

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 51012/2022 (51) Int. Cl.: **B60L 3/00** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 30.12.2022 **G01M 17/10** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2024 **G01L 5/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 2639737 A1
EP 3064793 A1
EP 3001200 A1
DE 102012206606 B3

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

(74) Vertreter:
Haas Franz Dipl.-Ing.
1010 Wien (AT)

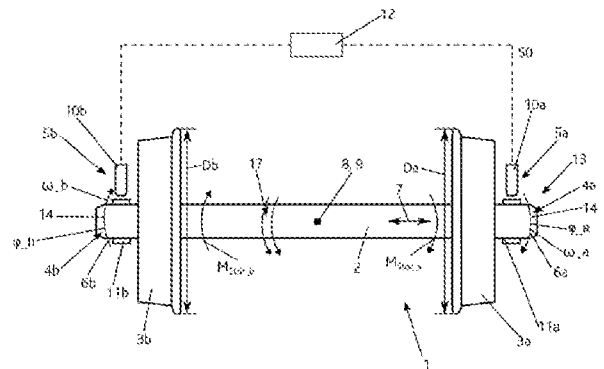
(54) **Verfahren und System zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments sowie Schienenfahrzeug**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Schienenfahrzeugs (27) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eines Torsionsmoments (M_{Tors_a} , M_{Tors_b}) einer Rollerschwingung (13), mit den folgenden Schritten:

Erfassen einer Drehbewegung (6a, 6b) der Radsatzwelle (1) durch zumindest einen Sensor (5a, 5b), vorzugsweise an der Radsatzwelle (2); und

Bestimmen des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), vorzugsweise einer Amplitude (A_a , A_b) des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), aus der Drehbewegung (6a, 6b) mithilfe eines Umrechnungsfaktors (U).

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System (51) zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Radsatzes (1) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) sowie ein Schienenfahrzeug (27) mit einem solchen System (51).



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Schienenfahrzeugs (27) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eines Torsionsmoments (M_{Tors_a} , M_{Tors_b}) einer Rollierschwingung (13), mit den folgenden Schritten:

Erfassen einer Drehbewegung (6a, 6b) der Radsatzwelle (1) durch zumindest einen Sensor (5a, 5b), vorzugsweise an der Radsatzwelle (2); und

Bestimmen des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), vorzugsweise einer Amplitude (A_a , A_b) des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), aus der Drehbewegung (6a, 6b) mithilfe eines Umrechnungsfaktors (U).

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System (51) zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Radsatzes (1) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) sowie ein Schienenfahrzeug (27) mit einem solchen System (51).

- Fig. 1 -

Beschreibung

Verfahren und System zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments sowie Schienenfahrzeug

Technisches Gebiet

- [01] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments, insbesondere eines Torsionsmoments einer Rollierschwingung, sowie ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung eines Schienenfahrzeugs.
- [02] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments, insbesondere eines Torsionsmoments einer Rollierschwingung, sowie ein Schienenfahrzeug mit einem solchen System.

Stand der Technik

- [03] Im Betrieb von Schienenfahrzeugen können an den Radsätzen Kräfte und Drehmomente auftreten, die unerwünschte Bewegungen verursachen und den Betrieb des Schienenfahrzeugs einschränken oder gar zu Beschädigungen bzw. Verschleiß führen können. Ein Beispiel für derartige unerwünschte Bewegungen sind Rollierschwingungen, die direkt an den Radsätzen auftreten und zu Torsionen der betreffenden Radsatzwellen führen. Die dabei auftretenden Torsionsmomente können sehr hoch sein und, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden, oberhalb von 100 kNm liegen, was zu starken Belastung des betreffenden Radsatzes und zu erhöhtem Verschleiß führen kann. Die Frequenz von Rollierschwingungen ist insbesondere von der Geometrie und Massenverteilung des betreffenden Radsatzes unter Berücksichtigung der Räder, Zahnräder und Bremsscheiben etc. abhängig und liegt meist im Bereich zwischen 60 Hz und 150 Hz. Da die Aufschwingzeiten von Rollierschwingungen in der Regel sehr kurz sind und oftmals unter 500 ms liegen, ist es schwierig, diese Art von Bewegung des Radsatzes frühzeitig zu erkennen, was jedoch wesentlich ist, um rechtzeitig entsprechende

Gegenmaßnahmen einzuleiten und erhöhten Verschleiß und Beschädigungen am Radsatz zu vermeiden.

- [04] Rollierschwingungen können unter anderem beim Anfahren oder Bremsen eines Schienenfahrzeugs auftreten. Eine Gegenmaßnahme, um die unerwünschten Bewegungen zu verhindern, ist daher zum Beispiel das Reduzieren der Beschleunigung des Schienenfahrzeugs beim Anfahren, was jedoch den Betrieb des Schienenfahrzeugs einschränkt.
- [05] Aus dem Stand der Technik ist bekannt, das Auftreten von Rollierschwingungen mit Hilfe von Sensoren zu detektieren. In EP 3 064 793 A1 ist ein Bewegungssensorsystem für Schienenfahrzeuge offenbart, das mehrere Drehbewegungssensoren aufweist und eine Detektion von Rollierschwingungen ermöglicht. Ein Inkrementalgeber kann zur Ausgabe eines Rolliersignals eingerichtet sein. Mit dem Sensorsystem der EP 3 064 793 A1 ist es allerdings nicht möglich, die Torsionsmomente der detektierten Rollierschwingung zu bestimmen. Somit kann zwar eine Rollierschwingung als solches erkannt und eine Gegenmaßnahme eingeleitet werden - die getroffene Gegenmaßnahme kann jedoch nicht an die Höhe der auftretenden Torsionsmomente angepasst werden. Wenn die auftretenden Torsionsmomente an einem Radsatz sehr groß sind, kann es nämlich notwendig sein, umgehend weitere Gegenmaßnahmen zu treffen, um Beschädigungen am Schienenfahrzeug zu vermeiden. Wenn die Torsionsmomente hingegen sehr klein sind, können auch gar keine oder nur gelinde, den Betrieb des Schienenfahrzeugs kaum einschränkende Gegenmaßnahmen, wie eine nur geringfügige Reduktion der Beschleunigung, erforderlich sein. Mit dem Bewegungssensorsystem der EP 3 064 793 A1 kann aufgrund fehlender Kenntnis über die Höhe der Torsionsmomente nachteiligerweise keine Entscheidung getroffen werden, welche Gegenmaßnahmen zur Unterdrückung von Rollierschwingungen vorgenommen werden müssen, ohne den Betrieb des Schienenfahrzeugs mehr als erforderlich einzuschränken. Im Lichte dieser Ausführungen wäre es daher wünschenswert, die Höhe der Torsionsmomente von Rollierschwingungen bestimmen zu können, um im Falle von

Rollierschwingungen entsprechend angepasste Gegenmaßnahmen treffen zu können.

- [06] Aus dem Stand der Technik ist weiters bekannt, allgemein zur Messung von Drehmomenten Dehnmessstreifen (DMS) einzusetzen. Das Applizieren von DMS an Radsätzen von Schienenfahrzeugen ist jedoch aufwendig und die Messergebnisse sind nach längeren Betriebszeiten fehleranfällig. Darüber hinaus können sich die DMS im Laufe des Betriebs ablösen. Die DMS müssten daher regelmäßig kontrolliert werden was einen zusätzlichen Aufwand darstellt. Nachteilig ist auch, dass die DMS an der sich drehenden Radsatzwelle mit Energie versorgt und die gemessenen Daten von den DMS an eine Verarbeitungseinheit übertragen werden müssen, was mit einem hohen konstruktiven bzw. technischen Aufwand verbunden ist.

Darstellung der Erfindung

- [07] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu lindern oder gar gänzlich zu beseitigen. Vorzugsweise ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein System zur Verfügung zu stellen, mit denen ein auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkendes Stördrehmoment, insbesondere ein Torsionsmoment einer Rollierschwingung, bestimmt werden kann.
- [08] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie durch ein System nach Anspruch 11. Das Verfahren nach Anspruch 1 kann bei einem Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung eines Schienenfahrzeugs nach Anspruch 10 eingesetzt werden. Das System nach Anspruch 11 kann bei einem Schienenfahrzeug nach Anspruch 12 eingesetzt werden.
- [09] Das Verfahren nach Anspruch 1 weist die folgenden Schritte auf:
- Erfassen einer Drehbewegung der Radsatzwelle durch zumindest einen Sensor, vorzugsweise an der Radsatzwelle; und
 - Bestimmen des Stördrehmoments, vorzugsweise einer Amplitude des Stördrehmoments, aus der Drehbewegung mithilfe eines Umrechnungsfaktors.

- [10] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass zwischen der Drehbewegung der Radsatzwelle und dem auftretenden Stördrehmoment ein Zusammenhang besteht, der mithilfe eines Umrechnungsfaktors ausgedrückt werden kann. Auf Basis der Kenntnis der Drehbewegung der Radsatzwelle kann somit das Stördrehmoment, insbesondere eine Höhe des Stördrehmoments, an der Radsatzwelle bestimmt werden, ohne eine direkte und vergleichsweise aufwendige Drehmomentmessung vornehmen zu müssen. Vorteil der Erfindung ist daher, dass das Stördrehmoment über die technisch einfacher zu erfassende Drehbewegung der Radsatzwelle, beispielsweise über die Winkelposition oder Winkelgeschwindigkeit der Radsatzwelle, bestimmt werden kann. Die Drehbewegung der Radsatzwelle kann mithilfe des zumindest einen Sensors, der vorzugsweise an der Radsatzwelle angeordnet ist, erfasst werden.
- [11] Der Sensor kann beispielsweise die Position, insbesondere die Winkelposition, und/oder die Geschwindigkeit, insbesondere die Winkelgeschwindigkeit, und/oder die Beschleunigung, insbesondere die Winkelbeschleunigung, der Radsatzwelle direkt oder indirekt als Drehbewegung erfassen. Die Drehbewegung kann durch einen zeitlichen Verlauf der (Winkel-)Position, der (Winkel-)Geschwindigkeit und/oder der (Winkel-)Beschleunigung gebildet sein. Da die (Winkel-)Position, (Winkel-)Geschwindigkeit und (Winkel-)Beschleunigung über die zeitliche Ableitung miteinander verknüpft sind, kann auch eine Umrechnung zwischen den Größen mittels zeitlicher Ableitung oder zeitlicher Integration erfolgen. Die Drehbewegung kann als kontinuierlicher oder diskreter zeitlicher Verlauf erfasst und dargestellt werden. Der zeitliche Verlauf beinhaltet eine direkte oder indirekte Änderung der Position, insbesondere der Winkelposition, der Radsatzwelle.
- [12] Der Sensor kann in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung als Inkrementalgeber ausgebildet sein. Der Inkrementalgeber kann die Winkelposition und/oder deren Änderung der Radsatzwelle erfassen und daraus die Winkelgeschwindigkeit und gegebenenfalls auch die Winkelbeschleunigung ableiten. Im Allgemeinen kann der Sensor ein stationäres Sensorteil und ein gegenüber dem stationären Sensorteil bewegliches Sensorteil, das an der Radsatzwelle oder an einem damit drehfest

verbundenen Element montiert ist, aufweisen. Das bewegliche Sensorteil, das auch als Rotor des Sensors bezeichnet werden kann, kann die Drehbewegung der Radsatzwelle mitmachen. Die Bewegung des Rotors kann vom stationären Sensorteil, das auch als Sensorkopf bezeichnet werden kann, erfasst werden. Der Sensorkopf kann an einem Rahmen oder Fahrgestell des Schienenfahrzeugs befestigt sein. Bei dem Rotor des Sensors kann es sich beispielsweise um einen Ring handeln, der entlang seines Umfangs mit voneinander beabstandeten Codierungen versehen ist. Die Codierungen können zum Beispiel magnetische oder optische Markierungen sein. Die Codierungen des Rings können vom Sensorkopf erfasst werden, beispielsweise im Falle von magnetischen Markierungen durch eine magnetische Erfassungseinheit, vorzugsweise einer Spule, oder im Falle von optischen Markierungen durch eine optische Erfassungseinheit, vorzugsweise ein optisches Sensorelement.

