weist die verfahrbare Vorrichtung 6 einen Rahmen 12 auf, an dem ein Bewegungsaggregat 13 zum Erzeugen einer mechanischen Bewegung F_V , vorzugsweise einer periodischen Vibrationsbewegung, sowie ein erstes Anpresselement 14 montiert ist. Das Bewegungsaggregat 13 erzeugt die mechanische Bewegung F_V bevorzugt mit einer oder mehreren Unwuchtmassen (nicht gezeigt). Bevorzugt weist die mechanische Bewegung F_V eine Frequenz zwischen 30 Hz und 40 Hz auf. Mit dem ersten Anpresselement 14, welches in der gezeigten Ausführungsform als Hydraulikzylinder ausgebildet ist, ist an gegenüberliegenden Enden 15a, 15b ein erstes Übertragungselement 16a und ein weiteres erstes Übertragungselement 16b verbunden. Möglich ist auch, dass dem ersten Übertragungselement 16a ein erstes Anpresselement 14 und dem weiteren Übertragungselement 16b ein weiteres erstes Anpresselement zugeordnet ist (nicht gezeigt). Das Übertragungselement 16a und das weitere Übertragungselement 16b sind als erste Rollen 17a, 17b ausgebildet und werden vom ersten Anpresselement 14 gegen eine der Gleismitte 21 zugewandten Innenseite 18a der Schiene 4a und gegen eine der Gleismitte 21 zugewandten Innenseite 18b der weiteren Schiene 4b des Gleises 3 gedrückt. Zu diesem Zweck erzeugt das erste Anpresselement 14 einen ersten statischen Solldruck $P1_{\text{Statisch_soll}}$, der auf die ersten Übertragungselemente 16a, 16b ausgeübt wird. Es kann eine Regelung vorgesehen sein, die den Anpressdruck $P1$ des ersten Anpresselements 14 gemäß dem ersten statischen Solldruck $P1_{\text{Statisch_soll}}$ regelt. Durch die Übertragungselemente 16a, 16b wird die verfahrbare Vorrichtung 6 zwischen den Schienen 4a, 4b verspreizt. Um die Vorrichtung 6 noch besser zu fixieren, sind in der gezeigten Ausführungsform an gegenüberliegenden Seiten Klemmrollen 19a, 19b vorgesehen, die in einer Fixierstellung an den Schienen 4a, 4b anliegen und an Außenseiten 20a, 20b der Schienen 4a, 4b in Richtung Gleismitte 21 drücken. Durch Umlenkmechaniken 22a, 22b und Aktuatoren 23a, 23b können die Klemmrollen 19a, 19b von der Fixierstellung in eine Freigabestellung gebracht werden.

[0050] Um die Befestigung einer Schiene 4a, 4b eines Gleises 3, die nicht nur durch die Fixierung 50 der Schienen 4a, 4b an den Schwellen 24, beispielsweise durch Bolzen und Schrauben, sondern auch die Unterstopfung 25 der Schwellen 24 mit Schotter 26 definiert wird, zu überprüfen, werden Bewegungsreaktionen R der Schienen 4a, 4b in Folge der auf die Schienen 4a, 4b übertragenen mechanischen Bewegung F_V an unterschiedlichen, voneinander beabstandete Stellen 27, 28 am Gleis 3 erfasst und miteinander verglichen. Der Vergleich der Bewegungsreaktionen R an den Stellen 27, 28 lässt Unterschiede in der Befestigung der Schienen 4a, 4b erkennen. Der Vergleich kann in einer Auswerteeinheit 51 erfolgen, die beispielsweise im übergeordneten Schienenfahrzeug 1 angeordnet sein kann.

[0051] Um die Bewegungsreaktionen R der Schienen 4a, 4b feststellen zu können, weist die verfahrbare Vorrichtung 6 eine Erfassungseinheit 29 auf, die mit der Auswerteeinheit 51 verbunden ist. Die Erfassungseinheit 29 kann beispielsweise einen optischen, einen induktiven, einen kapazitiven und/oder einen elektromechanischen Sensor aufweisen, mit dem die Bewegungsreaktionen R gemessen werden können. Bevorzugt ist jedoch, wenn zur Erfassung der Bewegungsreaktionen R die Erfassungseinheit 29 einen Druckmesssensor 30 aufweist, der einen ersten Anpressdruck $P1$ des ersten Anpresselements 14 misst, welcher sich aus dem ersten statischen

Solldruck $P1_{\text{Statisch_soll}}$ und dem dynamischer Druckanteil $P1_{\text{dyn}}$ zusammensetzt. Da der dynamische Druckanteil $P1_{\text{dyn}}$ von der Bewegungsreaktion R beeinflusst wird, lässt der erste Anpressdruck $P1$ Rückschlüsse auf die Bewegungsreaktion R der Schiene 4a, 4b zu. Um die Bewegungsreaktion R der Schiene 4a, 4b an einer Stelle 27, 28 zu erfassen, kann direkt der Anpressdruck $P1$ oder eine daraus ableitbare Größe, wie beispielsweise eine Regelabweichung oder eine Stellgröße eines Regelkreises zur Regelung des ersten Anpressdrucks $P1$, herangezogen werden.

[0052] Um die Befestigung einer Schiene 4a, 4b zu überprüfen, ist vorgesehen, die Bewegungsreaktion R der Schiene 4a, 4b an zumindest zwei verschiedenen Stellen 27, 28 zu vergleichen. Zu diesem Zweck kann die verfahrbare Vorrichtung 6 bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung von einer ersten Stelle 27 zu einer zweiten Stelle 28 verfahren werden. An den beiden Stellen 27, 28 kann die mechanische Bewegung F_v auf die Schienen 4a, 4b übertragen werden und die Bewegungsreaktion R an jeder der beiden Stellen 27, 28 vorzugsweise mithilfe einer Druckmessung des ersten Anpressdrucks $P1$ erfasst werden. Ein Zeitverlauf des ersten Anpressdruckes $P1$ ist beispielsweise in Fig. 5A dargestellt. Fig. 7A, Fig. 8A und Fig. 9A zeigen Ausschnitte des Zeitverlaufs gemäß Fig. 5A des ersten Anpressdrucks $P1$ zu unterschiedlichen Zeiten, während die Vorrichtung 6 entlang eines Gleises 3 verfahren wird, und damit an unterschiedlichen Stellen 27, 28. Nach Erfassung der Bewegungsreaktionen R können die Bewegungsreaktionen R der Schienen 4a, 4b an den Stellen 27, 28 miteinander verglichen werden. Beispielsweise kann der Zeitverlauf des ersten Anpressdrucks $P1$ gemäß Fig. 7A (beispielhafte erste Stelle 27) mit dem Zeitverlauf des ersten Anpressdrucks $P1$ gemäß Fig. 8A (beispielhafte zweite Stelle 28) verglichen werden. Um Abweichungen der Bewegungsreaktionen R feststellen zu können, werden vorzugsweise nur die dynamischen Druckanteile $P1_{\text{dyn}}$ des Anpressdrucks $P1$ an den Stellen 27, 28 miteinander verglichen. Dynamische Druckanteile $P1_{\text{dyn}}$ des ersten Anpressdrucks $P1$ sind in Fig. 7C, Fig. 8C und Fig. 9C dargestellt. Wenn eine Abweichung, insbesondere in Amplitude $A1$, $A2$ und/oder Phase $\phi1$, $\phi2$, der dynamischen Druckanteile $P1_{\text{dyn}}$ vorliegt, kann daraus auf eine mangelhafte Befestigung einer Schiene 4a, 4b an einer der Stellen 27, 28 geschlossen werden. Wenn beispielsweise die Abweichung in Amplitude $A1$, $A2$ oder Phase $\phi1$, $\phi2$ einen Grenzwert überschreitet, kann davon ausgegangen werden, dass die Schienenbefestigung an einer der Stellen 27, 28 defekt ist.

