

(19)



(11)

EP 4 046 154 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

04.09.2024 Patentblatt 2024/36

(21) Anmeldenummer: **20788752.2**

(22) Anmeldetag: **07.10.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

G10K 11/178 ^(2006.01) **E01B 19/00** ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**G10K 11/17873; E01B 19/003; G10K 11/17823;
G10K 11/17879; G10K 2210/1283; G10K 2210/129;
G10K 2210/1291**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2020/078066

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2021/073963 (22.04.2021 Gazette 2021/16)

(54) **SCHIENENVERKEHRSWEG UND VERFAHREN ZUR AKTIVEN DÄMPFUNG AKUSTISCHER SCHWINGUNGEN EINER SCHIENE FÜR DEN SCHIENENVERKEHR**

RAIL ROAD AND METHOD FOR ACTIVELY DAMPING ACOUSTIC VIBRATIONS OF A RAIL FOR RAIL TRAFFIC

VOIE FERRÉE ET PROCÉDÉ POUR L'AMORTISSEMENT ACTIF DES VIBRATIONS ACOUSTIQUES D'UN RAIL POUR LE TRAFIC FERROVIAIRE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **15.10.2019 DE 102019127824**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

24.08.2022 Patentblatt 2022/34

(73) Patentinhaber: **STABILUS GmbH**

56070 Koblenz (DE)

(72) Erfinder:

- **MÜLLER, Markus**
56072 Koblenz (DE)
- **BURRELL, Joshua**
56283 Nörtershausen (DE)

• **HÜSCH, Alexander**
57629 Dreifelden (DE)

• **BOCHEN, Marian**
56337 Eitelborn (DE)

• **DE JESUS, Luis**
Swansea, Massachusetts 02777 (US)

(74) Vertreter: **Bernsmann, Falk et al**

**Preusche & Partner Patent- und Rechtsanwälte
mbB
Schlossstraße 1
56068 Koblenz (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A1- 1 657 362 EP-A2- 0 456 499
CN-A- 110 144 770 DE-A1- 102006 028 740
DE-A1- 102009 044 339 DE-A1- 4 212 782
JP-A- 2014 111 897**

EP 4 046 154 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

- 5 **[0001]** Die Erfindung betrifft einen Schienenverkehrsweg mit einem System und ein Verfahren zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen einer Schiene für den Schienenverkehr.

Stand der Technik

- 10 **[0002]** Viele Eisenbahnstrecken durchqueren lärmempfindliche Gebiete, beispielsweise Städte. Besonders in der Nacht, wenn viele Güterzüge unterwegs sind, kommt es zu einer erheblichen Lärmbelastung für die dort lebenden Menschen. Es wurde sogar festgestellt, dass der Schienenverkehrslärm medizinische Beschwerden verursacht.
- [0003]** Im für die meisten Zugfahrten relevanten Geschwindigkeitsbereich von etwa 40 km/h bis etwa 280 km/h wird die Geräuschemission von Zugfahrten hauptsächlich durch das am Rad-Schiene-Kontakt entstehende Rollgeräusch bestimmt. Rollgeräusche werden beim Abrollen der Räder auf dem Schienenfahrweg erzeugt. Die durch das Materialgefüge, Verschleiß und Korrosion bestimmte Oberflächen- und Strukturunregelmäßigkeiten der Schienen- und Radfahrflächen verursacht beim Abrollen überwiegend vertikale Anregungen der Radsätze und Schienen, welche diese zu Schwingungen anregen, die als Luftschall in die umgebende Luft und als Körperschall an den Unterbau der Schienen abgegeben werden.
- 15 **[0004]** Durch Schienenstöße, Herzstücke, Flachstellen sowie Auftragungen der Schienen kommt es zu weiteren impulshaften Geräuschen, die dem Rad-Schiene-System zuzuordnen sind.
- [0005]** Es gibt bereits einige passive Lösungsansätze auf dem Markt, wie z.B. Abdeckungen für die Schienen selbst, um die Übertragung von Luftschall zu reduzieren, oder Dämpfunterlagen unter Schienen oder Schwellen, um diese Teile vom Boden zu entkoppeln, um die Übertragung von Körperschall an den Unterbau der Schienen zu reduzieren. Außerdem gibt es auch Systeme, die in jedes Rad eines Eisenbahnwagens eingebaut werden, um Lärm verursachende Vibrationen an den Rädern selbst zu reduzieren.
- 20 **[0006]** Die genannten passiven Systeme können den freigesetzten Schalldruckpegel jedoch nur um bis zu 3 dB(A) reduzieren, insgesamt ist jedoch je nach Zuggeschwindigkeit ein Schalldruckpegel von weit über 60 dB(A) zu bewältigen.
- [0007]** Die Patentschrift EP 1 497 164 B1 beschreibt ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung von Schienenfahrzeugen. Dabei erfasst mindestens ein Schwingungssensor die störenden, durch einen Radsatz erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen. Eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors ermittelt Frequenzen mit den stärksten harmonischen Anregungen. Die Restschwingungen, die auf den Wagenkasten übertragen werden, werden mittels eines Fehlersensors gemessen. Sodann werden Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator unter Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors generiert.
- 25 **[0008]** Die Patentschrift DE 198 24 125 C1 offenbart ein Verfahren zur aktiven Unterdrückung von fahrwerksbedingten Schwingungsanregungen, insbesondere von Luftschallanregungen, im Fahrgastraum von Schienenfahrzeugen. Dabei sind Schwingungssensoren vorgesehen, die Schwingungen der Zwischengestelle oder des Wagenkastens oberhalb der Primärfedern erfassen. Weiter sind Aktuatoren vorgesehen, mit denen Ausgleichskräfte parallel zu den jeweils einem Scheibenrad zugeordneten Primärfedern aufbringbar sind. Dabei erzeugt eine Steuereinrichtung in Abhängigkeit von den Schwingungen Ansteuersignale für die Aktuatoren, die aus Frequenzanteilen mit einem oder mehreren ganzzahligen Vielfachen einer Drehfrequenz des Scheibenrads bestehen. Dabei legt die Steuereinrichtung die Phasen und Amplituden der jeweiligen Frequenzanteile jeweils so fest, dass die Schwingungen minimiert werden.
- 30 **[0009]** Die Patentanmeldung DE 198 42 345 A1 offenbart ein Schienenfahrzeug mit einem Wagenaufbau, an dem mindestens eine Schwingungsabsorbereinrichtung zur energieeffizienten Dämpfung von Schwingungen des Wagenaufbaus vorgesehen ist, wobei die Schwingfrequenz der Schwingungsabsorbereinrichtung abhängig von Steuersignalen wenigstens eines dem Wagenaufbau zugeordneten Schwingungssensors gesteuert ist. Die Schwingungsabsorbereinrichtung weist ein vorzugsweise als hydropneumatischer Aktuator ausgebildetes Feder- und Dämpferelement auf. Über den Aktuator ist eine passive Schwingungsabsorbermasse an den Wagenaufbau angekoppelt.
- 35 **[0010]** Die genannten Druckschriften beschreiben Systeme zur Dämpfung von Schwingungen, insbesondere akustischen Schwingungen, des Wagenaufbaus von Eisenbahnwagen, wodurch es zu einer verminderten Schallemission der Eisenbahnwagen kommt. Die Systeme sind allesamt vollständig in die Eisenbahnwagen integriert, sodass eine wirksame Lärmreduzierung nur dann erreicht wird, wenn alle ein lärmempfindliches Gebiet passierenden Eisenbahnwagen mit den genannten Systemen ausgestattet sind. Eine Ausrüstung ganzer Eisenbahnflotten mit den genannten Systemen würde erhebliche Kosten verursachen.
- 40 **[0011]** Die Druckschrift EP 0 456 499 A2 beschreibt ein Verfahren zur Lärmverminderung durch Gegenschall. Die Druckschrift DE 10 2006 028 740 A1 offenbart ein kontinuierliche elastische Schienenlagerung. Die Druckschrift DE 10 2009 044 339 A1 beschreibt eine Lärmschutzeinrichtung für einen Gleiskörper. Die Druckschrift EP 1 657 362 A1
- 45
- 50
- 55

offenbart angepasste Schwingungsdämpfer für Eisenbahnschienen. Die Druckschrift CN 110144770 A beschreibt eine sich selbst anpassende Dämpfungsvorrichtung für Gleise basierend auf RFID-Technologie. Die Druckschrift JP 2014-111897 A offenbart eine Dämpfungsvorrichtung, um durch einen vorbeifahrenden Zug verursachte Schwingungen zu dämpfen. Die Druckschrift DE 42 12 782 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Dämpfung der Schwingungen von Schienen.

Technische Aufgabe

[0012] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein kosteneffizientes System und Verfahren zur wirksamen Reduzierung von Lärmemissionen des Schienenverkehrs zu schaffen.

