

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
4. August 2016 (04.08.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/119964 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01M 7/02 (2006.01) **G01M 17/10** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/079239

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Dezember 2015 (10.12.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 201 673.0
30. Januar 2015 (30.01.2015) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **BREUER, Werner**; Isartalstr. 24, 80469
München (DE). **YU, Minyi**; Wettersteinstr. 55 b, 82216
Maisach (DE).

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

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

Veröffentlicht:

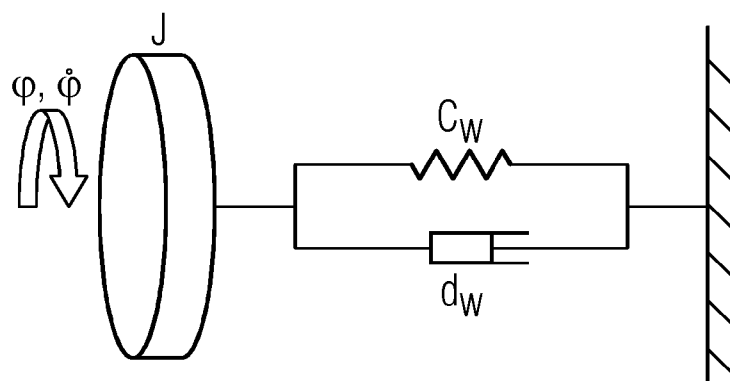
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING A TORSIONAL MOMENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINES TORSIONSMOMENTES

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining a torsional moment of a wheelset shaft of a rail vehicle during the operation of the rail vehicle. The wheelset shaft has a shaft and two wheels secured to ends of the shaft, said wheels being provided for rolling on two rails. A model is used to calculate a torsional moment which acts on the wheelset shaft, and the model is based on a torsional vibration of the wheelset shaft at a specified slip action point. The torsional moment acting on the wheelset shaft is ascertained using the energy of the torsional vibration of the wheelset shaft at the slip action point and using a damping energy which acts on the torsional vibration of the wheelset shaft.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/119964 A1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Torsionsmomentes einer Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges beim Betrieb des Schienenfahrzeuges, wobei die Radsatzwelle eine Welle und zwei an Enden der Welle befestigte Räder aufweist, wobei die Räder zum Rollen auf zwei Schienen vorgesehen sind, wobei mithilfe eines Modells ein Torsionsmoment berechnet wird, das auf die Radsatzwelle einwirkt, wobei das Modell von einer Torsionsschwingung der Radsatzwelle bei einem vorgegebenen Schlupf Arbeitspunkt ausgeht, wobei anhand einer Energie der Torsionsschwingung der Radsatzwelle um den Schlupf Arbeitspunkt und anhand einer Dämpfungsenergie, die auf die Torsionsschwingung der Radsatzwelle einwirkt, das auf die Radsatzwelle wirkende Torsionsmoment ermittelt wird.

Beschreibung

Verfahren zur Bestimmung eines Torsionsmomentes

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Torsionsmomentes gemäß Patentanspruch 1.

Im Stand der Technik ist es bekannt, das Torsionsmoment, das auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges einwirkt, wäh-
10 rend eines Testbetriebes zu messen. Diese Vorgehensweise ist jedoch sehr zeitaufwändig. Weiterhin ist es bekannt, das Torsionsmoment, das auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges einwirkt, mit einer Vogel-Gerade zu ermitteln wenn die Gleitgeschwindigkeit relativ klein ist. Mithilfe der Vogel-
15 Geraden wird das Torsionsmoment in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Welle, der Gleitgeschwindigkeit, dem Radius des Rades und der Ratterfrequenz berechnet.

Aus WEBER, Franz-Josef: Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen-Torsionsmoment, in ZEVrail, Bd. 138, 2014, Sonderheft Tagungsband „42. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge der Technischen Universität Graz, 7. bis 10. September 2014“, S 176-180 (ISSN 1618-8330) wird unter Kapitel 5 mit der Überschrift „Das maximale Torsionsmoment“ ausgeführt, dass die
25 beim Betrieb im abfallenden Ast der Kraftschlusskennlinie aufklingende selbsterregte Schwingung des Radsatzes nicht unbegrenzt aufklingt, vielmehr stellt sich eine stabile Grenzfrequenz ein. Deren maximale Amplitude ist begrenzt durch die Energiebilanz während der Grenzfrequenz, in die zum einen die
30 nichtlineare Kraftschluss/Schlupf-Kennlinie eingeht, und auf die zum anderen die Dämpfung im Antriebsstrang wirkt, die durch Verlust dem Getriebe- und Achslagern erzeugt wird. In einer stark vereinfachenden Näherung ist das maximale Torsionsmoment durch die Gleitgeschwindigkeit am Arbeitspunkt be-
35 grenzt.

Aus WEBER, Franz-Josef: Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen-Torsionsmoment, Präsentation anlässlich „42. Ta-

gung Moderne Schienenfahrzeuge der Technischen Universität Graz, 7. bis 10. September 2014", wird die Torsionsschwingung des Radsatzes anhand des Kraftschlussgesetzes dargestellt. Eine Dämpfung der Torsionsschwingung erfolgt durch die negative Steigung der Kraftschlusscharakteristik im Makroschlupfbereich. Der Grad der Dämpfung hängt von der Steilheit der negativen Steigung der Kraftschlusscharakteristik im Schlupf-arbeitspunkt ab. Bei ausreichender Dämpfung wird die Torsionsschwingung instabil. Im Kraftschlussdiagramm stellt sich ein Grenzzykel ein. Die Maximalamplitude des Grenzzykels bestimmt sich aus der Energiebilanz über einem Grenzzykel.

Aus EP 2 913 241 A1 ist ein Verfahren zum Entwerfen einer Antriebseinheit für ein Schienenfahrzeug bekannt. Für einen mechanischen Konstruktionsschritt wird zumindest ein Belastungswert abhängig von realen Haftungseigenschaften des Rad-trägers definiert, wobei die Haftungseigenschaften einen Schlupf des Rades auf der Schiene berücksichtigen, und wobei Betriebsdaten eines Referenzschienenfahrzeuges berücksichtigt werden.

Aus EP 2 913 202 A1 ist ein weiteres Verfahren zum Entwerfen einer Antriebseinheit mit einem Antrieb und einem Radträger bekannt, abhängig von auftretenden Belastungen eine form-schlüssige Verbindung zwischen einem Rad und einer Radachse ermittelt wird.

