

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Anmeldenummer: GM 733/2009
(22) Anmeldetag: 19.11.2009
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.02.2010
(45) Ausgabetag: 15.04.2010

(51) Int. Cl.⁸: **B61F 5/24** (2006.01)

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH
D-10785 BERLIN (DE)

(54) **FAHRZEUG, INSBESONDERE SCHIENENFAHRZEUG**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug, mit einem Wagenkasten (102), der über eine Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk (104) abgestützt ist, und einer Wankkompensationseinrichtung (105), die mit dem Wagenkasten (102) und dem Fahrwerk (104) gekoppelt ist. Die Wankkompensationseinrichtung (105) kann dabei insbesondere kinematisch parallel zu der Federeinrichtung (103) angeordnet sein. Bei Bogenfahrt wirkt die Wankkompensationseinrichtung (105) Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen. Zur Erhöhung des Neigungskomforts ist die Wankkompensationseinrichtung (105) dazu ausgebildet, dem Wagenkasten (102) in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Weiterhin ist die Wankkompensationseinrichtung (105) zur Erhöhung des Schwingungskomforts dazu ausgebildet, dem Wagenkasten (102) in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkung überlagerte zweite

Querauslenkung aufzuprägen, wobei der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt.

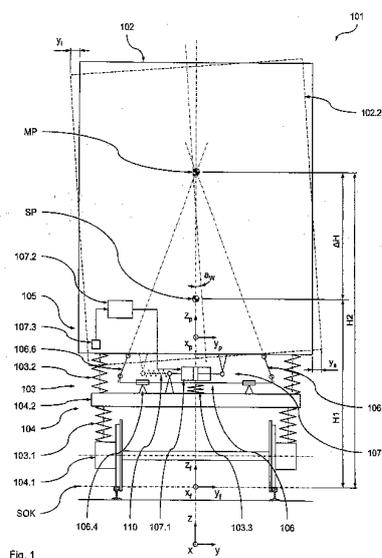


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug, mit einem Wagenkasten, der über eine Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk abgestützt ist, und einer Wankkompensationseinrichtung, die mit dem Wagenkasten und dem Fahrwerk gekoppelt ist, wobei die Wankkompensationseinrichtung insbesondere kinematisch parallel zu der Federeinrichtung angeordnet ist. Die Wankkompensationseinrichtung wirkt bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen, wobei die Wankkompensationseinrichtung zur Erhöhung des Neigungskomforts dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes Verfahren zur Einstellung eines Wankwinkels eines Wagenkastens 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 Lichtraumprofils 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 entgegenge wirkt 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 Querschleunigung 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 Querschleunigung 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 Querschleunigung (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 Querschleunigung 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 Querschleunigung) 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 der 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] 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 einen hohen Reisekomfort für die Passagiere bei hoher Transportkapazität des Fahrzeugs ermöglicht.

[0017] 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 17 durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 17 angegebenen Merkmale.

[0018] Der vorliegenden Erfindung liegt die technische Lehre zu Grunde, dass man auf einfache und zuverlässige Weise einen hohen Reisekomfort für die Passagiere bei hoher Transportkapazität des Fahrzeugs ermöglicht, wenn man eine aktive Lösung mit einer aktiven Wankkompensationseinrichtung wählt, die dem Wagenkasten in einem zweiten Frequenzbereich, der zumindest teilweise oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt, eine zweite Querauslenkung (gegebenenfalls also auch einen zweiten Wankwinkel um die Wankachse) aufprägt. Hierdurch kann der aus dem ersten Wankwinkel resultierenden Querauslenkung, deren Einstellung letztlich eine quasi-statische Anpassung des Wankwinkels und damit der Querauslenkung an die aktuelle Gleiskrümmung und die aktuelle Fahrgeschwindigkeit darstellt, eine zweite Querauslenkung (gegebenenfalls also auch ein zweiter Wankwinkel) überlagert werden, deren Einstellung letztlich eine dynamische Anpassung an aktuelle, in den Wagenkasten eingeleitete Störungen repräsentiert.

[0019] Während also über den ersten Wankwinkel und damit die erste Querauslenkung in dem ersten Frequenzbereich eine Erhöhung des Neigungskomforts realisiert wird, wird über die zweite Querauslenkung (und gegebenenfalls den zweiten Wankwinkel) 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 Momentenpol 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.

[0020] In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die zweiten Querauslenkungen je nach der Gestaltung und Anbindung der Wankkompensationseinrichtung gegebenenfalls nicht zwingend mit einem der (statischen) Kinematik der Wankkompensationseinrichtung entsprechenden

zweiten Wankwinkel einhergehen, der dem ersten Wankwinkel in dem zweiten Frequenzbereich überlagert ist. Dies rührt daher, dass beispielsweise bei einer vergleichsweise weichen, elastischen Anbindung der Wankkompensationseinrichtung an dem 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 dem ersten Wankwinkel also bei einer Gestaltung mit einer starren Ankopplung einer in sich starren Wankkompensationseinrichtung in dem zweiten Frequenzbereich letztlich ein zweiter Wankwinkel überlagert.

[0021] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Fahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug, mit einem Wagenkasten, der über eine Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk abgestützt ist, und einer Wankkompensationseinrichtung, die mit dem Wagenkasten und dem Fahrwerk gekoppelt ist. Die Wankkompensationseinrichtung kann dabei insbesondere kinematisch parallel zu der Federeinrichtung angeordnet sein. Bei Bogenfahrt wirkt die Wankkompensationseinrichtung Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegen. Zur Erhöhung des Neigungskomforts ist die Wankkompensationseinrichtung dazu ausgebildet, dem Wagenkasten in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Weiterhin ist die Wankkompensationseinrichtung zur Erhöhung des Schwingungskomforts dazu ausgebildet, dem Wagenkasten in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkung überlagerte zweite Querauslenkung aufzuprägen, wobei der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt.

