



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.09.2002 Patentblatt 2002/36

(51) Int Cl.7: **B61F 9/00**

(21) Anmeldenummer: **02450036.5**

(22) Anmeldetag: **22.02.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Kitzmüller, Christian**
8010 Graz (AT)
- **Alexandru, Theodor Cesar**
8020 Graz (AT)
- **Koller, Andreas**
8715 St. Lorenzen (AT)

(30) Priorität: **28.02.2001 AT 3212001**

(74) Vertreter: **Matschnig, Franz, Dipl.-Ing.**
Siebensterngasse 54
1070 Wien (AT)

(71) Anmelder: **Siemens SGP Verkehrstechnik GmbH**
1110 Wien (AT)

(72) Erfinder:
• **Stengg, Werner**
8051 Graz (AT)

(54) **Verfahren zur allgemeinen Entgleisungsdetektion**

(57) Ein Verfahren zur Erkennung entgleister Zustände von Rädern eines Schienenfahrzeuges durch Ermittlung zumindest eines für einen Entgleisungszustand charakteristischen Kennwertes (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6), der mit zumindest einem vorgebbaren Sollwert (SOL1, SOL2, SOL3, SOL4, SOL5, SOL6) verglichen wird, wobei bei Überschreiten einer vorgebbaren Abweichung des Kennwertes (KEN1-KEN6) von dem Sollwert (SOL1-SOL6) ein Hinweissignal (ALA) und/oder eine Notbremsung ausgelöst wird, wobei im Bereich einer Achslagerung (AX1, AX2, AX3, AX4) zumindest eines Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2,

SI3, SI4) erzeugt wird, und/oder an zumindest zwei Punkten eines Drehgestellrahmens (DGR) kontinuierlich die jeweilige Längsbeschleunigung ermittelt und als Längsbeschleunigungssignal (SI5, SI6) erfasst wird und/oder an zumindest einer Radachse ein Drehfrequenzsignal (DFS) erzeugt wird, wobei aus dem zumindest einem, im Bereich einer Achslagerung (AX1, AX2, AX3, AX4) erzeugten Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) und/oder den Längsbeschleunigungssignalen (SI5, SI6) und/oder aus dem zumindest einen Drehfrequenzsignal (DFS) der zumindest eine, für einen Entgleisungszustand charakteristische Kennwert (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6) ermittelt wird.

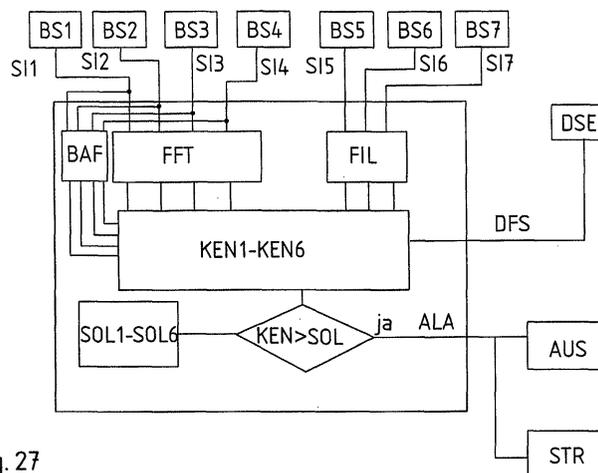


Fig. 27

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung entgleister Zustände von Rädern eines Schienenfahrzeuges durch Ermittlung zumindest eines für einen Entgleisungszustand charakteristischen Kennwertes, der mit zumindest einem vorgebbaren Sollwert verglichen wird, wobei bei Überschreiten einer vorgebbaren Abweichung des Kennwertes von dem Sollwert ein Hinweissignal und/oder eine Notbremsung ausgelöst wird.

[0002] Unter entgleisten Zuständen werden in diesem Dokument vorkritische Zustände, die im wesentlichen unmittelbar einem Entgleisen eines Rades oder Radsatzes vorhergehen und lokale Entgleisungszustände, das sind Zustände, die einem Entgleisen eines oder mehrerer Räder/Radsätze eines Schienenfahrzeuges entsprechen, verstanden.

[0003] Bevor es zu einem vollständigen Entgleisen eines Schienenfahrzeuges bzw. eines Schienenfahrzeugverbandes kommt, treten zumeist die oben erwähnten, lokalen bzw. vorkritischen Entgleisungszustände auf, welche durch Änderungen des Rad-Schienekontaktes charakterisiert sind. Lokale Entgleisungszustände, die zwar ursächlich für ein vollständiges Entgleisen des Schienenfahrzeuges sind, aber noch keinem vollständigen Entgleisen des Schienenfahrzeuges bzw. Schienenfahrzeugverbandes entsprechen, können beispielsweise ein aus der Spur Springen eines Rades bzw. Radsatzes des Schienenfahrzeuges sein, so dass einige Räder nicht mehr auf Geleisen laufen. Zu einem späteren Zeitpunkt kann es dann, beispielsweise bei Überfahren einer Weiche, zu einer vollständigen Entgleisung kommen. Ein vorkritischer Entgleisungszustand kann beispielsweise ein Auflaufen des Spurkranzes eines Rades an den Geleisen darstellen, sodass ein korrekter Rad-Schienekontakt nicht mehr gewährleistet ist.

[0004] In diesem Zusammenhang ist beispielsweise die EP 0 697 320 A1 bekannt geworden. Bei der dort vorgeschlagenen Lösung wird im Bereich einer Radsatzachse mindestens ein Sensor angeordnet, mit welchem die Lage der Räder und der Achse bezüglich der Schienen feststellbar ist und bei Abweichung dieser Lage über einen vorgebbaren Toleranzwert der Sensor ein Signal abgibt, welches durch Übertragungsmittel an eine zentrale Stelle übertragbar ist. Nachteilig an der vorgeschlagenen Lösung ist vor allem, dass nur ein Parameter zur Bestimmung eines entgleisten Zustandes, nämlich die Relativlage von Achse zu Schienenebene, herangezogen wird, da es auch zu Entgleisungen kommen kann, bei denen sich die Relativlage der Achsen zur Schienenebene nicht wesentlich von einem nicht entgleisten Zustand unterscheidet.

[0005] Die EP 0 734 925 offenbart einen Entgleisungsdetektor, der mit einem Notbremsventil in Form eines Notbremsblockes vereint ist. Der Entgleisungsdetektor ist als Schocksensor ausgebildet und weist einen Gewichtskörper auf, der mittels einer Feder in Richtung

des Notbremsventils vorgespannt ist. Das Reaktionsvermögen des Entgleisungsdetektors ist durch die Masse des Gewichtskörpers und dessen Federverspannung bestimmt. Nachteilig an diesem Sensor ist, dass er nicht zwischen Schäden der Strecke und einer tatsächlichen Entgleisungssituation unterscheiden kann, wodurch es zu ungewollten Auslösungen von Notbremsungen kommen kann.

[0006] Die US 3 994 459 beschreibt ein System zur Detektion von Entgleisungszuständen eines Schienenfahrzeuges. Bei dem offenbarten System ist ein Funksender vorgesehen, welcher Elemente aufweist, die auf vertikale von entgleisten Zuständen herrührende Beschleunigungen ansprechen. Für den Fall, dass ein entgleister Zustand detektiert wird, wird ein Funksignal an einen in einer Kontrollstelle angeordneten Empfänger übermittelt, welcher eine Alarmausgabeeinheit aufweist, um einen entgleisten Zustand anzuzeigen. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass keine vorkritischen Entgleisungszustände erkannt werden können.

[0007] Die US 5 433 111 A beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erkennung von Radschäden eines Schienenfahrzeuges. Die bekannte Vorrichtung weist eine Messeinheit zur Ermittlung der Achsrotation eines Radsatzes und einen Bewegungssensor, beispielsweise einen Beschleunigungssensor, zur Erfassung von Bewegungen vertikal zur Schienenebene. Tritt ein Radschaden auf, so wird mit der Periode der Achsrotation ein Beschleunigungssignal in vertikaler Richtung erzeugt, welches einen Rückschluss darauf zulässt, ob ein Radschaden vorliegt. Aus der technischen Lehre dieses Dokument folgt nicht, dass bzw. wie aus den erzeugten Signalen auf einen entgleisten Zustand des Schienenfahrzeuges geschlossen werden kann.

[0008] Die DE 199 19 604 A1 beschreibt ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zur Erkennung von bei Rädern von Schienenfahrzeugen auftretenden Fehlern. Hierzu werden die Signalverläufe von an dem Schienenfahrzeug erzeugten Beschleunigungssignalen im Zeitbereich betrachtet,

wobei anhand des Signalverlaufes ein beschädigter Radzustand erkannt werden soll. Zur Erkennung eines entgleisten Zustandes sind jedoch neben der Erfassung von Beschleunigungen noch andere, zusätzliche Messungen erforderlich. Nachteilig an dieser Erfindung ist vor allem der große messtechnische Aufwand, der auch mit hohen Kosten verbunden ist.

[0009] Die DE 298 11 354 U1 beschreibt eine Vorrichtung zum Überwachen von Rädern, bei welcher an einer Fahrzeugachse bzw. an einer Radwelle oder Rad ein akustoelektrischer Sensor vorgesehen ist, der akustische Signale in elektrische umwandelt.

[0010] Die DE 298 11 208 U1 offenbart ein Radüberwachungssystem für mehrachsige Fahrzeuge, wobei an jeder Radachse Sensoren angeordnet sind, welche Vibrationen erfassen, die durch Unebenheiten auf dem Abrollweg der an den Achsen angeordneten Räder entstehen. Weiters ist eine Auswerteinheit vor-

gesehen, welche dazu eingerichtet ist, zu überprüfen, ob alle Sensoren, die an aufeinanderfolgenden Achsen angeordnet sind, jeweils nacheinander bei Überfahren der Unebenheiten einander entsprechende Signale übermitteln. Die Auswerteinheit erkennt, wenn nicht alle Sensoren das gleiche Signal geben und löst in diesem Fall einen Alarm aus oder das Fahrzeug wird automatisch gestoppt.

[0011] Nachteilig an den bekannten Vorrichtung ist, dass keine quantitative und qualitative Erkennung von Entgleisungszuständen bzw. vorkritischen Entgleisungszuständen möglich ist.

[0012] Die JP 09039790 beschreibt ein Verfahren zur Erkennung eines entgleisten Zustandes bei einem Schienenfahrzeug anhand eines Kennwertes, wobei die Vertikalbeschleunigung an einer Position des Drehgestellrahmens über einer Federung gemessen wird. Der durch zweifache Integration der gemessenen Beschleunigung bestimmte Wert wird auf -80 mm festgelegt, wobei ein Alarmierungssignal generiert wird wenn, ein ermittelter Kennwert unter diesem Sollwert liegt. Nachteilig an der JP 09039790 ist unter anderem, dass bei einer fehlerhaften bzw. defekten Federung irrtümlich ein entgleister Zustand detektiert werden kann.

[0013] Die JP 10278795 A offenbart ein Entgleisungsdetektor, der einen kapazitiven Beschleunigungssensor aufweist, welcher an einem Schienenfahrzeug angeordnet ist und Beschleunigungen in vertikaler Richtung aufnimmt. Der Ausgang eines Zählers, der Änderungen des Beschleunigungssignals in Frequenzänderungen umrechnet, ist mit einem Mikrocomputer verbunden, welcher feststellen kann, ob ein entgleister Zustand vorliegt. Auch dieser Entgleisungsdetektor weist den Nachteil auf, dass mit ihm keine quantitative und qualitative Analyse eines entgleisten Zustandes bzw. eines vorkritischen Entgleisungszustandes möglich.

[0014] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit den bekannten Vorrichtungen zur Entgleisungsdetektion nur eine bestimmte Art von Entgleisungszustand detektiert werden kann und die Fehleranfälligkeit sehr hoch ist.

[0015] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, einen Weg zu schaffen, der es ermöglicht einen Entgleisungszustand mit großer Sicherheit festzustellen und einen folgenschweren Unfall zu verhindern.

[0016] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst dass, im Bereich einer Achslagerung zumindest eines Rades zumindest ein Beschleunigungssignal erzeugt wird, und/oder an zumindest zwei Punkten eines Drehgestellrahmens kontinuierlich die jeweilige Längsbeschleunigung ermittelt und als Längsbeschleunigungssignal erfasst wird und/oder an zumindest einer Radachse ein Drehfrequenzsignal erzeugt wird, wobei aus dem zumindest einem, im Bereich einer Achslagerung erzeugten Beschleunigungssignal und/oder den Längsbeschleunigungssignalen und/oder aus dem zumindest einen Drehfrequenzsignal der zumindest eine,

für einen Entgleisungszustand charakteristische Kennwert ermittelt wird.

[0017] Diese Lösung gestattet eine umfassende Analyse der auf das Drehgestell eines Schienenfahrzeuges wirkenden Beschleunigungen, aus deren Verlauf mit hoher Sicherheit auf einen Entgleisungszustand einzelner Räder bzw. Radsätze sowie ganzer Drehgestelle zurückgeschlossen werden kann.

[0018] Günstigerweise werden zur Berechnung des Kennwertes Signalwerte des zumindest einen im Bereich eines Achslagers erzeugten Beschleunigungssignals, die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation unterworfen, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet.

[0019] Zur Berechnung eines ersten für einen Entgleisungszustand charakteristischen Kennwertes wird anhand des zumindest einen Beschleunigungssignals und des zumindest einen Drehfrequenzsignals der Durchmesser des Rades des Schienenfahrzeuges ermittelt, wobei anhand von Änderungen des Raddurchmessers der erste für einen entgleisten Zustand charakteristische Kennwert berechnet wird.

[0020] Bevorzugt wird dabei an zumindest zwei in Fahrtrichtung hintereinanderliegenden Achslagerungen je zumindest ein Beschleunigungssignal und an den Achsen der in diesen Achslagern gelagerten Rädern je zumindest ein Drehfrequenzsignal erzeugt.

[0021] In weiterer Folge wird zur Berechnung des Durchmessers des Rades eine für die befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz ermittelt.

[0022] Die Berechnung des ersten Kennwertes lässt sich dadurch vereinfachen, dass Signalwerte, die innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls liegen, einer Fouriertransformation unterworfen werden und aus der Fouriertransformierten der Signalwerte die für eine befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz ermittelt wird, die zumindest einem in Bezug auf die Fahrtrichtung vorderen und/oder hinteren Rad zugeordnet ist. In weiterer Folge kann die Phasenlage der Schwellenfachschwingung ermittelt und die Phasendifferenz der einem vorderen und einem hinteren Rad zugeordneten Schwellenfachschwingung gebildet werden. Aus der Phasendifferenz der Schwellenfachschwingung kann sodann der Schwellenabstand berechnet und aus dem Schwellenabstand und der Schwellenfachfrequenz die Fahrgeschwindigkeit ermittelt werden. Der Durchmesser des Rades lässt sich dann aus der Drehfrequenz der Achse und der Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeuges berechnen.

[0023] Zur Bildung eines zweiten Kennwertes zur Charakterisierung eines entgleisten Zustandes kann aus dem zumindest einen, im Bereich einer Achslagerung aufgenommenen Beschleunigungssignal, gegebenenfalls aus den Transformierten der Signalwerte, eine vorgebbare Anzahl von Radunrundheitsharmoni-

schen ermittelt werden. Im Rahmen der Berechnung des zweiten Kennwertes kann weiters aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen ein Mittelwert gebildet werden.

[0024] Vorteilhafterweise werden die Phasenlagen der Radunrundheitsharmonischen bestimmt, wobei der Verlauf der Phasenlagen zur Kennwertbildung herangezogen wird.

[0025] Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung des zweiten Kennwertes besteht darin, eine Kepstralanalyse des zumindest einen, weiteren Beschleunigungssignals durchzuführen.

[0026] Eine vorteilhafte Variante der Erfindung zur Bildung eines dritten Kennwertes besteht darin, das Frequenzbereiche, die in der Nähe der Resonanzfrequenzen des Rades liegen, kontinuierlich mit einem zu einem anderen Zeitpunkt aufgenommenen Spektrum verglichen werden.

[0027] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich dadurch weiter verbessern, dass anhand der Drehfrequenz die Winkelbeschleunigung und/oder die Winkelgeschwindigkeit der Radachse bestimmt wird und anhand der Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsverläufe ein vierter für einen entgleisten Zustand charakteristischer Kennwert ermittelt wird.

[0028] Zur Bildung eines fünften Kennwertes kann innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters die Kreuzkorrelationsfunktion zweier im Bereich der Achslagerungen aufgenommener Beschleunigungssignale, die je einem vorderen und einem hinteren Rad zugeordnet sind, berechnet werden.

[0029] Eine einfach zu realisierende Variante der Erfindung besteht darin, anhand der Lage und/oder der Amplitude des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion den fünften Kennwert zu bestimmen.

[0030] In einer bevorzugten Variante der Erfindung wird je zumindest ein Längsbeschleunigungssignal in einem vorgebbaren Abstand von und zu beiden Seiten der Längsmittlebene des Drehgestells erzeugt, welches den Beschleunigungsverlauf des Drehgestells in Längsrichtung wiedergibt und weiters wird zumindest ein Querschleunigungssignal erzeugt, das den Verlauf der Beschleunigung des Drehgestells parallel zur Schienenenebene und normal zur Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges wiedergibt, wobei aus den Beschleunigungssignalen ein sechster Kennwert gebildet wird.

[0031] Zur Bildung des sechsten Kennwertes aus den Beschleunigungssignalen kann die Tangentialbeschleunigung des Schwerpunktes des Drehgestells und die Rotationsbeschleunigung um den Schwerpunkt berechnet werden. Anhand der Verläufe der berechneten Tangential und Rotationsbeschleunigung kann hierauf der sechste Kennwert berechnet werden.

[0032] Zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich insbesondere eine Vorrichtung zur Erkennung entgleister Zustände von Rädern eines Schienenfahrzeuges mit zumindest einem Drehgestell,

wobei an dem Schienenfahrzeug zumindest ein Beschleunigungssensor vorgesehen ist, der mit einer Auswerteeinheit in Verbindung steht, die dazu eingerichtet ist, von dem zumindest einem Beschleunigungssensor Beschleunigungssignale zu empfangen sowie daraus zumindest einen für einen Entgleisungszustand charakteristischen Kennwert zu ermitteln und diesen Kennwert mit zumindest einem vorgebbaren Sollwert zu vergleichen, wobei die Auswerteeinheit weiters dazu eingerichtet ist, bei Überschreiten einer vorgebbaren Abweichung des Kennwertes von dem Sollwert ein Hinweissignal zu generieren und/oder eine Notbremsung einzuleiten, wobei in dem Bereich eines Achslagers zumindest eines Rades zumindest ein Beschleunigungssensor angeordnet ist, und/oder an zumindest zwei Punkten des Drehgestells je zumindest ein Längsbeschleunigungssensor angeordnet ist, der dazu eingerichtet ist, die jeweilige Längsbeschleunigung zu messen und/oder an zumindest einer Radachse eines Rades zumindest ein Drehfrequenzsensor angeordnet ist, der mit der Auswerteeinheit in Verbindung steht.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, zur Berechnung des Kennwertes Signalwerte des zumindest einen, im Bereich eines Achslagers erzeugten Beschleunigungssignals, die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenz/Phasenbereich abbildet, zu unterwerfen.

