



(11) **EP 2 414 208 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.03.2024 Patentblatt 2024/11

(21) Anmeldenummer: **10742870.8**

(22) Anmeldetag: **30.03.2010**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B61F 5/24^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B61F 5/24

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/IB2010/001593

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/113045 (07.10.2010 Gazette 2010/40)

(54) **FAHRZEUG MIT WANKKOMPENSATION**
VEHICLE HAVING PITCH COMPENSATION
VÉHICULE À COMPENSATION DU ROULIS

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **30.03.2009 DE 102009014866**
18.11.2009 DE 202009015736 U
19.11.2009 AT 73309 U
19.11.2009 IT MI20090372 U

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.02.2012 Patentblatt 2012/06

(73) Patentinhaber: **ALSTOM Holdings**
93400 Saint-Ouen-sur-Seine (FR)

(72) Erfinder:
• **SCHNEIDER, Richard**
8224 Löhningen (CH)
• **BRUNDISCH, Volker**
57250 Netphen-Salchendorf (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- & Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft mbB
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 190 925 WO-A1-90/03906
DE-A1- 2 156 613 DE-C1- 19 653 529
FR-A1- 2 231 550 FR-A1- 2 633 577
US-A- 2 633 811

EP 2 414 208 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug, mit einem Wagenkasten, einem ersten Fahrwerk und einem in Richtung einer Fahrzeuglängsachse von dem ersten Fahrwerk beabstandet angeordneten zweiten Fahrwerk, wobei der Wagenkasten über eine erste Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf dem ersten Fahrwerk abgestützt ist und der Wagenkasten über eine zweite Federeinrichtung in Richtung der Fahrzeughochachse auf dem zweiten Fahrwerk abgestützt ist. Der Wagenkasten ist über eine erste Wankkompensationseinrichtung mit dem ersten Fahrwerk gekoppelt, während er über eine zweite Wankkompensationseinrichtung mit dem zweiten Fahrwerk gekoppelt ist. Die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung wirken bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu der Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Einstellung von Wankwinkeln an einem Wagenkasten eines Fahrzeugs.

[0002] Bei Schienenfahrzeugen - aber auch bei anderen Fahrzeugen - ist der Wagenkasten in der Regel gegenüber den Radeinheiten, beispielsweise Radpaaren oder Radsätzen, über eine oder mehrere Federstufen federnd gelagert. Die bei Bogenfahrt auftretende, quer zur Fahrbewegung und damit quer zur Fahrzeuglängsachse wirkende Zentrifugalbeschleunigung bedingt wegen des vergleichsweise hoch liegenden Schwerpunkts des Wagenkastens die Tendenz des Wagenkastens, sich gegenüber den Radeinheiten nach bogenaußen zu neigen, mithin also eine Wankbewegung um eine zur Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse auszuführen.

[0003] Solche Wankbewegungen sind oberhalb bestimmter Grenzwerte zum einen dem Fahrkomfort abträglich. Zum anderen bringen sie die Gefahr einer Verletzung des zulässigen Lichttraumprofils sowie im Hinblick auf die Kippsicherheit und damit auch die Entgleisungssicherheit die Gefahr unzulässiger einseitiger Radentlastungen mit sich. Um dies zu verhindern, werden in der Regel Wankstützeinrichtungen in Form so genannter Wankstabilisatoren eingesetzt. Deren Aufgabe ist es, der Wankbewegung des Wagenkastens einen Widerstand entgegenzusetzen, um sie zu mindern, während die Hub- und Tauchbewegungen des Wagenkastens gegenüber den Radeinheiten nicht behindert werden sollen.

[0004] Solche Wankstabilisatoren sind in verschiedenen hydraulisch oder rein mechanisch wirkenden Ausführungen bekannt. Häufig kommt eine sich quer zur Fahrzeuglängsrichtung erstreckende Torsionswelle zum Einsatz, wie sie beispielsweise aus der EP 1 075 407 B1 bekannt ist. Auf dieser Torsionswelle sitzen zu beiden Seiten der Fahrzeuglängsachse drehfest angebrachte Hebel, die sich in Fahrzeuglängsrichtung erstrecken. Diese Hebel sind wiederum mit Lenkern oder dergleichen verbunden, welche kinematisch parallel zu den Federeinrichtungen des Fahrzeugs angeordnet sind. Beim Einfedern der Federeinrichtungen des Fahrzeugs werden die auf der Torsionswelle sitzenden Hebel über die mit ihnen verbundenen Lenker in eine Drehbewegung versetzt.

[0005] Kommt es bei der Bogenfahrt zu einer Wankbewegung mit unterschiedlichen Federwegen der Federeinrichtungen auf den beiden Seiten des Fahrzeugs, ergeben sich hieraus unterschiedliche Drehwinkel der auf der Torsionswelle sitzenden Hebel. Die Torsionswelle wird demgemäß mit einem Torsionsmoment beaufschlagt, welches sie - je nach ihrer Torsionssteifigkeit - bei einem bestimmten Torsionswinkel durch ein aus ihrer elastischen Verformung resultierendes Gegenmoment ausgleicht und so eine weitere Wankbewegung verhindert. Dabei kann bei mit Drehgestellen ausgestatteten Schienenfahrzeugen die Wankstützeinrichtung sowohl für die Sekundärfederstufe vorgesehen sein, d. h. zwischen einem Fahrwerksrahmen und dem Wagenkasten wirken. Ebenso kann die Wankstützeinrichtung auch in der Primärstufe eingesetzt werden, d. h. zwischen den Radeinheiten und einem Fahrwerksrahmen oder - bei fehlender Sekundärfederung - einem Wagenkasten wirken.

[0006] Solche Wankstabilisatoren werden auch bei gattungsgemäßen Schienenfahrzeugen eingesetzt, wie sie beispielsweise aus der EP 1 190 925 A1 bekannt sind. Bei dem aus diesem Dokument bekannten Schienenfahrzeug sind die oberen Enden der beiden Lenker des Wankstabilisators (in einer senkrecht zur Fahrzeuglängsachse verlaufenden Ebene) zur Fahrzeugmitte hin versetzt. Hierdurch wird der Wagenkasten bei einer Auslenkung in Fahrzeugquerrichtung (wie sie beispielsweise durch die Zentrifugalbeschleunigung bei Bogenfahrt verursacht wird) derart geführt, dass einer Wankbewegung des Wagenkastens nach bogenaußen entgegengewirkt und ihm eine nach bogeninnen gerichtete Wankbewegung aufgeprägt wird.

[0007] Diese gegenläufige Wankbewegung nach bogeninnen dient unter anderem dazu, den so genannten Neigungskomfort für die Passagiere des Fahrzeugs zu erhöhen. Unter einem hohen Neigungskomfort wird dabei üblicherweise die Tatsache verstanden, dass die Passagiere bei Bogenfahrt eine möglichst geringe Querbeschleunigung in Querrichtung ihres Bezugssystems erfahren, welches in der Regel durch die Einbauten des Wagenkastens (Boden, Wände, Sitze etc.) definiert ist. Durch die aus der Wankbewegung resultierende Neigung des Wagenkastens nach bogeninnen nehmen die Passagiere (je nach Grad der Neigung) zumindest einen Teil der im erdfesten Bezugssystem tatsächlich wirkenden Querbeschleunigung lediglich als erhöhte Beschleunigung in Richtung des Fahrzeugbodens wahr, die in der Regel als weniger störend bzw. unangenehm empfunden wird.

[0008] Die maximal zulässigen Werte für die im Bezugssystem der Passagiere wirkende Querbeschleunigung (und die daraus letztlich resultierenden Sollwerte für die Neigungswinkel des Wagenkastens) werden in der Regel von den Betreibern eines Schienenfahrzeugs vorgegeben. Anhaltspunkte hierfür liefern auch nationale und internationale Normen

(wie beispielsweise die EN 12299).

[0009] Hierbei ist es bei dem Fahrzeug aus der EP 1 190 925 A1 möglich, ein rein passives System zu realisieren, bei dem die Komponenten der Federung und der Wankstabilisatoren so aufeinander abgestimmt sind, dass die gewünschte Neigung des Wagenkastens alleine durch die bei Bogenfahrt wirkende Querbesehleunigung erzielt wird.

[0010] Für eine solche passive Lösung muss zum einen die Wankachse bzw. der Momentanpol der Wankbewegung vergleichsweise weit oberhalb des Schwerpunktes des Wagenkastens liegen. Zum anderen muss die Federung in Querrichtung vergleichsweise weich ausgeführt werden, um alleine mit der wirkenden Zentrifugalkraft die gewünschten Auslenkungen zu erzielen. Eine solche querweiche Federung wirkt sich auch positiv auf den so genannten Schwingungskomfort in Querrichtung aus, da Stöße in Querrichtung durch die weiche Federung aufgenommen und gedämpft werden können.

[0011] Diese passiven Lösungen haben jedoch den Nachteil, dass aufgrund der querweichen Federung und des hoch liegenden Momentanpols im Normalbetrieb aber auch in nicht planmäßigen Situationen (z. B. einem unvorhergesehenen Halt des Fahrzeugs in einem Gleisbogen mit starker Gleisüberhöhung) vergleichsweise große Querauslenkungen in Querrichtung resultieren, durch die entweder das typischerweise vorgegebene Begrenzungsprofil verletzt wird oder (um dies zu verhindern) nur vergleichsweise schmale Wagenkästen mit einer reduzierten Transportkapazität realisiert werden können.

[0012] Zwar kann das Problem der großen Auslenkungen für die Erzielung eines bestimmten Wankwinkels durch eine Verlagerung der Wankachse bzw. des Momentanpols reduziert werden. Hierdurch können aber passiv nur noch geringere Wankwinkel erzielt werden. Mithin versteift das System hierdurch in Querrichtung, sodass nicht nur Abstriche im Neigungskomfort, sondern auch Abstriche im Schwingungskomfort hingenommen werden müssen.

[0013] Die auf die Krümmung des aktuell durchfahrenen Gleisbogens und die aktuelle Fahrgeschwindigkeit (mithin also auf die aktuell hieraus resultierende Querbesehleunigung) abgestimmte Wankbewegung kann bei dem Fahrzeug aus der EP 1 190 925 A1 auch aktiv durch einen zwischen den Wagenkasten und den Fahrwerksrahmen geschalteten Aktuator beeinflusst bzw. eingestellt werden. Hierbei wird aus der aktuellen Gleiskrümmung und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit ein Sollwert für den Wankwinkel des Wagenkastens ermittelt, der dann für die Einstellung des Wankwinkels über den Aktuator genutzt wird.

[0014] Diese Variante eröffnet zwar die Möglichkeit quersteifere Systeme mit geringerer Querauslenkung zu realisieren. Sie hat jedoch den Nachteil, dass der Schwingungskomfort durch die über den Aktuator eingebrachte Quersteifigkeit leidet, sodass beispielsweise Querstöße am Fahrwerk (beispielsweise beim Überfahren von Weichen oder Störstellen im Gleis) weniger gedämpft in den Wagenkasten eingeleitet werden.

[0015] Um zumindest die Nachteile hinsichtlich des Schwingungskomforts durch eine quersteife Federung zu kompensieren, wird in der WO 90/03906 A1 für ein passives System vorgeschlagen, kinematisch in Serie zu der Wankkompensationseinrichtung eine vergleichsweise kurze querweiche zusätzliche Federstufe einzubringen. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, dass sie zum einen durch die zusätzlichen Komponenten den erforderlichen Bauraum erhöht. Zum anderen bestehen auch hier dann wieder die oben geschilderten Probleme hinsichtlich der großen Querauslenkungen bzw. der reduzierten Transportkapazität.

[0016] Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit dem Einsatz derartiger Wankstützeinrichtungen liegt in der Seitenwindempfindlichkeit des Fahrzeugs. Insbesondere im Bereich eines vorlaufenden Fahrzeugs, und dort speziell im Bereich des vorlaufenden Fahrwerks, kommt es bei einer durch die Einwirkung von Seitenwind bedingten Anströmung des Fahrzeugs schräg zur Fahrtrichtung zu einer Kraftwirkung auf das Fahrzeug, deren effektiver Angriffspunkt meist (in Fahrtrichtung) vor dem (meist etwa in der Längsmittle des Wagenkastens liegenden) Schwerpunkt.

[0017] Diese seitenwindbedingte Kraftwirkung bewirkt eine so genannte Gierbewegung des Wagenkastens (also eine Drehung des Wagenkastens um seine Hochachse), wobei der vorlaufende Teil des Wagenkastens mit dem Seitenwind ausgelenkt wird, während der nachlaufende Teil gegen den Seitenwind gedreht wird. Die Auslenkung geht so weit, bis die Rückstellkräfte der Abstützung des Wagenkastens auf den Fahrwerken das Giermoment durch die Seitenwindlast ausgleichen.

[0018] Problematisch hierbei ist, dass es durch diese Gierbewegung des Wagenkastens in der Regel zu einer Reduktion der Radaufstandskräfte (also einer so genannten Radentlastung) auf jeweils einer der Fahrwerksseiten der beiden Fahrwerke kommt. So kommt es bei dem vorlaufenden Fahrwerk zu einer Radentlastung auf der dem Seitenwind zugewandten Fahrwerksseite (also der Luv-Seite des Fahrwerks), die durch den in diesem Bereich in der Regel wirkenden Auftrieb noch zusätzlich verstärkt wird.

[0019] Gerade bei dem Einsatz der beschriebenen Wankstützeinrichtungen kommt es zusätzlich durch die gegenläufigen Querauslenkungen und die damit erzwungenen gegenläufigen Wankauslenkungen im Bereich der beiden Fahrwerke zu einer Torsion des Wagenkastens, welche die Radentlastung noch weiter verstärkt. Insbesondere bei Doppelstockfahrzeugen kann es wegen der großen Angriffsfläche für den Seitenwind und dem vergleichsweise hoch liegenden Schwerpunkt zu einer erheblichen Radentlastung kommen, die aber aus Gründen der Entgleisungssicherheit in der Regel vorgegebene Grenzwerte nicht überschreiten darf.

[0020] Um das Entgleisungsrisiko zu reduzieren, bestand für ein bestehendes Fahrzeug bisher lediglich die Möglich-

keit, die Stärke des Seitenwindes über geeignete Mittel zu erfassen und dementsprechend die Fahrgeschwindigkeit anzupassen. Alternativ wurde eine entsprechend niedrige maximale Fahrgeschwindigkeit festgelegt, bis zu der das Entgleisungsrisiko bei den auf der Fahrstrecke zu erwartenden Seitenwindstärken in dem vorgegebenen Grenzen blieb. Derartige Reduktionen der Fahrgeschwindigkeit sind natürlich von den Betreibern des Fahrzeugs höchst unerwünscht.

5 **[0021]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Fahrzeug bzw. ein Verfahren der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, welches die oben genannten Nachteile nicht oder zumindest in geringerem Maße aufweist und insbesondere auf einfache und zuverlässige Weise eine reduzierte Seitenwindempfindlichkeit sowie gegebenenfalls einen hohen Reisekomfort für die Passagiere bei hoher Transportkapazität des Fahrzeugs ermöglicht.

10 **[0022]** Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe ausgehend von einem Fahrzeug gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale. Sie löst diese Aufgabe weiterhin ausgehend von einem Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 24 durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 24 angegebenen Merkmale.

15 **[0023]** Der vorliegenden Erfindung liegt die technische Lehre zu Grunde, dass man auf einfache und zuverlässige Weise eine reduzierte Seitenwindempfindlichkeit bzw. eine Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeit des Fahrzeugs trotz des Einsatzes von Wankkompensationseinrichtungen erzielt, wenn eine aus der Torsion des Wagenkastens resultierende Komponente der Radentlastung, wie sie beispielsweise bei Seitenwind auftritt, durch einen aktiven Eingriff an einer der beiden Wankstützeinrichtungen und/oder eine Verkoppelung der beiden Wankstützeinrichtungen zumindest reduziert wird. So hat sich gezeigt, dass durch einen solchen aktiven Eingriff an einer der Wankstützeinrichtungen bzw. eine geeignete mechanische und/oder steuerungstechnische Verkoppelung der beiden Wankstützeinrichtungen in ein-
20 facher Weise eine Reduktion der Torsion des Wagenkastens (bis hin zu einem Wert Null) möglich ist.

[0024] Hiermit ist es in vorteilhafter Weise möglich, die im Hinblick auf die Seitenwindempfindlichkeit nachteiligen Eigenschaften solcher Wankkompensationseinrichtungen zumindest teilweise zu kompensieren, gegebenenfalls sogar vollständig zu eliminieren. Mit anderen Worten können dann ohne Weiteres die im Hinblick auf den hohen Reisekomfort für die Passagiere und die hohe Transportkapazität des Fahrzeugs vorteilhaften Effekte solcher Wankkompensationseinrichtungen realisiert werden, ohne dass nennenswerte Abstriche bei der Seitenwindempfindlichkeit bzw. der zulässigen Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs gemacht werden müssen.

25 **[0025]** Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Fahrzeug, insbesondere Schienenfahrzeug, mit einem Wagenkasten, einem ersten Fahrwerk und einem in Richtung einer Fahrzeuglängsachse von dem ersten Fahrwerk beabstandet angeordneten zweiten Fahrwerk, wobei der Wagenkasten über eine erste Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf dem ersten Fahrwerk abgestützt ist, während der Wagenkasten über eine zweite Federeinrichtung in Richtung der Fahrzeughochachse auf dem zweiten Fahrwerk abgestützt ist. Der Wagenkasten ist über eine erste Wankkompensationseinrichtung mit dem ersten Fahrwerk gekoppelt, während der Wagenkasten über eine zweite Wankkompensationseinrichtung mit dem zweiten Fahrwerk gekoppelt ist. Die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung wirken bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu der Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen. Die erste Wankkompensationseinrichtung ist derart ausgebildet, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten um die Fahrzeuglängsachse, die insbesondere durch an dem Wagenkasten wirkende Windlasten bedingt ist, entgegengewirkt wird. Zusätzlich oder alternativ sind die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung derart miteinander verkoppelt, dass einer solchen, insbesondere durch Windlasten bedingten, Torsionslast entgegengewirkt wird.

40 **[0026]** Der Torsionslast am Wagenkasten kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise durch fahrzeuginterne Maßnahmen im Bereich wenigstens einer der beiden Wankkompensationseinrichtungen entgegengewirkt werden. Vorzugsweise ist die erste Wankkompensationseinrichtung dazu ausgebildet, dem Wagenkasten unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich des ersten Fahrwerks in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen, während die zweite Wankkompensationseinrichtung dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten unter einer zweiten Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich des zweiten Fahrwerks in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen zweiten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen. Die erste Wankkompensationseinrichtung ist zur Reduzierung der Torsionslast an dem Wagenkasten dann derart ausgebildet, dass einer Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder einer Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel entgegengewirkt wird. Zusätzlich oder alternativ sind die
45 erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung derart miteinander verkoppelt, dass einer solchen Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder einer Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel entgegengewirkt wird.

55 **[0027]** Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass je nach Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung in der Regel eine vorgegebene Beziehung zwischen der betreffenden Querauslenkung und dem dazugehörigen Wankwinkel besteht, sodass eine Berücksichtigung der Querauslenkungen und eine Berücksichtigung der Wankwinkel gegebenenfalls zueinander äquivalente bzw. gleichwertige Maßnahmen darstellen können.

[0028] Die Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten kann, wie nachfolgend noch näher erläutert wird, durch rein passive Maßnahmen (d. h. Maßnahmen ohne externe Energiezufuhr) realisiert werden. Bei vorteilhaften Varianten

des erfindungsgemäßen Fahrzeugs wird jedoch eine aktive Lösung realisiert. Hierzu ist bevorzugt vorgesehen, dass die erste Wankkompensationseinrichtung eine erste Aktuatoreinrichtung mit wenigstens einer durch eine Steuereinrichtung angesteuerten ersten Aktuatoreinheit aufweist. Die erste Aktuatoreinrichtung ist bevorzugt dazu ausgebildet, gesteuert durch die Steuereinrichtung zur Einstellung der ersten Querauslenkung beizutragen, um hierüber die Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder die Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel zumindest zu reduzieren. Zusätzlich oder alternativ weist die zweite Wankkompensationseinrichtung eine zweite Aktuatoreinrichtung mit wenigstens einer durch die Steuereinrichtung angesteuerten zweiten Aktuatoreinheit auf, wobei die zweite Aktuatoreinrichtung dann bevorzugt dazu ausgebildet ist, gesteuert durch die Steuereinrichtung zur Einstellung der zweiten Querauslenkung beizutragen, um hierüber die Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder die Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel zumindest zu reduzieren.

[0029] Die aktive Reduktion bzw. Eliminierung der Torsionslast wird bevorzugt dadurch realisiert, dass die Steuereinrichtung wenigstens eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung wenigstens einer Erfassungsgröße aufweist, welche für die an dem Wagenkasten anliegende Torsionslast repräsentativ ist. Die Steuereinrichtung ist in diesem Fall dazu ausgebildet, die erste Aktuatoreinheit und/oder die zweite Aktuatoreinheit derart anzusteuern, dass die Torsionslast reduziert wird, gegebenenfalls sogar im Wesentlichen vollständig eliminiert wird.

[0030] So kann die Steuereinrichtung beispielsweise dazu ausgebildet sein, die erste Aktuatoreinheit und/oder die zweite Aktuatoreinheit derart anzusteuern, dass in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine Abweichung zwischen einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich des ersten Fahrwerks und einer zweiten Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich des zweiten Fahrwerks reduziert wird. Hierbei versteht es sich, dass natürlich auch auf die entsprechenden Wankwinkel des Wagenkastens bezüglich des jeweiligen Fahrwerks abgestellt werden kann.

[0031] Der erforderliche Grad der Reduktion der Abweichung zwischen den Querauslenkungen bzw. den Wankwinkeln richtet sich insbesondere nach der Gestaltung des Fahrzeugs. Relevante Einflussgrößen sind hier unter anderem die Torsionssteifigkeit des Wagenkastens um die Fahrzeuglängsachse sowie der Abstand der beiden Fahrwerke in Richtung der Fahrzeuglängsachse. Je steifer der Wagenkasten ist bzw. je kleiner der Abstand der beiden Fahrwerke ist, desto kleiner muss die Abweichung zwischen den Querauslenkungen bzw. den Wankwinkeln sein, um eine vorgegebene Reduktion der Torsionslast zu erzielen.

[0032] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die erste Aktuatoreinheit und/oder die zweite Aktuatoreinheit in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße derart ansteuert, dass die Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung weniger als 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 25 mm beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 10 mm beträgt. Zusätzlich oder alternativ kann die Steuereinrichtung die erste Aktuatoreinheit und/oder die zweite Aktuatoreinheit in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße derart ansteuern, dass eine Abweichung zwischen einem ersten Wankwinkel des Wagenkastens bezüglich des ersten Fahrwerks und einem zweiten Wankwinkel des Wagenkastens bezüglich des zweiten Fahrwerks weniger als 2° beträgt, vorzugsweise weniger als 1° beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 0,5° beträgt. Hierbei versteht es sich, dass in der Regel natürlich eine möglichst weit gehende Reduzierung der betreffenden Abweichung von Vorteil bzw. erwünscht ist.

[0033] Als Erfassungsgröße kann grundsätzlich jegliche Größe ermittelt werden, welche Rückschlüsse auf die aktuelle Torsionslast am Wagenkasten und damit letztlich auf die aus dieser Torsionslast resultierende Radentlastung zulässt. Beispielsweise ist es möglich, unmittelbar am Wagenkasten (beispielsweise über einen oder mehrere Dehnungsmessstreifen oder dergleichen) eine für die aktuelle Torsionslast am Wagenkasten repräsentative Größe zu ermitteln und für die weitere Ansteuerung der aktiven Komponenten zu verwenden. Bei weiteren bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung als die wenigstens eine Erfassungsgröße eine für die erste Querauslenkung des Wagenkastens repräsentative Größe und/oder eine für die zweite Querauslenkung des Wagenkastens repräsentative Größe erfasst, welche dann für die weitere Ansteuerung der aktiven Komponenten verwendet wird. Dies ist insoweit von Vorteil als gegebenenfalls unmittelbar die ohnehin über die aktiven Komponenten einzustellende Größe unmittelbar ermittelt wird.

[0034] Zusätzlich oder alternativ kann die Erfassungseinrichtung als die wenigstens eine Erfassungsgröße eine für eine Auslenkung einer Komponente der ersten Wankkompensationseinrichtung repräsentative Größe erfassen und/oder eine für eine Auslenkung einer Komponente der zweiten Wankkompensationseinrichtung repräsentative Größe erfassen, die dann für die weitere Ansteuerung der aktiven Komponenten verwendet wird.

[0035] Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass die Nutzung einer aktiven Komponente im Bereich nur einer der beiden Wankkompensationseinrichtungen ausreichen kann. So kann es zur Reduktion der Torsionslast beispielsweise ausreichen, dass über einen aktiven Eingriff an dem vorlaufenden Fahrwerk dem aus der Windlast resultierenden Giermoment an dem Wagenkasten entgegengewirkt werden kann, indem der Auslenkung des Wagenkastens durch eine entsprechende Kraftwirkung im Bereich der Wankkompensationseinrichtung des vorlaufenden Fahrwerks entgegengewirkt wird, während die Auslenkung am nachlaufenden Fahrwerk zugelassen wird.

[0036] Ebenso kann natürlich isoliert auch im Bereich des nachlaufenden Fahrwerks über einen aktiven Eingriff dem

aus der Windlast resultierenden Giermoment an dem Wagenkasten entgegengewirkt werden, indem der Auslenkung des Wagenkastens durch eine entsprechende Kraftwirkung im Bereich der Wankkompensationseinrichtung des nachlaufenden Fahrwerks entgegengewirkt wird, während die Auslenkung am vorlaufenden Fahrwerk zugelassen wird.

[0037] Schließlich kann natürlich auch eine Kombination der beiden Varianten vorgesehen sein, bei der im Bereich beider Wankkompensationseinrichtungen ein abgestimmter aktiver Eingriff erfolgt. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Auslegung der aktiven Komponenten von Vorteil, da diese dann für eine entsprechend geringere Leistung ausgelegt sein müssen.

[0038] Es sei an dieser Stelle weiterhin erwähnt, dass die Steuereinrichtung durch geeignete Maßnahmen dazu ausgebildet sein kann, die oben beschriebenen seitenwindbedingten Einflüsse von anderen fahrdynamischen Einflüssen (z. B. die Einfahrt in bzw. Ausfahrt aus Gleisüberhöhungen, Änderungen des Krümmungsradius des Gleises etc.) unterscheiden kann. Hierfür können entsprechende Filter ebenso wie zuvor generierte Modelle des Fahrzeugs eingesetzt werden. Hierbei kann insbesondere der Tatsache Rechnung getragen werden, dass seitenwindbedingte Einflüsse einen quasistatischen Charakter haben, mithin also in einem vergleichsweise niedrigen Frequenzbereich zum Tragen kommen, der in der Regel unterhalb von 2 Hz liegt, sodass insbesondere eine Differenzierung von höherfrequenten dynamischen Einflüssen in der Regel ohne Weiteres möglich ist.

[0039] Wie bereits oben erwähnt wurde, kann zusätzlich oder alternativ zu der oben beschriebenen aktiven Lösung auch eine passive Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten vorgesehen sein. Diese kann über eine entsprechende mechanische Koppelung der beiden Wankkompensationseinrichtungen realisiert sein. Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist hierzu vorgesehen, dass die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung über eine passive Kopplungseinrichtung mechanisch miteinander verkoppelt sind, wobei die Kopplungseinrichtung zur Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten in Richtung einer Fahrzeugquerachse gleichlaufende Stellbewegungen im Bereich der ersten Wankkompensationseinrichtung und der zweiten Wankkompensationseinrichtung erzeugt.

