(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 257 719 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.12.2017 Patentblatt 2017/51

(21) Anmeldenummer: **17175666.1**

(22) Anmeldetag: **13.06.2017**

(51) Int Cl.:
B61L 27/00 *(2006.01)* ***B61L 1/20*** *(2006.01)*
B61L 23/00 *(2006.01)* ***B61L 25/02*** *(2006.01)*

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(30) Priorität: **15.06.2016 AT 505452016**

(71) Anmelder: **AIT Austrian Institute of Technology GmbH**
1220 Wien (AT)

(72) Erfinder:
- **WIESMEYR, Christoph**
  1020 Wien (AT)
- **GARN, Heinrich**
  1220 Wien (AT)
- **LITZENBERGER, Martin**
  2460 Bruck an der Leitha (AT)
- **NEUNTEUFEL, Günther**
  3922 Großschöngau (AT)
- **DÖLLER, Herbert**
  3950 Gmünd (AT)
- **ZOTTL, Wolfgang**
  1090 Wien (AT)

(74) Vertreter: **Wildhack & Jellinek Patentanwälte**
Landstraßer Hauptstraße 50
1030 Wien (AT)

(54) VERFAHREN ZUR DETEKTION DER ENTGLEISUNG EINES SCHIENENFAHRZEUGS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion der Entgleisung eines Schienenfahrzeugs (1),
a) wobei entlang des Fahrtwegs (2) mittels eines langgestreckten akustischen Sensors (3) Messwerte zur Charakterisierung von Vibrationen oder Druckänderungen an einer Vielzahl von entlang des Fahrtwegs (2) angeordneten Ortspunkten (M_1 ... M_{100}) bestimmt werden,
b) wobei für eine Anzahl von Ortspunkten (M_1 ... M_{100}) entlang des Fahrtwegs (2) und für eine Anzahl von Zeitpunkten (t) jeweils ein Messwert m(x, t) zur Charakterisierung der Vibration oder einer Druckänderung zur Verfügung gestellt wird,
c) wobei eine Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) des Schienenfahrzeugs (1) in Bezug auf die Wegpunkte in der Zeit ermittelt oder vorgegeben wird, die Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) den Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) eines vorgegebenen Teils des Schienenfahrzeugs (1) zu jedem Zeitpunkt (t) innerhalb eines Zeitbereichs (T) angibt,
d) wobei für Ortspunkte (M_1 ... M_{100}) jeweils separat
- im Bereich des Schienenfahrzeugs (1) bzw dessen Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) im jeweiligen Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) eine Anzahl von Zeitfenstern (U) vorgegeben wird,
- in jedem der Zeitfenster des Ortspunkts (M_1 ... M_{100}) separat jeweils die Signalenergie innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbands ermittelt wird, und diese Signalenergie einem dem Zeitfenster (U) zugeordneten Zeitpunkt (t) zugewiesen wird, sodass ein diskretes Signal (d(x, t)), das jedem Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) für einzelne Zeitpunkte die zugehörigen Signalenergien zuordnet, zur Verfügung steht,

e) die einzelnen Werte des diskreten Signals (d(x, t)) entsprechend der Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) des Schienenfahrzeugs (1) derart einander zugeordnet werden, und gegebenenfalls entzerrt und interpoliert, werden, dass die von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs (1) ausgehenden Werte aus dem diskreten Signal (d(x, t)) einander zugeordnet werden,
f) wobei die einzelnen einander zugeordneten, insbesondere gegeneinander verschobenen und gegebenenfalls entzerrten und interpolierten, Werte des diskreten Signals (d(x, t)), gegebenenfalls gewichtet, über die Zeit und/oder über den Ort aggregiert, insbesondere summiert, werden, und derart ein charakteristisches Signal (C) ermittelt wird, das als charakteristisch für das Schienenfahrzeug (1) angesehen wird, wobei
g) für dasselbe Schienenfahrzeug (1) an mehreren Stellen entlang des Fahrtwegs (2) gemäß den Schritten a) bis f) jeweils ein charakteristisches Signal (C) ermittelt wird,
h) dass die charakteristischen Signale (C) miteinander verglichen werden, wobei ein Übereinstimmungswert er-

EP 3 257 719 A1

mittelt wird, der angibt, wie gut die beiden charakteristischen Signale (C) miteinander übereinstimmen, und

i) dass für den Fall, dass die durch den Übereinstimmungswert indizierte Übereinstimmung einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, eine Entgleisung festgestellt wird.

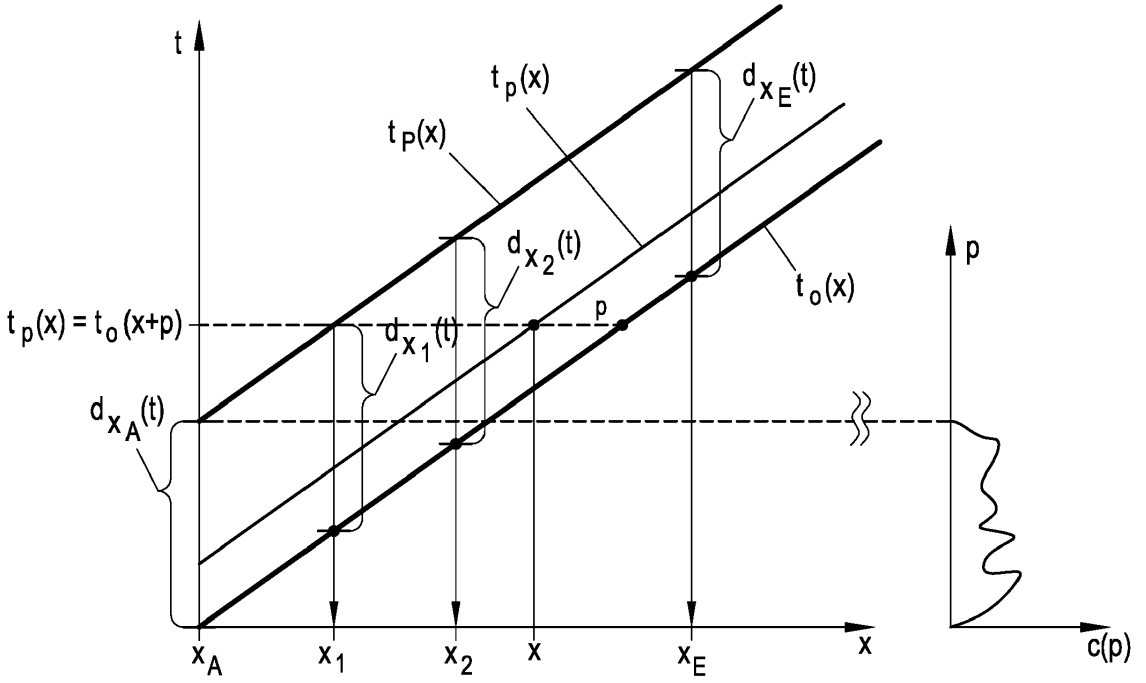


Fig. 7a

Fig. 7b

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion der Entgleisung eines Schienenfahrzeugs gemäß dem Patentanspruch 1.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, mittels OTDR (Optical Time Domain Reflektometrie) in Ort und Zeit aufgelöste Messwerte aufzunehmen, die angeben, ob an bestimmten Punkten Druckänderungen bzw. Vibrationen (Luftschall, Bodenschall) vorhanden sind. Im konkreten Fall wird zur Bestimmung der Drücke eine optische Faser, beispielsweise ein Glasfaserkabel, verwendet, wobei Brechungsindexänderungen, die von Druckänderungen oder Vibrationen abhängig sind, dadurch gemessen werden können, dass das Reflexionsverhalten eines Lichtimpulses, der in das Glasfaserkabel eingeleitet wird, von den einzelnen Druckänderungen abhängt. Wird ein solches Glasfaserkabel im Bereich der Fahrtstrecke eines Schienenfahrzeugs verlegt, können vor allem dessen abgegebene akustische Schwingungen gemessen werden, da solche Vibrationen und Schwingungen Druckänderungen im Bereich des Glasfaserkabels erzeugen, was wiederum zu einer lokalen Änderung des Brechungsindex des Glasfaserkabels führt. Damit besteht letztlich die Möglichkeit, dass das Glasfaserkabel einen lang gestreckten akustischen Sensor darstellt, mit dem Messwerte zur Charakterisierungen von Vibrationen oder Druckänderungen an einer Vielzahl von Wegpunkten bestimmt werden, die entlang eines Fahrtwegs eines Schienenfahrzeugs angeordnet sind. Das so erhaltene Signal stellt ein örtlich verteiltes Mikrofonsignal dar, das für eine Vielzahl von Ortspunkten (M_1 ... M_{100}) erfasst werden kann.