[0034] Es hat sich in der Praxis bewährt, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, anhand des zumindest einen im Bereich eines Achslagers aufgezeichneten Beschleunigungssignals und des Drehfrequenzsignals den Durchmesser des Rades zu ermitteln, und anhand von Änderungen des Raddurchmessers einen ersten für einen entgleisten Zustand charakteristischen Kennwert zu berechnen.

[0035] Vorteilhafterweise ist an zumindest zwei in Fahrtrichtung hintereinanderliegenden Achslagern je zumindest ein Beschleunigungssensor vorgesehen, wobei an jeder Achse der in diesen Achslagern gelagerten Räder zumindest ein Drehfrequenzsensor angeordnet ist.

[0036] Weiters ist es von Vorteil, wenn die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, zur Berechnung des Durchmessers des Rades und/oder der Fahrtgeschwindigkeit eine für die befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz zu ermitteln und aus der Fouriertransformierten der Signalwerte des zumindest einen weiteren Beschleunigungssignals die zumindest einem in Bezug auf die Fahrtrichtung vorderen und/oder hinteren Rad zugeordnete Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz zu ermitteln.

[0037] Weiters ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, aus der Phasendifferenz der Schwellenfachschwingung den Schwellenabstand zu berechnen und

aus dem Schwellenabstand und der Schwellenfachfrequenz die Fahrgeschwindigkeit zu ermitteln.

[0038] Zur Ermittlung des ersten Kennwertes ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, den Durchmesser des Rades aus der Drehfrequenz der Achse und der Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeuges zu berechnen.

[0039] Eine vorteilhafte Variante der Erfindung sieht vor, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, aus dem zumindest einen Beschleunigungssignal, gegebenenfalls aus den Transformatoren der Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals, eine vorgebbare Anzahl von Radunrundheitsharmonischen zu ermitteln und daraus einen zweiten, für einen entgleisten Zustand eines Schienenfahrzeuges charakteristischen Kennwert zu berechnen.

[0040] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, zur Berechnung des zweiten Kennwertes aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen ein Mittelwert zu bilden.

[0041] Eine in der Praxis bewährte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, zur Ermittlung des zweiten Kennwertes eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals durchzuführen.

[0042] Die Betriebssicherheit lässt sich dadurch erhöhen, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, anhand des Drehfrequenzsignals die Winkelbeschleunigung und/oder die Winkelgeschwindigkeit der Radachse zu bestimmen und anhand der Winkelgeschwindigkeits- bzw. Winkelbeschleunigungsverläufe einen vierten für einen entgleisten Zustand charakteristischen Kennwert zu ermitteln.

[0043] Weitere Vorteile lassen sich dadurch erzielen, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, einen fünften Kennwertes zu bilden, und hierzu innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters die Kreuzkorrelationsfunktion zweier im Bereich der Achslagerungen aufgenommener, Beschleunigungssignale, die je einem vorderen und einem hinteren Rad zugeordnet sind, zu berechnen.

[0044] Eine einfach zu realisierende Variante der Erfindung besteht darin, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, anhand der Lage und/oder der Amplitude des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion den fünften Kennwert zu bestimmen.

[0045] Eine günstige Variante der Erfindung sieht vor, dass zu beiden Seiten der Längsmittlebene des Drehgestells je zumindest ein Längsbeschleunigungssensor angeordnet ist und zumindest ein weiterer Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Querbeschleunigung an dem Drehgestell angeordnet ist, wobei die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, von den Längsbeschleunigungssensoren Längsbeschleunigungssignale und von dem weiteren Beschleunigungssensor zumindest ein Querbeschleunigungssignal zu empfangen und aus den Längsbeschleunigungssignalen, welche den Ver-

lauf der Längsbeschleunigung des Drehgestells wiedergeben und dem Beschleunigungssignal, welches den Verlauf der Querbeschleunigung des Drehgestells wiedergibt, einen sechsten Kennwert zu bilden.

[0046] Zu diesem Zweck kann die Auswerteeinheit dazu eingerichtet sein, aus den Beschleunigungssignalen die Tangentialbeschleunigung des Schwerpunktes des Drehgestells und die Rotationsbeschleunigung um den Schwerpunkt zu berechnen, um anhand der Verläufe dieser Beschleunigungen den sechsten Kennwert zu berechnen.

[0047] Die Erfindung samt weiterer Vorteile ist im folgenden anhand einiger nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, die in der Zeichnung veranschaulicht sind dargestellt, in dieser zeigen schematisch:

Fig. 1 ein Drehgestell eines Schienenfahrzeuges in Seitenansicht mit einer Anordnung von Beschleunigungssensoren gemäß der Erfindung zur Ermittlung eines entgleisten Zustandes in seitlicher Ansicht,

Fig. 2 das Drehgestell aus Fig. 1 in Draufsicht,

Fig. 3 einen Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrum zweier Beschleunigungssignale, die von zwei in Fahrtrichtung hintereinanderliegenden Achslagern stammen,

Fig. 4 einen Ausschnitt aus einem Phasenspektrum zweier Beschleunigungssignale, die von zwei in Fahrtrichtung hintereinanderliegenden Achslagern stammen,

Fig. 5 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines ersten Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 6 den Verlauf des berechneten Durchmessers eines korrekt auf Schienen laufenden Rades,

Fig. 7 den Verlauf des berechneten Durchmessers eines entgleisten Rades,

Fig. 8 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines zweiten Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 9 einen Radsatz mit einem auf den Schienenkopf aufgeklebten Spurkranz eines Rades in frontaler Ansicht,

Fig. 10 ein auf einem Betonbett laufendes entgleistes Rad in seitlicher Ansicht,

Fig. 11 einen entgleisten Radsatz mit auf einem Betonbett laufenden Rädern in frontaler Ansicht,

- Fig. 12 ein auf einer Schwellenbahn laufendes entgleistes Rad in seitlicher Ansicht,
- Fig. 13 einen entgleisten Radsatz mit auf einer Schwellenbahn laufenden Rädern in frontaler Ansicht,
- Fig. 14 einen Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrum eines Beschleunigungssignals, bei welchem auf der Ordinate die Beschleunigung und auf der Abszisse die Frequenzen aufgetragen sind,
- Fig. 15 einen weiteren Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrum eines Beschleunigungssignals,
- Fig. 16 ein Kepstrum des Amplitudenspektrums aus Fig. 15,
- Fig. 17 ein Ausschnitt aus einem breitbandigen Amplitudenspektrum eines Beschleunigungssignals mit hervorgehobenen Resonanzstellen,
- Fig. 18 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines dritten Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 19 einen allgemeinen Verlauf der Drehfrequenz der Achse eines auf Schienen fahrenden Radsatzes während einer Fahrt, bei welchem auf der Ordinate die Drehfrequenz und auf der Abszisse die Zeit aufgetragen sind,
- Fig. 20 einen Ausschnitt aus Fig. 19 bei relativ konstanter Fahrtgeschwindigkeit,
- Fig. 21 den in Fig. 20 dargestellten Bereich des Verlaufes der Drehfrequenz für einen entgleisten Radsatz,
- Fig. 22 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines vierten Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 23 einen Ausschnitt aus der Kreuzkorrelationsfunktion zweier Beschleunigungssignale, die von hintereinander liegenden Achslagern, die auf der selben Drehgestellseite angeordnet sind stammen,
- Fig. 24 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines fünften Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 25 eine Beschleunigungsverteilung an einem Drehgestell,
- Fig. 26 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines sechsten Teiles einer Auswerteeinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und
- 5 Fig. 27 ein vereinfachtes Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.
- [0048]** Gemäß Fig. 1 sind für eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung eines entgleisten Zustandes eines Schienenfahrzeuges zwei Beschleunigungssensoren BS1, BS2 mit vertikaler Wirkrichtung vorgesehen, die in Fahrtrichtung FA1, FA2 des Drehgestells DRE des Schienenfahrzeuges hintereinanderliegend je im Bereich eines Achslagers angeordnet sind. Die möglichen Fahrtrichtungen FA1, FA2 des Schienenfahrzeuges sind durch Pfeile angedeutet.
- [0049]** Beim Überfahren von Schwellen SWE werden aufgrund der Steifigkeitsvariation der Geleise - im Bereich einer Schwelle SWE ist die Steifigkeit gegenüber einem zwischen zwei Schwellen SWE gelegenen Gleisabschnitt erhöht - Schwingungen in dem Drehgestell DRE induziert. Diese Schwingungen sind in Form charakteristischer Beschleunigungsschwankungen im Bereich der Achslagerungen AX1, AX2, AX3, AX4 messbar, wobei ein ausgewählter Schwingungsanteil, die sogenannte Schwellenfachschwingung, Rückschlüsse auf den Schwellenabstand d_s bzw. die Fahrtgeschwindigkeit des Schienenfahrzeuges zulässt.
- [0050]** Der Schwellenabstand d_s zwischen zwei Schwellen SWE entspricht dabei im wesentlichen einer Periode der Schwellenfachschwingung.
- [0051]** Ein wesentliches Element der vorliegenden Erfindung ist die Erkenntnis, dass besonders repräsentative Messergebnisse erzielt werden können, wenn die Wirkungsrichtung der Beschleunigungssensoren BS1, BS2 im wesentlichen normal zur Schienenenebene oder parallel zur Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges verläuft. In der Zeichnung ist die Fahrtrichtung FA1, FA2 bzw. die Wirkungsrichtung der Beschleunigungssensoren BSE mit Pfeilen dargestellt.
- [0052]** Unter Wirkungsrichtung eines Beschleunigungssensors BSE wird in diesem Dokument die Richtung verstanden, in welcher der Sensor Beschleunigungskräfte aufnehmen und Signale liefern kann.
- [0053]** Die Beschleunigungssensoren BS1, BS2 können beispielsweise als piezoelektrische Sensoren ausgebildet sein, bei welchen in bekannter Weise ein piezoelektrischer Kristall zwischen zwei parallel zueinander verlaufenden Kondensatorplatten angeordnet ist. Findet diese Art von Sensoren Verwendung so kann man dadurch, dass die beiden Kondensatorplatten im wesentlichen parallel zur Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges verlaufen, eine normal zu der Fahrtrichtung FA1, FA2 verlaufende Wirkungsrichtung WIR der Beschleunigungssensoren BSE erreichen. Selbstverständlich können auch andere bekannte Beschleunigungssensoren, die auf anderen Mechanismen beruhen, verwendet werden.

[0054] Aus der Schwellenfachfrequenz kann bei bekanntem Schwellenabstand d_s die Relativgeschwindigkeit des Rades RA1, RA2, RA3, RA4 entlang der Schiene bzw. der Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeuges nach folgender Formel bestimmt werden:

$$V = v_{SF} * d_s,$$

wobei V die Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeuges und v_{SF} die Schwellenfachfrequenz bezeichnen.

[0055] Die Position der Schwellenfachfrequenz im Frequenzspektrum geht sowohl direkt als auch indirekt in die soeben erwähnte Formel zur Bestimmung der Fahrgeschwindigkeit V über die Bestimmung des Schwellenabstandes d_s ein und muss daher möglichst exakt bestimmt werden.

[0056] Als Maß für den in Frage kommenden Frequenzbereich wird die Drehfrequenz v_{WELLE} einer Achse AC1, AC2 herangezogen, wobei die noch unbekannteste Größe des Raddurchmessers D berücksichtigt werden muss.

[0057] Nach Fig. 2 kann die Drehfrequenz der Achse AC1, AC2 durch einen Drehfrequenzsensor DFS, beispielsweise ein an der Achse AC1, AC2 angeordneter, bekannterweise für diesen Zweck verwendeter, elektromagnetischer Drehfrequenzsensor DES, ermittelt werden. Zur Erfassung von Beschleunigungen des Drehgestells DRE normal zur Schienenebene SCE ist im Bereich jeder Achslagerung AX1, AX2, AX3, AX4 ein Beschleunigungssensor BS1, BS2, BS3, BS4 angeordnet.

[0058] Weiters sind zur Erfassung von Beschleunigungen des Drehgestells DRE in einer Ebene parallel zur Schienenebene weitere Sensoren BS5, BS6, BS7 an dem Drehgestell vorgesehen, deren Signalauswertung weiter unten beschrieben ist.

Unter der Annahme eines gleitfreien Abrollens kann die Fahrgeschwindigkeit V sowohl über die Schwellenfachfrequenz v_{SF} als auch über die Drehfrequenz v_{WELLE} der Achse AC1, AC2 bestimmt werden:

$$V = v_{SF} * d_s$$

$$V = v_{welle} * D * \pi.$$

[0059] Durch Gleichsetzen der beiden Geschwindigkeitsausdrücke kann der Zusammenhang zwischen der Schwellenfachfrequenz v_{SF} und der Drehfrequenz v_{WELLE} der Achse AC1, AC2 ermittelt werden:

$$v_{SF} = \frac{D * \pi * v_{Welle}}{d_s},$$

vereinfacht lässt sich dies in der Form

$v_{SF} = \alpha * v_{welle}$ schreiben, wobei

$$\alpha = \frac{D * \pi}{d_s} \text{ gesetzt wurde.}$$

[0060] Im Falle eines ICE-2 Zuges verläuft der tolerierbare Bereich des Raddurchmessers D von 860 bis 920 mm, woraus sich beispielsweise folgende Proportionalitätsfaktoren α für den Zusammenhang zwischen der Schwellenfachfrequenz und der Drehfrequenz der Radachse in Abhängigkeit von dem Raddurchmesser D und dem Schwellenabstand d_s ergeben:

d_s /cm	D /cm	α
60	86	4,5
60	92	4,82
65	86	4,16
65	92	4,45

[0061] Nach Fig. 3 liegt im Fall des obigen Beispiels die Schwellenfachfrequenz v_{SF} im Spektrum der Amplituden der im Achslagerbereich aufgenommenen Beschleunigungssignale SI1, SI2 zwischen der vierten und fünften Radunrundheitsharmonischen RH4, RH5 und kann ungestört von diesen bestimmt werden. Unter Radunrundheitsharmonischen werden in diesem Dokument erzwungene periodische Schwingungen verstanden, die durch Abweichungen des Radquerschnittes von der Kreisform hervorgerufen werden. Die Grundharmonische der Radunrundheitsharmonischen RH1 liegt exakt bei der Drehfrequenz der Achse AC1, AC2.

[0062] Unter dem Begriff Harmonische werden in diesem Dokument Spektrallinien verstanden, deren Frequenzen zueinander ein ganzzahliges Verhältnis aufweisen. Dies tritt insbesondere bei der Fouriertransformation von periodischen, nicht sinusförmigen Signalen auf. Die Grundharmonische ist dabei die Harmonische mit der niedrigsten Frequenz, welche dem Kehrwert der Periodendauer eines solchen Signals entspricht. Bei ihr beginnt die Nummerierung mit 1. Alle höherfrequenten Harmonischen ("Oberschwingungen") werden in diesem Dokument entsprechend ihrem Frequenzverhältnis zur Grundharmonischen nummeriert, d. h. die erste Oberschwingung ist die zweite Harmonische.

[0063] Ausgehend von den zu erwartenden Schwellenabständen in Kombination mit den tolerierbaren Raddurchmessern kann anhand der Formeln

$$v_{SF}(D) = \frac{D * \pi * v_{Welle}}{d_s},$$

und

$$\Delta v = \Delta D \frac{\pi * v_{Welle}}{d_s} \text{ mit}$$

$$\Delta D = D_1 - D_2,$$

wobei D_1 der oberen Grenze und D_2 der unteren Grenze des tolerierbaren Raddurchmessers entsprechen, der Frequenzbereich $v_{SF} (D_2) \Delta v$ für die Suche der Schwellenfachfrequenz v_{SF} bestimmt werden. Hierbei werden ganzzahlige Vielfache der Drehfrequenz v_{WELLE} der Achse AC1, AC2 samt einen Sicherheitsabstand ausgenommen, um eine Verwechslung mit Radunrundheitsharmonischen RH4, RH5 auszuschließen.

[0064] Innerhalb des soeben bestimmten Frequenzbereichs $v_{SF} (D_2) \Delta v$ wird beispielsweise das Maximum bestimmt, wobei gewisse Anforderungen an den Absolutwert der Amplitude oder an das Verhältnis der Amplitude zum Rauschpegel gestellt werden können, um eine eindeutige Erkennung zu gewährleisten.

[0065] Grundlage für die Bestimmung des Raddurchmessers D ist die Identität der aus der Schwellenfachfrequenz v_{SF} ermittelten Fahrtgeschwindigkeit V und der aus der Drehfrequenz v_{WELLE} bestimmten Fahrtgeschwindigkeit unter der Annahme einer reinen Rollbewegung. Der Raddurchmesser D kann nach der Ermittlung der exakten Schwellenfachfrequenz v_{SF} mit folgender Formel berechnet werden:

$$D = \frac{d_s * v_{SF}}{\pi * v_{Welle}}$$

[0066] Für eine exakte Bestimmung der Fahrtgeschwindigkeit V bzw. des Raddurchmessers D ist eine genaue Kenntnis des Schwellenabstandes d_s notwendig. Da unterschiedliche Normen existieren, kann diese Größe nicht als Konstante angesehen werden, sondern muss messtechnisch erfasst werden.

[0067] Das hier vorgeschlagene Verfahren macht sich zu diesem Zweck die Phasenverschiebung der Schwingung an zwei längs der Schiene versetzten Radsätzen zunutze, deren geometrischer Abstand 1 exakt bekannt ist.

[0068] Nach Fig. 4 sind die Phasen φ der Beschleunigungssignale SI1, SI2 zueinander verschoben. Die Ursache für die Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ kann darin gesehen werden, dass der Abstand 1 der Auflageflächen der Räder RA1, RA2, RA3, RA4 auf den Schienen üblicherweise nicht exakt mit einem ganzzahligen Vielfachen des Schwellenabstandes d_s übereinstimmt. Bei Fahrtrichtung FA1 nach links in Fig. 1 weist das zweite Beschleunigungssignal SI2 gegenüber dem ersten Beschleunigungssignal SI1 eine nachlaufende Phasenlage auf. Bei entgegengesetzter Fahrtrichtung FA2 kehrt sich das Vorzeichen um, was jedoch ebenfalls bei einer entsprechenden Verlängerung bzw. Verkürzung des

Schwellenabstandes d_s eintritt. Um diese Effekte voneinander unterscheiden zu können, muss die Fahrtrichtung FA1, FA2 bekannt sein, beispielsweise durch Bildung der Kreuzkorrelationsfunktion der beiden Beschleunigungssignale SI1, SI2, sonst ist es notwendig, die Existenz gewisser Schwellenabstände d_s auszuschließen.