[0022] Die Wankkompensationseinrichtung kann so ausgebildet sein, dass sie lediglich in dem zweiten Frequenzbereich aktiv ist, mithin also nur die zweite Querauslenkung bzw. gegebenenfalls den zweiten Wankwinkel aktiv einstellt, während die Einstellung des ersten Wankwinkels 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 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.

[0023] Die Wankkompensationseinrichtung kann grundsätzlich auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Bevorzugt umfasst die 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 des ersten Wankwinkels in dem ersten Frequenzbereich zumindest überwiegend beizutragen, insbesondere den ersten Wankwinkel bzw. die erste Querauslenkung im Wesentlichen zu erzeugen.

[0024] 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 Frequenzbe-

reich 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.

[0025] 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 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.

[0026] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeuges wird über die 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 Wankkompensationseinrichtung die Begrenzung der Querauslenkungen zur Verfügung, da hiermit eine besonders kompakte, Platz sparende Gestaltung realisiert werden kann.

[0027] Wie erwähnt, kann die Begrenzung der Querauslenkungen auf das seitens des Betreibers des Fahrzeugs vorgegebene Begrenzungsprofil abgestimmt werden. Besonders vorteilhafte Gestaltungen ergeben sich, wenn die Wankkompensationseinrichtung, insbesondere eine Aktuatoreinrichtung der 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.

[0028] Wie bereits erwähnt, kann die Begrenzung der Querauslenkungen bevorzugt durch eine Aktuatoreinrichtung der Wankkompensationseinrichtung realisiert sein. Bevorzugt ist dabei vorgesehen, dass die Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet, 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 eine einfacher mechanischer Anschlag) vorgesehen sein. Vorzugsweise ist die Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet ist, 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.

[0029] Die Aktuatoreinrichtung der 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 entgegensetzt. 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.

[0030] Bei bevorzugten Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist die Wankkompensationseinrichtung so gestaltet, dass auch bei Ausfall der aktiven Komponenten der Wankkompensationseinrichtung noch ein Notbetrieb des Fahrzeugs mit gegebenenfalls verschlechterten Komforteigenschaften (insbesondere hinsichtlich des Neigungskomforts und/oder des Schwingungskomforts) aber unter Einhaltung des vorgegebenen Begrenzungsprofils möglich ist.

[0031] Vorzugsweise ist daher vorgesehen, dass die Federeinrichtung bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung der Wankkompensationseinrichtung auf den Wagenkasten ein Rückstellmoment um die Wankachse ausübt, wobei 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 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.

[0032] 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 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.

[0033] Die Steifigkeit, insbesondere die Quersteifigkeit in Fahrzeugquerrichtung, der Abstützung des Wagenkastens auf dem 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 Wankkompensationseinrichtung für diese dynamischen Auslenkungen in dem zweiten Frequenzbereich geringere Kräfte zur Verfügung stellen muss.

[0034] Bevorzugt ist daher vorgesehen, dass die Federeinrichtung eine Rückstellkennlinie

definiert, wobei die Rückstellkennlinie die Abhängigkeit des Rückstellmoments von der Wankwinkelauslenkung 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 Querauslenkungsbereichs liegenden zweiten 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, 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.

[0035] 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.

[0036] 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 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.

[0037] Bevorzugt weist die 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.

[0038] 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.

[0039] 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 Federeinrichtung, insbesondere von deren Quersteifigkeit, realisiert werden.

[0040] Vorzugsweise ist daher für ein günstiges Verhalten in einem solchen Notbetrieb des Fahrzeugs vorgesehen, dass die 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 Querbesehleunigung 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.

[0041] 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 Wankkompensationseinrichtung eine Querauslenkung (und damit eine entsprechende Wankwinkelauslenkung) des Wagenkastens aus der Neutralstellung bei der Nennbelastung und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung stehendem Fahrzeug weniger als 10 mm bis 40 mm beträgt, vorzugsweise weniger als 20 mm beträgt.

[0042] Die aktiven Komponenten der 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.

[0043] Bei Varianten des erfindungsgemäßen Fahrzeugs mit besonders günstigen dynamischen Eigenschaften ist die Wankkompensationseinrichtung derart ausgebildet, dass eine Aktuatoreinrichtung der 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.

[0044] 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.

[0045] Die 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 Wankkompensationseinrichtung 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.

[0046] 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.

[0047] Zusätzlich oder alternativ kann die 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.

[0048] 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.

[0049] Es sei an dieser Stelle 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 des Wankwinkels in dem ersten Frequenzbereich und dem zweiten Frequenzbereich unabhängig ist.

[0050] 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.

[0051] Hiermit ist eine Integration in einen Großteil der typischerweise verwendeten Fahrzeuge möglich.

[0052] Die Steifigkeit der 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.

[0053] Bevorzugt ist die Querfedereinrichtung zur Erhöhung der Steifigkeit der 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.

[0054] Bei bevorzugten Ausführungen des erfindungsgemäßen Fahrzeugs ist weiterhin vorgesehen, dass die 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.

[0055] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Einstellen eines Wankwinkels eines über eine Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk abgestützten Wagenkastens eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, um eine zu einer Fahrzeuglängsachse des Fahrzeugs parallele Wankachse, bei dem der Wankwinkel aktiv eingestellt wird. Bei Bogenfahrt wird Wankbewegungen des Wagenkastens nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegenwirkt, wobei dem Wagenkasten zur Erhöhung des Neigungskomforts in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens in Richtung einer Fahrzeugquerachse ein erster Wankwinkel um die Wankachse aufgeprägt wird, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht. Dem Wagenkasten wird zur Erhöhung des Schwingungskomforts in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkung überlagerte zweite Querauslenkung aufgeprägt, wobei der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt. 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.