[0053] Die Bewegungsreaktion R der Schienen 4a, 4b wird als Zeitverlauf erfasst (siehe den Zeitverlauf des ersten Anpressdruckes $P1$ in Fig. 5A). Bei der beschriebenen ersten Ausführungsform wird der Anpressdruck $P1$ oder eine daraus ableitbare Größe, wie eine Stellgröße oder eine Regelabweichung, mit sich selbst zu unterschiedlichen Zeitpunkten, an denen sich die Vorrichtung an den Stellen 27, 28 befindet, verglichen. Bevorzugt werden zu diesem Vergleich, wie beschrieben, nur die dynamischen Anteile des ersten Anpressdrucks $P1$ herangezogen (siehe Fig. 5C). Der Vergleich kann beispielsweise auf Basis einer Autokorrelationsfunktion oder einer anderen multiplikativen und vorzugsweise integralen mathematischen Verknüpfung erfolgen. Um dabei Fehler bei der Überprüfung der Schienenbefestigung zu vermeiden, ist es günstig, wenn eine Phasenverschiebung in der Bewegungsreaktion R ausgeglichen wird, die nicht auf eine allfällige mangelhafte Schienenbefestigung, sondern auf den zeitlichen und örtlichen Abstand zwischen der Positionierung der Vorrichtung 6 an der ersten 27 und an der zweiten Stelle 28 zurückzuführen ist. Dies kann zum Beispiel unter Berücksichtigung der Phasenlagen der erfassten Bewegungsreaktionen R an der ersten 27 und der zweiten Stelle 28 zu der Phasenlage der mechanischen Bewegung F_v erfolgen. Alternativ kann die Phasenverschiebung aufgrund des zurückgelegten Weges bzw. des zeitlichen Abstands zwischen dem Vergleich der Bewegungsreaktionen R an der ersten 27 und der zweiten Stelle 28 kompensiert werden, indem auf Basis eines Signals des Bewegungsaggregats 13, insbesondere eines Drehwinkelsignals, die Phasenverschiebung aufgrund des zurückgelegten Weges bzw. der zwischen dem Vergleich der Bewegungsreaktionen R liegenden Zeit bestimmt und damit die Phase der Bewegungsreaktion korrigiert wird.

[0054] Bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung sind ein zweites Anpresselement 31 sowie zwei zweite Übertragungselemente 32a, 32b in Form von zweiten Rollen 33a, 33b vorgesehen. Dies ist in Fig. 3 oder Fig. 4 gezeigt. Das zweite Anpresselement 31 ist im Wesentlichen gleich ausgebildet wie das erste Anpresselement 14 und dazu eingerichtet, einen zweiten stati-

schen Solldruck $P2_{\text{Statisch_soll}}$ zu erzeugen, der im Wesentlichen dem ersten statischen Solldruck $P1_{\text{Statisch_soll}}$ entspricht. Das zweite Anpresselement 31 drückt das erste Übertragungselement 32a gegen die Innenseite 18a der Schiene 4a und das weitere zweite Übertragungselement 32b gegen die Innenseite 18b der weiteren Schiene 4b. Dadurch wird die verfahrbare Vorrichtung 6 an zwei Stellen 27, 28 im Gleis 3 verspreizt und die mechanische Bewegung F_v an den beiden Stellen 27, 28 auf die Schienen 4a, 4b übertragen. Der Abstand zwischen dem ersten Übertragungselement 16a und dem zweiten Übertragungselement 32a beträgt vorzugsweise zumindest 60 cm. Gleiches gilt für die weiteren Übertragungselemente 16b, 32b. Das erste Anpresselement 14 und die ersten Übertragungselemente 16a, 16b sind im Wesentlichen gleich ausgebildet wie das zweite Anpresselement 31 und die zweiten Übertragungselemente 32a, 32b. Dadurch, dass bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung die mechanische Bewegung F_v mithilfe des ersten 14 und zweiten Anpresselements 31 an zwei unterschiedlichen Stellen 27, 28 auf die Schienen 4a, 4b übertragen wird, können auch die Bewegungsreaktionen R an den beiden Stellen 27, 28 erfasst und miteinander verglichen werden. Wie bereits bei der ersten Ausführungsform erläutert, kann die Bewegungsreaktion R der Schienen 4a mithilfe des ersten Anpressdrucks $P1$ erfasst werden. Entsprechend kann die Bewegungsreaktion der Schienen 4a, 4b auch mithilfe des zweiten Anpressdrucks $P2$ erfasst werden.

[0055] Vorteilhafterweise muss zur Erfassung der Bewegungsreaktion R an unterschiedlichen Stellen 27, 28 die verfahrbare Vorrichtung 6 nicht verfahren werden. Um einen längeren Gleisabschnitt hinsichtlich der Befestigung zu überprüfen, kann es jedoch vorteilhaft sein, die verfahrbare Vorrichtung 6 zu verfahren und dadurch laufend neue erste 27 und zweite Stellen 28 am Gleis 3 festzulegen.