- [13] Der Sensor ist in Längsrichtung der Radsatzwelle gesehen bevorzugt von der Mitte der Radsatzwelle beabstandet, weil dort typischerweise ein Knotenpunkt der Rollierschwingung liegt und daher in der Mitte der Radsatzwelle Rollierschwingungen nicht erfasst werden könnten. Vorteilhaft ist daher, wenn der Sensor in einem Endbereich der Radsatzwelle, insbesondere an einem Ende der Radsatzwelle angeordnet ist, weil dort die Verwindung der Radsatzwelle am größten ist. Mithilfe des Umrechnungsfaktors und der erfassten Drehbewegung kann das Stördrehmoment bestimmt werden. Der Umrechnungsfaktor verknüpft die Drehbewegung, insbesondere eine Winkelgeschwindigkeit oder eine damit in Verbindung stehende Größe, wie etwa eine Winkelposition oder Winkelbeschleunigung, mit dem Stördrehmoment.
- [14] Bevorzugt ist dabei, wenn zur Bestimmung des Stördrehmoments nur ein beschränktes Frequenzintervall der Drehbewegung, in dem Rollierschwingungen typischerweise hauptsächlich auftreten, herangezogen wird. Ein solches Frequenzintervall kann beispielsweise zwischen 60 Hz und 150 Hz oder zwischen 80 Hz und 140 Hz liegen. Auf diese Weise können Bewegungsanteile, die nicht mit der Rollierschwingung in Zusammenhang stehen, von der erfassten Drehbewegung herausgefiltert werden. Die erste

Eigenform der Torsion aufgrund einer Rollierschwingung weist bei gattungstypischen Radsätzen eine (Eigen-)Frequenz in den angegebenen Frequenzintervallen auf. Bevorzugt wird als Stördrehmoment zumindest das Torsionsmoment der ersten Eigenform der Torsion der Radsatzwelle oder des Radsatzes erfasst. Rollierschwingungen können darüber hinaus bei Verwendung nur eines einzelnen Sensors dadurch erkannt werden, dass eine Drehbewegung in diesem Frequenzbereich vorliegt.

[15] Durch Verwendung von zwei Sensoren, insbesondere an gegenüberliegenden Endbereichen der Radsatzwelle, können Rollierschwingungen eindeutig erkannt werden und Fehlbestimmungen vermieden werden, weil die Endbereiche der Radsatzwelle durch die Torsionsbewegung in unterschiedliche Richtungen verwunden werden. Das Verfahren funktioniert jedoch auch bei Verwendung eines einzigen Sensors. Durch Verwendung von zwei Sensoren können somit Fehlerkennungen von Rollierschwingungen vermieden werden. Der Umrechnungsfaktor kann eine reelle Zahl sein und gibt eine Relation zwischen der Drehbewegung der Radsatzwelle und dem Stördrehmoment an. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel gibt der Umrechnungsfaktor eine Relation zwischen der Winkelgeschwindigkeit der Radsatzwelle und dem Stördrehmoment, insbesondere dem Torsionsmoment einer Rollierschwingung, an. Der Umrechnungsfaktor besitzt in diesem Fall die Einheit $\text{Nm}/(\text{rad/s})$. Da, wie oben erläutert, ein mathematischer Zusammenhang zwischen der (Winkel-)Position, der (Winkel-)Geschwindigkeit und der (Winkel-)Beschleunigung besteht, kann der Umrechnungsfaktor auch eine Relation zwischen einer der genannten anderen Größen (oder einer noch höheren zeitlichen Ableitung) und dem Stördrehmoment bilden.

[16] Wenn zwei Sensoren an der Radsatzwelle verwendet werden, kann das Stördrehmoment auch auf Basis einer Differenz der durch die Sensoren erfassten Drehbewegungen bestimmt werden. Beispielsweise kann eine Differenz zwischen den von den Sensoren erfassten Winkelpositionen bestimmt und auf deren Basis das Stördrehmoment bestimmt werden. In diesem Fall kann der Umrechnungsfaktor auf Basis der Torsionsfedersteifigkeit ermittelt werden oder durch diese gebildet sein. Mithilfe des Umrechnungsfaktors kann aus einem zeitlichen Verlauf der Drehbewegung

ein zeitlicher Verlauf des Stördrehmoments ermittelt werden. Die Höhe des Umrechnungsfaktors hängt unter anderem von der Geometrie des Radsatzes, dem Material des Radsatzes und der Massenverteilung des Radsatzes ab. Ein Radsatz eines Schienenfahrzeugs kann eine Radsatzwelle, zumindest zwei Räder und gegebenenfalls zumindest ein Zahnrad aufweisen.

- [17] Bei dem Umrechnungsfaktor kann es sich um eine unveränderliche oder eine zeitlich veränderliche Größe handeln. Wenn der Umrechnungsfaktor eine veränderliche Größe ist, kann dieser an eine veränderte Massenverteilung und Geometrie des Radsatzes angepasst werden, um einen allfälligen Verschleiß des Radsatzes zu berücksichtigen. Auf diese Weise kann das Stördrehmoment über die Lebensdauer des Radsatzes mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Der Umrechnungsfaktor kann mit der Drehbewegung verknüpft, insbesondere multipliziert, werden, um das Stördrehmoment zu erhalten.
- [18] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Drehbewegung durch eine Winkelposition, eine Winkelgeschwindigkeit, eine Winkelbeschleunigung der Radsatzwelle oder eine damit in Beziehung stehende, vorzugsweise proportionale, Größe repräsentiert wird. Der Umrechnungsfaktor besitzt beispielsweise im Falle der Erfassung der Drehbewegung als Winkelgeschwindigkeit die Einheit $\text{Nm}/(\text{rad}/\text{s})$. Der Umrechnungsfaktor kann bei einem beispielhaften Radsatz zwischen 25 000 $\text{Nm}/(\text{rad}/\text{s})$ und 30 000 $\text{Nm}/(\text{rad}/\text{s})$ liegen, wenn die Drehbewegung als Winkelgeschwindigkeit erfasst wird. Die Winkelgeschwindigkeit bzw. die anderen Größen können direkt oder indirekt durch den Sensor gemessen werden. Beispielsweise kann die Winkelposition der Radsatzwelle gemessen werden und durch zeitliche Ableitung die Winkelgeschwindigkeit oder Winkelbeschleunigung bestimmt werden.
- [19] In einem anderen Beispiel kann der Sensor die Änderung der Winkelposition der Radsatzwelle messen und die Winkelgeschwindigkeit oder die Winkelbeschleunigung ausgeben. Alternativ kann der Sensor auch die Winkelbeschleunigung messen und die Winkelgeschwindigkeit oder die Winkelposition durch zeitliche Integration der Winkelbeschleunigung ermittelt werden. Die Winkelposition, Winkelgeschwindigkeit oder Winkelbeschleunigung können als zeitlicher Verlauf bestimmt und dargestellt

werden. Aufgrund mathematischer Zusammenhänge ist es für die Erfindung letztlich nicht ausschlaggebend, welche der Größen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung gemessen wird. Beispielsweise stehen Winkelposition und Winkelbeschleunigung mit der Winkelgeschwindigkeit über die zeitliche Integration bzw. Ableitung in Beziehung. Anstelle der Winkelgeschwindigkeit kann die Drehbewegung daher auch durch die Winkelposition oder Winkelbeschleunigung, insbesondere deren zeitliche Verläufe, repräsentiert werden.

[20] Bevorzugt ist, wenn ein Sensorsignal des Sensors insbesondere vor Bestimmung des Stördrehmoments einer Signalverarbeitung zugeführt wird, um einen vom Stördrehmoment verursachten Anteil der Drehbewegung zu extrahieren, vorzugsweise wobei die Signalverarbeitung aufweist:

 eine Bandpassfilterung, um Frequenzen oberhalb und unterhalb eines Bereichs von zu erwartenden Frequenzen des Stördrehmoments zu unterdrücken, und/oder

 eine Gleichrichtung und/oder

 eine Tiefpassfilterung.

[21] Durch die Signalverarbeitung können Signalanteile, die nicht der Drehbewegung zufolge des Stördrehmoments zuzuordnen sind, unterdrückt werden. „Extrahieren“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Signalanteile von der Signalverarbeitung nicht unterdrückt, sondern für die Weiterverarbeitung verwendet werden. Da zu bestimmende Stördrehmomente, insbesondere Torsionsmomente von Rollierschwingungen, meist in bestimmten Frequenzbereichen auftreten, ist es vorteilhaft, Signalanteile anderer Frequenzen außerhalb dieses Frequenzbereichs herauszufiltern bzw. zu unterdrücken. Rollierschwingungen, insbesondere Torsionsmomente der ersten Eigenform einer Torsion der Radsatzwelle, treten typischerweise in einem Frequenzbereich zwischen 60 und 150 Hz auf, insbesondere zwischen 80 Hz und 140 Hz. Aus diesem Grund kann eine insbesondere digitale Bandpassfilterung vorgesehen sein, die Frequenzen oberhalb und unterhalb dieses Frequenzbereichs im Wesentlichen unterdrückt. Der Bereich der zu erwartenden Frequenzen des Torsionsmoments von Rollierschwingungen liegt vorzugsweise daher

zwischen 60 Hz und 150 Hz, insbesondere zwischen 80 Hz und 140 Hz. Durch die Wahl eines Frequenzbereiches können auch dann noch Stördrehmomente bestimmt werden, wenn sich die (Eigen-)Frequenzen der Rollierschwingungen aufgrund der Abnutzung des Radsatzes an den Rädern ändern. Die erste und wichtigste Eigenform der Torsion aufgrund einer Rollierschwingung weist bei gattungstypischen Radsätzen (Eigen-)Frequenzen zwischen 60 Hz und 150 Hz, insbesondere zwischen 80 Hz und 140 Hz, auf.

