

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
09. November 2017 (09.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/190734 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B61L 1/08 (2006.01) *B61L 25/02* (2006.01)
B61L 1/10 (2006.01) *B61L 29/22* (2006.01)
B61L 1/16 (2006.01) *B61L 23/04* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2017/100364

(22) Internationales Anmeldedatum:
02. Mai 2017 (02.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 108 273.2
04. Mai 2016 (04.05.2016) DE

(71) Anmelder: SENVISYS UG [DE/DE]; Universität des Saarlandes, Starterzentrum 2, Geb. 30, EG, Zimmer 111, 66123 Saarbrücken (DE).

(72) Erfinder: EL MOUTAOUAKIL, Houssam; Metzger Straße 71a, 66117 Saarbrücken (DE).

(74) Anwalt: PATENTANWALTSKANZLEI VIÈL & WIESKE PARTGMBB; Feldmannstrasse 110, 66119 Saarbrücken (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

(54) Title: METHOD FOR EVALUATING SIGNALS FROM AT LEAST ONE VIBRATION SENSOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR AUSWERTUNG VON SIGNALEN WENIGSTENS EINES VIBRATIONSENSORS

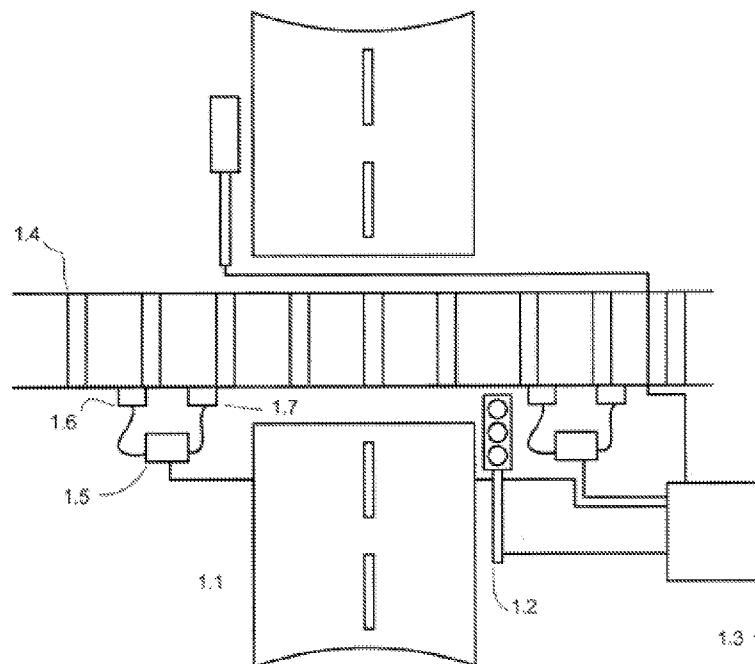


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method for evaluating signals from at least one vibration sensor, wherein the at least one vibration sensor is operatively connected to a rail track. The signals of the at least one vibration sensor are fed to an evaluating unit, the signal of the at least one vibration sensor being evaluated in the evaluating unit with respect to the power density spectrum. This can be carried out by evaluating the width and/or the temporal modification of the width of a frequency band about one or more characteristic frequencies such that a minimum value of the power density is produced for the frequencies in the respective frequency band. Therefore, the distance of the train with respect to the position of the vibration sensor and/or the traveling speed of the train can be derived therefrom. Alternatively, this can be carried out by evaluating the signal power and/or the temporal change in the signal power



WO 2017/190734 A2

OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

for one or more characteristic frequencies and/or in respectively one frequency range about said characteristic frequencies, in order to derive the expected arrival time of the train on the position of the vibration sensor and/or the amount of time which has lapsed since the train passed the position of the vibration sensor and/or the traveling speed of the train. Instead of the frequency range, the signal power in the frequency range previously determined can be evaluated.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationsensors, wobei der wenigstens eine Vibrationssensor in Wirkverbindung mit einem Gleis für Schienenfahrzeuge steht. Die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors werden einer Auswerteeinheit zugeführt, wobei in der Auswerteeinheit das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet wird. Dies kann erfolgen, indem die Breite und/oder die zeitliche Änderung der Breite eines Frequenzbandes um eine oder mehrere charakteristische Frequenzen ausgewertet wird derart, dass bei den Frequenzen in dem jeweiligen Frequenzband ein Mindestwert der Leistungsdichte auftritt. Daraus kann der Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abgeleitet werden. Alternativ kann dies erfolgen, indem bei einer oder mehreren charakteristischen Frequenzen und / oder in jeweils einem Frequenzbereich um diese charakteristischen Frequenzen die Signalleistung und / oder die zeitliche Änderung der Signalleistung ausgewertet wird, um daraus den erwarteten Zeitpunkt der Ankunft des Zuges an der Position des Vibrationssensors und/oder die Zeitspanne, die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors passiert hat, und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten. Anstatt des Frequenzbereiches kann auch die Signalleistung in dem zuvor ermittelten Frequenzband ausgewertet werden.

Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors

In dieser Patentanmeldung wird ein System und ein Verfahren vorgestellt, mit dem es möglich ist, nicht nur Schienenfahrzeuge frühzeitig zu detektieren, sondern auch die Geschwindigkeit und die Entfernung der Fahrzeuge vor deren Eintreffen bei der Detektierstelle zu ermitteln. Damit wird erreicht, dass eine Aussage darüber getroffen werden kann, wie schnell und wann ein Schienenfahrzeug bei einem zu schützenden Bereich (z.B. Bahnhof, Bahnübergang, etc.) eintrifft.

Die Zugdetektierung stellt eine zentrale Rolle in der Leit- u. Sicherungstechnik und insbesondere in der Freimeldung von Gleisabschnitten dar. Die Mehrzahl der Gleisfreimeldeanlagen kann ein Schienenfahrzeug nur dann detektieren, wenn das Fahrzeug unmittelbar an der Detektierstelle vorbeifährt. Beispiele hierfür stellen Achszähler und Radsensoren dar. Die Installation und Wartung von Anlagen (z.B. Bahnübergänge), die mit diesen Systemen ausgestattet sind, erweisen sich aufgrund des hohen Verkabelungsaufwands als kostspielig. Denn um so einen Bahnübergang zu sichern, müsste die Verkabelung über mehrere Kilometer installiert werden. Gleisfreimeldeanlagen, welche mit Gleisstromsystemen gesichert werden, sind ebenso kostenintensiv wie der Verkabelungsaufwand und leiden zudem an einer höheren Falschmeldequote. Des Weiteren gibt es Bahnanlagen, die durch Bahnwärter gesichert werden. Die Bahnwärter werden telefonisch oder per Funk über die Ankunft von Schienenfahrzeugen informiert, sodass diese dann den betroffenen Gleisabschnitt sichern können. Bei dieser Art der Sicherung ist menschliches Versagen nicht ausgeschlossen. Im Vergleich zu dem hier beschriebenen System, ist das System in Patent NO20100001301 20100917 zwar in der Lage, Schienenfahrzeuge frühzeitig zu detektieren, kann deren Geschwindigkeit und Entfernung jedoch nicht frühzeitig erkennen. Solch ein System kann keine genaue Aussage darüber treffen, wann ein Zug bei einer Detektierstelle eintrifft, der Zeitpunkt der Ankunft wird lediglich geschätzt.