Technische Lösung

[0013] Der Gegenstand der vorliegenden Erfindung stellt einen Schienenverkehrsweg gemäß Anspruch 1 bereit, der die technische Aufgabe löst. Ebenso wird die Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Beschreibung der Ausführungsarten

[0014] Die Erfindung betrifft einen Schienenverkehrsweg, umfassend zumindest eine Schiene, insbesondere zumindest zwei Schienen, für den Schienenverkehr, einen die Schiene statisch unterstützenden Unterbau, ein Gegengewicht, wobei das Gegengewicht mit dem Unterbau mechanisch verbunden ist und/oder durch die Trägheit des Gegengewichts ortsfest fixiert ist, und ein System zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen einer Schiene für den Schienenverkehr, das System umfassend mindestens einen Sensor zumindest zur Detektion einer akustischen vertikalen Schwingung der Schiene, mindestens einen Aktuator zumindest zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene und mindestens einer kommunikativ mit dem mindestens einen Sensor und dem mindestens einen Aktuator verbundenen Steuereinheit zur Steuerung des mindestens einen Aktuators abhängig von der durch den Sensor detektierten Schwingung.

[0015] Der Begriff "akustische Schwingung" bezeichnet im Sinne der Erfindung eine Schwingung mit einer Frequenz im für Menschen hörbaren Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz, insbesondere im Frequenzbereich höchster Hörempfindlichkeit von 0,5 kHz bis 10 kHz.

[0016] Vorzugsweise umfassen die zumindest eine Schwingung und die zumindest eine Gegenschwingung jeweils ein, insbesondere zeitabhängiges, Schwingungsspektrum bzw. Gegenschwingungsspektrum mit jeweils einer Vielzahl voneinander unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden.

[0017] Die zumindest eine Schwingung der Schiene ist beispielsweise durch das Abrollen der Räder eines Schienenfahrzeugs auf der Schiene verursacht und bildet somit zusammen mit Schwingungen der Räder die Quelle für das Rad-Schiene-Geräusch des Schienenfahrzeugs.

[0018] Der mindestens eine Sensor kann beispielsweise einen an der Schiene angebrachten piezoelektrischen Sensor, magnetischen Induktionssensor und/oder mikro-elektromechanischen Sensor umfassen. Das System kann einen als Fehlersensor ausgestalteten Sensor zur Messung einer während der Überlagerung der Schwingung mit der Gegenschwingung an ein Tragelement und/oder einen Unterbau der Schiene übertragenen Restschwingung umfassen. Mit Hilfe des Fehlersensors kann die Steuereinheit die Gegenschwingung vorteilhafterweise in einem geschlossenen Regelkreis regeln.

[0019] Der mindestens eine Sensor und der mindestens eine Aktuator sind zumindest zur Detektion einer vertikalen Schwingung bzw. zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung ausgelegt, da Rad-Schiene-Geräusche in der Regel hauptsächlich von vertikalen Schwingungen des Rad-Schiene-Systems verursacht werden.

[0020] Die mindestens eine Steuereinheit umfasst vorzugsweise ein Computergerät, beispielsweise ein Ein-Chip-System, ein eingebettetes Computersystem, eine speicherprogrammierbare Steuerung, einen Netzwerk-Client und/oder einen Netzwerk-Server. Die mindestens eine Steuereinheit kann mit dem mindestens einen Sensor und/oder dem mindestens einen Aktuator kabellos und/oder kabelgebunden kommunikativ verbunden sein.

[0021] Die Gegenschwingung ist dazu eingerichtet, mit der detektierten Schwingung destruktiv zu interferieren. Durch eine Überlagerung mit der Gegenschwingung wird die Schwingung der Schiene somit nach dem Prinzip der aktiven Lärmkompensation gedämpft und eine Schallemission der Schiene verringert.

[0022] Der mindestens eine Aktuator ist mechanisch an die Schiene und an ein relativ zu einem Unterbau der Schiene ortsfestes Gegengewicht gekoppelt. Der Begriff "Unterbau" bezeichnet im Sinne der Erfindung die Gesamtheit der Konstruktionen, die die Schiene, insbesondere mittelbar über ein Gleisbett, statisch unterstützen. Dazu gehören neben den räumlichen Formen des Erdkörpers (z.B. Geländegleiche, Damm, Einschnitt und Anschnitt) auch eine Reihe von Kunstbauten (z. B. Stützmauern, Flügel- und Futtermauern, Brücken, Überführungsbauwerke und Durchlässe). Das

Gegengewicht ist mit dem Unterbau mechanisch verbunden und/oder durch die Trägheit des Gegengewichts ortsfest fixiert. Durch die mechanische Verbindung mit dem Gegengewicht kann der Aktuator eine Gegenschwingung der Schiene relativ zu dem Unterbau erzeugen.

[0023] Dadurch, dass der mindestens eine Aktuator an die Schiene gekoppelt ist und die Schwingung der Schiene dämpft, wird insbesondere eine Übertragung von Körperschall von der Schiene an den Unterbau und an dessen Umgebung, beispielsweise an nahegelegene Gebäude, verringert. Außerdem wird auch eine Emission von Luftschall von der Schiene reduziert, insbesondere wenn der Unterbau ein Brückenbauwerk umfasst, das von durch die Schiene abgegebenen Körperschall seinerseits zu Schwingungen angeregt werden kann.

[0024] Eine Anordnung des mindestens einen Aktuators an der Schiene hat gegenüber einem vollständig in ein Schienenfahrzeug integrierten System den Vorteil, dass es für eine wirksame Lärmreduzierung in besonders betroffenen Bereichen ausreicht, nur die dortigen Schienenabschnitte mit erfindungsgemäßen System auszustatten. Dadurch werden geringere Kosten verursacht, als wenn alle den Bereich passierenden Schienenfahrzeuge mit Systemen zur Lärmreduzierung ausgerüstet werden müssten.

[0025] Außerdem wäre, wenn die Schienenfahrzeuge von unterschiedlichen Betreibern betrieben werden, eine konzentrierte Aktion aller Betreiber notwendig, um alle Schienenfahrzeuge mit Systemen zur Lärmreduzierung auszurüsten. Demgegenüber liegt die Verantwortung für den Schienenabschnitt in der Regel bei einem einzigen Schienennetzbetreiber, sodass eine Ausstattung des Abschnitts mit erfindungsgemäßen Systemen einfach umzusetzen ist, als eine Ausrüstung aller Schienenfahrzeuge mit Systemen zur Lärmreduzierung.

[0026] Der mindestens eine Aktuator umfasst vorzugsweise mindestens einen piezoelektrischen Aktuator. Ein piezoelektrischer Aktuator hat den Vorteil, dass er besonders wartungsarm und langlebig ist, was insbesondere für eine Anordnung an der Schiene vorteilhaft ist, um die im Verhältnis zu Schienenfahrzeugen längeren Wartungsintervalle der Schiene nicht zu verkürzen.

[0027] Der mindestens eine Aktuator ist vorzugsweise zur Anregung einer Gegenschwingung der Schiene in einem geeigneten Frequenzbereich, Amplitudenbereich und Leistungsbereich zur Kompensation typischer durch den Rad-Schiene-Kontakt von Schienenfahrzeugen erzeugten Schwingungen ausgelegt.

[0028] Der mindestens eine Aktuator umfasst vorzugsweise mindestens einen gestapelten piezoelektrischen Aktuator. Indem mehrere gleichartige oder verschiedenartige piezoelektrische Aktuatoren zu einem gestapelten piezoelektrischen Aktuator kombiniert werden, kann der Frequenzbereich, Amplitudenbereich und/oder Leistungsbereich des Aktuators für die Anregung der Gegenschwingung besonders geeignet ausgelegt werden.

[0029] Insbesondere kann durch eine variable Ansteuerung einzelner Aktuatoren eines gestapelten Aktuators der Frequenzbereich, Amplitudenbereich und/oder Leistungsbereich des gestapelten Aktuators im Betrieb des Systems dynamisch an die detektierte Schwingung angepasst werden.

[0030] Das Gegengewicht umfasst ein die Schiene tragendes Tragelement. Dadurch kann auf ein separates Gegengewicht verzichtet werden, sodass das System besonders kostengünstig und einfach installiert werden kann. Das Tragelement umfasst beispielsweise eine Bahnschwelle, ein Element, insbesondere einen Sockel, einer sogenannten festen Fahrbahn und/oder ein Element des Unterbaus der Schiene, worauf die Schiene verlegt ist.

[0031] Der mindestens eine Aktuator verbindet vorzugsweise eine Unterseite der Schiene mechanisch mit dem Tragelement. An der Unterseite der Schiene ist eine besonders effiziente Ankopplung zur Erzeugung einer vertikalen Gegenschwingung möglich. Im einfachsten Fall liegt die Schiene direkt auf dem mindestens einen Aktuator auf.