- [22] Die Signalverarbeitung kann auch eine Gleichrichtung der erfassten Drehbewegung sowie eine anschließende Tiefpassfilterung zur Filterung unerwünschter Frequenzen umfassen. Auf diese Weise kann aus dem zeitlichen Verlauf der Drehbewegung ein positiver Wert, insbesondere eine Amplitude, erhalten werden, der die Drehbewegung repräsentiert. Wenn die Drehbewegung beispielsweise durch eine Winkelgeschwindigkeit repräsentiert wird, wird durch die Signalverarbeitung eine Winkelgeschwindigkeitsamplitude der unerwünschten Bewegung, insbesondere einer Rollierschwingung, bestimmt. Die Amplitude kann in Form einer Einhüllenden der Drehbewegung vorliegen. Die Grenzfrequenz der Tiefpassfilterung kann zwischen 8 Hz und 20 Hz, vorzugsweise zwischen 10 Hz und 15 Hz, beispielsweise bei 12 Hz, liegen. Der nach der Signalverarbeitung erhaltene Wert kann mit dem Umrechnungsfaktor verknüpft, insbesondere multipliziert, werden, um das Stördrehmoment zu erhalten. Es ist möglich, den Umrechnungsfaktor zuerst mit dem Signal zu verknüpfen und anschließend das Signal der Signalverarbeitung zuzuführen. Bevorzugt ist jedoch, wenn die Signalverarbeitung vor der Verknüpfung mit dem Umrechnungsfaktor durchgeführt wird. Die Signalverarbeitung kann, aber muss nicht in der angegebenen Reihenfolge – zuerst die Bandpassfilterung, anschließend die Gleichrichtung und schließlich die Tiefpassfilterung – erfolgen.
- [23] Da die Filter der Signalverarbeitung eine unerwünschte Signaldämpfung einführen können, kann es günstig sein, wenn das Sensorsignal insbesondere nach der Signalverarbeitung mit einem Skalierungsfaktor verknüpft wird, um eine Dämpfung der Signalverarbeitung im Wesentlichen zu kompensieren. Dadurch werden Fehler bei der Bestimmung des Stördrehmoments vermieden. Die Höhe des Skalierungsfaktors hängt von der Dämpfung durch

die einzelnen Filter ab, d.h. aus dem Verhältnis des Betrags des Signals am Eingang und am Ausgang eines Filters. Es ist aber auch möglich, die einzelnen Filter oder Elemente der Signalverarbeitung (Bandpassfilterung, Tiefpassfilterung und/oder Gleichrichtung) so zu skalieren, dass keine Dämpfung eingeführt wird und daher kein separater Skalierungsfaktor erforderlich ist. In diesem Fall wird die Einhüllende der Winkelgeschwindigkeitsamplitude durch Skalierung der Filter oder Elemente der Signalverarbeitung im Durchlassbereich der Filter bereits ausreichend genau ermittelt. Die Verknüpfung des Skalierungsfaktors mit dem Sensorsignal kann insbesondere durch Multiplikation erfolgen. Wenn die Filter der Signalverarbeitung normiert sind und keine Dämpfung einführen, kann auf den Skalierungsfaktor verzichtet werden bzw. kann der Skalierungsfaktor 1 sein. Es ist auch möglich, dass der Skalierungsfaktor in dem Umrechnungsfaktor enthalten ist. In einem Beispiel kann der Wert des Skalierungsfaktors zwischen 1 und 2 liegen.

- [24] Das Sensorsignal kann insbesondere nach der Signalverarbeitung mit dem Umrechnungsfaktor verknüpft, insbesondere multipliziert, werden, um das Stördrehmoment, vorzugsweise eine Amplitude des Stördrehmoments, insbesondere eine Amplitude einer Einhüllenden des Stördrehmoments, zu erhalten. Wenn sich eine Amplitude des auf die Radsatzwelle wirkenden Stördrehmoments ändert, ändert sich auch die Drehbewegung, insbesondere die Winkelgeschwindigkeit, und damit das Sensorsignal und auch das mittels des Verfahrens bestimmte Stördrehmoment. Dadurch kann stets das aktuelle Stördrehmoment bestimmt werden. Der Umrechnungsfaktor kann zeitlich konstant oder veränderlich sein. Wenn eine Bandpassfilterung mit einer oberen und unteren Grenzfrequenz, eine Gleichrichtung und eine anschließende Tiefpassfilterung auf das Sensorsignal angewendet werden, wird eine Einhüllende der Drehbewegung, vorzugsweise eine Einhüllende der Winkelgeschwindigkeit oder einer anderen damit in Zusammenhang stehenden Größe, in Folgefolge der Rollerschwingung erfasst und verarbeitet. Dementsprechend wird in diesem Fall auch eine Einhüllende des Stördrehmoments erhalten. Wenn die Drehbewegung als Winkelgeschwindigkeit erfasst und verarbeitet wird, kann der

Umrechnungsfaktor bei einem gattungstypischen Radsatz zwischen 25 000 Nm/(rad/s) und 30 000 Nm/(rad/s) liegen. Der Umrechnungsfaktor kann der Torsionsfedersteifigkeit der Radsatzwelle entsprechen oder daraus abgeleitet werden, wenn das Stördrehmoment, insbesondere ein Torsionsmoment, auf Basis einer Differenz der von zwei Sensoren an der Radsatzwelle erfassten Winkelpositionen bestimmt wird.

- [25] Bei einer Ausführungsform der Erfindung kann der Umrechnungsfaktor mithilfe eines mathematischen Modells der Radsatzwelle, vorzugsweise eines mathematischen Modells eines die Radsatzwelle umfassenden Radsatzes, bestimmt werden oder vor Durchführung des Verfahrens bestimmt worden sein. Der Umrechnungsfaktor kann mithilfe des Modells analytisch oder numerisch bestimmt werden. In dem mathematischen Modell können Änderungen der Radsatzgeometrie oder Massenverteilung, die insbesondere durch Verschleiß des Radsatzes entstehen können, berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck können Parameter und Größen in dem mathematischen Modell angepasst werden, die die geänderte Geometrie und Massenverteilung berücksichtigen. Die Anpassung der Parameter und Größen kann durch Schätzung auf Basis der gefahrenen Kilometer des Radsatzes oder nach Vermessung des Radsatzes erfolgen. Der Umrechnungsfaktor kann vor Anwendung des Verfahrens und/oder während des Verfahrens auf Basis des mathematischen Modells bestimmt werden. Der Umrechnungsfaktor kann bei einem Ausführungsbeispiel in zeitlichen Abständen auf Basis des mathematischen Modells bestimmt werden.
- [26] Im Folgenden wird ein Umrechnungsfaktor zwischen einem Torsionsmoment der Radsatzwelle und einer damit in Verbindung stehenden Winkelgeschwindigkeitsamplitude der Radsatzwelle bestimmt. Bei einem beispielhaften vereinfachten mathematischen Modell wird für den Radsatz ein mechanisches Ersatzsystem verwendet, bei dem im Zentrum der Radsatzwelle oder anstelle der Radsatzwelle eine Drehfeder mit einer Torsionsfedersteifigkeit k_T angenommen wird (siehe auch die Figurenbeschreibung unten). Eine typische Torsionsfedersteifigkeit liegt bei $3,7 \cdot 10^7$ Nm/rad. Die Massenträgheit des Radsatzes wird mit θ bezeichnet und kann beispielsweise mit 105 kg m^2 angenommen werden. Aus der

Torsionsfedersteifigkeit k_T und der Massenträgheit θ des Radsatzes lässt sich die erste Torsionseigenfrequenz

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k_T}{\theta}} \quad (1)$$

bestimmen. Die Torsionseigenfrequenz ω_1 ist im Wesentlichen konstant, sofern sich die Massenträgheit θ des Radsatzes und die Torsionsfedersteifigkeit k_T nicht ändern. Mit der folgenden Gleichung kann die Verwindung unter Torsion beschrieben werden:

$$[GI_T(x)\varphi'(x, t)]' = -m_T(x) = 0. \quad (2)$$

Hierbei bezeichnet $GI_T(x)$ die Torsionssteifigkeit und $m_T(x)$ das verteilte Torsionsmoment. Das verteilte Torsionsmoment wird vorgegeben und in Gleichung (2) zu Null gesetzt. Die Variable x bezeichnet eine Position entlang der Radsatzwelle, die Variable t bezeichnet die Zeit. Die Striche ' bezeichnen die örtliche Ableitung. Gleichung (2) beschreibt den stationären Zustand unter Torsion.

[27] Die Verwindung kann über den Separationsansatz zu

$$\varphi(x, t) = \Phi(x) q(t) \quad (3)$$

aufgeteilt werden, wobei $\Phi(x)$ die Form der Torsionsmode aus dem vereinfachten mechanischen Ersatzsystem (insbesondere die erste Eigenform der Torsion, siehe auch Figurenbeschreibung unten) und $q(t)$ eine generalisierte Koordinate bezeichnet. Für $q(t)$ kann eine harmonische Schwingung

$$q(t) = A \sin(\omega_1 t) \quad (4)$$

mit einer Amplitude A und der Frequenz ω_1 angenommen werden. Für Gleichung (3) folgt daraus

$$\varphi(x, t) = \Phi(x) A \sin(\omega_1 t) \quad (5)$$

und daraus für die Winkelgeschwindigkeit

$$\omega(x, t) = \frac{d}{dt} \varphi(x, t) = \Phi(x) A \omega_1 \cos(\omega_1 t) \quad (6)$$

[28] Für die Winkelamplitude und die Winkelgeschwindigkeitsamplitude an der Stelle $x=a$ ergibt sich

$$\varphi_A(a) = A \Phi(a) \quad \text{und} \quad \omega_A(a) = A \Phi(a) \omega_1 . \quad (7)$$

Die Amplitude A der generalisierten Koordinate bzw. die generalisierte Koordinate $q(t)$ lassen sich damit wie folgt ausdrücken:

$$A = \frac{\omega_A(a)}{\Phi(a) \omega_1} \quad (8)$$

und

$$q(t) = \frac{\omega_A(a)}{\Phi(a) \omega_1} \sin(\omega_1 t) . \quad (9)$$

[29] Für das Torsionsmoment M_T gilt

$$M_T(x, t) = G I_T(x) \varphi'(x, t), \quad (10)$$

wobei $I_T(x)$ das Trägheitsmoment und G das Schubmodul bezeichnet, die vom verwendeten Werkstoff und der Geometrie des Radsatzes abhängen. Mit Gleichung (9) folgt für $\varphi'(x, t)$

$$\varphi'(x, t) = \Phi'(x) q(t) = \Phi'(x) \frac{\omega_A(a)}{\Phi(a) \omega_1} \sin(\omega_1 t) \quad (11)$$

und damit für Gleichung (10)

$$M_T(x, t) = G I_T(x) \Phi'(x) \frac{\omega_A(a)}{\Phi(a) \omega_1} \sin(\omega_1 t) . \quad (12)$$

Die Amplitude des Torsionsmoments berechnet sich somit zu

$$M_T(x) = G I_T(x) \Phi'(x) \frac{\omega_A(a)}{\Phi(a) \omega_1} , \quad (13)$$

woraus sich für den Umrechnungsfaktor U

$$U = G I_T(x) \frac{\Phi'(x)}{\Phi(a) \omega_1} \quad (14)$$

ergibt. $\Phi(a)$ und $\Phi'(x)$ ergeben sich aus der Lösung der Differentialgleichung (2) unter Verwendung von Randbedingungen. ω_1 ergibt sich aus Gleichung (1). Die Winkelgeschwindigkeit $\omega_A(a)$ an der Stelle a kann durch den zumindest einen Sensor erfasst werden. Durch Lösen der Gleichungen und Einsetzen von Parametern ergibt sich ein Umrechnungsfaktor, der beispielsweise zwischen 25 000 Nm/(rad/s) und 30 000 Nm/(rad/s) liegen kann. Der in Gleichung (14) angegebene Umrechnungsfaktor U stellt eine Verknüpfung zwischen der Winkelgeschwindigkeit der Radsatzwelle und dem Stördrehmoment dar. Dies ist jedoch nur eine mögliche Ausführungsform der Erfindung. Es existieren auch andere Umrechnungsfaktoren, beispielsweise zwischen dem Stördrehmoment und einer Winkelbeschleunigung oder zwischen dem Stördrehmoment und einer Differenz zwischen zwei

Winkelpositionen der Radsatzwelle, die jeweils von einem Sensor erfasst werden.