[0056] 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:

[0057] Figur 1 eine schematische Schnittansicht einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung (entlang der Linie I-I aus Figur 3);

[0058] Figur 2 eine schematische Schnittansicht des Fahrzeugs aus Figur 1 bei Bogenfahrt;

[0059] Figur 3 eine schematische Seitenansicht des Fahrzeugs aus Figur 1;

[0060] Figur 4 eine schematische perspektivische Ansicht eines Teils des Fahrzeugs aus Figur 1;

[0061] Figur 5 eine Querkraft-Weg-Charakteristik der Federeinrichtung des Fahrzeugs aus Figur 1;

[0062] Figur 6 eine schematische Schnittansicht einer weiteren bevorzugten Ausführungsform

des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung;

[0063] Figur 7 eine schematische Schnittansicht einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Neutralstellung.

ERSTES AUSFÜHRUNGSBEISPIEL

[0064] 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.

[0065] 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 seiner beiden Enden jeweils über eine Federeinrichtung 103 auf einem Fahrwerk in Form eines Drehgestells 104 abgestützt ist. Es versteht sich jedoch, dass die vorliegende Erfindung auch in Verbindung mit anderen Konfigurationen eingesetzt werden kann, bei denen der Wagenkasten lediglich auf einem Fahrwerk abgestützt ist.

[0066] Zum einfacheren Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen ist in den Figuren ein (durch die Radaufstandsebene des Drehgestells 104 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 vorgegebenes) absolutes Koordinatensystem x, y, z und ein (durch den Wagenkasten 102 vorgegebenes) Passagier-Koordinatensystem x_p, y_p, z_p definiert.

[0067] Das Drehgestell 104, umfasst zwei Radeinheiten in Form von Radsätzen 104.1, auf denen sich jeweils über eine Primärfederung 103.1 der 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 Federeinrichtung handeln kann. Insbesondere bei der Sekundärfederung 103.2 handelt es sich bevorzugt um eine hinlänglich bekannte Luftfederung oder dergleichen.

[0068] Das Fahrzeug 101 umfasst weiterhin im Bereich eines jeden Drehgestells 104 eine Wankkompensationseinrichtung 105, die kinematisch parallel zu der Sekundärfederung 103.2 zwischen dem Drehgestellrahmen 104.2 und dem Wagenkasten 102 in der nachfolgend noch näher beschriebenen Weise wirkt.

[0069] Wie insbesondere Figur 1 zu entnehmen ist umfasst die 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 ($x_f z_f$ -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_f -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.

[0070] 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 ($y_f z_f$ -Ebene) im vorliegenden Beispiel derart zur Hochachse (z_f -Achse) des Fahr-

zeugs 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_f -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.

[0071] 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_f -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.

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] Dank dieser durch die Kinematik der Wankstütze 106 vorgegebenen Kompensationsbewegung wird unter anderem der Neigungskomfort 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 Querbeschleunigung 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 Querbeschleunigungskomponente a_{yp} bzw. Zentrifugalkraftkomponente F_{yp} wird somit in vorteilhafter Weise reduziert.

[0075] Die maximal zulässigen Werte für die im Bezugssystem (x_p, y_p, z_p) der Passagiere wirkende Querbeschleunigung $a_{yp,max}$ werden in der Regel von den Betreibern des Fahrzeugs 101 vorgegeben. Anhaltspunkte hierfür liefern auch nationale und internationale Normen (wie beispielsweise die EN 12299).

[0076] 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 $a_{y_{ps}}$ und einer zweiten Beschleunigungskomponente $a_{y_{pd}}$ gemäß der Gleichung:

$$\mathbf{a}_{yp} = \mathbf{a}_{y_{ps}} + \mathbf{a}_{y_{pd}} \quad (1)$$

[0077] Der aktuelle Wert der ersten Beschleunigungskomponente $a_{y_{ps}}$ resultiert aus dem Durchfahren des aktuellen Gleisbogens mit der aktuellen Fahrgeschwindigkeit, während der aktuelle Wert der zweiten Beschleunigungskomponente $a_{y_{pd}}$ aus aktuellen (periodischen oder meist

singulären) Ereignissen resultiert (wie beispielsweise dem Überfahren einer Störstelle im Gleis, wie beispielsweise einer Weiche oder dergleichen).

[0078] 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.

[0079] 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_r -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_r -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:

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

[0080] 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.

[0081] 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).

[0082] 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 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.

[0083] 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.

[0084] 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_r -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.

[0085] 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 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 die gilt:

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

[0086] Die Einstellung der Querauslenkung dy_w erfolgt erfindungsgemäß unter Verwendung des Sollwerts für die Querauslenkung $dy_{W,soll}$ des Wagenkastens 102, der sich aus der quasi statischen Komponente $dy_{Ws,soll}$ und der dynamischen Komponente $dy_{Wd,soll}$ zusammensetzt, wie dies beispielsweise in Gleichung (2) definiert ist.

[0087] Um den Neigungskomfort für die Passagiere zu erhöhen, erfolgt die (durch die Zentrifugalkraft F_y unterstützte) Einstellung der ersten Querauslenkung 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.

[0088] Um zusätzlich zu dem Neigungskomfort auch den Schwingungskomfort für die Passagiere zu erhöhen, erfolgt die Einstellung der zweiten Querauslenkung dy_{Wd} im vorliegenden Beispiel erfindungsgemäß in einem zweiten Frequenzbereich F2, der sich von 1,0 Hz bis 6,0 Hz bis 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.

[0089] 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.