[0040] Die mechanische Kopplung zwischen den beiden Wankkompensationseinrichtungen kann auf beliebige geeignete Weise realisiert sein. So können beispielsweise beliebige mechanische Getriebe verwendet werden, um diese Kopplung zu realisieren. Bei besonders vorteilhaften Varianten der Erfindung wird die Kopplung zumindest abschnittsweise über ein fluidisches Wirkprinzip realisiert, da hiermit eine besonders einfache, Platz sparende Gestaltung der Überbrückung des Abstandes zwischen den beiden Fahrwerken möglich ist. Vorzugsweise umfasst die Kopplungseinrichtung daher eine fluidische Kopplung zwischen der ersten Wankkompensationseinrichtung und der zweiten Wankkompensationseinrichtung.

[0041] Bei weiteren vorteilhaften Varianten der Erfindung wird der gewünschte hohe Reisekomfort für die Passagiere bei hoher Transportkapazität des Fahrzeugs dadurch ermöglicht, dass man eine aktive Lösung mit einer aktiven ersten Wankkompensationseinrichtung wählt, die insbesondere kinematisch parallel zu der ersten Federeinrichtung angeordnet sein kann. Die erste Wankkompensationseinrichtung ist zur Erhöhung des Neigungskomforts dazu ausgebildet, dem Wagenkasten in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens in Richtung der Fahrzeugquerachse eine erste Wankwinkelkomponente des ersten Wankwinkels aufzuprägen, welche einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Zusätzlich oder alternativ kann die erste Wankkompensationseinrichtung dazu ausgebildet sein, dem Wagenkasten in einem zweiten Frequenzbereich, der zumindest teilweise oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt, eine zweite Querauslenkungskomponente (gegebenenfalls also auch eine zweite Wankwinkelkomponente um die Wankachse) aufzuprägen. Hierdurch kann der aus der ersten Wankwinkelkomponente resultierenden Querauslenkungskomponente, deren Einstellung letztlich eine quasi-statische Anpassung des Wankwinkels und damit der Querauslenkung an die aktuelle Gleiskrümmung und die aktuelle Fahrgeschwindigkeit darstellt, eine zweite Querauslenkungskomponente (gegebenenfalls also auch eine zweite Wankwinkelkomponente) überlagert werden, deren Einstellung letztlich eine dynamische Anpassung an aktuelle, in den Wagenkasten eingeleitete Störungen repräsentiert.

[0042] Während also über die erste Wankwinkelkomponente und damit die erste Querauslenkungskomponente in dem ersten Frequenzbereich eine Erhöhung des Neigungskomforts realisiert wird, wird über die zweite Querauslenkungskomponente (und gegebenenfalls die zweite Wankwinkelkomponente) in dem (zumindest teilweise oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegenden) zweiten Frequenzbereich in vorteilhafter Weise eine Erhöhung des Schwingungskomforts erzielt. Durch die Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung als zumindest in dem zweiten Frequenzbereich aktives System ist es in vorteilhafter Weise möglich die Abstützung des Wagenkastens auf dem Fahrwerk in der Querrichtung des Fahrzeugs vergleichsweise steif zu gestalten, insbesondere die Wankachse bzw. den Momentanpol des Wagenkastens vergleichsweise nahe an den Schwerpunkt des Wagenkastens zu legen, sodass zum einen die gewünschten Wankwinkel mit vergleichsweise geringen Querauslenkungen einhergehen und zum anderen bei Ausfall der aktiven Komponenten eine möglichst weit gehende passive Rückstellung des Wagenkastens in eine Neutralstellung möglich ist. Diese geringen Querauslenkungen im Normalbetrieb sowie die passive Rückstellung im Falle einer Störung ermöglichen es in vorteilhafter Weise, besonders breite Wagenkästen mit einer hohen Transportkapazität zu realisieren.

[0043] Die aktive Lösung hat dabei insbesondere den Vorteil, dass sämtliche Funktionen, mithin also die Reduktion

der Seitenwindempfindlichkeit, die Erhöhung des Neigungskomforts, und die Erhöhung des Schwingungskomforts durch entsprechend gestaltete, einander überlagerte Regelungsalgorithmen in der Steuereinrichtung realisiert werden können, die gegebenenfalls nur eine einzige aktive Einrichtung im Bereich mindestens einer der Wankkompensationseinrichtung ansteuern muss. Mit anderen Worten lässt sich hierdurch eine hohe Funktionsintegration bzw. eine sehr kompakte Gestaltung realisieren, die insbesondere im Hinblick auf die ohnehin beengten Platzverhältnisse in modernen Fahrwerken von besonderem Vorteil ist.

[0044] Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die zweite Wankkompensationseinrichtung gegebenenfalls auch abweichend von der ersten Wankkompensationseinrichtung gestaltet sein kann. Vorzugsweise sind jedoch die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung im Wesentlichen identisch gestaltet, sodass die nachfolgenden Ausführungen hinsichtlich der Merkmale, Funktionen und Vorteile der ersten Wankkompensationseinrichtung gleichermaßen auch bei der zweiten Wankkompensationseinrichtung realisiert sein können.

[0045] In diesem Zusammenhang ist weiterhin anzumerken, dass die zweiten Querauslenkungskomponenten je nach der Gestaltung und Anbindung der Wankkompensationseinrichtung gegebenenfalls nicht zwingend mit einem der (statischen) Kinematik der ersten Wankkompensationseinrichtung entsprechenden zweiten Wankwinkelkomponente einhergehen, die der ersten Wankwinkelkomponente in dem zweiten Frequenzbereich überlagert ist. Dies rührt daher, dass beispielsweise bei einer vergleichsweise weichen, elastischen Anbindung der ersten Wankkompensationseinrichtung an dem ersten Fahrwerk und/oder dem Wagenkasten aufgrund der Trägheitskräfte in dem zweiten Frequenzbereich in gewissen Grenzen eine kinematische Entkopplung der Querbewegungen des Wagenkastens von der (bei langsamen, quasi statischen Bewegungen) durch die Kinematik der Wankkompensationseinrichtung vorgegebenen Wankbewegung erfolgt. Je starrer also die Anbindung der Wankkompensationseinrichtung an dem Fahrwerk und dem Wagenkasten ausgeführt ist und je starrer die Wankkompensationseinrichtung in sich gestaltet ist, desto geringer fällt diese Entkopplung aus. Mithin wird der ersten Wankwinkelkomponente also bei einer Gestaltung mit einer starren Ankopplung einer in sich starren Wankkompensationseinrichtung in dem zweiten Frequenzbereich letztlich eine zweite Wankwinkelkomponente überlagert.

[0046] Bei weiteren bevorzugten Varianten der Erfindung ist die erste Wankkompensationseinrichtung zur Erhöhung des Neigungskomforts dazu ausgebildet, dem Wagenkasten in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkungskomponente der ersten Querauslenkung des Wagenkastens eine erste Wankwinkelkomponente des ersten Wankwinkels aufzuprägen, die einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Weiterhin ist die erste Wankkompensationseinrichtung zur Erhöhung des Schwingungskomforts dazu ausgebildet, dem Wagenkasten in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkungskomponente überlagerte zweite Querauslenkungskomponente aufzuprägen, wobei der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt.

[0047] Die erste Wankkompensationseinrichtung kann so ausgebildet sein, dass sie lediglich in dem zweiten Frequenzbereich aktiv ist, mithin also nur die zweite Querauslenkungskomponente bzw. gegebenenfalls die zweite Wankwinkelkomponente aktiv einstellt, während die Einstellung der ersten Wankwinkelkomponente rein passiv durch die bei Kurvenfahrt auf den Wagenkasten wirkende Querbeschleunigung bzw. die daraus resultierende Zentrifugalkraft bewirkt wird. Ebenso ist es aber auch möglich, in beiden Frequenzbereichen eine zumindest teilweise aktive Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung über die Wankkompensationseinrichtung zu realisieren, die gegebenenfalls durch die Zentrifugalkraft unterstützt wird. Schließlich kann auch vorgesehen sein, die Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung über die erste Wankkompensationseinrichtung ausschließlich aktiv zu realisieren. Dies ist dann der Fall, wenn die Wankachse bzw. der Momentanpol des Wagenkastens auf oder nahe an dem Schwerpunkt des Wagenkastens liegt, sodass die Zentrifugalkraft keinen (oder zumindest keinen nennenswerten) Beitrag zur Erzeugung der Wankbewegung bzw. der Querauslenkung liefern kann.

[0048] Die erste Wankkompensationseinrichtung kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Bevorzugt umfasst die erste Wankkompensationseinrichtung eine Aktuatoreinrichtung mit wenigstens einer durch eine Steuereinrichtung angesteuerten Aktuatoreinheit, deren Aktuatorkraft zumindest einen Anteil zu der Kraft zur Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung am Wagenkasten liefert. Bei einer zumindest teilweisen aktiven Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung im ersten Frequenzbereich ist die Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet, zur Erzeugung der ersten Wankwinkelkomponente in dem ersten Frequenzbereich zumindest überwiegend beizutragen, insbesondere die erste Wankwinkelkomponente bzw. die erste Querauslenkungskomponente im Wesentlichen zu erzeugen.

[0049] Bei dem ersten Frequenzbereich handelt es sich vorzugsweise um den Frequenzbereich, in dem quasi statische, der aktuellen Krümmung des durchfahrenen Gleisbogens und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit entsprechende Wankbewegungen erfolgen. Dieser Frequenzbereich kann je nach den Vorgaben des Streckennetzes und/oder des Betreibers des Fahrzeugs (beispielsweise aufgrund des Einsatzes des Fahrzeugs im Nahverkehr, im Fernverkehr, insbesondere im Hochgeschwindigkeitsverkehr, etc.) variieren. Bevorzugt erstreckt sich der erste Frequenzbereich von 0 Hz bis 2 Hz, vorzugsweise von 0,5 Hz bis 1,0 Hz. Ähnliches gilt für Bandbreite des zweiten Frequenzbereichs, wobei dieser natürlich auf die im Betrieb des Fahrzeugs zu erwartenden (gegebenenfalls periodischen, typischerweise aber eher singulären

bzw. statistisch gestreuten) dynamischen Störungen abgestimmt ist, die von den Passagieren wahrgenommen und als störend empfunden werden. Bevorzugt erstreckt sich der zweite Frequenzbereich daher von 0,5 Hz bis 15 Hz, vorzugsweise von 1,0 Hz bis 6,0 Hz.

[0050] Grundsätzlich kann vorgesehen sein, dass die (zumindest in dem zweiten Frequenzbereich erfolgende) aktive Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung über die Wankkompensationseinrichtung ausschließlich bei Bogenfahrt im gekrümmten Gleis erfolgt, mithin also die erste Wankkompensationseinrichtung nur in einer solchen Fahrsituation aktiv ist. Vorzugsweise ist jedoch vorgesehen, dass die Wankkompensationseinrichtung auch bei Geradeausfahrt aktiv ist, sodass der Schwingungskomfort in vorteilhafter Weise auch in diesen Fahrsituationen gewährleistet ist.

[0051] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeuges wird über die erste Wankkompensationseinrichtung eine Begrenzung der Querauslenkungen des Wagenkastens (also der Auslenkungen in der Fahrzeugquerrichtung) bezüglich einer Neutralstellung des Wagenkastens realisiert. Die Neutralstellung ist durch die Stellung des Wagenkastens definiert, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt. Hierdurch ist es in vorteilhafter Weise möglich, besonders breite Wagenkästen mit einer hohen Transportkapazität zu realisieren, welche auf das seitens des Betreibers des Schienenfahrzeugs vorgegebene Begrenzungsprofil abgestimmt sind. Die Begrenzung der Querauslenkungen kann durch beliebige geeignete Komponenten der Wankkompensationseinrichtung realisiert sein. Vorzugsweise stellt eine Aktuatoreinrichtung der ersten Wankkompensationseinrichtung die Begrenzung der Querauslenkungen zur Verfügung, da hiermit eine besonders kompakte, Platz sparende Gestaltung realisiert werden kann.

[0052] Wie erwähnt, kann die Begrenzung der Querauslenkungen auf das seitens des Betreibers des Fahrzeuges vorgegebenen Begrenzungsprofil abgestimmt werden. Besonders vorteilhafte Gestaltungen ergeben sich, wenn die erste Wankkompensationseinrichtung, insbesondere eine Aktuatoreinrichtung der ersten Wankkompensationseinrichtung, derart ausgebildet ist, dass eine in der Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogenaußen erfolgende erste maximale Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung auf 80 mm bis 150 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 100 mm bis 120 mm begrenzt ist. Während im Hinblick auf die Einhaltung des vorgegebenen Begrenzungsprofils die Begrenzung der Querauslenkungen bei Fahrzeugen mit (in Längsrichtung des Fahrzeugs) mittig unter den Wagenkästen angeordneten Fahrwerken von besonderer Bedeutung ist, ist es bei Fahrzeugen mit im Endbereich der Wagenkästen angeordneten Fahrwerken von besonderem Interesse, die Querauslenkungen nach bogeninnen entsprechend zu begrenzen. Vorzugsweise ist daher zusätzlich oder alternativ eine in der Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung auf 0 mm bis 40 mm begrenzt, vorzugsweise auf 20 mm begrenzt. Es versteht sich, dass bei gewissen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, dass eine bei Bogenfahrt nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung auch einen negativen Wert aufweist, beispielsweise -20 mm. In diesem Fall wird der Wagenkasten also auch auf der Bogeninnenseite nach bogenaußen ausgelenkt, um beispielsweise eine Einhaltung eines vorgegebenen Lichtraumprofils mit besonders breiten Wagenkästen realisieren zu können.

[0053] Wie bereits erwähnt, kann die Begrenzung der Querauslenkungen bevorzugt durch eine Aktuatoreinrichtung der ersten Wankkompensationseinrichtung realisiert sein. Bevorzugt ist dabei vorgesehen, dass die Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet ist, als eine Endanschlagseinrichtung zur Definition wenigstens eines Endanschlags für die Wankbewegung des Wagenkastens zu wirken. Hierzu kann ein durch die Konstruktion der Aktuatoreinrichtung definierter Anschlag (beispielsweise ein einfacher mechanischer Anschlag) vorgesehen sein. Vorzugsweise ist die Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet, die Position des wenigstens einen Endanschlags für die Wankbewegung des Wagenkastens variabel zu definieren. Mit anderen Worten kann vorgesehen sein, dass dieser Anschlag durch eine aktive Hemmung der Aktuatoreinrichtung (beispielsweise durch entsprechende Energiezufuhr zur Aktuatoreinrichtung) und/oder durch eine passive Hemmung der Aktuatoreinrichtung (beispielsweise eine Deaktivierung einer selbsthemmend gestalteten Aktuatoreinrichtung) an einer beliebigen Stelle im Stellweg der Aktuatoreinrichtung frei definierbar ist.

[0054] Die Aktuatoreinrichtung der ersten Wankkompensationseinrichtung kann grundsätzlich in beliebiger geeigneter Weise gestaltet sein. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Aktuatoreinrichtung im Falle ihrer Inaktivität einer Wankbewegung des Wagenkastens höchstens einen geringen Widerstand, insbesondere im Wesentlichen keinen Widerstand entgegensezt. Mithin ist die Aktuatoreinrichtung also vorzugsweise nicht selbsthemmend gestaltet, sodass im Falle eines Ausfalls der Aktuatoreinrichtung unter anderem eine Rückstellung des Wagenkastens hin zu seiner Neutralstellung gewährleistet ist.

[0055] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeuges ist die erste Wankkompensationseinrichtung so gestaltet, dass auch bei Ausfall der aktiven Komponenten der ersten Wankkompensationseinrichtung noch ein Notbetrieb des Fahrzeuges mit gegebenenfalls verschlechterten Komforteigenschaften (insbesondere hinsichtlich des Neigungskomforts und/oder des Schwingungskomforts) aber unter Einhaltung des vorgegebenen Begrenzungsprofils möglich ist.

[0056] Vorzugsweise ist daher vorgesehen, dass die Federeinrichtung bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung der ersten Wankkompensationseinrichtung auf den Wagenkasten ein Rückstellmoment um die Wankachse ausübt, wobei das Rückstellmoment bei inaktiver Aktuatoreinrichtung derart bemessen ist, dass eine Querauslenkung des Wagenkas-

tens aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung des Wagenkastens und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung stehendem Fahrzeug weniger als 10 mm bis 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 20 mm beträgt. Mit anderen Worten ist die Federeinrichtung (insbesondere deren Steifigkeit in Fahrzeugquerrichtung) bevorzugt so gestaltet, dass ein Fahrzeug, welches aus beliebigen Gründen (beispielsweise aufgrund eines Schadens am Fahrzeug oder Fahrweg) an einer derart ungünstigen Stelle zum Stehen kommt, nach wie vor das vorgegebene Begrenzungsprofil einhält.

[0057] Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass das Rückstellmoment bei inaktiver Aktuatoreinrichtung derart bemessen ist, dass eine Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung des Wagenkastens und bei in einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querbeschleunigung des Fahrzeugs weniger als 40 mm bis 80 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 60 mm beträgt. Mit anderen Worten ist die Federeinrichtung (insbesondere deren Steifigkeit in Fahrzeugquerrichtung) bevorzugt so gestaltet, dass ein Fahrzeug in einem Notbetrieb bei Ausfall der Aktuatoreinrichtung bei Fahrt mit normaler Fahrgeschwindigkeit nach wie vor das vorgegebene Begrenzungsprofil einhält.

[0058] Die Steifigkeit, insbesondere die Quersteifigkeit in Fahrzeugquerrichtung, der Abstützung des Wagenkastens auf dem jeweiligen Fahrwerk kann eine beliebige geeignete Charakteristik in Abhängigkeit von der Querauslenkung aufweisen. So kann beispielsweise ein linearer oder sogar progressiver Verlauf der Quersteifigkeit in Abhängigkeit von der Querauslenkung vorgesehen sein. Vorzugsweise ist jedoch ein degressiver Verlauf vorgesehen, sodass einer anfänglichen Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung ein vergleichsweise hoher Widerstand entgegengesetzt wird, der Widerstand jedoch mit zunehmender Auslenkung abnimmt. Dies ist im Hinblick auf die dynamische Einstellung des zweiten Wankwinkels in dem zweiten Frequenzbereich bei Bogenfahrt von Vorteil, da die erste Wankkompensationseinrichtung für diese dynamischen Auslenkungen in dem zweiten Frequenzbereich geringere Kräfte zur Verfügung stellen muss.

[0059] Bevorzugt ist daher vorgesehen, dass die Federeinrichtung eine Rückstellkennlinie definiert, wobei die Rückstellkennlinie die Abhängigkeit des Rückstellmoments von der Wankwinkel auslenkung wiedergibt und die Rückstellkennlinie einen degressiven Verlauf aufweist. Der Verlauf der Rückstellkennlinie kann dabei grundsätzlich in beliebiger geeigneter Weise auf den vorliegenden Anwendungsfall angepasst sein. Vorzugsweise weist die Rückstellkennlinie in einem ersten Wankwinkelbereich bzw. ersten Querauslenkungsbereich eine erste Steigung und in einem oberhalb des ersten Wankwinkelbereichs bzw. des ersten

die Abweichung zwischen n Wankwinkelbereich bzw. zweiten Querauslenkungsbereich eine zweite Steigung aufweist, die geringer ist als die erste Steigung, wobei das Verhältnis der zweiten Steigung zu der ersten Steigung insbesondere im Bereich von 0 bis 1 liegt,

Bereich von 0 bis 1 liegt, vorzugsweise im Bereich von 0 bis 0,5 liegt. Die beiden Wankwinkelbereiche bzw. Querauslenkungsbereiche können auf beliebige geeignete Weise gewählt sein. Bevorzugt erstreckt sich der erste Querauslenkungsbereich von 0 mm bis 60 mm erstreckt, vorzugsweise von 0 mm bis 40 mm erstreckt, und sich der zweite Querauslenkungsbereich insbesondere von 20 mm bis 120 mm erstreckt, vorzugsweise von 40 mm bis 100 mm erstreckt. Die Wankwinkelbereiche entsprechen dann je nach der vorgegebenen Kinematik den Querauslenkungsbereichen.

[0060] Hierbei versteht es sich, dass sich die Bestimmung der Charakteristik der Federeinrichtung vorwiegend nach den Querauslenkungen richtet, welche im Fall eines Ausfalls aktiver Komponenten noch erreicht werden dürfen. Die erste Steigung definiert dabei in der Regel den Restquerweg beim Ausfall einer aktiven Komponente, während die zweite Steigung die Aktuatorkräfte bei größeren Auslenkungen bestimmt und möglichst so gewählt ist, dass diese Aktuatorkräfte bei größeren Auslenkungen gering gehalten werden können. Die zweite Steigung ist daher bevorzugt möglichst nahe dem Wert Null gehalten. Es können gegebenenfalls sogar negative Werte der zweiten Steigung zulässig bzw. vorgesehen sein.

[0061] Um die beschriebene Rückstellung des Wagenkastens in seine Neutralstellung zu erzielen, kann die Abstützung des Wagenkastens auf dem Fahrwerk eine beliebige geeignete Steifigkeit aufweisen. Hierbei kann eine von der Querauslenkung im Wesentlichen unabhängige Steifigkeit vorgesehen sein. Vorzugsweise ist jedoch wiederum vorgesehen, dass die jeweilige Federeinrichtung eine Quersteifigkeit in Richtung einer Fahrzeugquerachse aufweist, die von einer Querauslenkung des Wagenkastens in Richtung der Fahrzeugquerachse aus der Neutralstellung abhängig ist, sodass bei Auslenkungen in der Nähe der Neutralstellung eine andere Steifigkeit (beispielsweise eine höhere Steifigkeit) vorherrscht als im Bereich größerer Auslenkungen. Hiermit lassen sich wiederum die oben beschriebenen Vorteile hinsichtlich der dynamischen Einstellung des zweiten Wankwinkels bei Bogenfahrt erzielen.

[0062] Bevorzugt weist die jeweilige Federeinrichtung in einem ersten Querauslenkungsbereich eine erste Quersteifigkeit auf, während sie in einem oberhalb des ersten Querauslenkungsbereichs liegenden zweiten Querauslenkungsbereich eine zweite Quersteifigkeit aufweist, die geringer ist als die erste Quersteifigkeit. Hierbei versteht es sich, dass die Quersteifigkeit innerhalb des jeweiligen Querauslenkungsbereichs variieren kann. Zudem kann der Verlauf der

Quersteifigkeit in Abhängigkeit von der Querauslenkung grundsätzlich in beliebiger geeigneter Weise auf den vorliegenden Anwendungsfall abgestimmt sein.

[0063] Vorzugsweise liegt die erste Quersteifigkeit im Bereich von 100 N/mm bis 800 N/mm, weiter vorzugsweise im Bereich von 300 N/mm bis 500 N/mm, während die zweite Quersteifigkeit vorzugsweise im Bereich von 0 N/mm bis 300 N/mm liegt, weiter vorzugsweise im Bereich von 0 N/mm bis 100 N/mm liegt. Die beiden Querauslenkungsbereiche können ebenfalls auf beliebige geeignete, an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Weise gewählt sein. Bevorzugt erstreckt sich der erste Querauslenkungsbereich von 0 mm bis 60 mm, vorzugsweise von 0 mm bis 40 mm, während sich der zweite Querauslenkungsbereich vorzugsweise von 20 mm bis 120 mm erstreckt, weiter vorzugsweise von 40 mm bis 100 mm erstreckt. Hiermit lassen sich im Hinblick auf eine Begrenzung der maximalen Querauslenkung des Wagenkastens bei möglichst geringem Energieeinsatz besonders günstige Gestaltungen erzielen.

[0064] Das oben bereits beschriebene vorteilhafte Verhalten des Fahrzeugs bei Ausfall einer oder mehrerer der aktiven Komponenten der Wankkompensationseinrichtung kann bevorzugt über eine entsprechende Gestaltung der jeweiligen Federeinrichtung, insbesondere von deren Quersteifigkeit, realisiert werden.

[0065] Vorzugsweise ist daher für ein günstiges Verhalten in einem solchen Notbetrieb des Fahrzeugs vorgesehen, dass die jeweilige Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine Quersteifigkeit aufweist, wobei die Quersteifigkeit der Federeinrichtung derart bemessen ist, dass bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung der Wankkompensationseinrichtung bei Bogenfahrt mit einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querschleunigung des Fahrzeugs eine in einer Fahrzeugquerrichtung nach bogenaußen erfolgende erste maximale Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung auf 40 mm bis 120 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 60 mm bis 80 mm begrenzt ist. Zusätzlich oder alternativ ist vorgesehen, dass eine in einer Fahrzeugquerrichtung nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung des Wagenkastens aus der Neutralstellung auf 0 mm bis 60 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 20 mm bis 40 mm begrenzt ist. Die Wankwinkelbereiche entsprechen dann je nach der vorgegebenen Kinematik wiederum den obigen Querauslenkungsbereichen,

[0066] Weiterhin kann zusätzlich oder alternativ (im Hinblick auf ein günstiges Verhalten bei stehendem Fahrzeug) vorgesehen sein, dass die Quersteifigkeit der Federeinrichtung derart bemessen ist, dass bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung der jeweiligen Wankkompensationseinrichtung eine Querauslenkung (und damit eine entsprechende Wankwinkelauslenkung) des Wagenkastens aus der Neutralstellung bei der Nennbeladung und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung stehendem Fahrzeug weniger als 10 mm bis 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 20 mm beträgt.

[0067] Die aktiven Komponenten der jeweiligen Wankkompensationseinrichtung können grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Vorzugsweise ist (wie bereits erwähnt) wenigstens eine Aktuatoreinrichtung vorgesehen, die zwischen den Wagenkasten und das Fahrwerk geschaltet ist und die Einstellung des Wankwinkels in dem zweiten Frequenzbereich realisiert. Wegen ihrer besonders einfachen und robusten Gestaltung werden bevorzugt Linearaktuatoren eingesetzt, bei denen vorzugsweise der Verfahrweg und/oder die Aktuatorkräfte auf geeignete Weise begrenzt sind, um die Anforderungen an die Dynamik der Einstellung der Querauslenkung bzw. des Wankwinkels in dem zweiten Frequenzbereich mit zufrieden stellenden Ergebnissen zu erfüllen.

[0068] Bei Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs mit besonders günstigen dynamischen Eigenschaften ist die Wankkompensationseinrichtung derart ausgebildet, dass eine Aktuatoreinrichtung der jeweiligen Wankkompensationseinrichtung in dem ersten Frequenzbereich aus der Neutralstellung eine maximale Auslenkung von 60 mm bis 110 mm aufweist, vorzugsweise von 70 mm bis 85 mm aufweist, während sie zusätzlich oder alternativ in dem zweiten Frequenzbereich aus einer Ausgangsstellung eine maximale Auslenkung von 10 mm bis 30 mm, vorzugsweise von 10 mm bis 20 mm, aufweist. Weiterhin kann im Hinblick auf die maximale Aktuatorkraft vorgesehen sein, dass die Aktuatoreinrichtung in dem ersten Frequenzbereich eine maximale Aktuatorkraft von 10 kN bis 40 kN, vorzugsweise von 15 kN bis 30 kN, ausübt, während sie in dem zweiten Frequenzbereich eine maximale Aktuatorkraft von 5 kN bis 35 kN, vorzugsweise von 5 kN bis 20 kN, ausübt.