[0069] Zur Bestimmung der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ ist es wichtig, dass die Phasenlage φ dem Phasenspektrum bei derselben Frequenz v - der Schwellenfachfrequenz v_{SF} - entnommen wird. Theoretisch sind die beiden Beschleunigungssignale SI1, SI2 in Bezug auf die Schwellenfachschwingung identisch und phasenverschoben.

[0070] Um die Schwellenfachfrequenz v_{SF} in dem Phasenspektrum zu ermitteln, wird die Schwellenfachfrequenz v_{SF} für jedes Beschleunigungssignal SI1, SI2 aus dem Amplitudenspektrum ermittelt und das arithmetische Mittel dieser beiden Werte gebildet. Dieser Mittelwert wird dann in dem Phasenspektrum als Schwellenfachfrequenz v_{SF} identifiziert und bei dieser Frequenz die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ der Phasenlage φ (SI1, SI2) der beiden Schwellenfachschwingungen gebildet.

[0071] Da die Phasen zwischen -180° und $+180^\circ$ verlaufen, ist die Anzahl der vollständigen Perioden der Schwellenfachschwingung im Bereich zwischen den beiden Rädern RA1, RA2, RA3, RA4 unbekannt. Diese Information muss deshalb vorausgesetzt werden.

[0072] Unter der Annahme einer bekannten Anzahl von vollständigen Perioden N lässt sich der Schwellenabstand d_s bei bekanntem Abstand 1 der Achsen AC1 und AC2 durch folgende Formel berechnen:

$$d_s = \frac{l[m]}{N + \frac{\Delta\varphi[rad]}{2\pi}}$$

[0073] Eine Zuordnung verschiedener Werte von vollständigen Perioden N zu einigen Schwellenabständen d_s kann bei einem Abstand 1 der Achsen AC1 und AC2 von beispielsweise 2,5 m wie unten angeführt erfolgen:

d_s/cm	N
41,7 - 50,0	5
50,0 - 62,5	4
62,5 - 83,3	3

[0074] Es ist also notwendig den Bereich in dem der Schwellenabstand d_s einer vorgegebenen Strecke liegt zu kennen, um den exakten Schwellenabstand d_s dieser Strecke zu berechnen.

[0075] Variiert der Schwellenabstand d_s zwischen mehreren Bereichen, kann anhand der Phasendifferenz auf den korrekten Wert von vollständigen Perioden N und somit auf den Schwellenabstand d_s geschlossen werden.

[0076] Wie bereits oben erwähnt ist es notwendig, um das korrekte Vorzeichen der Phasendifferenz zu erhalten die Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges zu kennen. Dieser Sachverhalt geht auch unmittelbar aus der verwendeten Formel zur Berechnung der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ hervor:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{vor}} - \varphi_{\text{nach}}$$

[0077] Im Fall der Fahrtrichtung FA1 entspricht in der soeben angeführten Formel φ_{vor} der Phasenlage der aus dem Beschleunigungssignal SI1, welches von dem in Fahrtrichtung FA1 vor dem anderen Beschleunigungssensor BSE gelegenen Beschleunigungssensor BS1 stammt, berechneten Schwellenfachschwingung und φ_{nach} der Phasenlage der Schwellenfachschwingung, die dem Beschleunigungssignal SI2 zugeordnet ist, welches von dem anderen Beschleunigungssensor BS2 aufgenommen wird.

[0078] Voraussetzung für eine eindeutige Zuordnung der beiden Vorzeichenbereiche ist, wie bereits oben erwähnt, die Kenntnis der Fahrtrichtung FA1, FA2. Ist diese Information nicht verfügbar, kann man dennoch durch eine Beschränkung auf vorgebbare Werte der Schwellenabstände d_s eine eindeutige Entscheidung aufgrund des Absolutbetrages der Phasendifferenz der Schwellenfachschwingung treffen.

[0079] Es hat sich gezeigt, dass aufgrund der Empfindlichkeit der Methode auch Verdrehungen des Drehgestells DRE gegenüber den Schienen - was einer Verkürzung des Abstandes 1 der Achsen AC1, AC2 entspricht - die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ merklich beeinflussen. Da die Verlegung der Schwellen im Mittel sehr exakt erfolgt, hat die Verkürzung des Abstandes 1 bei einem konstanten Schwellenabstand d_s einen größeren Einfluss auf die Beschleunigungssignale SI1, SI2 als Schwankungen des Schwellenabstandes d_s . Aus diesem Grund wird die oben beschriebene Methode nur zur Erkennung der jeweiligen Verlegenorm angewendet, für die weiteren Berechnungen wird dann der ermittelte Normabstand verwendet.

[0080] Gemäß Fig. 5 werden die von den Beschleunigungssensoren BS1, BS2 aufgenommenen Beschleunigungssignale SI1, SI2 und die von dem Drehfrequenzsensor DFS aufgenommenen Drehfrequenzsignale DSI an eine Auswerteeinheit ASW übermittelt. Die Übertragung der Signale von den Beschleunigungssensoren BS1, BS2 und dem Drehfrequenzsensor DFS an die Auswerteeinheit ASW kann mittels elektrischer Leitungen, optischer Leitungen oder drahtlos erfolgen.

[0081] In der Auswerteeinheit werden Signalwerte der Beschleunigungssignale SI1, SI2 die in einem vorgebbaren Zeitintervall/Zeitfenster liegen, beispielsweise 2,5 s, einer Fouriertransformation FFT unterworfen. Zum Begriff der Zeitfensterung siehe E. Schrüfer "Signalverarbeitung: Numerische Verarbeitung digitaler Signale" 2. Aufl. - München; Wien: Hanser 1992; S. 167 -

S. 180.

[0082] Schaltungen und Verfahren zur Durchführung einer Fouriertransformation, insbesondere einer Fast Fouriertransformation sind dem Fachmann bekannt und beispielsweise in der EP 402 145 und in "Sprachverarbeitung" von B. Eppinger und E. Herter; Hanser Verlag München Wien 1993 S. 68- 71 beschrieben.

[0083] Aus jeder Fouriertransformierten wird hierauf die Schwellenfachfrequenz v_{SF} und die Phasenlage φ der Schwellenfachschwingung ermittelt.

[0084] Ist der Schwellenabstand d_s nicht von vorneherein bekannt, so wird die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ der einem vorderen und einem hinteren Rad zugeordneten Schwellenfachschwingung gebildet.

[0085] Aus der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ der Beschleunigungssignale SI1, SI2 wird der Schwellenabstand d_s nach oben beschriebener Methode berechnet.

[0086] Aus der Schwellenfachfrequenz v_{SF} erfolgt so dann die Berechnung des Raddurchmessers D gemäß dem soeben beschriebenen Verfahren.

[0087] Rollt das Rad beispielsweise mit dem Spurkranz auf der Schiene, so sinkt die Drehgeschwindigkeit des betroffenen Rades/Radsatzes entsprechend des Durchmesserunterschiedes zwischen der Lauffläche und der Spurkranzkante, ohne dass die Zuggeschwindigkeit währenddessen merklich variiert - die Schwellenfachfrequenz bleibt dabei gleich. Da sich jedoch die Drehfrequenz v_{WELLE} der Welle ändert, entspricht gemäß der bereits oben erwähnten Formel

$$D = \frac{d_s * v_{SF}}{\pi * v_{Welle}}$$

ein entgleister Zustand einer Änderung des Durchmessers D. Ein Auflaufen des Spurkranzkante, wie es in Fig. 9 dargestellt ist, entspricht beispielsweise bei einem ICE-Zug im wesentlichen einer Erhöhung des Raddurchmessers um 5 % gegenüber einem nicht entgleisten Zustand. In Fig. 6 ist der Verlauf des berechneten Durchmessers D eines auf der Schiene laufenden Rades und im Vergleich dazu in Fig. 7 der berechnete Durchmesser D eines Rades im entgleisten/aufgekletterten Zustand dargestellt.

[0088] Zur Ermittlung eines zweiten Kennwertes KEN2 ist, wie bereits in Fig. 2 gezeigt, an dem Drehgestell DRE im Bereich jeder Achslagerung AX1, AX2, AX3, AX4 ein Beschleunigungssensor BS1, BS2, BS3, BS4 angeordnet.

[0089] Über die Drehbewegung einer starr mit einem Innenring eines Wälzlagers verbundenen Radachse werden während einer Fahrt des Schienenfahrzeuges Schwingungen in dem Drehgestell induziert. Diese Schwingungen sind in Form lokaler Beschleunigungsschwankungen an der Achslagerung AX1, AX2, AX3, AX4 der Radachse messbar, wobei ausgewählte Schwingungsanteile, die sogenannten Radunrundheitsharmonischen, Rückschlüsse auf einen entglei-

sten Zustand zulassen.

[0090] Bei den Radunrundheitsharmonischen handelt es sich, wie bereits oben erwähnt, um erzwungene periodische Schwingungen, die durch Abweichungen des Radquerschnittes von der Kreisform hervorgerufen werden. Der dem Entstehen von Radunrundheitsharmonischen zugrundeliegende Mechanismus kann wie folgt verstanden werden: Das Abrollen der nicht runden Räder verursacht Erschütterungen des Drehgestells. Eine Stelle an der Lauffläche des Rades wird dabei die in einem zeitlichen Abstand überrollt, der dem Kehrwert der Drehfrequenz der Radachse entspricht. Eine Beschädigung/Entgleisung der Lauffläche führt daher zu einer Stoßfolge mit der Drehfrequenz der Radachse und induziert eine Radunrundheitsschwingung in der Achslagerung des betreffenden Rades, deren Grundfrequenz exakt mit der Drehfrequenz der Radachse übereinstimmt. Durch die unterschiedliche Form der Kontaktstellen von (ordentlicher) Lauffläche bzw. Spurkranz mit der Schienenoberfläche oder einem anderen Untergrund und der daraus resultierenden unterschiedlichen Radunrundheitsharmonischen kann auf ein Auflaufen des Spurkranzes bzw. einen entgleisten Zustand geschlossen werden.

[0091] Gemäß Fig. 8 werden aus den Fouriertransformierten der Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4 in der Auswerteeinheit ASW die Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10, auf die weiter unten erläuterte Weise ermittelt.

[0092] Die Grundschiwingung bzw. Grundharmonische der Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10 liegt in einer Spektraldarstellung der Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4, wie bereits oben erwähnt, exakt bei der Drehfrequenz der Radachse. Zur genauen Ermittlung dieser Drehfrequenz kann an der Radachse ein Drehfrequenzsensor DFS angeordnet sein.

[0093] Zur Bestimmung eines entgleisten Zustandes kann als zweiter Kennwert KEN2 der Mittelwert der Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10 gebildet und beispielsweise mit einem vorgebbaren Sollwert SOL2 verglichen werden. Je nach Betrag der Abweichung dieses Kennwertes KEN2 von dem Sollwert SOL2 kann ein Rückschluss auf einen entgleisten Zustand erfolgen.

[0094] Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass Wertebereichen bzw. Werten des soeben erwähnten Kennwertes ein bestimmtes Stadium des Entgleisungszustandes entspricht. Ein bestimmter Wert/Wertebereich des zweiten Kennwertes KEN2 entspricht beispielsweise einem Aufklettern des Spurkranzes SPK auf den Schienenkopf SKO gemäß Fig. 9, ein anderer Wert/Wertebereich einem auf einem Betonbett BET abrollenden Rad, wie in Fig. 10 und 11 dargestellt, und wieder ein anderer Wert/Wertebereich einem über Schwellen laufenden Rad, wie in Fig. 12 und Fig. 13 dargestellt. Ein direkter Vergleich mit einem Sollwert SOL ist in diesem Fall nicht notwendig.

[0095] Zusammenfassend lässt sich zur Bestimmung

des zweiten Kennwertes KEN2 sagen, dass einerseits der Spurkranz SPK ein anderes Unrundheitsprofil als die Lauffläche LAU seines Rades aufweist und dass ein Schwellenoberbau, beispielsweise ein Betonbett BET, andererseits eine völlig unterschiedliche Laufunterlage als die Schiene bietet. Diese Änderungen der Rollgeometrie wirken sich rasch im Spektrum aus.

[0096] Im Fall einer vollständigen Entgleisung, aber auch im vorkritischen Zustand, wandert gemäß Fig. 9 und Fig. 11 sowie Fig. 13 die betriebsnormale Kontaktstelle sowohl in Bezug auf die Räder als auch auf den Schienenkopf SKO somit ändert sich das Gesamtspektrum der Radharmonischen und der Schwellenfachharmonischen. Eine rasche und singuläre Änderung in Bezug auf das Drehgestell der oben genannten Größen wird als entgleister Zustand eines Radsatzes erkannt und gemeldet.

[0097] Nach Fig. 14 weisen die Amplituden A der Radunrundheitsharmonischen RH0, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10 unterschiedliche Höhen auf. Bei entgleisten Zuständen der Räder weisen die dazugehörigen Radunrundheitsharmonischen RH0-RH10 im Mittel stark erhöhte Amplituden A auf, weshalb der oben erwähnte zweite Kennwert KEN2 zur Entgleisungsdetektion mit zunehmendem Stadium der Entgleisung zunimmt.

[0098] Andererseits kann es, da der Durchmesser des Spurkranzes größer als der der Lauffläche ist, zu einer Verschiebung der Radharmonischen in Richtung niedrigerer Frequenzen kommen.

[0099] Nach Ermittlung der jeweiligen Radunrundheitsharmonischen werden deren Phasenlagen bestimmt, wobei die Phasenlagen aus den Fouriertransformierten der Beschleunigungssignale entnommen werden. Aus den Phasenverläufen der den Rädern zugeordneten Beschleunigungssignale, kann auf ein Entgleisen eines Rades geschlossen werden. Die Phasenverlauf der Radharmonischen eines entgleisten Rades unterscheiden sich wesentlich von den eines auf der Schiene laufenden Rades. Analog zu dem eben Gesagten können aber auch die Verläufe der Phasendifferenzen der Räder eines Radsatzes überwacht werden.

[0100] Eine weitere Methode zur Entgleisungsdiagnose besteht darin, die Fouriertransformierte der Beschleunigungssignale, wie sie in Fig. 15 dargestellt ist, einer Kepstrumtransformation zu unterwerfen, wobei sich das Kepstrum nach folgender Formel errechnet $KEP = iFFT(\ln(FFT))$, in der KEP das Kepstrum $iFFT$ die inverse Fouriertransformation, FFT die schnelle Fouriertransformation des Beschleunigungssignals und \ln den natürlichen Logarithmus bedeuten - siehe dazu "Digitale Sprachverarbeitung" von Peter Vary et. al. Teubner-Verlag Stuttgart, 1998, S 68 - 69.

[0101] Das Spektrum nach Fig. 15 entspricht im wesentlichen dem Spektrum nach Fig. 4, die dargestellten Spektrallinien entsprechen auch hier einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen. Aus darstellerischen Gründen wurde jedoch auf eine Nummerie-

zung der Radunrundheitsharmonischen in Fig. 15 ver-
zichtet.

[0102] Die Kepstrum-Darstellung nach Fig. 16 enthält
beim Kehrwert der Wellenfrequenz v_{welle} des Rades eine
Spitze, welche der mittleren Höhe aller Radunrund-
heitsharmonischen aus dem betrachteten Frequenzinter-
vall entspricht und somit einen Rückschluss auf die
Existenz eines entgleisten Zustandes zulässt.

[0103] Zur Erhöhung der Genauigkeit der Entglei-
sungsdiagnose kann ein dritter Kennwert KEN3 gebildet
werden. Hierzu geht man von der Überlegung aus, dass
die spektrale Darstellung der Schwingung eines mecha-
nischen Systems als Produkt der Übertragungsfunktion
jenes Systems mit der Anregungsfunktion betrachtet
werden kann. Somit sind gewisse Dominanzbereiche
eines Spektrums - die Bereiche der Resonanzfrequen-
zen des Rades - einer qualitativen und quantitativen Än-
derung unterworfen, wenn sich die Anregung wesent-
lich ändert. Diese Frequenzintervalle können laufend
gemessen, untereinander verglichen und schließlich
beurteilt werden. Zum Begriff der Übertragungsfunktion
siehe E. Schrüfer "Signalverarbeitung: Numerische Ver-
arbeitung digitaler Signale" 2. Aufl. - München; Wien:
Hanser 1992; Kap. 7, S. 263- 271.

[0104] Unter dem Begriff Dominanzbereiche eines
Spektrums sind diejenigen Frequenzintervalle zu ver-
stehen, in denen allfällige breitbandige Anregungen auf-
grund konstruktionsbedingter Gegebenheiten (Struktur-
resonanzen = Übertragungsfunktion) stochastische, ge-
räuschartige Amplitudenerhöhungen hervorrufen, die in
Form energiereicher Zonen im Amplitudenspektrum,
gemäß Fig. 17 erscheinen.

[0105] Eine Entgleisung führt aufgrund der gewan-
derten Kontaktstelle seitens des Rades in Richtung
Spurkranz und seitens der Abrollunterlage, die nicht
mehr die Schiene ist, sondern aus Schwellen und/oder
Schotter oder dem Betonbett besteht, zu einer plötzli-
chen Änderung der Form der Anregung und somit zu
einer charakteristischen Veränderung der Dominanzbe-
reiche DOM des betroffenen Rades/Radpaares. Diese
Veränderung kann in Form des Kennwertes KEN3
quantifiziert sowie mit einem vorgebbaren Sollwert ver-
glichen und gegebenenfalls als entgleister Zustand eines
Radpaares erkannt und gemeldet werden.

[0106] Zur Bildung dieses Kennwertes KEN3 werden
gemäß Fig. 18 die an den Achslagern aufgenommenen
Beschleunigungssignale in der Auswerteeinheit einer
Fouriertransformation oder einer anderen unitären
Transformation, welche den Zeitbereich eines Signals
auf den Frequenzbereich abbildet, unterworfen. Aus
dem Spektrum jedes Signals werden dann die Domi-
nanzbereiche DOM ermittelt. Zur Kennwertbildung wer-
den die Dominanzbereiche DOM zu verschiedenen
Zeitpunkten aufgenommener Spektren miteinander ver-
glichen. Kommt es dabei zu einer Überschreitung einer
tolerierbaren Abweichung der beiden Dominanzberei-
che, so wird eine Hinweismeldung ALA erzeugt, die bei-
spielsweise auf einer Ausgabereinheit AUS dargestellt

wird, und/oder eine Notbremsung eingeleitet.

[0107] Einer Methode zur Berechnung eines vierten
Kennwertes KEN4, wie in Fig. 22 dargestellt, liegt die
Überlegung zugrunde, dass gemäß Fig. 19 und Fig. 20
im normalen Betrieb innerhalb vorgegebener Zeitinter-
valle die Radsätze - abgesehen von Notbremsungen -
keinen erheblichen Schwankungen der Drehbeschleu-
nigungen ausgesetzt werden. Das wäre aufgrund der
hohen Trägheitsmassen von Wagenkasten und Dreh-
gestellrahmen sowie der hohen Trägheitsmomente des
gekoppelten Wagenkasten-Drehgestellsystems kaum
möglich, da unter anderem die dafür notwendigen En-
ergiemengen nicht zur Verfügung stehen.