[0032] Das System umfasst vorzugsweise mindestens ein bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene und dem Tragelement parallel zu dem mindestens einen Aktuator angeordnetes, Stützelement zur statischen Unterstützung der Schiene. Das Stützelement verhindert, dass der mindestens eine Aktuator durch eine Gewichtskraft der Schiene und gegebenenfalls eines Schienenfahrzeugs darauf überlastet wird.

[0033] Das Stützelement kann beispielsweise eine Dämpfungsschicht aus einem, insbesondere faserverstärkten, Elastomer umfassen, wie sie beispielsweise als Besohlung oder Dämpfunterlage von Bahnschwellen verwendet wird. Die Dämpfungsschicht erlaubt eine von dem Aktuator angeregte Bewegung der Schiene und stellt durch eine endliche Kompressibilität einen minimalen Abstand zwischen der Schiene und dem Tragelement sicher, um den Aktuator vor einer Überlastung zu schützen.

[0034] Außerdem verringert die Dämpfungsschicht eine Übertragung eines durch die Gegenschwingung nicht ausgelöschten Anteils der Schwingung der Schiene an das Tragelement. Weiterhin erlaubt es die Dämpfungsschicht, die Schiene mit Hilfe von Befestigungselementen auf den mindestens einen Aktuator vorzuspannen. Eine Vorspannung ist insbesondere bei einem piezoelektrischen Aktuator von Vorteil, da ein piezoelektrischer Aktuator in der Regel eine wesentlich höhere, beispielsweise zehnmal höhere, Kraft in Druckrichtung als in Zugrichtung ausüben kann. Die Vorspannung unterstützt eine Bewegung der Schiene in Zugrichtung des Aktuators und wirkt einer Bewegung der Schiene in Druckrichtung des Aktuators entgegen.

[0035] Bezüglich einer Kraftübertragung zwischen dem mindestens einen Aktuator und dem Tragelement ist vorzugsweise ein Druckminderungselement zur Minderung eines von dem Aktuator auf das Tragelement ausgeübten Drucks angeordnet. Das Druckminderungselement erhöht beispielsweise eine Auflagefläche des Aktuators auf dem Tragele-

ment und verringert dadurch den Druck. Das Druckminderungselement verringert eine mechanische Belastung des Tragelements, beispielsweise durch lokale Spannungskonzentrationen in dem Tragelement, und erhöht dadurch dessen Lebensdauer.

[0036] Das Druckminderungselement umfasst beispielsweise eine Hülse, zum Beispiel aus einem Metallblech, in der der mindestens eine Aktuator zumindest teilweise in dem Tragelement angeordnet ist.

[0037] Die Schiene ist vorzugsweise mit zumindest einem Befestigungselement an dem Tragelement befestigt. Das zumindest eine Befestigungselement umfasst beispielsweise eine Befestigungsklammer zum Anpressen der Schiene an das Tragelement und/oder einen aus dem Gleisbau bekannten Oberbau W, Oberbau K oder Oberbau KS.

[0038] Vorzugsweise ist der mindestens eine Aktuator bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene und dem Tragelement mit dem Befestigungselement in Reihe angeordnet, und/oder der Aktuator ersetzt das Befestigungselement. Eine Anordnung des mindestens einen Aktuators an dem Befestigungselement oder anstelle des Befestigungselements hat den Vorteil einer leichteren Zugänglichkeit als bei einer Anordnung an der Unterseite der Schiene, wodurch die Installation und Wartung des Aktuators und insbesondere eine Nachrüstung einer bestehenden Schiene mit dem Aktuator vereinfacht wird.

[0039] Vorzugsweise ist mindestens ein Dämpfelement zur Dämpfung einer Schwingungsübertragung von der Schiene auf das Tragelement bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene und dem Tragelement mit dem Befestigungselement in Reihe angeordnet, und/oder das Befestigungselement selbst ist, beispielsweise durch eine geeignete Form und/oder Materialwahl, zur Dämpfung einer Schwingungsübertragung von der Schiene auf das Tragelement ausgelegt.

[0040] Das Dämpfelement kann beispielsweise eine Dämpfungsschicht aus einem, insbesondere faserverstärkten, Elastomer umfassen, wie sie beispielsweise als Besohlung oder Dämpfunterlage von Bahnschwellen verwendet wird. Die Dämpfungsschicht verringert eine Übertragung eines durch die Gegenschwingung nicht ausgelöschten Anteils der Schwingung der Schiene an das Tragelement.

[0041] Wenn der mindestens eine Aktuator mit dem Befestigungselement in Reihe angeordnet ist, ist bevorzugt kein Dämpfelement mit dem gleichen Befestigungselement in Reihe angeordnet und das Befestigungselement selbst ist nicht schwingungsdämpfend ausgelegt, um eine Anregung der Schiene zu der Gegenschwingung durch den Aktuator nicht zu dämpfen.

[0042] Der mindestens eine Sensor ist vorzugsweise zur Detektion einer horizontalen Schwingung der Schiene quer zu einer Längsachse der Schiene ausgelegt, und der mindestens eine Aktuator ist vorzugsweise zur Anregung einer horizontalen Gegenschwingung der Schiene quer zu einer Längsachse der Schiene ausgelegt. Dadurch können vorteilhafterweise zusätzlich zu vertikalen auch horizontale Schwingungen der Schiene quer zur Längsachse der Schiene aktiv gedämpft werden, um eine umfassende Lärmreduzierung, insbesondere in einer Kurve der Schiene, zu erreichen.

[0043] Der mindestens eine Aktuator umfasst vorzugsweise zumindest einen ersten Aktuator mit einer ersten Bewegungsachse und einen zweiten Aktuator mit einer zweiten Bewegungsachse, wobei die erste Bewegungsachse und die zweite Bewegungsachse nicht parallel zueinander, bevorzugt orthogonal zueinander, ausgerichtet sind. Durch eine Überlagerung von Bewegungen der zwei Aktuatoren, und gegebenenfalls noch weiteren Aktuatoren, lassen sich Gegenschwingungen der Schiene in unterschiedlichen Richtungen, insbesondere horizontal quer zur Schiene und vertikal, anregen. Die zwei oder mehr Aktuatoren können als gestapelter Aktuator zusammengefasst sein.

[0044] Der mindestens eine Sensor umfasst vorzugsweise zumindest einen ersten Sensor mit einer ersten Messachse und einen zweiten Sensor mit einer zweiten Messachse, wobei die erste Messachse und die zweite Messachse nicht parallel zueinander, bevorzugt orthogonal zueinander, ausgerichtet sind. Durch die zwei Sensoren, und gegebenenfalls noch weitere Sensoren, lassen sich Schwingungen der Schiene in unterschiedlichen Richtungen, insbesondere horizontal quer zur Schiene und vertikal, detektieren.

[0045] Das System umfasst vorzugsweise mindestens eine Energieversorgungseinheit zur Versorgung des Systems mit Energie, wobei die Energieversorgungseinheit mindestens ein Energiegewinnungselement zur lokalen Energiegewinnung, bevorzugt mit einem Photovoltaikelement und/oder einem piezoelektrischen Element, und mindestens einen Energiespeicher, beispielsweise einen Akkumulator, zur Speicherung der mit dem Energiegewinnungselement gewonnenen Energie umfasst.

[0046] Durch die Energieversorgungseinheit kann ein aufwändiger Anschluss des Systems an eine externe Energieversorgung, beispielsweise an ein städtisches Stromnetz oder an ein Bahnstromnetz, entfallen.

[0047] Das Photovoltaikelement kann beispielsweise an einer Lärmschutzwand angeordnet sein. Das piezoelektrische Element kann beispielsweise zur Umwandlung von durch ein Schienenfahrzeug induzierten Schwingungen der Schiene in elektrische Energie an die Schiene gekoppelt sein.

[0048] Das System umfasst vorzugsweise mindestens ein Übertragungselement zur Kraftübertragung zwischen dem mindestens einen Aktuator und der Schiene, wobei das Übertragungselement ein Umlenkelement zur Umlenkung einer Wirkrichtung der übertragenen Kraft, eine Getriebeeinheit zur Übersetzung der übertragenen Kraft und/oder eine Überlastsicherung zur Begrenzung der übertragenen Kraft umfasst.

[0049] Mit Hilfe eines Umlenkelements, beispielsweise mit einem Hebelsystem und/oder einer Keilumlenkung, kann

der mindestens eine Aktuator beispielsweise auf die Unterseite der Schiene wirken, ohne direkt unter der Schiene angeordnet sein zu müssen. Dadurch wird der Aktuator vor einer Überlastung, beispielsweise durch eine Gewichtskraft der Schiene und eines darauf fahrenden Schienenfahrzeugs, geschützt und ist leichter zugänglich, beispielsweise zur Installation, Wartung und/oder Nachrüstung.