Die vorliegende Erfindung betrifft nach Anspruch 1 ein Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors, wobei der wenigstens eine Vibrationssensor in Wirkverbindung mit einem Gleis für Schienenfahrzeuge steht. Die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors werden einer Auswerteeinheit zugeführt. In der Auswerteeinheit wird das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet derart, dass die Breite und/oder die zeitliche Änderung der Breite eines

Frequenzbandes um eine oder mehrere charakteristische Frequenzen ausgewertet wird derart, dass bei den Frequenzen in dem jeweiligen Frequenzband ein Mindestwert der Leistungsdichte auftritt.

Es hat sich gezeigt, dass die Breite des Frequenzbandes mit dem Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors abhängt derart, dass je breiter das Frequenzband ist, der Zug sich umso näher an der Position des Vibrationssensors befindet. Es hat sich gezeigt, dass die Breite des Frequenzbandes in einem zumindest annähernd linearen Zusammenhang steht mit dem Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors. Jedenfalls lässt sich der Zusammenhang zwischen der Breite des Frequenzbandes und dem Abstand des Zuges zumindest näherungsweise durch eine lineare Funktion beschreiben. Sofern die Parameter des linearen Zusammenhangs durch vorangegangene Referenzmessungen bestimmt worden sind, kann somit aus den gemessenen Daten unmittelbar die Position des Zuges im Sinne des Abstands zur Position des Vibrationssensors bestimmt werden.

Sofern die Messdaten zu zwei oder mehreren verschiedenen Zeitpunkten erfasst wurden, kann aus den Positionen des Zuges zu den Zeitpunkten und den Zeitabständen zwischen den Zeitpunkten die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abgeleitet werden.

Dies erfolgt, indem die Körperschallsignale einer Frequenzanalyse unterzogen werden. Es hat sich gezeigt, dass sich aus dem Leistungsdichtespektrum aus einzelnen Frequenzanteilen signifikante Aussagen treffen lassen.

Es tritt der Effekt auf, dass charakteristische Frequenzen in einem Frequenzband liegen, dessen Bandbreite bei einer Annäherung eines Zuges zunimmt. Wenn sich der Zug entfernt, nimmt diese Bandbreite ab. Bei den Frequenzen in diesem Frequenzband tritt bei einer Annäherung eines Zuges ein Mindestwert der Leistungsdichte auf. Aus der Bandbreite dieses Frequenzbandes „um die charakteristische Frequenz herum“ sowie weiterhin auch aus der zeitlichen Änderung der Bandbreite dieses Frequenzbandes lassen sich somit der Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors sowie weiterhin die Geschwindigkeit des Zuges ableiten.

Anspruch 2 betrifft ein Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors, wobei der wenigstens eine Vibrationssensor in Wirkverbindung mit einem

Gleis für Schienenfahrzeuge steht. Die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors werden einer Auswerteeinheit zugeführt, wobei in der Auswerteeinheit das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet wird derart, dass bei einer oder mehreren charakteristischen Frequenzen und / oder in jeweils einem Frequenzbereich um diese charakteristische Frequenz oder die charakteristischen Frequenzen die Signalleistung und / oder die zeitliche Änderung der Signalleistung ausgewertet wird, um daraus den erwarteten Zeitpunkt der Ankunft des Zuges an der Position des Vibrationssensors und/oder die Zeitspanne, die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors passiert hat, und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten.

Es hat sich gezeigt, dass der Anstieg der Signalleistung über der Zeit bei konstanter Fahrgeschwindigkeit des Zuges zumindest näherungsweise linear ist, wenn im Leistungsdichtespektrum lediglich eine Frequenz bzw. ein (begrenzter) Frequenzbereich um die jeweilige Frequenz betrachtet wird. Dies lässt sich so erklären, dass der grundsätzlich exponentielle Anstieg der gesamten Leistung des Signals darauf zurückzuführen ist, dass in dem Signal zunehmend größere Komponenten von Frequenzen auftreten, die sich als Verbreiterung von Frequenzbändern darstellen lassen. Wird die Auswertung mit engen Bandbreiten auf die Frequenzen beschränkt, deren Signalleistungen in den Frequenzbändern am größten sind, zeigt sich ein zumindest näherungsweise linearer Anstieg der Signalleistung über der Zeit bei einer konstanten Fahrgeschwindigkeit des Zuges. Jedenfalls kann der Zusammenhang zwischen der Signalleistung bei der charakteristischen Frequenz bzw. in einem Frequenzbereich um diese charakteristische Frequenz näherungsweise als linear betrachtet werden.

Werden mehrere charakteristische Frequenzen bzw. Frequenzbereiche um diese charakteristischen Frequenzen herum betrachtet, zeigt sich, dass sich bei einer (virtuellen) Verlängerung der linearen Anstiege der Signalleistungen über der Zeit zu den einzelnen charakteristischen Frequenzen bzw. zu den einzelnen Frequenzbereichen um diese charakteristischen Frequenzen die entstehenden Geraden im Wesentlichen in einem Punkt schneiden.

Dies ist der Zeitpunkt, zu dem der Schwerpunkt des Zuges (hinsichtlich dessen Masse) die Position des Vibrationssensors passiert. Wenn sich der Zug von der Position des

Vibrationssensors entfernt, ist dies entsprechend der Zeitpunkt, zu dem der Zug diese Position passiert hat.

Daraus lässt sich abschätzen, wann der Zug die Position des Vibrationssensors erreicht bzw. welche Zeitspanne vergangen ist, seit der Zug diese Position passiert hat.

Hierzu wird eine übliche Zuglänge zu Grunde gelegt und noch ein Sicherheitsaufschlag mit eingerechnet, um auch größere Zuglängen zu berücksichtigen bzw. Züge, die so beladen sind, dass sie beispielsweise an der Zugspitze schwerer beladen sind als am hinteren Ende des Zuges.

Weiterhin besteht ein zumindest näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen dem Signalpegel bei einer charakteristischen Frequenz bzw. in einem Frequenzbereich um diese charakteristische Frequenz. Zumindest kann dieser Zusammenhang als linear angesehen werden. Wenn aus vorangegangenen Messungen die Parameter dieses linearen Zusammenhangs bestimmt wurden, kann aus der Messung weiterhin die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abgeleitet werden.