[0090] Durch die erfindungsgemäße Lösung wird der ersten Querauslenkung 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 Querauslenkung 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.

[0091] 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.

[0092] Diese durch die Steuereinrichtung 107.2 verarbeiteten Größen können auf beliebige geeignete Weise ermittelt werden. Insbesondere für die Ermittlung des Sollwerts der dynamischen zweiten Querauslenkung $dy_{Wd,soll}$ 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).

[0093] 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.

[0094] 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.

[0095] 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.

[0096] 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 Sekundärfederung 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.

[0097] 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.

[0098] 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.

[0099] 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.

[00100] 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 R_2 im Bereich von 0 N/mm bis 300 N/mm liegt.

[00101] Im vorliegenden Beispiel weist die Kraftkennlinie 108 folglich in dem ersten Querauslenkungsbereich Q_1 eine erste Steigung $S_1 = dF_{yF}/dy_{F1}(Q_1)$ und in dem Querauslenkungsbereich Q_2 eine zweite Steigung $S_2 = dF_{yF}/dy_{F1}(Q_2)$ auf, die geringer ist als die erste Steigung. Das Verhältnis $V = S_2/S_1$ der zweiten Steigung S_2 zu der ersten Steigung S_1 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.

[00102] Die beiden Querauslenkungsbereiche Q_1 und Q_2 können ebenfalls auf beliebige geeignete, an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Weise gewählt sein. Im vorliegenden Beispiel erstreckt sich der erste Querauslenkungsbereich Q_1 von 0 mm bis 40 mm, während sich der zweite Querauslenkungsbereich Q_2 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.

[00103] 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 W_1 eine erste Steigung S_1 und in einem oberhalb des ersten Wankwinkelbereichs W_1 liegenden zweiten Wankwinkelbereich W_2 eine zweite Steigung auf, die geringer ist als die erste Steigung. Auch bei dieser Betrachtungsweise liegt das Verhältnis $V = S_2/S_1$ der zweiten Steigung S_2 zu der ersten Steigung S_1 im Bereich von 0 bis 3. Der erste Wankwinkelbereich W_1 erstreckt sich dann je nach der vorgegebenen Kinematik beispielsweise von 0° bis $1,3^\circ$, während sich der zweite Wankwinkelbereich W_2 von $1,0^\circ$ bis $4,0^\circ$ erstreckt.

[00104] 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.

[00105] 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.

[00106] 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 F_2 bei Bogenfahrt des Fahrzeugs 101 von Vorteil, da die Wankkompensationseinrichtung 105 für diese dynamischen Auslenkungen in dem zweiten Frequenzbereich F_2 dann vergleichsweise geringe Kräfte zur Verfügung stellen muss.

[00107] 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.

[00108] 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.

[00109] 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.

[00110] 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.

[00111] 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.

[00112] 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 $\alpha_{\text{not,max}}(m_{\text{max}}, v_0, \gamma_{\text{max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung (d. h. $m = m_{\text{max}}$) des Wagenkastens 102 und bei in einer maximal zulässigen Gleisüberhöhung (d. h. $\gamma = \gamma_{\text{max}}$) stehendem Fahrzeug (d. h. $v = v_0 = 0$) weniger als 2° beträgt. Für die erste maximale Querauslenkung $dy_{\text{a,not,max}}(m_{\text{max}}, v_0, \gamma_{\text{max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogenaußen gilt im vorliegenden Beispiel, dass diese auf 60 mm begrenzt ist. Für die zweite maximale Querauslenkung $dy_{\text{i,not,max}}(m_{\text{max}}, v_0, \gamma_{\text{max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogeninnen gilt hierbei, dass diese auf 20 mm begrenzt ist.

[00113] 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.

[00114] Weiterhin ist das Rückstellmoment M_{xf} bei inaktivem Aktuator 107.1 so bemessen, dass eine Wankwinkelauslenkung $\alpha_{\text{not,max}}(m_{\text{max}}, a_{\text{yf,max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung bei einer Nennbelastung (d. h. $m = m_{\text{max}}$) des Wagenkastens 102 und bei einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querschleunigung ($a_{\text{yf,max}}$) des Fahrzeugs weniger als 2° beträgt. Für die erste maximale Querauslenkung $dy_{\text{a,not,max}}(m_{\text{max}}, a_{\text{yf,max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogenaußen gilt im vorliegenden Beispiel, dass diese auf 60 mm begrenzt ist. Für die zweite maximale Querauslenkung $dy_{\text{i,not,max}}(m_{\text{max}}, a_{\text{yf,max}})$ des Wagenkastens 102 aus der Neutralstellung nach bogeninnen gilt hierbei, dass diese auf 20 mm begrenzt ist.

[00115] 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.

[00116] 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.

[00117] 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 -Richtung) vergleichsweise klein gewählt ist.

[00118] 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

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

[00119] 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.

[00120] 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.

[00121] 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.

[00122] 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 Querbeschleunigung 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.

[00123] Mit anderen Worten kommt es also auch im Fall einer solchen Störung bzw. eines Notbetriebs des Fahrzeugs 101 zu vergleichsweise geringen Querauslenkungen des Wagen-

kastens 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.

[00124] 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.

[00125] 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).

[00126] 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.

[00127] 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.

[00128] 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.

[00129] 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.

[00130] 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.

[00131] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Steuereinrichtung 107.2 den Unterschied

$$\Delta\alpha_w = \alpha_{w1} - \alpha_{w2} \quad (5)$$

[00132] zwischen dem Wankwinkel α_{w1} an dem vorlaufenden Drehgestell 104 und dem Wankwinkel α_{w2} an dem nachlaufenden Drehgestell 104 begrenzt bzw. den Unterschied

$$\Delta dy_w = dy_{w1} - dy_{w2} \quad (6)$$

[00133] 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.