Aus DE 10 2012 206 606 B3 ist ein Verfahren zum Untersuchen von Torsionsschwingungen an Radsätzen von Schienenfahrzeugen bekannt. Dabei wird ein Radsatz mit einer Radsatzwelle und zwei Rädern betrachtet, wobei die zwei Räder auf zwei Fahr-schienen laufen. Zudem ist ein erstes Trageelement zum Tragen des ersten Rades und ein zweites Trageelement zum Tragen des zweiten Rades vorgesehen. Weiterhin ist eine Basis vorgesehen, die das erste Trageelement und das zweite Trageelement ab-stützen. Zudem ist eine Lagerung vorgesehen, mittels der das erste Trageelement in einer Längsrichtung, die der Fahrtrich-tung der auf die Tragelemente gestellten Radsätze entspricht,

beweglich gelagert ist. Weiterhin ist eine Antriebsvorrichtung vorgesehen, die mit dem ersten Tragelement kombiniert ist und ausgestaltet ist, um eine Bewegung des ersten Tragelementes in der Längsrichtung anzutreiben und dadurch eine mechanische Schwingung des ersten Tragelementes in der Längsrichtung anzuregen. Weiterhin ist das erste Tragelement über eine elastische Ankoppelung mit der Basis verbunden, sodass die elastische Ankoppelung bei Auslenkung des ersten Tragelementes in der Längsrichtung zu einer Ruhelage eine Rückstellkraft bewirkt, die zu der mechanischen Stimmung führt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, das Verfahren zur Bestimmung eines Torsionsmomentes einer Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges zu verbessern.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

Weitere Ausführungsformen des Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Ein Vorteil des beschriebenen Verfahrens besteht darin, dass das Torsionsmoment, das auf eine Radsatzwelle einwirkt, genauer als unter Verwendung der Vogel-Gerade ermittelt werden kann. Dabei wird ein Modell für eine Torsionsschwingung der Radsatzwelle und eine Dämpfungsenergie an einem vorgegebenen Schlupfarbeitspunkt verwendet. Mithilfe des Modells werden die Energie der Torsionsschwingung und die Dämpfungsenergie berechnet, die auf die Torsionsschwingung der Radsatzwelle an dem Schlupfarbeitspunkt einwirkt. Abhängig von der Energie der Torsionsschwingung und der Dämpfungsenergie wird das auf die Radsatzwelle wirkende Torsionsmoment ermittelt. Somit kann auf aufwändige Testfahrten verzichtet werden. Zudem wird das Torsionsmoment präziser im Vergleich zur Vogel-Gerade ermittelt.

In einer Ausführungsform wird ein erstes Modell für die Energie der Torsionsschwingung der Radsatzwelle um den Schlupfar-

beitspunkt verwendet. Zudem wird ein zweites Modell für die Dämpfungsenergie verwendet, wobei beide Modelle von einer Amplitude des Schwingwinkels der Torsionsschwingung der Radsatzwelle abhängen. Mithilfe eines numerischen Berechnungsverfahrens wird stufenweise die Amplitude bei beiden Modellen solange erhöht, bis die Werte für die Energie an einem Kreuzungspunkt der Modelle gleich groß sind. Anhand der Amplitude des Schwingwinkels wird unter Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit der Radsatzwelle ein Torsionsmoment ermittelt.

10 Mit diesem Verfahren kann insbesondere ein maximales Torsionsmoment ermittelt werden.

Die Bestimmung des Torsionsmomentes wird für eine positive und/oder eine negative Beschleunigung des Schienenfahrzeuges durchgeführt. Somit können sowohl für eine Beschleunigung des Schienenfahrzeuges als auch für eine Bremsung des Schienenfahrzeuges ein Torsionsmoment, insbesondere ein maximales Torsionsmoment ermittelt werden.

20 In einer weiteren Ausführung wird ein Modell für die Energie der Torsionsschwingung in wenigstens drei Bereiche unterteilt. Die drei Bereiche unterscheiden sich durch unterschiedliches Verhalten des Reibwertes, der zwischen dem Rad und der Schiene auftritt. Die Reibwerte werden insbesondere abhängig vom Schlupf der Räder beschrieben. Durch die Unterteilung des Modells in drei Bereiche kann eine genauere Ermittlung des Torsionsmomentes erreicht werden.

30 In einer weiteren Ausführungsform wird für jeden der wenigstens drei Bereiche des Modells die Energie der Torsionsschwingung während einer Torsionsschwingung um den Schlupf- arbeitspunkt berechnet. Die drei Energieanteile werden zu einer Energie der Torsionsschwingung addiert. Auf diese Weise wird die Energie während einer Torsionsschwingung um den Schlupf- arbeitspunkt genauer beschrieben.

In einer weiteren Ausführungsform wird die Energie der Torsionsschwingung abhängig von einem vorgegebenen Fahrgeschwin-

digkeitsbereich des Schienenfahrzeuges berechnet. Dabei kann insbesondere eine maximale Energie der Torsionsschwingung für die Ermittlung eines maximalen Torsionsdrehmomentes der Radsatzwelle berechnet werden. Somit wird eine weitere Verbesserung des Berechnungsverfahrens erreicht.

In einer weiteren Ausführung wird die Energie der Torsionsschwingung abhängig von einem vorgegebenen Winkelgeschwindigkeitsbereich berechnet. Dabei wird insbesondere eine maximale Energie der Torsionsschwingung für die Ermittlung eines maximalen Torsionsdrehmomentes der Radsatzwelle berechnet. Somit wird eine weitere Verbesserung der Ermittlung des maximalen Torsionsdrehmomentes bereitgestellt.

Eine einfache Ausführung des Verfahrens wird dadurch ermöglicht, dass die Torsionsschwingung mithilfe einer Sinusschwingung oder einer Cosinusschwingung dargestellt wird. Auf diese Weise kann die Schwingungsenergie einfach berechnet werden.

In einer weiteren Ausführungsform wird ein Schlupf eines Rades während einer Torsionsschwingung abhängig von einer Winkelgeschwindigkeit der Torsionsschwingung beschrieben. Dadurch wird eine weitere Vereinfachung des Berechnungsverfahrens erreicht.

In einer weiteren Ausführungsform wird das berechnete Torsionsmoment dazu verwendet, um eine Welle und/oder eine Verbindungsstruktur zwischen der Welle und dem Rad so zu dimensionieren, dass die Radsatzwelle das berechnete Torsionsmoment ohne Beschädigung erträgt.

In einer weiteren Ausführung wird das ermittelte Torsionsmoment dazu verwendet, um eine Radsatzwelle in Bezug auf die Dicke der Welle und/oder einen Festigkeitsparameter der Verbindungsstruktur dahingehend zu überprüfen, ob die Radsatzwelle das ermittelte Torsionsdrehmoment ohne Beschädigung erträgt.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

- FIG 1 eine schematische Darstellung eines Modells für einen
10 Einmassenschwinger,
FIG 2 eine schematische Darstellung eines Diagramms für einen
Reibwert in Abhängigkeit vom Schlupf bzw. der Raddreh-
geschwindigkeit,
FIG 3 ein Diagramm mit einer schematischen Darstellung einer
15 Torsionsschwingung um einen Schlupfearbeitspunkt,
FIG 4 ein Diagramm mit einer schematischen Darstellung eines
Zeitverlaufes eines Schwingwinkels und einer Schwing-
winkelgeschwindigkeit während einer Torsionsschwingung
einer Radsatzwelle um den Schlupfearbeitspunkt,
20 FIG 5 eine schematische Darstellung eines Verlaufs einer
Schwingungsenergie und einer Absorptionsenergie gemäß
einer numerischen Berechnung, und
FIG 6 eine schematische Darstellung eines Programmablaufes
zur Durchführung des Verfahrens, und
25 FIG 7 eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei einem Auslegungsprozess zur Dimensionierung von Radsatzwellen oder bei einem Überprüfungsverfahren zum Überprüfen von Radsatzwellen ist es wichtig, eine Größenordnung möglicher durch Antriebsstrangschwingungen verursachter dynamischer Wellentorsionsmomente, d.h. Torsionsmomente, die auf eine Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges einwirken, realistisch abschätzen zu können. Bei Schienenfahrzeugen kann es beim Antrieb, d.h. bei der Beschleunigung oder beim Abbremsen
35 unter ungünstigen Kraftschlussbedingungen zwischen Rädern der Radsatzwelle und Schienen, auf denen die Räder fahren, zu selbsterregten Torsionsschwingungen in der Radsatzwelle kommen. Dabei handelt es sich um eine Schwingungsform, bei der

die beiden Räder in der Torsionseigenfrequenz des Antriebsstranges gegenphasig zueinander schwingen. Aufgrund der geringen Dämpfung in der Radsatzwelle können dabei hohe Torsionsmomente auftreten.