Aus der Zeitdifferenz zwischen der aktuellen Zeit und der erwarteten Ankunftszeit sowie der Fahrgeschwindigkeit kann weiterhin unmittelbar der Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors abgeleitet werden. Dies gilt bei einem Zug, der sich von dem Vibrationssensor entfernt, ebenso. Hierbei wird die Zeitspanne zu Grunde gelegt, die vergangen ist, seit der Zug die Position passiert hat, sowie der Fahrgeschwindigkeit.

Es tritt sowohl bei einer oder mehreren charakteristischen Frequenzen sowie auch jeweils in einem Frequenzbereich, der diese charakteristischen Frequenzen einschließt, der Effekt auf, dass bei Annäherung eines Zuges die Signalleistung (und damit auch die Amplitude) über der Zeit charakteristisch zumindest näherungsweise linear ansteigt. Jedenfalls kann dieser Anstieg als linear angesehen werden. Wenn sich der Zug entfernt, nimmt die Signalleistung entsprechend ab. Diese zeitliche Änderung der Signalleistung hängt zusammen mit der Geschwindigkeit. Eine mögliche Signalauswertung besteht darin, diese zeitliche Änderung der Signalleistung bei einer oder mehreren der charakteristischen Frequenzen auszuwerten. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Signalleistung und insbesondere die zeitliche

Änderung der Signalleistung in einem Frequenzbereich auszuwerten, der jeweils die charakteristischen Frequenzen umgibt.

Bei dem Verfahren nach Anspruch 3 wird die Signalleistung und / oder die zeitliche Änderung der Signalleistung in dem Frequenzband ausgewertet, um daraus den erwarteten Zeitpunkt der Ankunft des Zuges an der Position des Vibrationssensors und/oder die Zeitspanne, die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors passiert hat, und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten.

Wie im Zusammenhang mit Anspruch 2 erläutert, lässt sich auch hier aus diesen Daten der Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors ermitteln.

Die Ausgestaltung nach Anspruch 3 betrifft ein Verfahren, bei dem die Signalauswertung durch eine Bewertung der Signalleistung erfolgt. Allerdings erfolgt dies nicht wie bei Anspruch 2 in dem Frequenzbereich um die charakteristische Frequenz herum sondern in dem Frequenzband, das vorab entsprechend dem Verfahren nach Anspruch 1 bestimmt wurde. Im Unterschied zu Anspruch 2 wird daher bei dem Verfahren nach Anspruch 3 die Signalleistung bzw. die zeitliche Änderung der Signalleistung in dem Frequenzband bestimmt, das zuvor bestimmt wurde abhängig davon, dass zu den Frequenzen ein bestimmter Mindestsignalpegel auftritt.

Dadurch wird vorteilhaft berücksichtigt, dass mit dem Anstieg des Signalpegels, der der charakteristischen Frequenz zuzuordnen ist, auch eine Verbreiterung des Frequenzbandes einhergeht, die bei der Bewertung des Signalpegels vorteilhaft berücksichtigt werden sollte.

Es zeigt sich vorteilhaft, dass durch vergleichsweise einfach ausgestaltete Sensoren mit geeigneten Auswertungsverfahren verschiedene relevante und wichtige Größen bestimmt werden können.

Im Zusammenhang mit den Ansprüchen 2 und 3 kann aus der Geschwindigkeit des Anstiegs bzw. des Abfalls der Signalleistung darauf geschlossen werden, mit welcher Fahrgeschwindigkeit das Schienenfahrzeug fährt. Hierzu können beispielsweise vorab Referenzwerte gemessen werden bei definierten Fahrbedingungen eines Schienenfahrzeugs. Bei unterschiedlichen Schienenfahrzeugen mit unterschiedlichen Achslasten ist zu erwarten,

dass sich bei ansonsten gleichen Bedingungen unterschiedliche Pegel bei der Signalleistung einstellen. Von der Überschneidung des linearen Anstiegs bzw. Abfalls von mehreren Signalleistungen bei verschiedenen Frequenzen kann über Interpolation ermittelt werden, wann das Schienenfahrzeug bei dem Messpunkt eintrifft oder welche Zeitspanne vergangen ist, seit das Fahrzeug diesen Messpunkt passiert hat. Die metrische Entfernung von einem Schienenfahrzeug von der Position des Vibrationssensors ergibt sich durch das Multiplizieren der erwarteten Zeitspanne bis zum Eintreffen des Zuges an der Position des Vibrationssensors (bzw. der Zeitspanne, die vergangen ist, seit das Fahrzeug den Messpunkt passiert hat) mit der Fahrgeschwindigkeit. Hierbei erweist es sich als besonders vorteilhaft, dass die Interpolation linear erfolgen kann. Dadurch ist die Rechenkomplexität reduziert und die Messergebnisse können in Echtzeit ausgewertet werden. Dies erweist sich als besonders vorteilhaft beim Einsatz der Erfindung im Zusammenhang mit Steuerungssystemen wie beispielsweise Schranken oder auch im Zusammenhang mit Warnsystemen beispielsweise bei Gleisarbeiten.

Es können beispielsweise auch relative Änderungen der Signalleistung berücksichtigt werden. Es hat sich gezeigt, dass sich durch die Auswertung dieser relativen Änderungen die unterschiedlichen Pegel bei der Signalleistung herausrechnen lassen, die aus unterschiedlichen Pegeln wegen unterschiedlicher Achslasten verschiedener Schienenfahrzeuge resultieren.

Es kann beispielsweise ermittelt werden, in welcher Zeitspanne sich der Pegel der Signalleistung um einen bestimmten prozentualen Wert ändert. Diese Zeitspanne kann mit zuvor ermittelten Referenzwerten unter definierten Fahrbedingungen eines Schienenfahrzeugs verglichen werden, so dass durch eine Interpolation die Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs abgeleitet werden kann.

Bei der Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 4 erfolgt eine Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors, wobei der wenigstens eine Vibrationssensor in Wirkverbindung mit einem Gleis für Schienenfahrzeuge steht. Die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors werden einer Auswerteeinheit zugeführt. In der Auswerteeinheit wird das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet derart, dass die Doppler-Verschiebung ausgewertet wird.

Die Ausgestaltung nach Anspruch 4 betrifft einen speziellen Fall der Auswertung des Frequenzspektrums, indem die Auswertung der Spektralanalyse mittels der Dopplerverschiebung ausgewertet wird.

Hierbei wird die zeitliche Änderung des Frequenzspektrums daraufhin untersucht, ob sich von einer Messung zur nächsten eine charakteristische Verschiebung eines Maximums im Frequenzspektrum ergeben hat. Dies lässt sich dann darauf zurückführen, dass das Schienenfahrzeug die Position des Vibrationssensors in der Gleisanlage passiert hat. In diesem Fall tritt die sogenannte Doppler-Verschiebung auf, bei der das Maximum bei einer tieferen Frequenz auftritt. Aus der Differenz der Frequenz des Maximums der Messung, bei der das Schienenfahrzeug auf die Position des Sensors zufährt, zur Frequenz des Maximums der Messung, bei der das Schienenfahrzeug von der Position des Sensors wegfährt, lässt sich dann die Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs ermitteln. Dabei wird aus dem Auftreten einer Differenz der Frequenzen zweier Messungen, bei denen das Maximum der Signalleistung auftritt, erkannt, dass das Schienenfahrzeug zwischen diesen beiden Messungen die Position des Sensors passiert hat.