[0003] Gerade bei Eisenbahnanlagen besteht der wesentliche Vorteil, dass für die betriebsbedingt erforderlichen Kommunikationsanwendungen ohnehin Kabel in Form von Glasfaserkabeln verlegt sind. Dabei sind in einem Glasfaserbündel regelmäßig auch mehrere unbenutzte Glasfasern enthalten, die für OTDR-Messungen verwendet werden können. Diese Messungen erfassen die von Schienenfahrzeugen abgegebenen Druckänderungen oder akustischen Schwingungen in Raum und Zeit.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, ein konkretes Vorgehen zur Verfügung zu stellen, mit dem die Entgleisung eines Schienenfahrzeugs aufgrund von akustischen Messungen ermittelt werden kann.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion der Entgleisung eines Schienenfahrzeugs,

a) wobei entlang des Fahrtwegs mittels eines langgestreckten akustischen Sensors Messwerte zur Charakterisierung von Vibrationen oder Druckänderungen an einer Vielzahl von entlang des Fahrtwegs angeordneten Ortspunkten bestimmt werden,

b) wobei für eine Anzahl von Ortspunkten entlang des Fahrtwegs und für eine Anzahl von Zeitpunkten jeweils ein Messwert zur Charakterisierung der Vibration oder einer Druckänderung zur Verfügung gestellt wird,

c) wobei eine Trajektorie des Schienenfahrzeugs in Bezug auf die Wegpunkte in der Zeit ermittelt oder vorgegeben wird, die Trajektorie den Ortspunkt eines vorgegebenen Teils des Schienenfahrzeugs zu jedem Zeitpunkt innerhalb eines Zeitbereichs angibt,

d) wobei für Ortspunkte jeweils separat

- im Bereich des Schienenfahrzeugs bzw. dessen Trajektorie im jeweiligen Ortspunkt eine Anzahl von Zeitfenstern vorgegeben wird,
- in jedem der Zeitfenster des Ortspunkts separat jeweils die Signalenergie innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbands ermittelt wird, und diese Signalenergie einem dem Zeitfenster zugeordneten Zeitpunkt zugewiesen wird, sodass ein diskretes Signal, jedem Ortspunkt für einzelne Zeitpunkte die zugehörigen Signalenergien zuordnet, zur Verfügung steht,

e) die einzelnen Werte des diskreten Signals entsprechend der Trajektorie des Schienenfahrzeugs derart einander zugeordnet werden, und gegebenenfalls entzerrt und interpoliert, werden, dass die von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs ausgehenden Werte aus dem diskreten Signal einander zugeordnet werden,

f) wobei die einzelnen einander zugeordneten, insbesondere gegeneinander verschobenen und gegebenenfalls entzerrten und interpolierten, Werte des diskreten Signals, gegebenenfalls gewichtet, über die Zeit und/oder über den Ort aggregiert, insbesondere summiert, werden, und derart ein charakteristisches Signal ermittelt wird, das als charakteristisch für das Schienenfahrzeug angesehen wird.

[0005] Eine numerisch wenig aufwendige und vorteilhafte Vorgehensweise zur Detektion von Entgleisungen eines Schienenfahrzeugs sieht vor, dass für dasselbe Schienenfahrzeug an mehreren Stellen entlang des Fahrtwegs gemäß vorstehend genannten Schritten a) bis f) jeweils ein charakteristisches Signal ermittelt wird, dass die charakteristischen Signale miteinander verglichen werden, wobei ein Übereinstimmungswert ermittelt wird, der angibt, wie gut die beiden charakteristischen Signale miteinander übereinstimmen, und dass für den Fall, dass die durch den Übereinstimmungswert indizierte Übereinstimmung einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, eine Entgleisung festgestellt wird.

[0006] Eine besonders einfache Art der Bildung eines charakteristischen Signals sieht vor, dass zur Bestimmung des charakteristischen Signals aus dem diskreten Signal für jeden Zeitpunkt jeweils ein separates diskretes Ortssignal entnommen wird, die einzelnen diskreten Ortssignale entsprechend der Trajektorie derart verschoben werden, dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs herrührende Signalanteile jeweils auf derselben

Ortsposition zu liegen kommen, und die derart verschobenen Ortssignale ortspunktweise aggregiert werden.

[0007] Alternativ kann zur Bestimmung eines charakteristischen Signals, insbesondere für gleichmäßig bewegte Schienenfahrzeuge, vorgesehen sein, dass aus dem diskreten Signal für jeden Ortspunkt jeweils ein separates diskretes Zeitsignal entnommen wird, die einzelnen diskreten Zeitsignale entsprechend der Trajektorie derart verschoben und gegebenenfalls entzerrt werden, dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs herrührende Signalanteile jeweils auf denselben Zeitpunkt fallen, die derart verschobenen Zeitsignale zeitpunktweise aggregiert werden und das so erhaltene Ergebnis als charakteristisches Signal herangezogen wird.

[0008] Vorteilhafterweise kann bei beschleunigten oder verzögerten Schienenfahrzeugen vorgesehen sein, dass die einzelnen Zeitsignale vor der Aggregation bei Vorliegen von Beschleunigungen und Verzögerungen des Schienenfahrzeugs in der Trajektorie entzerrt werden, sodass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs herrührende Signalanteile jeweils auf denselben Zeitpunkt fallen.

[0009] Eine besonders vorteilhafte Messung mittels des OTDR-Verfahrens sieht vor, dass die diskreten Signale entsprechend der Trajektorie des Schienenfahrzeugs derart gegeneinander verschoben werden, dass sich die Fensterstützpunkte an diskreten äquidistanten und in jedem Ortskanal gleich festgelegten Zeiten befinden, und zur Verschiebung entsprechend der Trajektorie die diskreten Zeitsignale nur um ganzzahlige Vielfache des Abstands dieser Zeiten verschoben werden, oder die einzelnen Ortskanäle interpoliert und anschließend verschoben werden. Alternativ kann auch vorgesehen sein die einzelnen Ortskanäle zu interpolieren und anschließend zu verschieben.

[0010] Eine besonders vorteilhafte Messung mittels des OTDR-Verfahrens sieht vor, dass die Vibrationen und Druckänderungen mittels eines Glasfaserkabels ermittelt werden, wobei das Glasfaserkabel entlang des Fahrtwegs liegt und von den vom Fahrtweg ausgehenden Erschütterungen betroffen ist, wobei zu vorgegebenen Zeitpunkten, insbesondere mit einer Frequenz zwischen 100 Hz und 10 kHz, jeweils ein Lichtimpuls in das Glasfaserkabel abgegeben wird, das aus dem Glasfaserkabel zurückkehrende Licht gemessen wird, wobei entsprechend der zeitlichen Verzögerung des zurückkehrenden Lichts das Signal einem Ortspunkt entlang des Fahrtwegs zugeordnet wird, und wobei die Stärke oder Phase des zurückkehrenden Lichts als Messwert zur Charakterisierung von Vibrationen oder Druckänderungen im betreffenden Ortspunkt herangezogen wird.

[0011] Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass zur Ermittlung der Trajektorie des Anfangs des Schienenfahrzeugs am Fahrtweg für eine Anzahl von Ortskanälen jeweils die Signalenergien in einer Mehrzahl von Zeitpunkten innerhalb eines bestimmte Zeitbereichs innerhalb eines bestimmten Frequenzbands oder mehrerer bestimmter Frequenzbänder ermittelt werden und dass die Trajektorie innerhalb eines Zeitbereichs und eines Ortskanals liegend festgestellt wird, wenn die ermittelte Signalenergie oder die ermittelten Signalenergien vorgegebenen Kriterien entsprechen, insbesondere, dass die ermittelte Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet,
wobei insbesondere die Trajektorie des Anfangs oder des Endes des Schienenfahrzeugs ermittelt wird, indem für jeden Ortskanal der jeweils früheste oder späteste Zeitpunkt ermittelt wird, in dem die Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet oder unterschreitet.

[0012] Die Genauigkeit der Bestimmung der Trajektorie des Fahrzeugs aus den ermittelten Messwerten wird verbessert, indem vor der Bestimmung der Signalenergie innerhalb eines Fensters die Messwerte innerhalb dieses Fensters einzeln mit vorgegebenen Gewichtswerten gewichtet werden.

[0013] Eine besonders vorteilhafte Heuristik zur Detektion von Entgleisungen in charakteristischen Signalen sieht vor, dass ein Maßwert für die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung ermittelt wird, der eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Entgleisung indiziert, wenn die beiden charakteristischen Signale an einzelnen Positionen eine große Abweichung zeigen, im Übrigen jedoch übereinstimmen.
wobei eine Entgleisung insbesondere dann festgestellt wird, wenn beim Vergleich zweier vom selben Schienenfahrzeug vor und nach der Entgleisung aufgenommener Signale einen Schwellenwert überschreitende Unterschiede lediglich in einer einen oberen Schwellenwert unterschreitenden Stellen des charakteristischen Signals vorhanden sind.

[0014] Numerisch kann dies besonders einfach und vorteilhaft erkannt werden, indem eine Entgleisung insbesondere dann festgestellt wird, wenn beim Vergleich zweier vom selben Schienenfahrzeug vor und nach der Entgleisung aufgenommener Signale einen Schwellenwert überschreitende Unterschiede lediglich in einer einen oberen Schwellenwert unterschreitenden Stellen des charakteristischen Signals vorhanden sind.

[0015] Eine besonders rasche Erstellung von charakteristischen Signalen mit für den Vergleich zur Entgleisungsdetektion ausreichender Aussagekraft sieht vor, dass für die Bestimmung eines charakteristischen Signals jeweils Messwerte m herangezogen werden, die innerhalb eines Zeitbereichs von weniger als 20 Sekunden, insbesondere von weniger als 2 Sekunden aufgenommen wurden.