[0050] Eine Überlastsicherung, beispielsweise eine Rutschkupplung, schützt den Aktuator ebenfalls vor einer Überlastung, beispielsweise durch eine Gewichtskraft der Schiene und eines darauf fahrenden Schienenfahrzeugs.

[0051] Das Übertragungselement kann insbesondere zur mechanischen Ankopplung mehrerer Aktuatoren, beispielsweise mit voneinander unterschiedlichen Bewegungsachsen, an die Schiene ausgelegt sein.

[0052] Ein besonderer Vorteil des Systems liegt darin, dass es, beispielsweise durch eine Anordnung des zumindest einen Aktuators und des zumindest einen Sensors unter der Schiene, so ausgestaltet sein kann, dass es übliche Wartungsarbeiten an der Schiene, beispielsweise ein Abschleifen einer Oberseite der Schiene oder einen Austausch der Schiene, nicht behindert. Darin unterscheidet sich das System beispielsweise von bekannten Systemen zur Lärmreduzierung, bei denen Schallabsorber direkt an der Schiene angebracht werden.

[0053] Das Tragelement umfasst beispielsweise eine Bahnschwelle zur Verlegung der Schiene auf einem Schotterbett oder ein Element, insbesondere einen Sockel, einer sogenannten festen Fahrbahn zur Verlegung der Schiene. Das Tragelement kann insbesondere Merkmale fachüblicher Bahnschwellen oder Elemente der festen Fahrbahn, beispielsweise bezüglich Form, Maßen, Materialzusammensetzung und/oder Befestigungselementen für die Schiene, aufweisen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass das Tragelement mit fachüblichen Vorrichtungen und Verfahren, insbesondere mit einem automatisierten Schienenbauzug, schnell und kostengünstig eingebaut und ausgebaut werden kann.

[0054] Der mindestens eine Aktuator des Systems ist zumindest teilweise in das Tragelement integriert und unter der Schiene in einer Vertiefung des Tragelements angeordnet. Darüber hinaus können auch weitere Bestandteile des Systems, beispielsweise der mindestens eine Sensor, die mindestens eine Steuereinheit, eine Versorgungseinheit und/oder Übertragungselement, zumindest teilweise in das Tragelement integriert sein. Durch eine Integration oder zumindest Teil-Integration des Systems in das Tragelement kann das System besonders einfach und schnell zusammen mit dem Tragelement installiert werden.

[0055] Das Tragelement umfasst bevorzugt zumindest einen Revisionszugang zur Wartung und/oder zum Austausch des mindestens einen Aktuators in einem die Schiene tragenden Einbauszustand des Tragelements. Der Revisionszugang umfasst beispielsweise eine verschließbare Öffnung an einer Oberseite des Tragelements neben der Schiene.

[0056] Durch den Revisionszugang kann der zumindest eine Aktuator, und gegebenenfalls weitere in das Tragelement integrierte Bestandteile des Systems, gewartet, ausgetauscht oder nachgerüstet werden, ohne dafür das Tragelement oder die Schiene zu demontieren.

[0057] Das Tragelement kann insbesondere zunächst ohne Komponenten des erfindungsgemäßen Systems in einem Schienenverkehrsweg montiert werden, um dort ohne nennenswerte Mehrkosten die Funktion eines fachüblichen Tragelements zu erfüllen. Bei Bedarf kann dann ein erfindungsgemäßes System mit geringem Aufwand nachgerüstet werden.

[0058] Das Tragelement kann auch beispielsweise zunächst mit nur einem Aktuator zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung montiert und später mit einem weiteren Aktuator zur Anregung einer horizontalen Gegenschwingung nachgerüstet werden.

[0059] Das System umfasst vorzugsweise eine Anzahl, insbesondere eine Mehrzahl von entlang der Schiene voneinander beabstandeten Sensoren und eine Vielzahl von entlang der Schiene voneinander beabstandeter Aktuatoren, wobei die Anzahl der Sensoren bevorzugt kleiner als die Vielzahl der Aktuatoren ist.

[0060] Aufgrund der guten Schallleitung entlang der Schiene kann die Anzahl der Sensoren zur Detektion von Schwingungen der Schiene ohne nennenswerte Einbußen bei der Detektionsqualität geringer gewählt werden als die Vielzahl der Aktuatoren zur Erzeugung von Gegenschwingungen. Die von den Sensoren detektierten Schwingungen können von einer einzigen Steuereinheit oder auch von mehreren Steuereinheiten zur Steuerung der Aktuatoren ausgewertet werden.

[0061] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der Schiene für den Schienenverkehr eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges, umfassend zumindest folgende von der mindestens einen Steuereinheit des Systems zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der Schiene des Schienenverkehrsweges ausgeführte Schritte:

- a) automatisches Detektieren zumindest einer vertikalen Schwingung der Schiene mit mindestens einem Sensor,
- b) automatisches Anregen zumindest einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene mit mindestens einem Aktuator,
- c) wobei die Gegenschwingung dazu eingerichtet ist, mit der detektierten Schwingung destruktiv zu interferieren, und
- d) wobei der mindestens eine Aktuator mechanisch an die Schiene und an ein die Schiene tragendes Tragelement gekoppelt ist.

[0062] Ausgestaltungsmöglichkeiten und Vorteile des Verfahrens ergeben sich analog zum erfindungsgemäßen System.

[0063] Die Gegenschwingung kann von der Steuereinheit mit aus dem Bereich der aktiven Lärmkompensation bekannten Verfahren aus der detektierten Schwingung berechnet werden. Alternativ kann die detektierte Schwingung von der Steuereinheit dazu verwendet werden, eine Ankunft eines Zuges und bevorzugt einen Zugtyp des ankommenden Zuges zu detektieren.

[0064] Sobald die Ankunft eines Zuges detektiert wurde, kann die Steuereinheit den zumindest einen Aktuator beispielsweise zur Anregung einer allgemeinen Gegenschwingung ansteuern, wobei die allgemeine Gegenschwingung dazu ausgelegt ist, mit einer von einem üblicherweise auf der betreffenden Schiene verkehrenden Zug erzeugten Schwingung der Schiene destruktiv zu interferieren. Die Verwendung einer allgemeinen Gegenschwingung hat den Vorteil, dass nicht für jeden ankommenden Zug erneut eine Gegenschwingung berechnet werden muss, sodass die Steuereinheit weniger leistungsstark und kostengünstiger ausgelegt sein kann. Die allgemeine Gegenschwingung kann beispielsweise durch einen selbstlernenden Algorithmus aus zuvor detektierten Schwingungen bestimmt werden.

[0065] Vorzugsweise steuert die Steuereinheit den zumindest einen Aktuator zur Anregung einer zugtypspezifischen Gegenschwingung an, sobald die Ankunft eines Zuges eines bestimmten Zugtyps detektiert wird. Der Zugtyp kann dabei aus der detektierten Schwingung und/oder aus einer Ankunftszeit und einem Abgleich mit einem Zugfahrplan ermittelt werden. Die Verwendung einer zugtypspezifischen Gegenschwingung ist weniger rechenintensiv als eine Berechnung der Gegenschwingung aus der detektierten Schwingung und erlaubt in der Regel eine stärkere Dämpfung als eine allgemeine Gegenschwingung. Die zugtypspezifische Gegenschwingung kann beispielsweise durch einen selbstlernenden Algorithmus aus zuvor detektierten Schwingungen in Verbindung mit den zugehörigen Zugtypen bestimmt werden.

[0066] Die Steuereinheit kann zumindest einen Sensor des Systems als Fehlersensor verwenden, um eine Restschwingung, die während des Anregens der Gegenschwingung an ein Tragelement und/oder einen Unterbau der Schiene übertragen wird, zu messen. Vorzugsweise regelt die Steuereinheit die Gegenschwingung in einem geschlossenen Regelkreis derart, dass die Restschwingung minimiert wird.

[0067] Das Verfahren umfasst vorzugsweise zumindest folgende von der mindestens einen Steuereinheit ausgeführte Schritte:

- a) automatisches Detektieren zumindest einer horizontalen Schwingung der Schiene mit mindestens einem Sensor,
- b) automatisches Anregen zumindest einer horizontalen Gegenschwingung der Schiene mit dem mindestens einen Aktuator,
- c) wobei die Gegenschwingung dazu eingerichtet ist, mit der detektierten Schwingung destruktiv zu interferieren.

[0068] Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt darin, dem Schienenverkehrslärm dort entgegenzuwirken, wo er entsteht. Dadurch wird insbesondere weniger Platz für den Bau von Schienenverkehrswegen benötigt wird - da große Lärmschutzwände überflüssig werden.

[0069] Weniger Schwingungen in den Schienen können außerdem den Verschleiß von Rädern und Schienen verringern. Durch einen geringeren Verschleiß der Räder können Rad-Schiene-Geräusche auch auf Streckenabschnitten, die kein erfindungsgemäßes System umfassen, reduziert werden.