Außerdem lässt sich durch die Bestimmung des Zeitpunkts dieser Frequenzverschiebung ermitteln, dass das Schienenfahrzeug gerade die Position des Vibrationssensors passiert hat. Damit wird ebenfalls für diesen Moment eine Positionsbestimmung des Schienenfahrzeugs möglich.

Im Zusammenhang mit dieser Patentanmeldung sind Vibrationssensoren angesprochen. Derartige Vibrationssensoren können Sensoren sein, die als sogenannte Körperschallsensoren bekannt sind. Diese erfassen Schwingungen von Bauteilen, an denen diese Körperschallsensoren mechanisch befestigt sind, auf mechanischem Wege. Dies erfolgt mittels piezoelektrischen Elementen. Alternativ können diese Vibrationssensoren auch Sensoren sein, die Schwingungen berührungsfrei erfassen. Dies kann beispielsweise mittels optischen Messmethoden durch Laser erfolgen. Die Erfassung der Schwingungen kann ebenfalls mit Drucksensoren erfolgen.

Soweit vorstehend eine Signalauswertung bei mehreren charakteristischen Frequenzen bzw. in jeweils einem Frequenzbereich oder einem jeweils Frequenzband um diese mehreren charakteristischen Frequenzen herum, erweist es sich als vorteilhaft, wenn sich die

Frequenzbänder, bei den Frequenzen in dem jeweiligen Frequenzband einen Mindestwert der Leistungsdichte überschreiten, nicht überschneiden. Es hat sich gezeigt, dass derartige Überlappungen die Betrachtung der Zusammenhänge als linear stören. Dieses Kriterium lässt sich auch so ausdrücken, dass bei Auswertung einer Signalauswertung bei mehreren charakteristischen Frequenzen bzw. in jeweils einem Frequenzbereich oder jeweils einem Frequenzband um diese mehreren charakteristischen Frequenzen herum ein Frequenzband vorhanden sein muss, in dem die die Frequenzen einen Grenzwert der Leistungsdichte nicht übersteigen.

Die Auswerteeinheit kann als zentrale Einheit ausgestaltet sein und kann die Detektionsergebnisse direkt oder über ein anderes Modul per Kabel oder über elektromagnetische Wellen übertragen.

Ebenso kann die zentrale Einheit die Detektionsergebnisse mittels ERTMS (European Rail Management System) kommunizieren und allgemeine Informationen mit diesem System sowie mit anderen Rail Management Systemen austauschen.

Die Vibrationssensoren können in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen entlang eines Gleises angebracht werden. Dadurch können Ereignisse entlang oder in der Umgebung des Gleises erkannt und weiterkommuniziert werden. (s. Figur 3)

Weiterhin kann der Auswerteeinheit ein Signal eines Temperatursensors zugeführt werden. Dadurch können Messergebnisse hinsichtlich der Temperatur kompensiert werden. Der Temperatursensor kann in der Nähe der Auswerteeinheit angebracht sein oder auch in der Nähe eines oder auch mehrerer der Vibrationssensoren.

Weitere Auswertungsmöglichkeiten bestehen darin, dass aus dem Signalverlauf auf die Anzahl der Zugachsen geschlossen werden kann. Es hat sich gezeigt, dass die Anzahl der Zugachsen aus der Anzahl der Signalpeaks am Ausgang der Sensoren ermittelt werden kann.

Ein Test des Systems kann durchgeführt werden, in dem ein Schallgenerator vorhanden ist, der ein vorbestimmtes Schallmuster in die Gleisschiene induziert. Dadurch können die Vibrationssensoren auf ihre ordnungsgemäße Funktion getestet und synchronisiert werden. Die über die Sensoren gemessenen Schallmuster werden über die Auswerteeinheit verglichen.

Eine Asynchronisation der Signale der Vibrationssensoren kann festgestellt und korrigiert werden. Dadurch können die Sensoren auf Fehlfunktionen geprüft werden (s. Figur 4).

Die Vibrationssensoren können beispielsweise piezoelektrische Sensoren sein.

Bei der hier vorgestellten Erfindung ist zumindest bei einigen Ausführungsformen die Rauschempfindlichkeit dank des Aufbaus der Ausführungsform verbessert, sodass durch den Einsatz von wenigen Sensoren mehr Daten ermittelt werden können.

Insbesondere kommt das System grundsätzlich mit zwei Vibrationssensoren aus, um auch die Fahrtrichtung ermitteln zu können. Bei Verwendung nur eines Vibrationssensors ist das System dennoch in der Lage, die Schienenfahrzeuge sowie deren Geschwindigkeit und Entfernung bereits mehrere hundert Meter vor ihrem Eintreffen zu ermitteln (Figur 1).

Die Rauschempfindlichkeit kann zudem durch den Einsatz von Temperatursensoren verbessert werden. Dadurch wird das System noch rauschärmer. Dementsprechend können Schienenfahrzeuge auch über eine größere Entfernung detektiert werden als es bei den aktuellen Lösungen der Fall ist.

Die Tatsache, dass das hier beschriebene System weniger Sensoren braucht als vergleichbare Ausführungsformen, macht das System noch wirtschaftlicher und sicherer, da weniger Bauteile und somit weniger Fehlerquellen vorhanden sind.

Das System kann seitlich oder unter dem Gleis angebracht werden, sodass es vor Diebstahl und Sabotage geschützt ist. Der Sensor kann die Vibrationssignale auf der Schienenseite, unterhalb der Schiene oder am Schienenkopf erfassen. Bei Verwendung mehrerer Sensoren können die Signale auch an einer Kombination der genannten Anbringungsmöglichkeiten detektiert werden.

Auch die minimale Verkabelung des Systems sorgt für mehr Sicherheit, da es so unattraktiv für Kabeldiebe ist (Figur 2).

Die Sensoren können in Subeinheiten untergebracht sein. Dadurch wird eine Entkoppelung der mechanischen Schwingung erreicht, sodass jeder Sensor nur die über das Gleis

übertragene Schwingung erfasst und die Schwingung des Gehäuses nicht mitgerechnet wird. D.h. die Subeinheiten inklusive Sensoren schwingen unabhängig voneinander, da diese nicht im gleichen Gehäuse untergebracht sind.