[0108] Nun steigt aber nach Fig. 21 im Fall einer Ent-
gleisung der Energieaustausch des Rades mit der neu-
en Rollunterlage, da sowohl der Radkranz, als auch die
neue Rollunterlage, beispielsweise Schotter, Schwellen
oder Betonbett, für ein Rollen weniger als das Laufflä-
che-Schiene-System geeignet sind. Der periodische
schlagartige Kontakt der entgleisten Räder mit den
Schwellen erfolgt sehr energieintensiv und führt bei dem
betroffenen Radsatz unter anderem durch den raschen
Wechsel von Abschnitten positiver und negativer Dreh-
beschleunigungen zu merklichen Fluktuationen des
Drehgeschwindigkeitsverlaufes. Diese wechselnden
Drehbeschleunigungen werden anhand des Polrades
messtechnisch erfasst und von der Auswerteeinheit un-
ter der Bedingung, dass sie bezüglich des Drehgestells
einseitig auftreten, als Merkmal einer Entgleisung wahr-
genommen.

[0109] Gemäß Fig. 22 wird die kontinuierlich von dem
Drehfrequenzsensor DFS erfasste Drehfrequenz
 v_{WELLE} einer Radachse bzw. eines Radsatzes an die
Auswerteeinheit ASW weitergeleitet. Die
Signalübertragung an die Auswerteeinheit ASW kann,
wie bei den oben erwähnten Beschleunigungssensoren
SI1, SI2, SI3, SI4, über elektrische Leitungen, optische
Leitungen oder drahtlos erfolgen. Der vierte Kennwert
KEN4 kann beispielsweise durch Bildung der zweiten
Ableitung des Verlaufes der Drehfrequenz v_{WELLE} in
einem vorgebbaren Zeitintervall gebildet werden. Im
Fall von konstanten Beschleunigungen, wie sie
beispielsweise beim Anfahren bzw. Bremsen auftreten
können, ist die zweite Ableitung in dem betrachteten
Zeitintervall annähernd Null. Im Fall konstanter
Geschwindigkeit gilt dies natürlich ebenfalls. Im Fall von
Beschleunigungsschwankungen innerhalb des
betrachteten Zeitintervalls verschwindet die zweite
Ableitung nicht. In diesem Fall kann auf das Vorliegen
eines entgleisten Zustandes des betrachteten Rades/
Radsatzes geschlossen werden und ein
entsprechendes Hinweissignal erzeugt und/oder eine
Notbremsung eingeleitet werden. Das Differenzieren
von Signalen wird beispielsweise in E. Schrüfer
"Signalverarbeitung: Numerische Verarbeitung digitaler
Signale" 2. Aufl. - München; Wien: Hanser 1992; Kap.
4.2, S. 114 - 116 beschrieben.

[0110] In einer anderen Ausführungsform zur Bestim-

mung des vierten Kennwertes KEN4 können die Drehfrequenzverläufe aller Achsen eines Drehgestells miteinander verglichen werden. Kommt es dabei zu größeren Abweichungen der Verläufe voneinander so, liegt ein entgleister Zustand vor.

[0111] Die Berechnung eines fünften Kennwertes KEN5, wie in Fig. 24 dargestellt, kann mittels einer Kreuzkorrelation jener Beschleunigungssignale erfolgen, welche von zwei in Bezug auf die Längsmittlebene λ gleichseitig gelegenen Räder zweier Radsätze stammen und den Beschleunigungsverlauf des Drehgestells normal zur Schienenenebene wiedergeben.

[0112] Die Korrelationsanalyse - sei es Kreuzkorrelation oder Autokorrelation - erlaubt es Periodizitäten gemessener Zeitsignalabschnitte ausfindig zu machen bzw. zu überprüfen. Somit können bei Bedarf periodisch auftretende Ereignisse hervorgehoben und stochastische Komponenten ausgeschieden werden. Dabei werden zwei Signalabschnitte im Zeitbereich mit sich selbst - Autokorrelation - oder miteinander - Kreuzkorrelation - nach einem bestimmten Algorithmus multipliziert und unter Berücksichtigung des Vorzeichens addiert. Zum Begriff der Kreuzkorrelation siehe E. Schrüfer "Signalverarbeitung: Numerische Verarbeitung digitaler Signale" 2. Aufl. - München; Wien: Hanser 1992; Kap. 7, S. 235-262.

[0113] Wird gemäß Fig. 23 eine Kreuzkorrelationsfunktion KKF gleichzeitig aufgenommener Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4 hintereinander auf der selben Schiene fahrender Räder RA1, RA2, RA3, RA4 gebildet, so lässt sich aufgrund der gleichen aber zeitlich um die Verzögerungszeit τ versetzten Anregung durch die gemeinsame Fahrbahn ein Maximum MAX erkennen, dessen Abstand vom Nullpunkt der Kreuzkorrelationsfunktion KKF dem physikalischen Abstand 1 zwei hintereinanderliegender Räder RA1, RA2, RA3, RA4 bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit entspricht. Der Wert dieses Maximums MAX ist ein Ähnlichkeitsmerkmal der zwei betrachteten Zeitsignale.

[0114] Die Entgleisung eines der überwachten Räder bewirkt, dass die oben genannten Gemeinsamkeiten der befahrenen Wege nicht mehr gegeben sind. Infolge dessen kann sich das Maximum MAX so weit verkleinern, dass es in dem Rauschen des Signals untergeht. Das bezüglich eines Drehgestells einseitige Verschwinden eines solchen Maximums bzw. eine starke Variation seiner Lage wird als Merkmal einer Entgleisung betrachtet und gemeldet.

[0115] Zur Entgleisungsdetektion auf Schwellenbahnen ist es zielführend, gemäß Fig. 24 eine enge Bandpassfilterung BAF um die Schwellenfachfrequenz im Vorfeld durchzuführen. In diesem Fall ist im nicht entgleisten Zustand mit einer starken Vergrößerung der Amplitude des oben genannten Maximums MAX zu rechnen, wodurch sich die Kennwertermittlung vereinfacht.

[0116] Führt man gleichzeitig mit Signalen, die von der linken und der rechten Drehgestellseite stammen,

die Berechnung der Kreuzkorrelation für die linke bzw. rechte Drehgestellseite durch, so ist auch der einseitige Verlust des Schienenkontaktes eines einzigen Radsatzes detektierbar.

5 **[0117]** Eine Methode zur Berechnung eines sechsten Kennwertes KEN6 besteht darin, die planparallele Bewegung des Drehgestellrahmens zu beurteilen. Zu diesem Zweck wird die Längebeschleunigung zu beiden 10 Seiten der Längsmittlebene λ des Drehgestells und die Querschleunigung des Drehgestells ermittelt.

[0118] Die Berechnung eines sechsten Kennwertes KEN6, wie in Fig. 26 dargestellt, beruht auf der Annahme, dass das Entgleisen zumindest einer Drehgestellachse die Dynamik und die Kinematik des Drehgestellrahmens maßgeblich beeinflusst. Die Ursache dafür ist 15 in der Änderung der Rollunterlage der zwei Räder jener betroffenen Achse zu suchen. Die neue Unterlage, sei es Betonbett oder Schwellenfach, verursacht durch ihre im Vergleich zur Schiene wesentlich schlechteren Roll- 20 eigenschaften im Fall eines Betonbettes niederfrequente Starrkörperschwingungen und im Fall einer Schwellenbahn frontale Stöße gegen die Schwellen sowie seitliche Stöße gegen die Schienenflanke, welche durch die Primärfederung und die Radsatzführung zum Drehgestellrahmen weitergeleitet werden. Diese Anregungen 25 führen schnell zu einer weitgehenden Änderung der Rahmendynamik, die anhand der oben beschriebenen Beschleunigungssensoren gemessen und in der Auswerteeinheit ASW entsprechend beurteilt werden kann.

[0119] Im Rahmen einer ersten Methode zur Bestimmung des sechsten Kennwertes KEN6 werden nur die Beschleunigungen in Längsrichtung am Drehgestellrahmen, jeweils zu beiden Seiten der Längsmittlebene 30 λ gemessen, wobei die Auswertung der in Fig. 22 dargestellten Längsbeschleunigungssignale SI5, SI6 im Zeitbereich erfolgt, d. h., die Signale werden keiner Fouriertransformation unterworfen. Als Anzeichen einer Entgleisung dient das bezüglich eines Drehgestells einseitige Auftreten großer Ausschläge. Dieses Verfahren 35 eignet sich sehr gut zur Erkennung entgleister Zustände auf einer Schwellenbahn.

[0120] Eine zweite Methode zur Ermittlung des sechsten Kennwertes KEN6 besteht in der Erfassung der Querschleunigungssignale SI7 quer zur Fahrrichtung 40 mittig auf dem Drehgestellrahmen DGR. Dabei werden einseitige, übermäßig große Querschleunigungs-Ausschläge als seitliche Stöße entgleister Räder gegen die Schienenflanke zugeordnet.

[0121] Eine weitere etwas komplexere Variante zur 45 Bildung des sechsten Kennwertes KEN 6 besteht in der Analyse des Verhältnisses der Rotations- bzw. Translationsanteile der planparallelen Bewegung des Drehgestellrahmens. Auch bei dieser Methode werden die Beschleunigungssignale im Zeitbereich bewertet. Im Rahmen dieses Verfahrens wird nach einem bekannten Ansatz der Festkörpermechanik die angenommene, momentane planparallele Bewegung des Drehgestellrahmens in eine translatorische und eine rotatorische Kom- 50

ponente aufgrund des Superpositionsprinzips zerlegt.
[0122] Gemäß Fig. 25 lassen sich die rotatorische und die translatorische Beschleunigungskomponente aus den von Beschleunigungssensoren BS5, BS6, BS7 aufgenommenen Beschleunigungssignalen berechnen. Die Längsbeschleunigungssensoren BS5, BS6 dienen dazu die Längsbeschleunigung des Drehgestelles DRE zu erfassen, weshalb ihre Wirkrichtung im wesentlichen in Fahrtrichtung FAR des Schienenfahrzeuges verläuft. Zusätzlich zu den beiden Beschleunigungssensoren BS5, BS6 deren Wirkungsrichtung in Fahrtrichtung FAR des Schienenfahrzeuges liegen, ist ein dritter Beschleunigungssensor BS7 vorgesehen, dessen Wirkrichtung in einer Ebene parallel zur Schienenenebene und normal zur Fahrtrichtung FAR des Schienenfahrzeuges verläuft. Auf diese Weise ist es möglich den Beschleunigungszustand des Drehgestells DRE in einer Ebene eindeutig zu bestimmen.

[0123] Dabei setzt sich der als links- bzw. rechtsseitiges Längsbeschleunigungssignal SI5, SI6 gemessene Betrag des resultierenden Beschleunigungsvektors folgendermaßen zusammen:

$$a_{Xli} = a_{Tx} + a_{Rx},$$

$$a_{Xre} = a_{Tx} - a_{Rx}$$

und

$$a_y = a_{Ty} + a_{Ry},$$

hierbei bedeuten a_{Xli} und a_{Xre} die links bzw. rechts an dem Drehgestellrahmen gemessenen Längsbeschleunigungen SI5, SI6, a_{Tx} und a_{Ty} die Tangentialkomponente der gemessenen Beschleunigung in x- und in y-Richtung, a_{Rx} und a_{Ry} die rotatorische Komponente in x- bzw. in y-Richtung und a_y die am Drehgestellrahmen normal zur Schienenenebene und zur Fahrtrichtung in Form eines Querschleunigungssignals SI7 gemessene Beschleunigung.

[0124] Wie man leicht erkennen kann, folgt die Gleichheit der translatorischen Anteile der gemessenen Beschleunigungen und der translatorischen Komponente des Drehgestellschwerpunktes SWP in x- und y-Richtung. Nach kurzer Rechnung und Umformung erhält man für die translatorische Komponente des Drehgestellschwerpunktes SWP

$$a_{Tx} = \frac{a_{Xli} + a_{Xre}}{2}$$

und

$$a_{Ty} = a_y - \frac{a_{Xli} - a_{Xre}}{2} * \frac{la}{b},$$

5 wobei la den Abstand eines der Beschleunigungssensoren BS5, BS6 zur Messung der Längsbeschleunigung des Drehgestellrahmens DRE von einer Symmetrieebene σ des Drehgestells, die normal zur Längsmittellebene λ verläuft und b den Abstand eines Längsbeschleunigungssensors BS5, BS6 zur Messung der Längsbeschleunigung von der Längsmittellebene λ bedeuten. Der Querschleunigungssensor BS7 kann an einer beliebigen Stelle des Drehgestellrahmens DGR angeordnet sein. Von Bedeutung ist lediglich, dass seine Wirkrichtung normal zu der Wirkrichtung der Längsbeschleunigungssensoren BS5, BS6 verläuft.

[0125] Für die Rotationsbeschleunigung ε des Drehgestellschwerpunktes SWP ergibt sich

$$\varepsilon = \frac{1}{2b}(a_{Xli} - a_{Xre})$$

[0126] Aus dem Vergleich der zeitlichen Verläufe der berechneten Translations- und Rotationsanteile der Beschleunigung des Drehgestellschwerpunktes können Schlussfolgerungen bezüglich der Stabilität des Drehgestellrahmens DGR gezogen werden. Um die Erkennung eines entgleisten Zustandes zu erleichtern, wird anhand der berechneten Beschleunigungsverläufe der sechste Kennwert KEN 6 gebildet. Zu diesem Zweck kann innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls die Translations- und Rotationsbeschleunigung des Drehgestellschwerpunktes SWP berechnet werden, wobei das Verhältnis aufeinanderfolgender, berechneter Beschleunigungsverläufe gebildet wird. Überschreitet dieses Verhältnis bzw. dieser sechste Kennwert KEN6 einen Sollwert SOL6 um einen vorgebbaren Betrag, so kann auf einen entgleisten Zustand geschlossen werden. Dies ist deshalb möglich, da die Beschleunigungsverläufe im Fall einer Entgleisung stark von ihrer ursprünglichen Form abweichen.

[0127] Natürlich ist auch jede andere Methode die berechneten Beschleunigungssignale miteinander zu vergleichen, beispielsweise durch Differenzbildung etc, möglich.

[0128] Bei allen Methoden zur Berechnung des sechsten Kennwertes KEN6 wird gemäß Fig. 26 eine Tiefpassfilterung durchgeführt. Damit wird erreicht, dass aus den Gesamtspektren der Beschleunigungssignale nur die Schwingungsanteile übrig bleiben, welche der Starrkörperdynamik entsprechen - höher frequente Komponenten, die zu dem akustischen Bereich gehören, werden dabei herausgefiltert. Zum Begriff der Filterung siehe beispielsweise E. Schröder "Signalverarbeitung: Numerische Verarbeitung digitaler Signale" 2. Aufl. - München; Wien: Hanser 1992; S. 180- S. 234.

[0129] Aus der Zusammenschau der berechneten Kennwerte KEN1-KEN6 kann mit großer Sicherheit dar-

auf geschlossen werden, ob ein entgleister Zustand vorliegt oder nicht. So deutet beispielsweise das Vorliegen von Sollwertüberschreitungen zweier Kennwerte KEN1-KEN6 darauf hin, dass eine Entgleisung vorliegt. Auf diese Weise können gleisbedingte Falschmeldungen über Entgleisungszustände vermieden werden, was auch zu einer höheren Akzeptanz von Schienenfahrzeugen, die mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestattet sind führt.

[0130] Um aus allen Kennwerten KEN1-KEN6 auf einen entgleisten Zustand zu schließen, kann in der Auswerteeinheit ASW gemäß Fig. 27 beispielsweise ein mehrdimensionaler Zustandsraum gebildet werden, dessen Dimension der Anzahl der berechneten Kennwerte KEN1-KEN6 entspricht. Als Entscheidungsgrenzen für die Klassifizierung in die beiden Klassen "nicht entgleist" und "entgleist" können so viele Grenzen gewählt werden, wie es Kennwerte gibt. Im einfachsten Fall verlaufen diese Grenzen/Sollwerte linear. Durch die Berücksichtigung der berechneten Kennwerte KEN1-KEN6 kann eine umfassende und exakte Bestimmung und Analyse von entgleisten Zuständen eines Schienenfahrzeuges oder eines Verbandes von Schienenfahrzeugen erreicht werden.

[0131] Bei geeigneter Wahl der Grenzen/Sollwerte SOL1-SOL6 kann eine entgleisungsgefährliche Situation bzw. ein vorkritischer Entgleisungszustand schon in einem sehr frühen Stadium erkannt und, beispielsweise durch eine Reduktion der Fahrtgeschwindigkeit, entschärft werden. Weiters kann es vorgesehen sein, dass bei Überschreiten eines oder mehrerer Sollwerte SOL1-SOL6 das Hinweissignal ALA an eine Steuerungseinheit STR übermittelt wird, welche mit den Bremsen des Schienenfahrzeuges in Verbindung steht und eine Notbremsung veranlasst.

[0132] Das oben beschriebene Verfahren kann selbstverständlich unter Verwendung bekannter, entsprechend programmierter Mikroprozessoren online durchgeführt werden. Dem Fachmann sind darüber hinaus zahlreiche Programme bzw. Programmiersprachen bekannt, die sich zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignen, beispielsweise Mathematica, Matlab etc.