[0056] Fig. 5A-C zeigen Zeitverläufe der Anpressdrücke $P1$ und $P2$, während die verfahrbare Vorrichtung 6 verfahren wird. Die Abszisse der Fig. 5A-C beschreibt eine Zeit t in s. Die Ordinate der Figuren 5A-C beschreibt einen Druck P in bar. Während der dargestellten Zeit von ca. 60 Sekunden wird die verfahrbare Vorrichtung 6 gemäß der zweiten Ausführungsform entlang eines Gleisabschnitts des Gleises 3 bewegt und der erste Anpressdruck $P1$ und der zweite Anpressdruck $P2$ gemessen. Fig. 5A stellt den Zeitverlauf der ungefilterten Anpressdrücke $P1$, $P2$ dar. Fig. 5B zeigt den Zeitverlauf der Anpressdrücke $P1$, $P2$ nach einer Tiefpassfilterung, welche als $P1_{\text{filt}}$ und $P2_{\text{filt}}$ bezeichnet werden können. Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters liegt dabei knapp oberhalb einer Erregerfrequenz der mechanischen Bewegung F_v zwischen 25 Hz und 40 Hz. Fig. 5C zeigt den Zeitverlauf der Anpressdrücke $P1$, $P2$ nach Abzug des statischen Druckanteils $P1_{\text{Statisch_soll}}$ bzw. $P2_{\text{Statisch_soll}}$, also $P1_{\text{dyn}}$ und $P2_{\text{dyn}}$. Durch den Vergleich der dynamischen Druckanteile an unterschiedlichen Stellen 27, 28, die während des Verfahrens der verfahrbaren Vorrichtung 6 laufend neu bestimmt und durch den Abstand zwischen den ersten 16a, 16b und zweiten Übertragungselementen 32a, 32b festgelegt werden, kann auf die Befestigung der Schienen 4a, 4b des Gleises 3 geschlossen werden. Insbesondere Abweichungen in Amplitude $A1$, $A2$ und Phase $\phi1$, $\phi2$ weisen auf Mängel der Befestigung der Schienen 4a, 4b hin.

[0057] Um die Bewegungsreaktionen R an den Stellen 27, 28 effizient vergleichen zu können, ist es vorteilhaft, den ersten Anpressdruck $P1$ und den zweiten Anpressdruck $P2$ oder eine daraus ableitbare Größe mathematisch miteinander zu verknüpfen. Ganz besonders vorteilhaft ist, wenn die Anpressdrücke $P1$, $P2$ mittels vorzugsweise normierter Kreuzkorrelationsfunktion miteinander verknüpft werden. Eine normierte Kreuzkorrelation Corr der dynamischen Druckanteile $P1_{\text{dyn}}$ und $P2_{\text{dyn}}$ gemäß Fig. 5C ist in Fig. 6 dargestellt. Auf der Abszisse ist hierbei die Zeit t in Sekunden angegeben. Die Ordinate beschreibt eine Skala von 0 bis 1. In Fig. 6 ist erkennbar, dass der Wert der Kreuzkorrelation bei ca. $t=31$ Sekunden unterhalb eines beispielhaften Grenzwerts $S = 0,9$ auf ca. 0,82 fällt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Befestigung der Schienen 4a, 4b an einer der beiden zu diesem Zeitpunkt definierten Stellen 27, 28 mangelhaft sein könnte. In Fig. 6 sind drei Zeitbereiche 34, 35 und 36 markiert. Die ungefilterten und gefilterten Anpressdrücke $P1$, $P2$ sowie die dynamischen Druckanteile $P1_{\text{dyn}}$ und $P2_{\text{dyn}}$ in diesen Zeitbereichen sind in den Figuren Fig. 7A-C, Fig. 8A-C und Fig. 9A-C näher dargestellt. Die Fig. 7A-C, Fig. 8A-C und Fig. 9A-C stellen somit Ausschnitte der Fig. 5A-C dar.

[0058] Fig. 7A-C zeigt den Zeitbereich 34. Auf der Abszisse der Fig. 7A-C ist die Zeit t in Sekunden

den aufgetragen. Die Ordinate gibt den Druck P in bar wieder. Fig. 7A zeigt, ähnlich wie Fig. 5A, den Zeitverlauf der ungefilterten Anpressdrücke P_1 , P_2 . Fig. 7B zeigt den Zeitverlauf der Anpressdrücke P_1 , P_2 nach einer Tiefpassfilterung, welche als $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ bezeichnet werden können. Fig. 7C zeigt den Zeitverlauf der gefilterten Anpressdrücke $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ nach Abzug des statischen Druckanteils $P_{1\text{Statisch_soll}}$ bzw. $P_{2\text{Statisch_soll}}$, also $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$. Erkennbar ist, dass die dynamischen Druckanteile $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$ in der Phase ϕ_1 , ϕ_2 im Wesentlichen übereinstimmen. Die Amplituden A_1 , A_2 weichen geringfügig, aber unbedenklich voneinander ab.

[0059] Fig. 8A-C zeigt den Zeitbereich 35. Auf der Abszisse der Fig. 8A-C ist die Zeit t in Sekunden aufgetragen. Die Ordinate gibt den Druck P in bar wieder. Fig. 8A zeigt, ähnlich wie Fig. 5A, den Zeitverlauf der ungefilterten Anpressdrücke P_1 , P_2 . Fig. 8B zeigt den Zeitverlauf der Anpressdrücke P_1 , P_2 nach einer Tiefpassfilterung, welche als $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ bezeichnet werden können. Fig. 8C zeigt den Zeitverlauf der gefilterten Anpressdrücke $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ nach Abzug des statischen Druckanteils $P_{1\text{Statisch_soll}}$ bzw. $P_{2\text{Statisch_soll}}$, also $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$. Erkennbar ist, dass die dynamischen Druckanteile $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$ in der Phase ϕ_1 , ϕ_2 und Amplitude A_1 , A_2 deutlich voneinander abweichen, was in der Kreuzkorrelation (siehe Fig. 6, Zeitbereich 35) zu einer deutlichen Reduktion des Wertes führt.

[0060] Fig. 9A-C zeigt den Zeitbereich 34. Auf der Abszisse der Fig. 9A-C ist die Zeit t in Sekunden aufgetragen. Die Ordinate gibt den Druck P in bar wieder. Fig. 9A zeigt, ähnlich wie Fig. 5A, den Zeitverlauf der ungefilterten Anpressdrücke P_1 , P_2 , welche als $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ bezeichnet werden können. Fig. 9B zeigt den Zeitverlauf der Anpressdrücke P_1 , P_2 nach einer Tiefpassfilterung. Fig. 9C zeigt den Zeitverlauf der gefilterten Anpressdrücke $P_{1\text{filt}}$ und $P_{2\text{filt}}$ nach Abzug des statischen Druckanteils $P_{1\text{Statisch_soll}}$ bzw. $P_{2\text{Statisch_soll}}$, also $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$. Erkennbar ist, dass die dynamischen Druckanteile $P_{1\text{dyn}}$ und $P_{2\text{dyn}}$ in der Phase ϕ_1 , ϕ_2 im Wesentlichen übereinstimmen. Die Amplituden A_1 , A_2 weichen geringfügig, aber unbedenklich voneinander ab.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überprüfung einer Befestigung zumindest einer Schiene (4a, 4b) eines Gleises (3) mit den folgenden Schritten:

Erzeugen einer mechanischen Bewegung (F_v), insbesondere einer Vibrationsbewegung, durch ein Bewegungsaggregat (13), das an einer entlang des Gleises (3) verfahrbaren Vorrichtung (6) angeordnet ist;

Anpressen zumindest eines ersten Übertragungselements (16a, 16b) der verfahrbaren Vorrichtung (6), insbesondere einer ersten Rolle (17a, 17b), an die Schiene (4a, 4b) mithilfe zumindest eines ersten Anpresselements (14), wobei das erste Anpresselement (14) einen ersten Anpressdruck (P_1) gemäß eines ersten statischen Solldrucks ($P_{1\text{ statisch_soll}}$) erzeugt;

Übertragen der mechanischen Bewegung (F_v) auf die Schiene (4a, 4b);

Erfassen der Bewegungsreaktionen (R) der Schiene (4a, 4b) in Folge der mechanischen Bewegung (F_v) an einer ersten Stelle (27) und an einer zweiten Stelle (28), wobei die Stellen (27, 28) in Längsrichtung der Schiene (4a, 4b) voneinander beabstandet sind;

Vergleichen der Bewegungsreaktion (R), insbesondere Amplitude (A_1 , A_2) und Phasenlage (φ_1 , φ_2), der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R), insbesondere Amplitude (A_1 , A_2) und Phasenlage (φ_1 , φ_2), der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28); und

Bewerten der Schienenbefestigung auf Basis des Vergleichs der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Erfassen der Bewegungsreaktionen (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) und an der zweiten Stelle (28) mithilfe einer Messung des ersten Anpressdrucks (P_1) und durch Verschieben der Vorrichtung (6) von der ersten (27) zur zweiten Stelle (28) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Vergleich der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28) ausschließlich die dynamischen Anteile der Bewegungsreaktionen (R), insbesondere des ersten Anpressdruckes (P_1) oder einer daraus abgeleiteten Größe, berücksichtigt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Vergleich der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28) durch eine mathematische Verknüpfung des ersten Anpressdruckes (P_1) oder einer daraus abgeleiteten Größe mit sich selbst unter Berücksichtigung einer Zeitverschiebung, insbesondere durch eine Autokorrelationsfunktion des ersten Anpressdruckes (P_1) oder der daraus abgeleiteten Größe, erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zum ersten Übertragungselement (16a, 16b) in Längsrichtung der Schiene (4a, 4b) versetztes zweites Übertragungselement (32a, 32b), insbesondere eine zweite Rolle (33a, 33b), vorgesehen ist und an die Schiene (4a, 4b) mithilfe eines zweiten Anpresselements (31) gepresst wird, wobei das zweite Anpresselement (31) einen zweiten Anpressdruck (P_2) gemäß eines zweiten statischen Solldrucks ($P_{2\text{ statisch_soll}}$) erzeugt und das Erfassen der Bewegungsreaktionen (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) und an der zweiten Stelle (28) mithilfe einer Messung des ersten (P_1) und des zweiten Anpressdruckes (P_2) erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Vergleich der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28) ausschließlich die dynamischen Anteile der Bewegungsreaktionen (R), insbesondere des ersten (P_1) und des zweiten Anpressdruckes (P_2) oder einer jeweils daraus abgeleiteten Größe, berücksichtigt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Vergleich der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der ersten Stelle (27) mit der

Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an der zweiten Stelle (28) durch eine mathematische Verknüpfung des ersten (P1) und des zweiten Anpressdrucks (P2) oder einer jeweils daraus abgeleiteten Größe, insbesondere durch eine Kreuzkorrelationsfunktion, erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 4 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mathematische Verknüpfung laufend oder mehrmals in zeitlichen Abständen durchgeführt wird, während die verfahrbare Vorrichtung (6) entlang des Gleises (3) bewegt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mathematische Verknüpfung normiert ist und ein Fehler in der Schienenbefestigung festgestellt wird, wenn der Betrag der mathematischen Funktion unterhalb eines Grenzwertes liegt, vorzugsweise wobei der Grenzwert zwischen 0,75 und 0,95 liegt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mechanische Bewegung (F_v) eine Vibrationsbewegung mit einer Frequenz zwischen 20 Hz und 40 Hz, vorzugsweise zwischen 25 Hz und 35 Hz, ist.
11. System (7) zur Überprüfung einer Befestigung einer Schiene (4a, 4b) eines Gleises (3), umfassend:
 - eine entlang des Gleises (3) verfahrbare Vorrichtung (6), insbesondere eine Vorrichtung (52) zum Verdichten eines Schotterbettes eines Gleises (3), aufweisend:
 - einen Rahmen (12);
 - zumindest ein erstes Übertragungselement (16a, 16b), vorzugsweise eine erste Rolle (17a, 17b), insbesondere eine Spurkranzrolle;
 - ein Bewegungsaggregat (13) an dem Rahmen (12) zum Erzeugen einer mechanischen Bewegung (F_v), insbesondere einer Vibrationsbewegung;
 - zumindest ein erstes Anpresselement (14), das dazu eingerichtet ist, einen ersten Anpressdruck (P1) gemäß eines ersten statischen Solldrucks ($P1_{\text{Statisch_soll}}$) zu erzeugen und das erste Übertragungselement (16a, 16b) an die Schiene (4a, 4b) des Gleises (3) zu pressen, sodass die mechanische Bewegung (F_v) auf die Schiene (4a, 4b) übertragen wird;
 - eine Erfassungseinheit (29) zum Erfassen einer Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) in Folge der mechanischen Bewegung (F_v);
 - eine Auswerteeinheit (51), die dazu eingerichtet ist, die Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an einer ersten Stelle (27) mit der Bewegungsreaktion (R) der Schiene (4a, 4b) an einer zweiten Stelle (28) zu vergleichen und auf Basis des Vergleichs die Schienenbefestigung zu bewerten.
12. System (7) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Anpresselement (14) durch einen Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder gebildet ist.
13. System nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassungseinheit jeweils einen Druckmesssensor (30) in oder an dem Hydraulik- und/oder Pneumatikzylinder aufweist.
14. System (7) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein in eine Fahrtrichtung der Vorrichtung (6) zum ersten Anpresselement (14) versetztes zweites Anpresselement (31) vorgesehen ist, das dazu eingerichtet ist, einen zweiten Anpressdruck (P2) gemäß eines zweiten statischen Solldrucks ($P2_{\text{Statisch_soll}}$) zu erzeugen und das zweite Übertragungselement (32a, 32b) an die Schiene (4a, 4b) des Gleises (3) zu pressen.
15. System (7) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Auflastanpresselement (9) vorgesehen ist, mit dem eine vertikale Anpresskraft (F_A) auf die Schiene (4a, 4b) einstellbar ist.