5

Diese Schwingung wird auch als Ratter- bzw. Rollierschwingung bezeichnet. Entdämpft wird die Torsionsschwingung durch die negative Steigung der Kraftschlusscharakteristik im Makroschlupfbereich zwischen dem Rad und der Schiene. Der Grad der Dämpfung hängt von der Steilheit der negativen Steigung der Kraftschlusscharakteristik im Schlupfearbeitspunkt ab. Bei einer ausreichenden Entdämpfung wird die Torsionsschwingung instabil. Im Kraftschlussdiagramm stellt sich ein Grenzzykel ein. Neben der Dämpfungsenergie wird eine Maximalamplitude für kleine Schlüpf durch einen stabilen Ast der Kraftschlusscharakteristik und für große Schlüpf zusätzlich oder allein durch eine flacher werdende Kraftschlusscharakteristik begrenzt. Die Maximalamplitude der Torsionsschwingung des Grenzzykels bestimmt sich aus einer Energiebilanz über den Grenzzykel.

Aus der kinematischen Beziehung zwischen der Schlupfamplitude und der gegenphasigen Schwingung der Räder wird die analytische Beschreibung des dynamischen Torsionsmomentes abgeleitet.

Aus der kinematischen Beziehung zwischen der Schlupfamplitude und der gegenphasigen Schwingung der Radscheiben kann die analytische Beschreibung des dynamischen Torsionsmomentes abgeleitet werden, die Vogel-Gerade:

- aus dem Schlupfearbeitspunkt
ergibt sich

$$\Delta v_{\text{Ratter}} = s \cdot v$$

35 - aus der SIN-Schwingung
mit Frequenz f und Δv_{Ratter}
ergibt sich ein maximaler
Torsionswinkel $\Delta \alpha_{\text{Ratter}}$

$$\Delta \alpha_{\text{Ratter}} = \Delta v_{\text{Ratter}} / (2 \pi r_0 f)$$

- da Radsatzwellendämpfung

klein gilt für das

maximale Torsionsmoment

$$M_t = c \Delta \alpha_{\text{Rad,max}}$$

c Torsions-Steifigkeit
der Welle

- oder der analytische

Zusammenhang (Vogel-Gerade)

$$M_t = c \Delta v_{\text{Ratter}} / (2 \pi r_0 f).$$

10 Der durch die Vogel-Gerade definiert Zusammenhang wird üblicherweise zu Abschätzung dynamischer Torsionsmomente im Auslegungsprozess verwendet.

15 Die vorgeschlagene analytische Methode zur Ermittlung des dynamischen Torsionsmomentes in Radsatzwellen nutzt die Hypothese, dass das dynamische Torsionsmoment aus einem Grenzykel um den jeweiligen Schlupf- bzw. Gleitgeschwindigkeitsarbeitspunkt ableiten lässt. Die Maximalamplitude des Grenzykels bestimmt sich aus der Energiebilanz über einen Grenzykel.
20

Dementsprechend berechnet die analytische Methode für beliebige Kraftschlusscharakteristiken die Bilanz über einer Schwingung der elastischen Energie in der Radsatzwelle und der Energie die sich der Kraft und der Gleitgeschwindigkeit
25 im Rad/Schiene-Kontakt aufbaut. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

FIG 1 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Modell für
30 ein Schwingungssystem der Radsatzwelle, wobei J das Trägheitsmoment der Räder, C_w die Torsionssteifigkeit der Welle, d_w die Torsionsdämpfung der Radsatzwelle bezeichnen. Das Trägheitsmoment, die Torsionssteifigkeit und die Torsionsdämpfung sind vorgegeben bzw. werden aus mechanischen Parametern einschließlich eines Schlupfregelparameters des Schienenfahrzeuges hergeleitet. Der Schlupfregler des Schienenfahrzeuges ist in der Weise ausgebildet, dass beim Beschleunigen oder beim Abbremsen des Schienenfahrzeuges eine Rege-
35

lung der Gleitgeschwindigkeit der Räder um einen vorgegebenen Schlupf arbeitspunkt erfolgt. Auf diese Weise wird der Schlupf arbeitspunkt s_0 festgelegt.

- 5 Der Schwingwinkel φ und die Schwingwinkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ der Radsatzwelle lassen sich durch Sinus- und Cosinus-Funktionen darstellen:

$$\varphi = A \cdot \sin(\Omega t), \quad \dot{\varphi} = A \cdot \Omega \cos(\Omega t), \quad (1)$$

10

wobei $\Omega = 2\pi f$, mit f Ratterfrequenz, und A die Amplitude des Schwingwinkels φ ist.

- 15 Die Ratterfrequenz f und damit die Kreisfrequenz Ω werden theoretisch berechnet oder experimentell ermittelt.

FIG 2 zeigt ein Diagramm, bei dem der Reibwert μ über dem Schlupf s bzw. die Raddrehgeschwindigkeit ω der Räder aufgetragen ist. Das in FIG 2 dargestellte Verhalten des Reibwertes ist für eine einfachere Darstellung in drei Bereiche I, II, III unterteilt. Abhängig von dem verwendeten Modell können auch mehrere Geraden verwendet werden, für mehr als drei Bereiche oder weniger als drei Bereiche für die Annäherung des Reibwertverhaltens festgelegt werden.

25

- In einem ersten Bereich I zwischen 0 und s_m weist der Reibwert μ eine positive erste Steigungsrate $k_{\mu 1}$ auf ($d\mu/ds = k_{\mu 1}$). In einem zweiten Bereich II zwischen s_m und s_1 weist der Reibwert μ eine negative zweite Steigungsrate $k_{\mu 2}$ auf. In dem Bereich für den Schlupf größer s_1 weist der Reibwert eine negative dritte Steigungsrate $d\mu/ds = k_{\mu 3}$ auf.
- 30

In Formelformat lautet das Diagramm:

$$\mu(s) = \begin{cases} \mu_0 + k_{\mu 1} \cdot (s - s_m) + k_{\mu 2} \cdot (s_m - s_0), & 0 \leq s < s_m \\ \mu_0 + k_{\mu 2} \cdot (s - s_0), & s_m \leq s < s_1 \\ u_0 + k_{\mu 3} \cdot (s - s_1) + k_{\mu 2} \cdot (s_1 - s_0), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (2)$$

Wobei s_0 der Schlupfarbeitspunkt ($\approx$ Soll-Schlupf des Schlupfreglers) und μ_0 der Reibwert bei s_0 ist.

5 Mit Schlupf-Definition,

$$s = \frac{\omega_R \cdot R - v_0}{v_0}$$

können die Raddrehgeschwindigkeiten bei allen Eckpunkten in der Abb. 3.2 umgerechnet werden:

$$10 \quad \omega_m = \frac{(s_m + 1)v_0}{R}; \quad \omega_0 = \frac{(s_0 + 1)v_0}{R}; \quad \omega_1 = \frac{(s_1 + 1)v_0}{R} \quad (3)$$

In (3) ist v_0 die Fahrgeschwindigkeit, R der Radius des Rades und ω die Raddrehgeschwindigkeit.