Um die Geschwindigkeit früher ermitteln zu können, kann eine der folgenden Methoden oder eine Kombination dieser verwendet werden:

Methode 1: Die Signalleistung bei mindestens einem der Sensoren wird – frequenzabhängig entsprechend den vorgenannten Erläuterungen - berücksichtigt und die ermittelten Werte der Signalleistungen werden über die Zeit miteinander verglichen. Je schneller die Werte ansteigen, desto schneller ist der Zug unterwegs. Dementsprechend ist der Zug langsamer unterwegs, wenn die Werte langsamer ansteigen. Dieser Anstieg im Pegel der Signalleistung wird mit einem Referenzwert verglichen, anhand dessen eine genauere Geschwindigkeit ermittelt wird.

Methode 2: Die Signale werden spektral analysiert. Die entnommenen Signalfrequenzen werden in der Doppler-Shiftformel eingesetzt, sodass sich daraus die Geschwindigkeit des Schienenfahrzeuges ermitteln lässt.

Um die Entfernung früh zu ermitteln, wird eine der folgenden Methoden oder eine Kombination dieser verwendet:

Methode 1: Der Amplitudenanstieg bei mindestens einem der Sensoren wird berücksichtigt und die Werte über die Zeit werden miteinander verglichen. Dieser Amplitudenanstieg wird dann mit einem Referenzwert verglichen und anhand dessen wird eine genauere Entfernung ermittelt.

Methode 2: Diese Methode erfordert Signalwerte aus mindestens zwei Sensoren. Die Entfernung zur Schallquelle wird durch das Verfahren der akustischen Schallquellen-Lokalisierung (Acoustic source localization) ermittelt, wobei die nötigen Signale aus mindestens zwei Vibrationssensoren bezogen werden. Insbesondere wird hier die Time Difference of Arrival Methode verwendet, welche auf Sensor-Arrays ihren Einsatz findet. Die Detektiererergebnisse, wie etwa der Gleisfreimeldestatus, die Geschwindigkeit sowie die

Entfernung des Schienenfahrzeuges etc. können direkt aus dem System oder mit Hilfe eines weiteren Moduls per Funk übertragen werden.

Methode 3: Diese Methode kommt mit nur einem Sensor aus, um die zeitliche Entfernung zu ermitteln. Dabei werden Signalleitungen von verschiedenen Frequenzbereichen betrachtet. Die Interpolation des linearen Anstiegs bzw. Abstiegs ermöglicht die genaue Berechnung der Ankunftszeit bzw. der Zeit, die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors passiert hat. Wird dieser Wert mit der Geschwindigkeit multipliziert, so ergibt sich der Abstand zu dem Schienenfahrzeuges und somit die Position.

Das System dieses Patentgegenstandes ist auf Grund seiner Bauweise leicht im ERTMS System (European Rail Management System) zu integrieren, sodass dieses mit zusätzlichen Informationen, welche von den Beschleunigungssensoren ermittelt werden, beliefert werden kann.

Sollten die Gleise Brüche vorweisen, das Schienenfahrzeug nicht richtig auf den Gleisen fahren (Entgleisungsprozess) oder die Räder beschädigt sein, dann verursacht dieser Zustand eine Veränderung der Schallwellen, sodass dies von den Vibrationssensoren erkannt werden kann.

Durch das Anbringen des Systems an mehreren Stellen entlang der Gleisschienen, können auch plötzlich auftretende Ereignisse wie Steinschläge und umkippende Bäume, sowie Tiere, die sich auf dem oder neben dem Gleis aufhalten, detektiert werden. Somit kann auch in diesen Gefahrensituationen frühzeitig eine Warnung herausgegeben werden (Figur 3).

Um die Funktionsweise des Systems automatisch auf Fehlfunktionen zu testen, wird aus der Zentraleinheit ein akustisches Signal über die Gleisschiene übertragen und von den Sensoren in den Subeinheiten aufgenommen. Das Ausgangssignal wird wiederum von der zentralen Einheit aufgenommen und überprüft. Kommt kein Signal bei der zentralen Einheit an, so ist der Sensor defekt, wo das Signal zu erwarten ist. Kommen die Signale im Vergleich zu den anderen Sensoren verzögert an, so wird diese Verzögerung in den Berechnungen berücksichtigt (Figur 4).

Zudem kann das System fest in den Gleisschienen eingebaut werden und zusammen mit diesen eine Einheit bilden. Neu installierte Gleisabschnitte verfügen somit automatisch über das bereits integrierte System (Figur 5).

Beschreibung der Figuren

Figur 1:

Figur 1 zeigt das System eingegliedert in zentraler Einheit und Subeinheiten. Ein Anwendungsbeispiel ist hier der Bahnübergang. 1.1 stellt die Straße dar, während 1.2 eine Signalanlage darstellt, welche Signale aus einem Stellwerk 1.3 erwartet. Wenn ein Schienenfahrzeug sich dem Bahnübergang annähert, dann löst es somit Vibrationen aus, die über die Gleisschiene (1.4) übertragen werden. Diese Vibration wird von den Beschleunigungssensoren aus den Subeinheiten (1.6 oder 1.7) erfasst. Die in elektrische Signale umgewandelte Vibration wird der zentralen Einheit (1.5) zur Verfügung gestellt. Die zentrale Einheit erkennt anhand dessen die Ankunft eines Schienenfahrzeuges und benachrichtigt eine verantwortliche Stelle. In diesem Fall ist es ein Stellwerk.

Figur 2:

Figur 2 zeigt die verschiedenen Anbringungsmöglichkeiten der Subeinheiten und der Beschleunigungssensoren an einer Gleisschiene. 2.1 stellt eine Subeinheit dar, die unter der Gleisschiene (2.2) fixiert ist. 2.3 ist der Kontakt zwischen Beschleunigungssensor und Gleisschiene. 2.4 ist eine Subeinheit, welche seitlich an der Gleisschiene angebracht ist. Während in 2.4 der Sensor die Vibrationen aus der Schienenmitte erfasst, erfasst 2.5 diese Vibrationen aus dem Schienenkopf. In 2.6 ist eine Kombination aus den ausgeführten Installationsmöglichkeiten zu sehen.

Figur 3:

Figur 3 zeigt eine Anordnung der Detektionssysteme (3.2) entlang eines Gleises (3.3). Die Systeme erfassen sowohl Vibrationen, die von Schienenfahrzeugen erzeugt werden, als auch Vibrationen, die von Umgebungselementen ausgelöst sind. In diesem Fall wird ein Baum (3.4) beim Einknicken und beim Einschlagen auf dem Gleis als Gefahr erkannt und als solche vermittelt. Die Vermittlung könnte z.B. über die Leitungen (3.1) entlang dem Gleis erfolgen.