Hierzu 8 Blatt Zeichnungen

1/8

Fig. 1

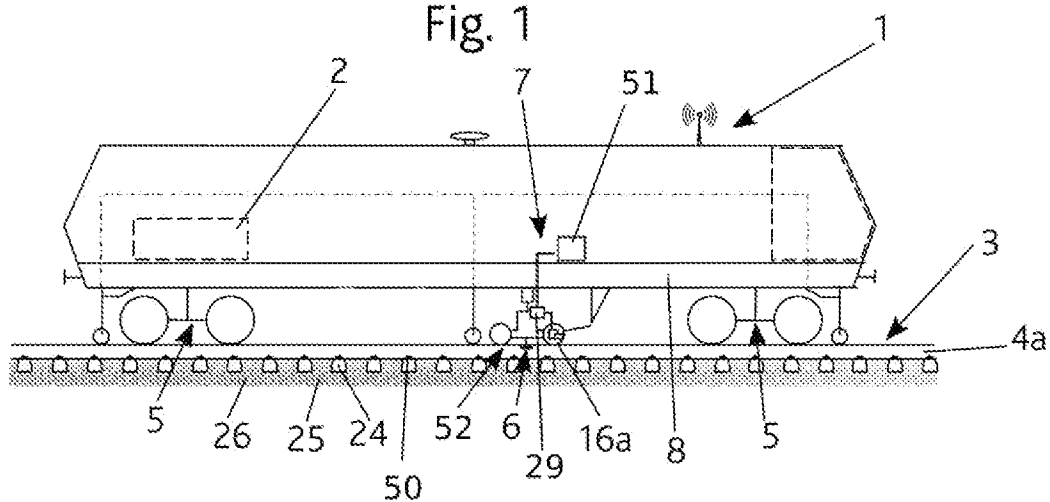
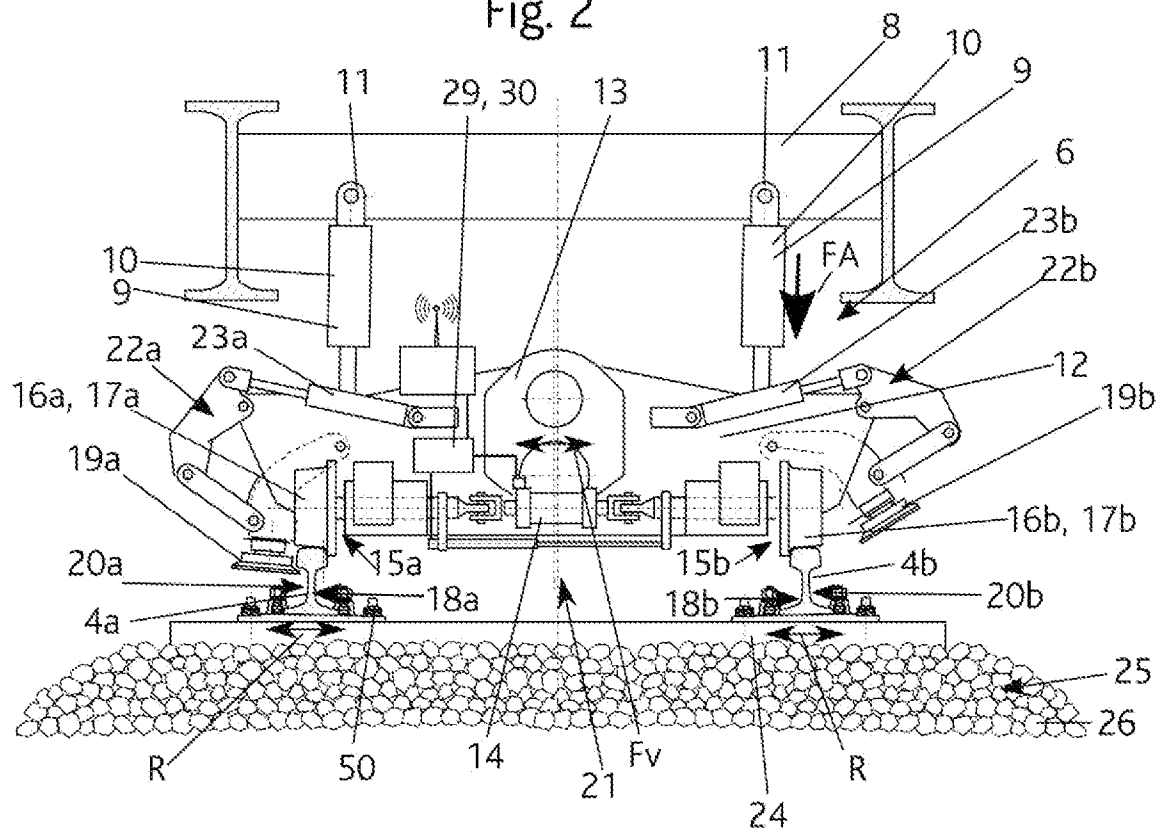