[0070] Ein Fahrverbot für Züge in der Nacht kann durch geringere Schallemissionen idealerweise entfallen, sodass mehr Züge durch lärmempfindliche Bereiche fahren können. Das Wohnen in der Nähe von Schienenverkehrswegen wird geringere Schallemissionen viel attraktiver. Dies wird die Akzeptanz des Schienenverkehrs als effizientes und umweltfreundliches Logistiksystem erhöhen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0071] Weitere Vorteile, Ziele und Eigenschaften der Erfindung werden anhand nachfolgender Beschreibung und anliegender Zeichnungen erläutert, in welchen beispielhaft erfindungsgemäße Gegenstände dargestellt sind. Merkmale, welche in den Figuren wenigstens im Wesentlichen hinsichtlich ihrer Funktion übereinstimmen, können hierbei mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet sein, wobei diese Merkmale nicht in allen Figuren beziffert und erläutert sein müssen.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges.

Figur 2 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges.

Figur 3 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges.

Figur 4 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrswegs.

Fig.1

[0072] Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges 300 mit einem System 100 zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen zumindest einer Schiene 310 für den Schienenverkehr. In Figur 1 sind beispielhaft zwei parallel verlaufende Schienen 310 eines Gleises mit zwei darauf aufliegenden Rädern R eines Schienenfahrzeugs dargestellt.

[0073] Das System 100 umfasst beispielsweise jeweils einen Sensor 110, beispielsweise einen piezoelektrischen Sensor, zur Detektion einer akustischen vertikalen Schwingung jeder Schiene 310, jeweils einen Aktuator 120, beispielsweise einen piezoelektrischen Aktuator, zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene 310 und eine kommunikativ mit den Sensoren 110 und den Aktuatoren 120 verbundene (Verbindungen nicht dargestellt) Steuereinheit 130, beispielsweise ein eingebettetes Computersystem, zur Steuerung der Aktuatoren 120 abhängig von den durch die Sensoren 110 detektierten Schwingungen.

[0074] Die Aktuatoren 120 sind mechanisch an die jeweilige Schiene 310 und an ein die Schiene 310 tragendes Tragelement 200, beispielsweise eine Bahnschwelle, gekoppelt und verbinden beispielsweise eine Unterseite der jeweiligen Schiene 310 mechanisch mit dem Tragelement 200.

[0075] Das dargestellte System 100 umfasst jeweils ein bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene 310 und dem Tragelement 200 parallel zu dem Aktuator 120 angeordnetes Stützelement 150 zur statischen Unterstützung der Schiene 310.

[0076] Das Stützelement 150 umfasst beispielsweise eine Dämpfunterlage aus einem Elastomer, in die der jeweilige Aktuator 120 integriert sein kann.

Fig.2

[0077] Figur 2 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges 300 mit einem System 100.

[0078] Im Unterschied zu Figur 1 ist in Figur 2 nur eine Schiene 310 mit jeweils einem daran angeordneten Sensor 110 und Aktuator 120 gezeigt.

[0079] Außerdem ist auch ein Befestigungselement 220, beispielsweise eine Befestigungsklammer, das die Schiene 310 auf das Tragelement 200 presst, dargestellt. Das Befestigungselement 220 kann insbesondere eine kompressive Vorspannung auf den unter der Schiene 310 in einem Stützelement 150, beispielsweise in einer Dämpfunterlage aus einem Elastomer, angeordneten Aktuator 120 bewirken.

[0080] Das dargestellte System 100 umfasst ein Druckminderungselement 160, beispielsweise eine Metallhülse, das bezüglich einer Kraftübertragung zwischen dem Aktuator 120 und dem Tragelement 200 angeordnet ist, um einen von dem Aktuator 120 auf das Tragelement 200 ausgeübten Druck zu begrenzen.

[0081] Das dargestellte System 100 umfasst einen Fehlersensor 111 zur Messung einer an das Tragelement 200 übertragenen Restschwingung.

Fig.3

[0082] Figur 3 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges 300 mit einem System 100 zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen zumindest einer Schiene 310 für den Schienenverkehr.

[0083] Das System 100 umfasst beispielsweise einen Sensor 110, beispielsweise einen piezoelektrischen Sensor, zur Detektion einer akustischen vertikalen Schwingung der Schiene 310, einen Aktuator 120, beispielsweise einen piezoelektrischen Aktuator, zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene 310 und eine kommunikativ mit den Sensoren 110 und den Aktuatoren 120 verbundene Steuereinheit 130, beispielsweise ein eingebettetes Computersystem, zur Steuerung des Aktuators 120 abhängig von der durch den Sensor 110 detektierten Schwingung. Die kommunikativen Verbindungen sind als gestrichelte Linien dargestellt.

[0084] Der Aktuator 120 ist mechanisch an die Schiene 310 und an ein die Schiene 310 tragendes Tragelement 200, beispielsweise eine Bahnschwelle, gekoppelt und verbindet beispielsweise eine Unterseite der Schiene 310 mechanisch mit dem Tragelement 200. Diese und die im Folgenden beschriebenen mechanischen Verbindungen sind als durchgezogene Linien dargestellt.

[0085] Das dargestellte System 100 umfasst ein bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene 310 und dem Tragelement 200 parallel zu dem Aktuator 120 angeordnetes Stützelement 150 zur statischen Unterstützung der Schiene 310.

[0086] Das Stützelement 150 umfasst beispielsweise eine Dämpfunterlage aus einem Elastomer, in die der Aktuator

120 integriert sein kann.

[0087] Die Schiene 310 ist vorzugsweise mit zumindest einem Befestigungselement 220 an dem Tragelement 200 befestigt. Das zumindest eine Befestigungselement 220 umfasst beispielsweise einen aus dem Gleisbau bekannten Oberbau W, Oberbau K oder Oberbau KS.

[0088] Vorzugsweise ist mindestens ein Dämpfelement 155 zur Dämpfung einer Schwingungsübertragung von der Schiene 310 auf das Tragelement 200 bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene 310 und dem Tragelement 200 mit dem Befestigungselement 220 in Reihe angeordnet.

[0089] Das Dämpfelement 155 kann beispielsweise eine Dämpfungsschicht aus einem, insbesondere faserverstärkten, Elastomer umfassen.

Fig.4

[0090] Figur 4 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges 300 mit einem System 100.

[0091] Das in Figur 4 dargestellte System 100 unterscheidet sich von dem in Figur 3 dargestellten System 100 darin, dass der Aktuator 110 nicht die Unterseite der Schiene 310 mechanisch mit dem Tragelement 200 verbindet, sondern bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene 310 und dem Tragelement 200 mit dem Befestigungselement 220 in Reihe angeordnet ist.

[0092] Erfindungsgemäß ist auch eine nicht dargestellte Kombination zumindest eines gemäß Figur 3 angeordneten Aktuators 110 mit zumindest einem gemäß Figur 4 angeordneten Aktuator 110 möglich.

[0093] Wenn ein Aktuator 110 mit dem Befestigungselement 220 in Reihe angeordnet ist, ist bevorzugt kein Dämpfelement 155 mit dem gleichen Befestigungselement 220 in Reihe angeordnet.

Fig.5

[0094] Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Schienenverkehrsweges 300 mit zumindest einer Schiene 310 und mindestens einem System 100 zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der zumindest einen Schiene 310. Das System 100 umfasst eine Mehrzahl von entlang der Schiene 310 voneinander beabstandeter Sensoren 110 (exemplarisch zwei Sensoren 110 gezeigt) und eine Vielzahl von entlang der Schiene 310 voneinander beabstandeter Aktuatoren 120 (exemplarisch drei Aktuatoren 120 gezeigt), wobei die Mehrzahl der Sensoren 110 kleiner als die Vielzahl der Aktuatoren 120 ist.

[0095] Das System 100 umfasst eine kommunikativ mit den Sensoren 110 und den Aktuatoren 120 verbundene Steuereinheit 130. Die kommunikativen Verbindungen sind als gestrichelte Linien dargestellt.

[0096] Weitere Bestandteile des Systems 100 sind der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt.