Figur 4:

In Figur 4 ist ein System, Gegenstand dieses Patent, zu sehen, welches über ein selbsttestendes Verfahren verfügt. Die zentrale Einheit (4.3) sendet Schallwellen in die Gleisschiene (4.1). Die Subeinheiten (4.3) erfassen diese Schallwellen über die Beschleunigungssensoren und leiten die Signale an die zentrale Einheit zurück. Sollte die zentrale Einheit kein Signal aus einer oder mehreren Subeinheiten erhalten, dann liegt ein Defekt vor. Der Zustand des Systems wird mit einer verantwortlichen Stelle kommuniziert. In diesem Fall ist es ein Stellwerk (4.4).

Figur 5:

In Figur 5 ist eine Gleisschiene (5.1) zu sehen, worin das System Gegenstand dieses Patent fest integriert ist (5.2). Über ein Kabel (5.3) wird die Gleisschiene mit Strom versorgt und liefert die Daten an eine verantwortliche Stelle.

Figur 6:

Figur 6 zeigt eine Darstellung eines Leistungsdichtespektrums zu einem Messsignal. Es ist die Frequenz (in Hz) aufgetragen über der Zeit. Der Grauton in der Darstellung der Figur 6 entspricht dem Leistungspegel des Signals. Für die Auswertung wurden drei charakteristische Frequenzen 6.1, 6.2 und 6.3 ausgewählt.

Figur 7:

Figur 7 zeigt die Kurven 7.1, 7.2 und 7.3 der Signalleistungen zu den charakteristischen Frequenzen 6.1, 6.2 und 6.3 der Figur 6. Es ist wieder der zeitliche Verlauf der Signalleistungen aufgetragen. Die Skalierung der Zeitachse stimmt mit der Skalierung der Zeitachse der Figur 6 überein. Es ist weiterhin zu sehen, dass die Signalleistungen als linear betrachtet und ausgewertet werden. Die sich ergebenden Geraden schneiden sich in einem Punkt zum Zeitpunkt 7.4. Dies ist der Zeitpunkt, zu dem der Massenschwerpunkt des Zuges die Position des Vibrationssensors passiert. Der Zeitpunkt 7.5 ist der Zeitpunkt, der ermittelt wird, indem zu dem Zeitpunkt 7.4 mit einer erwarteten Zuglänge sowie einem Sicherheitsaufschlag (gegebenenfalls noch unter Berücksichtigung der Massenverteilung des Zuges) erwartet wird, dass die Spitze des Zuges die Position des Sensors erreicht. Entsprechend ist der Zeitpunkt 7.6 der Zeitpunkt, zu dem erwartet wird, dass das Zugende die Position des Vibrationssensors passiert hat.

Figur 8:

Figur 8 zeigt eine weitere Darstellung eines Leistungsdichtespektrums zu einem anderen Messsignal als dies der Darstellung der Figur 6 entspricht. Es ist wieder die Frequenz (in Hz) aufgetragen über der Zeit. Der Grauton in der Darstellung der Figur 8 entspricht wieder dem Leistungspegel des Signals. Für die Auswertung wurden drei charakteristische Frequenzen 8.1, 8.2 und 8.3 ausgewählt. Es zeigt sich in der Darstellung der Figur 8, dass die Frequenzbänder um die Frequenzen 8.1 und 8.2 herum so breit werden, dass sich diese Frequenzbänder überlappen.

Figur 9:

Figur 9 zeigt die Kurven 9.1, 9.2 und 9.3 der Signalleistungen zu den charakteristischen Frequenzen 8.1, 8.2 und 8.3 der Figur 8. Es ist wieder der zeitliche Verlauf der Signalleistungen aufgetragen. Die Skalierung der Zeitachse stimmt mit der Skalierung der Zeitachse der Figur 8 überein. Es ist weiterhin zu sehen, dass die Signalleistungen der Kurven 9.1 und 9.3 als linear betrachtet und ausgewertet werden. Dabei ist auch zu sehen, dass die Linearität der Kurve 9.2 „beeinträchtigt“ ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Frequenzbänder zu den Frequenzen 8.1 und 8.2 überlappen. Die sich ergebenden Geraden schneiden sich in einem Punkt zum Zeitpunkt 9.4. Dies ist der Zeitpunkt, zu dem der Massenschwerpunkt des Zuges die Position des Vibrationssensors passiert. Der Zeitpunkt 9.5 ist der Zeitpunkt, der ermittelt wird, indem zu dem Zeitpunkt 9.4 mit einer erwarteten Zuglänge sowie einem Sicherheitsaufschlag (gegebenenfalls noch unter Berücksichtigung der Massenverteilung des Zuges) erwartet wird, dass die Spitze des Zuges die Position des Sensors erreicht. Entsprechend ist der Zeitpunkt 9.6 der Zeitpunkt, zu dem erwartet wird, dass das Zugende die Position des Vibrationssensors passiert hat.

Ansprüche

1. Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2), wobei der wenigstens eine Vibrationssensor (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) in Wirkverbindung mit einem Gleis (1.4, 2.2, 3.3, 4.1, 5.1) für Schienenfahrzeuge steht, wobei die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) einer Auswerteeinheit (1.5) zugeführt werden, wobei in der Auswerteeinheit (1.5) das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet wird derart, dass die Breite und/oder die zeitliche Änderung der Breite eines Frequenzbandes um eine oder mehrere charakteristische Frequenzen (6.1, 6.2, 6.3; 8.1, 8.2, 8.3) ausgewertet wird derart, dass bei den Frequenzen in dem jeweiligen Frequenzband ein Mindestwert der Leistungsdichte auftritt, um daraus den Abstand des Zuges von der Position des Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten.
2. Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2), wobei der wenigstens eine Vibrationssensor (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) in Wirkverbindung mit einem Gleis (1.4, 2.2, 3.3, 4.1, 5.1) für Schienenfahrzeuge steht, wobei die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) einer Auswerteeinheit (1.5) zugeführt werden, wobei in der Auswerteeinheit (1.5) das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet wird derart, dass bei einer oder mehreren charakteristischen Frequenzen (6.1, 6.2, 6.3; 8.1, 8.2, 8.3) und / oder in jeweils einem Frequenzbereich um diese charakteristische Frequenz (6.1, 6.2, 6.3; 8.1, 8.2, 8.3) oder die charakteristischen Frequenzen (6.1, 6.2, 6.3; 8.1, 8.2, 8.3) die Signalleistung und / oder die zeitliche Änderung der Signalleistung ausgewertet wird, um daraus den erwarteten Zeitpunkt (7.5, 9.5) der Ankunft des Zuges an der Position des Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) und/oder die Zeitspanne (7.4, 7.6; 9.4, 9.6), die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) passiert hat, und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalleistung und / oder die zeitliche Änderung der Signalleistung in dem Frequenzband ausgewertet wird, um daraus den erwarteten Zeitpunkt (7.5, 9.5) der Ankunft des Zuges an der Position des Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) und/oder die Zeitspanne (7.4, 7.6; 9.4, 9.6), die vergangen ist, seit der Zug die Position des Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) passiert hat, und/oder die Fahrgeschwindigkeit des Zuges abzuleiten.