15 Der dynamischer Schlupf und das Drehmoment am Rad können in Abhängigkeit der (Ratter-)Schwinggeschwindigkeit beschrieben werden.

20 Rattert ein Radsatz, schwingt sich der (dynamische) Schlupf um den Arbeitspunkt s_0 . Die dynamische Schlupfschwingung s kann als Funktion von der Schwinggeschwindigkeit $\dot{\phi}$ dargestellt werden:

$$s(\dot{\phi}) = \frac{(\omega_0 + \dot{\phi}) \cdot R - v_0}{v_0} = s_0 + \frac{\dot{\phi} \cdot R}{v_0} \quad (4)$$

25 Betrachtet man nur die Ratterschwingung, ergibt sich das durch tangentiale Kraft $F_x (= \mu \cdot Q$ mit der Radaufstandskraft Q) erzeugte dynamische Drehmoment am Rad MRS aus der Gleichung (2):

$$M_{RS}(s) = Q \cdot R \cdot \begin{cases} k_{\mu 1} \cdot (s - s_m) + k_{\mu 2} \cdot (s_m - s_0), & 0 \leq s < s_m \\ k_{\mu 2} \cdot (s - s_0), & s_m \leq s < s_1 \\ k_{\mu 3} \cdot (s - s_1) + k_{\mu 2} \cdot (s_1 - s_0), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (5)$$

Setzt man die Gleichung (4) in die Gleichung (5) ein, lässt sich das dynamische Drehmoment am Rad ebenfalls in Funktion von der Schwinggeschwindigkeit $\dot{\phi}$ ausdrücken:

$$M_{RS}(s, \dot{\phi}) = Q \cdot R \cdot \begin{cases} k_{\mu 1} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} + (s_0 - s_m) \cdot (k_{\mu 1} - k_{\mu 2}), & 0 \leq s < s_m \\ k_{\mu 2} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0}, & s_m \leq s < s_1 \\ k_{\mu 3} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} + (s_1 - s_0) \cdot (k_{\mu 2} - k_{\mu 3}), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (6)$$

Vorzeichen und Zeitpunkte der Schwinggeschwindigkeit können in Abhängigkeit des Kraftschlussverlaufes beschrieben werden.

Durch Umformatierung der Gleichung (4) lässt sich die Schwinggeschwindigkeit $\dot{\phi}$ in Abhängigkeit des Schlupfes s darstellen:

$$\dot{\phi} = \frac{(s - s_0) \cdot v_0}{R} \quad (7)$$

Mit der Gleichung (7) kann das Vorzeichen der Schwinggeschwindigkeit in allen Schlupfbereichen des Kraftschlussverlaufes ermittelt werden.

Die Zeitpunkte, zu denen die Schlupfschwingung vom Schlupfarbeitspunkt s_0 ausgehend in den ersten, zweiten und dritten Bereich eingeht bzw. verlässt, werden anhand der FIG 3 dargestellt. FIG 3 zeigt in einer schematischen Darstellung den Verlauf des Reibwertes μ über den Schlupf s und eine Torsi-

onsschwingung in einem Grenzzykel als geschlossene Kurve, die gestrichelt dargestellt ist. Zum 0ten Zeitpunkt t_0 befindet sich die Radsatzwelle am Schlupf arbeitspunkt s_0 . Ausgehend vom 0ten Zeitpunkt t_0 ändert sich während der Torsionsschwin-
 5 gung der Schlupf in Richtung auf kleinere Werte, wobei zum ersten Zeitpunkt t_1 der Schlupf den Wert s_m erreicht. Anschließend wird der Schlupf zuerst weiter kleiner bis zu einem minimalen Wert, um dann wieder anzusteigen. Zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 erreicht der Schlupf wieder den Wert s_m .
 10 Ausgehend vom zweiten Zeitpunkt t_2 vergrößert sich der Schlupf weiter, wobei bei einem dritten Zeitpunkt t_3 der Schlupf den Wert s_1 erreicht. Im weiteren Verlauf der Schwingung vergrößert sich der Schlupf weiter bis zu einem maximalen Wert, um sich dann wieder zu verkleinern. Bei einem fol-
 15 genden vierten Zeitpunkt t_4 erreicht der Schlupf wieder den Wert s_1 . Anschließend wird zu einem fünften Zeitpunkt t_5 wieder der Schlupf arbeitspunkt s_0 erreicht.

Der Wertebereich der Winkelgeschwindigkeit 4 ist im ersten Bereich I negativ, wechselt im zweiten Bereich II von einem negativen Wert zu einem positiven Wert, und weist im dritten Bereich III einen positiven Wert auf.

	im Bereich I	im Bereich II	im Bereich III
Wertebereich der $\dot{\varphi}$	$\frac{-s_0 v_0}{R} \leq \dot{\varphi} < \omega_m - \omega_0$	$\omega_m - \omega_0 \leq \dot{\varphi} < \omega_1 - \omega_0$	$\omega_1 - \omega_0 \leq \dot{\varphi} < \infty$
Vorzeichen der $\dot{\varphi}$	negativ	von negativ zu positiv	positiv

FIG 4 zeigt in einer schematischen Darstellung den Schwingwinkel φ und die Schwingwinkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$. für eine Schwingung um den Schlupf arbeitspunkt s_0 . Der Schwingwinkel φ
 30 kann als Sinusschwingung mit der Amplitude A und der Kreis-

frequenz Ω angenommen werden. Die Schwingwinkelgeschwindigkeit $\dot{\phi}$ kann mit der Amplitude A multipliziert mit der Kreisfrequenz multipliziert mit einem Cosinus mit der Kreisfrequenz Ω angenommen werden.

5

Gemäß der Annahmen für den Schwingwinkel und die Schwingwinkelgeschwindigkeit können die Zeitpunkte für den nullten Zeitpunkt t_0 , den ersten Zeitpunkt t_1 , den zweiten Zeitpunkt t_2 , den dritten Zeitpunkt t_3 , den vierten Zeitpunkt t_4 und den fünften Zeitpunkt t_5 gemäß der folgenden Tabelle berechnet werden

10

Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit in einem Ratterschwingungszyklus

15

Zeitpunkt	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Zeit	0	$\frac{1}{\Omega} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_0 - \omega_m}{A\Omega} \right)$	$\frac{\pi}{\Omega} - t_1$	$\frac{\pi}{\Omega} + \frac{1}{\Omega} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_1 - \omega_0}{A\Omega} \right)$	$\frac{3\pi}{\Omega} - t_3$	$\frac{2\pi}{\Omega}$

Die Energiebilanz für eine Torsionsschwingung (Ratterschwingung) der Radsatzwelle für einen Schwingungszyklus kann gemäß dem verwendeten Modell mit den drei Bereichen für den Reibwert μ mit folgenden Formeln berechnet werden:

20

Energiebilanz der Ratterschwingung in einem Schwingungszyklus

25

In einem Schwingungszyklus kann die Schwingungsenergie der Schlupfschwingung E_μ in allen drei Bereichen des Kraftschlussverlaufes berechnet werden.