[0069] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist der (in der Neutralstellung des Wagenkastens vorliegende) Abstand der Wankachse des Wagenkastens zu dem Schwerpunkt des Wagenkastens in Richtung der Fahrzeughochachse auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt. So weist der Schwerpunkt des Wagenkastens in der Regel eine erste Höhe (H1) über dem Gleis (typischerweise über der Schienenoberkante SOK) auf, während die Wankachse in der Neutralstellung in Richtung der Fahrzeughochachse eine zweite Höhe (H2) über dem Gleis aufweist. Bevorzugt beträgt das Verhältnis der Differenz aus der zweiten Höhe und der ersten Höhe ($H2 - H1$) zu der ersten Höhe (H1) höchstens 2,2, vorzugsweise höchstens 1,3, weiter vorzugsweise 0,8 bis 1,3. Insbesondere kann die Differenz aus der zweiten Höhe und der ersten Höhe ($H2 - H1$) zwischen 1,5 m und ca. 4,5 m betragen, vorzugsweise ca. 1,8 m betragen. Hiermit lassen sich Gestaltungen realisieren, die hinsichtlich der oben bereits erwähnten Begrenzung der Querauslenkungen und damit der Realisierbarkeit breiter Wagenkästen mit hoher Transportkapazität besonders günstig sind.

[0070] Die jeweilige Wankkompensationseinrichtung kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein, um die Einstellung des Wankwinkels des Wagenkastens in den beiden Frequenzbereichen zu realisieren. Bei besonders einfach gestalteten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist hierzu vorgesehen, dass die jeweilige Wankkom-

pensationseinrichtung eine Wankstützeinrichtung umfasst, die kinematisch parallel zu der Federeinrichtung angeordnet und dazu ausgebildet ist, Wankbewegungen des Wagenkastens um die Wankachse bei Geradeausfahrt entgegenzuwirken. Derartige Wankstützeinrichtungen sind hinlänglich bekannt, sodass hierauf nicht näher eingegangen werden soll. Insbesondere können sie auf unterschiedlichen Wirkprinzipien basieren. So können sie auf einem rein mechanischen

Wirkprinzip basieren. Es sind aber auch fluidische (beispielsweise hydraulische) Lösungen, elektromechanische Lösungen oder beliebige Kombinationen aus allen diesen Wirkprinzipien möglich.

[0071] Bei einer besonders einfach gestalteten Variante umfasst die Wankstützeinrichtung zwei Lenker, die an einem ihrer Enden jeweils gelenkig an dem Wagenkasten und an ihrem anderen Ende jeweils gelenkig an entgegengesetzten Enden eines Torsionselements angelenkt sind, das an dem Fahrwerk gelagert ist, wie dies eingangs bereits beschrieben wurde.

[0072] Zusätzlich oder alternativ kann die jeweilige Wankkompensationseinrichtung auch eine Führungseinrichtung umfassen, die kinematisch seriell zu der Federeinrichtung angeordnet ist. Die Führungseinrichtung umfasst ein Führungselement, das zwischen dem Fahrwerk und dem Wagenkasten angeordnet ist, und ist dazu ausgebildet, bei Wankbewegungen des Wagenkastens eine Bewegung des Führungselements bezüglich des Wagenkastens oder des Fahrwerks zu definieren. Die Führungseinrichtung kann wiederum auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein, um die beschriebene Führung zu realisieren. So kann sie beispielsweise durch Gleiten und/oder Abrollen des Führungselements auf einer Führungsbahn realisiert sein.

[0073] Bei besonders einfach gestalteten und robusten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs umfasst die Führungseinrichtung insbesondere wenigstens eine Schichtfedereinrichtung. Die Schichtfedereinrichtung kann als einfache Gummischichtfeder realisiert sein, deren Schichten zur Fahrzeughochachse und zur Fahrzeugquerachse geneigt angeordnet sind, sodass sie die Wankachse des Wagenkastens definieren.

[0074] Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Gestaltung der jeweiligen Wankkompensationseinrichtung mit einer solchen Schichtfedereinrichtung zur Definition der Wankachse des Wagenkastens einen eigenständig schutzfähigen Erfindungsgedanken darstellt, der insbesondere von der vorstehend beschriebenen Einstellung des Wankwinkels in dem ersten Frequenzbereich und dem zweiten Frequenzbereich unabhängig ist.

[0075] Die vorliegende Erfindung lässt sich im Zusammenhang mit beliebigen Gestaltungen der Abstützung des Wagenkastens auf dem Fahrwerk einsetzen. So lässt sie sich beispielsweise im Zusammenhang mit einer einstufigen Federung einsetzen, welche den Wagenkasten direkt auf einer Radeinheit abstützt. Besonders vorteilhaft lässt sie sich im Zusammenhang mit zweistufig gestalteten Federungen einsetzen. Vorzugsweise umfasst das Fahrwerk demgemäß einen Fahrwerksrahmen und wenigstens eine Radeinheit, während die Federeinrichtung eine Primärfederung und eine Sekundärfederung aufweist. Der Fahrwerksrahmen ist über die Primärfederung auf der Radeinheit abgestützt, während der Wagenkasten über die, insbesondere als Luftfederung ausgeführte, Sekundärfederung auf dem Fahrwerksrahmen abgestützt ist. Die Wankkompensationseinrichtung ist dann bevorzugt kinematisch parallel zu der Sekundärfederung zwischen dem Fahrwerksrahmen und dem Wagenkasten angeordnet. Hiermit ist eine Integration in einen Großteil der typischerweise verwendeten Fahrzeuge möglich.

[0076] Die Steifigkeit der jeweiligen Federeinrichtung, insbesondere ihre Quersteifigkeit, kann gegebenenfalls alleine durch die Primärfederung und die Sekundärfederung bestimmt sein. Vorzugsweise umfasst die Federeinrichtung eine Querfedereinrichtung, die in vorteilhafter Weise zur Anpassung bzw. der Optimierung der Quersteifigkeit der Federeinrichtung für den jeweiligen Anwendungsfall dient. Hierdurch vereinfacht sich die Gestaltung der Federeinrichtung trotz der einfachen Optimierung der Quersteifigkeit erheblich. Die Querfedereinrichtung kann einerseits mit dem Fahrwerksrahmen und andererseits mit dem Wagenkasten verbunden sein. Zusätzlich oder alternativ kann die Querfedereinrichtung auch einerseits mit dem Fahrwerksrahmen oder mit dem Wagenkasten verbunden sein und andererseits mit der Wankkompensationseinrichtung verbunden sein.

[0077] Bevorzugt ist die Querfedereinrichtung zur Erhöhung der Steifigkeit der jeweiligen Federeinrichtung in Richtung der Fahrzeugquerachse ausgebildet. Hierbei kann sie eine beliebige für den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Charakteristik aufweisen. Bevorzugt weist die Querfedereinrichtung eine degressive Steifigkeitscharakteristik auf, um insgesamt eine degressive Steifigkeitscharakteristik der Federeinrichtung zu erzielen.

[0078] Bei bevorzugten Ausführungen des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist weiterhin vorgesehen, dass die jeweilige Federeinrichtung eine Notfedereinrichtung aufweist, die mittig am Fahrwerk angeordnet ist, um auch bei Ausfall der tragenden Komponenten der Federeinrichtung einen Notbetrieb des Fahrzeugs zu ermöglichen. Die Notfedereinrichtung kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Vorzugsweise ist die Notfedereinrichtung derart ausgebildet, dass sie die Kompensationswirkung der Wankkompensationseinrichtung unterstützt. Hierzu kann die Notfedereinrichtung eine Gleit- und/oder Rollführung umfassen, welche der Kompensationsbewegung folgt.

[0079] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Einstellen von Wankwinkeln an einem Wagenkasten eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, um eine zu einer Fahrzeuglängsachse des Fahrzeugs parallele Wankachse, bei dem ein erster Wankwinkel und/oder eine erste Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich eines ersten Fahrwerks eingestellt wird und ein zweiter Wankwinkel und/oder eine zweite Querauslenkung des Wagenkastens bezüglich eines zweiten Fahrwerks eingestellt wird, das in Richtung einer Fahrzeuglängsachse von dem ersten

Fahrwerk beabstandet angeordnet ist. Der Wagenkasten ist über eine erste Wankkompensationseinrichtung mit dem ersten Fahrwerk gekoppelt, während der Wagenkasten über eine zweite Wankkompensationseinrichtung mit dem zweiten Fahrwerk gekoppelt ist. Die erste Wankkompensationseinrichtung und die zweite Wankkompensationseinrichtung wirken bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu der Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen. Der erste Wankwinkel und/oder der zweite Wankwinkel werden derart miteinander verkoppelt eingestellt, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten um die Fahrzeuglängsachse entgegengewirkt wird. Zusätzlich oder alternativ werden die erste Querauslenkung und/oder die zweite Querauslenkung derart miteinander verkoppelt eingestellt, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten um die Fahrzeuglängsachse entgegengewirkt wird. Hiermit lassen sich die oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Fahrzeug beschriebenen Varianten und Vorteile in demselben Maße realisieren, sodass diesbezüglich auf die obigen Ausführungen Bezug genommen wird.

[0080] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen bzw. der nachstehenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche auf die beigefügten Zeichnungen Bezug nimmt. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung (entlang der Linie I-I aus Figur 3);

Figur 2 eine schematische Schnittansicht des Fahrzeugs aus Figur 1 bei Bogenfahrt;

Figur 3 eine schematische Seitenansicht des Fahrzeugs aus Figur 1;

Figur 4 eine schematische perspektivische Ansicht eines Teils des Fahrzeugs aus Figur 1;

Figur 5 eine Querkraft-Weg-Charakteristik der Federeinrichtung des Fahrzeugs aus Figur 1;

Figur 6 eine schematische Schnittansicht einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung;

Figur 7 eine schematische Schnittansicht einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung;

Figur 8 eine schematische Ansicht eines Teils einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs.

Erstes Ausführungsbeispiel

[0081] Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 5 ein erstes bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Form eines Schienenfahrzeugs 101 beschrieben, welches eine Fahrzeuglängsachse 101.1 aufweist.

[0082] Die Figur 1 zeigt eine schematische Schnittansicht des Fahrzeugs 101 in einer Schnittebene senkrecht zur Fahrzeuglängsachse 101.1. Das Fahrzeug 101 umfasst einen Wagenkasten 102, der im Bereich seines ersten Endes über eine erste Federeinrichtung 103 auf einem ersten Fahrwerk in Form eines ersten Drehgestells 104 abgestützt ist und im Bereich seines zweiten Endes über eine zweite Federeinrichtung 113 auf einem zweiten Fahrwerk in Form eines zweiten Drehgestells 114 abgestützt ist. Das erste Drehgestell 104 und das zweite Drehgestell 114 sind identisch gestaltet, sodass im Folgenden primär auf die Merkmale des ersten Drehgestells 104 eingegangen wird. Gleiches gilt für die erste Federeinrichtung 103 und die zweite Federeinrichtung 113. Es versteht sich jedoch, dass die vorliegende Erfindung auch in Verbindung mit anderen Konfigurationen eingesetzt werden kann, bei denen andere Fahrwerksge-
staltungen verwendet werden.

[0083] Zum einfacheren Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen ist in den Figuren ein (durch die Radaufstandsebene des Drehgestells 104 bzw. 114 vorgegebenes) Fahrzeug-Koordinatensystem x_f, y_f, z_f angegeben, in dem die x_f -Koordinate die Längsrichtung des Schienenfahrzeugs 101, die y_f -Koordinate die Querrichtung des Schienenfahrzeugs 101 und die z_f -Koordinate die Höhenrichtung des Schienenfahrzeugs 101 bezeichnen. Weiterhin sind ein (durch die Richtung der Gravitationskraft G vorgegebenes) absolutes Koordinatensystem x, y, z und ein (durch den Wagenkasten 102 vorgegebenes) Passagier-Koordinatensystem x_p, y_p, z_p definiert.

[0084] Das Drehgestell 104, umfasst zwei Radeinheiten in Form von Radsätzen 104.1, auf denen sich jeweils über eine Primärfederung 103.1 der ersten Federeinrichtung 103 ein Drehgestellrahmen 104.2 abstützt. Der Wagenkasten 102 ist wiederum über eine Sekundärfederung 103.2 auf dem Drehgestellrahmen 104.2 abgestützt. Die Primärfederung 103.1 und die Sekundärfederung 103.2 sind in Figur 1 vereinfachend als Schraubenfedern dargestellt. Es versteht sich

jedoch, dass es sich bei der Primärfederung 103.1 bzw. Sekundärfederung 103.2 um eine beliebige geeignete Feder-einrichtung handeln kann. Insbesondere bei der Sekundärfederung 103.2 handelt es sich bevorzugt um eine hinlänglich bekannte Luftfederung oder dergleichen.

[0085] Das Fahrzeug 101 umfasst weiterhin im Bereich des ersten Drehgestells 104 eine erste Wankkompensationseinrichtung 105 und im Bereich des zweiten Drehgestells 114 eine zweite Wankkompensationseinrichtung 115. Die erste Wankkompensationseinrichtung 105 und die zweite Wankkompensationseinrichtung 115 sind wiederum identisch gestaltet, sodass im Folgenden primär auf die Merkmale der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 eingegangen wird. Die erste Wankkompensationseinrichtung 105 wirkt kinematisch parallel zu der Sekundärfederung 103.2 zwischen dem Drehgestellrahmen 104.2 und dem Wagenkasten 102 in der nachfolgend noch näher beschriebenen Weise.

[0086] Wie insbesondere Figur 1 zu entnehmen ist umfasst die erste Wankkompensationseinrichtung 105 eine hinlänglich bekannte Wankstütze 106, die einerseits mit dem Drehgestellrahmen 104.2 und andererseits mit dem Wagenkasten 102 verbunden ist. Figur 4 zeigt eine perspektivische Ansicht dieser Wankstütze 106. Wie Figur 1 und 4 zu entnehmen ist, umfasst die Wankstütze 106 einen Torsionsarm in Form eines ersten Hebels 106.1 und einen zweiten Torsionsarm in Form eines zweiten Hebels 106.2. Die beiden Hebel 106.1 und 106.2 sitzen zu beiden Seiten der Längsmittenebene (x_z -Ebene) des Fahrzeugs 101 jeweils drehfest auf den Enden einer Torsionswelle 106.3 der Wankstütze 106. Die Torsionswelle 106.3 erstreckt sich in Querrichtung (y -Richtung) des Fahrzeugs und ist drehbar in Lagerblöcken 106.4 gelagert, die ihrerseits fest mit dem Drehgestellrahmen 104.2 verbunden sind. An dem freien Ende des ersten Hebels 106.1 ist ein erster Lenker 106.5 angelenkt, während an dem freien Ende des zweiten Hebels 106.2 ein zweiter Lenker 106.6 angelenkt ist. Über die beiden Lenker 106.5, 106.6 ist die Wankstütze 106 gelenkig mit dem Wagenkasten 102 verbunden.

[0087] In den Figuren 1 und 4 ist der Zustand in der Neutralstellung des Fahrzeugs 101 dargestellt, welche sich bei einer Fahrt in einem geraden und nicht verwundenen Gleis 108 ergibt. In dieser Neutralstellung verlaufen die beiden Lenker 106.5, 106.6 in der Zeichnungsebene der Figur 1 (y_z -Ebene) im vorliegenden Beispiel derart zur Hochachse (z -Achse) des Fahrzeugs 101 geneigt, dass ihre oberen (am Wagenkasten 102 angelenkten) Enden zur Fahrzeugmitte hin versetzt sind und sich ihre Längsachsen in einem Punkt MP schneiden, der in der Längsmittenebene (x_z -Ebene) des Fahrzeugs liegt. Durch die Lenker 106.5, 106.6 ist in hinlänglich bekannter Weise eine (in der Neutralstellung) zur Fahrzeuglängsachse 101.1 parallel verlaufende Wankachse definiert, welche durch den Punkt MP verläuft. Der Schnittpunkt MP der Längsachsen der Lenker 106.5, 106.6 bildet mit anderen Worten den Momentanpol einer Wankbewegung des Wagenkastens 102 um diese Wankachse.

[0088] Die Wankstütze 106 erlaubt in hinlänglich bekannter Weise ein auf beiden Seiten des Fahrzeugs synchrones Einfedern der Sekundärfederung 103.2, während sie eine reine Wankbewegung um die Wankachse bzw. den Momentanpol MP verhindert. Weiterhin ist, wie insbesondere Figur 2 zu entnehmen ist, aufgrund der Schrägstellung der Lenker 106.5, 106.6 durch die Wankstütze 106 eine Kinematik mit einer kombinierten Bewegung aus einer Wankbewegung um die Wankachse bzw. den Momentanpol MP und einer Querbewegung in Richtung der Fahrzeugquerachse (y -Achse) vorgegeben. Hierbei versteht es sich, dass der Schnittpunkt MP und damit die Wankachse aufgrund der durch die Lenker 106.5, 106.6 vorgegebenen Kinematik bei einer Auslenkung des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung in der Regel ebenfalls seitlich auswandert.

[0089] Figur 2 zeigt das Fahrzeug 101 bei Bogenfahrt in einer Gleisüberhöhung. Wie Figur 2 zu entnehmen ist, bewirkt die bei Bogenfahrt im Schwerpunkt SP des Wagenkastens 102 (aufgrund der vorherrschenden Beschleunigung in Fahrzeugquerrichtung) angreifende Zentrifugalkraft F_y am Drehgestellrahmen 104.2 eine Wankbewegung nach bogenaußen, die aus einem stärkeren Einfedern der Primärfederung 103.1 auf der Bogenaußenseite resultiert.

[0090] Wie Figur 2 weiterhin zu entnehmen ist, bewirkt die beschriebene Gestaltung der Wankstütze 106 bei einer Bogenfahrt des Fahrzeugs 101 im Bereich der Sekundärfederung 103.2 eine Kompensationsbewegung, welche der Wankbewegung des Wagenkastens 102 (gegenüber der durch die gestrichelte Kontur 102.1 angedeuteten Neutralstellung im geraden ebenen Gleis) nach bogenaußen entgegenwirkt, die bei Fehlen der Wankstütze 106 aufgrund der im Schwerpunkt SP des Wagenkastens 102 angreifenden Zentrifugalkraft (analog zum ungleichmäßigen Einfedern der Primärfederung 103.1) durch ein stärkeres Einfedern der Sekundärfederung 103.2 auf der Bogenaußenseite entstehen würde.

[0091] Dank dieser durch die Kinematik der Wankstütze 106 vorgegebenen Kompensationsbewegung wird unter anderem der Neigungscomfort für die Passagiere des Fahrzeugs 101 erhöht, da die Passagiere (in ihrem durch den Wagenkasten 102 vorgegebenen Bezugssystem x_p, y_p, z_p) einen Teil der im erdfesten Bezugssystem tatsächlich wirkenden Querbewegung a_y bzw. Zentrifugalkraft F_y lediglich als erhöhte Beschleunigungskomponente a_{zp} bzw. Kraftwirkung F_{zp} in Richtung des Bodens des Wagenkastens 102 wahrnehmen, die in der Regel als weniger störend bzw. unangenehm empfunden wird. Die von den Passagieren in ihrem Bezugssystem als störend empfundene, in Querrichtung wirkende Querbewegungskomponente a_{yp} bzw. Zentrifugalkraftkomponente F_{yp} wird somit in vorteilhafter Weise reduziert.

[0092] Die maximal zulässigen Werte für die im Bezugssystem (x_p, y_p, z_p) der Passagiere wirkende Querbewegung $a_{yp,max}$ werden in der Regel von den Betreibern des Fahrzeugs 101 vorgegeben. Anhaltspunkte hierfür liefern

auch nationale und internationale Normen (wie beispielsweise die EN 12299).

[0093] Die im Bezugssystem (x_p, y_p, z_p) der Passagiere (in Richtung der y_p -Achse) wirkende Querbeschleunigung a_{yp} setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, nämlich einer ersten Beschleunigungskomponente a_{yps} und einer zweiten Beschleunigungskomponente a_{ypd} gemäß der Gleichung:

$$a_{yp} = a_{yps} + a_{ypd} \quad (1)$$

[0094] Der aktuelle Wert der ersten Beschleunigungskomponente a_{yps} resultiert aus dem Durchfahren des aktuellen Gleisbogens mit der aktuellen Fahrgeschwindigkeit, während der aktuelle Wert der zweiten Beschleunigungskomponente a_{ypd} aus aktuellen (periodischen oder meist singulären) Ereignissen resultiert (wie beispielsweise dem Überfahren einer Störstelle im Gleis, wie beispielsweise einer Weiche oder dergleichen).

[0095] Da sich die Krümmung des Gleisbogens und die aktuelle Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs 101 im Normalbetrieb nur vergleichsweise langsam ändern, handelt es sich bei dieser ersten Beschleunigungskomponente a_{yps} um eine quasi statische Komponente. Demgegenüber handelt es sich bei der (meist als Folge von Stößen auftretenden) zweiten Beschleunigungskomponente a_{ypd} um eine dynamische Komponente.

[0096] Aus der aktuellen Querbeschleunigung a_{yp} lässt sich gemäß der vorliegenden Erfindung letztlich ein minimaler Sollwert für eine Querauslenkung $dy_{N,soll,min}$ des Wagenkastens 102 zur Fahrzeughochachse (z_F -Achse) ermitteln. Hierbei handelt es sich um die Querauslenkung (und damit gegebenenfalls den entsprechenden Wankwinkel), die mindestens erforderlich ist, um die maximal zulässige Querbeschleunigung $a_{yp,max}$ zu unterschreiten. Je nachdem, wie hoch der Komfort für die Passagiere des Fahrzeugs 101 ausfallen soll (mithin also je nachdem, wie weit diese maximal zulässige Querbeschleunigung $a_{yp,max}$ unterschritten werden soll), kann ein Sollwert für die Querauslenkung $dy_{W,soll}$ des Wagenkastens 102 in Richtung der Fahrzeugquerachse (y_F -Achse) vorgegeben werden, die dem aktuellen Fahrzustand entspricht. Hierbei setzt sich dieser Sollwert für die Querauslenkung $dy_{W,soll}$ des Wagenkastens 102 wiederum aus einer quasi statischen Komponente $dy_{Ws,soll}$ und einer dynamischen Komponente $dy_{Wd,soll}$ zusammen, wobei gilt:

$$dy_{W,soll} = dy_{Ws,soll} + dy_{Wd,soll} \quad (2)$$

[0097] Bei der quasi statischen Komponente $dy_{Ws,soll}$ handelt es sich um den für den Neigungskomfort relevanten quasi statischen Sollwert für die Querauslenkung (und damit den Wankwinkel), welche sich aus der aktuellen quasi statischen Querbeschleunigung a_{yps} ergibt (die wiederum von der Krümmung des Gleisbogens und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit v abhängt). Mithin handelt es sich hierbei also um den Sollwert für die Querauslenkung, wie er bei den aus dem Stand der Technik bekannten Fahrzeugen mit aktiver Einstellung des Wankwinkels zur Regelung des Wankwinkels herangezogen wird.

[0098] Bei der dynamischen Komponente $dy_{Wd,soll}$ handelt es sich hingegen um den für den Schwingungskomfort relevanten dynamischen Sollwert für den die Querauslenkung (und damit gegebenenfalls für den Wankwinkel), welcher sich aus der aktuellen dynamischen Querbeschleunigung a_{ypd} ergibt (die wiederum von periodischen oder singulären Störungen des Gleises herrührt).

[0099] Um die Querauslenkung dy_W des Wagenkastens 102 gegenüber der Neutralstellung aktiv einzustellen (wie dies in Figur 1 durch die gestrichelte Kontur 102.2 angedeutet ist), weist die erste Wankkompensationseinrichtung 105 im vorliegenden Beispiel weiterhin eine Aktuatoreinrichtung 107 auf, die ihrerseits einen Aktuator 107.1 und eine damit verbundene Steuereinrichtung 107.2 umfasst. Der Aktuator 107.1 ist einerseits gelenkig mit dem Drehgestellrahmen 104.2 und andererseits gelenkig mit dem Wagenkasten 102 verbunden.

[0100] Im vorliegenden Beispiel ist der Aktuator 107.1 als elektro-hydraulischer Aktuator gestaltet. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch ein Aktuator verwendet werden kann, der nach einem beliebigen anderen geeigneten Wirkprinzip arbeitet. So können beispielsweise hydraulische, pneumatische, elektrische und elektromechanische Wirkprinzipien alleine oder in beliebiger Kombination zum Einsatz kommen.

[0101] Der Aktuator 107.1 ist im vorliegenden Beispiel so angeordnet, dass die von ihm zwischen dem Drehgestellrahmen 104.2 und dem Wagenkasten 102 ausgeübte Aktuatorkraft (in der Neutralstellung) parallel zu der Fahrzeugquerrichtung (y_F -Richtung) wirkt. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung eine anderweitige Anordnung des Aktuators vorgesehen sein kann, solange die von ihm zwischen dem Fahrwerk und dem Wagenkasten ausgeübte Aktuatorkraft eine Komponente in Fahrzeugquerrichtung aufweist.

[0102] Die Steuereinrichtung 107.2 steuert oder regelt die Aktuatorkraft und/oder die Auslenkung des Aktuators 107.1 gemäß der vorliegenden Erfindung derart, dass einander eine quasi statische erste Querauslenkungskomponente dy_{Ws} des Wagenkastens 102 und eine dynamische zweite Querauslenkungskomponente dy_{Wd} des Wagenkastens 102 überlagert werden, sodass sich insgesamt eine Querauslenkung dy_W des Wagenkastens 102 ergibt, für die gilt:

$$dy_W = dy_{Ws} + dy_{Wd} \quad (3)$$

[0103] Die Einstellung der Querauslenkung dy_W erfolgt erfindungsgemäß unter Verwendung des Sollwerts für die Querauslenkung $dy_{W, \text{soll}}$ des Wagenkastens 102, der sich aus der quasi statischen Komponente $dy_{Ws, \text{soll}}$ und der dynamischen Komponente $dy_{Wd, \text{soll}}$ zusammensetzt, wie dies beispielsweise in Gleichung (2) definiert ist.

[0104] Um den Neigungskomfort für die Passagiere zu erhöhen, erfolgt die (durch die Zentrifugalkraft F_y unterstützte) Einstellung der ersten Querauslenkungskomponente dy_{Ws} im vorliegenden Beispiel in einem ersten Frequenzbereich F1, der sich von 0 Hz bis 1,0 Hz erstreckt. Bei dem ersten Frequenzbereich handelt es sich somit um den Frequenzbereich, in dem quasi statische, der aktuellen Krümmung des durchfahrenen Gleisbogens und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit entsprechende Wankbewegungen des Wagenkastens 102 erfolgen.

[0105] Um zusätzlich zu dem Neigungskomfort auch den Schwingungskomfort für die Passagiere zu erhöhen, erfolgt die Einstellung der zweiten Querauslenkungskomponente dy_{Wd} im vorliegenden Beispiel erfindungsgemäß in einem zweiten Frequenzbereich F2, der sich von 1,0 Hz bis 6,0 Hz erstreckt. Bei dem zweiten Frequenzbereich handelt es sich um einen Frequenzbereich, der auf die im Betrieb des Fahrzeugs zu erwartenden (gegebenenfalls periodischen, typischerweise aber eher singulären bzw. statistisch gestreuten) dynamischen Störungen abgestimmt ist, die von den Passagieren wahrgenommen und als störend empfunden werden.