[0016] Eine rasche Detektion von Entgleisungen sieht vor, dass charakteristische Signale zur Detektion von Entgleisungen laufend, insbesondere in Zeitintervallen von zwischen 0,5 und 10 Sekunden erstellt werden und/oder dass zur Detektion von Entgleisungen Vergleiche zwischen charakteristischen Signalen vorgenommen werden, die innerhalb von weniger als 10 Sekunden erstellt wurden.

[0017] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfin-

dung wird anhand der folgenden Zeichnungsfiguren näher dargestellt.

[0018] In **Fig. 1** ist ein Schienenfahrzeug dargestellt, dass sich entlang eines Fahrtwegs bewegt. In **Fig. 2** sind Messwerte für einen vorgegebenen Abstand vom OTDR-Messgerät dargestellt. In **Fig. 3** ist schematisch ein Feld von Messwerten dargestellt. In **Fig. 4** ist die Filterung der Messwerte dargestellt. **Fig. 5** zeigt die einzelnen für die Gewichtung der Ortskanäle herangezogenen Zeitfenster. **Fig. 6a und 6b** zeigen die Bildung einer charakteristischen Funktion gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. **Fig. 7a und 7b** zeigen die Bildung einer charakteristischen Funktion gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. **Fig. 8a und 8b** zeigen die Feststellung bzw Nicht-Feststellung einer Entgleisung.

[0019] In **Fig. 1** ist ein Schienenfahrzeug 1 dargestellt, dass sich entlang eines Fahrtwegs 2 bewegt. Parallel zu dem Fahrtweg 2 verläuft ein Glasfaserkabel 3, das an eine OTDR-Messeinheit 4 angeschlossen ist. Wie bereits eingangs erwähnt, ermittelt die OTDR-Messeinheit 4 die Vibrationen und Druckänderungen an einer Vielzahl von entlang des Fahrtwegs 2 auf der Glasfaserleitung 3 angeordneten Ortspunkten M_1 ... M_{100}. Die Glasfaserleitung 3, die entlang des Fahrtwegs 2 liegt, ist von den vom Schienenfahrzeug 1 ausgehenden Erschütterungen betroffen bzw. ist diesen Erschütterungen unterworfen.

[0020] Zu vorgegebenen Zeitpunkten werden Lichtimpulse in die Glasfaserleitung 3 abgegeben. Diese Lichtimpulse werden insbesondere mit einer Häufigkeit oder Frequenz zwischen 100 Hz und 10 kHz abgegeben. Das aus der Glasfaserleitung 3 zurückkehrende Licht wird gemessen, wobei entsprechend der zeitlichen Verzögerung des zurückkehrenden Lichts das Signal einem Ortspunkt M_1 ... M_{100} entlang des Fahrtwegs 2 zugeordnet wird.

[0021] Aufgrund der bekannten Signalgeschwindigkeit in der Glasfaserleitung 3 kann aufgrund des Zeitpunkts, zudem ein Signalanteil zu der OTDR-Messeinheit 4 reflektiert wird, auf denjenigen Ortspunkt M_1 ... M_{100} im Fahrtweg 2 rückgeschlossen werden, die einer vorgegebenen Erschütterung unterliegt. Die Stärke oder Phase des zurückkehrenden Lichts wird als Messwert zur Charakterisierung von Vibration oder Druckänderungen im betreffenden Ortpunkt M_1 ... M_{100} herangezogen.

[0022] Wird das vorstehend genannte Vorgehen zu einer Vielzahl von Zeitpunkten wiederholt, so kann für eine Anzahl von Ortspunkten M_1 ... M_{100} entlang des Fahrwegs 2 und für eine Anzahl von Zeitpunkten jeweils ein Messwert m(x, t) zur Charakterisierung der Vibration oder einer Druckänderung zur Verfügung gestellt werden. In **Fig. 2** sind Messwerte m(x, t) für einen vorgegebenen Abstand x vom OTDR-Messgerät dargestellt. Das in **Fig. 2** dargestellte Signal ist sehr hochfrequent; in **Fig. 2** sind lediglich eine obere und eine untere Hüllkurve dargestellt, zwischen denen das Signal oszilliert. In **Fig. 3** ist schematisch ein Feld von Messwerten m(x, t) dargestellt, wobei für jeden Zeitpunkt t und die Position x jedes Ortspunkts M_1 ... M_{100} jeweils ein Messwert m(x, t) vorliegt. Der schraffierte Bereich enthält Messwerte m(x, t), die von einer Schwellenwert überschreitenden Druckänderungen stammen, die von einem konkreten Schienenfahrzeug 1 herrühren. Diese Messwerte m(x, t) sind im Mittel betragsmäßig größer als die übrigen Messwerte m(x, t), die sich außerhalb des schraffierten Bereichs befinden. Darüber hinaus ist im schraffierten Bereich eine Trajektorie dargestellt, die den konkreten Zeit-Wegverlauf des Schienenfahrzeugs 1 darstellt. In allen Fällen kann eine Trajektorie $x_0(t)$ sowohl als der Ortspunkt M_1 ... M_{100}, an dem sich der Anfang des Schienenfahrzeugs 1 befindet, als Funktion der Zeit t als auch als Inverse $t_0(x)$ dieser Funktion dargestellt werden, d.h. als Funktion, die angibt, zu welcher Zeit t sich der Anfang des Schienenfahrzeugs 1 an dem Ortspunkt M_1 ... M_{100} befindet.

[0023] Die Ermittlung eines solchen Zeit-Wegverlaufs in Form einer Trajektorie $x_0(t)$ kann auf unterschiedliche Art vorgenommen werden, beispielsweise durch GPS-Messung oder sonstige allgemein bekannte Navigationsverfahren. Daneben besteht auch die Möglichkeit, dass zur Ermittlung der Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs des Schienenfahrzeugs 1 am Fahrtweg 2 für eine Anzahl von Ortskanälen jeweils die Signalenergien in einer Mehrzahl von Zeitpunkten innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs innerhalb eines bestimmten Frequenzbands oder mehrerer bestimmter Frequenzbänder ermittelt werden. Das Schienenfahrzeug wird innerhalb eines der bestimmten Zeitbereiche oder eines Ortskanals liegend festgestellt, wenn die ermittelte Signalenergie oder die ermittelten Signalenergien vorgegebenen Kriterien entsprechen, insbesondere dann, wenn die ermittelten Signalenergien einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten. Als Frequenzband kann im vorliegenden Fall beispielsweise ein Frequenzband zwischen 50 Hz und 150 Hz angenommen werden. Die Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs oder des Endes des Schienenfahrzeugs kann beispielsweise ermittelt werden, indem für jeden Ortskanal der jeweils früheste oder späteste Zeitpunkt ermittelt wird, in dem die Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet oder unterschreitet. Alternativ kann die Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs oder des Endes des Schienenfahrzeugs 1 ermittelt werden, indem für jeden Zeitpunkt der jeweils der dem Messgerät 4 in Erstreckungsrichtung nächstgelegene oder entfernteste Ortspunkt ermittelt wird, in dem die Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet oder unterschreitet.

[0024] Bei sämtlichen Verfahren wird die Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs des Schienenfahrzeugs 1 in Bezug auf die Ortspunkte M_1 ... M_{100} in der Zeit ermittelt oder vorgegeben. Die Trajektorie x0(t) gibt den Ortspunkt M_1 ... M_{100} des Anfangs des Schienenfahrzeugs 1 zu jedem Zeitpunkt t innerhalb eines Zeitbereichs an.

[0025] In weiterer Folge wird eine Filterung des Signals, wie in **Fig. 4** dargestellt, vorgenommen, wobei für die Ortspunkte M_1 ... M_{100} jeweils separat die folgenden Schritte durchgeführt werden: Die konkrete Vorgehens-

weise zur Filterung wird in Bezug auf einen konkreten Ortspunkt M_n näher dargestellt. Ausgehend von dem auf der Trajektorie liegenden Zeitpunkt $t_0(M_n)$, der dem Ortspunkt Mn des jeweiligen Ortskanals zugeordnet wird, wird eine Anzahl von Zeitfenstern U1....U7 vorgegeben, die gegenüber dem auf der Trajektorie liegenden Zeitpunkt $t_0(M_n)$ festgelegt sind. Das Zeitfenster U1 liegt im Bereich der Trajektorie, das Zeitfenster U7 ist gegenüber dem dem Ortskanal zugeordneten Zeitpunkt $t_0(M_n)$ am weitesten in Richtung des Endes des Schienenfahrzeugs verschoben. Typischerweise weisen die einzelnen Zeitfenster U1....U7 eine Zeitdauer von 0,1s auf und erfassen bzw. überdecken den Bereich, in dem Messwerte vorliegen, die vom Schienenfahrzeug verursacht wurden.