[0133] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fehleranfälligkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung gegenüber den bekannten Verfahren und Vorrichtungen durch die gleichzeitige Berechnung verschiedener Kennwerte zur Entgleisungsdetektion wesentlich reduziert und hinsichtlich der Genauigkeit sowie der Betriebssicherheit stark verbessert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung entgleister Zustände von Rädern eines Schienenfahrzeuges durch Ermittlung zumindest eines für einen Entgleisungszu-

stand charakteristischen Kennwertes (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6), der mit zumindest einem vorgebbaren Sollwert (SOL1, SOL2, SOL3, SOL4, SOL5, SOL6) verglichen wird, wobei bei Überschreiten einer vorgebbaren Abweichung des Kennwertes (KEN1-KEN6) von dem Sollwert (SOL1-SOL6) ein Hinweissignal (ALA) und/oder eine Notbremsung ausgelöst wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich einer Achslagerung (AX1, AX2, AX3, AX4) zumindest eines Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) erzeugt wird, und/oder an zumindest zwei Punkten eines Drehgestellrahmens (DGR) kontinuierlich die jeweilige Längsbeschleunigung ermittelt und als Längsbeschleunigungssignal (SI5, SI6) erfasst wird und/oder an zumindest einer Radachse ein Drehfrequenzsignal (DFS) erzeugt wird, wobei aus dem zumindest einem, im Bereich einer Achslagerung (AX1, AX2, AX3, AX4) erzeugten Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) und/oder den Längsbeschleunigungssignalen (SI5, SI6) und/oder aus dem zumindest einen Drehfrequenzsignal (DFS) der zumindest eine, für einen Entgleisungszustand charakteristische Kennwert (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6) ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des Kennwertes (KEN1-KEN6) Signalwerte des zumindest einen im Bereich eines Achslagers erzeugten Beschleunigungssignals (SI1-SI4), die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation unterworfen werden, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) und des zumindest einen Drehfrequenzsignals (DFS) der Durchmesser (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) des Schienenfahrzeuges ermittelt wird, wobei anhand von Änderungen des Raddurchmessers ein erster für einen entgleisten Zustand charakteristischer Kennwert (KEN1) berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des ersten Kennwertes (KEN1) an zumindest zwei in Fahrtrichtung (FA1, FA2) hintereinanderliegenden Achslagerungen (AX1, AX2, AX3, AX4) je zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) und an den Achsen der in diesen Achslagern (AX1, AX2, AX3, AX4) gelagerten Rädern (RA1, RA2, RA3, RA4) je zumindest ein Drehfrequenzsignal (DFS) erzeugt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des Durchmessers (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) eine für die befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) ermittelt wird.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus der Fouriertransformierten der Signalwerte des Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) die für eine befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) ermittelt wird, die zumindest einem in Bezug auf die Fahrtrichtung vorderen und/oder hinteren Rad (RA1, RA2, RA3, RA4) zugeordnet ist.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenlage φ der Schwellenfachschwingung ermittelt wird und die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ der einem vorderen und einem hinteren Rad (RA1, RA2, RA3, RA4) zugeordneten Schwellenfachschwingung gebildet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus der Phasendifferenz ($\Delta\varphi$) der Schwellenfachschwingung der Schwellenabstand (d_s) berechnet und aus dem Schwellenabstand (d_s) und der Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) die Fahrgeschwindigkeit (V) ermittelt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) aus der Drehfrequenz (v_{WELLE}) der Achse (AC1, AC2) und der Fahrgeschwindigkeit (V) des Schienenfahrzeuges berechnet wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung eines zweiten Kennwertes (KEN2) aus dem zumindest einem im Bereich einer Achslagerung (AX1, AX2, AX3, AX4) aufgenommenen Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) eine vorgebbare Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) ermittelt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) aus den Transformierten der Signalwerte des zumindest einem Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) ermittelt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des zweiten Kennwertes (KEN2) aus Amplituden einer vorgebaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) ein Mittelwert gebildet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenlagen der Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) bestimmt werden und der Verlauf der Phasenlagen zur Kennwertbildung herangezogen wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung des zweiten Kennwertes (KEN2) eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) durchgeführt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung eines dritten Kennwertes (KEN3) aus der Transformierten des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) Frequenzbereiche, die in der Nähe der Resonanzfrequenzen des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) liegen, kontinuierlich mit einem zu einem anderen Zeitpunkt aufgenommenen Spektrum dieses Beschleunigungssignals (SI2) verglichen werden.
16. Verfahren nach Anspruch 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand des Drehfrequenzsignals (DFS) die Winkelbeschleunigung und/oder die Winkelgeschwindigkeit der Radachse bestimmt wird und anhand der Winkelgeschwindigkeits- bzw. Winkelbeschleunigungsverläufe ein vierter für einen entgleisten Zustand charakteristischer Kennwert (KEN4) ermittelt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung eines fünften Kennwertes (KEN5) innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters die Kreuzkorrelationsfunktion zweier im Bereich der Achslagerungen aufgenommenen Beschleunigungssignale (SI1, SI2, SI3, SI4), die je einem vorderen und einem hinteren Rad zugeordnet sind, berechnet wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand der Lage und/oder der Amplitude des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion der fünfte Kennwert (KEN5) bestimmt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** je zumindest ein Längsbeschleunigungssignal (SI5, SI6) in einem vorgebbaren Abstand von und zu beiden Seiten der Längsmittlebene (λ) des Drehgestells (DRE) erzeugt wird, welches den Beschleunigungsverlauf des Drehgestells (DRE) in Längsrichtung wiedergibt und dass zumindest ein Querbeschleunigungssignal (SI7) erzeugt wird, das den Verlauf der Be-

- schleunigung des Drehgestells (DRE) parallel zur Schienenebene (SCE) und normal zur Fahrtrichtung (FA1, FA2) des Schienenfahrzeuges wiedergibt, wobei aus den Beschleunigungssignalen (SI5, SI6, SI7) ein sechster Kennwert (KEN6) gebildet wird.
- 5
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung des sechsten Kennwertes (KEN6) aus den Längsbeschleunigungssignalen (SI5, SI6) und dem Querschleunigungssignal (SI7) die Tangentialbeschleunigung und die Rotationsbeschleunigung des Schwerpunktes (SWP) des Drehgestells (DRE) berechnet werden.
- 10
21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand der Verläufe der berechneten Tangential und Rotationsbeschleunigung der sechste Kennwert (KEN6) berechnet wird.
- 15
22. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 21 zur Erkennung entgleister Zustände von Rädern eines Schienenfahrzeuges mit zumindest einem Drehgestell (DRE), wobei an dem Schienenfahrzeug zumindest ein Beschleunigungssensor (BS1, BS2, BS3, BS4, BS5, BS6) vorgesehen ist, der mit einer Auswerteeinheit (ASW) in Verbindung steht, die dazu eingerichtet ist, von dem zumindest einem Beschleunigungssensor (BS1, BS2, BS3, BS4, BS5, BS6) Beschleunigungssignale (SI1, SI2, SI3, SI4, SI5, SI6) zu empfangen sowie daraus zumindest einen für einen Entgleisungszustand charakteristischen Kennwert zu ermitteln und diesen Kennwert (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6) mit zumindest einem vorgebbaren Sollwert (SOL1, SOL2, SOL3, SOL4, SOL5, SOL6) zu vergleichen, wobei die Auswerteeinheit (ASW) weiters dazu eingerichtet ist, bei Überschreiten einer vorgebbaren Abweichung des Kennwertes (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6) von dem Sollwert (SOL1, SOL2, SOL3, SOL4, SOL5, SOL6) ein Hinweissignal (ALA) zu generieren und/oder eine Notbremsung einzuleiten, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Bereich eines Achslagers (AX1, AX2, AX3, AX4) zumindest eines Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) zumindest ein Beschleunigungssensor (BS1, BS2, BS3, BS4) angeordnet ist, und/oder an zumindest zwei Punkten des Drehgestells (DRE) je zumindest ein Längsbeschleunigungssensor (BS5, BS6) angeordnet ist, der dazu eingerichtet ist, die jeweilige Längsbeschleunigung zu messen und/oder an zumindest einer Radachse (AC1, AC2) eines Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) zumindest ein Drehfrequenzsensor (DSE) angeordnet ist, der mit der Auswerteeinheit (ASW) in Verbindung steht.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- zeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Berechnung des Kennwertes (KEN1, KEN2, KEN3, KEN4, KEN5, KEN6) Signalwerte des zumindest einen aufgezeichneten Beschleunigungssignals (SI1-SI4), die innerhalb eines vorgebbaren, Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet, zu unterwerfen.
24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, anhand des zumindest einen aufgezeichneten Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) und des Drehfrequenzsignals (DFS) den Durchmesser (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) zu ermitteln, und anhand von Änderungen des Raddurchmessers einen ersten für einen entgleisten Zustand charakteristischer Kennwert (KEN1) zu berechnen.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** an zumindest zwei in Fahrtrichtung hintereinanderliegenden Achslagern (AX1, AX2, AX3, AX4) je zumindest ein Beschleunigungssensor (BS1, BS2, BS3, BS4) vorgesehen ist, wobei an jeder Achse (AC1, AC2) der in diesen Achslagern (AX1, AX2, AX3, AX4) gelagerten Räder (RA1, RA2, RA3, RA4) zumindest ein Drehfrequenzsensor (DFS) angeordnet ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Berechnung des Durchmessers (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) und/oder der Fahrtgeschwindigkeit (V) eine für die befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) zu ermitteln.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus der Fouriertransformierten der Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4, SI5) eine für eine befahrene Strecke charakteristische Schwellenfachschwingung bzw. Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) zu ermitteln, die zumindest einem in Bezug auf die Fahrtrichtung vorderen und/oder hinteren Rad (RA1, RA2, RA3, RA4) zugeordnet ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus der Phasendifferenz ($\Delta\varphi$) der Schwellenfachschwingung den Schwellenabstand (d_s) zu berechnen und aus dem Schwellenabstand (d_s) und der Schwellenfachfrequenz (v_{SF}) die Fahr-

geschwindigkeit (V) zu ermitteln.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, den Durchmesser (D) des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) aus der Drehfrequenz (v_{WELLE}) der Achse (AC1, AC2) und der Fahrgeschwindigkeit (V) des Schienenfahrzeuges zu berechnen.
30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus dem zumindest einen Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) eine vorgebbare Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) zu ermitteln und daraus einen zweiten, für einen entgleisten Zustand eines Schienenfahrzeuges charakteristischen Kennwert (KEN2) zu berechnen.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, die Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) aus den Transformierten der Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) zu ermitteln.
32. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Berechnung des zweiten Kennwertes (KEN2) aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) ein Mittelwert zu bilden.
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 32, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, die Phasenlagen der Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) zu bestimmen und aus dem Verlauf der Phasenlagen den zweiten Kennwert (KEN2) zu ermitteln.
34. Vorrichtung nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Ermittlung des zweiten Kennwertes (KEN2) eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) durchzuführen.
35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Bildung eines dritten Kennwertes (KEN3) aus der Transformierten des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4, SI5) Frequenzbereiche, die in der Nähe der Resonanzfrequenzen des Rades (RA1, RA2, RA3, RA4) liegen, kontinuierlich mit einem zu

einem anderen Zeitpunkt aufgenommenen Spektrum dieses Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) zu vergleichen.

- 5 36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, anhand des Drehfrequenzsignals (DFS) die Winkelbeschleunigung und/oder die Winkelgeschwindigkeit der Radachse zu bestimmen und anhand der Winkelgeschwindigkeits- bzw. Winkelbeschleunigungsverläufe einen vierten für einen entgleisten Zustand charakteristischen Kennwert (KEN4) zu ermitteln.
- 10 37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 39, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, zur Bildung eines fünften Kennwertes (KEN5) innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters die Kreuzkorrelationsfunktion zweier im Bereich der Achslagerungen aufgenommener, Beschleunigungssignale (SI1, SI2, SI3, SI4), die je einem vorderen und einem hinteren Rad (RA1, RA2, RA3, RA4) zugeordnet sind, zu berechnen.
- 15 38. Vorrichtung nach Anspruch 37, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, anhand der Lage und/oder der Amplitude des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion den fünften Kennwert (KEN5) zu bestimmen.
- 20 39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 38, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu beiden Seiten der Längsmittlebene (λ) des Drehgestells (DRE) je zumindest ein Längsbeschleunigungssensor (BS5, BS6) vorgesehen ist und zumindest ein weiterer Beschleunigungssensor (BS7) zur Bestimmung der Querschleunigung an dem Drehgestell (DRE) angeordnet ist, wobei die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, von den Längsbeschleunigungssensoren (BS5, BS6) Längsbeschleunigungssignale (SI5, SI6) und von dem weiteren Beschleunigungssensor (BS7) zumindest ein Querschleunigungssignal (SI7) zu empfangen und aus den Längsbeschleunigungssignalen (SI5, SI6), welche den Verlauf der Längsbeschleunigung des Drehgestells (DRE) wiedergeben und dem Beschleunigungssignal (SI7), welches den Verlauf der Querschleunigung des Drehgestells (DRE) wiedergibt, einen sechsten Kennwert (KEN6) zu bilden.
- 25 40. Vorrichtung nach Anspruch 39, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Bildung des sechsten Kennwertes (KEN6) aus den Beschleunigungssignalen (SI5, SI6, SI7) die Tangentialbeschleunigung und die Rotationsbeschleunigung des Schwerpunktes (SWP) des Drehgestells (DRE) zu berechnen.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

41. Vorrichtung nach Anspruch 40, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, anhand der Verläufe der berechneten Tangential und Rotationsbeschleunigung den sechsten Kennwert (KEN6) zu berechnen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