30

a) Im Bereich I

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 1} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(k_{\mu 1} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} + c_1 \right) \cdot \dot{\phi} \cdot dt \\
 &= A \cdot \Omega \cdot c_1 \cdot Q \cdot R \cdot \left[\sin(\Omega t) \right]_{t_1}^{t_2} + \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 1}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_1}^{t_2} \\
 \text{mit } c_1 &= (s_0 - s_m) \cdot (k_{\mu 1} - k_{\mu 2})
 \end{aligned} \tag{8}$$

5

b) Im Bereich II

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 2} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_0, t_2, t_4}^{t_1, t_3, t_5} \left(k_{\mu 2} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} \right) \cdot \dot{\phi} \cdot dt \\
 &= \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 2}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_0, t_2, t_4}^{t_1, t_3, t_5}
 \end{aligned} \tag{9}$$

10 c) Im Bereich III

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 3} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_3}^{t_4} \left(k_{\mu 3} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} + d_1 \right) \cdot \dot{\phi} \cdot dt \\
 &= A \cdot \Omega \cdot d_1 \cdot Q \cdot R \cdot \left[\sin(\Omega t) \right]_{t_3}^{t_4} + \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 3}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_3}^{t_4} \\
 \text{mit } d_1 &= (s_1 - s_0) \cdot (k_{\mu 2} - k_{\mu 3})
 \end{aligned} \tag{10}$$

15 Daraus ergibt sich die Summenschwingungsenergie durch die Schlupfswingung

$$E_{\mu} = E_{\mu 1} + E_{\mu 2} + E_{\mu 3} \tag{11}$$

20 Die absorbierte Schwingungsenergie durch die resultierende Dämpfung der ist leicht zu berechnen:

$$E_{RS} = d_W \cdot A^2 \cdot \pi \cdot \Omega \tag{12}$$

25 Der Energieanteil E_{μ} und E_{RS} in Abhängigkeit der Amplitude des Schwingwinkels sind schließlich mit den Gleichungen (8) bis (12) zu berechnen.

Anhand eines numerischen Verfahrens kann durch eine Gleichsetzung der Formel (11) mit der Formel (12) ein maximaler Wert für das Torsionsmoment während einer Ratterschwingung um den Schlupfarbeitspunkt S_0 berechnet werden. Beispielsweise kann durch eine stufenweise Vergrößerung der Amplitude A die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Schwingungsenergie solange vergrößert werden, bis die Summenschwingungsenergie gemäß Formel (11) und die absorbierte Energie gemäß Formel (12) gleiche Werte aufweisen.

FIG 5 zeigt ein Beispiel für eine entsprechende numerische Berechnung. Dabei wurde ausgehend von einer Amplitude A des Schwingwinkels mit dem Wert 0 für die Winkelschwingung um den Schlupfarbeitspunkt während einer Ratterschwingung sowohl für die Summenschwingungsenergie E_u als auch für die absorbierte Dämpfungsenergie E_{RS} der Wert der Amplitude A des Schwingwinkels stufenweise numerisch erhöht, bis bei einer Amplitude A von 1,95 für den Schwingungswinkel die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Dämpfungsenergie beide Energien gleich groß sind. Die Amplitude A des Schwingwinkels kann z.B. mit einem Winkel von 0,5 μ rad starten und der Wert der Amplitude A kann in Schritten von 0,1 μ rad erhöht werden.

Zudem kann eine Übereinstimmung der Summenschwingungsenergie und der absorbierten Schwingungsenergie erkannt werden, wenn die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Schwingungsenergie sich um weniger als 5 %, insbesondere weniger als 2 % unterscheiden.

Somit liegt an diesem Kreuzungspunkt der Wert der maximale Schwingwinkel vor.

Abhängig vom maximalen Schwingwinkel bzw. abhängig von der maximalen Amplitude $A_{\max}$ des Schwingwinkels kann gemäß folgender Formel ein maximales Torsionsmoment $M_{\max}$ für die Ratterschwingung um den Schlupfarbeitspunkt berechnet werden:

$M_{\max} = A_{\max} \cdot c_w$, wobei mit $A_{\max}$ die maximale Amplitude am Kreuzungspunkt und mit c_w die Torsionssteifigkeit der Radsatzwelle bezeichnet ist.

5 FIG 6 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Programmablauf zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens. Bei einem Programmstartpunkt 100 liest die Recheneinheit die Ratterfrequenz f , die Torsionssteifigkeit c_w , die Torsionsdämpfung d_w , die Werte für den Reibwert für wenigstens einen, insbesondere für drei verschiedene Bereiche in Abhängigkeit vom Schlupf s bzw. der Raddrehgeschwindigkeit ω , den Radius R eines Rades der Radsatzwelle, die Fahrgeschwindigkeit v_0 und einen Startwert für die Amplitude A des Schwingungswinkels aus einem Speicher ein.

15 Bei einem folgenden Programmpunkt 110 wird anhand der beschriebenen Formeln 8-11 für die Summe der Schlupfschwingungsenergie $E_{\mu} = E_{\mu 1} + E_{\mu 2} + E_{\mu 3}$ für einen Startwert einer Amplitude A des Schwingungswinkels berechnet. Anschließend wird bei Programmpunkt 120 die absorbierte Schwingungsenergie durch die resultierende Dämpfung gemäß der Formel (12) berechnet: $E_{RS} = d_w \cdot A^2 \cdot \pi \cdot \Omega$. Dabei wird ebenfalls der Startwert für die Amplitude A des Schwingwinkels verwendet.

25 Anschließend werden bei Programmpunkt 130 der Wert für die Summenschwingungsenergie E_{μ} und der Wert für die absorbierte Dämpfungsenergie E_{RS} miteinander verglichen. Sind die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Dämpfungsenergie gleich groß, so wird zu Programmpunkt 140 verzweigt.

30 Ergibt das Ergebnis des Vergleichs bei Programmpunkt 130, dass die Summe der Schlupfschwingungsenergie E_{μ} größer ist als die absorbierte Dämpfungsenergie E_{RS} , so wird zu Programmpunkt 150 verzweigt. Bei Programmpunkt 150 wird der Wert für die Amplitude A des Schwingwinkels um einen vorgegebenen Wert erhöht. Anschließend wird zu Programmpunkt 110 zurückverzweigt.

Die Programmschritte 110, 120 und 130 sowie 150 werden solange durchgeführt, bis die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Dämpfungsenergie gleich groß sind und bei Programmpunkt 140 anhand der vorliegenden maximalen Amplitude $A_{\max}$ des Schwingungswinkels ein maximales Rattermoment $M_{\max}$ mit folgender Formel berechnet wird:

$M_{\max} = A_{\max} \cdot c_W$. $A_{\max}$ entspricht der Amplitude des Schwingwinkels, bei der die Summenschwingungsenergie und die absorbierte Schwingungsenergie gleich groß sind.

Anschließend kann abhängig von der gewählten Ausführungsform zum Ende zu Programmpunkt 180 verzweigt werden.

In einer weiteren Ausführungsform kann nach Programmpunkt 140 ein weiterer Programmpunkt 160 optional durchgeführt werden. Bei dem Programmpunkt 160 wird anhand des bei Programmpunkt 140 berechneten maximalen Rattermomentes eine neu zu entwerfende Radsatzwelle in der Weise dimensioniert, dass die Welle und/oder die Verbindungsstruktur zwischen der Welle und dem Rad so beschaffen sind, dass die Radsatzwelle das berechnete maximale Rattermoment ohne eine Beschädigung erträgt. Anschließend kann abhängig von der gewählten Ausführungsform zum Ende zu Programmpunkt 180 verzweigt werden.

