



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 048 718 A1** 2006.06.14

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 048 718.1**

(22) Anmeldetag: **12.10.2005**

(43) Offenlegungstag: **14.06.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B60W 30/02** (2006.01)

**B60W 40/10** (2006.01)

**B60W 10/18** (2006.01)

**B60W 10/20** (2006.01)

**B60W 10/22** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**10/966,395**      **15.10.2004**      **US**

**10/972,973**      **25.10.2004**      **US**

(71) Anmelder:

**Ford Global Technologies, LLC (n.d.Ges.d.  
 Staates Delaware), Dearborn, Mich., US**

(74) Vertreter:

**Viering, Jentschura & Partner, 80538 München**

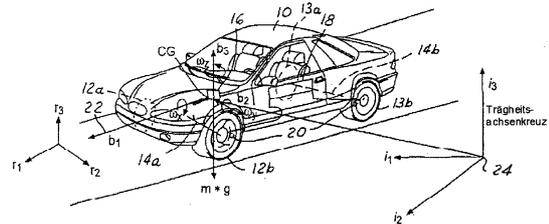
(72) Erfinder:

**Lu, Jianbo, Livonia, Mich., US; Mattson, Keith  
 Glenn, Livonia, Mich., US; Messih, David John,  
 Farmington Hills, Mich., US; Chubb, Erik  
 Christopher, Hazel Park, Mich., US; Salib, Albert  
 Chenouda, Superior Twp, Mich., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zum dynamischen Bestimmen einer Fahrzeugbelastung und eines vertikalen Lastabstandes zur Verwendung in einem Fahrzeugdynamik-Steuersystem**

(57) Zusammenfassung: System und Verfahren zum dynamischen Bestimmen einer Fahrzeugbelastung und eines vertikalen Lastabstandes zur Verwendung in einem Fahrzeugdynamik-Steuersystem, wobei das Steuersystem einen Wankratensensor, der ein Wankratensignal erzeugt, einen Querbeschleunigungssensor, der ein Querbeschleunigungssignal erzeugt, einen Längsbeschleunigungssensor, der ein Längsbeschleunigungssignal erzeugt, und einen Gierratensensor aufweist, der ein Gierratensignal erzeugt. Ein Sicherheitssystem und die Sensoren sind mit einer Steuervorrichtung gekoppelt. Die Steuervorrichtung bestimmt eine hinzugefügte Masse und die Höhe der hinzugefügten Masse oder einen Wankgradienten, einen Wankbeschleunigungskoeffizienten und/oder einen Wankratenparameter, die die hinzugefügte Masse und die Höhe mittels der Wankrate, der Querbeschleunigung, der Längsbeschleunigung und der Gierrate berücksichtigen, und steuert das Sicherheitssystem in Reaktion darauf.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft im Allgemeinen eine Steuereinrichtung zum Steuern eines Systems eines Kraftfahrzeugs in Reaktion auf ein erfasstes Dynamikverhalten, und insbesondere ein Verfahren und eine Einrichtung zum Bestimmen einer Fahrzeugbeladung und eines vertikalen Lastabstandes und/oder des Einflusses der Fahrzeugbeladung auf die Wankdynamik des Fahrzeugs.

### Stand der Technik

**[0002]** Seit jüngstem wurden Fahrzeugwankstabilitätssteuerungs(RSC – Roll Stability Control)-Systeme, wie in dem US-Patent 6,324,446, vorgeschlagen, um den Aspekt von reibungsbasierten Überschlagen bzw. Überrollereignissen zu behandeln. Ein RSC-System weist eine Vielzahl von Sensoren, die Fahrzeugzustände erfassen, und eine Steuervorrichtung auf, die eine Bremsdruckausgabe so steuert, dass die Reifenkraft reduziert wird, so dass das Nettomoment des Fahrzeugs der Wankrichtung entgegenwirkt.

**[0003]** Während eines ein Wanken des Fahrzeugs bewirkenden Ereignisses wird die Fahrzeugkarosserie infolge der Kopplung der Reifenquerkraft und der dem Schwerpunkt der Fahrzeugkarosserie beaufschlagten Querbewegung mit einem Wankmoment beaufschlagt. Dieses Wankmoment verursacht eine Aufhängungshöhenveränderung, welche wiederum zu einem relativen Fahrzeugwankwinkel (auch Fahrgestell-Wankwinkel oder Aufhängungs-Wankwinkel genannt) führt. Der relative Wankwinkel ist eine wichtige Variable, die als Eingabe für die Aktivierungskriterien und zum Erzeugen des Bremsdruck-Regelbefehls verwendet wird, da sie das relative Wanken zwischen der Fahrzeugkarosserie und der Achse erfasst. Die Summe solch eines Fahrgestell-Wankwinkels und des Wankwinkels zwischen der Radachse und der Straßenfläche (Radabweichungswinkel (WDA – Wheel Departure Angle) genannt) stellt den Wankwinkel zwischen der Fahrzeugkarosserie und der durchschnittlichen Straßenfläche bereit, welcher eine der wichtigen Variablen ist, die zum Wankstabilitätssteuerungs-Modul zurückgeführt werden.