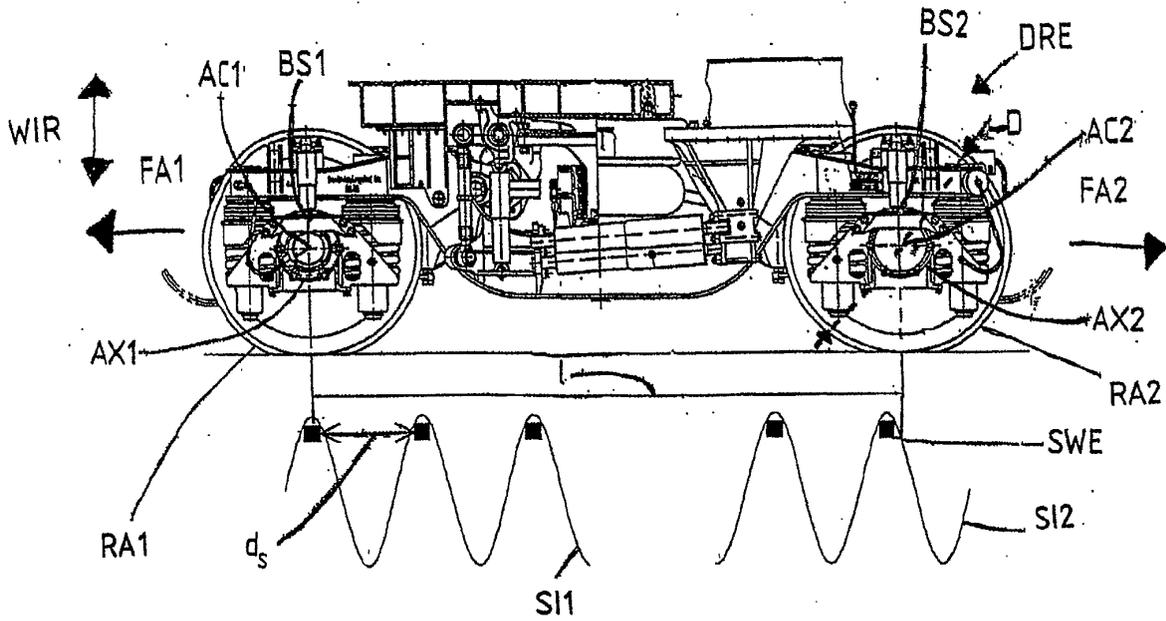


Fig. 1

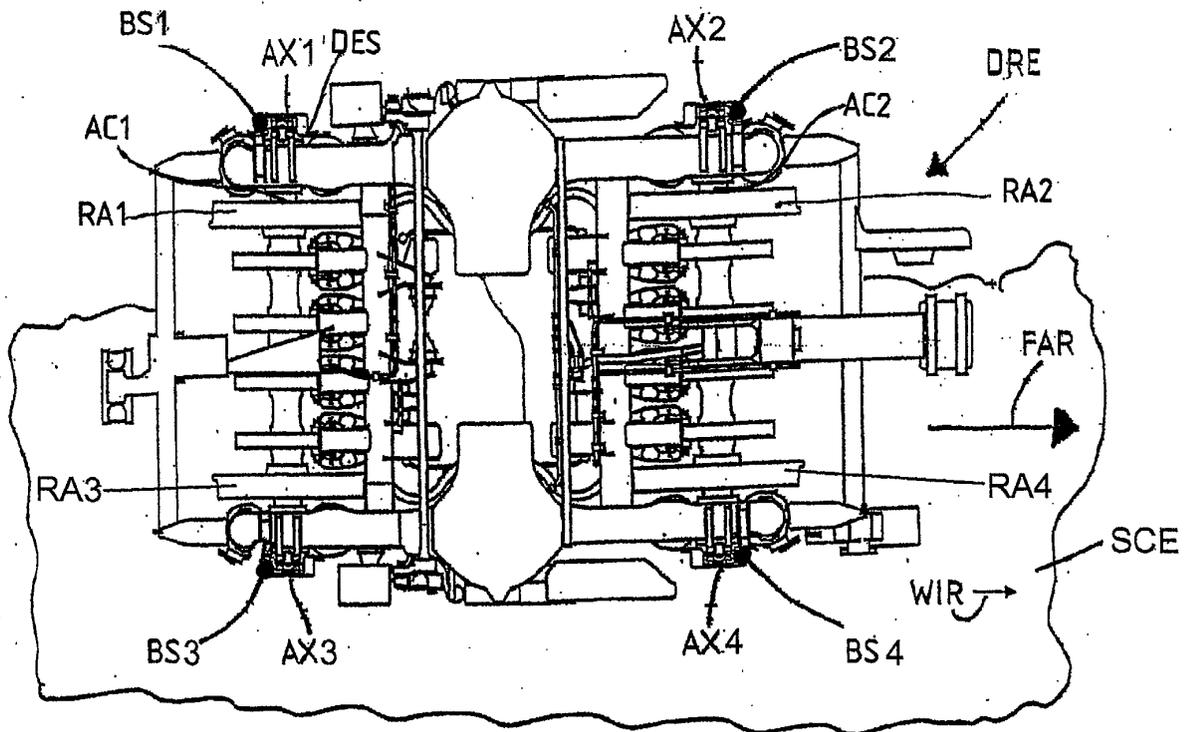


Fig. 2

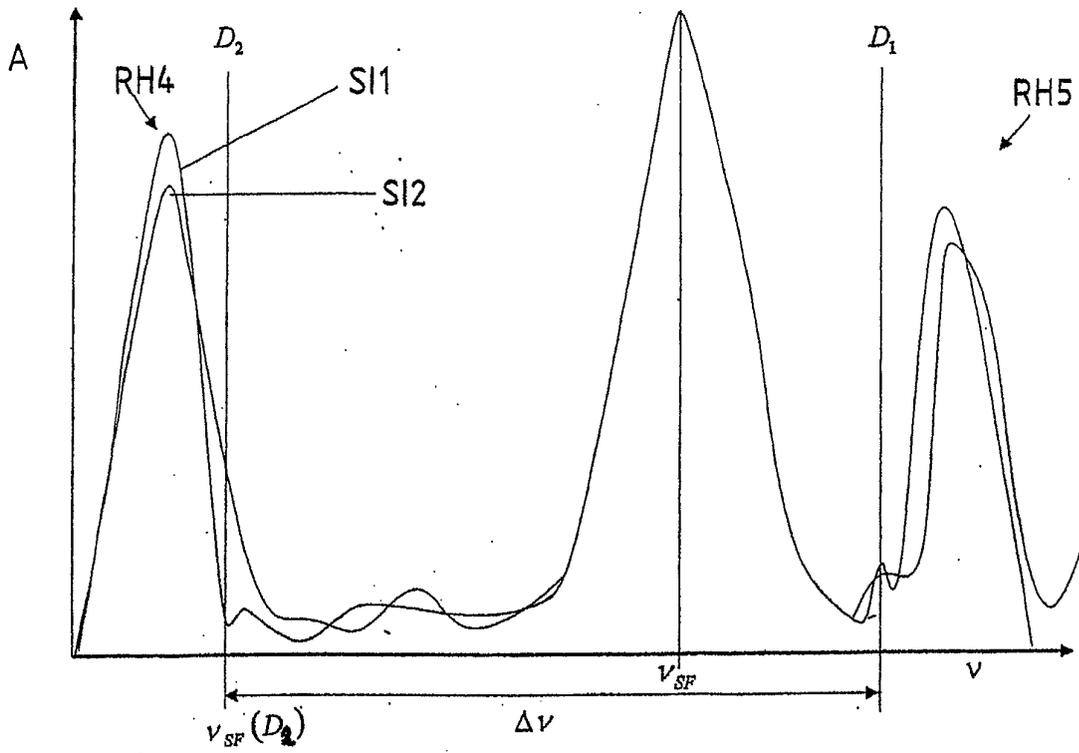


Fig. 3

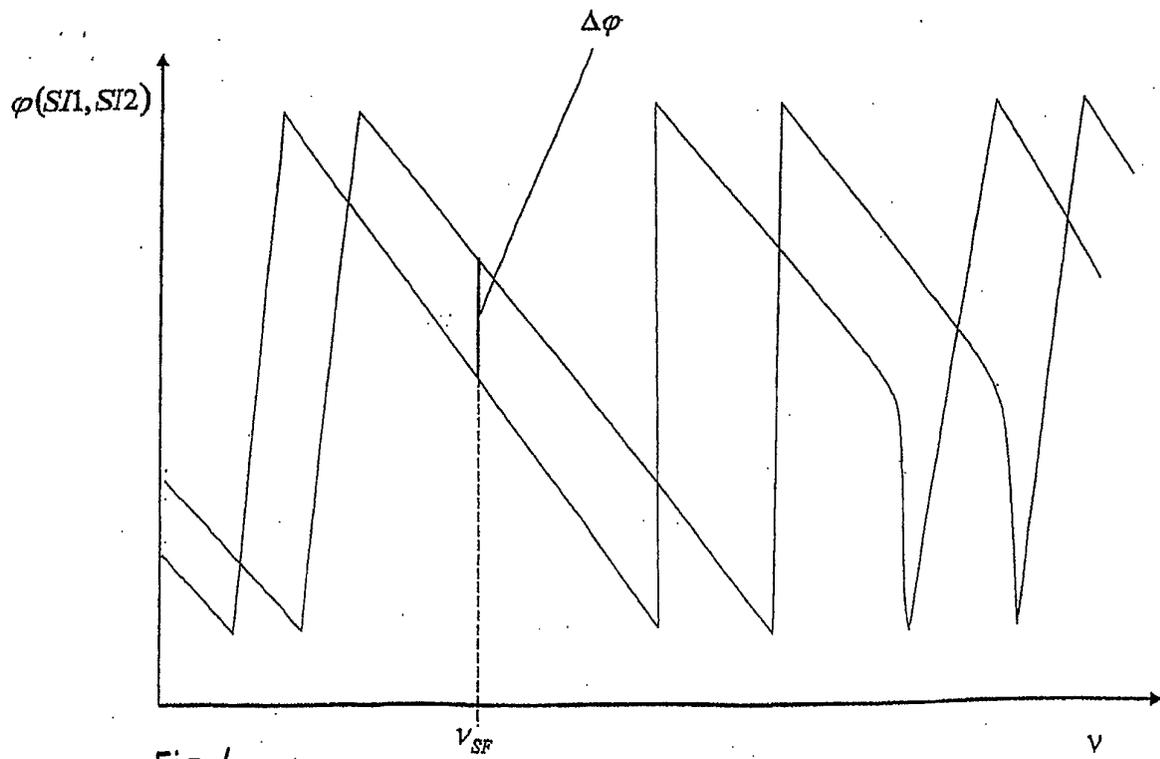


Fig. 4

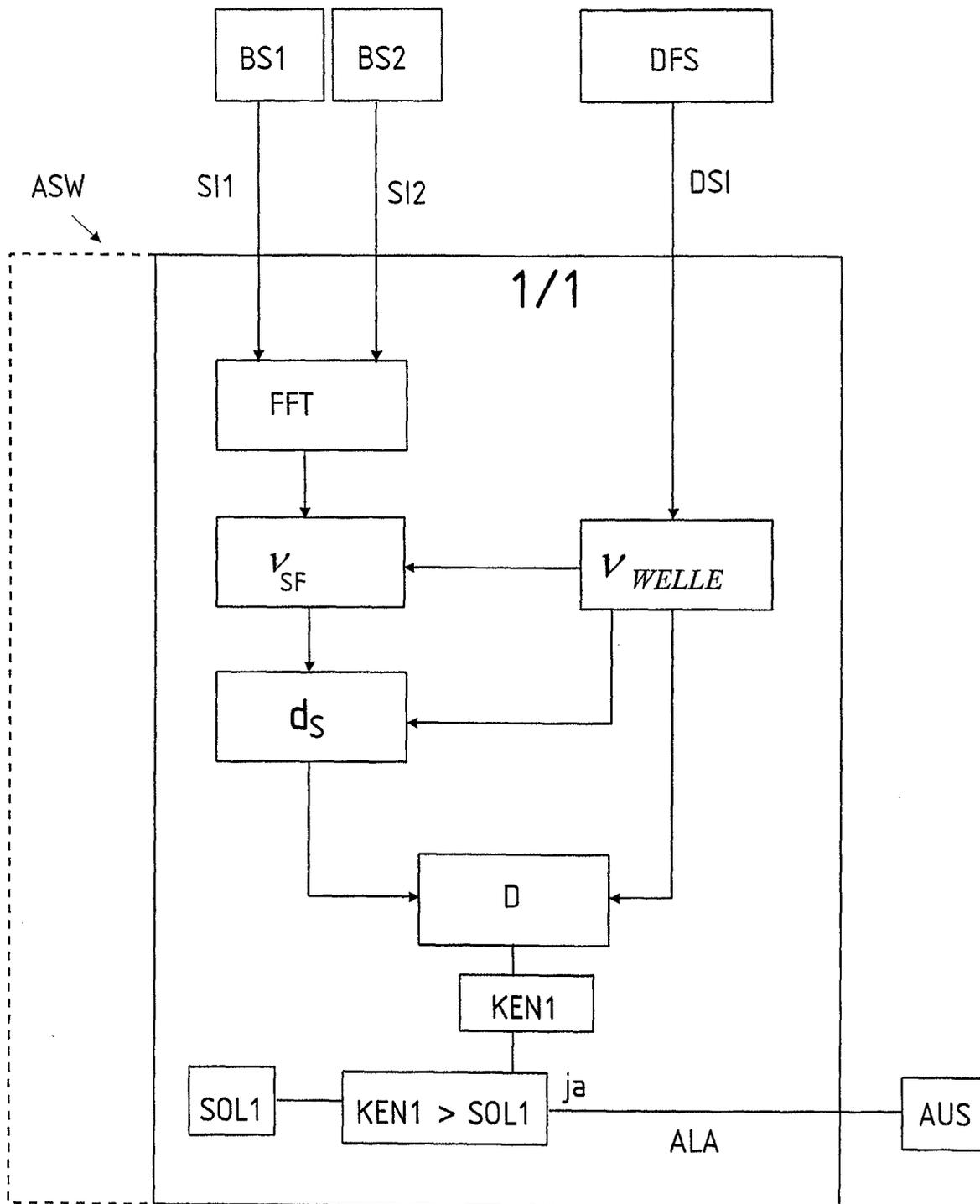


Fig. 5

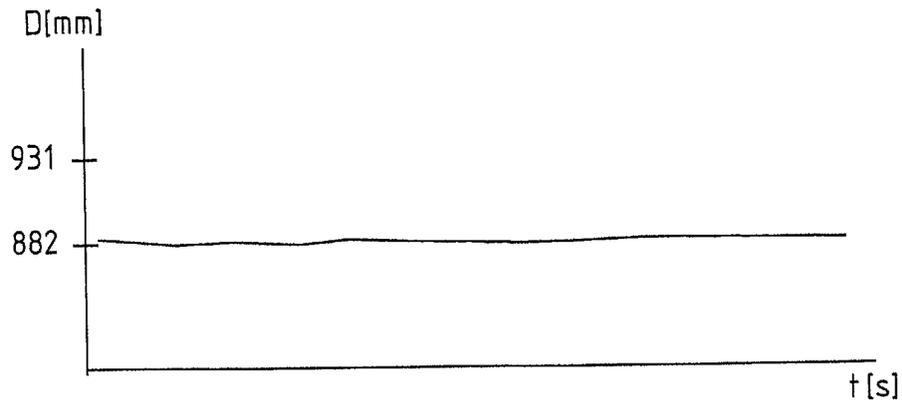


Fig. 6

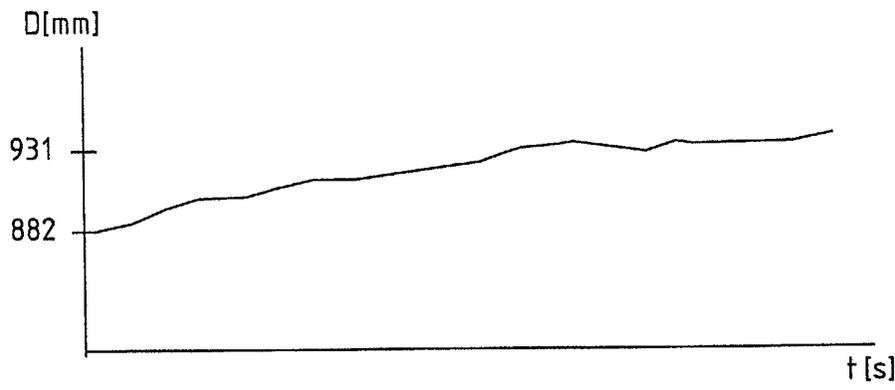


Fig. 7

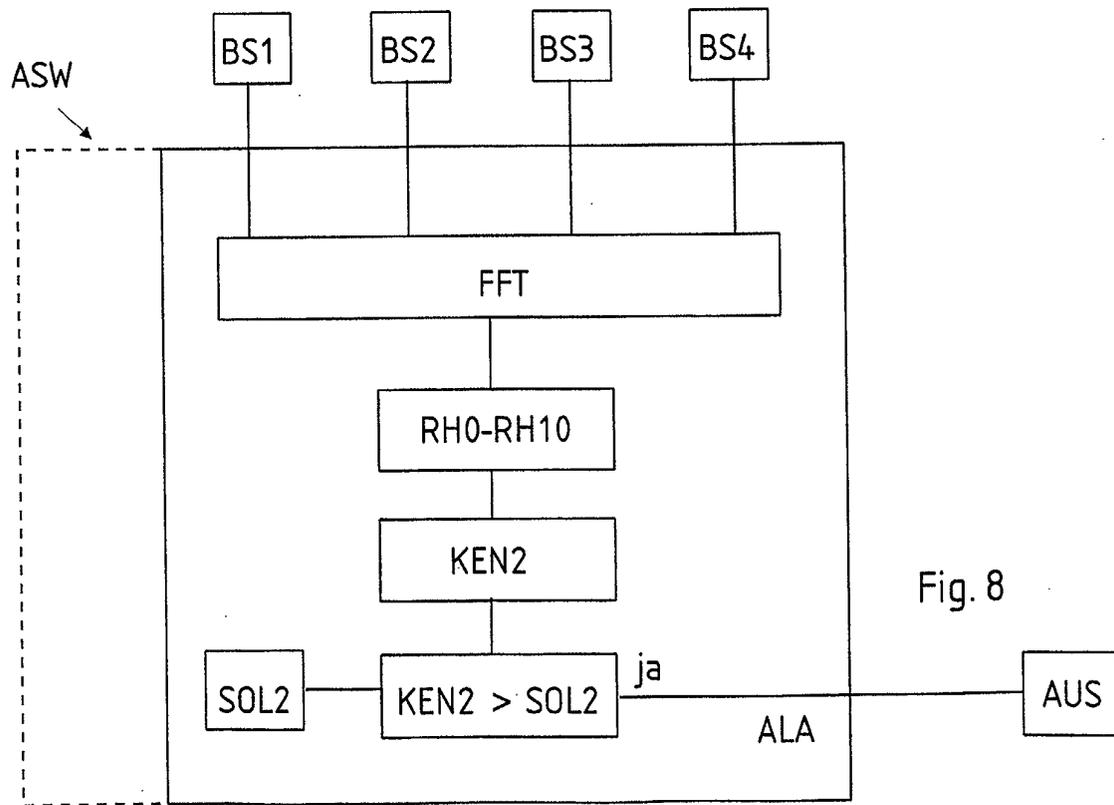


Fig. 8

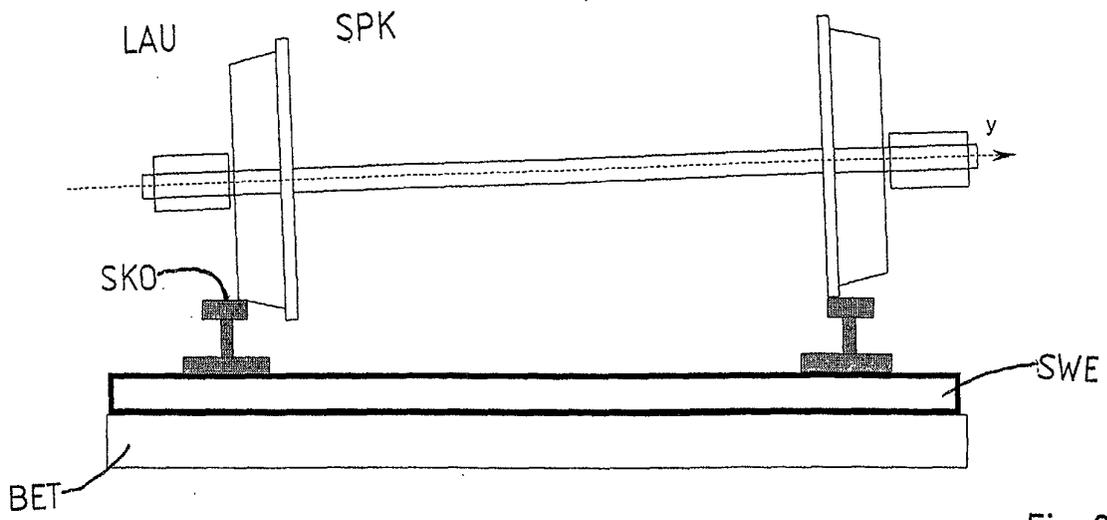