[0106] Es versteht sich jedoch, dass der erste Frequenzbereich und/oder der zweite Frequenzbereich je nach den Vorgaben des Streckennetzes und/oder des Betreibers des Fahrzeugs (beispielsweise aufgrund des Einsatzes des Fahrzeugs im Nahverkehr, im Fernverkehr, insbesondere im Hochgeschwindigkeitsverkehr, etc.) auch variieren kann.

[0107] Durch die erfindungsgemäße Lösung wird der ersten Querauslenkungskomponente dy_{Ws} des Wagenkastens 102, deren Einstellung letztlich eine quasi-statische Anpassung der Querauslenkung (und damit des Wankwinkels) an die aktuelle Gleiskrümmung und die aktuelle Fahrgeschwindigkeit darstellt, mithin also eine zweite Querauslenkungskomponente dy_{Wd} des Wagenkastens 102 überlagert, deren Einstellung letztlich eine dynamische Anpassung an aktuelle, in den Wagenkasten eingeleitete Störungen repräsentiert, sodass insgesamt ein hoher Komfort für die Passagiere erzielt werden kann.

[0108] Die Steuereinrichtung 107.2 realisiert die Ansteuerung des Aktuators 107.1 in Abhängigkeit von einer Reihe von Eingangsgrößen, welche ihr von einer übergeordneten Fahrzeugsteuerung und/oder von separaten Sensoren (wie beispielsweise dem Sensor 107.3) oder dergleichen zugeführt werden. Zu den bei der Ansteuerung berücksichtigten Eingangsgrößen zählen beispielsweise Größen, die für die aktuelle Fahrgeschwindigkeit v des Fahrzeugs 101, für die Krümmung χ des aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts, den Gleisüberhöhungswinkel γ des aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts, und die Stärke sowie die Frequenz von Störungen (beispielsweise Gleislagestörungen) des aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts repräsentativ sind.

[0109] Diese durch die Steuereinrichtung 107.2 verarbeiteten Größen können auf beliebige geeignete Weise ermittelt werden. Insbesondere für die Ermittlung des Sollwerts der dynamischen zweiten Querauslenkungskomponente $dy_{Wd, \text{soll}}$ ist es erforderlich, die Störungen bzw. die daraus resultierenden Querbeschleunigungen a_y , deren Auswirkungen auf die Passagiere über den dynamischen Anteil dy_{Wd} zumindest gemildert werden sollen, ausreichend genau und mit einer ausreichenden Bandbreite zu ermitteln (also beispielsweise direkt zu messen und/oder über geeignete, vorab erstellte Modelle des Fahrzeugs 101 und/oder des Gleises zu berechnen).

[0110] Die Steuereinrichtung 107.2 kann dabei auf beliebige geeignete Weise realisiert sein, sofern sie die entsprechenden seitens des Betreibers des Schienenfahrzeugs vorgegebenen Sicherheitsanforderungen erfüllt. So kann sie beispielsweise aus einem einzigen, prozessorbasierten System aufgebaut sein. Im vorliegenden Beispiel sind für die Regelung in dem ersten Frequenzbereich F1 und die Regelung in dem zweiten Frequenzbereich F2 unterschiedliche Steuerschaltungen bzw. Regelkreise vorgegeben.

[0111] Im vorliegenden Beispiel weist der Aktuator 107.1 in dem ersten Frequenzbereich F1 aus der Neutralstellung eine maximale Auslenkung von 80 mm bis 95 mm auf, während er in dem zweiten Frequenzbereich aus einer Ausgangsstellung eine maximale Auslenkung von 15 mm bis 25 mm aufweist. Weiterhin übt der Aktuator 107.1 in dem ersten Frequenzbereich F1 eine maximale Aktuatorkraft von 15 kN bis 30 kN aus, während er in dem zweiten Frequenzbereich eine maximale Aktuatorkraft von 10 kN bis 30 kN ausübt. Hierdurch wird eine unter statischen und dynamischen Gesichtspunkten besonders günstige Konfiguration erzielt.

[0112] Durch die Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung 105 als aktives System ist es in vorteilhafter Weise weiterhin möglich, die Abstützung des Wagenkastens 102 auf dem Drehgestell 104 in der Querrichtung des Fahrzeugs 101 vergleichsweise steif zu gestalten. Insbesondere ist es möglich, die Wankachse bzw. den Momentanpol MP des Wagenkastens 102 vergleichsweise nahe an den Schwerpunkt SP des Wagenkastens 102 zu legen.

[0113] Im vorliegenden Beispiel ist die Sekundärfederung 103.2 so gestaltet, dass sie eine Rückstellkraft-Querauslenkungs-Kennlinie 108 aufweist, wie sie in Figur 5 dargestellt ist. Die Kraftkennlinie 108 gibt dabei die Abhängigkeit der durch die Sekundärfederung 103.2 auf den Wagenkasten 102 ausgeübten Rückstellkraft F_{yf} wieder, die bei einer Querauslenkung y_f des Wagenkastens 102 gegenüber dem Drehgestellrahmen 104.2 wirkt. Analog kann für die Sekun-

därfederung 103.2 auch eine Rückstellkennlinie in Form einer Momentenkennlinie angegeben werden, welche die Abhängigkeit des von der Sekundärfederung 103.2 auf den Wagenkasten 102 ausgeübten Rückstellmoments M_{xf} von der Wankwinkelauslenkung α_W aus der Neutralstellung wiedergibt.

[0114] Wie der Figur 5 zu entnehmen ist, weist die Sekundärfederung 103.2 in einem ersten Querauslenkungsbereich Q1 eine erste Quersteifigkeit R1 auf, während sie in einem oberhalb des ersten Querauslenkungsbereichs Q1 liegenden zweiten Querauslenkungsbereich Q2 eine zweite Quersteifigkeit R2 aufweist, die geringer ist als die erste Quersteifigkeit R1.

[0115] Hierbei versteht es sich, dass die Quersteifigkeit (wie auch aus Figur 5 anhand der gestrichelten Kraftkennlinien 109.1, 109.2 anderer Ausführungsbeispiele ersichtlich ist) innerhalb des jeweiligen Querauslenkungsbereichs Q1 bzw. Q2 (gegebenenfalls auch stark) variieren kann. Bevorzugt ist die jeweilige Quersteifigkeit R1 bzw. R2 so gewählt, dass das Niveau der ersten Quersteifigkeit R1 zumindest teilweise, vorzugsweise im Wesentlichen vollständig, oberhalb des Niveaus der zweiten Quersteifigkeit R2 liegt. Es kann natürlich auch ein Übergangsbereich zwischen dem ersten Querauslenkungsbereich Q1 und dem zweiten Querauslenkungsbereich Q2 vorgesehen sein, in dem es zu einer Überschneidung bzw. Überlappung der Steifigkeitsniveaus kommt. Grundsätzlich kann der Verlauf der Quersteifigkeit in Abhängigkeit von der Querauslenkung in beliebiger geeigneter Weise auf den vorliegenden Anwendungsfall abgestimmt sein.

[0116] Insbesondere kann bei vorteilhaften Varianten der Erfindung in dem zweiten Querauslenkungsbereich Q2 auch eine zweite Steigung zumindest nahe dem Wert Null, vorzugsweise gleich Null vorgesehen sein, wie es in Figur 5 durch die Kontur 109.3 angedeutet ist. Ebenso kann bei anderen Varianten der Erfindung in dem zweiten Querauslenkungsbereich Q2 auch eine negative zweite Steigung vorgesehen sein, wie es in Figur 5 durch die Kontur 109.4 angedeutet ist. Hiermit können die Aktuatorkräfte bei größeren Querauslenkungen in vorteilhafter Weise besonders gering gehalten werden.

[0117] Im vorliegenden Beispiel ist das Steifigkeitsniveau in dem ersten Querauslenkungsbereich Q1 so gewählt, dass die erste Quersteifigkeit R1 im Bereich von 100 N/mm bis 800 N/mm liegt, während das Steifigkeitsniveau in dem zweiten Querauslenkungsbereich Q2 so gewählt ist, dass die zweite Quersteifigkeit R2 im Bereich von 0 N/mm bis 300 N/mm liegt.

[0118] Im vorliegenden Beispiel weist die Kraftkennlinie 108 folglich in dem ersten Querauslenkungsbereich Q1 eine erste Steigung $S1 = dF_y/dy_f(Q1)$ und in dem Querauslenkungsbereich Q2 eine zweite Steigung $S2 = dF_y/dy_f(Q2)$ auf, die geringer ist als die erste Steigung. Das Verhältnis $V = S2/S1$ der zweiten Steigung S2 zu der ersten Steigung S1 liegt im Bereich von 0 bis 3. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch andere Werte für das Verhältnis V gewählt sein können.

[0119] Die beiden Querauslenkungsbereiche Q1 und Q2 können ebenfalls auf beliebige geeignete, an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Weise gewählt sein. Im vorliegenden Beispiel erstreckt sich der erste Querauslenkungsbereich Q1 von 0 mm bis 40 mm, während sich der zweite Querauslenkungsbereich Q2 von 40 mm bis 100 mm erstreckt. Hiermit lassen sich im Hinblick auf eine Begrenzung der maximalen Querauslenkung des Wagenkastens 102 bei möglichst geringem Energieeinsatz für die Wankkompensationseinrichtung 105 besonders günstige Gestaltungen erzielen.

[0120] Wie bereits erwähnt, kann für das Fahrzeug 101 analog zu der Kraftkennlinie 108 eine Momentenkennlinie definiert sein. Bei dieser Betrachtungsweise weist die Rückstellkennlinie in einem ersten Wankwinkelbereich W1 eine erste Steigung S1 und in einem oberhalb des ersten Wankwinkelbereichs W1 liegenden zweiten Wankwinkelbereich W2 eine zweite Steigung auf, die geringer ist als die erste Steigung. Auch bei dieser Betrachtungsweise liegt das Verhältnis $V = S2/S1$ der zweiten Steigung S2 zu der ersten Steigung S1 im Bereich von 0 bis 3. Der erste Wankwinkelbereich W1 erstreckt sich dann je nach der vorgegebenen Kinematik beispielsweise von 0° bis $1,3^\circ$, während sich der zweite Wankwinkelbereich W2 von $1,0^\circ$ bis $4,0^\circ$ erstreckt.

[0121] Mit anderen Worten ist im vorliegenden Beispiel also ein degressiver Verlauf der Quersteifigkeit der Sekundärfederung 103.2 vorgesehen, sodass einer anfänglichen Querauslenkung des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung ein vergleichsweise hoher Widerstand entgegengesetzt wird.

[0122] Der anfängliche hohe Widerstand gegen eine Querauslenkung hat den Vorteil, dass bei Ausfall der aktiven Komponenten (beispielsweise des Aktuators 107.1 oder der Steuerung 107.2) auch bei Bogenfahrt (in Abhängigkeit von der aktuell vorliegenden Querbeschleunigung a_y bzw. Zentrifugalkraft F_y) eine weit gehende passive Rückstellung des Wagenkastens 102 zumindest in die Nähe der Neutralstellung möglich ist. Diese passive Rückstellung im Falle einer Störung ermöglicht es in vorteilhafter Weise, besonders breite Wagenkästen 102 und folglich eine hohe Transportkapazität für das Fahrzeug 101 zu realisieren. Um zu verhindern, dass der Aktuator 107.1 diese passive Rückstellung behindert, ist der Aktuator 107.1 im vorliegenden Beispiel derart gestaltet, dass er im Falle seiner Inaktivität einer Wankbewegung des Wagenkastens 102 im Wesentlichen keinen Widerstand entgegengesetzt. Mithin ist der Aktuator 107.1 also nicht selbsthemmend gestaltet.

[0123] Dank der degressiven Kennlinie 108 nimmt der Anstieg des Widerstands gegen die Querauslenkung mit zunehmender Auslenkung ab (bei negativer Steigung kann sogar der Widerstand selbst abnehmen). Dies ist im Hinblick auf die dynamische Einstellung der zweiten Querauslenkung dy_{wd} in dem zweiten Frequenzbereich F2 bei Bogenfahrt des Fahrzeugs 101 von Vorteil, da die Wankkompensationseinrichtung 105 für diese dynamischen Auslenkungen in

dem zweiten Frequenzbereich F2 dann vergleichsweise geringe Kräfte zur Verfügung stellen muss.

[0124] Die degressive Kennlinie der Sekundärfederung kann auf beliebige geeignete Weise erzielt werden. So können beispielsweise wie im vorliegenden Beispiel die Federn, über die der Wagenkasten 102 auf dem Drehgestellrahmen 104.2 abgestützt ist, entsprechend ausgestaltet sein, um aus sich heraus diese Charakteristik zu realisieren. Im Falle einer Luftfederung kann dies beispielsweise durch eine geeignete Gestaltung der Abstützung des Balgs der jeweiligen Luftfeder erfolgen.

[0125] Es versteht sich jedoch, dass die Federeinrichtung 103 bei anderen Varianten der Erfindung eine oder mehrere zusätzliche Querfedern aufweisen kann, wie dies in Figur 1 durch die gestrichelte Kontur 110 angedeutet ist. Die Querfeder 110 dient zur Anpassung bzw. der Optimierung der Quersteifigkeit der Sekundärfederung 103.2 für den jeweiligen Anwendungsfall. Hierdurch vereinfacht sich die Gestaltung der Sekundärfederung 103.2 trotz der einfachen Optimierung der Quersteifigkeit erheblich.

[0126] Die Querfeder 110 kann wie im vorliegenden Beispiel gezeigt einerseits mit dem Fahrwerksrahmen und andererseits mit dem Wagenkasten verbunden sein. Zusätzlich oder alternativ kann eine derartige Querfeder auch einerseits mit dem Fahrwerksrahmen oder mit dem Wagenkasten verbunden sein, während sie andererseits mit der Wankkompensationseinrichtung 105 (beispielsweise mit einem der Lenker 106.5, 106.6) verbunden ist. Ebenso kann die Querfeder auch ausschließlich innerhalb der Wankkompensationseinrichtung 105 wirken, beispielsweise zwischen einem der Lenker 106.5, 106.6 und dem zugehörigen Hebel 106.1 bzw. 106.2 oder der Torsionsstange 106.3.

[0127] Die Querfeder 110 kann dabei zur Erhöhung der Steifigkeit der Federeinrichtung in Richtung der Fahrzeugquerachse ausgebildet sein. Hierbei kann sie eine beliebige für den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Charakteristik aufweisen kann. Bevorzugt weist die Querfeder 110 selbst eine degressive Steifigkeitscharakteristik auf, um insgesamt eine degressive Steifigkeitscharakteristik der Sekundärfederung 103.2 zu erzielen.

[0128] Die Querfeder 110 kann auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein und nach beliebigen geeigneten Wirkprinzipien arbeiten. So können Zugfedern, Druckfedern, Torsionsfedern oder beliebige Kombinationen hieraus verwendet werden. Weiterhin kann es sich um eine rein mechanische Feder, eine elektromechanische Feder, eine pneumatische Feder, eine hydraulische Feder oder beliebige Kombinationen hieraus handeln.

[0129] Die Quersteifigkeit der Sekundärfederung 103.2 ist im vorliegenden Beispiel so bemessen, dass bei Inaktivität des Aktuators 107.1 (beispielsweise wegen eines Ausfalls des Aktuators 107.1 oder der Steuerung 107.2) auf den Wagenkasten 102 ein Rückstellmoment M_{xf} um die Wankachse ausgeübt wird, das derart bemessen ist, dass eine Wankwinkelauslenkung $\alpha_{not,max}(m_{max}; v_0; \gamma_{max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung bei einer Nennbeladung (d. h. $m = m_{max}$) des Wagenkastens 102 und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung (d. h. $\gamma = \gamma_{max}$) stehendem Fahrzeug (d. h. $v = v_0 = 0$) weniger als 2° beträgt. Für die erste maximale Querauslenkung $dy_{a,not,max}(m_{max}; v_0; \gamma_{max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogenaußen gilt im vorliegenden Beispiel, dass diese auf 60 mm begrenzt ist. Für die zweite maximale Querauslenkung $dy_{i,not,max}(m_{max}; v_0; \gamma_{max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogeninnen gilt hierbei, dass diese auf 20 mm begrenzt ist.

[0130] Mit anderen Worten ist die Sekundärfederung 103.2 so gestaltet, dass das Fahrzeug 101, wenn es aus beliebigen Gründen (beispielsweise aufgrund eines Schadens am Fahrzeug oder Fahrweg) an einer derart ungünstigen Stelle zum Stehen kommt, nach wie vor ein vorgegebenes Begrenzungsprofil einhält.

[0131] Weiterhin ist das Rückstellmoment M_{xf} bei inaktivem Aktuator 107.1 so bemessen, dass eine Wankwinkelauslenkung $\alpha_{not,max}(m_{max}; a_{yf,max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung bei einer Nennbeladung (d. h. $m = m_{max}$) des Wagenkastens 102 und bei einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querbeseleunigung ($a_{yf,max}$) des Fahrzeugs weniger als 2° beträgt. Für die erste maximale Querauslenkung $dy_{a,not,max}(m_{max}; a_{yf,max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogenaußen gilt im vorliegenden Beispiel, dass diese auf 60 mm begrenzt ist. Für die zweite maximale Querauslenkung $dy_{i,not,max}(m_{max}; a_{yf,max})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogeninnen gilt hierbei, dass diese auf 20 mm begrenzt ist.

[0132] Mit anderen Worten ist die Federeinrichtung (insbesondere deren Steifigkeit in Fahrzeugquerrichtung) bevorzugt so gestaltet, dass ein Fahrzeug in einem Notbetrieb bei Ausfall der Aktuatereinrichtung bei Fahrt mit normaler Fahrgeschwindigkeit nach wie vor das vorgegebene Begrenzungsprofil einhält.

[0133] In jedem Fall ist somit im vorliegenden Beispiel sichergestellt, dass auch bei Ausfall der aktiven Komponenten der Wankkompensationseinrichtung 105 noch ein Notbetrieb des Fahrzeugs 101 mit gegebenenfalls verschlechterten Komforteigenschaften (insbesondere hinsichtlich des Neigungskomforts und/oder des Schwingungskomforts) aber unter Einhaltung des vorgegebenen Begrenzungsprofils möglich ist.

[0134] Ein weiterer im Hinblick auf die realisierbare hohe Breite der Wagenkästen 102 und damit im Hinblick auf die hohe Transportkapazität vorteilhafter Aspekt der erfindungsgemäßen Gestaltung liegt im vorliegenden Beispiel darin, dass durch die Gestaltung und Anordnung der Lenker 106.5, 106.6 der (in der Neutralstellung des Wagenkastens 102 vorliegende) Abstand ΔH der Wankachse des Wagenkastens 102 bzw. des Momentanpols MP zu dem Schwerpunkt SP des Wagenkastens 102 in Richtung der Fahrzeughochachse (z_F -Richtung) vergleichsweise klein gewählt ist.

[0135] So weist der Schwerpunkt SP des Wagenkastens 102 im vorliegenden Beispiel eine erste Höhe $H1 = 1970$ mm über dem Gleis, genauer gesagt über der Schienenoberkante SOK auf, während die Wankachse in der (in Figur 1

gezeigten) Neutralstellung in Richtung der Fahrzeughochachse eine zweite Höhe H2 über der Schienenoberkante SOK aufweist, die im vorliegenden Beispiel im Bereich von 3700 mm bis 4500 mm liegt. Demgemäß ergibt sich im vorliegenden Beispiel ein Verhältnis

$$VH = \frac{H2 - H1}{H1}, \quad (4)$$

welches das Verhältnis der Differenz aus der zweiten Höhe H2 und der ersten Höhe H1 zu der ersten Höhe H1 wiedergibt, und welches im Bereich von etwa 0,8 bis etwa 1,3 liegt. Hiermit lassen sich Gestaltungen realisieren, die hinsichtlich der oben bereits erwähnten Begrenzung der Querauslenkungen und damit der Realisierbarkeit breiter Wagenkästen mit hoher Transportkapazität besonders günstig sind.

[0136] So hat der vergleichsweise geringe Abstand ΔH des Momentanpols MP zu dem Schwerpunkt SP zum einen den Vorteil, dass schon mit vergleichsweise kleinen Querauslenkungen des Wagenkastens 102 ein vergleichsweise großer Wankwinkel α_W erzielt wird. Bei Bogenfahrt sind hiermit zum einen selbst bei hohen Fahrgeschwindigkeiten v bzw. hohen Gleiskrümmungen nur vergleichsweise geringe Querauslenkungen des Wagenkastens 102 erforderlich, um die quasi statische Komponente α_{Ws} des Wankwinkels α_W bzw. die quasi statische Komponente dy_{Ws} der Querauslenkung dy_W zu realisieren. Ebenso können gegebenenfalls auch starke Querstöße durch vergleichsweise geringe Querauslenkungen des Wagenkastens 102 kompensiert werden, mit denen die dynamische Komponente α_{Wd} des Wankwinkels α_W realisiert wird.

[0137] Mit anderen Worten sind also im Normalbetrieb des Fahrzeugs 101 vergleichsweise geringe Querauslenkungen erforderlich, um den gewünschten Fahrkomfort für die Passagiere zu erzielen. Dank der geringen Querauslenkungen im Normalbetrieb kann ein für das Streckennetz, auf dem das Fahrzeug 101 betrieben wird, vorgegebenes Begrenzungsprofil im Normalbetrieb auch mit breiten Wagenkästen 102 eingehalten werden.

[0138] Ein weiterer Vorteil des geringen Abstands ΔH des Momentanpols MP zu dem Schwerpunkt SP liegt in dem sich hierdurch ergebenden vergleichsweise kleinen Hebelarm, den die im Schwerpunkt SP angreifende Zentrifugalkraft F_y zum Momentanpol MP aufweist. Im Falle einer Störung der aktiven Komponenten der Wankkompensationseinrichtung 105 (beispielsweise bei Ausfall des Aktuators 107.1 oder der Steuerung 107.2) übt die Zentrifugalkraft F_y somit bei Bogenfahrt (in Abhängigkeit von der aktuell vorliegenden Querbeseleunigung a_y) ein geringeres Wankmoment auf den Wagenkasten 102 aus, sodass eine weit gehende passive Rückstellung des Wagenkastens 102 zumindest in die Nähe der Neutralstellung durch die Sekundärfederung 103.2 möglich ist.

[0139] Mit anderen Worten kommt es also auch im Fall einer solchen Störung bzw. eines Notbetriebs des Fahrzeugs 101 zu vergleichsweise geringen Querauslenkungen des Wagenkastens 102. Dank der geringen Querauslenkungen im Notbetrieb kann ein für das Streckennetz, auf dem das Fahrzeug 101 betrieben wird, vorgegebenes Begrenzungsprofil auch in einem solchen Notbetrieb mit breiten Wagenkästen 102 eingehalten werden.

[0140] Es versteht sich, dass bei bestimmten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs mit besonders geringen Querauslenkungen vorgesehen sein kann, dass (beispielsweise durch entsprechende Gestaltung und Anordnung der Lenker 106.5, 106.6) die Wankachse bzw. der Momentanpol MP des Wagenkastens auf oder nahe an dem Schwerpunkt SP des Wagenkastens liegt, sodass die Zentrifugalkraft F_y keinen (oder zumindest keinen nennenswerten) Beitrag zur Erzeugung der Wankbewegung liefern kann. Die Einstellung des Wankwinkels α_W erfolgt dann ausschließlich aktiv über den Aktuator 107.1.

[0141] Generell ist somit festzustellen, dass sich der Beitrag der Zentrifugalkraft F_y zur Einstellung des Wankwinkels α_W nach dem Abstand ΔH des Momentanpols MP zu dem Schwerpunkt SP richtet. Die geringer dieser Abstand ΔH ist, desto größer ist der Anteil der Aktuatorkraft des Aktuators 107.1, der zur Einstellung des Wankwinkels α_W benötigt wird (welcher der aktuellen Fahrsituation entspricht und für den gewünschten Fahrkomfort der Passagiere erforderlich ist).

[0142] Um die Einhaltung eines vorgegebenen Begrenzungsprofils im Normalbetrieb in jedem Fall sicherzustellen, ist im vorliegenden Beispiel eine auf das seitens des Betreibers des Fahrzeugs vorgegebene Begrenzungsprofil abgestimmte Begrenzung der Querauslenkungen vorgesehen, die in Grenzsituationen des Betriebs des Fahrzeugs 101 zum Eingriff kommt. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs eine solche Begrenzung bereits im Normalbetrieb zum Einsatz kommen kann. Ebenso kann aber auch vorgesehen sein, dass eine solche Begrenzung auch fehlt, mithin also unter allen möglichen Fahrsituationen bzw. Lastsituationen des Fahrzeugs keine derartige Begrenzung wirksam wird.

[0143] Die Begrenzung der Querauslenkungen kann durch beliebige geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise entsprechende Anschläge zwischen dem Wagenkasten 102 und dem Drehgestell 104, insbesondere dem Drehgestellrahmen 104.2, realisiert sein. Ebenso kann eine entsprechende Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung 105 vorgesehen sein. So können beispielsweise entsprechende Anschläge für die Lenker 106.5, 106.6 vorgesehen sein.

[0144] Im vorliegenden Beispiel ist der Aktuator 107.1 derart ausgebildet, dass eine in der Fahrzeugquerrichtung (y_F -Achse) bei Bogenfahrt nach bogenaußen erfolgende erste maximale Querauslenkung $dy_{a,max}$ des Wagenkastens

102 aus der Neutralstellung auf 120 mm begrenzt ist. Da die Drehgestelle 104 bei dem Fahrzeug 101 im Endbereich des Wagenkastens 102 angeordnet sind, ist es von besonderem Interesse, die Querauslenkungen nach bogeninnen entsprechend zu begrenzen. Der Aktuator 107.1 begrenzt daher zusätzlich eine in der Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung $dy_{i,max}$ des Wagenkastens 102 des Wagenkastens aus der Neutralstellung auf 20 mm.

[0145] Diese unterschiedliche Begrenzung der maximalen Querauslenkung nach bogeninnen ($dy_{i,max}$) und nach bogenaußen ($dy_{a,max}$) wird im vorliegenden Beispiel über die Steuereinrichtung 107.2 realisiert. Die Steuereinrichtung 107.2 steuert den Aktuator 107.1 zu diesem Zweck (in Abhängigkeit von der Richtung des aktuell durchfahrenen Gleisbogens) derart an, dass er bei Erreichen der jeweiligen maximalen Querauslenkung ($dy_{i,max}$ bzw. $dy_{a,max}$) eine weitere Querauslenkung über den Maximalwert hinaus verhindert.

[0146] Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die Steuereinrichtung 107.2 die maximale Querauslenkung nach bogeninnen $dy_{i,max}(P)$ und/oder nach bogenaußen $dy_{a,max}(P)$ in Abhängigkeit von der aktuellen Position P des Fahrzeugs 101 auf dem befahrenen Streckennetz variiert. So kann beispielsweise in bestimmten Streckenabschnitten nach bogeninnen und/oder nach bogenaußen eine geringere maximale Querauslenkung des Wagenkastens 102 zugelassen werden als in anderen Streckenabschnitten. Es versteht sich hierbei, dass der Steuereinrichtung 107.2 dann eine entsprechende Information über die aktuelle Position P vorliegen muss.

[0147] Erfindungsgemäß ist weiterhin vorgesehen, dass die erste Wankkompensationseinrichtung 105 und die zweite Wankkompensationseinrichtung 115 zur Reduzierung der Seitenwindempfindlichkeit bzw. zur Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeit des Fahrzeugs 101 steuerungstechnisch miteinander verkoppelt sind, indem die Steuereinrichtung 107.2 sowohl den Aktuator 107.1 der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 als auch den entsprechenden Aktuator 117.1 der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 derart ansteuert, dass beispielsweise bei Einwirken einer Seitenwindlast SW eine Reduktion des an dem Wagenkasten 102 wirkenden Torsionsmoments MTx (gegebenenfalls bis hin zu einem Wert Null) realisiert wird.