- [30] Alternativ kann der Umrechnungsfaktor vorzugsweise vor Durchführung des Verfahrens mithilfe einer messtechnischen Bestimmungsmethode an der Radsatzwelle, vorzugsweise an einem die Radsatzwelle umfassenden Radsatz, bestimmt worden sein. Zu diesem Zweck können an dem oder an einem gleichartigen Radsatz ein oder mehrere Dehnmessstreifen (DMS) angeordnet werden und die Drehbewegung, insbesondere die Winkelposition, Winkelgeschwindigkeit und/oder Winkelbeschleunigung, der Radsatzwelle gemessen werden. Mithilfe der Dehnmessstreifen können auftretende Stördrehmomente, insbesondere Torsionsmomente, bestimmt und mit der gemessenen Drehbewegung in ein Verhältnis gesetzt werden. Das Verhältnis stellt den Umrechnungsfaktor dar. Der oder die Dehnmessstreifen werden direkt auf der Radsatzwelle und vorzugsweise 50 mm bis 150 mm beabstandet zu einem Rad angebracht. Beispielsweise können DMS ca. 100 mm beabstandet zu einer Innenseite eines Rades des Radsatzes an der Radsatzwelle angeordnet werden. Bei der messtechnischen Bestimmungsmethode wird der die Radsatzwelle enthaltende Aufbau in einem Betriebsbereich betrieben, bei welchem der Aufbau zu Rollierschwingungen neigt. Ein solcher Betriebsbereich liegt beispielsweise vor, wenn ein hohes Antriebsmoment an der Radsatzwelle anliegt und/oder die Schienen nass sind. Wenn eine Rollierschwingung auftritt, kann mit Hilfe des oder der DMS das Stördrehmoment, insbesondere das Torsionsmoment, bestimmt werden und in ein Verhältnis zu der erfassten Drehbewegung gesetzt werden, um den Umrechnungsfaktor zu bestimmen.
- [31] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Drehbewegung durch zumindest zwei Sensoren an der Radsatzwelle erfasst wird, vorzugsweise wobei die beiden Sensoren an gegenüberliegenden Endbereichen der Radsatzwelle, insbesondere an gegenüberliegenden Enden der Radsatzwelle, angeordnet sind. Vorteilhaft hierbei ist, dass Rollierschwingungen aufgrund der damit verbundenen Torsionsbewegung eindeutig von anderen Schwingungen unterschieden werden können, da die beiden Sensoren im Falle einer Torsion gegenläufige Bewegungen erfahren.

Dadurch werden Fehler bei der Bestimmung des Stördrehmoments vermieden. Wie oben bereits erwähnt, funktioniert das beschriebene Verfahren bereits mit einem einzigen Sensor, weil unerwünschte Bewegungen, insbesondere Rollierschwingungen, meist in einem bestimmten Frequenzintervall auftreten und daher aufgrund ihrer Frequenz identifiziert werden können.

- [32] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann das Stördrehmoment auf Basis einer Differenz der von den jeweiligen Sensoren erfassten Drehbewegungen der Radsatzwelle bestimmt werden. Hierzu kann beispielsweise die Differenz der von den Sensoren erfassten Winkelpositionen herangezogen werden. Alternativ kann auch die Differenz der Winkelgeschwindigkeiten oder Winkelbeschleunigungen herangezogen werden. Die Differenz der Winkelpositionen oder der anderen Größen kann, wie oben beschrieben, einer Signalverarbeitung zugeführt werden. Mithilfe des Umrechnungsfaktors kann das Stördrehmoment, insbesondere eine Amplitude des Stördrehmoments, bestimmt werden. Wenn die Differenz der Winkelpositionen zur Bestimmung des Stördrehmoments herangezogen wird, kann der Umrechnungsfaktor der Torsionsfedersteifigkeit der Radsatzwelle entsprechen oder von dieser abgeleitet sein.
- [33] Im Laufe der Zeit nutzen sich die Räder eines Radsatzes ab, wodurch sich die Gewichtsverteilung und Geometrie des Radsatzes ändert. In weiterer Folge können sich auch die Frequenzen und Amplituden der Rollierschwingungen bzw. Torsionsmomente ändern. Um Fehler in der Bestimmung der Stördrehmomente zu vermeiden, ist es daher günstig, wenn der Umrechnungsfaktor an einen sich ändernden Raddurchmesser eines an der Radsatzwelle angeordneten Rades angepasst wird. Die Änderung des Umrechnungsfaktors kann insbesondere unter Verwendung eines mathematischen Modells (siehe oben) oder auf Basis von Versuchen an dem Radsatz oder einem gleichartigen Radsatz erfolgen. Die Anpassung des Umrechnungsfaktors kann beispielsweise in Abhängigkeit der vom Radsatz zurückgelegten Kilometer und/oder der Einsatzdauer vorgenommen werden. Alternativ kann in zeitlichen Abständen der Raddurchmesser gemessen und auf Basis dieser Messungen der Umrechnungsfaktor angepasst werden.

- [34] Das beschriebene Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments kann auch bei einem Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung eines Schienenfahrzeugs nach Anspruch 10 eingesetzt werden. Ein solches Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung kann die folgenden Schritte aufweisen:
- Bestimmen eines Stördrehmoments gemäß dem oben beschriebenen Verfahren zur Bestimmung eines Stördrehmoments; und
 - Ändern einer Sollwertvorgabe einer Traktion, insbesondere Reduzieren der Beschleunigung, wenn das Stördrehmoment eine Stördrehmomentschwelle überschreitet.
- [35] Reduzieren der Beschleunigung bedeutet, dass der Betrag der Beschleunigung reduziert wird. Wenn die Beschleunigung daher einen negativen Wert annimmt (Bremsen, also Reduzieren der Geschwindigkeit), bedeutet Reduzieren der Beschleunigung in diesem Zusammenhang, dass weniger stark abgebremst wird. Rollierschwingungen entstehen oft beim Beschleunigen (Erhöhen oder Reduzieren der Geschwindigkeit). Aus diesem Grund können Rollierschwingungen unterdrückt werden, indem die Beschleunigung des Schienenfahrzeugs reduziert wird. Die Stördrehmomentschwelle, ab welcher die Sollwertvorgabe der Traktion geändert wird, liegt vorzugsweise zwischen 5 kNm und 10 kNm. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform steht die Änderung der Sollwertvorgabe in Abhängigkeit des erfassten Stördrehmoments. Je höher das Stördrehmoment ist, desto stärker kann beispielsweise die Beschleunigung reduziert werden. Zwischen dem Stördrehmoment und der Reduktion der Beschleunigung kann beispielsweise ein linearer Zusammenhang bestehen.
- [36] Die oben beschriebene Aufgabe wird auch durch ein System zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments, insbesondere eines Torsionsmoments einer Rollierschwingung, nach Anspruch 11 gelöst. Ein solches System weist folgendes auf:

zumindest einen, vorzugsweise zumindest zwei, Sensor/en zur Erfassung einer Drehbewegung einer Radsatzwelle, insbesondere einer Winkelgeschwindigkeit; und

eine Verarbeitungseinheit, die mit dem zumindest einen Sensor verbunden ist, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, das Stördrehmoment, insbesondere eine Amplitude des Stördrehmoments, aus der Drehbewegung mithilfe eines Umrechnungsfaktors zu bestimmen.

- [37] Das System ist demzufolge dazu eingerichtet, das oben beschriebene Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments auszuführen. Die in Zusammenhang mit dem Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments beschriebenen Vorteile und Merkmale können daher auf das System übertragen werden. Die Verarbeitungseinheit kann beispielsweise durch einen Mikroprozessor oder einen Teil eines Computers gebildet sein. Die Verarbeitungseinheit kann mittels eines Kabels oder drahtlos mit dem zumindest einen Sensor verbunden sein. Die Verarbeitungseinheit ist vorzugsweise an dem oder in dem Schienenfahrzeug angeordnet. Denkbar ist jedoch auch, dass die Verarbeitungseinheit in einem entfernten Server integriert ist.
- [38] Das System zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeugs wirkenden Stördrehmoments kann bei einem Schienenfahrzeug nach Anspruch 12 verwendet werden. Das Schienenfahrzeug besitzt zumindest einen eine Radsatzwelle aufweisenden Radsatz. Der Sensor oder ein Teil des Sensors ist vorzugsweise an der Radsatzwelle angeordnet.
- [39] Günstig ist, wenn der zumindest eine Sensor in eine Längsrichtung der Radsatzwelle gesehen von einem insbesondere bei einer Rollierschwingung auftretenden Schwingungsknoten einer ersten Eigenform einer Torsion der Radsatzwelle beabstandet angeordnet ist. Wenn der Radsatz bzw. die Radsatzwelle symmetrisch aufgebaut ist, liegt der Schwingungsknoten der ersten Eigenform der Torsion der Radsatzwelle im Wesentlichen im geometrischen Radsatzwellenzentrum. Bevorzugt ist daher, wenn der

zumindest eine Sensor von einem geometrischen Radsatzwellenzentrum beabstandet ist. Ist die Radsatzwelle bzw. der Radsatz nicht symmetrisch aufgebaut, befindet sich der Schwingungsknoten nicht im geometrischen Radsatzwellenzentrum, sondern versetzt dazu. Da im Schwingungsknoten eine Drehbewegung nicht feststellbar ist, ist es günstig, den zumindest einen Sensor nicht im Schwingungsknoten anzuordnen.

[40] Bevorzugt ist, wenn der zumindest eine Sensor an einem äußeren Endbereich der Radsatzwelle, vorzugsweise an einem Ende der Radsatzwelle, angeordnet ist. Wenn zwei Sensoren eingesetzt werden, was hinsichtlich der eindeutigen Identifizierung von Torsionsmomenten vorteilhaft ist, ist es günstig, wenn diese an gegenüberliegenden Endbereichen der Radsatzwelle, insbesondere gegenüberliegenden Enden der Radsatzwelle, angeordnet sind.