[0026] Wie in **Fig. 5** dargestellt, wird für jedes der Zeitfenster U1....U7 jeweils eine Gewichtsfunktion erstellt, mit der das dem jeweiligen Ortskanal an der Ortsposition M_n zugeordnete Zeitsignal gewichtet wird. Anschließend wird in jedem der Zeitfenster U1....U7 des Ortskanals des Ortspunkts M_1 ... M_{100} jeweils separat die Signalenergie innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbands ermittelt. Das Frequenzband kann dabei zwischen 250 und 750 Hz liegen. Diese Signalenergie wird dem Fenster U1....U7 zugeordnet. Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass die Signalenergie einem dem Zeitfenster U1....U7 zugeordneten Zeitpunkt t zugewiesen wird. Bei diesem Zeitpunkt t kann es sich beispielsweise um den Mittelpunkt des Zeitfensters U1....U7 handeln, es besteht aber auch die Möglichkeit, dass ein anderer Zeitpunkt für das jeweilige Zeitfenster U1....U7 gewählt wird, solange hierbei die konkrete zeitliche Abfolge der Zeitfenster erhalten bleibt. Aufgrund der ermittelten Signalenergien wird ein diskretes Signal d(x, t) ermittelt, das einzelnen Zeitpunkten und jedem Ortspunkt M_1 ... M_{100} bzw. jedem Ortskanal die jeweiligen Signalenergien zuordnet.

[0027] Basierend auf dem ermittelten diskreten Signal d(x, t) werden die ermittelten Signalwerte entsprechend der Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs des Schienenfahrzeugs 1 einander zugeordnet, dass die von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs 1 ausgehenden bzw. von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs 1 verursachten Werte aus dem diskreten Signal d(x, t) einander zugeordnet werden. Entsprechend der Fortbewegung des Schienenfahrzeugs 1 besteht hierbei die Möglichkeit, dass die einzelnen ermittelten Signalwerte d(x, t) entsprechend der Trajektorie $t_0(x)$ oder $x_0(t)$ entzerrt werden oder interpoliert werden. Die einzelnen einander zugeordneten gegebenenfalls verschobenen entzerrten oder interpolierten Werte des diskreten Signals werden aggregiert, im vorliegenden Fall summiert, wodurch ein charakteristisches Signal C ermittelt wird. Dieses charakteristische Signal C weist für jeden Längsabschnitt des Schienenfahrzeugs 1 jeweils einen Wert auf. Das charakteristische Signal C kann insgesamt charakteristisch für das Schienenfahrzeug bzw. die von dem Schienenfahrzeug abgegebenen Vibrationen oder Druckänderungen angesehen werden.

[0028] Um eine konkrete Zuordnung von Teilen des diskreten Signal d(x, t) entsprechend der Trajektorie $x_0(t)$ zu finden, können grundsätzlich unterschiedliche Vorgehensweise gewählt werden.

[0029] Bei einer ersten bevorzugten Ausführungsform (**Fig. 6a, 6b**) innerhalb eines Intervalls der Erfindung wird für jeden Zeitpunkt $[t_A; t_E]$ des diskreten Signals d(x, t) jeweils der auf das Schienenfahrzeug 1 zurückgehende Signalanteil $d_{tA}(x)$, $d_{t1}(x)$, $d_{t2}(x)$,...$d_{tE}(x)$ ermittelt. Unter der Voraussetzung, dass das konkrete Schienenfahrzeug 1 während der Fahrt seine Länge P nicht oder nur geringfügig ändert, kann aufgrund der konkreten Trajektorie $x_0(t)$ die Vielzahl der einzelnen Teilsignale $d_{tA}(x)$, $d_{t1}(x)$, $d_{t2}(x)$, $d_{tE}(x)$ entsprechend der Trajektorie $x_0(t)$ derart verschoben werden, dass sämtliche vom selben Teil des Schienenfahrzeugs 1 ausgehenden Werte aus dem diskreten Signal d(x, t) jeweils auf den Punkt p im charakteristischen Signal (C) werden. Anschließend werden die derart verschobenen Teilsignale punktweise aggregiert.

[0030] Im Detail wird die Zuglänge als konstant mit P angenommen. Die Trajektorie des Zuganfangs wird mit $x_0(t)$ bezeichnet, die Trajektorie der Position p ($p \in [0, P]$) im Zug wird mit $x_p(t)$ bezeichnet, die Trajektorie des Zugendes wird mit $x_P(t)$ bezeichnet. Nachdem das Schienenfahrzeug 1 immer annähernd gleich lang ist und die Wagen sich nicht - bzw für die Messung nur unwesentlich - verformen, gilt $x_p(t)=x_0(t)-p$. Betrachtet wird nun ein Zeitausschnitt $[t_A, t_E]$. Die Werte des diskreten Signals d(x, t) werden entlang der x-Achse abhängig von t verschoben. Man erhält ein verschobenes Signal $d_c(p,t)=d(x_p(t), t)$ für $p \in [0,P]$ und $t \in [t_A, t_E]$. Dieses verschobene Signal $d_c(p, t)$ ist abhängig von der Position bezogen auf das Schienenfahrzeug 1 und von der Zeit. Danach kann durch Summation das charakteristische Signal des Schienenfahrzeugs 1 entsprechend der Formel $C(p) = \sum_{t\in[TA,\ TE]} d_c(p,t)$ ermittelt werden.

[0031] Eine weitere bevorzugte Vorgehensweise (**Fig. 7a, 7b**) zur Ermittlung eines charakteristischen Signals C sieht vor, dass dem diskreten Signal d(x, t) für jeden Ortspunkt M_1 ... M_{100}; x_A, x_1, x_2, x_E jeweils ein separates diskretes Zeitsignal entnommen wird. Bei gleichförmiger Bewegung des Schienenfahrzeugs 1 mit konstanter Geschwindigkeit sind die einzelnen Zeitbereiche, bei denen das jeweilige Schienenfahrzeug 1 an einen bestimmten Ort Schwingungen, Druckänderungen oder Vibrationen verursacht jeweils gleich lang. Die einzelnen derart ermittelten diskreten Zeitsignale werden entsprechend der Trajektorie derart verschoben, dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs 1 herrührende Signalwerte jeweils auf den selben Zeitpunkt fallen. Im vorliegenden Fall werden sämtliche diskrete Zeitsignale $d_x(t)$ derart verschoben, dass sie mit dem diskreten Zeitsignal $d_{xA}(t)$ zum Ortspunkt x_A gleich ausgerichtet werden. Anschließend werden die so verschobenen Zeitsignale zeitpunktweise aggregiert und das so erhaltene Ergebnis als charakteristisches Signal C herangezogen.

[0032] Sofern bei der dargestellten Vorgehensweise Beschleunigungen und Verzögerungen des Schienen-

fahrzeugs 1 vorliegen, verläuft die Trajektorie nicht linear, zB wie in Fig. 6a und 6b dargestellt. Die einzelnen Zeitsignale $d_x(t)$ sind in diesem Fall unterschiedlich lang. Aus diesem Grund werden die einzelnen Zeitsignale $d_x(t)$ derart entzerrt, d.h. nichtlinear gestreckt oder gestaucht, dass ihre Länge einem Referenzzeitsignal unter den Zeitsignalen entspricht und gleiche Positionen p bezogen auf das Schienenfahrzeug 1 an derselben Stelle im verzerrten Zeitsignal zu liegen kommen. Anschließend werden die Zeitsignale $d_x(t)$ verschoben und wiederum zeitpunktweise aggregiert, sodass aus dieser Aggregation ein charakteristisches Signal erhalten wird. Gegebenenfalls kann das charakteristische Signal durch Umrechnung $p = t^*v_0$ in ein auf das Schienenfahrzeug 1 bezogenes Signal umgerechnet werden, wobei v_0 die Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs bezeichnet.

[0033] Wie die Aggregation konkret vorgenommen wird, ist von untergeordneter Bedeutung. Üblicherweise reicht eine bloße Summation der einzelnen verschobenen und gegebenenfalls entzerrten Zeit- oder Ortssignale aus, um ein Signal zu ermitteln, das charakteristisch für das jeweilige Schienenfahrzeug 1 ist.

[0034] Im Detail kann eine verschobene und entzerrte Funktion d_c aufgrund des diskreten Signals d(x, t) ermittelt werden, die nur von der Zeit und von der Position $p \in [0, P]$ bezogen auf das Schienenfahrzeug 1 abhängt. Als Betrachtungsintervall entlang des Ortes wird das Ortsintervall $[x_A, x_E]$ zwischen den Ortspunkten x_A und x_E festgelegt. Die Trajektorie des Anfangs des Schienenfahrzeugs 1 wird mit $t_o(x)$ bezeichnet. Für jede Position $p \in [0, P]$ wird die zugehörige Trajektorie mit $t_p(x)$ bezeichnet. Wie aus der Skizze ersichtlich wird gilt $t_p(x) = t_0(x+p)$. Aus dem diskreten Signal d(x,t) wird ein verschobenes Signal $d_c(x,p) = d(x,t_p(x))$ für $x \in [X_A, X_E]$ und $p \in [0, P]$ ermittelt. Das charakteristische Signal für das gesamte Schienenfahrzeug 1 ergibt sich dann als $C(p) = \sum_{x \in [XA, XE]} d_c(x,p)$.

[0035] Kommt es aufgrund der Verzerrung oder Verschiebung dazu, dass aufgrund des Verlaufs der Trajektorie $x_0(t)$ Stützpunkte gewählt werden, die mit den diskreten Ort- und Zeit-Stützpunkten des diskreten Zeitsignals nicht übereinstimmen, so kann eine Interpolation der Orts- und Zeitkanäle vorgenommen werden, sodass letztendlich eine Verschiebung von Orts- und Zeitsignalen um beliebige durch die Trajektorie $x_0(t)$ festgelegte Werte möglich ist.