In einer weiteren Ausführung kann anstelle oder zusätzlich zu dem Programmpunkt 160 ein weiterer Programmpunkt 170 optional durchgeführt werden. Der weitere Programmpunkt 170 besteht darin, dass anhand vorgegebener Werte für eine Radsatzwelle, die beispielsweise die Dicke der Welle, das Material der Welle, die Art der Verbindungsstruktur, insbesondere wenigstens anhand eines Festigkeitsparameters der Verbindungsstruktur überprüft wird, ob eine vorgegebene Radsatzwelle das berechnete maximale Torsionsmoment erträgt, ohne beschädigt zu werden. Dazu sind entsprechende Grenzwerte festgelegt. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass die Radsatzwelle das berechnete maximale Torsionsmoment ohne Beschädigung erträgt, wenn die Radsatzwelle so dimensioniert ist, dass die Radsatz-

welle wenigstens 120 % des maximalen Torsionsmomentes ohne Beschädigung aushält.

Die Werte für die Radsatzwelle, die für die Überprüfung erforderlich sind, werden entweder anhand einer vorgegebenen Radsatzwelle erfasst oder anhand abgespeicherter Werte überprüft. Dabei wird beispielsweise die Dicke der Welle, das Material der Welle, oder anhand eines Festigkeitsparameters eine Verbindungsstruktur zwischen der Welle und dem Rad überprüft, ob die Radsatzwelle geeignet ist, das berechnete Torsionsmoment ohne Beschädigung zu ertragen. Dazu sind entsprechende Grenzwerte festgelegt. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass die Radsatzwelle das berechnete maximale Torsionsmoment ohne Beschädigung erträgt, wenn die Radsatzwelle so dimensioniert ist, dass die Radsatzwelle wenigstens 120 % des maximalen Torsionsmomentes ohne Beschädigung aushält.

FIG 7 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 6. Die Vorrichtung weist eine Recheneinheit 200 auf, die mit einem Speicher 210 verbunden ist. Zudem kann die Recheneinheit 200 auch eine Sensoreinheit 220 aufweisen, mit der die Dicke einer Welle 1 einer Radsatzwelle 2 und/oder ein Festigkeitsparameter einer Verbindungsstruktur zwischen der Welle 1 und einem Rad 4 der Radsatzwelle 2 eines Schienenfahrzeuges 5 erfasst werden kann. Die Radsatzwelle 2 rollt mit jeweils einem Rad 4 auf einer Schiene 6. Zudem kann die Recheneinheit 200 eine Ausgabeeinheit 230 aufweisen, mit der ein Ergebnis der Verfahrensschritte der Programmpunkte 140, 160 oder 170 angezeigt wird. Zudem kann die Anzeige 230 ausgebildet sein, um ein Diagramm gemäß FIG 5 darzustellen, bei dem der Verlauf der Summenschwingungsenergie E_{Σ} und der Verlauf der absorbierten Schwingungsenergie E_{RS} gemäß den Programmpunkten 110 und 120 angezeigt werden.

35

Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele einge-

schränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Torsionsmomentes einer Radsatzwelle eines Schienenfahrzeuges beim Betrieb des Schienenfahrzeuges, wobei die Radsatzwelle eine Welle und zwei an Enden der Welle befestigte Räder aufweist, wobei die Räder zum Rollen auf zwei Schienen vorgesehen sind, wobei mithilfe eines Modells ein Torsionsmoment berechnet wird, das auf die Radsatzwelle einwirkt, wobei das Modell von einer Torsionsschwingung der Radsatzwelle bei einem vorgegebenen Schlupfarbeitspunkt ausgeht, wobei anhand einer Energie der Torsionsschwingung der Radsatzwelle um den Schlupfarbeitspunkt und anhand einer Dämpfungsenergie, die bei der Torsionsschwingung auf die Radsatzwelle einwirkt, das auf die Radsatzwelle wirkende Torsionsmoment ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Modell für die Energie der Torsionsschwingung der Radsatzwelle um den Schlupfarbeitspunkt verwendet wird, wobei ein Modell für die Dämpfungsenergie verwendet wird, wobei beide Modelle von einer Amplitude des Schwingwinkels der Torsionsschwingung abhängen, wobei die Amplitude des Schwingwinkels ausgehend von einem Startwert für beide Modelle so lange erhöht wird, bis beide Modelle einen gleich großen Wert für die Energie an einem Kreuzungspunkt aufweisen, und wobei anhand der Amplitude der Torsionsschwingung am Kreuzungspunkt und abhängig von einer vorgegebenen Torsionssteifigkeit der Welle ein auf die Radsatzwelle einwirkendes Torsionsmoment berechnet wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bestimmung des Torsionsmomentes für eine positive und/oder negative Beschleunigung des Schienenfahrzeuges durchgeführt wird, wobei als Betriebszustand der vorgegebene Schlupfarbeitspunkt für die positive und/oder die negative Beschleunigung verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Modell für die Energie der Torsionsschwingung in wenigstens drei Bereiche mit unterschiedlichem Verhalten des Reibwertes zwischen dem Rad und der Schiene unterteilt wird, wobei die Reibwerte insbesondere vom Schlupf der Räder abhängen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei für jeden der wenigstens drei Bereiche die Energie der Torsionsschwingung während einer Torsionsschwingung um den Schlupfarbeitspunkt berechnet wird, und wobei die drei Energieanteile zu einer Energie der Torsionsschwingung summiert werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Energie der Torsionsschwingung abhängig von einem vorgegebenen Fahrgeschwindigkeitsbereich des Schienenfahrzeuges berechnet wird, und wobei insbesondere eine maximale Energie der Torsionsschwingung für die Ermittlung eines maximalen Torsionsdrehmomentes der Radsatzwelle für den Kreuzungspunkt verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Energie der Torsionsschwingung abhängig von einem vorgegebenen Winkelgeschwindigkeitsbereich berechnet wird, und wobei insbesondere eine maximale Energie für die Ermittlung eines maximalen Torsionsdrehmomentes der Radsatzwelle verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Schwingungswinkel einer Torsion der Radsatzwelle mithilfe einer Sinusschwingung ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Schlupf während einer Torsionsschwingung abhängig von einer Winkelgeschwindigkeit der Torsionsschwingung berücksichtigt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedes Rad über eine mechanischen Verbindungsstruktur mit der Welle verbunden ist, wobei die Welle und/oder die Verbindungsstruktur so dimensioniert werden, dass die Radsatzwelle
5 das berechnete Torsionsmoment ohne Beschädigung erträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei jedes Rad mit einer mechanischen Verbindungsstruktur mit der Welle verbunden ist, wobei für eine Prüfung der Radsatzwelle eine
10 Dicke der Welle und/oder ein Festigkeitsparameter der Verbindungsstruktur erfasst wird, und wobei anhand der Dicke der Welle und/oder anhand des Festigkeitsparameters überprüft wird, ob die Radsatzwelle geeignet ist, das berechnete Torsionsmoment ohne Beschädigung zu ertragen.