[00134] 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.

[00135] 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

[00136] 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.

[00137] 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.

[00138] 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.

[00139] 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.

[00140] 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 Fahrzeugquerachse geneigt angeordnet, sodass sie die Wankachse bzw. den Momentanpol MP des Wagenkastens 102 definieren.

[00141] 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.

[00142] 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.

[00143] 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.

[00144] 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.

[00145] 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.

[00146] 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.

[00147] 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.

[00148] 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.

[00149] 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

[00150] 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.

[00151] 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.

[00152] 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.

[00153] 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.

[00154] 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.

[00155] 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.

[00156] 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.

[00157] 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.

Ansprüche

1. Fahrzeug, insbesondere Schienenfahrzeug, mit
 - einem Wagenkasten (102), der über eine Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk (104) abgestützt ist, und
 - einer Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305), die mit dem Wagenkasten (102) und dem Fahrwerk (104) gekoppelt ist, wobei
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) insbesondere kinematisch parallel zu der Federeinrichtung (103) angeordnet ist,
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuglängsachse parallele Wankachse entgegenwirkt,
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) zur Erhöhung des Neigungskomforts dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse einen ersten Wankwinkel um die Wankachse aufzuprägen, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht, und

dadurch gekennzeichnet, dass

 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) zur Erhöhung des Schwingungskomforts dazu ausgebildet ist, dem Wagenkasten (102) in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkung überlagerte zweite Querauslenkung aufzuprägen, wobei
 - der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt.
2. Fahrzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) eine Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) mit wenigstens einer durch eine Steuereinrichtung (107.2; 207.2; 307.2) angesteuerten Aktuatoreinheit (107.1; 207.1; 307.1) aufweist, wobei
 - die 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.

3. Fahrzeug nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - 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 Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) auch bei Geradeausfahrt aktiv ist.
4. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305), insbesondere eine Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305), derart ausgebildet ist, dass
 - eine in einer Fahrzeugquerrichtung bei Bogenfahrt nach bogenaußen erfolgende erste maximale Querauslenkung 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.
5. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - eine Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der 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 Aktuatoreinrichtung dazu ausgebildet ist, die Position des wenigstens einen Endanschlags für die Wankbewegung des Wagenkastens (102) variabel zu definieren.
6. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) im Falle ihrer Inaktivität einer Wankbewegung des Wagenkastens (102) höchstens einen geringen Widerstand, insbesondere im Wesentlichen keinen Widerstand entgegengesetzt.
7. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt,
 - die 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 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 Querschleunigung des Fahrzeugs weniger als 40 mm bis 80 mm beträgt, vorzugsweise weniger als weniger als 60 mm beträgt,
8. Fahrzeug nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - die Federeinrichtung (103) eine Rückstellkennlinie definiert, wobei
 - die Rückstellkennlinie die Abhängigkeit des Rückstellmoments von der Wankwinkel-

- lenkung 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.
9. Fahrzeug nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und
 - die 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 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.
10. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- der Wagenkasten (102) eine Nennbeladung und eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und
 - die Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeugquerachse eine Quersteifigkeit aufweist, wobei
 - die Quersteifigkeit der Federeinrichtung (103) derart bemessen ist, dass bei Inaktivität einer Aktuatoreinrichtung (107; 207; 307) der Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) bei Bogenfahrt mit einer maximal zulässigen in Richtung einer Fahrzeugquerachse wirkenden Querbeschleunigung 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.
11. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- der Wagenkasten (102) eine Neutralstellung aufweist, die er bei stehendem Fahrzeug im geraden ebenen Gleis einnimmt, und
 - die Wankkompensationseinrichtung (105; 205; 305) derart ausgebildet ist, dass eine Ak-