[41] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der zumindest eine Sensor einen feststehenden Sensorkopf sowie einen gegenüber dem Sensorkopf drehbaren und vorzugsweise magnetisiert codierten Rotor aufweist und die Drehbewegung der Radsatzwelle über die Drehung des Rotors erfassbar ist. Der Rotor ist direkt an der Radsatzwelle oder an einem mit der Radsatzwelle drehfest verbundenen Element angeordnet. Dadurch macht der Rotor die Drehbewegung der Radsatzwelle mit. Die Codierung des Rotors erlaubt die Erfassung der Winkelposition oder die Erfassung der Änderung der Winkelposition der Radsatzwelle. Aus der Winkelposition kann durch zeitliche Ableitung die Winkelgeschwindigkeit bestimmt werden. Aus der Änderung der Winkelposition kann direkt die Winkelgeschwindigkeit ermittelt werden. Der Sensorkopf ist gegenüber der Radsatzwelle stationär.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[42] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren näher beschrieben, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll. Es zeigen:

- Fig. 1 einen vereinfacht dargestellten Radsatz mit zwei Sensoren;
- Fig. 2 ein mechanisches Ersatzschaltbild eines Radsatzes;
- Fig. 3A eine Signalverarbeitung;
- Fig. 3B eine Signalverarbeitung;

- Fig. 4A-C zeitliche Diagramme einer Winkelgeschwindigkeit, einer Amplitude und eines Drehmoments;
- Fig. 5 ein vereinfacht dargestelltes Schienenfahrzeug in einer Seitenansicht;
- Fig. 6 ein Ablaufdiagramm;
- Fig. 7A ein Diagramm einer Torsion, in der der Winkel der Verwindung in Abhängigkeit der Position entlang einer Radsatzwelle ersichtlich ist; und
- Fig. 7B ein Diagramm einer Torsion, in der das Torsionsmoment einer Torsion in Abhängigkeit der Position entlang einer Radsatzwelle ersichtlich ist.

Beschreibung der Ausführungsformen

- [43] Fig. 1 zeigt einen vereinfacht dargestellten Radsatz 1 eines Schienenfahrzeugs 27 (siehe Fig. 5) in einer Ansicht von vorne. Der Radsatz 1 weist eine Radsatzwelle 2 und zwei mit der Radsatzwelle 2 verbundene Räder 3a, 3b auf. Die Räder 3a, 3b besitzen einen Raddurchmesser D_a , D_b . Der Abstand der Räder 3a, 3b zueinander ist an den Abstand zwischen den Schienen eines Gleises 28 angepasst (siehe Fig. 5). Die Räder 3a, 3b sind drehfest an der Radsatzwelle 2 angeordnet. Die Radsatzwelle 2 ist durch jeweils eine Durchgangsöffnung beider Räder 3a, 3b durchgeführt, sodass gegenüberliegende Endbereiche 4a, 4b der Radsatzwelle 2 jeweils von den Rädern 3a, 3b von einem geometrischen Zentrum 8 der Radsatzwelle 2 gesehen nach außen hin abstehen. An den Endbereichen 4a, 4b der Radsatzwelle 2 ist in der gezeigten Darstellung jeweils ein Sensor 5a, 5b zur Erfassung einer Drehbewegung 6a, 6b der Radsatzwelle 2 vorgesehen. Durch die Anordnung der Sensoren 5a, 5b an den Endbereichen 4a, 4b der Radsatzwelle 2 sind die Sensoren 5a, 5b in eine Längsrichtung 7 der Radsatzwelle 2 gesehen von dem geometrischen Zentrum 8 der Radsatzwelle 2 und damit auch von einem Schwerpunkt 9 der Radsatzwelle 2, der in dem gezeigten Beispiel mit dem geometrischen Zentrum 8 zusammenfällt, beabstandet. Die Sensoren 5a, 5b könnten auch zwischen den Rädern 3a, 3b angeordnet sein. Für das erfindungsgemäße Verfahren ist es zur Erfassung

von Drehbewegungen 6a, 6b vorteilhaft, wenn die Sensoren 5a, 5b so weit wie möglich von möglichen Schwingungsknoten 52 einer Torsion 14, insbesondere vom Schwingungsknoten der ersten Eigenform der Torsion 14 (siehe Fig. 7A), entfernt angeordnet sind. Im Falle eines symmetrisch aufgebauten Radsatzes 1 fällt der Schwingungsknoten 52 der ersten Eigenform der Torsion 14 mit dem geometrischen Zentrum 8 der Radsatzwelle 2 zusammen, weshalb eine Anordnung der Sensoren 5a, 5b an den Endbereichen 4a, 4b günstig ist.

[44] Die Sensoren 5a, 5b sind in der gezeigten Darstellung gleichartig ausgebildet und umfassen jeweils einen Sensorkopf 10a, 10b sowie einen gegenüber dem Sensorkopf 10a, 10b drehbaren Rotor 11a, 11b, der eine vorzugsweise magnetisierte Codierung besitzt. Aber auch andere Codierungsarten, wie Codierung durch optische Muster, sind anwendbar. Der Rotors 11a, 11b kann beispielsweise in Form eines an der Radsatzwelle 2 aufgebrachten Ringes vorliegen. Der Sensorkopf 10a, 10b kann mit einem Rahmen oder Fahrgestell des Schienenfahrzeugs 27 befestigt sein. Die Drehbewegung 6a, 6b der Radsatzwelle 2 wird über die Drehung des Rotors 11a, 11b und Detektion der Codierung vom Sensorkopf 10a, 10b erfasst und drahtgebunden oder drahtlos an eine Verarbeitungseinheit 12 weitergeleitet. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Verarbeitungseinheit 12 in oder an dem Schienenfahrzeug 27 angeordnet. Die Drehbewegung 6a, 6b kann beispielsweise in Form einer Winkelgeschwindigkeit ω_a , ω_b der Radsatzwelle 2 erfasst und als Sensorsignal 50 an die Verarbeitungseinheit 12 weitergeleitet werden. Ein Sensor 5a, 5b erfasst die Drehbewegung 6a, 6b an jener Längsposition der Radsatzwelle 2 in Längsrichtung 7 betrachtet, an der er angeordnet ist. Möglich ist auch, die Drehbewegung 6a, 6b beispielsweise als Winkelposition φ_a , φ_b oder als Winkelbeschleunigung zu erfassen und an die Verarbeitungseinheit 12 weiterzuleiten. Die Winkelgeschwindigkeit ω_a , ω_b kann aus diesen Größen ermittelt werden.

[45] Im Betrieb von Schienenfahrzeugen 27 können an einem Radsatz 1 insbesondere zwischen den Rädern 3a, 3b Stördrehmomente $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ auftreten, die unerwünschte Drehbewegungen 6a, 6b verursachen und den Betrieb des Schienenfahrzeugs 27 einschränken oder gar zu Beschädigungen und Verschleiß führen können. Ein Beispiel für derartige unerwünschte

Drehbewegungen 6a, 6b sind Rollierschwingungen 13, die meist beim Anfahren oder Abbremsen eines Schienenfahrzeugs 27 entstehen und zu Torsionen 14, d.h. Verwindungen, der Radsatzwelle 2 führen. Das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ kann im Falle von Rollierschwingungen 13 auch als Torsionsmoment M_{Tors_a} , M_{Tors_b} bezeichnet werden. Eine Torsion 14 einer Radsatzwelle 2 ist auch in den Fig. 7A und Fig. 7B veranschaulicht.

[46] Die Rollierschwingung 13 wird in Fig. 2 näher dargestellt. Fig. 2 zeigt ein vereinfachtes mechanisches Ersatzschaltbild eines Radsatzes 1 mit einer Drehfeder 15 als Radsatzwelle 2 und zwei Starrkörpern 16a, 16b als Räder 3a, 3b, die über die Drehfeder 15 miteinander verbunden sind. Die Rollierschwingung 13 ist durch eine Torsion 14 der Drehfeder 15 veranschaulicht, die dazu führt, dass die Starrkörper 16a, 16b bzw. die Räder 3a, 3b und die Endbereiche 4a, 4b der Radsatzwelle 2 in gegensätzliche Richtungen zueinander verdreht werden. Die Torsion 14 kann einer (erwünschten) torsionsfreien Vorwärts- oder Rückwärtsdrehung 17 der Radsatzwelle 2 zum Bewegen des Schienenfahrzeugs 27 überlagert sein. Die Torsion 14 wird durch die Stördrehmomente $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ bzw. M_{Tors_a} , M_{Tors_b} zwischen den Rädern 3a, 3b verursacht. Die Drehbewegung 6a, 6b der Radsatzwelle 2 kann an den Endbereichen 4a, 4b erfasst werden, auch wenn die Endbereiche 4a, 4b selbst im Wesentlichen frei von Stördrehmomenten $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ sind. Das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ wird vom Sensor 5a über die Drehbewegung 6a und das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_b}$ vom Sensor 5b über die Drehbewegung 6b bestimmt. Die Stördrehmomente $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ sind insbesondere bei der ersten Eigenform einer Torsion 14 im Wesentlichen gleich groß, da das Torsionsmoment einer Radsatzwelle 2 entlang der Radsatzwelle 2 im Wesentlichen konstant ist (siehe Fig. 7B). Da die Höhe der Stördrehmomente $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ bzw. M_{Tors_a} , M_{Tors_b} zumindest bei der ersten Eigenform im Wesentlichen gleich ist und diese bevorzugt mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmt wird, ist es auch möglich, das auf die Radsatzwelle 2 wirkende Stördrehmoment mit Hilfe eines einzelnen Sensors 5a, 5b zu bestimmen. Ist das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ bekannt, kann daraus auch auf $M_{\text{Stör}_b}$ geschlossen werden. Aus diesem Grund ist zur Bestimmung eines Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ und damit für die Erfindung nur ein

einzigster Sensor 5a, 5b erforderlich. Ein zweiter Sensor 5a, 5b wird nicht benötigt. Die Verwendung eines zweiten Sensors 5a, 5b am anderen Endbereich 4a, 4b der Radsatzwelle 2 wie in Fig. 1 gezeigt ist jedoch bevorzugt, um bestätigen zu können, ob es sich tatsächlich um eine Torsion 14 handelt, sodass Fehlbestimmungen vermieden werden können. Eine Torsion 14 liegt vor, wenn die Sensoren 5a, 5b unterschiedliche, insbesondere gegensinnige, Drehbewegungen 6a, 6b der Radsatzwelle 2 erfassen. Da die Torsion 14 sich an den Endbereichen 4a, 4b der Radsatzwelle 2 am stärksten in der Amplitude auswirkt, sind Sensoren 5a, 5b bevorzugt an den Endbereichen 4a, 4b der Radsatzwelle angeordnet.