Liste der Bezugszeichen

[0097]

100	System	200	Tragelement
110	Sensor	220	Befestigungsmittel
111	Fehlersensor	300	Schienenverkehrsweg
120	Aktuator	310	Schiene
130	Steuereinheit	R	Rad
150	Stützelement		
155	Dämpfelement		
160	Druckminderungselement		

Patentansprüche

1. Schienenverkehrsweg (300), umfassend eine Schiene (310) für den Schienenverkehr, einen die Schiene (310) statisch unterstützenden Unterbau, ein Gegengewicht, wobei das Gegengewicht mit dem Unterbau mechanisch verbunden ist und/oder durch die Trägheit des Gegengewichts ortsfest fixiert ist, und ein System (100) zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der Schiene (310), das System (100) umfassend

a) mindestens einen Sensor (110) eingerichtet zumindest zur Detektion einer akustischen vertikalen Schwingung

der Schiene (310),

b) mindestens einen Aktuator (120) eingerichtet zumindest zur Anregung einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene (310) und

c) mindestens eine kommunikativ mit dem mindestens einen Sensor (110) und dem mindestens einen Aktuator (120) verbundene Steuereinheit (130) zur Steuerung des mindestens einen Aktuators (120) abhängig von der durch den Sensor (110) detektierten vertikalen Schwingung,

d) wobei die Gegenschwingung dazu eingerichtet ist, mit der detektierten vertikalen Schwingung destruktiv zu interferieren, und

e) wobei der mindestens eine Aktuator (120) mechanisch an die Schiene (310) und das Gegengewicht angekoppelt ist,

f) wobei das Gegengewicht ein die Schiene (310) tragendes Tragelement (200) umfasst, und

g) wobei der mindestens eine Aktuator (120) des Systems (100) zumindest teilweise in das die Schiene (310) tragende Tragelement (200) integriert ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Aktuator (120) unter der Schiene (310) in einer Vertiefung des Tragelements (200) angeordnet ist.

2. Schienenverkehrsweg (300) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Aktuator (120) mindestens einen piezoelektrischen Aktuator, bevorzugt mindestens einen gestapelten piezoelektrischen Aktuator, umfasst.

3. Schienenverkehrsweg (300) nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Sensor (110) zur Detektion einer horizontalen Schwingung der Schiene (310) quer zu einer Längsachse der Schiene (310) ausgelegt ist.

4. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Aktuator (120) eine Unterseite der Schiene (310) mechanisch mit dem Tragelement (200) verbindet.

5. Schienenverkehrsweg (300) nach Anspruch 4,

gekennzeichnet durch

mindestens ein bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene (310) und dem Tragelement (200) parallel zu dem mindestens einen Aktuator (120) angeordnetes Stützelement (150) zur statischen Unterstützung der Schiene (310).

6. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, dass

bezüglich einer Kraftübertragung zwischen dem mindestens einen Aktuator (120) und dem Tragelement (200) ein Druckminderungselement (160) zur Minderung eines von dem Aktuator (120) auf das Tragelement (200) ausgeübten Drucks angeordnet ist.

7. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Schiene (310) mit zumindest einem Befestigungselement (220) an dem Tragelement (200) befestigt ist, wobei der mindestens eine Aktuator (120) bezüglich einer Kraftübertragung zwischen der Schiene (310) und dem Tragelement (200) mit dem Befestigungselement (220) in Reihe angeordnet ist.

8. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Aktuator (120) zumindest einen ersten Aktuator mit einer ersten Bewegungsachse und einen zweiten Aktuator mit einer zweiten Bewegungsachse umfasst, wobei die erste Bewegungsachse und die zweite Bewegungsachse nicht parallel zueinander, bevorzugt orthogonal zueinander, ausgerichtet sind.

9. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

gekennzeichnet durch

mindestens ein Übertragungselement zur Kraftübertragung zwischen dem mindestens einen Aktuator (120) und der Schiene (310), wobei das Übertragungselement ein Umlenkelement zur Umlenkung einer Wirkrichtung der übertragenen Kraft, ein Getriebeelement zur Übersetzung der übertragenen Kraft und/oder eine Überlastsicherung zur Begrenzung der übertragenen Kraft umfasst.

10. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine Aktuator (120) zur Anregung einer horizontalen Gegenschwingung der Schiene (310) quer zu einer Längsachse der Schiene (310) ausgelegt ist.

11. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Tragelement (200) zumindest einen Revisionszugang (210) zur Wartung und/oder zum Austausch des mindestens einen Aktuators (120) in einem die Schiene (310) tragenden Einbauszustand des Tragelements (200) umfasst.

12. Schienenverkehrsweg (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 11,

dadurch gekennzeichnet, dass

das System (100) eine Anzahl von, bevorzugt eine Mehrzahl von entlang der Schiene (310) voneinander beabstandeten, Sensoren (110) und eine Vielzahl von entlang der Schiene (310) voneinander beabstandeten Aktuatoren (120) umfasst, wobei die Anzahl der Sensoren (110) bevorzugt kleiner als die Vielzahl der Aktuatoren (120) ist.

13. Verfahren zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der Schiene (310) für den Schienenverkehr eines Schienenverkehrsweges (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend zumindest folgende von der mindestens einen Steuereinheit (130) des Systems (100) zur aktiven Dämpfung akustischer Schwingungen der Schiene (310) des Schienenverkehrsweges (300) ausgeführte Schritte:

- a) automatisches Detektieren zumindest einer vertikalen Schwingung der Schiene (310) mit dem mindestens einen Sensor (110) des Systems (100),
- b) automatisches Anregen zumindest einer vertikalen Gegenschwingung der Schiene (310) mit dem mindestens einen Aktuator (120) des Systems (100),
- c) wobei die vertikale Gegenschwingung dazu eingerichtet ist, mit der detektierten vertikalen Schwingung destruktiv zu interferieren, und
- d) wobei der mindestens eine Aktuator (120) mechanisch an die Schiene (310) und an ein relativ zu einem Unterbau der Schiene (310) ortsfestes Gegengewicht gekoppelt ist.

Claims

1. A rail traffic path (300) comprising a rail (310) for rail traffic; a substructure statically supporting the rail (310); a counterweight, the counterweight being mechanically connected to the substructure and/or fixed in position by the inertia of the counterweight; and a system (100) for actively attenuating acoustic vibrations of the rail (310), the system (100) comprising

- a) at least one sensor (110) configured at least for detecting a vertical acoustic vibration of the rail (310),
- b) at least one actuator (120) configured at least for exciting a vertical counter-vibration of the rail (310), and
- c) at least one control unit (130) communicatively connected to the at least one sensor (110) and the at least one actuator (120) for controlling the at least one actuator (120) depending on the vertical vibration detected by the sensor (110),
- d) wherein the counter-vibration is adapted to destructively interfere with the detected vertical vibration, and
- e) wherein the at least one actuator (120) is mechanically coupled to the rail (310) and to the counterweight,
- f) wherein the counterweight comprises a carrier element (200) carrying the rail (310), and
- g) wherein the at least one actuator (120) of the system (100) is at least partly integrated in the carrier element (200) carrying the rail (310)

characterised in that

the at least one actuator (120) is arranged under the rail (310) in a recess of the carrier element (200).

2. The rail traffic path (300) according to claim 1,
characterised in that
the at least one actuator (120) comprises at least one piezoelectric actuator, preferably at least one stacked piezo-electric actuator.
3. The rail traffic path (300) according to claim 1 or 2,
characterised in that
the at least one sensor (110) is designed for detecting a horizontal vibration of the rail (310) transverse to a longitudinal axis of the rail (310).
4. The rail traffic path (300) according to one of claims 1 to 3,
characterised in that
the at least one actuator (120) mechanically connects a lower side of the rail (310) to the carrier element (200).
5. The rail traffic path (300) according to claim 4,
characterised by
at least one support element (150) for statically supporting the rail (310), the at least one support element (150) being arranged in parallel to the at least one actuator (120) regarding a force transmission between the rail (310) and the carrier element (200).
6. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 5,
characterised in that,
a pressure reduction element (160) for reducing a pressure applied to the carrier element (200) by the actuator (120) is provided between the at least one actuator (120) and the carrier element (200) regarding a force transmission.
7. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 6,
characterised in that
the rail (310) is fixed to the carrier element (200) by at least one fixation element (220), wherein the at least one actuator (120) is arranged in series with the fixation element (220) regarding a force transmission between the rail (310) and the carrier element (200).
8. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 7,
characterised in that
the at least one actuator (120) comprises at least a first actuator having a first axis of movement and a second actuator having a second axis of movement, wherein the first axis of movement and the second axis of movement are not oriented in parallel to each other, preferably orthogonally to each other.
9. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 8,
characterised by
at least one transmission element for a force transmission between the at least one actuator (120) and the rail (310), wherein the transmission element comprises a redirecting element for redirecting an effective direction of the transmitted force, a transmission element for translating the transmitted force and/or an overload protection for limiting the transmitted force.
10. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 9,
characterised in that
the at least one actuator (120) is designed for exciting a horizontal counter-vibration of the rail (310) transverse to a longitudinal axis of the rail (310).
11. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 10,
characterised in that
the carrier element (200) comprises at least one service access (210) for maintenance and/or replacement of the at least one actuator (120) in an installed state of the carrier element (200) carrying the rail (310).
12. The rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 11,
characterised in that
the system (100) comprises a number of, preferably a plurality, of sensors (110) spaced apart along the rail (310) and a multitude of actuators (120) spaced apart along the rail (310), wherein the number of the sensors (110) is

preferably smaller than the multitude of the actuators (120).