- tuatoreinrichtung (107; 207; 307) der 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.
12. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **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 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.
13. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Wankkompensationseinrichtung (105) eine Wankstützeinrichtung (106) umfasst, die kinematisch parallel zu der Federeinrichtung (103) angeordnet und dazu ausgebildet ist, Wankbewegungen des Wagenkastens (102) um die Wankachse bei Geradeausfahrt entgegenzuwirken, wobei
 - die 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 Fahrwerk (104) gelagert ist.
- und/oder
- die Wankkompensationseinrichtung (205; 305) eine Führungseinrichtung (211; 311) umfasst,
 - die Führungseinrichtung (211; 311) kinematisch seriell zu der Federeinrichtung (103) angeordnet ist,
 - die Führungseinrichtung (211; 311) ein Führungselement (211.1; 311.1) umfasst, das zwischen dem 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 Fahrwerks (104) zu definieren, wobei
 - die Führungseinrichtung (211; 311) insbesondere wenigstens eine Schichtfedereinrichtung (211.3; 311.3) umfasst.
14. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- das Fahrwerk (104) einen Fahrwerksrahmen (104.2) und wenigstens eine Radeinheit (104.1) aufweist und
 - die 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 Wankkompensationseinrichtung (105) kinematisch parallel zu der Sekundärfederung (103.2) zwischen dem Fahrwerksrahmen (104.2) und dem Wagenkasten (102) angeordnet ist.
15. Fahrzeug nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Federeinrichtung (103) eine Querfedereinrichtung (110) umfasst, wobei
 - die Querfedereinrichtung (110)
 - 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 Wankkompensationseinrichtung (105) verbunden ist
- und
- die Querfedereinrichtung (110) insbesondere zur Erhöhung der Steifigkeit der Federeinrichtung (103) in Richtung einer Fahrzeugquerachse ausgebildet ist, wobei die Querfedereinrichtung (110) insbesondere eine degressive Steifigkeitscharakteristik aufweist.
16. Fahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Federeinrichtung (103) eine Notfedereinrichtung (103.3) aufweist, die in Fahrzeugquerrichtung mittig am Fahrwerk (104) angeordnet ist, wobei
 - die Notfedereinrichtung (103.3) insbesondere derart ausgebildet ist, dass sie die Kompensationswirkung der Wankkompensationseinrichtung (105) unterstützt.
17. Verfahren zum Einstellen eines Wankwinkels eines über eine Federeinrichtung in Richtung einer Fahrzeughochachse auf einem Fahrwerk (104) abgestützten Wagenkastens (102) eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, um eine zu einer Fahrzeuginnenachse des Fahrzeugs parallele Wankachse, bei dem
- der Wankwinkel aktiv eingestellt wird, wobei
 - bei Bogenfahrt Wankbewegungen des Wagenkastens (102) nach bogenaußen um eine zu einer Fahrzeuginnenachse parallele Wankachse entgegenwirkt wird und
 - dem Wagenkasten (102) zur Erhöhung des Neigungskomforts in einem ersten Frequenzbereich unter einer ersten Querauslenkung des Wagenkastens (102) in Richtung einer Fahrzeugquerachse ein erster Wankwinkel um die Wankachse aufgeprägt wird, der einer aktuellen Krümmung eines aktuell durchfahrenen Gleisabschnitts entspricht,
- dadurch gekennzeichnet**, dass
- dem Wagenkasten (102) zur Erhöhung des Schwingungskomforts in einem zweiten Frequenzbereich eine der ersten Querauslenkung überlagerte zweite Querauslenkung aufgeprägt wird, wobei
 - der zweite Frequenzbereich zumindest teilweise, insbesondere vollständig, oberhalb des ersten Frequenzbereichs liegt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Wankwinkel in dem ersten Frequenzbereich zumindest überwiegend, insbesondere im Wesentlichen vollständig, aktiv erzeugt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- 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,
20. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einstellung der zweiten Querauslenkung in dem zweiten Frequenzbereich zur Erhöhung des Schwingungskomforts auch bei Geradeausfahrt erfolgt.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