Fig. 2



2/8

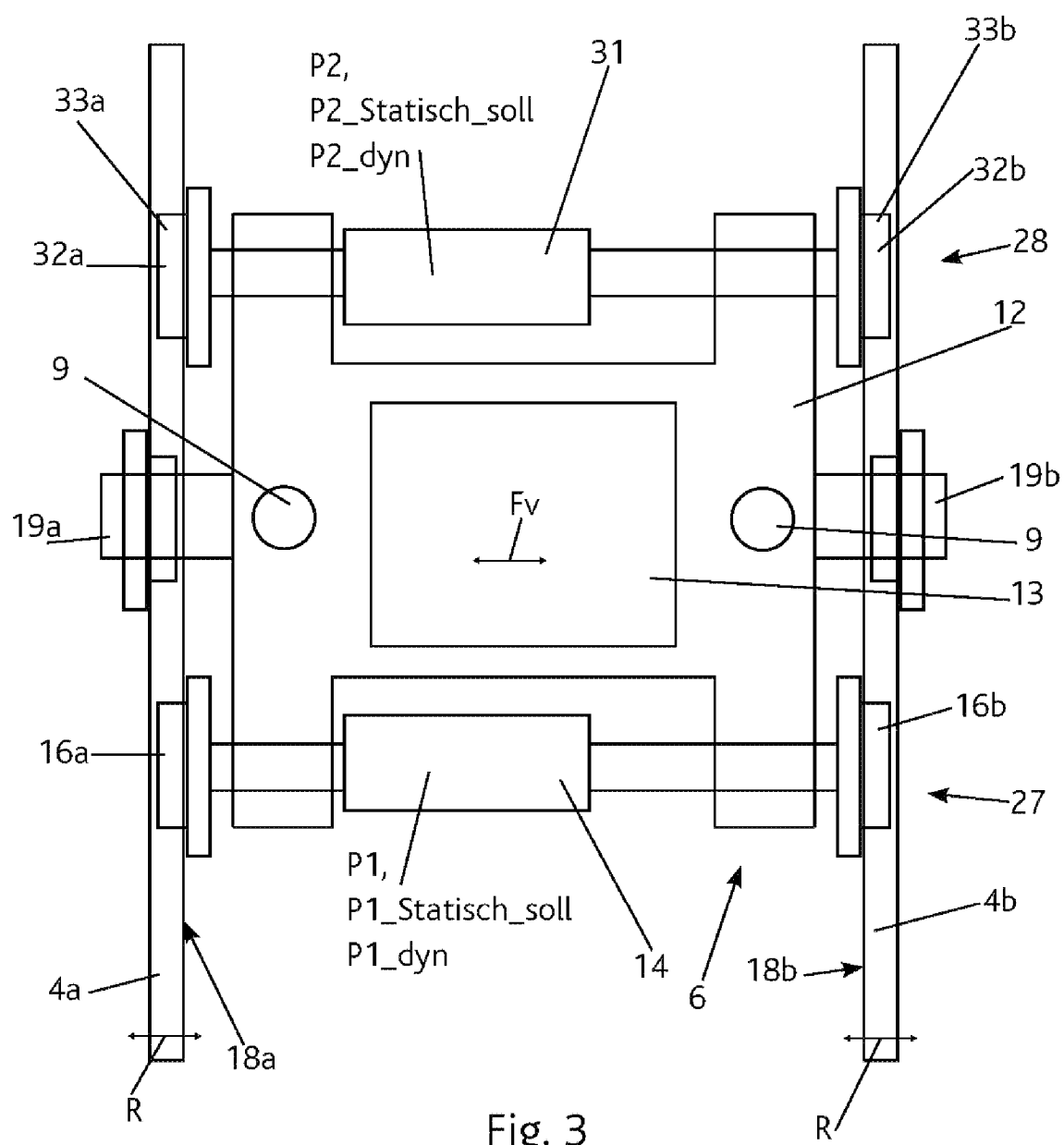
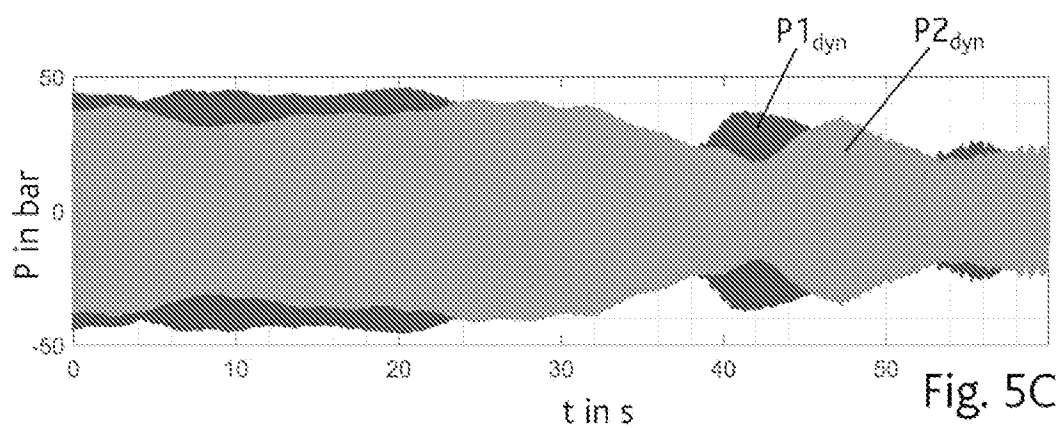
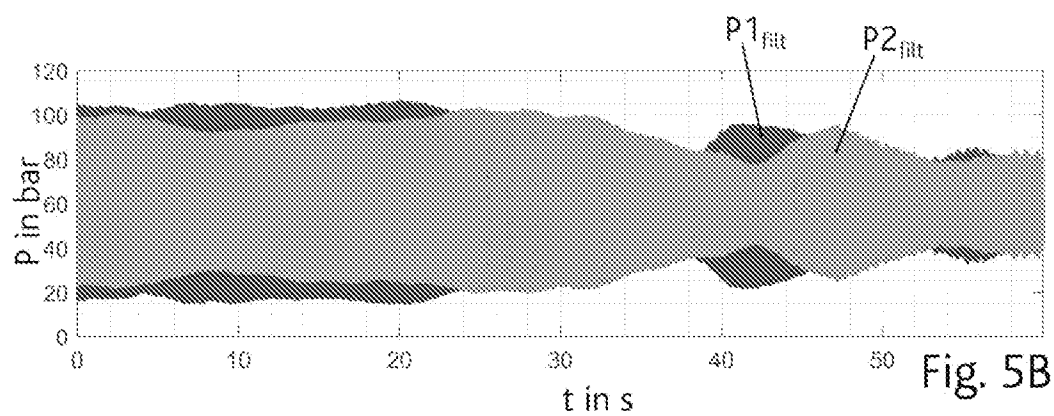
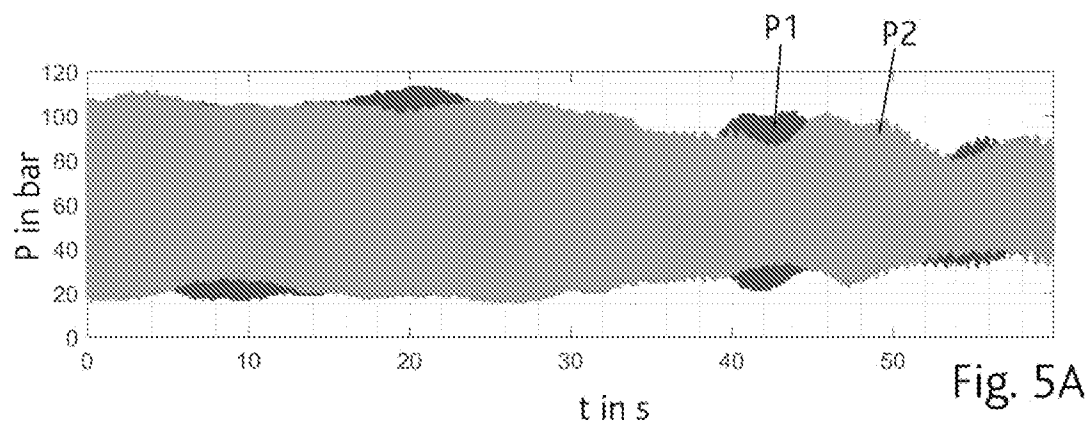