13. A method for actively attenuating acoustic vibrations of the rail (310) for rail traffic of a rail traffic path (300) according to one of the claims 1 to 12, comprising at least the following steps performed by the at least one control unit (130) of the system (100) for actively attenuating acoustic vibrations of the rail (310) of the rail traffic path (300):

- a) automatically detecting at least a vertical vibration of the rail (310) by means of the at least one sensor (110) of the system (100),
- b) automatically exciting at least a vertical counter-vibration of the rail (310) by means of the at least one actuator (120) of the system (100),
- c) wherein the vertical counter-vibration is adapted to destructively interfere with the detected vertical vibration, and
- d) wherein the at least one actuator (120) is mechanically coupled to the rail (310) and to a counterweight stationary relative to a substructure of the rail (310), (120).

Revendications

1. Voie ferrée (300), comprenant un rail (310) pour le trafic ferroviaire ; une infrastructure soutenant statiquement le rail (310) ; un contrepoids, le contrepoids étant relié mécaniquement à l'infrastructure et/ou étant fixé de manière stationnaire par l'inertie du contrepoids ; et un système (100) pour l'amortissement actif des vibrations acoustiques du rail (310), le système (100) comprenant

- a) au moins un capteur (110) agencé au moins pour la détection d'une vibration verticale acoustique du rail (310),
- b) au moins un actionneur (120) agencé au moins pour exciter une contre-oscillation verticale du rail (310), et
- c) au moins une unité de commande (130) reliée de manière communicative à l'au moins un capteur (110) et à l'au moins un actionneur (120) pour commander l'au moins un actionneur (120) en fonction de l'oscillation verticale détectée par le capteur (110),
- d) la contre-oscillation étant agencée pour interférer de manière destructive avec l'oscillation verticale détectée, et
- e) ledit au moins un actionneur (120) étant couplé mécaniquement au rail (310) et au contrepoids,
- f) le contrepoids comprenant un élément porteur (200) portant le rail (310), et
- g) ledit au moins un actionneur (120) du système (100) étant au moins partiellement intégré dans l'élément porteur (200) portant le rail (310),

caractérisé en ce que

ledit au moins un actionneur (120) est disposé sous le rail (310) dans un renforcement de l'élément porteur (200) .

2. Voie ferrée (300) selon la revendication 1,

caractérisé en ce que

ledit au moins un actionneur (120) comprend au moins un actionneur piézoélectrique, de préférence au moins un actionneur piézoélectrique empilé.

3. Voie ferrée (300) selon la revendication 1 ou 2,

caractérisé en ce que

ledit au moins un capteur (110) est conçu pour détecter une oscillation horizontale du rail (310) transversalement à un axe longitudinal du rail (310).

4. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que

ledit au moins un actionneur (120) relie mécaniquement une face inférieure du rail (310) à l'élément porteur (200).

5. Voie ferrée (300) selon la revendication 4,

caractérisé par

au moins un élément de support (150) pour le support statique du rail (310), ledit au moins un élément de support (150) étant disposé parallèlement à ledit au moins un actionneur (120) en ce qui concerne une transmission de force entre le rail (310) et l'élément porteur (200).

6. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 5,
caractérisé en ce que
un élément de réduction de pression (160) pour réduire une pression exercée par ledit actionneur (120) sur ledit élément porteur (200) est disposé entre ledit au moins un actionneur (120) et ledit élément porteur (200) par rapport à une transmission de force.
7. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 6,
caractérisé en ce que
le rail (310) est fixé à l'élément porteur (200) par au moins un élément de fixation (220), ledit au moins un actionneur (120) étant disposé en série avec l'élément de fixation (220) en ce qui concerne une transmission de force entre le rail (310) et l'élément porteur (200).
8. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 7,
caractérisé en ce que
ledit au moins un actionneur (120) comprend au moins un premier actionneur ayant un premier axe de mouvement et un deuxième actionneur ayant un deuxième axe de mouvement, ledit premier axe de mouvement et ledit deuxième axe de mouvement étant orientés de manière non parallèle, de préférence de manière orthogonale, l'un par rapport à l'autre.
9. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 8,
caractérisé par
au moins un élément de transmission pour la transmission de force entre ledit au moins un actionneur (120) et le rail (310), l'élément de transmission comprenant un élément de déviation pour la déviation d'une direction d'action de la force transmise, un élément de transmission pour démultiplier la force transmise et/ou une sécurité de surcharge pour la limitation de la force transmise.
10. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 9,
caractérisé en ce que
ledit au moins un actionneur (120) est conçu pour exciter une contre-oscillation horizontale du rail (310) transversalement à un axe longitudinal du rail (310).
11. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 10,
caractérisé en ce que
l'élément porteur (200) comprend au moins un accès de révision (210) pour la maintenance et/ou le remplacement dudit au moins un actionneur (120) dans un état de montage de l'élément porteur (200) portant le rail (310).
12. Voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 11,
caractérisé en ce que
le système (100) comprend un certain nombre, de préférence une pluralité, de capteurs (110) espacés les uns des autres le long du rail (310) et une multitude d'actionneurs (120) espacés les uns des autres le long du rail (310), le nombre de capteurs (110) étant de préférence inférieur à la multitude d'actionneurs (120).
13. Procédé d'amortissement actif des vibrations acoustiques du rail (310) pour le trafic ferroviaire d'une voie ferrée (300) selon l'une des revendications 1 à 12, comprenant au moins les étapes suivantes exécutées par ladite au moins une unité de commande (130) du système (100) d'amortissement actif des vibrations acoustiques du rail (310) de la voie ferrée (300) :
 - a) détection automatique d'au moins une vibration verticale du rail (310) avec ledit au moins un capteur (110) du système (100),
 - b) excitation automatique d'au moins une contre-oscillation verticale du rail (310) avec ledit au moins un actionneur (120) du système (100),
 - c) la contre-oscillation verticale étant adaptée pour interférer de manière destructive avec l'oscillation verticale détectée, et
 - d) ledit au moins un actionneur (120) étant couplé mécaniquement au rail (310) et à un contrepoids fixe par rapport à une infrastructure du rail (310).