Fig. 9

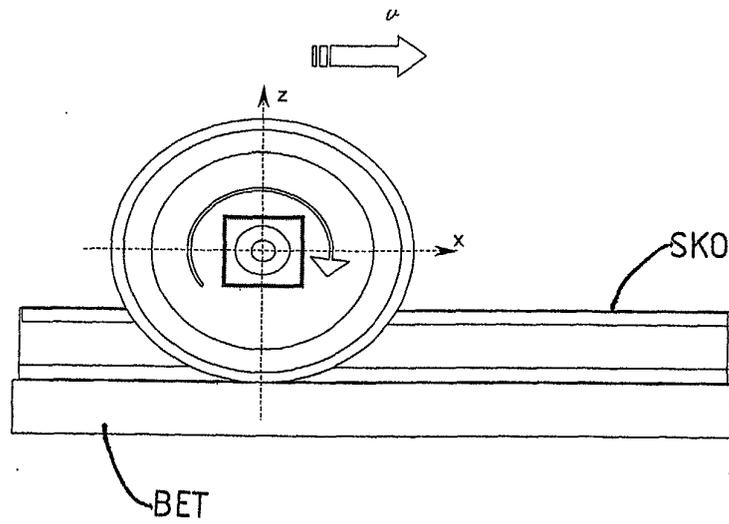


Fig. 10

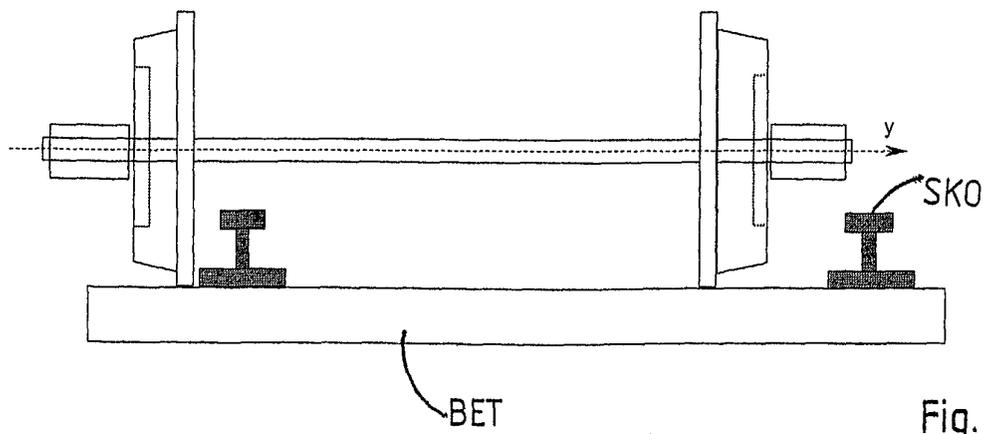


Fig. 11

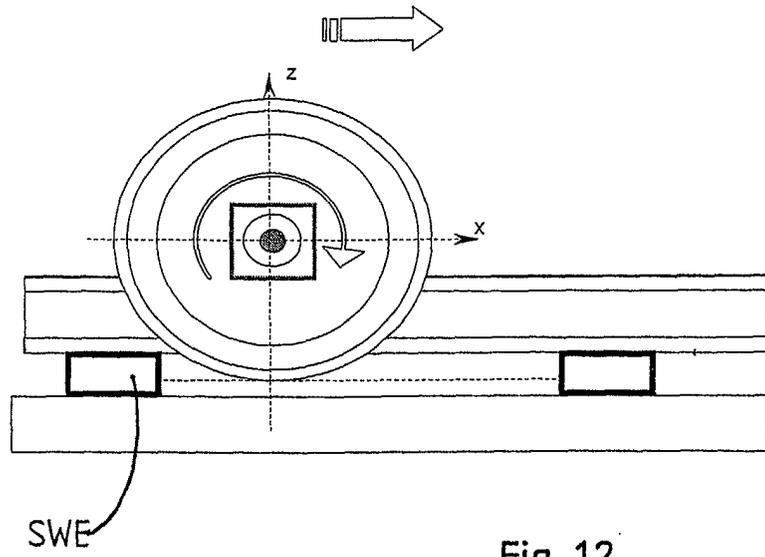


Fig. 12

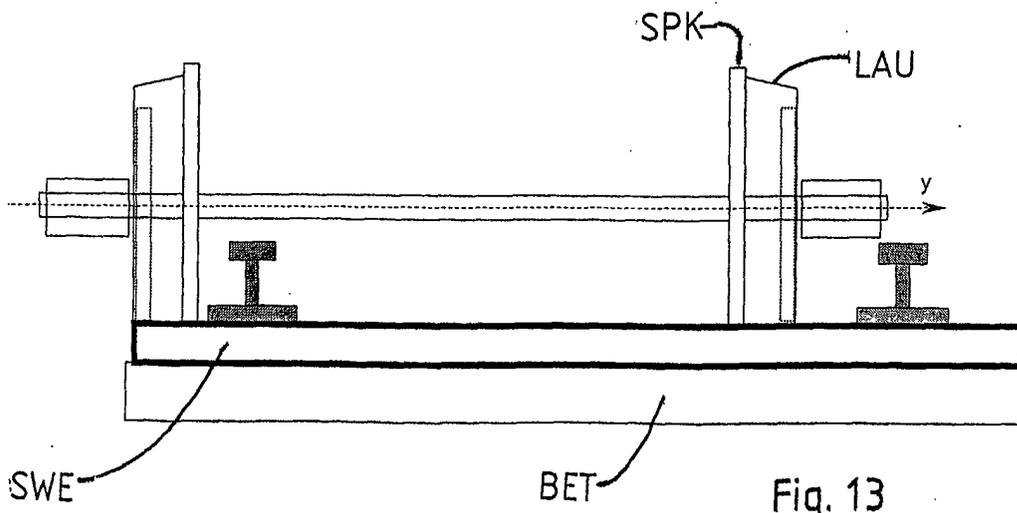


Fig. 13

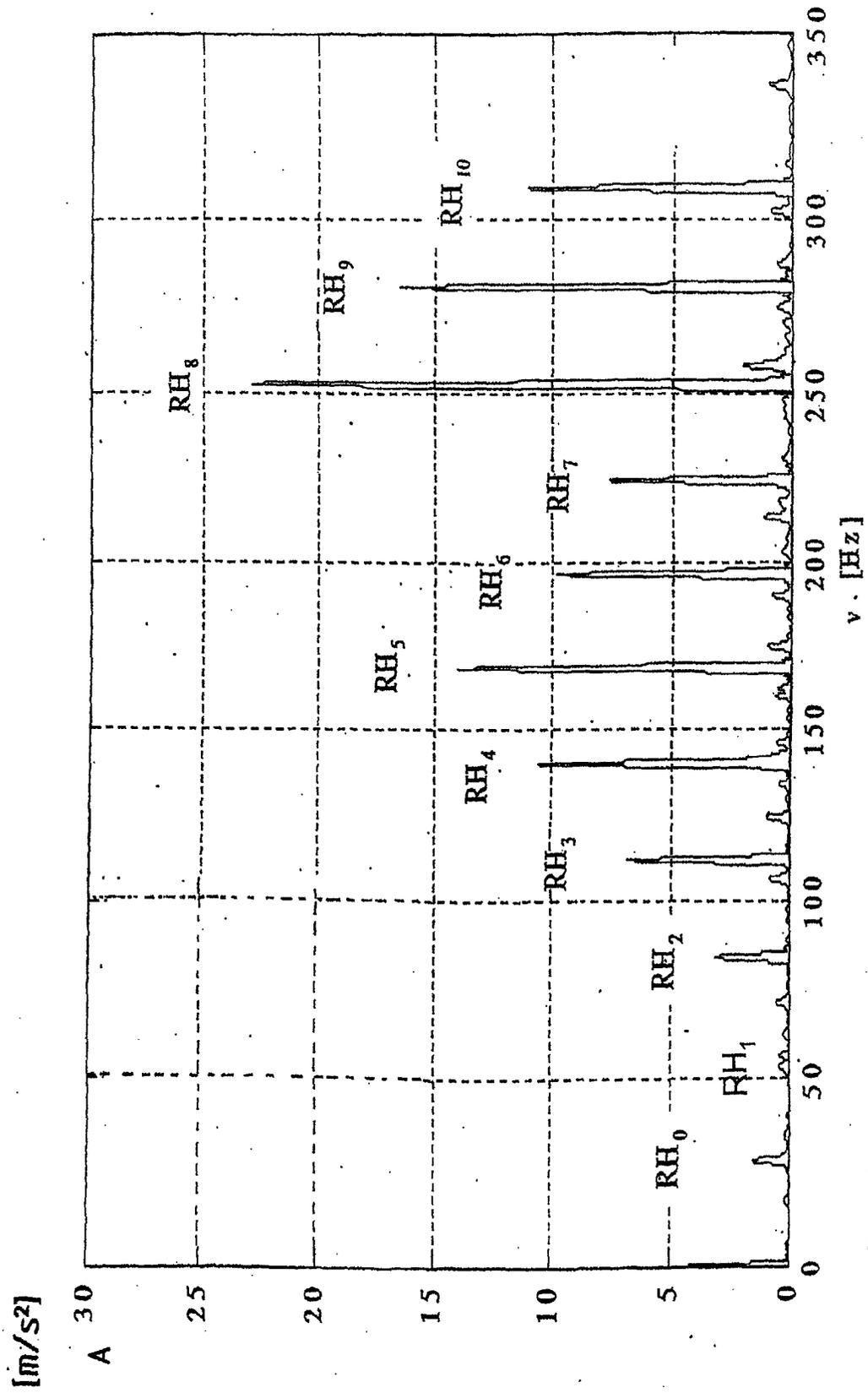


Fig. 14

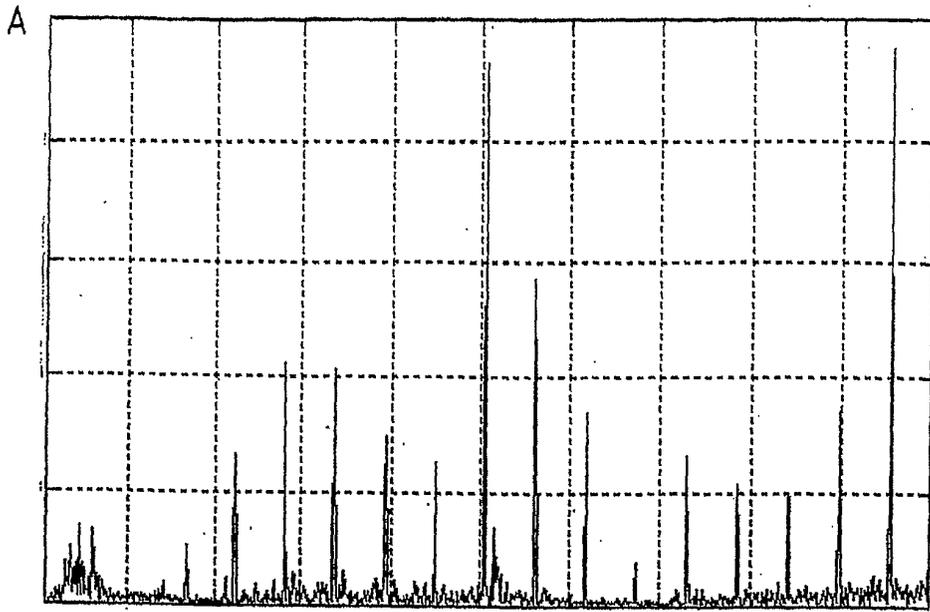


Fig. 15

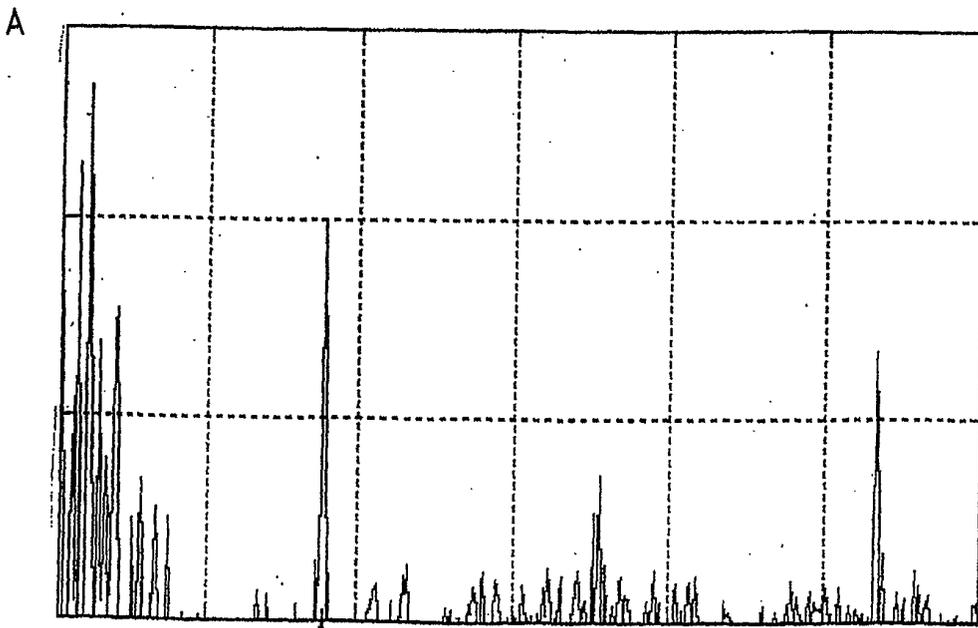


Fig. 16

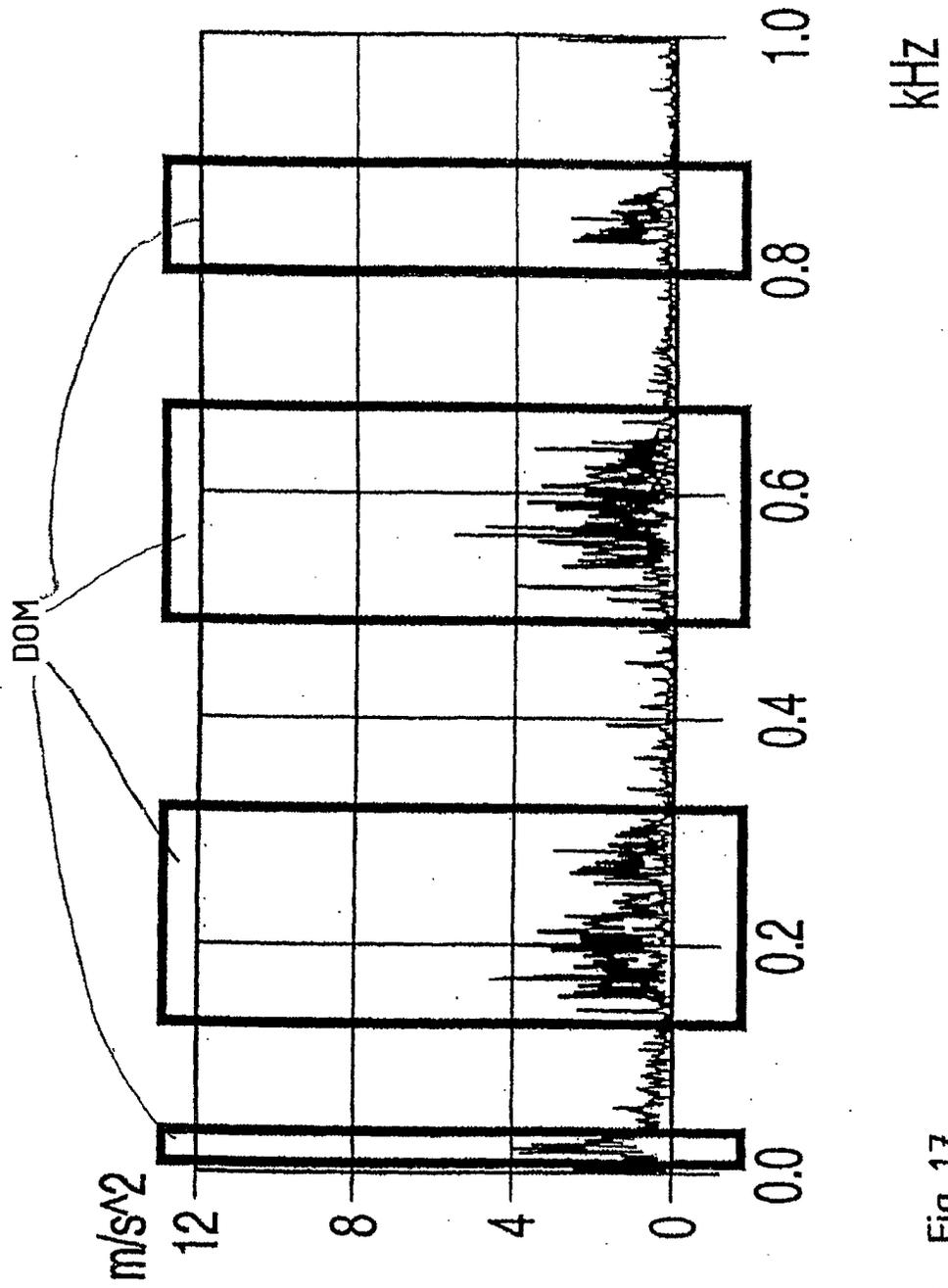


Fig. 17