[0036] Alternativ besteht auch die Möglichkeit, dass sich die Fensterstützpunkte an diskreten Äquidistanten oder in jeden Ortskanal gleich festgelegten Zeiten befinden und zur Verschiebung entsprechend der Trajektorie $x_0(t)$ die einzelnen Ortskanäle nur um ganzzahlige vielfache des Abstands dieser Zeiten verschoben werden.

[0037] Nach der Ermittlung eines charakteristischen Signals C besteht nunmehr die Möglichkeit, an mehreren Stellen entlang des Fahrtwegs 2 bzw. zu mehreren Zeitpunkten während der Fahrt, gemäß einer der vorstehend genannten Vorgehensweisen, ein charakteristisches Signal C zu ermitteln. Die einzelnen charakteristischen Signale C_1, C_2 werden miteinander verglichen, wobei ein Übereinstimmungswert ermittelt wird, der angibt ob die beiden charakteristischen Signale C_1, C_2 auf eine Entgleisung hindeuten, beispielsweise dadurch, dass Abweichungen zwischen der derart vom selben Schienenfahrzeug 1 erstellten Signalen bestehen.

[0038] Ein verbessertes Vorgehen, eine Entgleisung festzustellen, wird im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 8a und 8b** dargestellt: Hierbei wird ein Maßwert für die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung ermittelt, der dann eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Entgleisung indiziert, wenn die beiden charakteristischen Signale C_1, C_2 an einzelnen Positionen große Abweichungen zeigen, im Übrigen jedoch übereinstimmen. Dies kann insbesondere derart erreicht werden, wenn einzelne Werte des charakteristischen Signals C miteinander verglichen werden, wobei eine Entgleisung festgestellt wird, wenn bei diesem Vergleich einzelne Signalwerte einander zugeordneter Positionen im wesentlichen gleich sind, an einigen wenigen Stellen jedoch wesentlich von einander abweichen.

[0039] Wenn beim Vergleich zweier vom selben Schienenfahrzeug 1 vor und nach der Entgleisung aufgenommener Signale einen Schwellenwert überschreitende Unterschiede lediglich in einer einen oberen Schwellenwert unterschreitenden Stellen des charakteristischen Signals vorhanden sind, kann von einer Entgleisung ausgegangen werden. Eine Entgleisung kann zum Beispiel dann festgestellt werden, wenn beim Vergleich zweier vom selben Schienenfahrzeug 1 vor und nach der Entgleisung aufgenommener charakteristischer Signale Unterschiede von wenigstens 100 % in weniger als durch einen vorgegebenen oberen Schwellenwert entsprechenden Stellen des charakteristischen Signals vorhanden sind. Dieser obere Schwellenwert wird vorteilhafterweise auf einen Wert gesetzt, der der Anzahl von vorgegebenen Ortspunkten $M_1, ..., M_{100}$ entspricht, die durchschnittlich auf 10 m bis 50 m des Fahrtwegs 2 angeordnet sind. Bei einer Verteilung der Messpunkte $M_1, ..., M_{100}$ etwa in Abständen von 70 cm auf dem Fahrtweg, hat der Schwellenwert etwa den Wert 70.

[0040] In **Fig. 8a** sind zwei charakteristische Signale C_1, C_2 von ein und demselben Schienenfahrzeug 1 dargestellt. Die Abweichung Δ der beiden charakteristischen Signale ist in **Fig. 8a** ebenfalls dargestellt. Wie aus **Fig. 8a** zu erkennen, ist eine Entgleisung im charakteristischen Signal dadurch indiziert, dass an einer einzigen Stelle eine große Abweichung zwischen den beiden charakteristischen Signalen C_1, C_2 besteht. Im Übrigen sind die beiden charakteristischen Signale sehr ähnlich, sodass die Abweichung zwischen diesen beiden Signalen relativ gering ist. Da im vorliegenden Fall Unterschiede Δ der beiden charakteristischen Signale lediglich bei einer geringen Anzahl von Stellen innerhalb des charakteristischen Signals bestehen, ist eine Entgleisung wahrscheinlich.

[0041] Demgegenüber sind in **Fig. 8b** zum Vergleich zwei charakteristische Signale dargestellt, die von unter-

schiedlichen Schienenfahrzeugen 1 stammen. Bei diesen charakteristischen Signalen C_1, C_2 liegen Unterschiede zwischen den einzelnen Signalwerten an einer Vielzahl von Stellen vor. Insgesamt sind diese Unterschiede relativ gleich verteilt, es wird keine Entgleisung festgestellt.

[0042] Um eine verbesserte Entgleisungsdetektion zu erreichen, kann in beiden der in **Fig. 8a und 8b** dargestellten Fälle vorgesehen sein, dass die charakteristischen Signale C vor ihrem Vergleich normalisiert werden, d.h. dass das charakteristische Signal C bzw. die einzelnen Signalwerte insgesamt mit einem Faktor multipliziert wird bzw. werden, dass die Summe der Beträge oder der Signalanteile für beide charakteristischen Signale C_1, C_2 oder sonst eine auf C_1 und C_2 angewandte Norm gleich groß ist. Mit dieser Vorgehensweise können Störeffekte vermieden werden, die dadurch entstehen, dass aufgrund unterschiedlicher Distanzen des Fahrtwegs 2 vom jeweiligen Ortspunkt M_1, ..., M_{100} einzelne charakteristische Signale stärker oder schwächer aufgenommen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion der Entgleisung eines Schienenfahrzeugs (1),

a) wobei entlang des Fahrtwegs (2) mittels eines langgestreckten akustischen Sensors (3) Messwerte zur Charakterisierung von Vibrationen oder Druckänderungen an einer Vielzahl von entlang des Fahrtwegs (2) angeordneten Ortspunkten (M_1 ... M_{100}) bestimmt werden,
b) wobei für eine Anzahl von Ortspunkten (M_1 ... M_{100}) entlang des Fahrtwegs (2) und für eine Anzahl von Zeitpunkten (t) jeweils ein Messwert m(x, t) zur Charakterisierung der Vibration oder einer Druckänderung zur Verfügung gestellt wird,
c) wobei eine Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) des Schienenfahrzeugs (1) in Bezug auf die Wegpunkte in der Zeit ermittelt oder vorgegeben wird, die Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) den Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) eines vorgegebenen Teils des Schienenfahrzeugs (1) zu jedem Zeitpunkt (t) innerhalb eines Zeitbereichs (T) angibt,
d) wobei für Ortspunkte (M_1 ... M_{100}) jeweils separat

- im Bereich des Schienenfahrzeugs (1) bzw dessen Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) im jeweiligen Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) eine Anzahl von Zeitfenstern (U) vorgegeben wird,
- in jedem der Zeitfenster des Ortspunkts (M_1 ... M_{100}) separat jeweils die Signalenergie innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbands ermittelt wird, und diese Signalenergie einem dem Zeitfenster (U) zugeordneten Zeitpunkt (t) zugewiesen wird, sodass ein diskretes Signal (d(x, t)), das jedem Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) für einzelne Zeitpunkte die zugehörigen Signalenergien zuordnet, zur Verfügung steht,

e) die einzelnen Werte des diskreten Signals (d(x, t)) entsprechend der Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) des Schienenfahrzeugs (1) derart einander zugeordnet werden, und gegebenenfalls entzerrt und interpoliert, werden, dass die von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs (1) ausgehenden Werte aus dem diskreten Signal (d(x, t)) einander zugeordnet werden,
f) wobei die einzelnen einander zugeordneten, insbesondere gegeneinander verschobenen und gegebenenfalls entzerrten und interpolierten, Werte des diskreten Signals (d(x, t)), gegebenenfalls gewichtet, über die Zeit und/oder über den Ort aggregiert, insbesondere summiert, werden, und derart ein charakteristisches Signal (C) ermittelt wird, das als charakteristisch für das Schienenfahrzeug (1) angesehen wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

g) für dasselbe Schienenfahrzeug (1) an mehreren Stellen entlang des Fahrtwegs (2) gemäß den Schritten a) bis f) jeweils ein charakteristisches Signal (C) ermittelt wird,
h) dass die charakteristischen Signale (C) miteinander verglichen werden, wobei ein Übereinstimmungswert ermittelt wird, der angibt, wie gut die beiden charakteristischen Signale (C) miteinander übereinstimmen, und
i) dass für den Fall, dass die durch den Übereinstimmungswert indizierte Übereinstimmung einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet, eine Entgleisung festgestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bestimmung des charakteristischen Signals (C)

- aus dem diskreten Signal (d(x, t)) für jeden Zeitpunkt jeweils ein separates diskretes Ortssignal ($d_t(x)$) entnommen wird,
- die einzelnen diskreten Ortssignale ($d_t(x)$) entsprechend der Trajektorie ($x_0(t)$) derart verschoben werden, dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs (1) herrührende Signalanteile jeweils auf derselben Ortsposition (x) zu liegen kommen, und
- die derart verschobenen Ortssignale $d_t(x)$ ortspunktweise aggregiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-**

zeichnet, dass zur Bestimmung des charakteristischen Signals (C)