Fig. 3

4/8



5/8

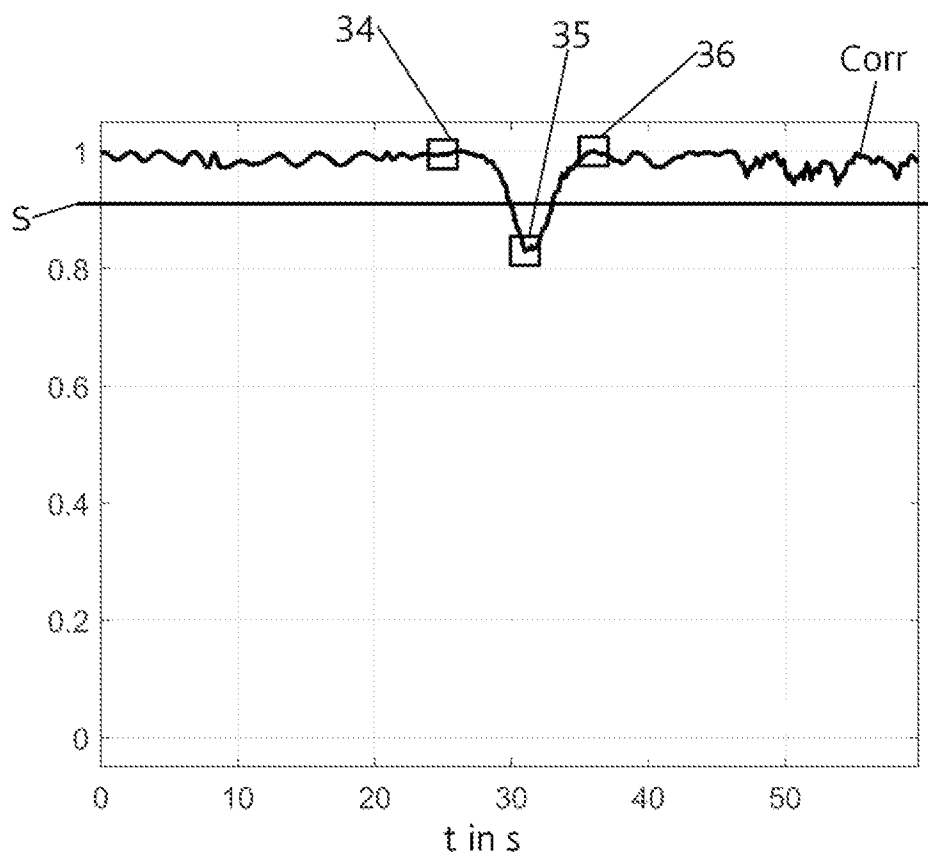
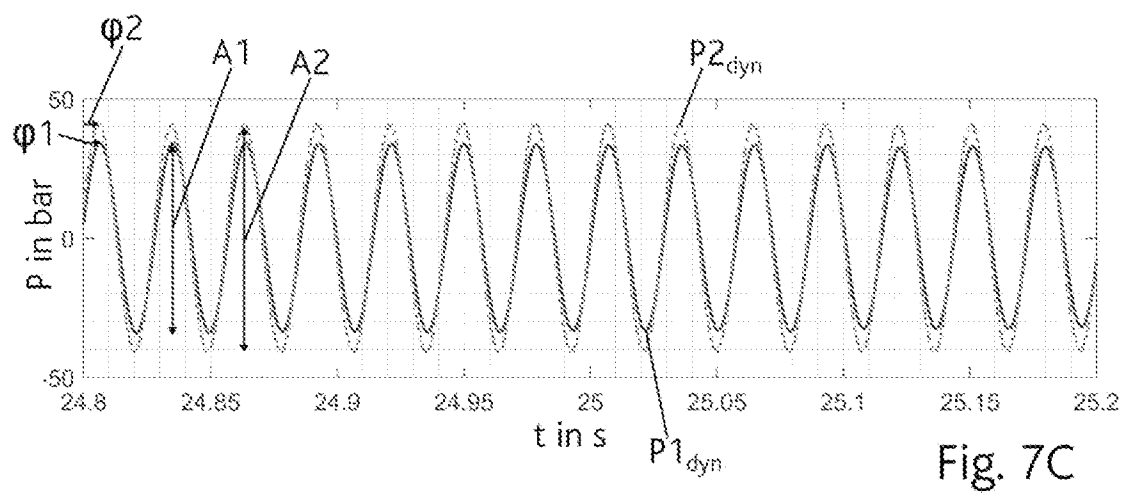
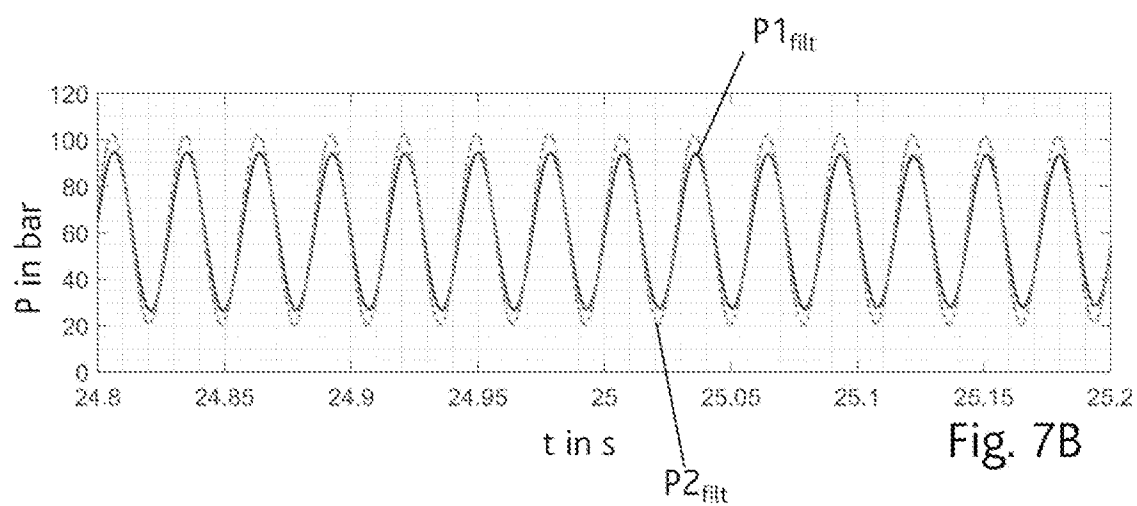
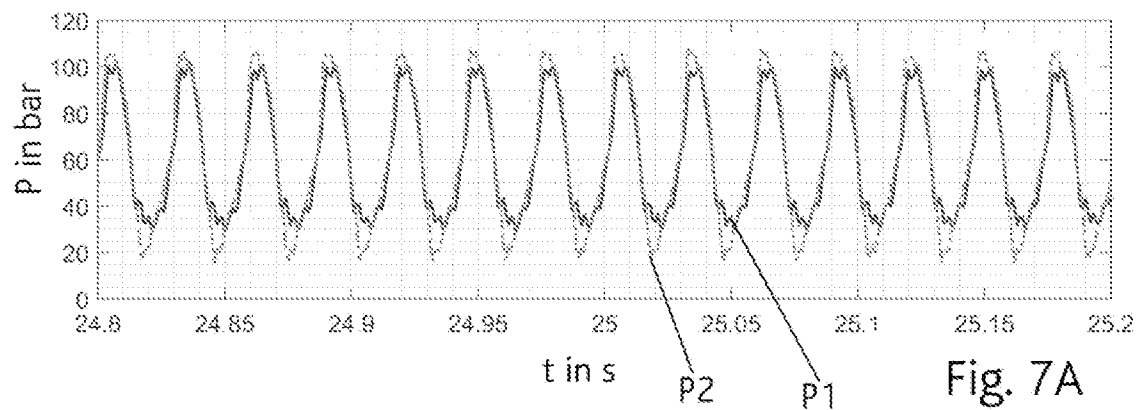