[0148] Bei einer Gestaltung, bei welcher das Fahrzeug 101 beispielsweise den Kopf eines Zuges bildet, greift im Falle des Auftretens von Seitenwind eine resultierende Seitenwindlast SW in der Regel bezüglich des (in der Regel) in Fahrzeuggängsrichtung etwa mittig angeordneten Fahrzeugschwerpunkts SP zum Kopfende hin versetzt und oberhalb des Fahrzeugschwerpunkts SP an dem Wagenkasten 102 an (wie dies in Figur 1 dargestellt ist).

[0149] Bei einer Inaktivität der Aktuatoren 107.1 ergäbe sich bei dem außermittigen, zum Schwerpunkt SP versetzten Angreifen der Seitenwindlast SW (mit den in Figur 1 dargestellten Kräften bzw. Momenten) an dem Wagenkasten 102 durch das hiermit eingeleitete Giermoment im Bereich des vorlaufenden (am Kopfende angeordneten) ersten Drehgestells 104 bedingt durch die Gestaltung der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 eine erste Querauslenkung des Wagenkastens 102 bezüglich des ersten Drehgestells 104, wie sie in Figur 1 durch die strichzweipunktierte Kontur 102.3 angedeutet ist. Demgegenüber ergäbe sich an dem nachlaufenden zweiten Drehgestell 114 bedingt durch die Gestaltung der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 eine zur ersten Querauslenkung gegenläufige zweite Querauslenkung des Wagenkastens 102 bezüglich des zweiten Drehgestells 114, wie sie in Figur 1 durch die gestrichelte Kontur 102.2 angedeutet ist.

[0150] Aus den Kräftegleichgewichten und Momentengleichgewichten ergeben sich dabei die folgenden Werte für die vertikalen Radaufstandskräfte F_{zr} , F_{zl} auf den beiden Fahrwerksseiten:

$$F_{zr} = \frac{-G \cdot a + MTx + SW \cdot (c + Hl)}{a + b}, \quad (5)$$

$$F_{zl} = \frac{G \cdot b + MTx + SW \cdot (c + Hl)}{a + b}. \quad (6)$$

[0151] Aus den Gleichungen (5) und (6) wird deutlich, dass das durch die Abweichung dy zwischen der ersten Querauslenkung (des Wagenkastens 102 bezüglich des ersten Drehgestells 104) und der gegenläufigen zweiten Querauslenkung (des Wagenkastens 102 bezüglich des zweiten Drehgestells 114) eine Torsion des Wagenkastens und damit das Torsionsmoment MTx resultiert, welches zu einer erheblichen Reduktion des Betrags der Radaufstandskraft F_{zr} auf der rechten Seite führt.

[0152] Die Steuerung 107.2 steuert den Aktuator 107.1 der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 und den entsprechenden Aktuator 117.1 der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 derart an, dass sie die Abweichung dy reduzieren, um so eine Reduktion des an dem Wagenkasten 102 wirkenden Torsionsmoments MTx (gegebenenfalls bis hin zu einem Wert Null) zu realisieren. Hierdurch ist es möglich, eine aus der Torsion des Wagenkastens 102 resultierende Komponente der Radentlastung zumindest zu reduzieren, gegebenenfalls sogar vollständig zu eliminieren.

[0153] Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass je nach Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung in der

Regel eine vorgegebene Beziehung zwischen der betreffenden Querauslenkung und dem dazugehörigen Wankwinkel besteht, sodass eine Berücksichtigung der Querauslenkungen und eine Berücksichtigung der Wankwinkel gegebenenfalls zueinander äquivalente bzw. gleichwertige Maßnahmen darstellen können.

[0154] Die aktive Reduktion bzw. Eliminierung der Torsionslast MTx wird im vorliegenden Beispiel dadurch realisiert, dass die Steuereinrichtung 107.2 wenigstens eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung wenigstens einer Erfassungsgröße aufweist, welche für die an dem Wagenkasten 102 anliegende Torsionslast MTx repräsentativ ist. Die Steuereinrichtung 107.2 ist in diesem Fall dazu ausgebildet, den Aktuator 107.1 der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 und den entsprechenden Aktuator 117.1 der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 derart anzusteuern, dass die Torsionslast MTx reduziert wird, gegebenenfalls sogar im Wesentlichen vollständig eliminiert wird.

[0155] Im vorliegenden Beispiel ist die Steuereinrichtung 107.2 dazu ausgebildet, den ersten Aktuator 107.1 und den zweiten Aktuator 117.1 derart anzusteuern, dass sowohl die erste Querauslenkung als auch die zweite Querauslenkung reduziert werden, sodass sich insgesamt eine Reduktion der Abweichung dy ergibt.

[0156] Im vorliegenden Beispiel ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die den ersten Aktuator 107.1 und den zweiten Aktuator 117.1 in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße derart ansteuert, dass die Abweichung dy zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung weniger als 10 mm beträgt.

[0157] Als Erfassungsgröße kann grundsätzlich jegliche Größe ermittelt werden, welche Rückschlüsse auf die aktuelle Torsionslast MTx am Wagenkasten 102 und damit letztlich auf die aus dieser Torsionslast MTx resultierende Radentlastung zulässt. Beispielsweise ist es möglich, unmittelbar am Wagenkasten 102 (beispielsweise über einen oder mehrere Dehnungsmessstreifen oder dergleichen) eine für die aktuelle Torsionslast am Wagenkasten repräsentative Größe zu ermitteln und für die weitere Ansteuerung der aktiven Komponenten zu verwenden. Bei weiteren bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung der Steuereinrichtung 107.2 als die wenigstens eine Erfassungsgröße eine für die erste Querauslenkung des Wagenkastens 102 repräsentative Größe und eine für die zweite Querauslenkung des Wagenkastens 102 repräsentative Größe erfasst, welche dann für die weitere Ansteuerung des ersten Aktuators 107.1 und des zweiten Aktuators 117.1 verwendet wird. Dies ist insoweit von Vorteil als gegebenenfalls unmittelbar die ohnehin über die aktiven Komponenten einzustellende Größe unmittelbar ermittelt wird. Im einfachsten Beispiel kann die Erfassungseinrichtung dabei durch einen in dem jeweiligen Aktuator 107.1, 117.1 integrierten Wegsensor oder dergleichen realisiert sein.

[0158] Es sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass die Nutzung einer aktiven Komponente im Bereich nur einer der beiden Wankkompensationseinrichtungen ausreichen kann. So kann es zur Reduktion der Torsionslast beispielsweise ausreichen, dass über einen aktiven Eingriff an dem vorlaufenden Fahrwerk 104 dem aus der Windlast SW resultierenden Giermoment an dem Wagenkasten 102 entgegengewirkt werden kann, indem der Auslenkung des Wagenkastens 102 durch eine entsprechende Kraftwirkung im Bereich der Wankkompensationseinrichtung 105 des vorlaufenden Fahrwerks 104 entgegengewirkt wird, während die Auslenkung am nachlaufenden Fahrwerk 114 zugelassen wird.

[0159] Ebenso kann natürlich isoliert auch im Bereich des nachlaufenden Fahrwerks über einen aktiven Eingriff dem aus der Windlast resultierenden Giermoment an dem Wagenkasten entgegengewirkt werden, indem der Auslenkung des Wagenkastens durch eine entsprechende Kraftwirkung im Bereich der Wankkompensationseinrichtung des nachlaufenden Fahrwerks entgegengewirkt wird, während die Auslenkung am vorlaufenden Fahrwerk zugelassen wird.

[0160] Es sei an dieser Stelle weiterhin erwähnt, dass die Steuereinrichtung 107.2 durch geeignete Maßnahmen dazu ausgebildet sein kann, die oben beschriebenen seitenwindbedingten Einflüsse von anderen fahrdynamischen Einflüssen (z. B. die Einfahrt in bzw. Ausfahrt aus Gleisüberhöhungen, Änderungen des Krümmungsradius des Gleises etc.) unterscheiden kann. Hierfür können entsprechende Filter ebenso wie zuvor generierte Modelle des Fahrzeugs eingesetzt werden. Hierbei kann insbesondere der Tatsache Rechnung getragen werden, dass seitenwindbedingte Einflüsse einen quasistatischen Charakter haben, mithin also in einem vergleichsweise niedrigen Frequenzbereich zum Tragen kommen, der in der Regel unterhalb von 2 Hz liegt, sodass insbesondere eine Differenzierung von höherfrequenten dynamischen Einflüssen in der Regel ohne Weiteres möglich ist.

[0161] Weiterhin kann somit also vorgesehen sein, dass die Steuereinrichtung 107.2 den Unterschied

$$\Delta\alpha_W = \alpha_{W1} - \alpha_{W2} \quad (7)$$

zwischen dem Wankwinkel α_{W1} an dem vorlaufenden Drehgestell 104 und dem Wankwinkel α_{W2} an dem nachlaufenden Drehgestell 114 begrenzt bzw. den Unterschied

$$\Delta dy_W = dy_{W1} - dy_{W2} \quad (8)$$

zwischen der Querauslenkung dy_{W1} an dem vorlaufenden Drehgestell 104 und der Querauslenkung dy_{W2} an dem nachlaufenden Drehgestell 104 begrenzt. Auch hier kann eine ähnliche aktive, gegebenenfalls von dem aktuellen Streckenabschnitt und/oder anderen Größen (wie beispielsweise der Wankgeschwindigkeit im Bereich der jeweiligen Drehgestells 104) abhängige Einstellung der Begrenzung vorgenommen werden.

[0162] Wie bereits oben erwähnt wurde, kann zusätzlich oder alternativ zu der oben beschriebenen aktiven Lösung auch eine passive Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten 102 vorgesehen sein, wie dies schematisch in Figur 8 gezeigt ist. Dies kann über eine entsprechende mechanische Koppelung der beiden Wankkompensationseinrichtungen 105 und 115 realisiert sein. Gemäß Figur 8 ist hierzu vorgesehen, dass die erste Wankkompensationseinrichtung 105 und die zweite Wankkompensationseinrichtung 115 über eine passive Kopplungseinrichtung 120 mechanisch miteinander verkoppelt sind, wobei die Kopplungseinrichtung 120 zur Reduktion der Torsionslast MT_x an dem Wagenkasten 102 in Richtung einer Fahrzeugquerachse gleichlaufende Stellbewegungen im Bereich der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 und der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 erzeugt.

[0163] Die mechanische Kopplung zwischen den beiden Wankkompensationseinrichtungen kann auf beliebige geeignete Weise realisiert sein. So können beispielsweise beliebige mechanische Getriebe verwendet werden, um diese Kopplung zu realisieren. Im vorliegenden Beispiel wird die Kopplung abschnittsweise über ein fluidisches Wirkprinzip realisiert, da hiermit eine besonders einfache, Platz sparende Gestaltung der Überbrückung des Abstandes zwischen den beiden Fahrwerken möglich ist.

[0164] Zu diesem Zweck umfasst die Kopplungseinrichtung 120 jeweils einen Hydraulikzylinder 120.1, 120.2, die mit dem Wagenkasten 102 und dem jeweiligen Lenker 106.6 bzw. 116.6 der ersten Wankkompensationseinrichtung 105 und der zweiten Wankkompensationseinrichtung 115 gekoppelt sind. Die Arbeitsräume der Hydraulikzylinder 120.1, 120.2 sind über eine Hydraulikleitung gegenläufig gekoppelt, um die gewünschten gleichlaufenden Stellbewegungen zu erzielen.

[0165] Wie Figur 1 zu entnehmen ist, umfasst die Federeinrichtung 103 weiterhin eine Notfedereinrichtung 103.3, die in Fahrzeugquerrichtung mittig am Drehgestellrahmen 104.2 angeordnet ist, um auch bei Ausfall der Sekundärfederung 103.2 einen Notbetrieb des Fahrzeugs 101 zu ermöglichen. Die Notfedereinrichtung 103.3 kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Im vorliegenden Beispiel ist die Notfedereinrichtung 103.3 derart ausgebildet, dass sie die Kompensationswirkung der Wankkompensationseinrichtung 105 unterstützt. Hierzu kann die Notfedereinrichtung 103.3 eine Gleit- und/oder Rollführung umfassen, welche (im Falle ihrer Nutzung, mithin also im Notbetrieb) der Kompensationsbewegung der Wankkompensationseinrichtung 105 folgen kann.

[0166] Grundsätzlich kann vorgesehen sein, dass die aktive Einstellung des Wankwinkels bzw. der Querauslenkung über die Wankkompensationseinrichtung 105 ausschließlich bei Bogenfahrt im gekrümmten Gleis erfolgt, mithin also die Wankkompensationseinrichtung 105 nur in einer solchen Fahrsituation aktiv ist. Im vorliegenden Beispiel ist die Wankkompensationseinrichtung 105 auch bei Geradeausfahrt des Fahrzeugs 101 aktiv, sodass in jeder Fahrsituation zumindest eine Einstellung der Querauslenkung dy_W bzw. gegebenenfalls des Wankwinkels α_W in dem zweiten Frequenzbereich F2 erfolgt und somit der Schwingungskomfort in vorteilhafter Weise auch in diesen Fahrsituationen gewährleistet ist.

Zweites Ausführungsbeispiel

[0167] Eine weitere vorteilhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Fahrzeugs 201 ist in Figur 6 dargestellt. Das Fahrzeug 201 entspricht dabei in seiner grundsätzlichen Gestaltung und Funktionsweise dem Fahrzeug 101 aus Figur 1 bis 5, sodass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll. Insbesondere sind identische Komponenten mit den identischen Bezugszeichen versehen, während gleichartige Komponenten mit um den Wert 100 erhöhten Bezugszeichen versehen sind. Sofern nachfolgend nichts Anderweitiges ausgeführt wird, wird hinsichtlich der Merkmale, Funktionen und Vorteile dieser Komponenten auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel verwiesen.

[0168] Der Unterschied zur Ausführung aus Figur 1 bis 5 besteht in der Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung 205. Diese ist im Gegensatz zu dem Fahrzeug 101 kinematisch seriell zu der Federeinrichtung 103 angeordnet, über welche der Wagenkasten 102 auf den Radeinheiten 104.1 des jeweiligen Drehgestells 104 abgestützt ist.

[0169] Die Wankkompensationseinrichtung 205 umfasst eine Führungseinrichtung 211, die kinematisch seriell zu der Federeinrichtung 103 angeordnet ist. Die Führungseinrichtung 211 umfasst zwei Führungselemente 211.1, die jeweils einerseits auf einem Träger 211.2 und andererseits an dem Wagenkasten 102 abgestützt sind. Der Träger 211.2 erstreckt sich in Fahrzeugquerrichtung und ist seinerseits über die Sekundärfederung 103.2 auf dem Drehgestellrahmen 104.2 abgestützt.

[0170] Die Führungselemente 211.1 definieren bei Wankbewegungen des Wagenkastens 102 die Bewegung des Trägers 211.2 bezüglich des Wagenkastens 102. Das jeweilige Führungselement 211.1 ist als einfache Schichtfedereinrichtung gestaltet, die eine mehrschichtige Gummischichtfeder 211.3 umfasst.

[0171] Die Gummischichtfeder 211.3 ist aus mehreren Schichten aufgebaut, wobei sich beispielsweise metallische

Schichten und Gummischichten abwechseln. Die Gummischichtfeder 211.3 ist in einer Richtung senkrecht zu ihren Schichten drucksteif (sodass sich die Schichtdicke unter Belastung in dieser Richtung nicht nennenswert ändert) während sie in einer Richtung parallel zu ihren Schichten schubweich ist (sodass sich unter Schubbelastung in dieser Richtung eine nennenswerte Verformung ergibt). Die Schichten der Gummischichtfeder 211.3 sind im vorliegenden Beispiel zur Fahrzeughochachse und zur Fahrzeugquerrichtung geneigt angeordnet, sodass sie die Wankachse bzw. den Momentanpol MP des Wagenkastens 102 definieren.

[0172] Im vorliegenden Beispiel sind die Schichten der Gummischichtfeder 211.3 als einfache ebene Schichten und derart ausgeführt, dass der Schnittpunkt ihrer Mittensenkrechten 211.4 die Wankachse bzw. den Momentanpol MP des Wagenkastens 102 definiert. Es versteht sich jedoch aber, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch eine andere einfach oder mehrfach gekrümmte Gestaltung dieser Schichten vorgesehen sein kann. Insbesondere kann es sich um konzentrische Zylindermantelsegmente handeln, deren Krümmungsmittelpunkte im Momentanpol MP liegen.

[0173] Die Mittensenkrechten 211.4 liegen im vorliegenden Beispiel in einer gemeinsamen Ebene, die senkrecht zur Fahrzeuglängsachse (x_F -Achse) verläuft. Demgemäß kann die Anordnung aus den beiden Gummischichtfedern 211.3 in Fahrzeugquerrichtung auch ohne zusätzliche Hilfsmittel vergleichsweise hohe Kräfte übertragen, während sie in Richtung der Fahrzeuglängsachse nur bedingt bzw. unter erheblicher Scherdeformation Kräfte übertragen kann. Demgemäß ist in der Regel zwischen dem Wagenkasten 102 und dem Drehgestellrahmen 104.2 eine Längsanlenkung vorgesehen, die eine entsprechende Übertragung von Kräften der Richtung der Fahrzeuglängsachse ermöglicht.

[0174] Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch eine Gestaltung der beiden Gummischichtfedern 211.3 vorgesehen sein kann, welche die Übertragung solcher Längskräfte ermöglicht. So können beispielsweise zweifach gekrümmte Schichten vorgesehen sein. Ebenso können aber auch mehr als zwei Gummischichtfedern vorgesehen sein, die nicht kollinear und derart im Raum verteilt angeordnet sind, dass sich ihre Mittensenkrechten bzw. ihre Krümmungsradien im Momentanpol MP des Wagenkastens schneiden.

[0175] Wie Figur 6 weiterhin zu entnehmen ist, umfasst die Wankkompensationseinrichtung 205 wiederum eine Aktuatoreinrichtung 207 mit einem Aktuator 207.1 und einer damit verbundenen Steuereinrichtung 207.2. In analoger Weise zu dem Aktuator 107.1 wirkt der Aktuator 207.1 in Fahrzeugquerrichtung zwischen dem Träger 211.2 und dem Wagenkasten 102.

[0176] Gesteuert durch die Steuereinrichtung 207.2 wird über den Aktuator 207.1 der Wankwinkel α_W bzw. die Querauslenkung dy_W eingestellt (wie dies in Figur 6 durch die gestrichelte Kontur 102.2 angedeutet ist). Hierbei arbeitet die Steuereinrichtung 207.2 im vorliegenden Beispiel analog zu der Steuereinrichtung 107.2. insbesondere steuert oder regelt die Steuereinrichtung 207.2 die Aktuatorkraft und/oder die Auslenkung des Aktuators 207.1 gemäß der vorliegenden Erfindung derart, dass einander eine quasi statische erste Querauslenkung dy_{Ws} des Wagenkastens 102 und eine dynamische zweite Querauslenkung dy_{Wd} des Wagenkastens 102 überlagert werden, sodass sich insgesamt eine Querauslenkung dy_W des Wagenkastens 102 ergibt, für welche die obige Gleichung (2) gilt. Auch hier wird die quasi statische erste Querauslenkung dy_{Ws} wiederum in dem ersten Frequenzbereich F1 eingestellt, während die dynamische zweite Querauslenkung dy_{Wd} in dem zweiten Frequenzbereich F2 eingestellt wird.

[0177] Bei Inaktivität der aktiven Komponenten (also beispielsweise des Aktuators 207.1 oder der Steuerung 207.2) der Wankkompensationseinrichtung 205 erfolgt die passive Rückstellung des Wagenkastens über die elastische Rückstellkraft der Gummischichtfedern 211.3. Die Gummischichtfedern 211.3 können dabei so gestaltet sein, dass sie eine ähnliche Charakteristik aufweisen wie die Sekundärfederung 103.2 aus dem ersten Ausführungsbeispiel, sodass insoweit auf die obigen Ausführungen Bezug genommen wird.

[0178] Wie Figur 6 weiterhin zu entnehmen ist, ist zwischen dem Drehgestellrahmen 104.2 und dem Träger 211.2 (kinematisch parallel zu der Sekundärfederung 103.2) eine herkömmliche Wankstütze 206 mit zueinander parallel verlaufenden Lenkern 206.5, 206.6 vorgesehen, die einem ungleichmäßigen Einfedern der Sekundärfederung 103.2 entgegenwirkt. Weiterhin wirkt zwischen dem Drehgestellrahmen 104.2 und dem Träger 211.2 in Fahrzeugquerrichtung ein weiterer Aktuator 212 der Wankkompensationseinrichtung 205, über den die Querauslenkung des Trägers 211.2 und damit auch des Wagenkastens 102 bezüglich des Drehgestellrahmens 104.2 beeinflusst werden kann. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung zum einen ein solcher weiterer Aktuator gegebenenfalls auch fehlen kann und zum anderen auch wieder eine geneigte Anordnung der Lenker vorgesehen sein kann.

[0179] Der Aktuator 212 wird ebenfalls durch die Steuereinrichtung 207.2 angesteuert, sodass die Steuereinrichtung 207.2 über die Ansteuerung der Aktuatoren 207.1 und 212 ein Betriebsverhalten der Wankkompensationseinrichtung 205 herstellen kann, wie es oben im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel für die Wankkompensationseinrichtung 105 beschrieben wurde.

[0180] Es sei an dieser Stelle jedoch nochmals angemerkt, dass die Gestaltung der Wankkompensationseinrichtung mit einer solchen Schichtfedereinrichtung zur Definition der Wankachse des Wagenkastens einen eigenständig schutzfähigen Erfindungsgedanken darstellt, der insbesondere von der vorstehend beschriebenen Einstellung der Querauslenkung (bzw. gegebenenfalls des Wankwinkels) in dem ersten Frequenzbereich F1 und dem zweiten Frequenzbereich F2 unabhängig ist.

Drittes Ausführungsbeispiel

[0181] Eine weitere vorteilhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Fahrzeugs 301 ist in Figur 7 dargestellt. Das Fahrzeug 301 entspricht dabei in seiner grundsätzlichen Gestaltung und Funktionsweise dem Fahrzeug 201 aus Figur 6, sodass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll. Insbesondere sind identische Komponenten mit den identischen Bezugszeichen versehen, während gleichartige Komponenten mit um den Wert 100 erhöhten Bezugszeichen versehen sind. Sofern nachfolgend nichts Anderweitiges ausgeführt wird, wird hinsichtlich der Merkmale, Funktionen und Vorteile dieser Komponenten auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel verwiesen.

[0182] Der Unterschied zur Ausführung aus Figur 6 besteht lediglich in der Anordnung der Wankkompensationseinrichtung 305. Diese ist im Gegensatz zu dem Fahrzeug 201 kinematisch seriell zwischen der Primärfederung 103.1 und der Sekundärfederung 103.2 angeordnet, über welche der Wagenkasten 102 auf den Radeinheiten 104.1 des jeweiligen Drehgestells 104 abgestützt ist.

[0183] Die Wankkompensationseinrichtung 305 umfasst wiederum eine Führungseinrichtung 311 mit zwei Führungselementen 311.1, die jeweils einerseits auf einem Träger 311.2 und andererseits an dem Drehgestellrahmen 104.2 abgestützt sind. Auf dem Träger 311.2, der sich in Fahrzeugquerrichtung erstreckt, ist über die Sekundärfederung 103.2 der Wagenkasten 102 abgestützt.

[0184] Die Führungselemente 311.1 sind wie die Führungselemente 211.1 gestaltet und definieren bei Wankbewegungen des Wagenkastens 102 die Bewegung des Trägers 311.2 bezüglich des Drehgestellrahmens 104.2. Das jeweilige Führungselement 311.1 ist wiederum als einfache Schichtfedereinrichtung gestaltet, die eine mehrschichtige Gummischichtfeder 311.3 umfasst, die analog zu der Gummischichtfeder 211.3 gestaltet ist.

[0185] Wie Figur 7 weiterhin zu entnehmen ist, umfasst die Wankkompensationseinrichtung 305 wiederum eine Aktuatoreinrichtung 307 mit einem Aktuator 307.1 und einer damit verbundenen Steuereinrichtung 307.2, die in analoger Weise zu dem Aktuator 207.1 und der Steuereinrichtung 207.2 arbeiten.

[0186] Wie Figur 7 weiterhin zu entnehmen ist, ist zwischen dem Wagenkasten 102 und dem Träger 311.2 (kinematisch parallel zu der Sekundärfederung 103.2) eine herkömmliche Wankstütze 306 mit zueinander parallel verlaufenden Lenkern 306.5, 306.6 vorgesehen, die einem ungleichmäßigen Einfedern der Sekundärfederung 103.2 entgegenwirkt. Weiterhin wirkt zwischen dem Wagenkasten 102 und dem Träger 311.2 in Fahrzeugquerrichtung ein weiterer Aktuator 312 der Wankkompensationseinrichtung 305, über den die Querauslenkung des Wagenkastens 102 bezüglich des Trägers 311.2 und damit auch bezüglich des Drehgestellrahmens 104.2 beeinflusst werden kann.

[0187] Der Aktuator 312 wird ebenfalls durch die Steuereinrichtung 307.2 angesteuert, sodass die Steuereinrichtung 307.2 über die Ansteuerung der Aktuatoren 307.1 und 312 ein Betriebsverhalten der Wankkompensationseinrichtung 305 herstellen kann, wie es oben im Zusammenhang mit dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben wurde.

[0188] Die vorliegende Erfindung wurde vorstehend ausschließlich anhand von Beispielen für Schienenfahrzeuge beschrieben. Es versteht sich weiterhin, dass die Erfindung auch in Verbindung mit beliebigen anderen Fahrzeugen zum Einsatz kommen kann.

Patentansprüche

1. Fahrzeug, insbesondere Schienenfahrzeug, mit

- einem Wagenkasten (102),
- einem ersten Fahrwerk (104) und
- einem in Richtung einer Fahrzeuglängsachse von dem ersten Fahrwerk (104) beabstandet angeordneten zweiten Fahrwerk (114), wobei
- der Wagenkasten (102) über eine erste Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeughochachse auf dem ersten Fahrwerk (104) abgestützt ist,
- der Wagenkasten (102) über eine zweite Federeinrichtung (113) in Richtung der Fahrzeughochachse auf dem zweiten Fahrwerk (114) abgestützt ist,
- der Wagenkasten (102) über eine erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) mit dem ersten Fahrwerk (104) gekoppelt ist,
- der Wagenkasten (102) über eine zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) mit dem zweiten Fahrwerk (114) gekoppelt ist,
- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um eine zu der Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegenwirken,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) derart ausgebildet ist und/oder die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) derart miteinander verkoppelt sind, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten (102) um die Fahrzeuglängsachse, die insbesondere durch an dem Wagenkasten (102) wirkende Windlasten bedingt ist, entgegengewirkt wird.

2. Fahrzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich des ersten Fahrwerks (104) in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen,
 - die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) unter einer zweiten Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich des zweiten Fahrwerks (114) in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen zweiten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen,
 - die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) derart ausgebildet ist und/oder die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) derart miteinander verkoppelt sind, dass einer Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder einer Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel entgegengewirkt wird.