4. Verfahren zur Auswertung von Signalen wenigstens eines Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2), wobei der wenigstens eine Vibrationssensor (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) in Wirkverbindung mit einem Gleis (1.4, 2.2, 3.3, 4.1, 5.1) für Schienenfahrzeuge steht, wobei die Signale des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) einer Auswerteeinheit (1.5) zugeführt werden, wobei in der Auswerteeinheit (1.5) das Signal des wenigstens einen Vibrationssensors (1.6, 1.7; 2.3, 2.4, 2.5, 2.6; 3.2; 4.3; 5.2) hinsichtlich des Leistungsdichtespektrums ausgewertet wird derart, dass die Doppler-Verschiebung ausgewertet wird.

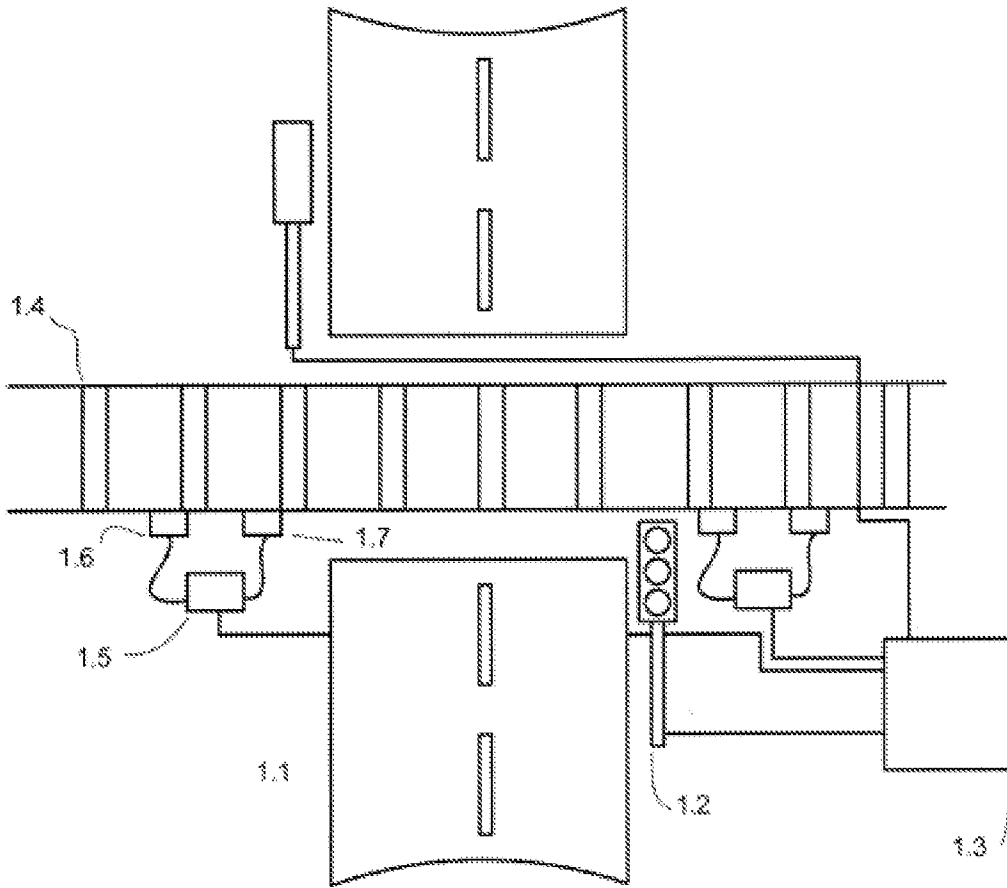


Fig. 1

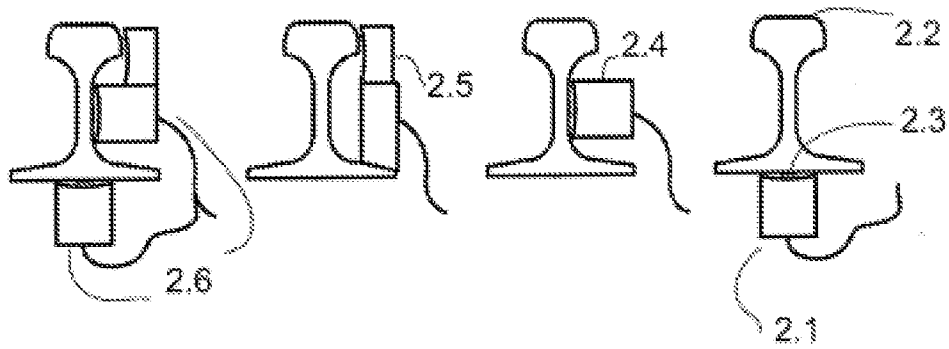


Fig. 2

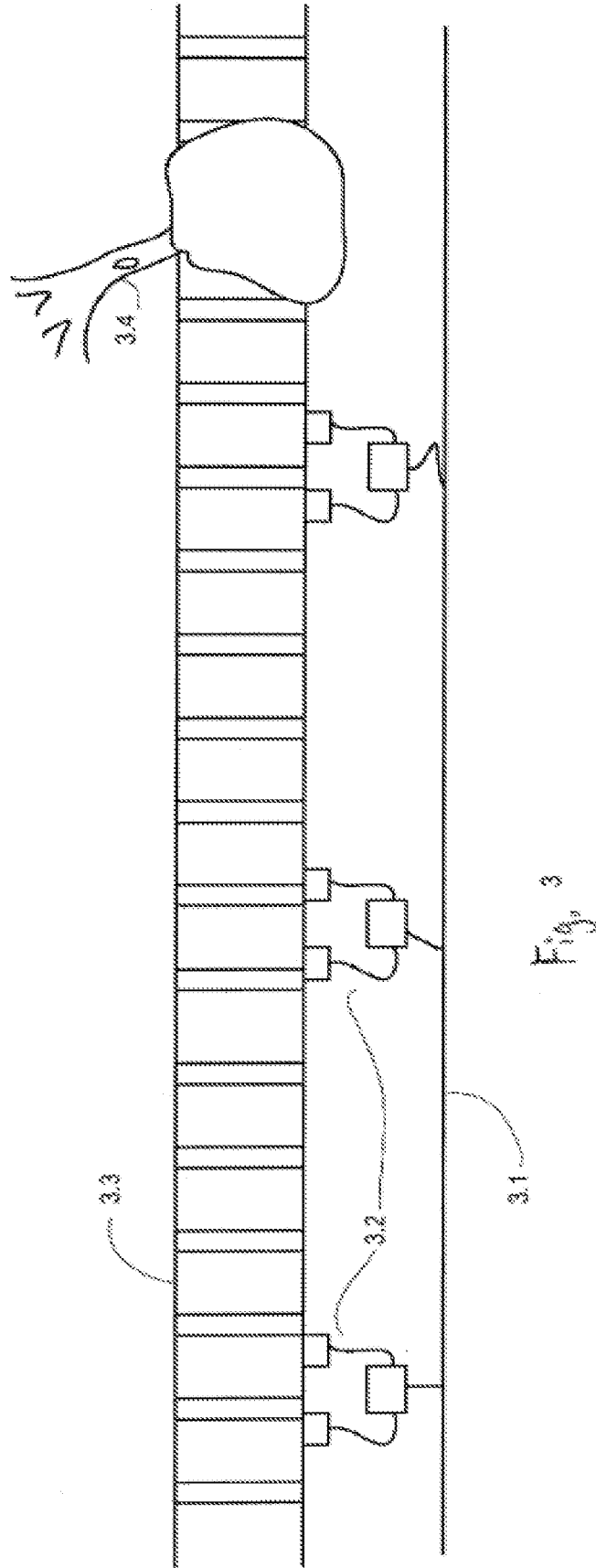


Fig. 3

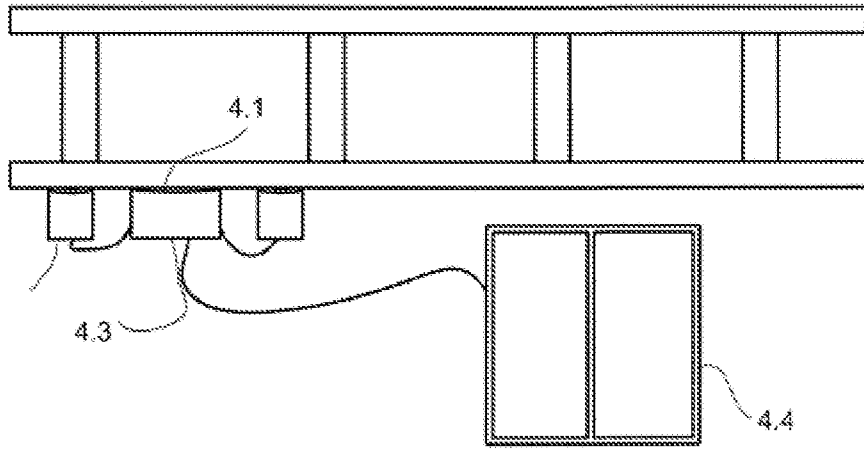


Fig. 4

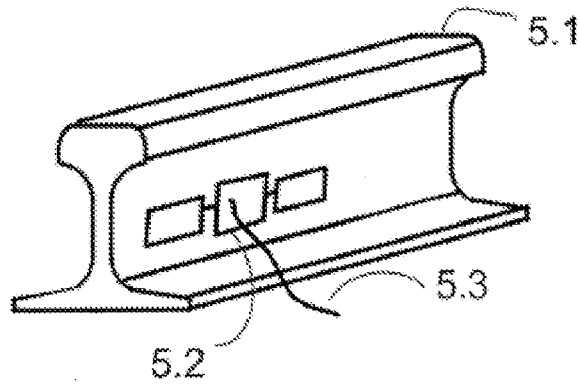


Fig. 5

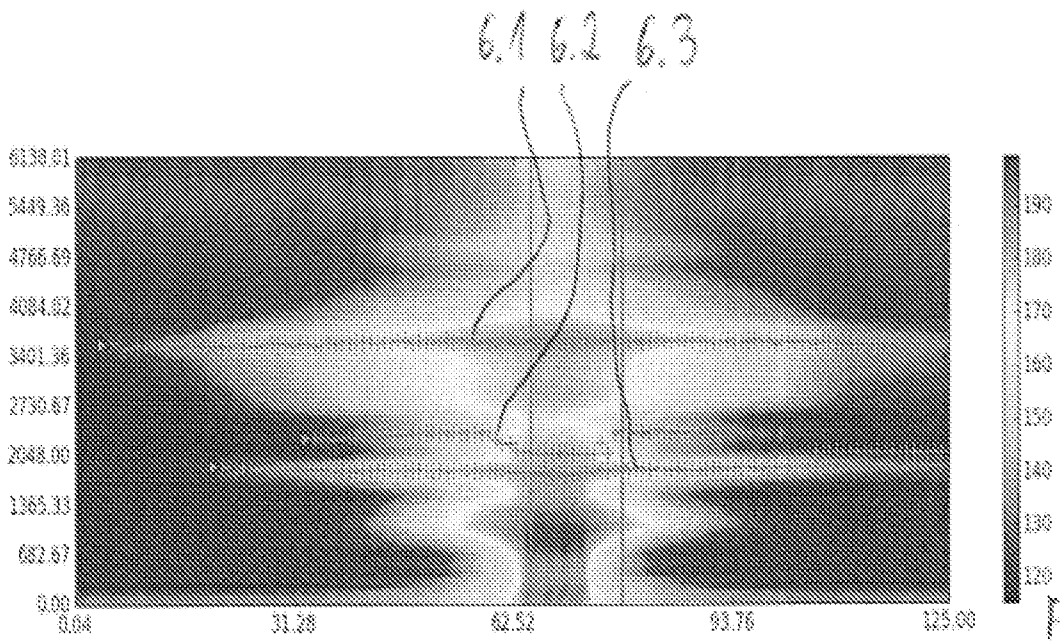


Fig. 6

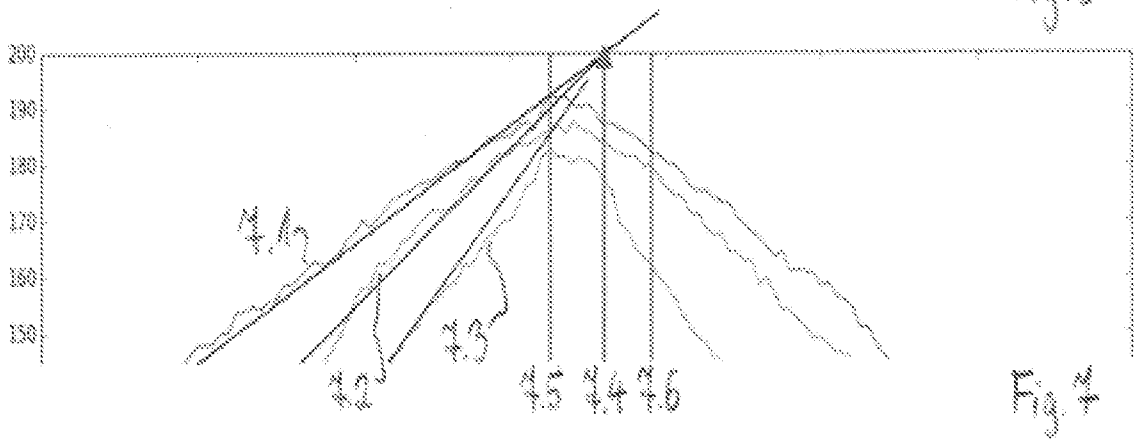


Fig. 7