[47] Die bei Rollierschwingungen 13 auftretenden Stördrehmomente $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ können sehr hoch sein und, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden, zu starker Belastung des Radsatzes 1 und zu erhöhtem Verschleiß führen. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, das Auftreten von Rollierschwingungen 13 zu detektieren und Gegenmaßnahmen zu setzen, allerdings unabhängig von der Intensität der Rollierschwingungen 13, die im Stand der Technik nicht bestimmt wird. Somit können im Stand der Technik die Gegenmaßnahmen nicht spezifisch an die Rollierschwingungen 13 angepasst werden. Wenn ein auftretendes Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ an einem Radsatz 1 sehr groß ist, kann es jedoch notwendig sein, umgehend weitere oder zielgerichtete Gegenmaßnahmen zu treffen, um Beschädigungen am Schienenfahrzeug 27 zu vermeiden. Wenn ein Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ hingegen sehr klein ist, können auch gar keine oder nur gelinde Gegenmaßnahmen, die den Betrieb des Schienenfahrzeugs 27 nicht oder nur geringfügig einschränken, erforderlich sein.

[48] Um zielgerichtete Gegenmaßnahmen beim Auftreten unerwünschter Bewegungen treffen zu können, ist erfindungsgemäß vorgesehen, die Drehbewegung 6a, 6b der Radsatzwelle 2 durch zumindest einen Sensor 5a, 5b zu erfassen und das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, vorzugsweise einer Amplitude A_a , A_b des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, aus der Drehbewegung 6a, 6b mithilfe eines Umrechnungsfaktors U zu bestimmen. Der Umrechnungsfaktor U verknüpft die Drehbewegung 6a, 6b, insbesondere eine Winkelgeschwindigkeit oder eine damit in Beziehung stehende Größe,

mit dem Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$. Dies ist in Fig. 3A am Beispiel einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

[49] Fig. 3A zeigt die Bestimmung der Amplitude A_a eines auftretenden Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, wobei die Drehbewegung 6a durch den Sensor 5a erfasst wird. In gleicher Weise kann auch die Amplitude A_b des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_b}$ bestimmt werden. Im Falle einer Rollierschwingung 13 würden die erfassten Drehbewegungen 6a, 6b zu gleichen Ergebnissen führen, wenn das Torsionsmoment M_{Tors_a} , M_{Tors_b} der ersten Eigenform einer Torsion 14 bestimmt wird, da das Torsionsmoment M_{Tors_a} , M_{Tors_b} entlang der Radsatzwelle 2 bei der ersten Eigenform der Torsion 14 im Wesentlichen konstant ist. Ein zweiter Sensor 5a, 5b ist für die Erfindung wie erwähnt nicht erforderlich, aber bevorzugt, um Fehlbestimmungen, z.B. wenn gar keine Torsion 14 vorliegt, festzustellen. Die Amplitude A_a des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$ kann auf Basis der Drehbewegung 6a nach einer Signalverarbeitung 18 bestimmt werden. Das Verfahren wird bevorzugt durch die Verarbeitungseinheit 12 ausgeführt, in welcher die einzelnen Schritte der Signalverarbeitung 18 implementiert sein können.

[50] Die von dem Sensor 5a erfasste Drehbewegung 6a, vorzugsweise eine gemessene Winkelgeschwindigkeit ω_a der Radsatzwelle 2, ist in einem Sensorsignal 50 enthalten und wird bei einer präferierten Ausführungsform der Erfindung in einem Block 19 zunächst bandpassgefiltert. Der Bandpassfilter in Block 19 unterdrückt bevorzugt Frequenzen unterhalb von 60 Hz und oberhalb von 150 Hz. Rollierschwingungen 13 besitzen typischerweise hauptsächlich Frequenzen, die innerhalb des Frequenzbandes zwischen 60 Hz und 150 Hz liegen. Anschließend wird das Sensorsignal 50 in dem Block 20 gleichgerichtet und in dem Block 21 tiefpassgefiltert. Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters in Block 21 liegt bevorzugt zwischen 8 Hz und 20 Hz. Das Sensorsignal 50 bzw. die Winkelgeschwindigkeit ω_a wird anschließend mit einem Skalierungsfaktor S (Block 22) multipliziert, um eine Dämpfung der Signalverarbeitung 18 im Wesentlichen zu kompensieren. Wenn die Verarbeitung in den Blöcken 19, 20, 21 skaliert ist, ist ein Skalierungsfaktor S nicht notwendig bzw. es gilt dann $S = 1$. Anschließend wird das Signal mit einem Umrechnungsfaktor U multipliziert (Block 23), um eine Amplitude A_a

des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$ zu erhalten. Der Umrechnungsfaktor U kann bei einem beispielhaften Radsatz 1 zwischen 25 000 Nm/(rad/s) und 30 000 Nm/(rad/s) liegen. Bevorzugt ist, wenn die Verarbeitung des Signals 50 in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt wird. Es ist aber auch beispielsweise möglich, das Signal 50 zuerst mit dem Umrechnungsfaktor U zu verknüpfen und anschließend eine Bandpassfilterung, Gleichrichtung und Tiefpassfilterung durchzuführen. Mithilfe des zweiten Sensors 5b kann überprüft werden, ob tatsächlich eine Torsion 14 vorliegt, indem festgestellt wird, ob gegensinnige Drehbewegungen 6a, 6b vorliegen.

[51] Bei einer Ausführungsform der Erfindung, bei der zwei Sensoren 5a, 5b wie in Fig. 1 gezeigt verwendet werden, kann zusätzlich oder alternativ das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ auf Basis der Differenz der von den Sensoren 5a, 5b erfassten Drehbewegungen 6a, 6b bestimmt werden. Beispielsweise kann das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, das bei der ersten Eigenform der Torsion 14 wie erwähnt entlang der Radsatzwelle 2 im Wesentlichen konstant ist, auf Basis der Differenz der von den Sensoren 5a, 5b erfassten Winkelpositionen φ_a , φ_b und dem Umrechnungsfaktor U bestimmt werden. Der Umrechnungsfaktor U kann im Fall der Bestimmung des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ auf Basis der Differenz der Winkelpositionen der Torsionsfedersteifigkeit der Radsatzwelle 2 entsprechen oder von dieser abgeleitet, d.h. ermittelt worden, sein. Um die Amplitude des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ zu erhalten, kann die Differenz der Drehbewegung 6a, 6b, insbesondere der Winkelpositionen φ_a , φ_b , der Signalverarbeitung 18 gemäß Fig. 3A zugeführt werden, wie in Fig. 3B veranschaulicht ist. Die Ausführungen zu Fig. 3A sind sinngemäß auf Fig. 3B übertragbar.

[52] Fig. 4A-C zeigen Zeitdiagramme des Sensorsignals 50 bei der Bestimmung des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ gemäß Fig. 3A. Alle drei Zeitdiagramme Fig. 4A-C zeigen jeweils denselben Zeitausschnitt des ursprünglichen (siehe Fig. 4A) bzw. teilweise verarbeiteten (siehe Fig. 4B-C) Signals 50. Die Zeitdiagramme Fig. 4A-C sind derart ausgerichtet, dass gleiche Zeitpunkte der Zeitdiagramme Fig. 4A-C direkt übereinander angeordnet sind. Die Abszisse der Zeitdiagramme Fig. 4A-C stellt die Zeit t (s) in Sekunden dar. Die Ordinaten

der Zeitdiagramm Fig. 4A und Fig. 4B bilden eine Winkelgeschwindigkeit in rad/s ab. Die Ordinate des Zeitdiagramms Fig. 4C bildet ein Drehmoment in kNm ab.

- [53] In Fig. 4A ist ein Zeitverlauf der Drehbewegung 6a der Radsatzwelle 2 als Winkelgeschwindigkeit ω_a in rad/s dargestellt. Erkennbar ist in Fig. 4A, dass die Radsatzwelle 2 anfänglich mit einer Winkelgeschwindigkeit von ca. 7,5 rad/s bewegt wird. Dies stellt eine erwünschte Vorwärtsbewegung 17 der Radsatzwelle 2 dar. Nach ungefähr 0,15 Sekunden überlagert sich der Vorwärtsbewegung 17 eine Rollierschwingung 13, deren Amplitude immer weiter zunimmt und durch eine zeitliche Schwingung der Winkelgeschwindigkeit ω_a erkennbar ist. Die Rollierschwingung 13 endet wieder nach ungefähr 1,15 Sekunden. Die Rollierschwingung 13 bzw. das in Zusammenhang mit der Rollierschwingung 13 auftretende Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ kann zu erhöhtem Verschleiß oder Beschädigungen an dem Schienenfahrzeug 27 führen.
- [54] Fig. 4B zeigt das Sensorsignal 50 nach der Bandpassfilterung (Block 19), der Gleichrichtung (Block 20), der Tiefpassfilterung (Block 21) und der Multiplikation mit dem einheitenlosen Skalierungsfaktor S (Block 22). Durch genannte Verarbeitungsschritte bleibt die Einheit rad/s des ursprünglichen Signals erhalten. In Fig. 4B ist ein Amplitudenverlauf 24 der Rollierschwingung 13 erkennbar, der auch als Einhüllende der Winkelgeschwindigkeit ω_a bezeichnet werden kann.
- [55] Fig. 4C zeigt das Sensorsignal 50 nach Verknüpfung mit dem Umrechnungsfaktor U, der die Einheit Nm/(rad/s) besitzt. Das Sensorsignal 50 zeigt nach der Verknüpfung mit dem Umrechnungsfaktor U einen zeitlichen Verlauf 25 (siehe die gestrichelte Linie) der Amplitude A_a des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, der auch als Einhüllende des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$ bezeichnet werden kann. Zum Vergleich ist auch ein gemessener Drehmomentverlauf 26 dargestellt, der das tatsächlich auf die Radsatzwelle 2 einwirkende Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ abbildet und die Rollierschwingung 13 erzeugt. Erkennbar ist, dass die Einhüllende 25 des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$ den Drehmomentverlauf 26 im Wesentlichen einhüllt und somit die Amplitude A_a des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$ über die Zeit t abbildet.