Fig. 6

6/8



7/8

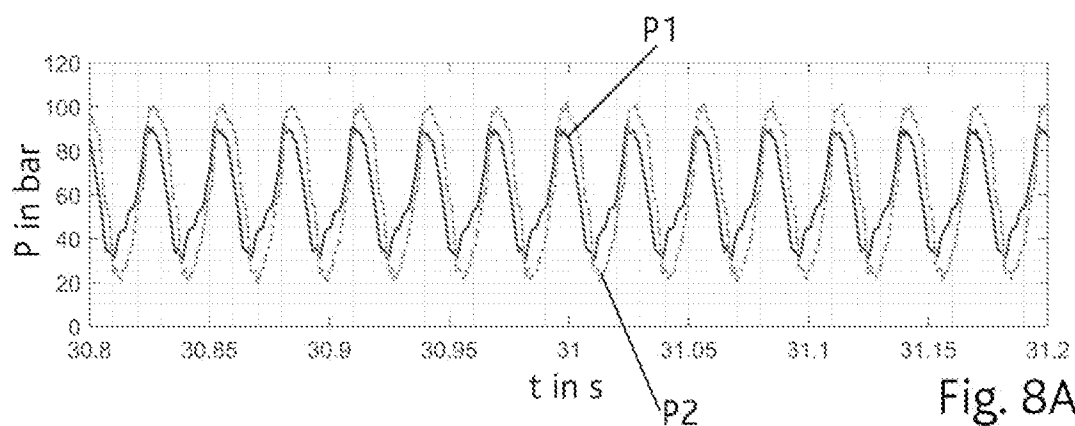


Fig. 8A

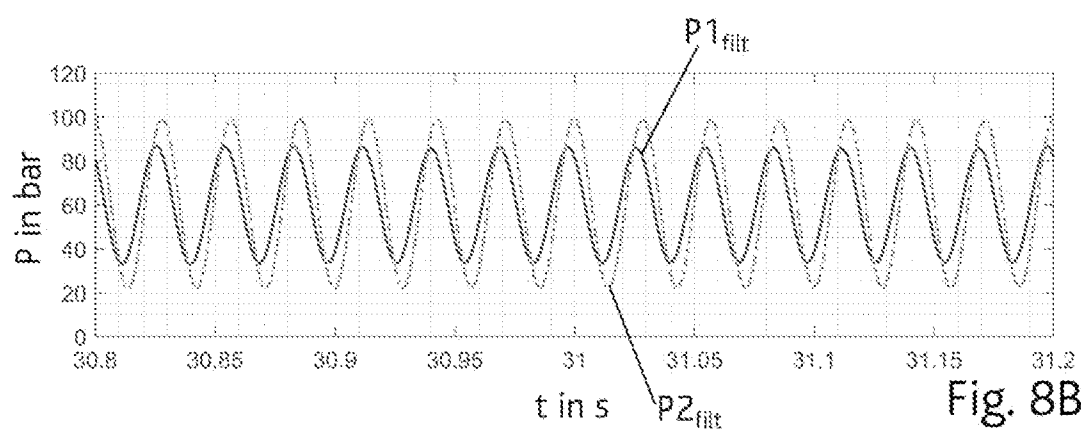


Fig. 8B

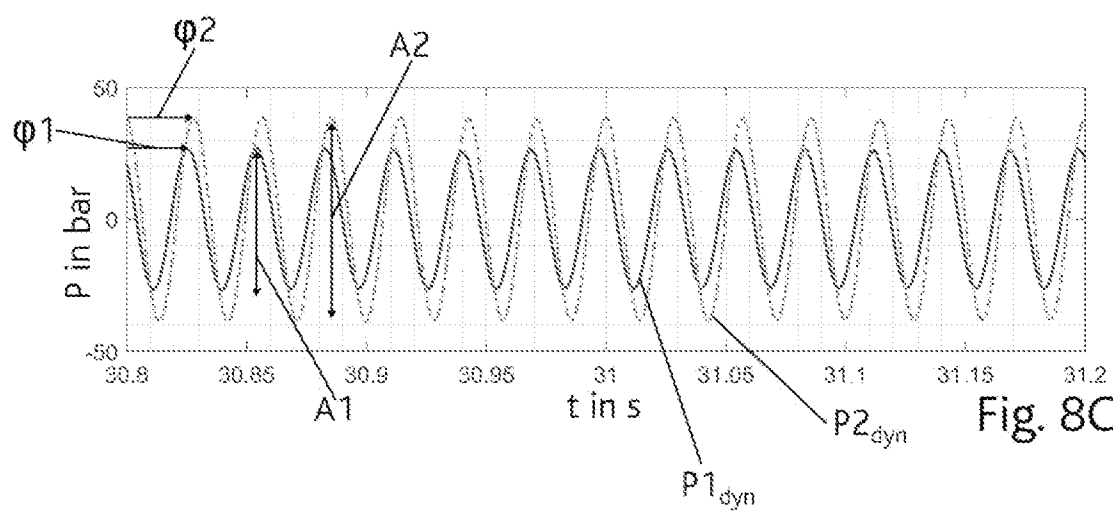


Fig. 8C

8/8