- aus dem diskreten Signal d(x, t) für jeden Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) jeweils ein separates diskretes Zeitsignal $d_x(t)$ entnommen wird,
- die einzelnen diskreten Zeitsignale $d_x(t)$ entsprechend der Trajektorie derart verschoben und gegebenenfalls entzerrt werden, dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs (1) herrührende Signalanteile jeweils auf denselben Zeitpunkt (t) fallen,
- die derart verschobenen Zeitsignale $d_x(t)$ zeitpunktweise aggregiert werden und das so erhaltene Ergebnis als charakteristisches Signal herangezogen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Zeitsignale vor der Aggregation bei Vorliegen von Beschleunigungen und Verzögerungen des Schienenfahrzeugs (1) in der Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) entzerrt werden, sodass dass von gleichen Teilen des Schienenfahrzeugs (1) herrührende Signalanteile jeweils auf denselben Zeitpunkt (t) fallen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die diskreten Signale entsprechend der Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) des Schienenfahrzeugs (1) derart gegeneinander verschoben werden, dass

a) sich die Fensterstützpunkte an diskreten äquidistanten und in jedem Ortskanal gleich festgelegten Zeiten befinden, und zur Verschiebung entsprechend der Trajektorie ($x_0(t)$; $t_0(x)$) die diskreten Zeitsignale $d_x(t)$ nur um ganzzahlige Vielfache des Abstands dieser Zeiten verschoben werden, oder
b) die einzelnen Ortskanäle (M_1 ... M_{100}) interpoliert und anschließend verschoben werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vibrationen und Druckänderungen mittels eines Glasfaserkabels (3) ermittelt werden, wobei das Glasfaserkabel (3) entlang des Fahrtwegs (2) liegt und von den vom Fahrtweg ausgehenden Erschütterungen betroffen ist,

- wobei zu vorgegebenen Zeitpunkten, insbesondere mit einer Frequenz zwischen 100 Hz und 10 kHz,
- jeweils ein Lichtimpuls in das Glasfaserkabel (3) abgegeben wird,
- das aus dem Glasfaserkabel (3) zurückkehrende Licht gemessen wird, wobei entsprechend der zeitlichen Verzögerung des zurückkehrenden Lichts das Signal einem Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) entlang des Fahrtwegs (2) zugeordnet wird, und
- wobei die Stärke oder Phase des zurückkehrenden Lichts als Messwert zur Charakterisierung von Vibrationen oder Druckänderungen im betreffenden Ortspunkt (M_1 ... M_{100}) herangezogen wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
zur Ermittlung der Trajektorie ($x_0(t)$) des Anfangs des Schienenfahrzeugs (1) am Fahrtweg (2) für eine Anzahl von Ortskanälen jeweils die Signalenergien in einer Mehrzahl von Zeitpunkten innerhalb eines bestimmte Zeitbereichs innerhalb eines bestimmten Frequenzbands oder mehrerer bestimmter Frequenzbänder ermittelt werden
und dass die Trajektorie innerhalb eines Zeitbereichs und eines Ortskanals liegend festgestellt wird, wenn die ermittelte Signalenergie oder die ermittelten Signalenergien vorgegebenen Kriterien entsprechen, insbesondere, dass die ermittelte Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet,
wobei insbesondere die Trajektorie $x_0(t)$ des Anfangs oder des Endes des Schienenfahrzeugs ermittelt wird, indem für jeden Ortskanal der jeweils früheste oder späteste Zeitpunkt ermittelt wird, in dem die Signalenergie einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet oder unterschreitet.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor der Bestimmung der Signalenergie innerhalb eines Fensters die Messwerte innerhalb dieses Fensters einzeln mit vorgegebenen Gewichtswerten gewichtet werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Maßwert für die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung ermittelt wird, der eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Entgleisung indiziert, wenn die beiden charakteristischen Signale an einzelnen Positionen eine große Abweichung zeigen, im Übrigen jedoch übereinstimmen,
wobei eine Entgleisung insbesondere dann festgestellt wird, wenn beim Vergleich zweier vom selben Schienenfahrzeug (1) vor und nach der Entgleisung aufgenommener Signale einen Schwellenwert überschreitende Unterschiede lediglich in einer einen oberen Schwellenwert unterschreitenden Stellen des charakteristischen Signals (C) vorhanden sind.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Bestimmung eines charakteristischen Signals jeweils

Messwerte m(x, t) herangezogen werden, die innerhalb eines Zeitbereichs von weniger als 20 Sekunden, insbesondere von weniger als 2 Sekunden aufgenommen wurden.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** charakteristische Signale zur Detektion von Entgleisungen laufend, insbesondere in Zeitintervallen von zwischen 0,5 und 10 Sekunden erstellt werden, und/oder
- **dass** zur Detektion von Entgleisungen Vergleiche zwischen charakteristischen Signalen vorgenommen werden, die innerhalb von weniger als 10 Sekunden erstellt wurden.