15

FIG 1

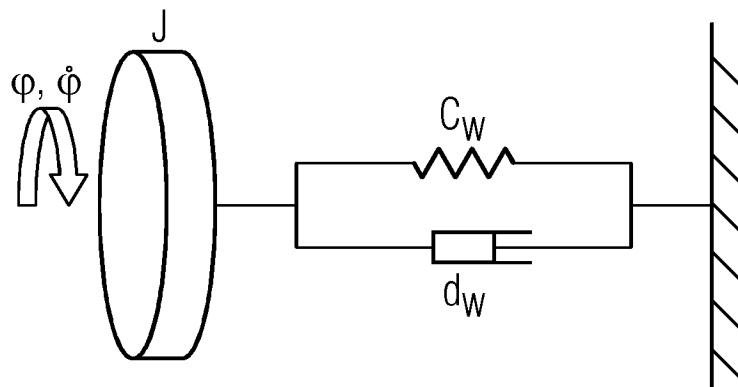


FIG 2

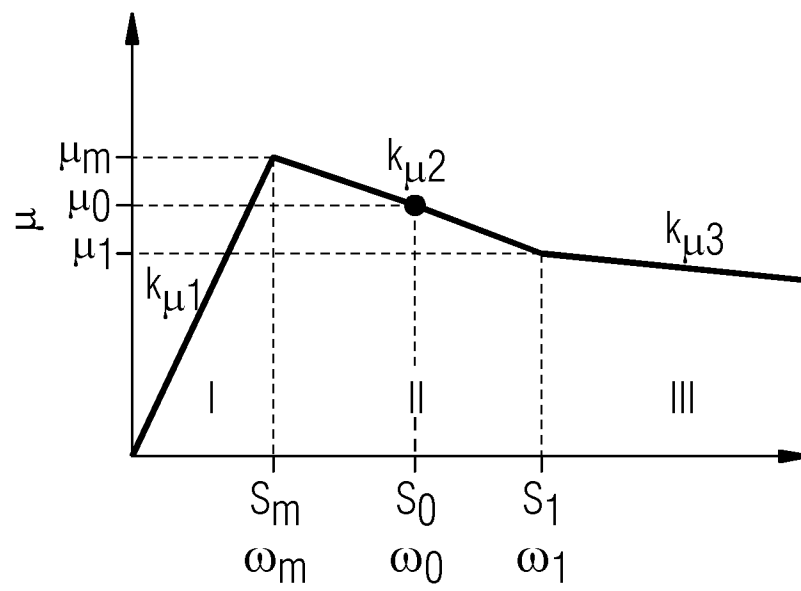


FIG 3

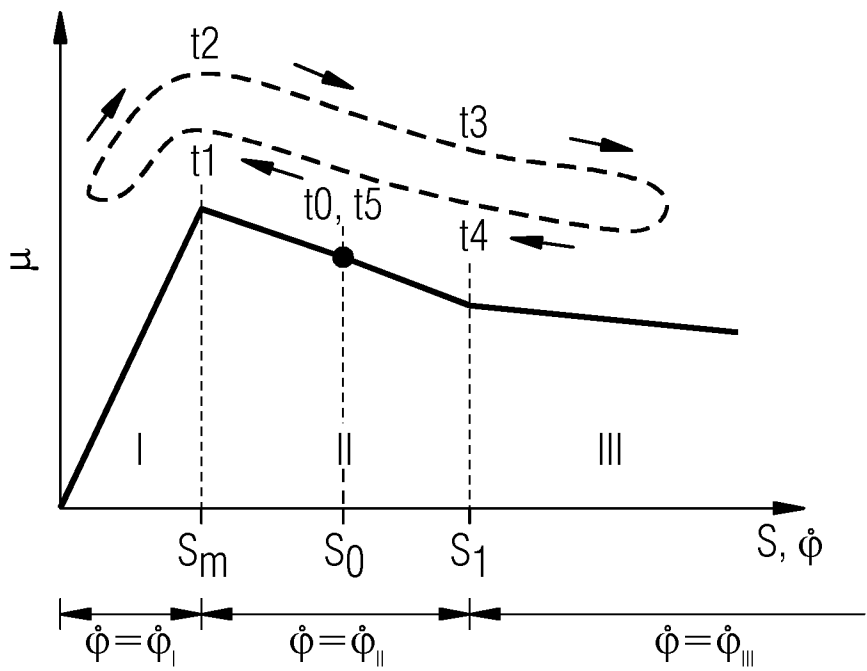


FIG 4

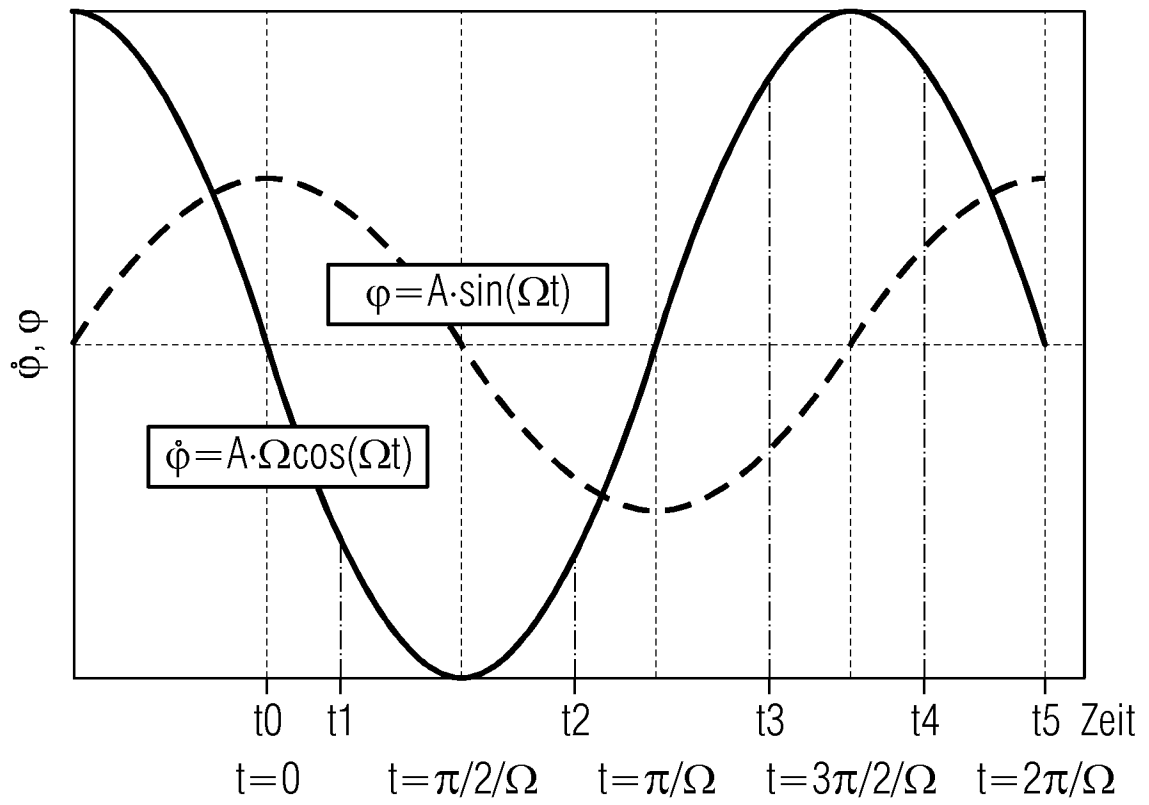


FIG 5

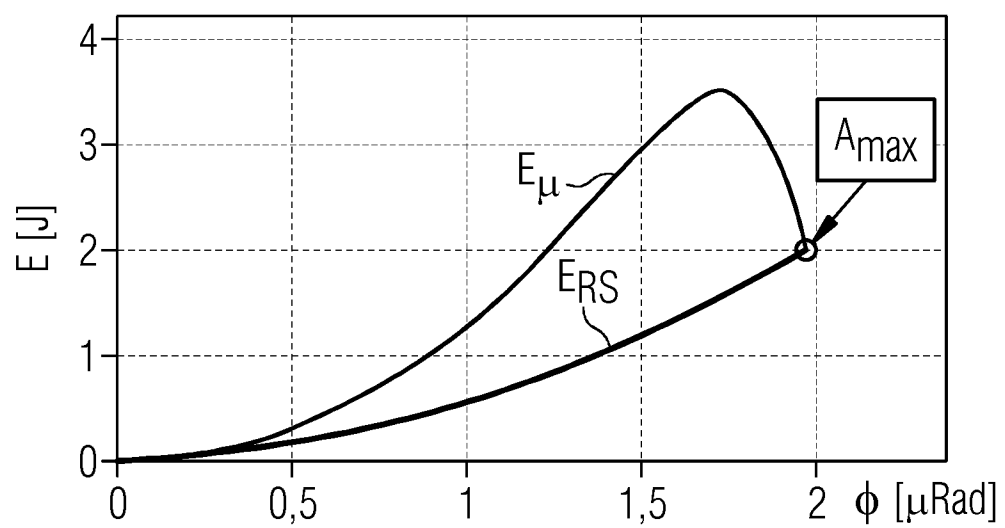


FIG 6

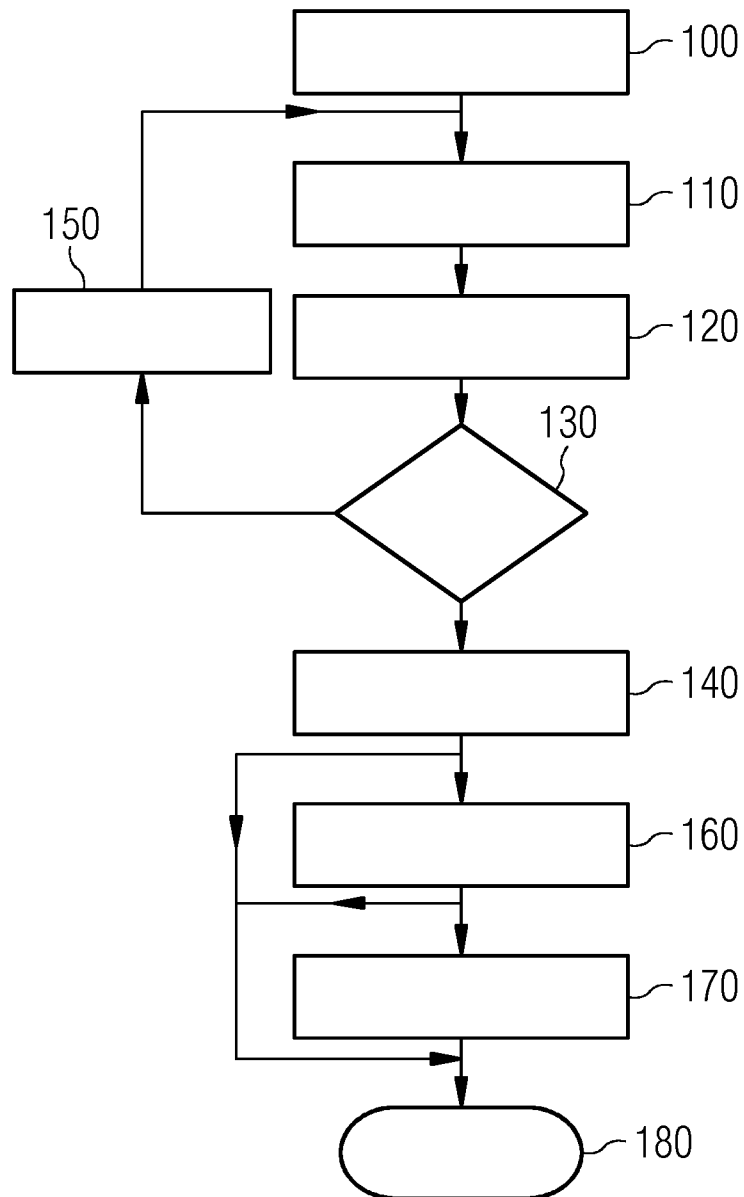
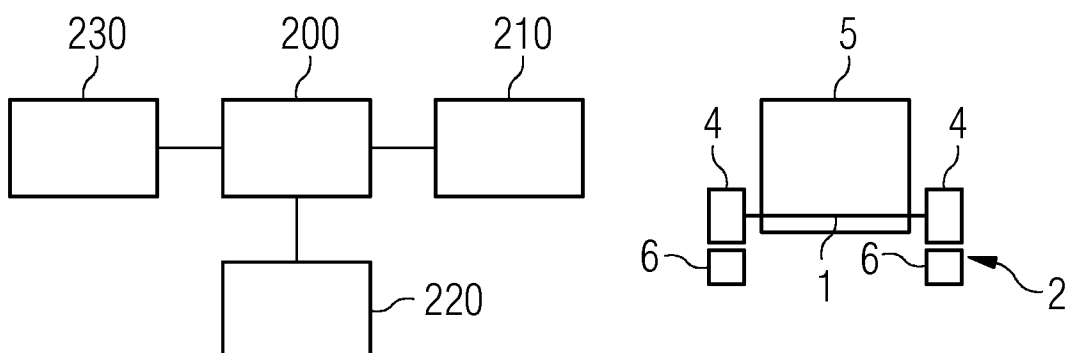


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/079239

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01M7/02 G01M17/10
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01M B61K B60B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2012 206606 B3 (BOMBARDIER TRANSP GMBH [DE]) 17 October 2013 (2013-10-17) cited in the application the whole document	1-11
Y	----- Franz-Josef ET AL: "Answers for infrastructure and cities. Frei verwendbar Siemens AG 2014 Alle Rechte vorbehalten. Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen Torsionsmoment", 10 September 2014 (2014-09-10), XP055254493, Retrieved from the Internet: URL: http://www.schienefahrzeugtagung.at/download/PDF2014/DiV07-Weber.pdf [retrieved on 2016-03-02] pages 1,19-23 -----	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 March 2016

Date of mailing of the international search report

11/03/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kister, Clemens

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/079239

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102012206606 B3	17-10-2013	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01M7/02 G01M17/10
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01M B61K B60B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2012 206606 B3 (BOMBARDIER TRANSP GMBH [DE]) 17. Oktober 2013 (2013-10-17) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-11
Y	----- Franz-Josef ET AL: "Answers for infrastructure and cities. Frei verwendbar Siemens AG 2014 Alle Rechte vorbehalten. Auf der Suche nach dem maximalen Radsatzwellen Torsionsmoment", 10. September 2014 (2014-09-10), XP055254493, Gefunden im Internet: URL: http://www.schieneinfahrzeugtagung.at/download/PDF2014/Div07-Weber.pdf [gefunden am 2016-03-02] Seiten 1,19-23 -----	1-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. März 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/03/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kister, Clemens

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/079239

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der
Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

DE 102012206606 B3 17-10-2013 KEINE