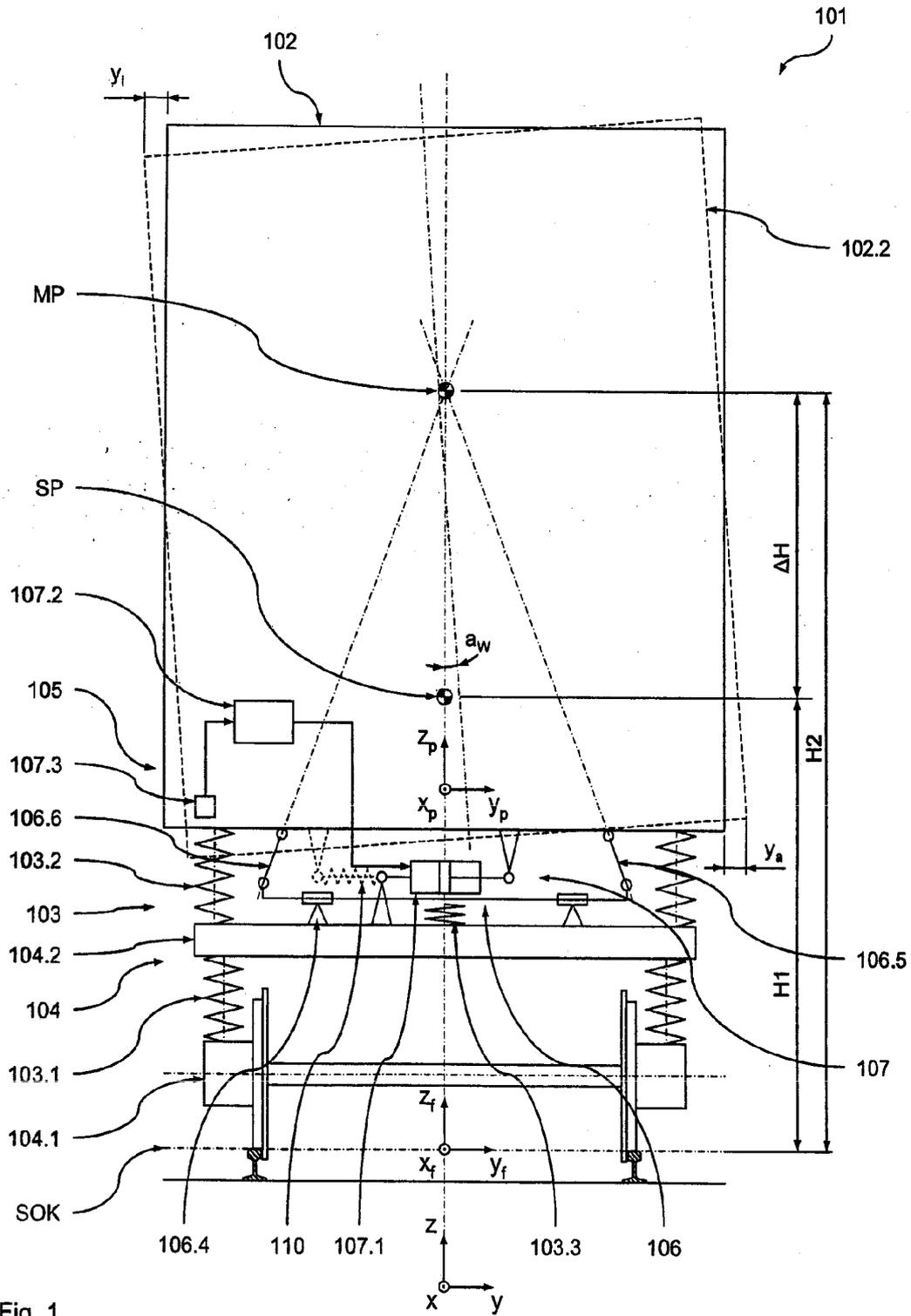


Fig. 1

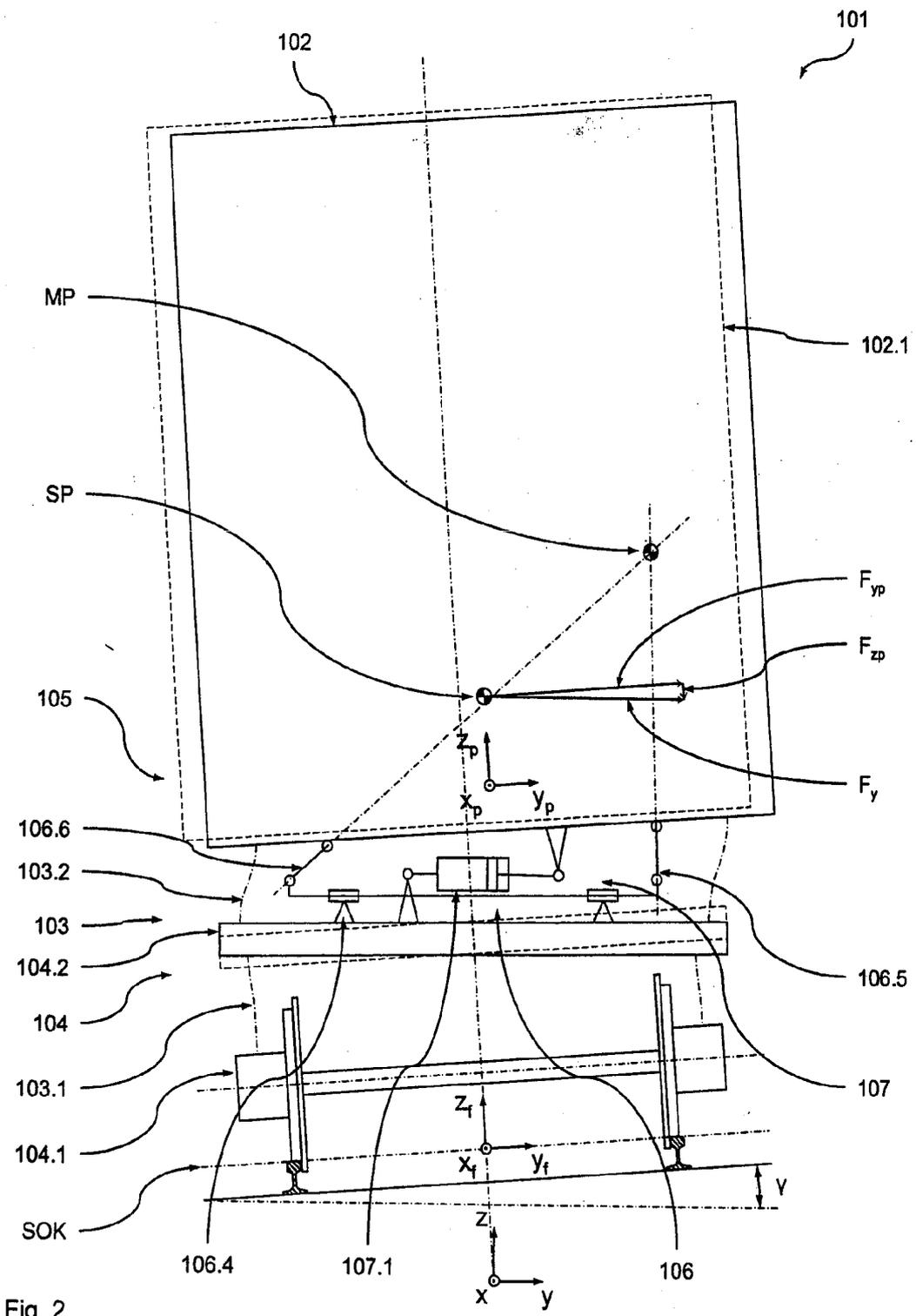


Fig. 2

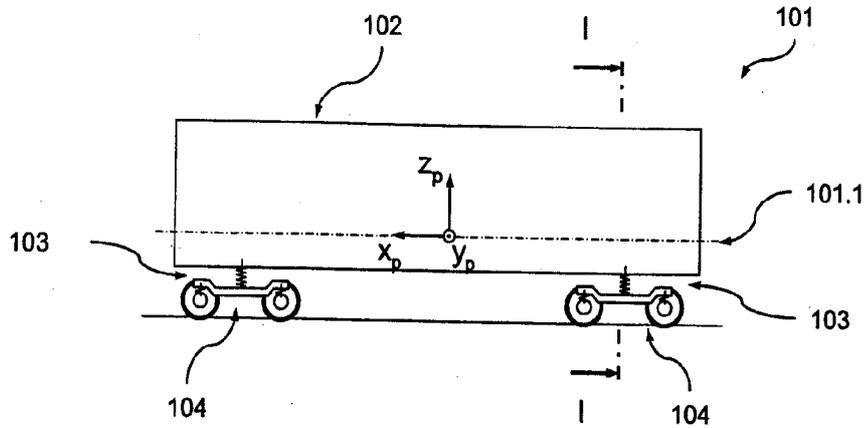


Fig. 3