3. Fahrzeug nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) mit wenigstens einer durch eine Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) angesteuerten ersten Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) aufweist, wobei die erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) insbesondere dazu ausgebildet ist, zur Einstellung der ersten Querauslenkung beizutragen, und/oder
 - die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) eine zweite Aktuatoreinrichtung (117; 217; 317) mit wenigstens einer durch die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) angesteuerten zweiten Aktuatoreinheit (117.1; 217.1; 317.1) aufweist, wobei die zweite Aktuatoreinrichtung (117; 217; 317) insbesondere dazu ausgebildet ist, zur Einstellung der zweiten Querauslenkung beizutragen.

4. Fahrzeug nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) wenigstens eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung wenigstens einer Erfassungsgröße aufweist, welche für die an dem Wagenkasten (102) anliegende Torsionslast repräsentativ ist, und
 - die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) dazu ausgebildet ist, die erste Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) und/oder die zweite Aktuatoreinheit (117.1; 217.1; 317.1) derart anzusteuern, dass die Torsionslast reduziert wird, wobei
 - die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) insbesondere dazu ausgebildet ist, die erste Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) und/oder die zweite Aktuatoreinheit (117.1; 217.1; 317.1) derart anzusteuern, dass in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine Abweichung zwischen einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich des ersten Fahrwerks (104) und einer zweiten Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich des zweiten Fahrwerks (114) reduziert wird,

wobei

- die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) die erste Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) und/oder die zweite Aktuatoreinheit (117.1; 217.1; 317.1) in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße insbesondere derart ansteuert, dass die Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung weniger als 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 25 mm beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 10 mm beträgt, und/oder
 - die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) die erste Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) und/oder die zweite Aktuatoreinheit (117.1; 217.1; 317.1) in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße insbesondere derart ansteuert, dass eine Abweichung zwischen einem ersten Wankwinkel des Wagenkastens (102) bezüglich des ersten Fahrwerks (104) und einem zweiten Wankwinkel des Wagenkastens (102) bezüglich des zweiten Fahrwerks

(114) weniger als 2° beträgt, vorzugsweise weniger als 1° beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 0,5° beträgt, und/oder

- die Erfassungseinrichtung als die wenigstens eine Erfassungsgröße insbesondere eine für die erste Querauslenkung des Wagenkastens (102) repräsentative Größe und/oder eine für die zweite Querauslenkung des Wagenkastens (102) repräsentative Größe erfasst

und/oder

- die Erfassungseinrichtung als die wenigstens eine Erfassungsgröße insbesondere eine für eine Auslenkung einer Komponente der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) repräsentative Größe erfasst und/oder eine für eine Auslenkung einer Komponente der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) repräsentative Größe erfasst

5. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) über eine passive Kopplungseinrichtung mechanisch miteinander verkoppelt sind, wobei

- die Kopplungseinrichtung zur Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse gleichlaufende Stellbewegungen im Bereich der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) erzeugt, wobei

- die Kopplungseinrichtung insbesondere eine fluidische Kopplung zwischen der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) umfasst.

6. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) zur Erhöhung des Neigungskomforts dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkungskomponente einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine erste Wankwinkelkomponente eines ersten Wankwinkels um die Wankachse aufzuprägen, die einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht, und/oder

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) zur Erhöhung des Schwingungskomforts dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkungskomponente überlagerte zweite Querauslenkungskomponente aufzuprägen, wobei

- der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt,

wobei

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) insbesondere eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) mit wenigstens einer durch eine Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) angesteuerten ersten Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) aufweist, wobei die erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) insbesondere dazu ausgebildet ist, zur Erzeugung des ersten Wankwinkels in dem ersten Frequenzbereich zumindest überwiegend beizutragen, insbesondere den ersten Wankwinkel im Wesentlichen zu erzeugen, und/oder

- sich der erste Frequenzbereich insbesondere von 0 Hz bis 2 Hz, vorzugsweise von 0,5 Hz bis 1,0 Hz, erstreckt, und/oder

- sich der zweite Frequenzbereich insbesondere von 0,5 Hz bis 15 Hz, vorzugsweise von 1,0 Hz bis 6,0 Hz, erstreckt und/oder

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) insbesondere auch bei Geradeausfahrt aktiv ist.

7. Fahrzeug nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305), insbesondere eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305), derart ausgebildet ist, dass

- eine in einer Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogenaußen erfolgende erste maximale Quer-

auslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung auf 80 mm bis 150 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 100 mm bis 120 mm begrenzt ist,
und/oder
- eine in einer Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung auf 0 mm bis 40 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 20 mm begrenzt ist,

8. Fahrzeug nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) dazu ausgebildet ist, als eine Endanschlagseinrichtung zur Definition wenigstens eines Endanschlags für die Wankbewegung des Wagenkastens (102) zu wirken, wobei die erste Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet ist, die Position des wenigstens einen Endanschlags für die Wankbewegung des Wagenkastens (102) variabel zu definieren,
und/oder
- eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) im Falle ihrer Inaktivität einer Wankbewegung des Wagenkastens (102) höchstens einen geringen Widerstand, insbesondere im Wesentlichen keinen Widerstand entgegengesetzt.

9. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt,
- die erste Federeinrichtung (103) bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) auf den Wagenkasten (102) ein Rückstellmoment um die Wankachse ausübt, wobei
- das Rückstellmoment bei inaktiver Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) derart bemessen ist, dass

- eine Querauslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung des Wagenkastens (102) und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung stehendem Fahrzeug weniger als 10 mm bis 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 20 mm beträgt,
und/oder
- eine Querauslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung des Wagenkastens (102) und bei in einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querbeschleunigung des Fahrzeugs weniger als 40 mm bis 80 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 60 mm beträgt,

10. Fahrzeug nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Federeinrichtung (103) eine Rückstellkennlinie definiert, wobei
- die Rückstellkennlinie die Abhängigkeit des Rückstellmoments von der Wankwinkelauslenkung wiedergibt und
- die Rückstellkennlinie einen degressiven Verlauf aufweist, wobei
- die Rückstellkennlinie insbesondere in einem ersten Querauslenkungsbereich eine erste Steigung und in einem oberhalb des ersten Querauslenkungsbereich liegenden zweiten Querauslenkungsbereich eine zweite Steigung aufweist, die geringer ist als die erste Steigung, wobei

- das Verhältnis der zweiten Steigung zu der ersten Steigung insbesondere im Bereich von 0 bis 1 liegt, vorzugsweise im Bereich von 0 bis 0,5 liegt, weiter vorzugsweise im Bereich von 0 bis 0,1 liegt,
und/oder
- sich der erste Querauslenkungsbereich insbesondere von 0 mm bis 60 mm erstreckt, vorzugsweise von 0 mm bis 40 mm erstreckt, und sich der zweite Querauslenkungsbereich insbesondere von 20 mm bis 120 mm erstreckt, vorzugsweise von 40 mm bis 100 mm erstreckt.

11. Fahrzeug nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und
- die erste Federeinrichtung (103) eine Quersteifigkeit in Richtung einer Fahrzeugquerachse aufweist, die von

einer Querauslenkung des Wagenkastens (102) in Richtung der Fahrzeugquerachse aus der Neutralstellung abhängig ist, wobei

- die erste Federeinrichtung (103) insbesondere in einem ersten Querauslenkungsbereich eine erste Quersteifigkeit aufweist und in einem oberhalb des ersten Querauslenkungsbereichs liegenden zweiten Querauslenkungsbereich eine zweite Quersteifigkeit aufweist, die geringer ist als die erste Quersteifigkeit, wobei

- die erste Quersteifigkeit insbesondere im Bereich von 100 N/mm bis 800 N/mm liegt, vorzugsweise im Bereich von 300 N/mm bis 500 N/mm liegt, und die zweite Quersteifigkeit insbesondere im Bereich von 0 N/mm bis 300 N/mm liegt, vorzugsweise im Bereich von 0 N/mm bis 100 N/mm liegt,

und/oder

- sich der erste Querauslenkungsbereich insbesondere von 0 mm bis 60 mm erstreckt, vorzugsweise von 0 mm bis 40 mm erstreckt, und sich der zweite Querauslenkungsbereich insbesondere von 20 mm bis 120 mm erstreckt, vorzugsweise von 40 mm bis 100 mm erstreckt.

12. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Nennbelastung und eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und

- die erste Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine Quersteifigkeit aufweist, wobei

- die Quersteifigkeit der ersten Federeinrichtung (103) derart bemessen ist, dass bei Inaktivität einer ersten Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) bei Bogenfahrt mit einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querschleunigung des Fahrzeugs

- eine in einer Fahrzeugquerrichtung nach bogenaußen erfolgende erste maximale Querauslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung auf 40 mm bis 120 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 60 mm bis 80 mm begrenzt ist,

und/oder

- eine in einer Fahrzeugquerrichtung nach bogeninnen erfolgende zweite maximale Querauslenkung des Wagenkastens (102) aus der Neutralstellung auf 0 mm bis 60 mm begrenzt ist, vorzugsweise auf 20 mm bis 40 mm begrenzt ist.

13. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) derart ausgebildet ist, dass eine erste Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305)

- in dem ersten Frequenzbereich aus der Neutralstellung eine maximale Auslenkung von 60 mm bis 110 mm aufweist, vorzugsweise von 70 mm bis 85 mm aufweist,

und/oder

- in dem zweiten Frequenzbereich aus einer Ausgangsstellung eine maximale Auslenkung von 10 mm bis 30 mm aufweist, vorzugsweise von 15 mm bis 25 mm aufweist,

und/oder

- in dem ersten Frequenzbereich eine maximale Aktuatorkraft von 10 kN bis 40 kN ausübt, vorzugsweise von 15 kN bis 30 kN ausübt,

und/oder

- in dem zweiten Frequenzbereich eine maximale Aktuatorkraft von 5 kN bis 35 kN ausübt, vorzugsweise von 5 kN bis 20 kN ausübt.

14. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt,

- der Wagenkasten (102) einen Schwerpunkt aufweist, der in der Neutralstellung in Richtung der Fahrzeughochachse eine erste Höhe über dem Gleis aufweist

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) derart ausgebildet ist, dass die Wankachse in der

Neutralstellung in Richtung der Fahrzeughochachse eine zweite Höhe über dem Gleis aufweist, wobei
- das Verhältnis der Differenz aus der zweiten Höhe und der ersten Höhe zu der ersten Höhe höchstens 2,2 beträgt, vorzugsweise höchstens 1,3 beträgt, weiter vorzugsweise 0,8 bis 1,3 beträgt.

15. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105) eine erste Wankstützeinrichtung (106) umfasst, die kinematisch parallel zu der ersten Federeinrichtung (103) angeordnet und dazu ausgebildet ist, Wankbewegungen des Wagenkastens (102) um die Wankachse bei Geradeausfahrt entgegenzuwirken, wobei
- die erste Wankstützeinrichtung (106) insbesondere zwei Lenker (106.5, 106.6) umfasst, die an einem ihrer Enden jeweils gelenkig an dem Wagenkasten (102) und an ihrem anderen Ende jeweils gelenkig an entgegengesetzten Enden eines Torsionselements (106.3) angelenkt sind, das an dem ersten Fahrwerk (104) gelagert ist. und/oder
- die erste Wankkompensationseinrichtung (205; 305) eine Führungseinrichtung (211; 311) umfasst,
- die Führungseinrichtung (211; 311) kinematisch seriell zu der ersten Federeinrichtung (103) angeordnet ist,
- die Führungseinrichtung (211; 311) ein Führungselement (211.1; 311.1) umfasst, das zwischen dem ersten Fahrwerk (104) und dem Wagenkasten (102) angeordnet ist, und
- die Führungseinrichtung (211; 311) dazu ausgebildet ist, bei Wankbewegungen des Wagenkastens (102) eine Bewegung des Führungselements (211.1; 311.1) bezüglich des Wagenkastens (102) oder des ersten Fahrwerks (104) zu definieren, wobei
- die Führungseinrichtung (211; 311) insbesondere wenigstens eine Schichtfedereinrichtung (211.3; 311.3) umfasst.

16. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- das erste Fahrwerk (104) einen Fahrwerksrahmen (104.2) und wenigstens eine Radeinheit (104.1) aufweist und
- die erste Federeinrichtung (103) eine Primärfederung (103.1) und eine Sekundärfederung (103.2) aufweist, wobei
- der Fahrwerksrahmen (104.2) über die Primärfederung (103.1) auf der Radeinheit (104.1) abgestützt ist und der Wagenkasten (102) über die, insbesondere als Luftfederung ausgeführte, Sekundärfederung (103.2) auf dem Fahrwerksrahmen (104.2) abgestützt ist und
- die erste Wankkompensationseinrichtung (105) kinematisch parallel zu der Sekundärfederung (103.2) zwischen dem Fahrwerksrahmen (104.2) und dem Wagenkasten (102) angeordnet ist,

wobei

- die erste Federeinrichtung (103) insbesondere eine Querfedereinrichtung (110) umfasst, die einerseits mit dem Fahrwerksrahmen (104.2) und andererseits mit dem Wagenkasten (102) verbunden ist und/oder einerseits mit dem Fahrwerksrahmen (104.2) oder mit dem Wagenkasten (102) verbunden ist und andererseits mit der ersten Wankkompensationseinrichtung (105) verbunden ist und die insbesondere zur Erhöhung der Steifigkeit der ersten Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeugquerachse ausgebildet ist, wobei die Querfedereinrichtung (110) insbesondere eine degressive Steifigkeitscharakteristik aufweist, und/oder
- die erste Federeinrichtung (103) insbesondere eine Notfedereinrichtung (103.3) aufweist, die in Fahrzeugquerrichtung mittig am ersten Fahrwerk (104) angeordnet ist, wobei die Notfedereinrichtung (103.3) insbesondere derart ausgebildet ist, dass sie die Kompensationswirkung der ersten Wankkompensationseinrichtung (105) unterstützt.

17. Verfahren zum Einstellen von Wankwinkeln an einem Wagenkasten (102) eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, um eine zu einer Fahrzeuglängsachse des Fahrzeugs parallele Wankachse, bei dem

- ein erster Wankwinkel und/oder eine erste Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich eines ersten Fahrwerks (104) eingestellt wird, und
- ein zweiter Wankwinkel und/oder eine zweite Querauslenkung des Wagenkastens (102) bezüglich eines zweiten Fahrwerks (114) eingestellt wird, das in Richtung einer Fahrzeuglängsachse von dem ersten Fahrwerk (104) beabstandet angeordnet ist, wobei
- der Wagenkasten (102) über eine erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) mit dem ersten Fahrwerk (104) gekoppelt ist,

- der Wagenkasten (102) über eine zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) mit dem zweiten Fahrwerk (114) gekoppelt ist,
- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um eine zu der Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegenwirken,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der erste Wankwinkel derart eingestellt wird oder der erste Wankwinkel und der zweite Wankwinkel derart miteinander verkoppelt eingestellt werden, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten (102) um die Fahrzeuglängsachse entgegengewirkt wird, und/oder
- die erste Querauslenkung derart eingestellt wird oder die erste Querauslenkung und die zweite Querauslenkung derart miteinander verkoppelt eingestellt werden, dass einer Torsionslast an dem Wagenkasten (102) um die Fahrzeuglängsachse entgegengewirkt wird, wobei
- die Torsionslast insbesondere durch an dem Wagenkasten (102) wirkende Windlasten bedingt ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass

- einer Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung und/oder einer Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel entgegengewirkt wird, wobei
- die erste Querauslenkung und/oder die zweite Querauslenkung insbesondere zumindest teilweise aktiv mittels einer durch eine Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) gesteuerten Aktuatoreinheit eingestellt wird,

wobei

- insbesondere wenigstens eine Erfassungsgröße erfasst wird, welche für die an dem Wagenkasten (102) anliegende Torsionslast repräsentativ ist, und die aktive Einstellung der ersten Querauslenkung und/oder die zweiten Querauslenkung durch die Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) in Abhängigkeit von der Erfassungsgröße erfolgt, wobei als die wenigstens eine Erfassungsgröße insbesondere eine für die erste Querauslenkung repräsentative Größe und/oder eine für die zweite Querauslenkung repräsentative Größe erfasst wird und/oder
- als die wenigstens eine Erfassungsgröße insbesondere eine für eine Auslenkung einer Komponente der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) repräsentative Größe erfasst wird und/oder eine für eine Auslenkung einer Komponente der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) repräsentative Größe erfasst wird, und/oder
- die Abweichung zwischen der ersten Querauslenkung und der zweiten Querauslenkung insbesondere derart eingestellt wird, dass sie weniger als 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 25 mm beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 10 mm beträgt.
- und/oder
- die Abweichung zwischen dem ersten Wankwinkel und dem zweiten Wankwinkel insbesondere derart eingestellt wird, dass sie weniger als 2° beträgt, vorzugsweise weniger als 1° beträgt, weiter vorzugsweise weniger als 0,5° beträgt.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass

- die erste Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und die zweite Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) über eine passive Kopplungseinrichtung mechanisch miteinander verkoppelt werden, wobei
- über die Kopplungseinrichtung zur Reduktion der Torsionslast an dem Wagenkasten (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse gleichlaufende Stellbewegungen im Bereich der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) erzeugt werden, wobei
- die Kopplungseinrichtung insbesondere eine fluidische Kopplung zwischen der ersten Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) und der zweiten Wankkompensationseinrichtung (115; 215; 315) umfasst.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass

- der erste Wankwinkel aktiv eingestellt wird, wobei
- bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um die Wankachse entgegen-

wirkt wird und

- dem Wagenkasten (102) zur Erhöhung des Neigungskomforts in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkungskomponente der ersten Querauslenkung eine erste Wankwinkelkomponente des ersten Wankwinkels aufgeprägt wird, die einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht,

und/oder

- dem Wagenkasten (102) zur Erhöhung des Schwingungskomforts in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkungskomponente überlagerte zweite Querauslenkungskomponente der ersten Querauslenkung aufgeprägt wird, wobei

- der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt,

- der erste Wankwinkel in dem ersten Frequenzbereich insbesondere zumindest überwiegend, insbesondere im Wesentlichen vollständig, aktiv erzeugt wird,

und/oder

- sich der erste Frequenzbereich von 0 Hz bis 2 Hz, vorzugsweise von 0,5 Hz bis 1,0 Hz, erstreckt,

und/oder

- sich der zweite Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 15 Hz, vorzugsweise von 1,0 Hz bis 6,0 Hz, erstreckt,

und/oder

- die Einstellung der zweiten Querauslenkungskomponente in dem zweiten Frequenzbereich zur Erhöhung des Schwingungskomforts auch bei Geradeausfahrt erfolgt.

Claims

1. Vehicle, in particular rail vehicle, having

- a wagon body (102),

- a first running gear (104), and

- a second running gear (114) arranged at a distance from the first running gear (104) in the direction of a vehicle longitudinal axis, wherein

- the wagon body (102) is supported by a first spring device (103) in the direction of a vehicle vertical axis on the first running gear (104),

- the wagon body (102) is supported by a second spring device (113) in the direction of the vehicle vertical axis on the second running gear (114),

- the wagon body (102) is coupled to the first running gear (104) via a first rolling compensation device (105; 205; 305),

- the wagon body (102) is coupled to the second running gear (114) via a second rolling compensation device (115; 215; 315),

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) counteract rolling movements of the wagon body (102) in an outward arcuate direction about a rolling axis parallel to the longitudinal axis of the vehicle during curved travel,

characterized in that

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed and/or the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) are coupled to one another in such a way that a torsional load on the wagon body (102) about the longitudinal axis of the vehicle, which is caused in particular by wind loads acting on the wagon body (102), is counteracted.

2. Vehicle according to claim 1, characterized in that

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed to impose a first rolling angle about the rolling axis on the wagon body (102) under a first transverse deflection of the wagon body (102) with respect to the first running gear (104) in the direction of a vehicle transverse axis,

- the second rolling compensation device (115; 215; 315) is designed to impose a second rolling angle about the rolling axis onto the wagon body (102) under a second transverse deflection of the wagon body (102) with respect to the second running gear (114) in the direction of a vehicle transverse axis,

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed and/or the first rolling compensation device

(105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) are coupled to one another in such a way that a deviation between the first transverse deflection and the second transverse deflection and/or a deviation between the first rolling angle and the second rolling angle is counteracted.

5 **3. Vehicle according to claim 1 or 2, characterized in that**

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) has a first actuator device (107; 207; 307) with at least one first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) controlled by a control device (107.2; 207.2; 307.2), the first actuator device (107; 207; 307) being designed in particular to contribute to adjustment of the first transverse deflection, and/or
- the second rolling compensation device (115; 215; 315) has a second actuator device (117; 217; 317) with at least one second actuator unit (117.1; 217.2; 317.1) controlled by the control device (107.2; 207.2; 307.2), wherein the second actuator device (117; 217; 25 317) is designed in particular to contribute to the adjustment of the second transverse deflection.

15 **4. Vehicle according to claim 3, characterized in that**

- the control device (107.2; 207.2; 307.2) has at least one detection device for detecting at least one detection variable which is representative of the torsional load applied to the wagon body (102), and
- the control device (107.2; 207.2; 307.2) is designed to control the first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) and/or the second actuator unit (117.1; 217.1; 317.1) in such a way that the torsional load is reduced, wherein
- the control device (107.2; 207.2; 307.2) is designed in particular to control the first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) and/or the second actuator unit (117.1; 217.1; 317.1) in such a way that a deviation between a first transverse deflection of the wagon body (102) with respect to the first running gear (104) and a second transverse deflection of the wagon body (102) with respect to the second running gear (114) is reduced in the direction of a transverse axis of the vehicle,

wherein

- the control device (107.2; 207.2; 307.2) controls the first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) and/or the second actuator unit (117.1; 217.1; 317.1) as a function of the detection variable, in particular in such a way that the deviation between the first transverse deflection and the second transverse deflection is less than 40 mm, preferably less than 25 mm, more preferably less than 10 mm, and/or,
- the control device (107.2; 207.2; 307.2) controls the first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) and/or the second actuator unit (117.1; 217.1; 317.1) as a function of the detection variable, in particular in such a way that a deviation between a first rolling angle of the carriage body (102) with respect to the first running gear (104) and a second rolling angle of the wagon body (102) with respect to the second running gear (114) is less than 2°, preferably less than 1°, further preferably less than 0.5°, and/or,
- the detection device detects, as the at least one detection variable, in particular a variable representative of the first transverse deflection of the wagon body (102) and/or a variable representative of the second transverse deflection of the wagon body (102), and/or,
- the detection device detects, as the at least one detection variable, in particular a variable representative of a deflection of a component of the first rolling compensation device (105; 205; 305) and/or a variable representative of a deflection of a component of the second rolling compensation device (115; 215; 315).

50 **5. Vehicle according to one of the preceding claims, characterized in that**

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) are mechanically coupled to one another via a passive coupling device, wherein
- the coupling device for reducing the torsional load on the wagon body (102) in the direction of a transverse axis of the vehicle generates synchronized actuating movements in the region of the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315), wherein
- the coupling device comprises in particular a fluidic coupling between the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315).

6. Vehicle according to one of the preceding claims, **characterized in that**

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) for increasing the tilting comfort is designed to impose on the wagon body (102) in a first frequency range, under a first transverse deflection component of a first transverse deflection of the wagon body (102) in the direction of a vehicle transverse axis, a first rolling angle component of a first rolling angle about the rolling axis which corresponds to a current curvature of a track section currently being traversed, and/or,
- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed to impose a second transverse deflection component, superimposed on the first transverse deflection component, on the wagon body (102) in a second frequency range in order to increase the vibration comfort, wherein
- the second frequency range is at least partially, in particular completely, above the first frequency range,

wherein

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) has in particular a first actuator device (107; 207; 307) with at least one first actuator unit (107.1; 207.1; 307.1) controlled by a control device (107.2; 207.2; 307.2), the first actuator device (107; 207; 307) being designed in particular to contribute at least predominantly to the generation of the first rolling angle in the first frequency range, in particular to generate substantially the first rolling angle, and/or,
- the first frequency range extends in particular from 0 Hz to 2 Hz, preferably from 0.5 Hz to 1.0 Hz, and/or,
- the second frequency range extends in particular from 0.5 Hz to 15 Hz, preferably from 1.0 Hz to 6.0 Hz, and/or,
- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is also active in particular when driving straight ahead.

7. Vehicle according to claim 6, **characterized in that**

- the wagon body (102) has a neutral position which it assumes when the vehicle is stationary on a straight, level track, and
- the first rolling compensation device (105; 205; 305), in particular a first actuator device (107; 207; 307) of the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed in such a way that
- a first maximum transverse deflection of the wagon body (102) from the neutral position occurring in a transverse direction of the vehicle during outward curved travel is limited to 80 mm to 150 mm, preferably limited to 100 mm to 120 mm, and/or,
- a second maximum transverse deflection of the wagon body (102) from the neutral position occurring in a transverse direction of the vehicle during inward curved travel is limited to 0 mm to 40 mm, preferably to 20 mm is limited.

8. Vehicle according to claim 6 or 7, **characterized in that**

- a first actuator device (107; 207; 307) of the first rolling compensation device (105; 205; 305) is designed to act as an end stop device for defining at least one end stop for the rolling movement of the wagon body (102), the first actuator device being designed to variably define the position of the at least one end stop for the rolling movement of the wagon body (102), and/or,
- a first actuator device (107; 207; 307) of the first rolling compensation device (105; 205; 305) in the event of its inactivity opposes a rolling movement of the wagon body (102) with at most a slight resistance, in particular essentially no resistance.

9. Vehicle according to one of claims 6 to 8, **characterized in that**

- the wagon body (102) has a neutral position which it assumes when the vehicle is stationary on a straight, level track,
- the first spring device (103) exerts a restoring moment about the rolling axis on the wagon body (102) when

an actuator device (107; 207; 307) of the rolling compensation device (105; 205; 305) is inactive, wherein
- the restoring moment, when the actuator device (107; 207; 307) is inactive, is dimensioned such that

- a transverse deflection of the wagon body (102) from the neutral position for a stationary vehicle, under a nominal loading of the wagon body (102) and with a maximum permissible track superelevation, is less than 10 mm to 40 mm, preferably less than 20 mm, and/or,
- a transverse deflection of the wagon body (102) from the neutral position, under a nominal loading of the wagon body (102) and with a maximum permissible transverse acceleration of the vehicle acting in the direction of a vehicle transverse axis, is less than 40 mm to 80 mm, preferably less than 60 mm.

10. Vehicle according to claim 9, characterized in that

- the first spring device (103) defines a restoring characteristic curve, wherein
- the restoring characteristic curve reflects the dependence of the restoring moment on the rolling angle deflection and
- the restoring characteristic curve has a degressive course, wherein
- the restoring characteristic curve has, in particular in a first transverse deflection region, a first gradient and, in a second transverse deflection region lying above the first transverse deflection region, a second gradient which is less than the first gradient, wherein
- the ratio of the second gradient to the first gradient is in particular in the range from 0 to 1, preferably in the range from 0 to 0.5, more preferably in the range from 0 to 0.1, and/or,
- the first transverse deflection range extends in particular from 0 mm to 60 mm, preferably from 0 mm to 40 mm, and the second transverse deflection range extends in particular from 20 mm to 120 mm, preferably from 40 mm to 100 mm.