- [56] Fig. 5 zeigt ein Schienenfahrzeug 27, das entlang eines Gleises 28 fährt und in Fahrtrichtung 29 beschleunigt. Das Schienenfahrzeug 27 weist ein System 51 zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle 2 eines Radsatzes 1 wirkenden Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, bestehend aus einem Sensor 5a und einer Verarbeitungseinheit 12, auf. Die Verarbeitungseinheit 12 ist mit dem Sensor 5a verbunden. Die Verarbeitungseinheit 12 ist dazu eingerichtet, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen und das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ zu bestimmen und auszugeben. Wie oben beschrieben entspricht $M_{\text{Stör}_a}$ auch $M_{\text{Stör}_b}$, wenn das Torsionsmoment der ersten Eigenform der Torsion 14 bestimmt wird. Wenn das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$ einen Grenzwert M_{Grenz} überschreitet, kann eine Gegenmaßnahme getroffen werden, um die Rollerschwingung zu unterdrücken. Beispielsweise kann vorgesehen sein, die Beschleunigung eines Antriebs 30 des Schienenfahrzeugs 27 zu reduzieren. Das System 51 kann auch einen zweiten Sensor 5b aufweisen, mit dem überprüft werden kann, ob tatsächlich eine Torsion 14 vorliegt und/oder um das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ auf Basis der Differenz der Drehbewegungen 6a, 6b zu bestimmen.
- [57] Fig. 6 zeigt einen schrittweisen Ablauf eines Verfahrens zur Steuerung und/oder Regelung eines Schienenfahrzeugs 27. In Schritt 201 wird ein Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, vorzugsweise eine Amplitude A_a , A_b des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ bestimmt. Anschließend wird in Schritt 202 das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ mit einer Stördrehmomentschwelle M_{Grenz} verglichen. Durch Auswertung der Sensorsignale 50 von zwei Sensoren 5a, 5b an der Radsatzwelle 2 an gegenüberliegenden Endbereichen 4a, 4b kann überprüft werden, ob tatsächlich eine Torsion 14 vorliegt, um zu vermeiden, dass fälschlicherweise Gegenmaßnahmen getroffen werden. Wenn das Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ größer als die Stördrehmomentschwelle M_{Grenz} ist, wird in Schritt 203 eine Gegenmaßnahme getroffen. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass eine Sollwertvorgabe einer Traktion geändert wird, insbesondere eine Beschleunigung des Schienenfahrzeugs 27 reduziert wird. Die Reduktion der Beschleunigung kann von der Höhe des Stördrehmoments $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$ abhängig sein. Je größer das

Stördrehmoment $M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$, desto stärker kann die Sollwertvorgabe der Traktion geändert werden.

- [58] Fig. 7A zeigt einen normierten Winkel α einer Torsion 14 gemäß der ersten Eigenform einer Radsatzwelle 2 entlang der Position x der Radsatzwelle 2, die beispielsweise eine Länge von 218 cm aufweisen kann. Der Radsatz 1 bzw. die Radsatzwelle 2, auf deren Basis die Verläufe des Winkels α und des Moments T (siehe Fig. 7B) ermittelt wurden, ist nicht symmetrisch, weshalb der Schwingungsknoten 52 bei $\alpha = 0$ nicht im geometrischen Zentrum 8 der Radsatzwelle 2 bei $x = 1$ liegt. Der abgeflachte Verlauf des Winkels α im Bereich $x = 1$ ist auf ein Zahnrad (nicht gezeigt) zum Antreiben der Radsatzwelle 2 zurückzuführen. Der Winkel α ist ein normierter Winkel, bezogen auf den maximalen Verwindungswinkel.
- [59] Fig. 7B zeigt ein normiertes Torsionsmoment T , bezogen auf einen Maximalwert des Torsionsmoments M_{Tors_a} , M_{Tors_b} , entlang der Position x der Radsatzwelle 2 gemäß Fig. 7A. Das dargestellte Torsionsmoment T entspricht dem Torsionsmoment der ersten Eigenform der Radsatzwelle 2. Es ist erkennbar, dass das Torsionsmoment T entlang der gesamten Radsatzwelle 2 im Wesentlichen konstant ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Schienenfahrzeugs (27) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eines Torsionsmoments (M_{Tors_a} , M_{Tors_b}) einer Rollierschwingung (13), mit den folgenden Schritten:
 - Erfassen einer Drehbewegung (6a, 6b) der Radsatzwelle (1) durch zumindest einen Sensor (5a, 5b), vorzugsweise an der Radsatzwelle (2); und
 - Bestimmen des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), vorzugsweise einer Amplitude (A_a , A_b) des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), aus der Drehbewegung (6a, 6b) mithilfe eines Umrechnungsfaktors (U).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehbewegung (6a, 6b) durch eine Winkelposition (φ_a , φ_b), eine Winkelgeschwindigkeit (ω_a , ω_b), eine Winkelbeschleunigung der Radsatzwelle (2) oder eine damit in Beziehung stehende, vorzugsweise proportionale, Größe repräsentiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Sensorsignal (50) des Sensors (5a, 5b) insbesondere vor Bestimmung des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) einer Signalverarbeitung (18) zugeführt wird, um einen vom Stördrehmoment ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) verursachten Anteil der Drehbewegung (6a, 6b) zu extrahieren, vorzugsweise wobei die Signalverarbeitung (3) aufweist:
 - eine Bandpassfilterung (19), um Frequenzen oberhalb und unterhalb eines Bereichs von zu erwartenden Frequenzen des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) zu unterdrücken, und/oder
 - eine Gleichrichtung (20) und/oder
 - eine Tiefpassfilterung (21).
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (50) insbesondere nach der Signalverarbeitung (18) mit einem Skalierungsfaktor (S) verknüpft wird, um eine Dämpfung der Signalverarbeitung (18) im Wesentlichen zu kompensieren.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (50) insbesondere nach der Signalverarbeitung (18) mit dem Umrechnungsfaktor (U) verknüpft, insbesondere multipliziert, wird, um das Stördrehmoment ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), vorzugsweise eine Amplitude (A_a , A_b) des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eine Amplitude (A_a , A_b) einer Einhüllenden des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}}$), zu erhalten.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Umrechnungsfaktor (U) mithilfe eines mathematischen Modells der Radsatzwelle (2), vorzugsweise eines mathematischen Modells eines die Radsatzwelle (2) umfassenden Radsatzes (1), bestimmt wird oder vor Durchführung des Verfahrens bestimmt wurde.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Umrechnungsfaktor (U) vorzugsweise vor Durchführung des Verfahrens mithilfe einer messtechnischen Bestimmungsmethode an der Radsatzwelle (2), vorzugsweise an einem die Radsatzwelle (2) umfassenden Radsatz (1), bestimmt wurde.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehbewegung (6a, 6b) durch zumindest zwei Sensoren (5a, 5b) an der Radsatzwelle (2) erfasst wird, vorzugsweise wobei die beiden Sensoren (5a, 5b) an gegenüberliegenden Endbereichen (4a, 4b) der Radsatzwelle (2), insbesondere an gegenüberliegenden Enden der Radsatzwelle (2), angeordnet sind.
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Umrechnungsfaktor (U) an einen sich ändernden Raddurchmesser (D_a , D_b) eines an der Radsatzwelle (1) angeordneten Rades (9) angepasst wird.
10. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung eines Schienenfahrzeugs (27) mit den folgenden Schritten:
 - Bestimmen eines Stördrehmoments (A_a , A_b) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9; und

Ändern einer Sollwertvorgabe einer Traktion, insbesondere Reduzieren der Beschleunigung, wenn das Stördrehmoment ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) eine Stördrehmomentschwelle (M_{Grenz}) überschreitet.

11. System (51) zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Schienenfahrzeugs (27) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eines Torsionsmoments (M_{Tors_a} , M_{Tors_b}) einer Rollierschwingung (13), aufweisend:
 - zumindest einen, vorzugsweise zumindest zwei, Sensor/en (5a, 5b) zur Erfassung einer Drehbewegung (6a, 6b) einer Radsatzwelle (2), vorzugsweise einer Winkelgeschwindigkeit (ω_a , ω_b); und
 - eine Verarbeitungseinheit (12), die mit dem zumindest einen Sensor (5a, 5b) verbunden ist, wobei die Verarbeitungseinheit (12) dazu eingerichtet ist, das Stördrehmoment ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), insbesondere eine Amplitude (A_a , A_b) des Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$), aus der Drehbewegung (6a, 6b) mithilfe eines Umrechnungsfaktors (U) zu bestimmen.
12. Schienenfahrzeug (27) mit zumindest einem eine Radsatzwelle (2) aufweisenden Radsatz (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schienenfahrzeug (27) ein System (51) zur Bestimmung eines auf eine Radsatzwelle (2) eines Schienenfahrzeugs (27) wirkenden Stördrehmoments ($M_{\text{Stör}_a}$, $M_{\text{Stör}_b}$) nach Anspruch 11 aufweist, wobei der Sensor (5a, 5b) vorzugsweise an der Radsatzwelle (2) angeordnet ist.
13. Schienenfahrzeug (27) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Sensor (5a, 5b) in eine Längsrichtung der Radsatzwelle (2) gesehen von einem insbesondere bei einer Rollierschwingung (13) auftretenden Schwingungsknoten (52) einer ersten Eigenform einer Torsion (14) der Radsatzwelle (2) beabstandet angeordnet ist.
14. Schienenfahrzeug (27) nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Sensor (5a, 5b) an einem äußeren Endbereich (4a, 4b) der Radsatzwelle (2), vorzugsweise an einem Ende der Radsatzwelle (2), angeordnet ist.

15. Schienenfahrzeug (27) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Sensor (5a, 5b) einen feststehenden Sensorkopf (10, 10b) sowie einen gegenüber dem Sensorkopf (10a, 10b) drehbaren und vorzugsweise magnetisiert codierten Rotor (11a, 11b) aufweist und die Drehbewegung (6a, 6b) der Radsatzwelle (2) über die Drehung des Rotors (11a, 11b) erfassbar ist.