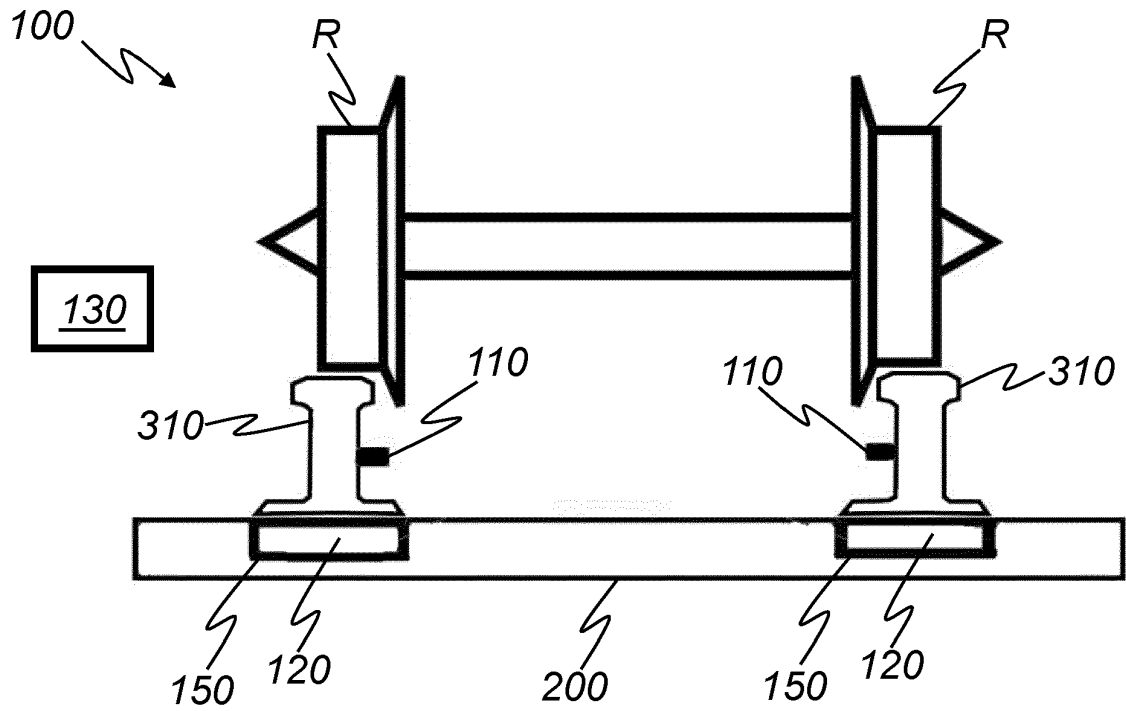


FIG.1

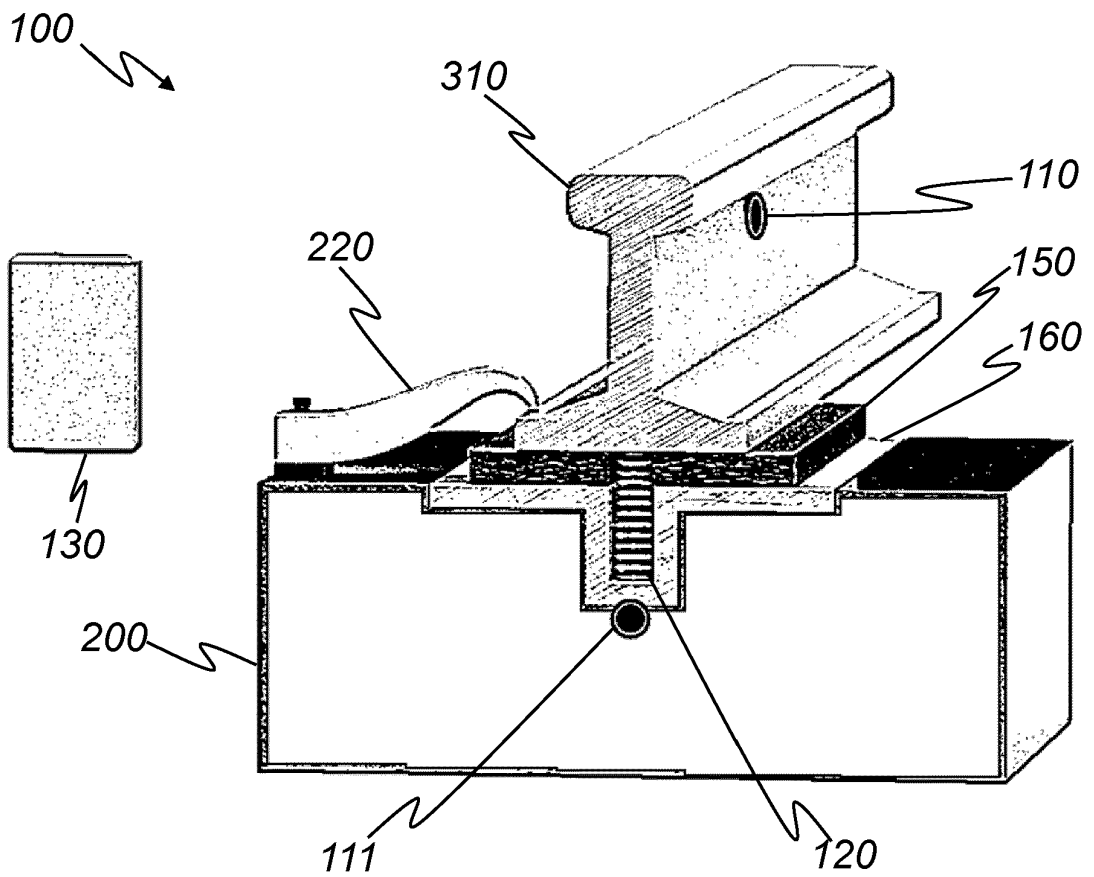


FIG.2

100 ↘

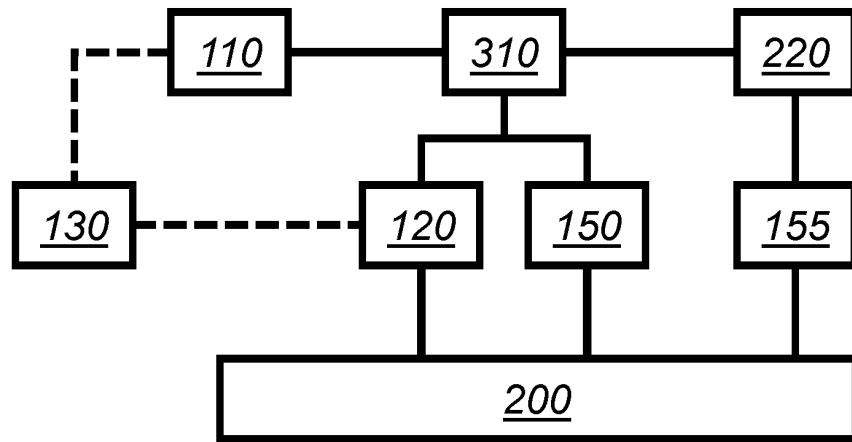


FIG.3

100 ↘

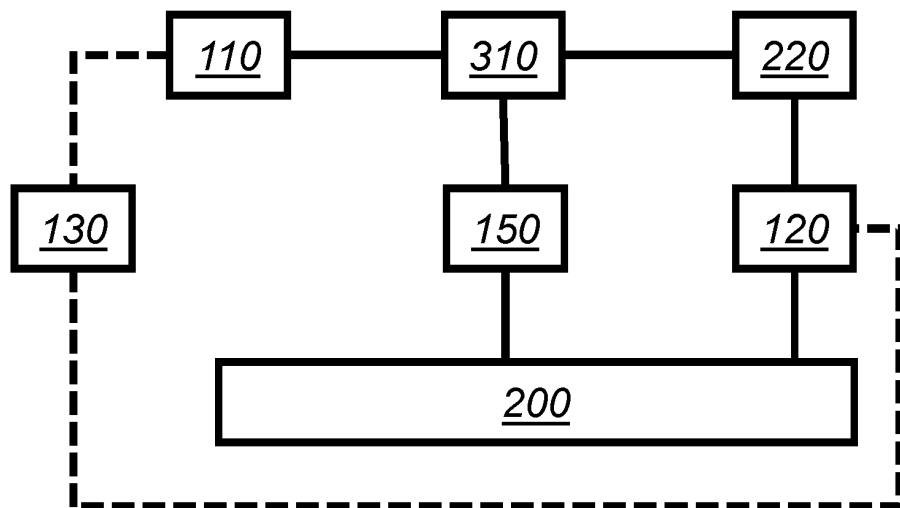


FIG.4

300 ↘

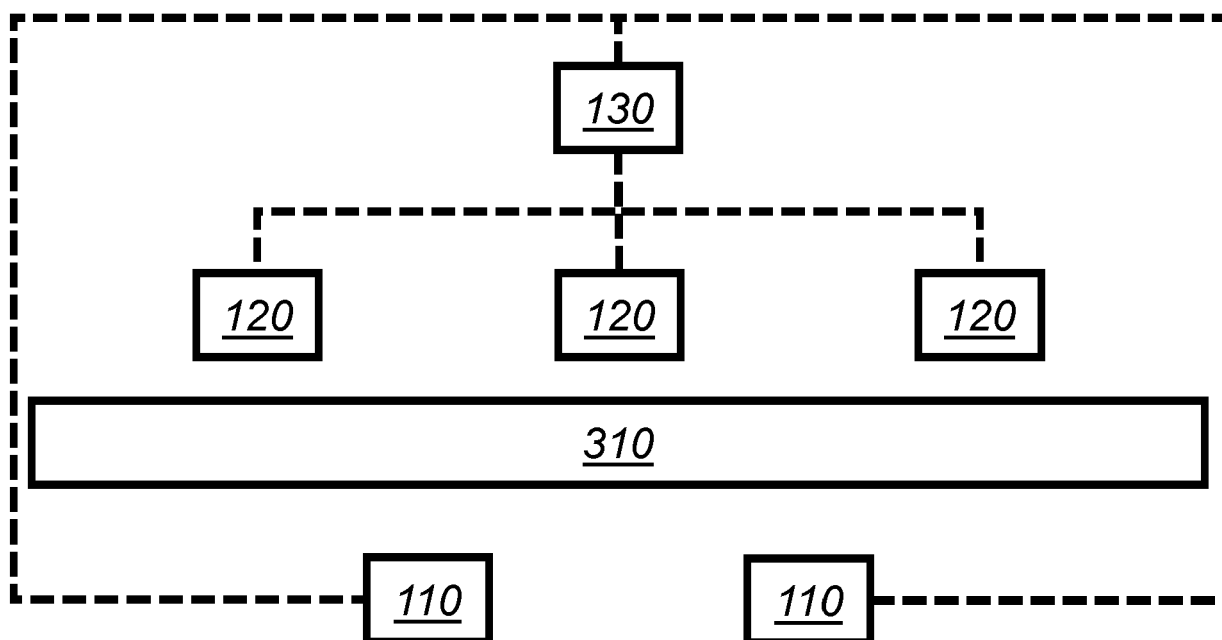


FIG.5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1497164 B1 **[0007]**
- DE 19824125 C1 **[0008]**
- DE 19842345 A1 **[0009]**
- EP 0456499 A2 **[0011]**
- DE 102006028740 A1 **[0011]**
- DE 102009044339 A1 **[0011]**
- EP 1657362 A1 **[0011]**
- CN 110144770 A **[0011]**
- JP 2014111897 A **[0011]**
- DE 4212782 A1 **[0011]**