11. Vehicle according to claim 10, characterized in that

- the wagon body (102) has a neutral position which it assumes when the vehicle is stationary on a straight, level track, and
- the first spring device (103) has a transverse stiffness in the direction of a transverse axis of the vehicle, which is dependent on a transverse deflection of the wagon body (102) in the direction of the vehicle transverse axis from the neutral position, wherein
- the first spring device (103) in particular has a first transverse stiffness in a first transverse deflection region and has a second transverse stiffness in a second transverse deflection region lying above the first transverse deflection region, which is lower than the first transverse stiffness, wherein
- the first transverse stiffness is in particular in the range from 100 N/mm to 800 N/mm, preferably in the range from 300 N/mm to 500 N/mm, and the second transverse stiffness being in particular in the range from 0 N/mm to 300 N/mm, preferably in the range from 0 N/mm to 100 N/mm, and/or,
- the first transverse deflection range extends in particular from 0 mm to 60 mm, preferably from 0 mm to 40 mm, and the second transverse deflection range extends in particular from 20 mm to 120 mm, preferably from 40 mm to 100 mm.

12. Vehicle according to one of claims 6 to 11, characterized in that

- the wagon body (102) has a nominal load and a neutral position which it assumes when the vehicle is stationary on a straight, level track, and
- the first spring device (103) has a transverse stiffness in the direction of a vehicle transverse axis, wherein
- the transverse stiffness of the first spring device (103) is dimensioned in such a way that, in the event of inactivity of an actuator device (107; 207; 307) of the rolling compensation device (107; 207; 307), during travel in a curve with a maximum permissible transverse acceleration of the vehicle acting in the direction of a vehicle transverse axis,
- a first maximum transverse deflection from the neutral position of the wagon body (102), in a vehicle transverse direction occurring towards the outside of the curve, is limited to 40 mm to 120 mm, preferably limited to 60 mm

to 80 mm, and/or,

- a second maximum transverse deflection from the neutral position of the wagon body (102), in a vehicle transverse direction occurring towards the inside of the curve, is limited to 0 mm to 60 mm, preferably limited to 20 mm to 40 mm.

13. Vehicle according to one of claims 6 to 12, characterized in that

- the wagon body (102) has a neutral position, which it adopts when the vehicle is stationary on a straight, level track, and

- the first rolling compensation device (105; 203; 305) is configured in such a way that an actuator device (107; 207; 307) of the first rolling compensation device (105; 205; 305),

- in the first frequency range, has a maximum deflection from the neutral position of 60 mm to 110 mm, preferably of 70 mm to 85 mm,

and/or,

- in the second frequency range, from a starting position, has a maximum deflection of 10 mm to 30 mm, preferably of 15 mm to 25 mm,

and/or,

- in the first frequency range, exerts a maximum actuator force of 10 kN to 40 kN, preferably of 15 kN to 30 kN, and/or,

- in the second frequency range, exerts a maximum actuator force of 5 kN to 35 kN, preferably of 5 kN to 20 kN.

14. Vehicle according to one of claims 6 to 13, characterized in that

- the wagon body (102) has a neutral position, which it adopts when the vehicle is stationary on a straight, level track,

- the wagon body (102) has a centre of gravity which, in the neutral position, in the direction of the vehicle height axis has a first height above the track,

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) is configured in such a way that the rolling axis, in the neutral position, in the direction of the vehicle height axis, has a second height above the track, wherein

- the ratio of the difference between the second height and the first height to the first height is a maximum of 2.2, preferably a maximum of 1.3, more preferably 0.8 to 1.3.

15. Vehicle according to one of claims 6 to 14, characterized in that

- the first rolling compensation device (105) comprises a rolling support device (106), which is arranged kinematically in parallel to the spring device (103) and is configured to counteract rolling motions of the wagon body (102) about the rolling axis during straight travel, wherein

- the first rolling support device (106), in particular, comprises two rods (106.5, 106.6), each of which, at one end, is connected in an articulated manner to the wagon body (102) and each of which, at the other end, is connected in an articulated manner to opposing ends of a torsion element (106.3), which is supported by the first running gear (104),

and/or,

- the first rolling compensation device (205; 305) comprises a guiding device (211; 311),

- the guiding device (211; 311) is arranged kinematically in series with the first spring device (103),

- the guiding device (211; 311) comprises a guiding element (211.1; 311.1), which is arranged between the first running gear (104) and the wagon body (102), and

- the guiding device (211; 311) is configured, during rolling motions of the wagon body (102), to define a motion of the guiding element (211.1; 311.1) in relation to the wagon body (102) or the first running gear (104), wherein

- the guiding device (211; 311), in particular, comprises at least one layered spring device (211.3; 311.3).

16. Vehicle according to one of the preceding claims, characterized in that

- the first running gear (104) has a running gear frame (104.2) and at least one wheel unit (104.1), and

- the first spring device (103) has a primary suspension (103.1) and a secondary suspension (103.2), wherein

- the running gear frame (104.2) is supported via the primary suspension (103.1) on the wheel unit (104.1), and the wagon body (102) is supported on the running gear frame (104.2) via the secondary suspension (103.2), which is in particular designed as pneumatic suspension, and

- the first rolling compensation device (105) is arranged kinematically in parallel to the secondary suspension (103.2) between the running gear frame (104.2) and the wagon body (102), wherein
- the first spring device (103), in particular, comprises a transverse spring device (110), wherein the transverse spring device (110) is connected on one side to the running gear frame (104.2) and on the other side to the wagon body (102), and/or the transverse spring device (110) is connected on one side to the running gear frame (104.2) or to the wagon body (102) and on the other side to the first rolling compensation device (105) and the transverse spring device (110), in particular, is configured to increase the stiffness of the first spring device (103) in the direction of a vehicle transverse axis, wherein the transverse spring device (110), in particular, has a degressive stiffness characteristic, and
- the first spring device (103), in particular, has an emergency spring device (103.3), which, in vehicle transverse direction, is arranged centrally on the first running gear (104), wherein the emergency spring device (103.3), in particular, is configured such that it supports the compensation effect of the first rolling compensation device (105).

17. Method for setting rolling angles on a wagon body (102) of a vehicle, in particular of a rail vehicle, about a rolling axis parallel to a vehicle longitudinal axis of the vehicle, in which

- a first rolling angle and/or a first transverse deflection of the wagon body (102) is set with respect to a first running gear (104), and
- a second rolling angle and/or a second transverse deflection of the wagon body (102) is set with respect to a second running gear (114) which is arranged at a distance from the first running gear (104) in the direction of a longitudinal axis of the vehicle, wherein
- the wagon body (102) is coupled to the first running gear (104) via a first rolling compensation device (105; 205; 305),
- the wagon body (102) is coupled to the second running gear (114) via a second rolling compensation device (115; 15 215; 315),
- the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) counteract rolling movements of the wagon body (102) in an outward arcuate direction about a rolling axis parallel to the longitudinal axis of the vehicle during curved travel,

characterized in that

- the first rolling angle is set or the first rolling angle and the second rolling angle are set coupled to one another in such a way that a torsional load on the wagon body (102) about the vehicle longitudinal axis is counteracted, and/or
- the first transverse deflection is set in such a way or the first transverse deflection and the second transverse deflection are set coupled to one another in such a way that a torsional load on the wagon body (102) about the vehicle longitudinal axis is counteracted, wherein
- the torsional load is caused in particular by wind loads acting on the wagon body (102).

18. Method according to claim 17, characterized in that

- a deviation between the first transverse deflection and the second transverse deflection and/or a deviation between the first rolling angle and the second rolling angle is counteracted, wherein
- the first transverse deflection and/or the second transverse deflection is in particular at least partially actively adjusted by means of an actuator unit controlled by a control device (107. 2; 207.2; 307.2),

wherein

- in particular at least one detection variable is detected which is representative of the torsional load applied to the wagon body (102), and the active adjustment of the first transverse deflection and/or the second transverse deflection is controlled by the control device (107. 2; 207.2; 307.2) as a function of the detected variable, wherein as the at least one detected variable in particular a variable representative of the first lateral deflection and/or a variable representative of the second lateral deflection is detected,
- and/or
- as the at least one detected variable in particular a variable representative of a deflection of a component of the first rolling compensation device (105; 205; 305) is detected and/or a variable representative of a deflection of a component of the second rolling compensation device (115; 215; 315) is detected,

and/or

- the deviation between the first transverse deflection and the second transverse deflection is set in particular such that it is less than 40 mm, preferably less than 25 mm, further preferably less than 10 mm,

and/or

- the deviation between the first rolling angle and the second rolling angle is set in particular such that it is less than 2°, preferably less than 1°, more preferably less than 0.5°.

19. Method according to claim 17 or 18, characterized in that

- the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) are mechanically coupled to one another via a passive coupling device, wherein

- the coupling device being used to generate synchronous actuating movements in the region of the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315) in the direction of a transverse axis of the vehicle in order to reduce the torsional load on the wagon body (102), wherein

- the coupling device comprises in particular a fluidic coupling between the first rolling compensation device (105; 205; 305) and the second rolling compensation device (115; 215; 315).

20. Method according to one of claims 17 to 19, characterized in that

- the first rolling angle is actively set, wherein

- during curved travel, rolling movements of the wagon body (102) to the outside of the curve about the rolling axis are counteracted and

- a first rolling angle component of the first rolling angle is imposed on the wagon body (102) in a first frequency range under a first transverse deflection component of the first transverse deflection in order to increase the tilting comfort, which first rolling angle component corresponds to a current curvature of a currently traversed track section,

and/or

- a second transverse deflection component of the first transverse deflection superimposed on the first transverse deflection component is imposed on the wagon body (102) in a second frequency range in order to increase the vibration comfort,

- the second frequency range is at least partially, in particular completely, above the first frequency range,

- the first rolling angle in the first frequency range is in particular at least predominantly, in particular essentially completely, actively generated,

and/or

- the first frequency range ranges from 0 Hz to 2 Hz, preferably from 0.5 Hz to 1.0 Hz,

and/or

- the second frequency range ranges from 0.5 Hz to 15 Hz, preferably from 1.0 Hz to 6.0 Hz,

and/or

- the setting of the second transverse deflection in the second frequency range for increasing the vibration comfort also takes place during travel on a straight track.

Revendications

1. Véhicule, en particulier véhicule ferroviaire, comprenant

- une caisse du wagon (102),

- un premier train de roulement (104), et

- un deuxième train de roulement (114) disposé à une certaine distance du premier train de roulement (104) dans la direction de l'axe longitudinal du véhicule, dans lequel

- la caisse du wagon (102) est soutenu par un premier dispositif à ressort (103) dans la direction de l'axe vertical du véhicule sur le premier train de roulement (104),

- la caisse du wagon (102) est soutenu par un deuxième dispositif à ressort (113) dans la direction de l'axe vertical du véhicule sur le deuxième train de roulement (114),

- la caisse du wagon (102) est couplée au premier train de roulement (104) par l'intermédiaire d'un premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305),

- la caisse du wagon (102) est accouplée au deuxième train de roulement (114) par l'intermédiaire d'un deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 15 215 ; 315),

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) s'opposent aux mouvements de roulement de la caisse du wagon (102) dans une direction arquée vers l'extérieur autour d'un axe de roulement parallèle à l'axe longitudinal du véhicule lors d'un déplacement en courbe,

caractérisé en ce que

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu et/ou le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) sont couplés l'un à l'autre de telle sorte qu'une charge de torsion sur la caisse du wagon (102) autour de l'axe longitudinal du véhicule, causée notamment par des charges de vent agissant sur la caisse du wagon (102), est contrecarrée.

2. Véhicule selon la revendication 1, caractérisé en ce que

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu pour imposer un premier angle de roulement autour de l'axe de roulement à la caisse du wagon (102) sous l'effet d'une première déflexion transversale de la caisse du wagon (102) par rapport au premier train de roulement (104) dans la direction d'un axe transversal du véhicule,

- le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) est conçu pour imposer un deuxième angle de roulement autour de l'axe de roulement à la caisse du wagon (102) lors d'une deuxième déflexion transversale de la caisse du wagon (102) par rapport au deuxième train de roulement (114) dans la direction d'un axe transversal du véhicule,

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu et/ou le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) sont couplés l'un à l'autre de telle sorte qu'un écart entre la première déviation transversale et la deuxième déviation transversale et/ou un écart entre le premier angle de roulement et le deuxième angle de roulement est contrecarré.

3. Véhicule selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) comporte un premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) avec au moins une première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ; 307.1) commandée par un dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2), le premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) étant conçu en particulier pour contribuer au réglage de la première déflexion transversale, et/ou

- le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) comporte un deuxième dispositif d'actionnement (117 ; 217 ; 317) avec au moins une deuxième unité d'actionnement (117.1 ; 217.2 ; 317.1) commandée par le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2), dans lequel le deuxième dispositif d'actionnement (117 ; 217 ; 25 317) est conçu en particulier pour contribuer au réglage de la deuxième déflexion transversale.

4. Véhicule selon la revendication 3, caractérisé en ce que

- le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2) comporte au moins un dispositif de détection pour détecter au moins une variable de détection représentative de la charge de torsion appliquée à la caisse du wagon (102), et
- le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2) est conçu pour commander la première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ; 307.1) et/ou la deuxième unité d'actionnement (117.1 ; 217.1 ; 317.1) de manière à réduire la charge de torsion, dans lequel

- le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2) est conçu en particulier pour commander la première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ; 307.1) et/ou la deuxième unité d'actionnement (117.1 ; 217.1 ; 317.1) de manière à réduire l'écart entre une première déviation transversale de la caisse du wagon (102) par rapport au premier train de roulement (104) et une deuxième déviation transversale de la caisse du wagon (102) par rapport au deuxième train de roulement (114) dans la direction d'un axe transversal du véhicule,

dans lequel

- le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2) commande la première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ;

307.1) et/ou la deuxième unité d'actionnement (117.1 ; 217.1 ; 317.1) en fonction de la variable de détection, notamment de manière à ce que l'écart entre la première déviation transversale et la deuxième déviation transversale soit inférieur à 40 mm, de préférence inférieur à 25 mm, plus préférentiellement inférieur à 10 mm, et/ou,

- le dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2) commande la première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ; 307.1) et/ou la deuxième unité d'actionnement (117.1 ; 217.1 ; 317.1) en fonction de la variable de détection, notamment de manière à ce qu'un écart entre un premier angle de roulement de la caisse du wagon (102) par rapport au premier train de roulement (104) et un deuxième angle de roulement de la caisse du wagon (102) par rapport au deuxième train de roulement (114) soit inférieur à 2°, de préférence inférieur à 1°, de préférence encore inférieur à 0,5°,

et/ou,
- le dispositif de détection détecte, en tant qu'au moins une variable de détection, en particulier une variable représentative de la première déviation transversale de la caisse du wagon (102) et/ou une variable représentative de la deuxième déviation transversale de la caisse du wagon (102),

et/ou,
- le dispositif de détection détecte, en tant qu'au moins une variable de détection, en particulier une variable représentative d'une déviation d'un composant du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et/ou une variable représentative d'une déviation d'un composant du deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315).

5. Véhicule selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) sont couplés mécaniquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un dispositif de couplage passif, dans lequel

- le dispositif d'attelage destiné à réduire la charge de torsion sur la caisse du wagon (102) en direction d'un axe transversal du véhicule génère des mouvements d'actionnement synchronisés dans la zone du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et du deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315), dans lesquels

- le dispositif de couplage comprend en particulier un couplage fluide entre le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315).

6. Véhicule selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) destiné à augmenter le confort de basculement est conçu pour imposer à la caisse du wagon (102) dans une première gamme de fréquences, sous une première composante de déflexion transversale d'une première déflexion transversale de la caisse du wagon (102) en direction d'un axe transversal du véhicule, une première composante d'angle de roulement d'un premier angle de roulement autour de l'axe de roulement qui correspond à une courbure actuelle d'un tronçon de voie en cours de franchissement,

et/ou,
- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu pour imposer une deuxième composante de déflexion transversale, superposée à la première composante de déflexion transversale, à la caisse du wagon (102) dans une deuxième plage de fréquences afin d'augmenter le confort vibratoire, dans lequel

- la deuxième gamme de fréquences est au moins partiellement, en particulier complètement, supérieure à la première gamme de fréquences,

dans lequel

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) comporte en particulier un premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) avec au moins une première unité d'actionnement (107.1 ; 207.1 ; 307.1) commandée par un dispositif de commande (107.2 ; 207.2 ; 307.2), le premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) étant conçu en particulier pour contribuer au moins de manière prédominante à la génération du premier angle de roulement dans la première gamme de fréquences, en particulier pour générer substantiellement le premier angle de roulement,

et/ou,
- la première gamme de fréquences s'étend notamment de 0 Hz à 2 Hz, de préférence de 0,5 Hz à 1,0 Hz,

et/ou,

- la deuxième gamme de fréquences s'étend notamment de 0,5 Hz à 15 Hz, de préférence de 1,0 Hz à 6,0 Hz, et/ou,

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est également actif, en particulier lors de la conduite en ligne droite.

7. Véhicule selon la revendication 6, caractérisé en ce que

- la caisse du wagon (102) a une position neutre qu'il prend lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et plane, et

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305), en particulier un premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu de telle sorte que

- une première déviation transversale maximale de la caisse du wagon (102) par rapport à la position neutre, se produisant dans une direction transversale du véhicule au cours d'un déplacement en courbe vers l'extérieur, est limitée à 80 mm à 150 mm, de préférence limitée à 100 mm à 120 mm,

et/ou,

- une deuxième déviation transversale maximale de la caisse du wagon (102) par rapport à la position neutre se produisant dans une direction transversale du véhicule au cours d'un déplacement incurvé vers l'intérieur est limitée à 0 mm à 40 mm, de préférence à 20 mm.

8. Véhicule selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que

- un premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du premier dispositif de compensation de roulement (105 ; 205 ; 305) est conçu pour agir en tant que dispositif de butée pour définir au moins une butée pour le mouvement de roulement de la caisse du wagon (102), le premier dispositif d'actionnement étant conçu pour définir de manière variable la position de la au moins une butée pour le mouvement de roulement de la caisse du wagon (102),

et/ou,

- un premier dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) s'oppose, en cas d'inactivité, à un mouvement de roulement de la caisse du wagon (102) avec au plus une légère résistance, en particulier essentiellement aucune résistance.

9. Véhicule selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que

- la caisse du wagon (102) a une position neutre qu'il prend lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et horizontale,

- le premier dispositif à ressort (103) exerce un moment de rappel autour de l'axe de roulement sur la caisse du wagon (102) lorsqu'un dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du dispositif de compensation de roulement (105 ; 205 ; 305) est inactif, dans lequel

- le moment de rappel, lorsque le dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) est inactif, est dimensionné de manière à ce que

- une déviation transversale de la caisse du wagon (102) par rapport à la position neutre pour un véhicule à l'arrêt, sous une charge nominale de la caisse du wagon (102) et avec un dévers maximal admissible de la voie, est inférieure à 10 mm à 40 mm, de préférence inférieure à 20 mm,

et/ou,

- une déviation transversale de la caisse du wagon (102) par rapport à la position neutre, sous une charge nominale de la caisse du wagon (102) et avec une accélération transversale maximale admissible du véhicule agissant dans la direction d'un axe transversal du véhicule, est inférieure à 40 mm à 80 mm, de préférence inférieure à 60 mm.

10. Véhicule selon la revendication 9, caractérisé en ce que

- le premier dispositif à ressort (103) définit une courbe caractéristique de rappel, dans laquelle

- la courbe caractéristique du rétablissement reflète la dépendance du moment de rétablissement par rapport à la déflexion de l'angle de roulement et à l'angle d'inclinaison.

- la courbe caractéristique de restauration présente une évolution dégressive, dans laquelle
- la courbe caractéristique de restauration présente, en particulier dans une première zone de déflexion transversale, un premier gradient et, dans une deuxième zone de déflexion transversale située au-dessus de la première zone de déflexion transversale, un deuxième gradient inférieur au premier gradient, dans lequel

5

- le rapport entre le deuxième gradient et le premier gradient est notamment compris entre 0 et 1, de préférence entre 0 et 0,5, plus préférentiellement entre 0 et 0,1, et/ou,

10

- la première plage de déflexion transversale s'étend notamment de 0 mm à 60 mm, de préférence de 0 mm à 40 mm, et la deuxième plage de déflexion transversale s'étend notamment de 20 mm à 120 mm, de préférence de 40 mm à 100 mm.

11. Véhicule selon la revendication 10, caractérisé en ce que

15

- la caisse du wagon (102) a une position neutre qu'il prend lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et plane, et

- le premier dispositif à ressort (103) a une rigidité transversale dans la direction de l'axe transversal du véhicule, qui dépend d'une déviation transversale de la caisse du wagon (102) dans la direction de l'axe transversal du véhicule par rapport à la position neutre, dans laquelle

20

- le premier dispositif à ressort (103) présente en particulier une première rigidité transversale dans une première zone de déflexion transversale et une deuxième rigidité transversale dans une deuxième zone de déflexion transversale située au-dessus de la première zone de déflexion transversale, qui est inférieure à la première rigidité transversale, dans laquelle

25

- la première rigidité transversale est notamment comprise entre 100 N/mm et 800 N/mm, de préférence entre 300 N/mm et 500 N/mm, et la deuxième rigidité transversale est notamment comprise entre 0 N/mm et 300 N/mm, de préférence entre 0 N/mm et 100 N/mm, et/ou,

30

- la première plage de déflexion transversale s'étend notamment de 0 mm à 60 mm, de préférence de 0 mm à 40 mm, et la deuxième plage de déflexion transversale s'étend notamment de 20 mm à 120 mm, de préférence de 40 mm à 100 mm.

12. Véhicule selon l'une des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que

35

- la caisse du wagon (102) a une charge nominale et une position neutre qu'elle prend lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et plane, et

- le premier dispositif à ressort (103) présente une rigidité transversale dans la direction de l'axe transversal du véhicule, dans lequel

40

- la rigidité transversale du premier dispositif à ressort (103) est dimensionnée de telle sorte que, en cas d'inactivité d'un dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du dispositif de compensation du roulement (107 ; 207 ; 307), lors d'un déplacement dans une courbe avec une accélération transversale maximale admissible du véhicule agissant dans la direction d'un axe transversal du véhicule,

45

- une première déviation transversale maximale par rapport à la position neutre de la caisse du wagon (102), dans une direction transversale du véhicule se produisant vers l'extérieur de la courbe, est limitée à 40 mm à 120 mm, de préférence limitée à 60 mm à 80 mm, et/ou,

50

- une deuxième déviation transversale maximale par rapport à la position neutre de la caisse du wagon (102), dans une direction transversale du véhicule se produisant vers l'intérieur de la courbe, est limitée à 0 mm à 60 mm, de préférence limitée à 20 mm à 40 mm.

13. Véhicule selon l'une des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que

55

- la caisse du wagon (102) a une position neutre, qu'il adopte lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et plane, et

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 203 ; 305) est configuré de telle sorte qu'un dispositif d'actionnement (107 ; 207 ; 307) du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305),

- dans la première gamme de fréquences, a une déflexion maximale par rapport à la position neutre de 60 mm à 110 mm, de préférence de 70 mm à 85 mm, et/ou,
- 5 - dans la deuxième gamme de fréquences, à partir d'une position de départ, a une déflexion maximale de 10 mm à 30 mm, de préférence de 15 mm à 25 mm, et/ou,
- dans la première gamme de fréquences, exerce une force d'actionnement maximale de 10 kN à 40 kN, de préférence de 15 kN à 30 kN, et/ou,
- 10 - dans la deuxième gamme de fréquences, exerce une force d'actionnement maximale de 5 kN à 35 kN, de préférence de 5 kN à 20 kN.

14. Véhicule selon l'une des revendications 6 à 13, caractérisé en ce que

- 15 - la caisse du wagon (102) a une position neutre, qu'il adopte lorsque le véhicule est à l'arrêt sur une voie droite et plane,
- la caisse du wagon (102) a un centre de gravité qui, en position neutre, dans la direction de l'axe de hauteur du véhicule, a une première hauteur au-dessus de la voie,
- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est configuré de telle sorte que l'axe de roulement, en position neutre, dans la direction de l'axe de hauteur du véhicule, a une deuxième hauteur au-
- 20 - dessus de la voie, dans laquelle
- le rapport entre la différence entre la deuxième hauteur et la première hauteur et la première hauteur est au maximum de 2,2, de préférence au maximum de 1,3, plus préférentiellement de 0,8 à 1,3.

15. Véhicule selon l'une des revendications 6 à 14, caractérisé en ce que

- le premier dispositif de compensation du roulement (105) comprend un dispositif de support du roulement (106), qui est disposé cinématiquement en parallèle au premier dispositif à ressort (103) et est configuré pour contrecarrer les mouvements de roulement de la caisse du wagon (102) autour de l'axe de roulement pendant
- 30 la marche en ligne droite, dans lequel
- le premier dispositif d'appui au roulement (106) comprend notamment deux tiges (106.5, 106.6) dont chacune, à une extrémité, est reliée de manière articulée à la caisse du wagon (102) et dont chacune, à l'autre extrémité, est reliée de manière articulée aux extrémités opposées d'un élément de torsion (106.3), qui est supporté par le premier train de roulement (104),
- 35 et/ou,
- le premier dispositif de compensation du roulement (205 ; 305) comprend un dispositif de guidage (211 ; 311),
- le dispositif de guidage (211 ; 311) est disposé cinématiquement en série avec le premier dispositif à ressort (103),
- le dispositif de guidage (211 ; 311) comprend un élément de guidage (211.1 ; 311.1), qui est disposé entre le
- 40 premier train de roulement (104) et la caisse du wagon (102), et
- le dispositif de guidage (211 ; 311) est configuré, lors des mouvements de roulement de la caisse du wagon (102), pour définir un mouvement de l'élément de guidage (211.1 ; 311.1) par rapport à la caisse du wagon (102) ou au premier train de roulement (104), dans lequel
- le dispositif de guidage (211 ; 311), en particulier, comprend au moins un dispositif à ressort en couches
- 45 (211.3 ; 311.3).

16. Véhicule selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que

- le premier train de roulement (104) comporte un châssis de train de roulement (104.2) et au moins une roue
- 50 (104.1), et
- le premier dispositif à ressort (103) a une suspension primaire (103.1) et une suspension secondaire (103.2), dans laquelle
- le châssis de roulement (104.2) est supporté par la suspension primaire (103.1) sur l'unité de roue (104.1), et la caisse du wagon (102) est supportée sur le châssis de roulement (104.2) par la suspension secondaire
- 55 (103.2), qui est en particulier conçue comme une suspension pneumatique, et
- le premier dispositif de compensation du roulement (105) est disposé cinématiquement parallèlement à la suspension secondaire (103.2) entre le châssis du train de roulement (104.2) et la caisse du wagon (102),

dans lequel

- le premier dispositif à ressort (103) comprend en particulier un dispositif à ressort transversal (110), dans lequel le dispositif à ressort transversal (110) est relié d'un côté au châssis du train de roulement (104.2) et de l'autre côté à la caisse du wagon (102), et/ou le dispositif à ressort transversal (110) est relié d'un côté au châssis du train de roulement (104.2) ou à la caisse du wagon (102) et de l'autre côté au premier dispositif de compensation du roulement (105) et le dispositif à ressort transversal (110), en particulier, est configuré pour augmenter la rigidité du premier dispositif à ressort (103) dans la direction de l'axe transversal du véhicule, le dispositif à ressort transversal (110), en particulier, ayant une caractéristique de rigidité dégressive, et/ou
- le premier dispositif à ressort (103), en particulier, comporte un dispositif à ressort de secours (103.3) qui, dans la direction transversale du véhicule, est disposé au centre du premier train de roulement (104), le dispositif à ressort de secours (103.3), en particulier, étant configuré de manière à soutenir l'effet de compensation du premier dispositif de compensation du roulement (105).