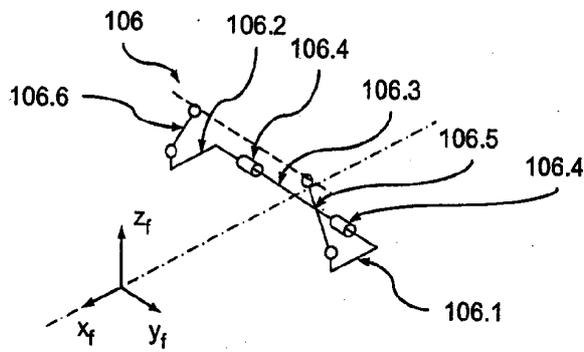


Fig. 4

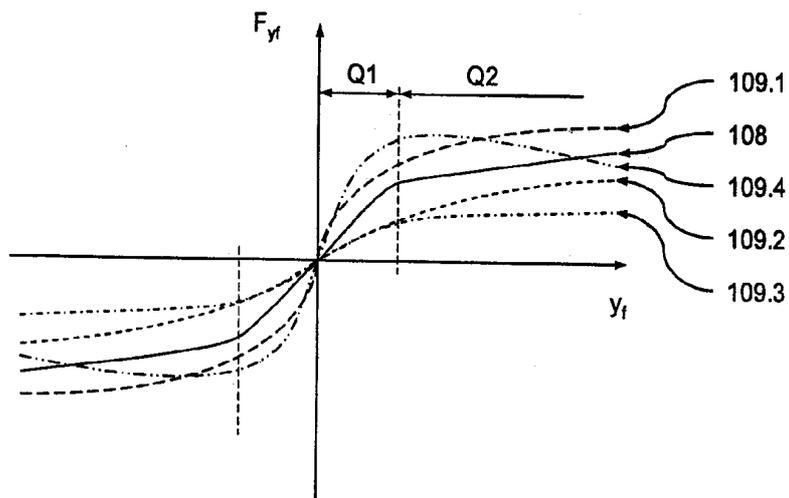


Fig. 5

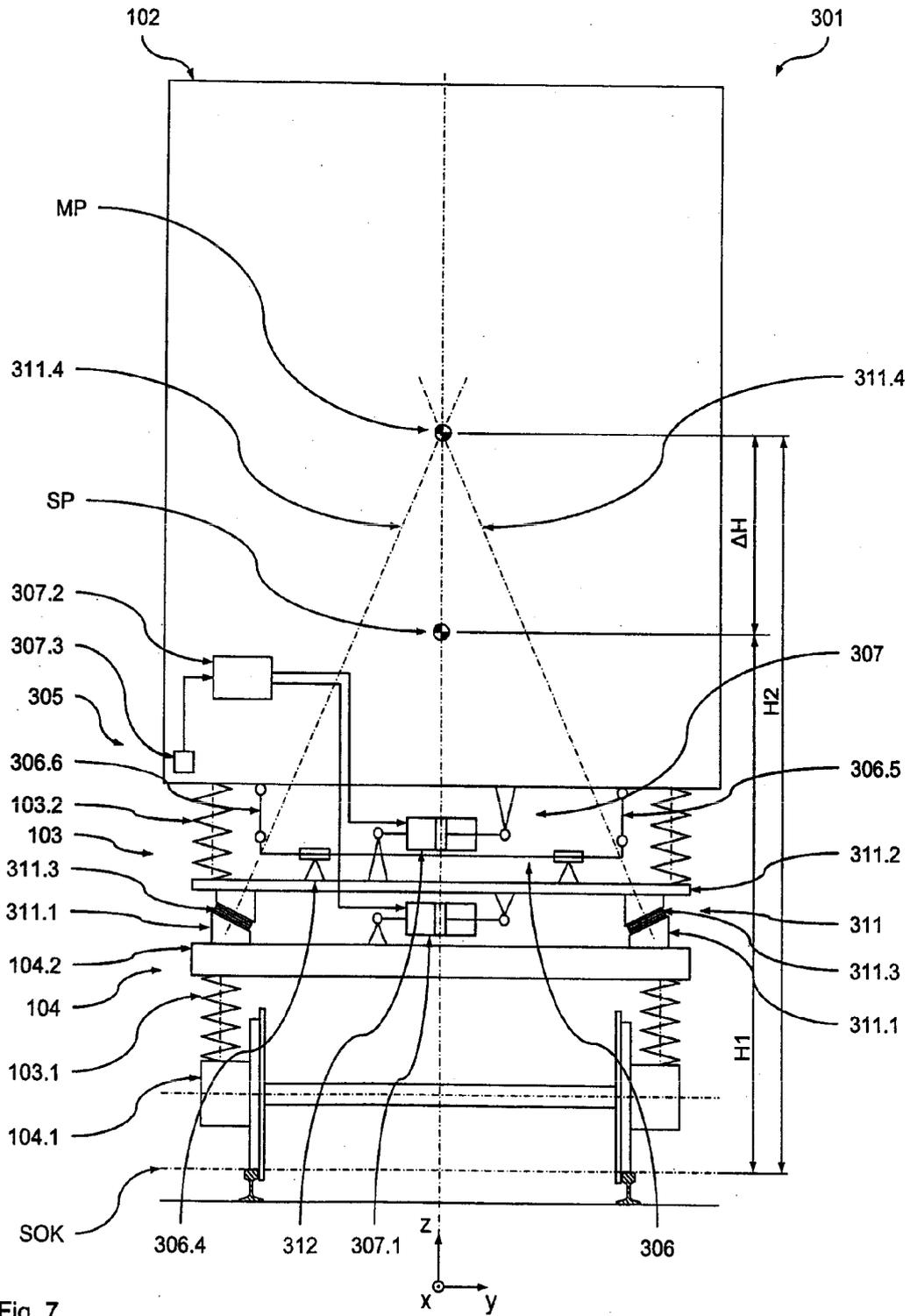


Fig. 7