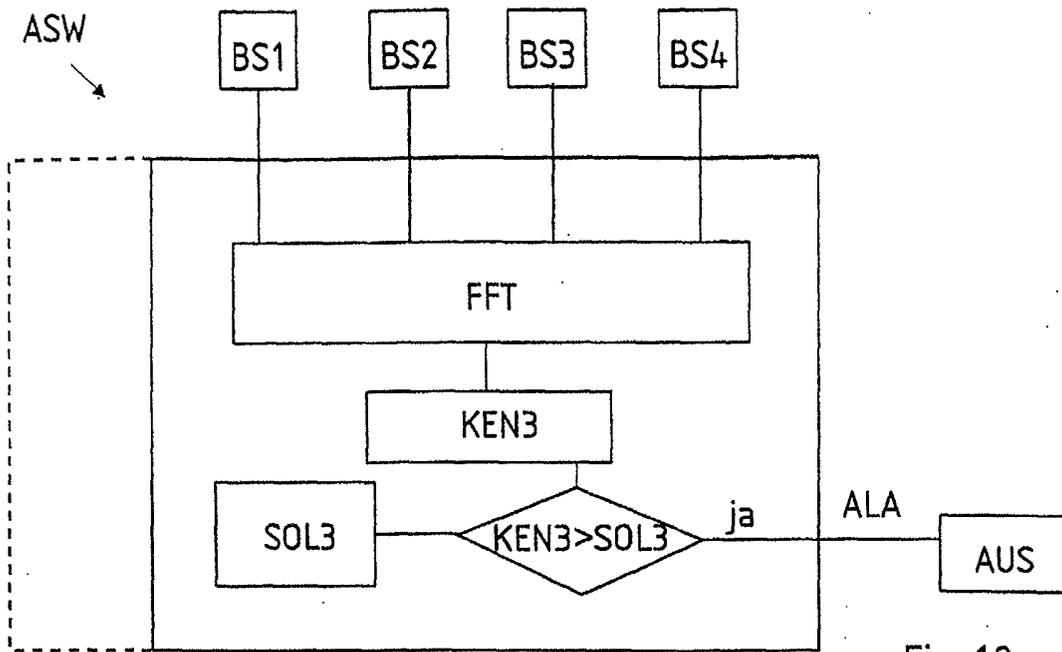


Fig. 18

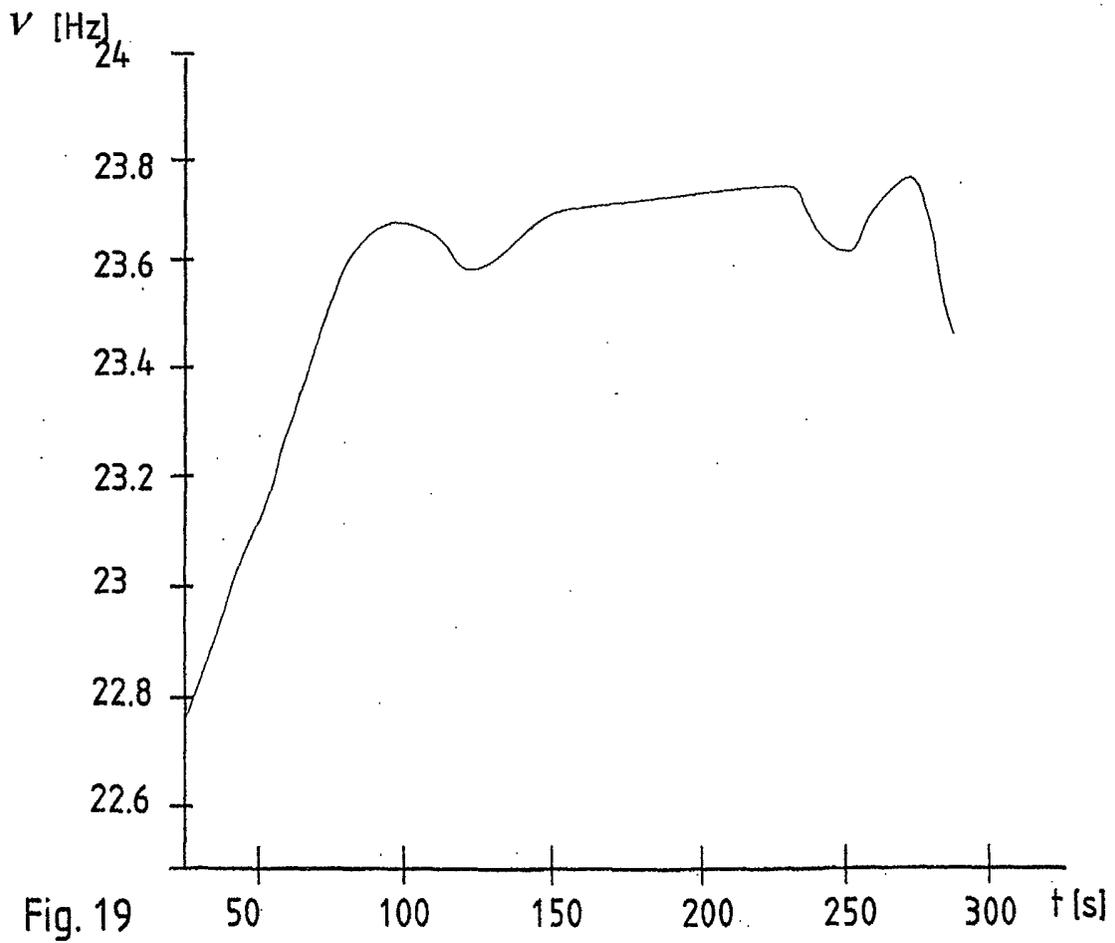
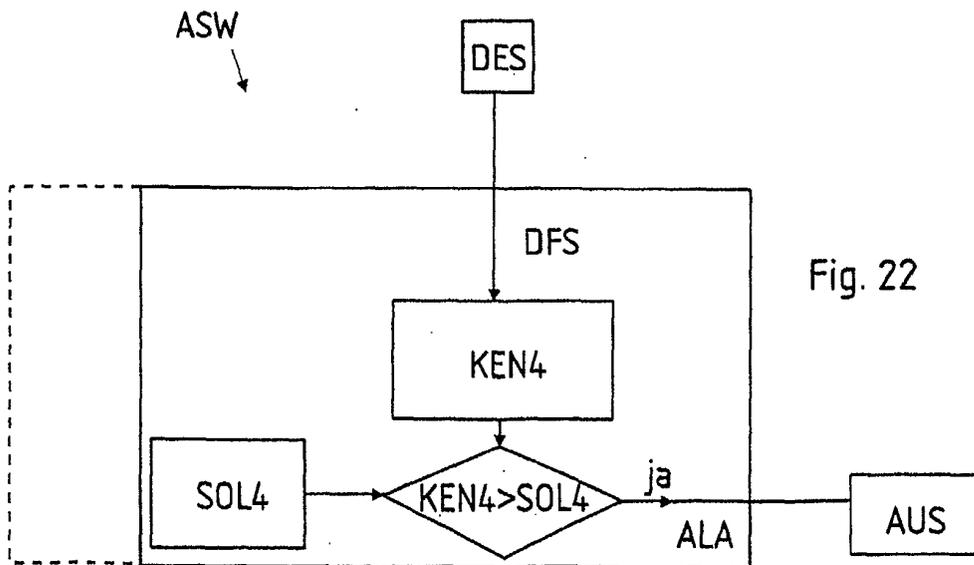
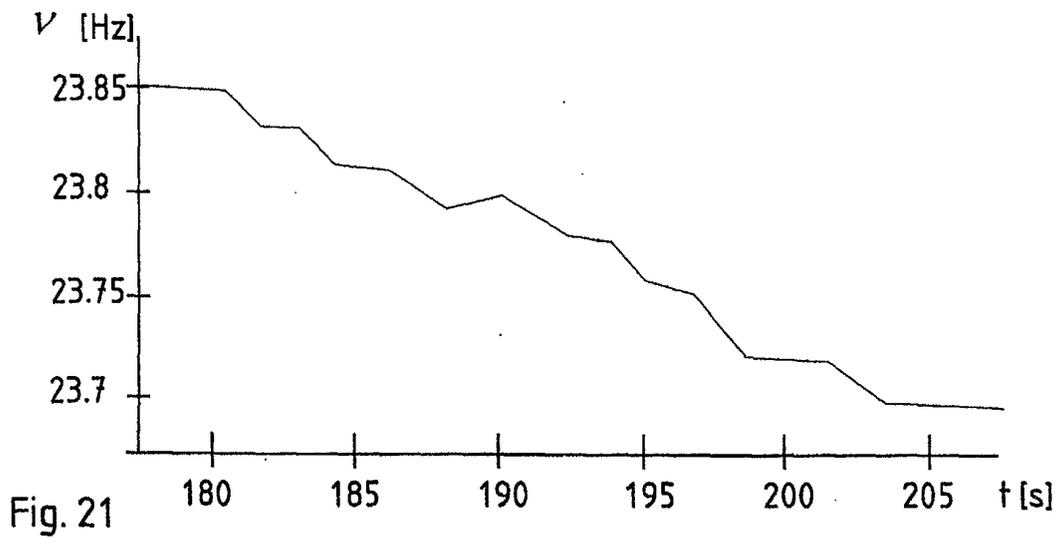
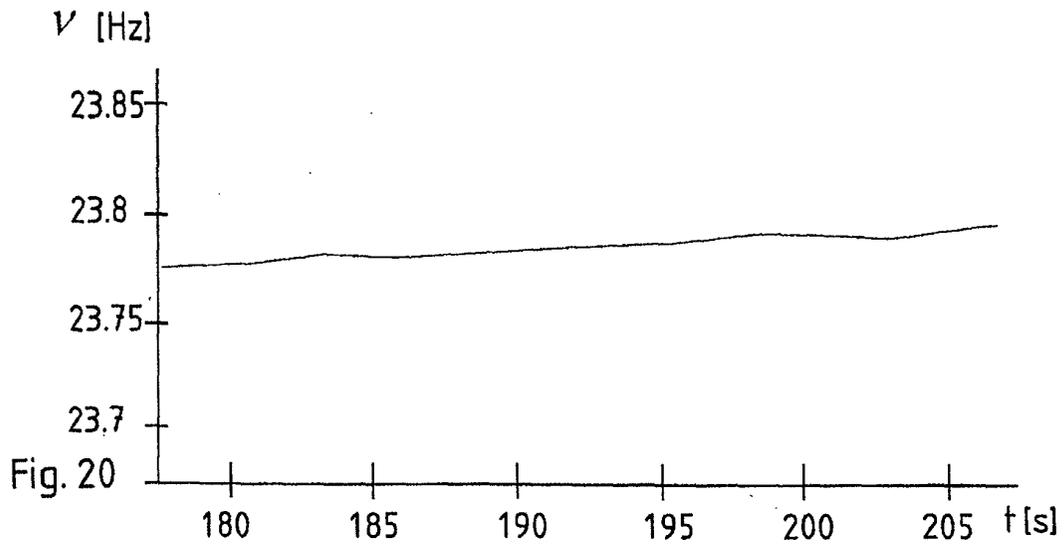


Fig. 19



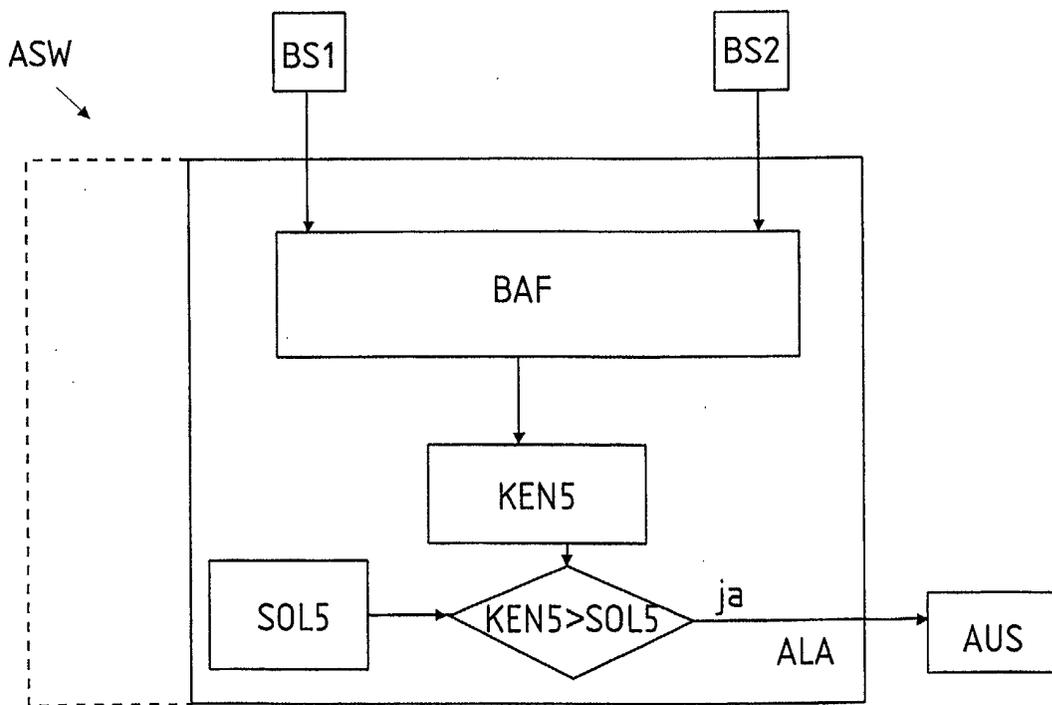
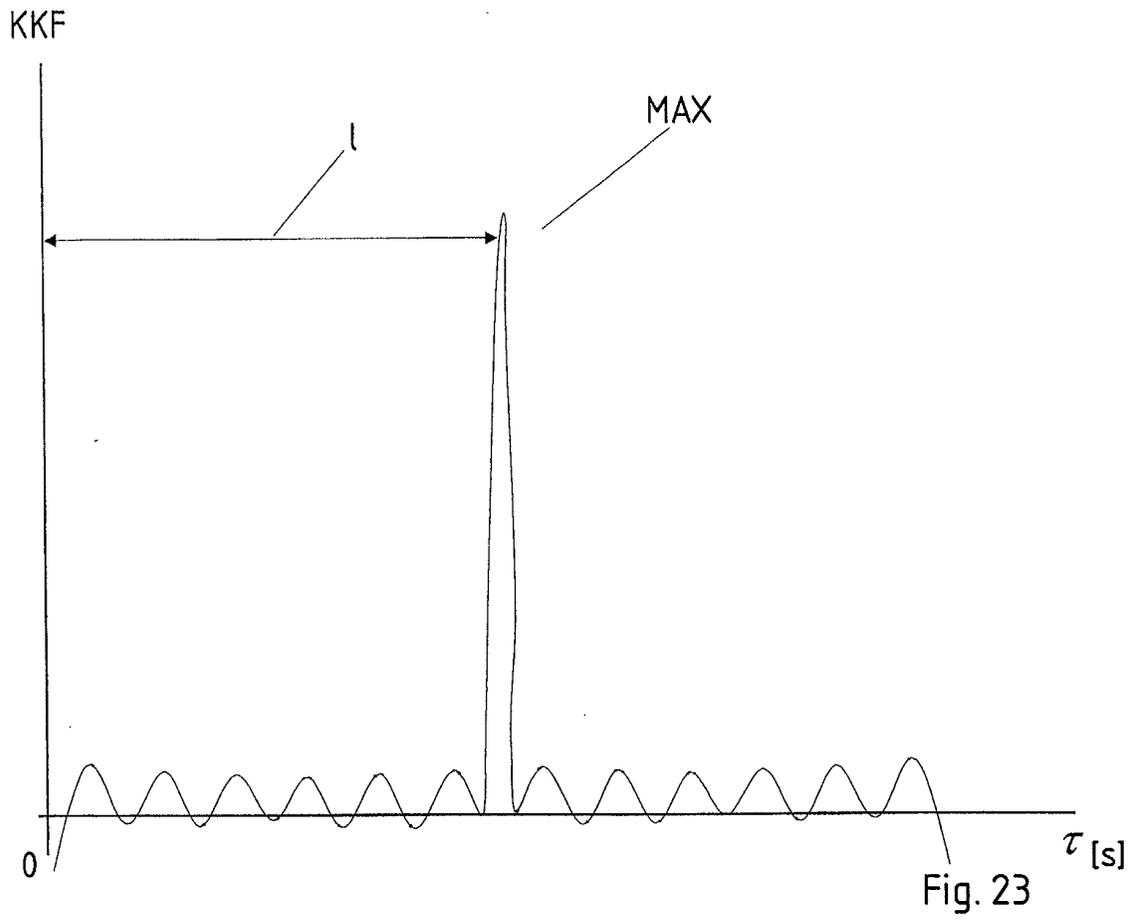
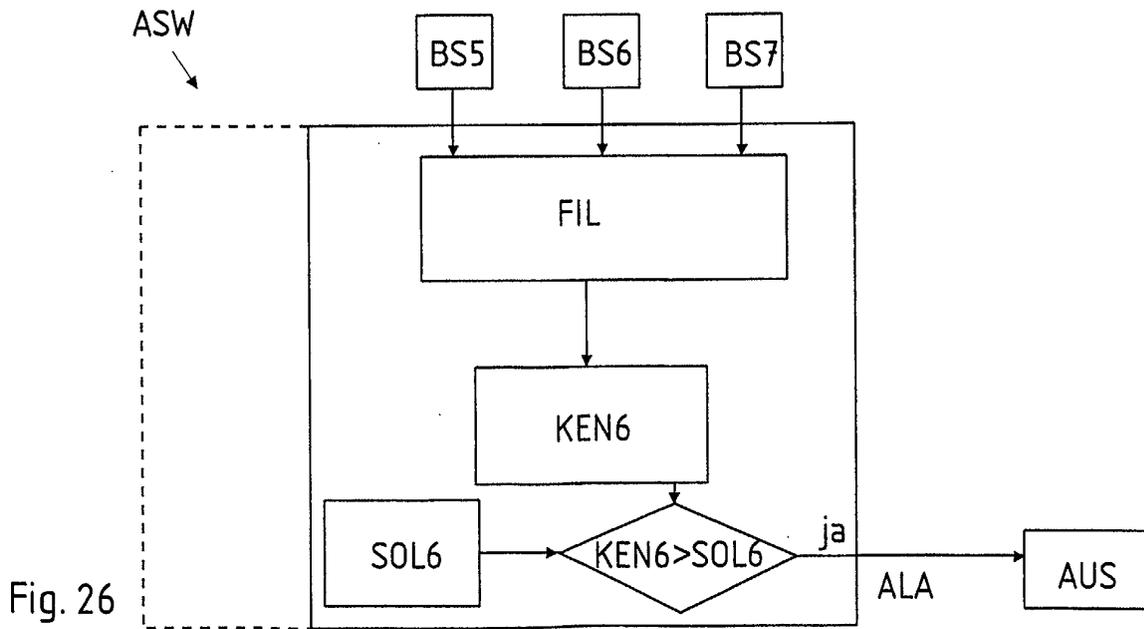
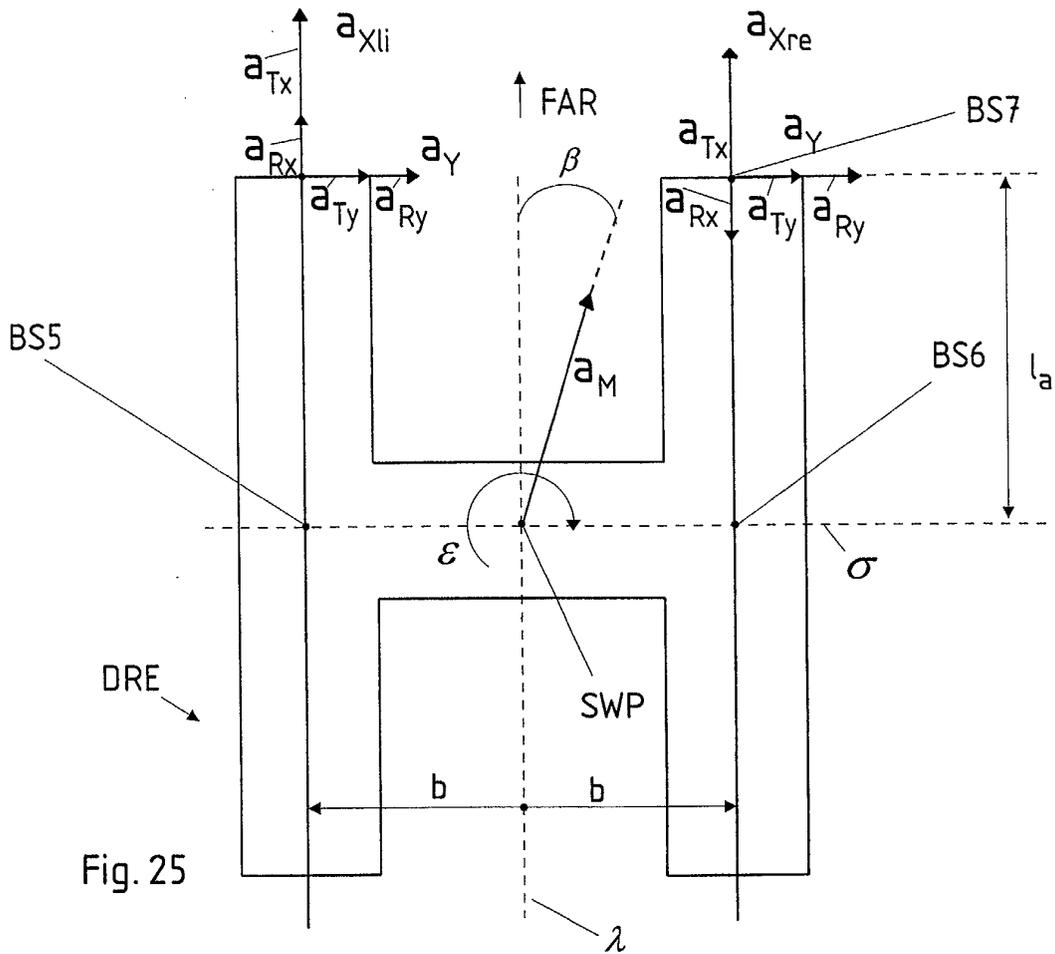


Fig. 24



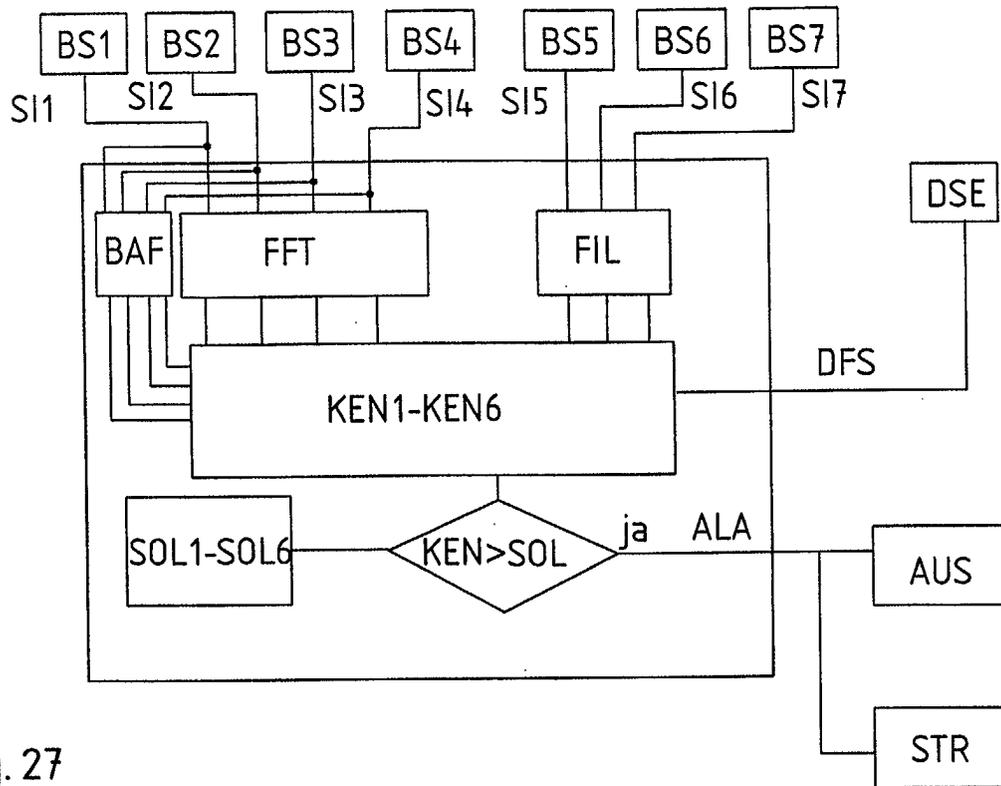


Fig. 27