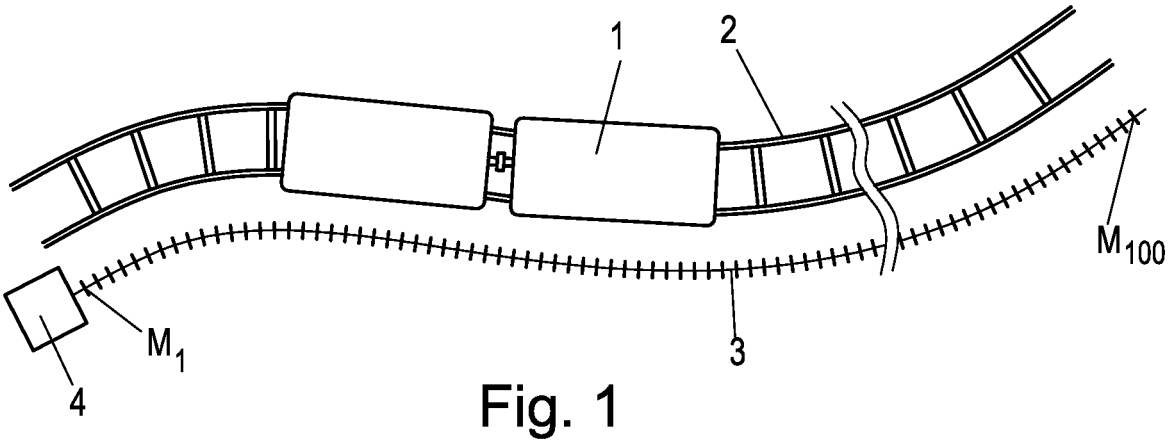


Fig. 1

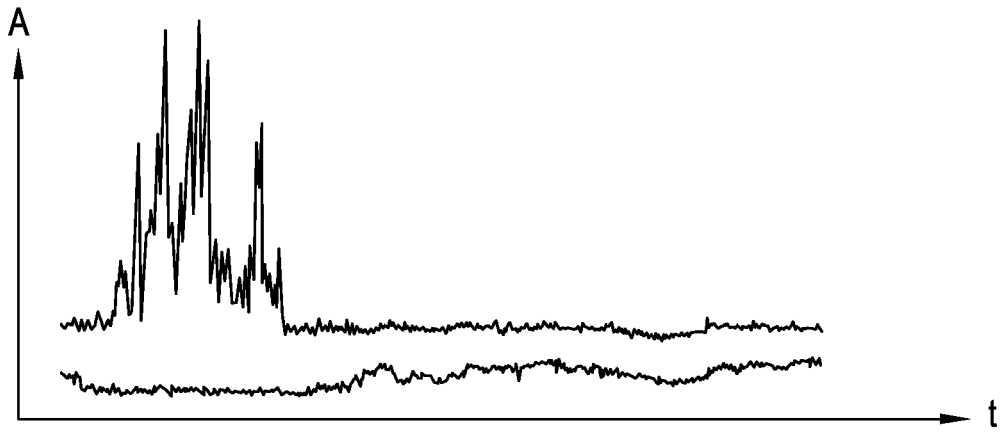


Fig. 2

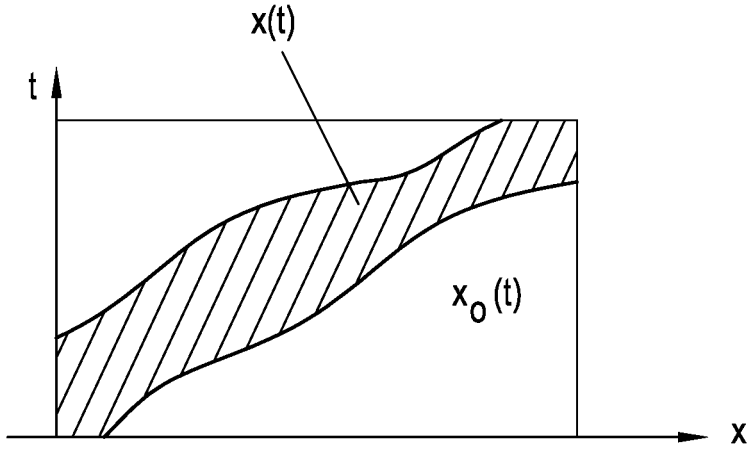


Fig. 3

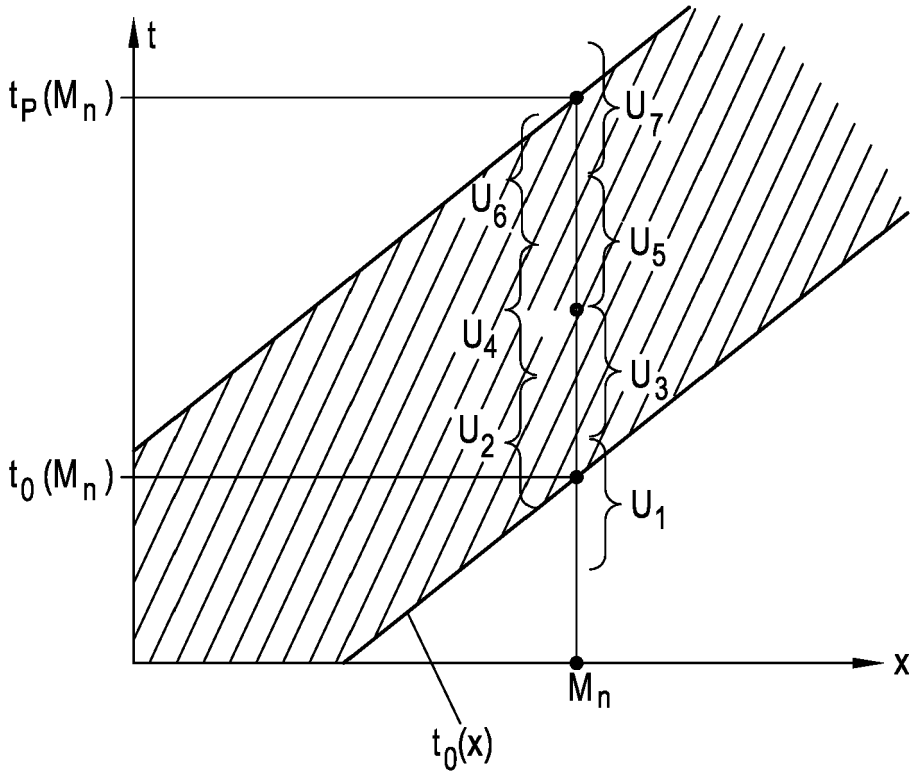

t
$t_P(M_n)$
$t_0(M_n)$
U_7
U_6
U_5
U_4
U_3
U_2
U_1
x
M_n
$t_0(x)$

Fig. 4

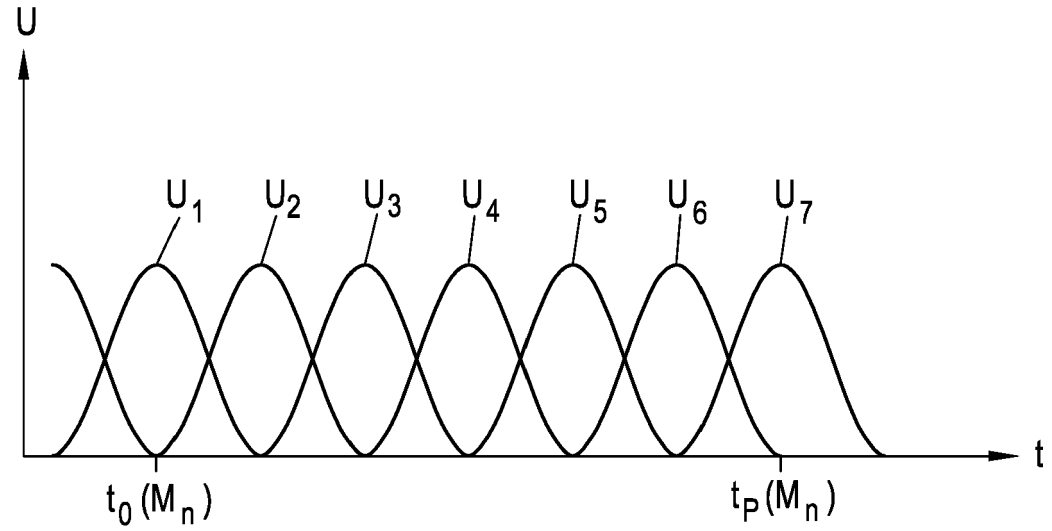

U
U_1
U_2
U_3
U_4
U_5
U_6
U_7
t
$t_0(M_n)$
$t_P(M_n)$

Fig. 5

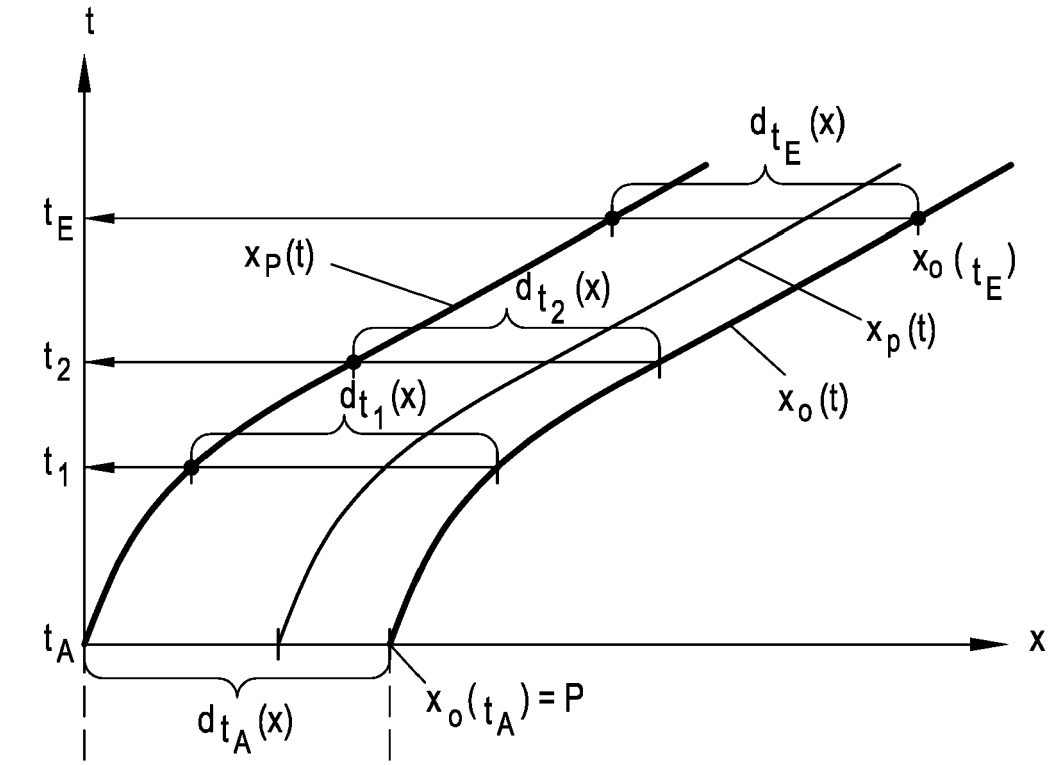


Fig. 6a



Fig. 6b

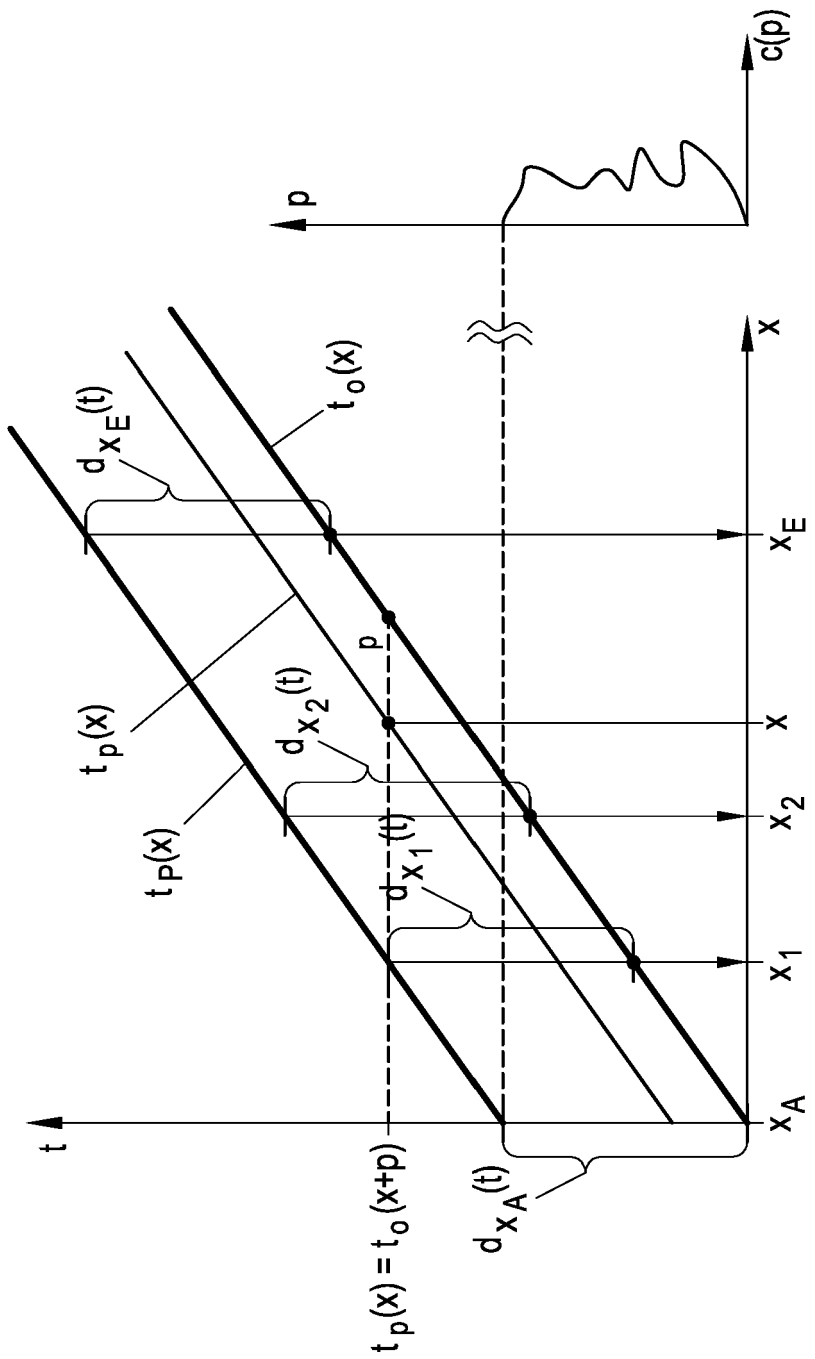


Fig. 7a

Fig. 7b

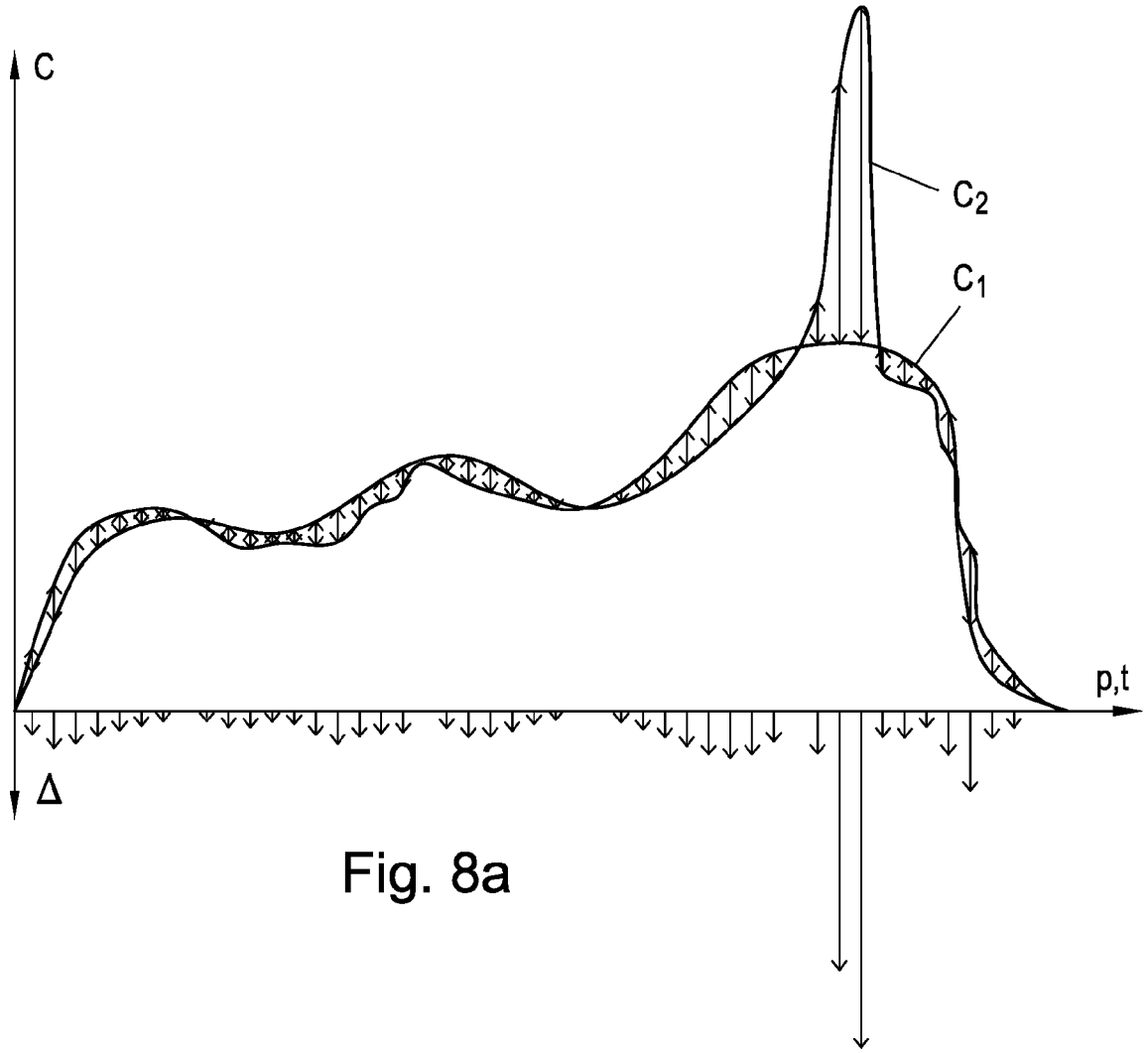


Fig. 8a

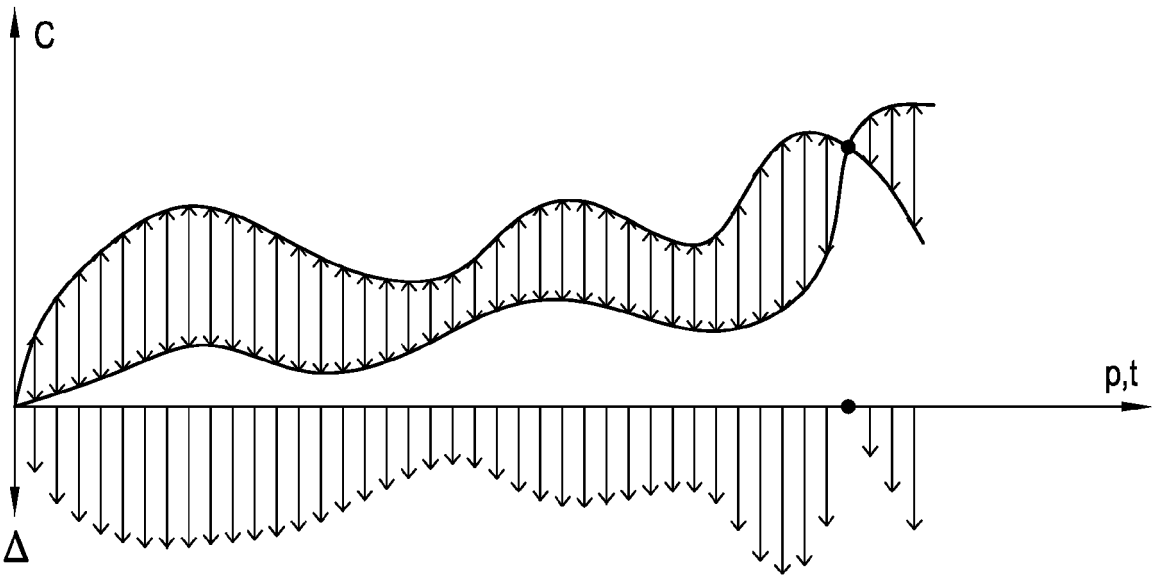


Fig. 8b

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 17 17 5666

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 01/94176 A1 (SKF IND SPA [IT]; MORETTI ROBERTO [IT]; SEMA SILVANO [IT]) 13. Dezember 2001 (2001-12-13) * Figuren 1 - 5; Seite 2, letzter vollständiger Absatz - Seite 7, letzter Absatz *	1-11	INV. B61L27/00 B61L1/20 B61L23/00 B61L25/02
A	WO 2014/019886 A2 (SIEMENS AG [DE]) 6. Februar 2014 (2014-02-06) * Figuren 1 und 2; Seite 2, Zeile 5 - Seite 10, Zeile 30 *	1-11	
A	US 2001/045495 A1 (OLSON LESLIE E [US] ET AL) 29. November 2001 (2001-11-29) * Figuren 1 - 3 und 4 a-d; Absätze [0006] und [0026] - [0059] *	1-11	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

B61L

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	8. November 2017	Plützer, Stefan

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 17 17 5666

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

08-11-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0194176 A1	13-12-2001	EP 1292482 A1	19-03-2003
		IT TO20000551 A1	10-12-2001
		JP 2003536351 A	02-12-2003
		US 2003178532 A1	25-09-2003
		WO 0194176 A1	13-12-2001
WO 2014019886 A2	06-02-2014	AU 2013298804 A1	05-02-2015
		CA 2880443 A1	06-02-2014
		DE 102012213495 A1	06-02-2014
		EP 2858875 A2	15-04-2015
		US 2015166087 A1	18-06-2015
		WO 2014019886 A2	06-02-2014
US 2001045495 A1	29-11-2001	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82