17. Procédé de réglage des angles de roulement d'une caisse de wagon (102) d'un véhicule, en particulier d'un véhicule ferroviaire, autour d'un axe de roulement parallèle à l'axe longitudinal du véhicule, dans lequel

- un premier angle de roulement et/ou une première déflexion transversale de la caisse du wagon (102) sont réglés par rapport à un premier train de roulement (104), et
- un deuxième angle de roulement et/ou une deuxième déviation transversale de la caisse du wagon (102) sont réglés par rapport à un deuxième train de roulement (114) qui est disposé à une certaine distance du premier train de roulement (104) dans la direction d'un axe longitudinal du véhicule, dans lequel
- la caisse du wagon (102) est couplée au premier train de roulement (104) par l'intermédiaire d'un premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305),
- la caisse du wagon (102) est accouplée au deuxième train de roulement (114) par l'intermédiaire d'un deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 15 215 ; 315),
- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) s'opposent aux mouvements de roulement de la caisse du wagon (102) dans une direction arquée vers l'extérieur autour d'un axe de roulement parallèle à l'axe longitudinal du véhicule lors d'un déplacement en courbe,

caractérisé en ce que

- le premier angle de roulement est réglé ou le premier angle de roulement et le deuxième angle de roulement sont réglés et couplés l'un à l'autre de manière à compenser une charge de torsion sur la caisse du wagon (102) autour de l'axe longitudinal du véhicule, et/ou
- la première déflexion transversale est réglée de telle manière ou la première déflexion transversale et la deuxième déflexion transversale sont réglées de manière couplée l'une à l'autre de telle sorte qu'une charge de torsion sur la caisse du wagon (102) autour de l'axe longitudinal du véhicule est contrecarrée, dans laquelle
- la charge de torsion est causée en particulier par les charges de vent agissant sur la caisse du wagon (102).

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisée en ce que

- un écart entre la première déviation transversale et la deuxième déviation transversale et/ou un écart entre le premier angle de laminage et le deuxième angle de laminage est contrecarré, dans lequel
- la première déviation transversale et/ou la deuxième déviation transversale sont notamment réglées activement, au moins en partie, au moyen d'une unité d'actionnement commandée par un dispositif de commande (107. 2 ; 207.2 ; 307.2),

dans lequel

- en particulier, au moins une variable de détection représentative de la charge de torsion appliquée à la caisse du wagon (102) est détectée, et le réglage actif de la première déviation transversale et/ou de la deuxième déviation transversale est commandé par le dispositif de commande (107. 2 ; 207.2 ; 307.2) en fonction de la variable détectée, la au moins une variable détectée étant en particulier une variable représentative de la première déviation latérale et/ou une variable représentative de la deuxième déviation latérale,

et/ou

- en tant qu'au moins une variable détectée, en particulier une variable représentative d'une déviation d'un composant du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) est détectée et/ou une variable représentative d'une déviation d'un composant du deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) est détectée,

et/ou

- l'écart entre la première déviation transversale et la deuxième déviation transversale est fixé en particulier de telle sorte qu'il soit inférieur à 40 mm, de préférence inférieur à 25 mm, de préférence encore inférieur à 10 mm,

et/ou

- l'écart entre le premier angle de laminage et le deuxième angle de laminage est notamment fixé de telle sorte qu'il soit inférieur à 2°, de préférence inférieur à 1°, plus préférentiellement inférieur à 0,5°.

19. Procédé selon la revendication 17 ou 18, caractérisée en ce que

- le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) sont couplés mécaniquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un dispositif de couplage passif, dans lequel

- le dispositif de couplage est utilisé pour générer des mouvements d'actionnement synchrones dans la zone du premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et du deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315) dans la direction d'un axe transversal du véhicule afin de réduire la charge de torsion sur la caisse du wagon (102), dans lequel

- le dispositif de couplage comprend en particulier un couplage fluide entre le premier dispositif de compensation du roulement (105 ; 205 ; 305) et le deuxième dispositif de compensation du roulement (115 ; 215 ; 315).

20. Procédé selon l'une des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que

- le premier angle de roulement est activement réglé, dans lequel

- pendant le trajet en courbe, les mouvements de roulement de la caisse du wagon (102) vers l'extérieur de la courbe autour de l'axe de roulement sont contrecarrés et

- une première composante d'angle de roulement du premier angle de roulement est imposée à la caisse du wagon (102) dans une première plage de fréquences sous une première composante de déviation transversale de la première déviation transversale afin d'augmenter le confort de basculement, cette première composante d'angle de roulement correspondant à une courbure actuelle d'un tronçon de voie actuellement parcouru,

et/ou

- une deuxième composante de déflexion transversale de la première déflexion transversale superposée à la première composante de déflexion transversale est imposée à la caisse du wagon (102) dans une deuxième gamme de fréquences afin d'augmenter le confort vibratoire,

- la deuxième gamme de fréquences est au moins partiellement, en particulier complètement, supérieure à la première gamme de fréquences,

- le premier angle de roulement dans la première gamme de fréquences est en particulier au moins majoritairement, en particulier essentiellement entièrement, généré de manière active,

et/ou

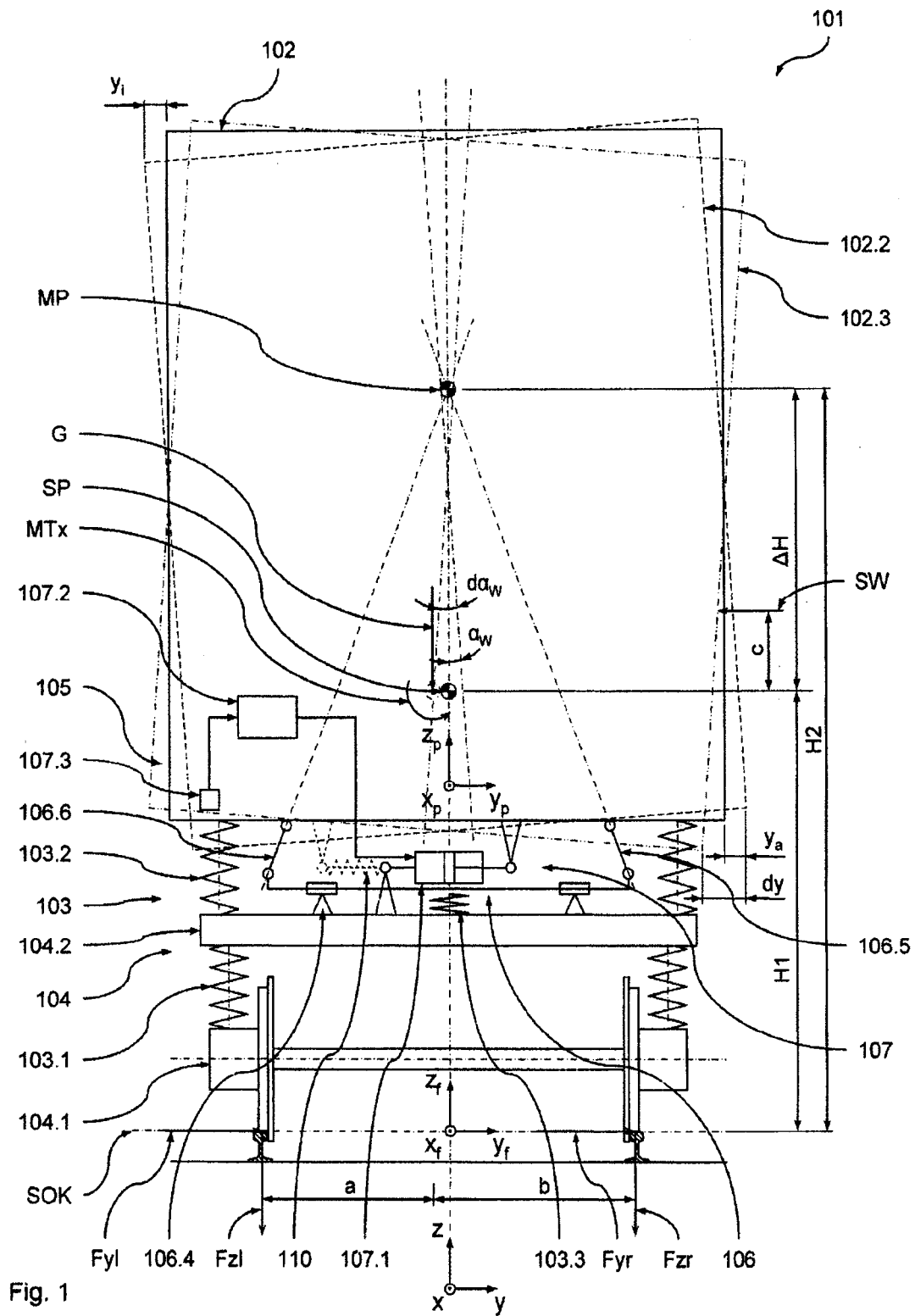
- la première gamme de fréquences va de 0 Hz à 2 Hz, de préférence de 0,5 Hz à 1,0 Hz,

et/ou

- la deuxième gamme de fréquences va de 0,5 Hz à 15 Hz, de préférence de 1,0 Hz à 6,0 Hz,

et/ou

- le réglage de la deuxième déflexion transversale dans la deuxième gamme de fréquences pour augmenter le confort vibratoire s'effectue également lors d'un déplacement sur une voie droite.



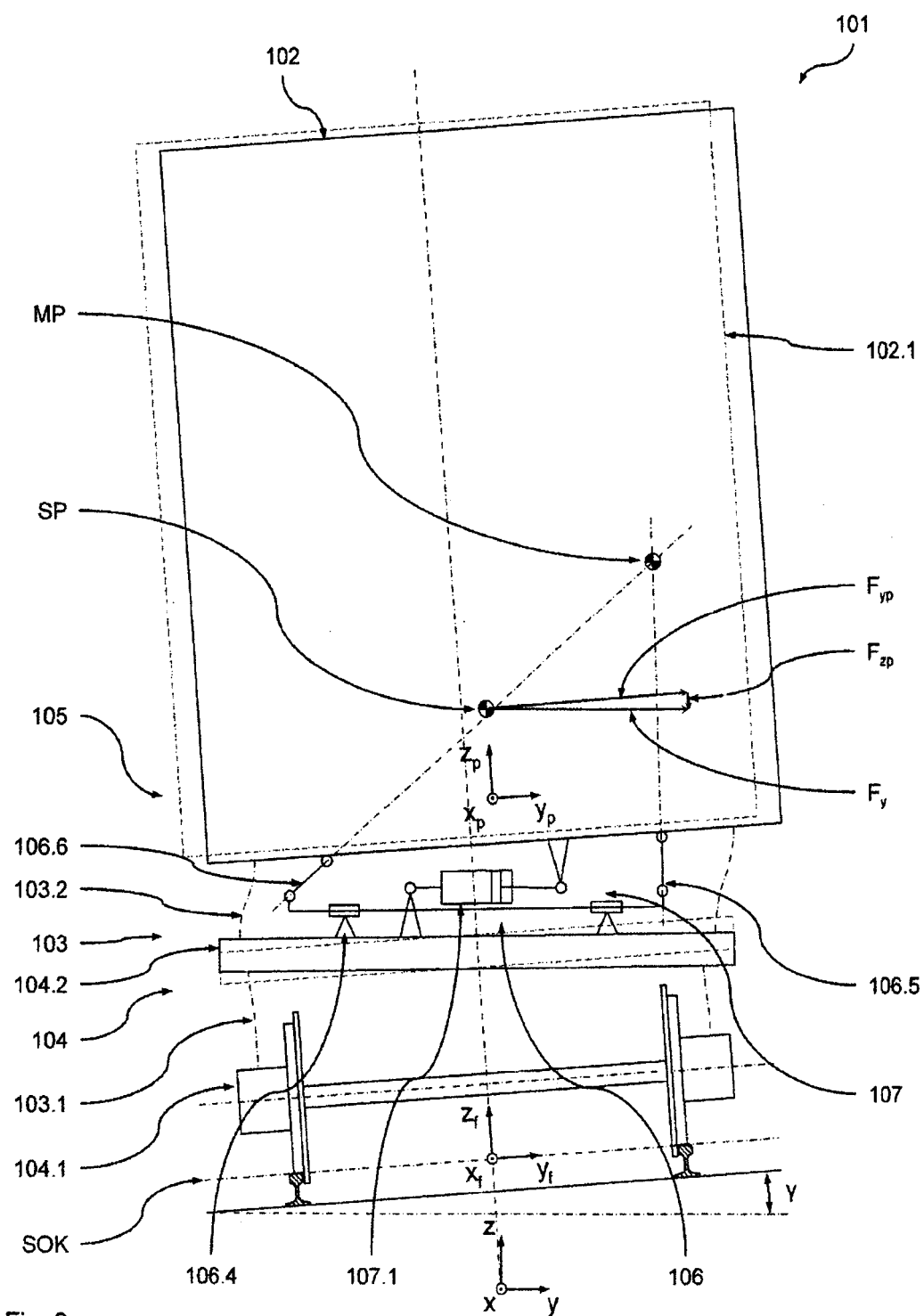


Fig. 2

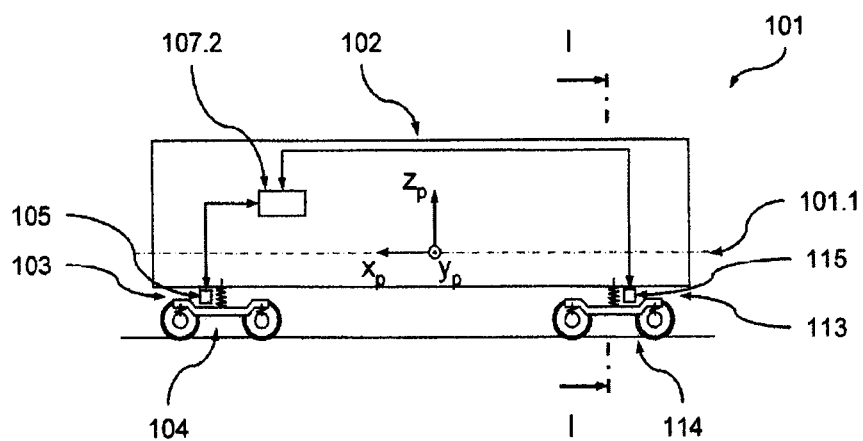


Fig. 3

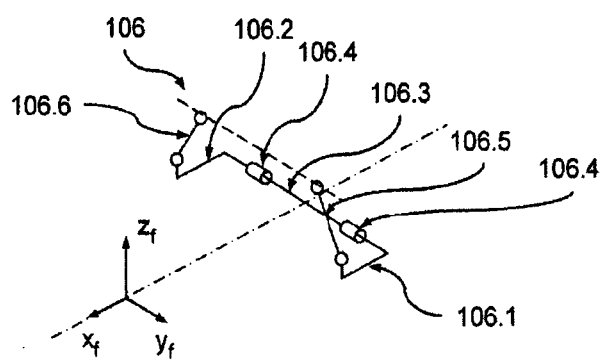


Fig. 4

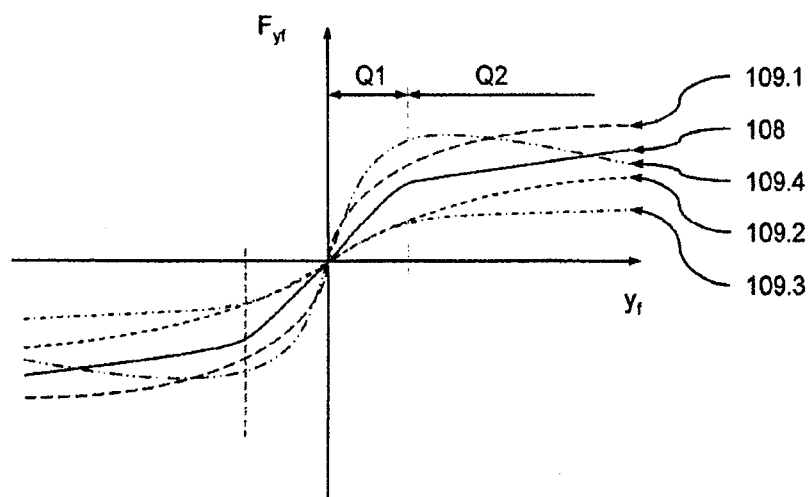


Fig. 5

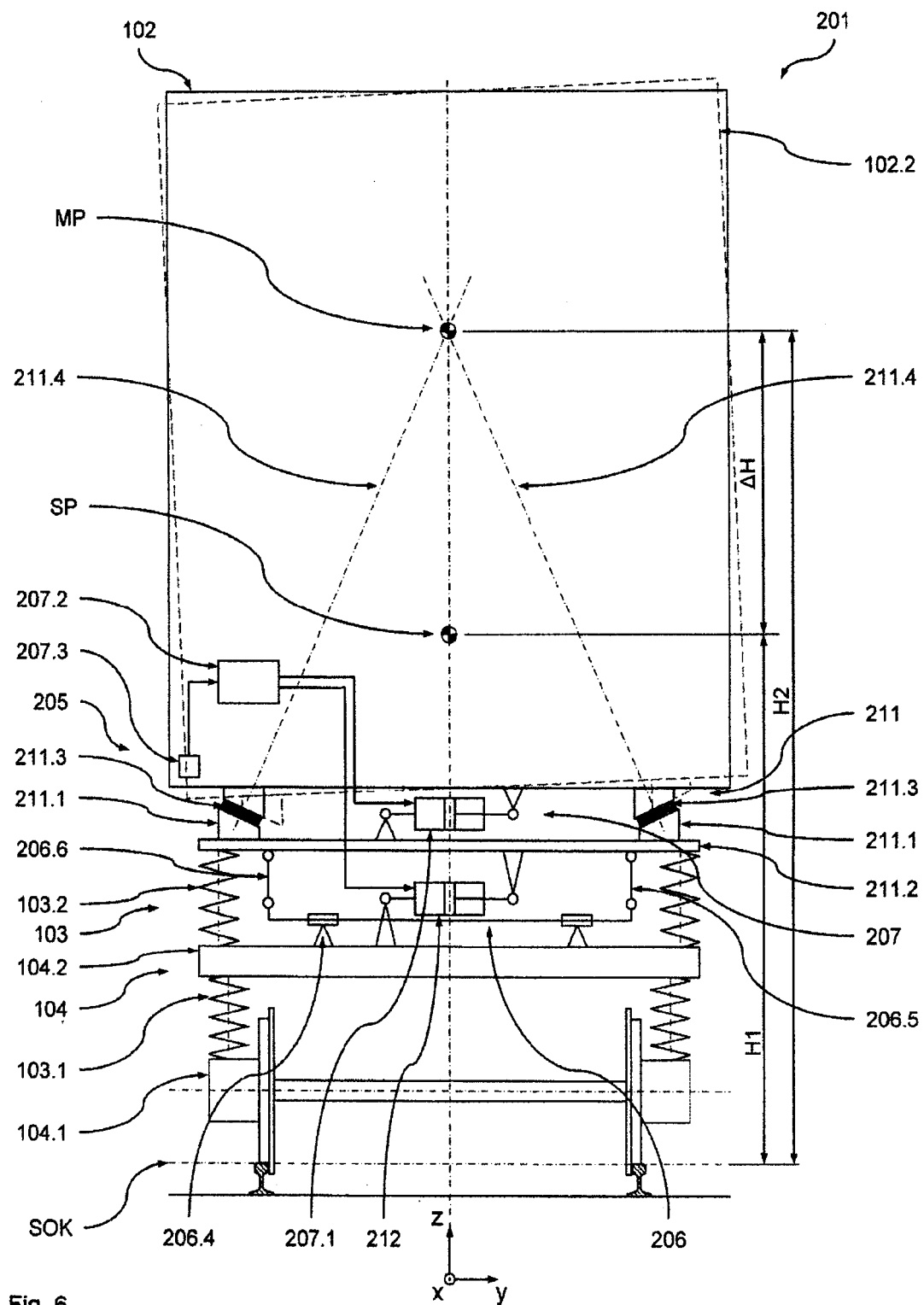


Fig. 6

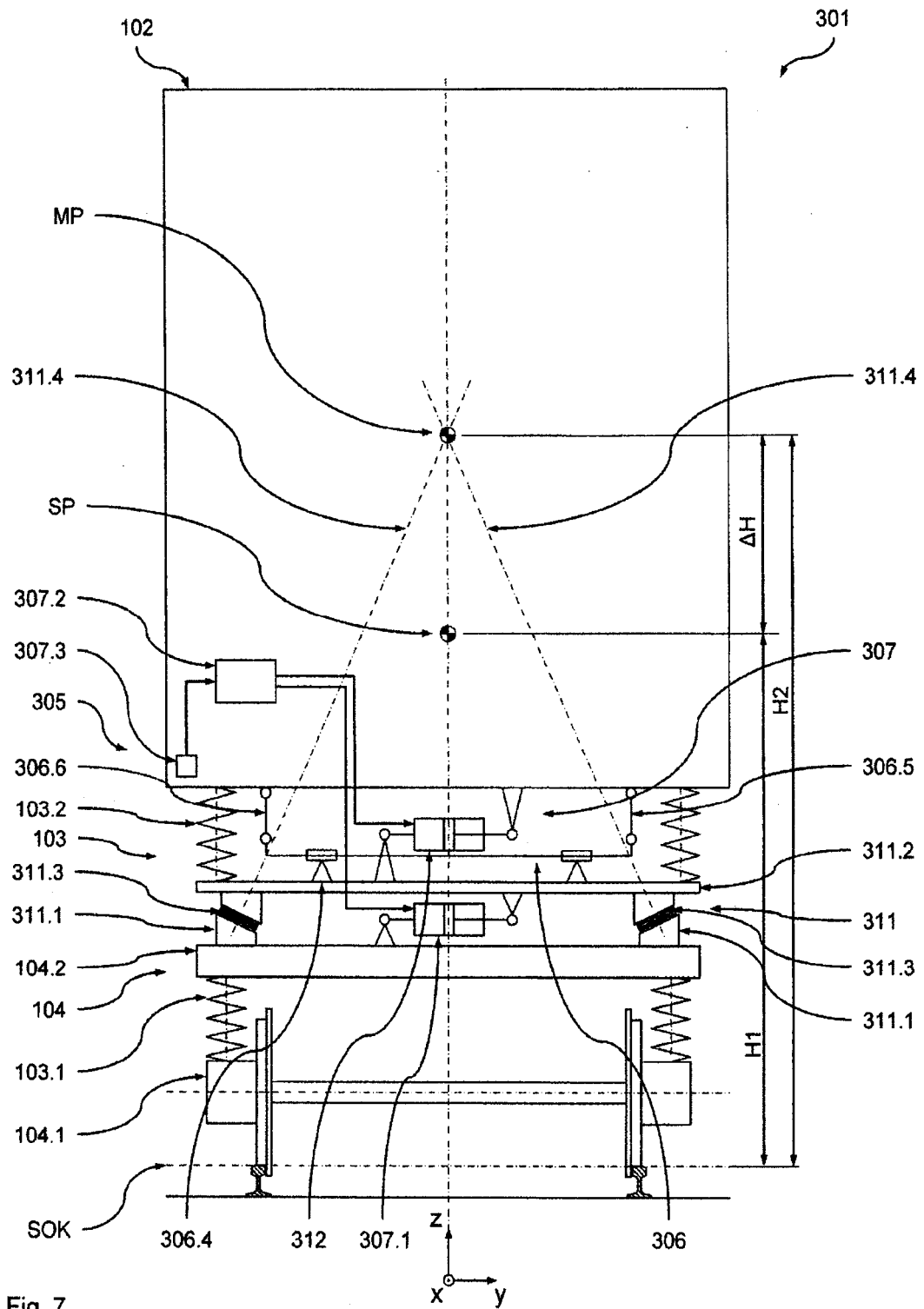


Fig. 7

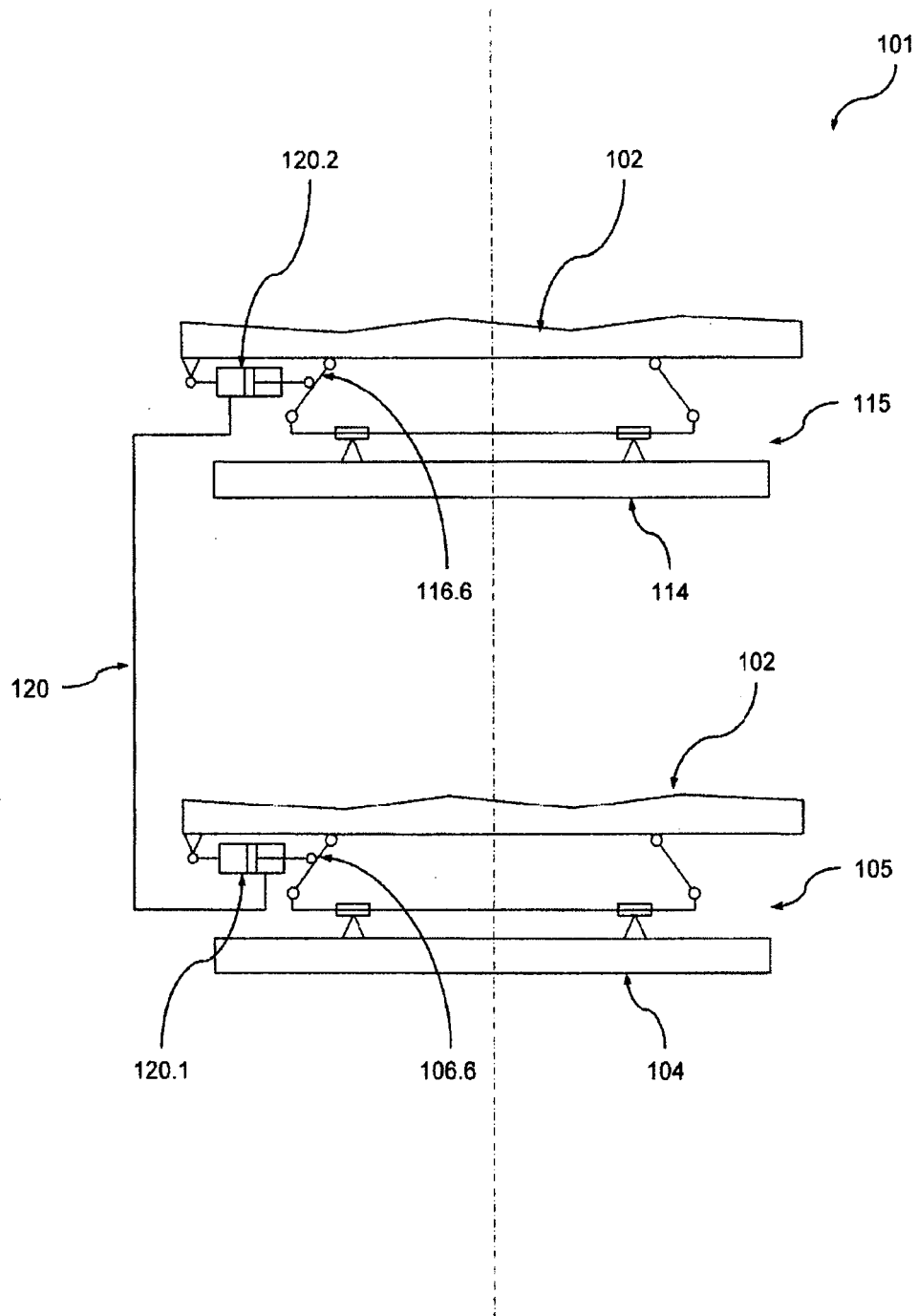


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1075407 B1 [0004]
- EP 1190925 A1 [0006] [0009] [0013]
- WO 9003906 A1 [0015]