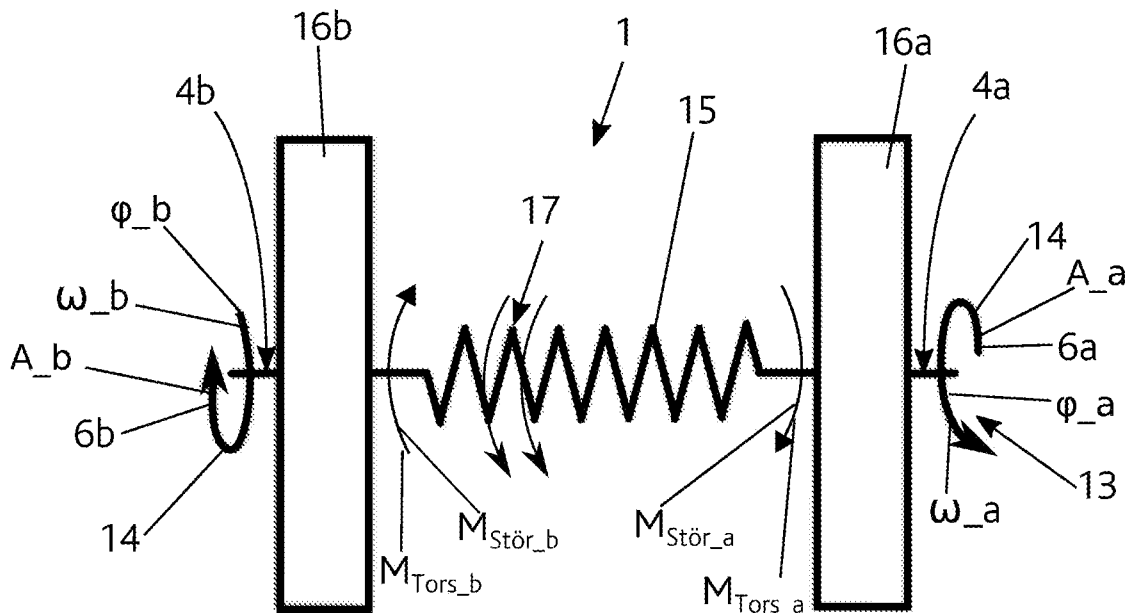


Fig. 2

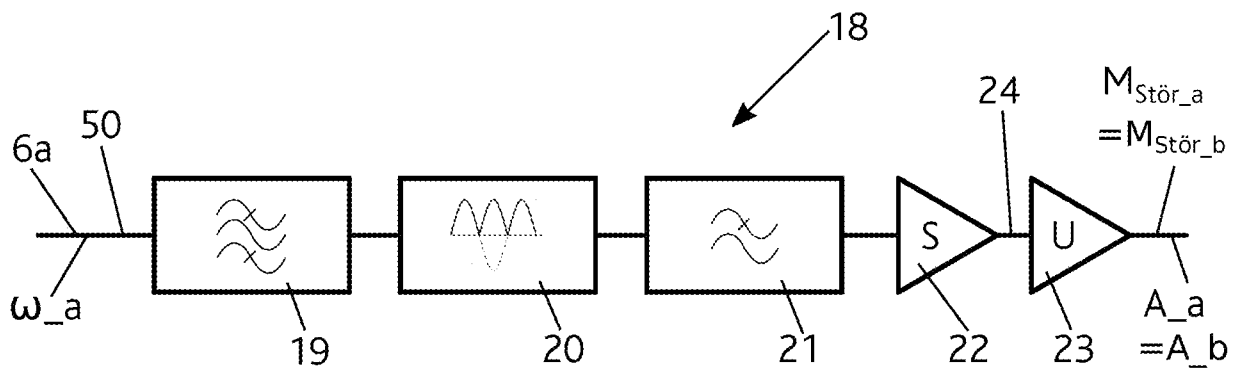


Fig. 3A

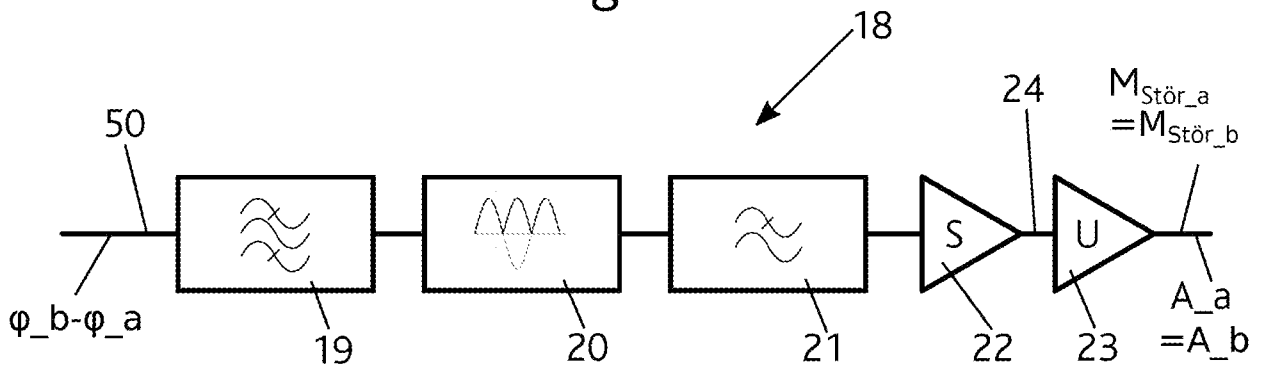


Fig. 3B

3/5

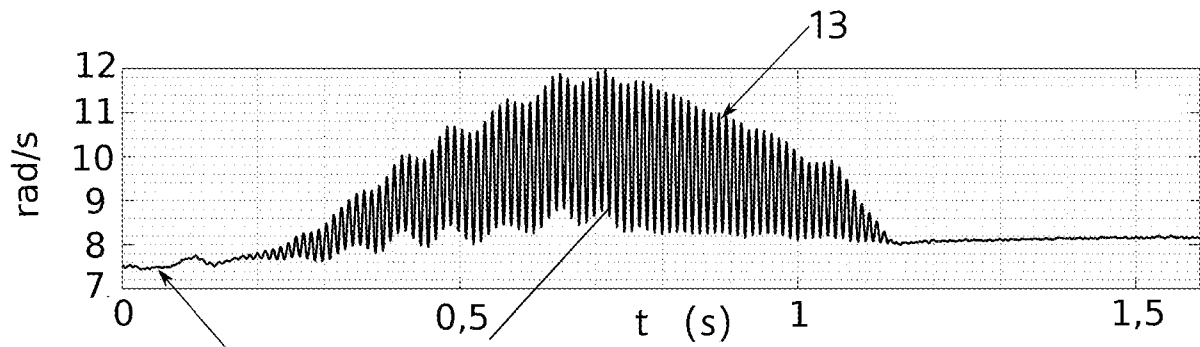


Fig. 4A

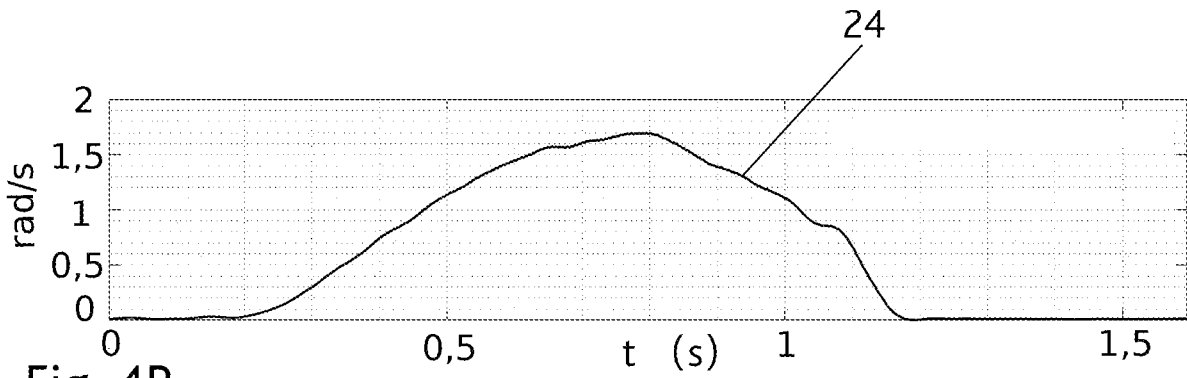


Fig. 4B

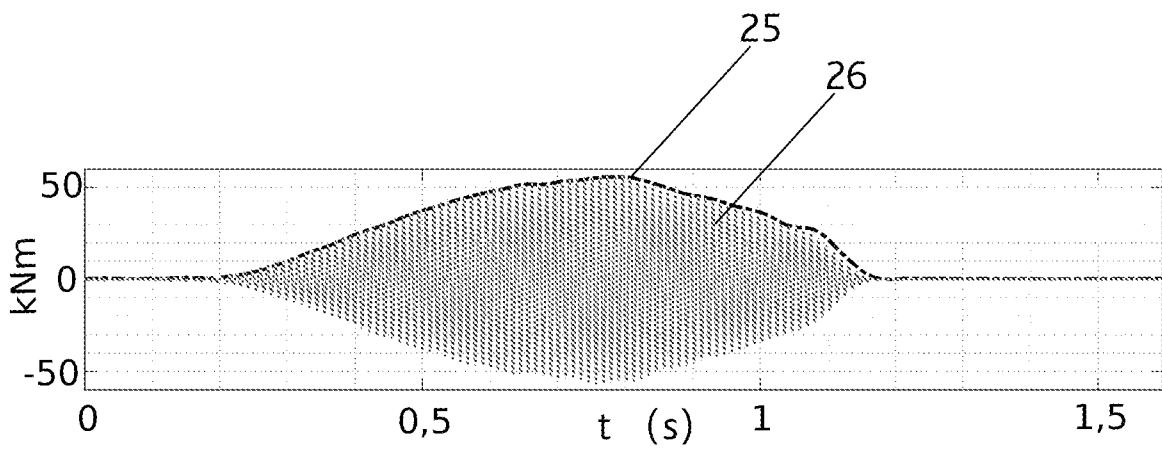


Fig. 4C

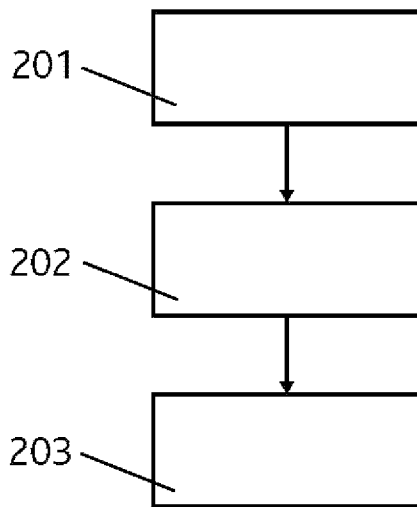
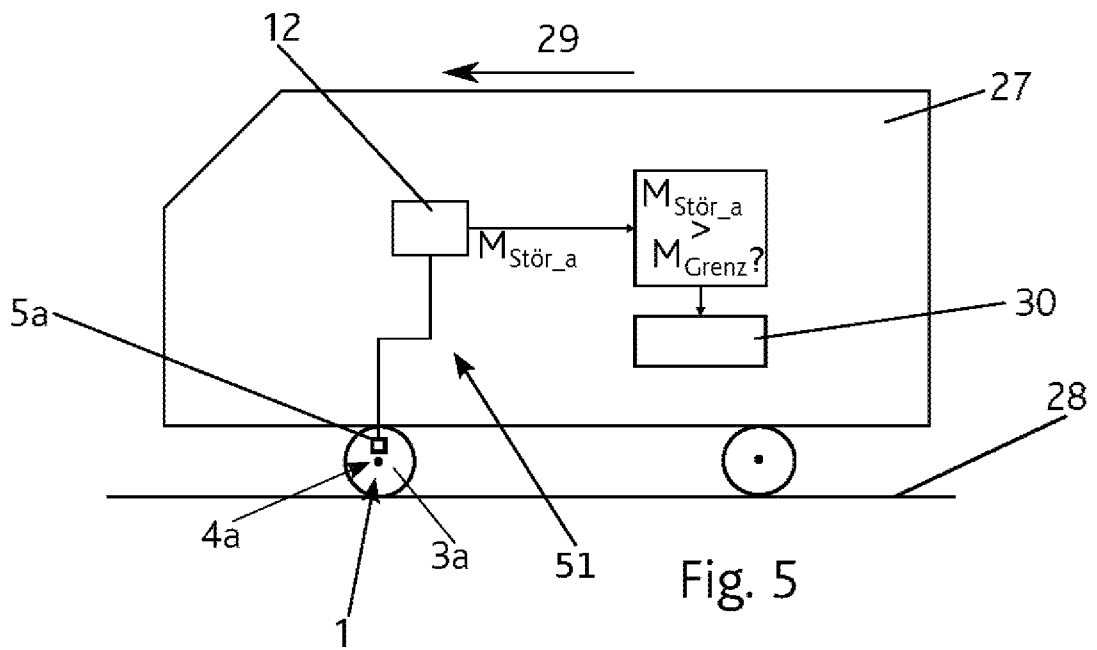


Fig. 6

5/5