**[0004]** Solch ein Fahrgestell-Wankwinkel kann, wie in dem US-Patent 6,556,908 beschrieben, unter Verwenden der Querbewegung des Schwerpunkts der Fahrzeugkarosserie, der Wankwinkelbeschleunigung und der Wankwinkelgeschwindigkeit bzw. Wankrate zusammen mit Fahrzeugparametern, wie beispielsweise der federten Masse, dem Fahrzeugkarosserie-Trägheitswankmoment, der Wanksteifigkeit und dem Dämpfungsverhältnis der Aufhängungen und der Stabilisatoren sowie dem Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Fahrzeugkarosserie und dem Boden der Fahrzeugkarosserie, berechnet werden. Die Offenbarung des US-Patents 6,556,908 wird hierin durch Bezugnahme aufgenommen.

**[0005]** Ein Problem beim Verwenden dieser Parameter in der Berechnung besteht darin, dass der zuvor genannte relative Wankwinkel mit den Fahrzeugbetriebszuständen variieren kann. Beispielsweise kann eine 150 Pfund Dachlast auf einem üblichen Geländewagen (SUV – Sport Utility Vehicle) mit einem Leergewicht von 5000 Pfund mehr als 30% Fehler in Berechnungen des relativen Wankwinkels bewirken, wenn unter Annahme keiner Dachlast berechnet wird. Obwohl aus Sicht der Fahrzeugmasse eine Dachlast von 150 Pfund nur eine 3%ige Massenveränderung gegenüber dem Fahrzeugleergewicht ausmacht, kann diese einen Fehler von 30% bei der Fahrgestell-Wankwinkel-Berechnung ausmachen, welcher zehnmal größer ist. Wenn die oben genannten Parameter im RSC-System mit bestimmten Nennwerten fest vorgegeben werden, ist es denkbar, dass unter unterschiedlichen Beladungszuständen keine optimale Steuerungsleistung erzielt werden kann. Beispielsweise kann, wenn der relative Wankwinkel mit Fahrzeugbeladungszustand-Nennannahmen und ohne Berücksichtigung einer Dachlast berechnet wird, der relative Wankwinkel für Fahrzeuge mit Dachlasten zu klein geschätzt bzw. berechnet werden, was zu einer reduzierten bzw. zu geringen Steuerungsmaßnahme führt. D.h., das Steuersystem kann nicht so effektiv wie gewünscht sein. Andererseits kann, wenn der relative Wankwinkel unter Annahme einer maximalen Dachlast berechnet wird, der relative Wankwinkel für Fahrzeuge ohne Dachlasten zu groß geschätzt bzw. berechnet werden, was unbeabsichtigte Steuerungsmaßnahmen bewirkt. D.h., das Steuersystem kann zu empfindlich bzw. aufdringlich werden. Daher kann es zum Verbessern der Gesamtleistung des RSC-Systems wünschenswert sein, die Fahrzeugparameter periodisch zu schätzen bzw. berechnen und zu aktualisieren oder basierend auf einer erfassten Dachlast in Echtzeit adaptiv anzupassen.

**[0006]** Es wurden bestimmte Systeme zum Erfassen von Fahrzeugparametern offenbart. Beispielsweise ist in dem US-Patent 4,548,079 ein Verfahren offenbart zum direkten Bestimmen der Fahrzeugmasse unter Verwendung der Motordrehmomentabgabe und der Fahrzeugbeschleunigung. Gleichfalls wird in dem US-Patent 5,490,063 zum Erlangen der Fahrzeugmasse eine Schubkraft aus dem Antriebsstrangdrehmoment und dem Übersetzungsverhältnis bestimmt. In dem US-Patent 6,167,357 ist anstatt eines direkten Berechnens der

Fahrzeugmasse ein rekursiver Kleinstfehlerquadrat-Algorithmus bzw. Rekursiv-Least-Square-Algorithmus (RLS-Algorithmus) vorgeschlagen, um online sowohl die Fahrzeugmasse als auch den Aerodynamik-Koeffizienten zu schätzen. Das letztere Verfahren wird als zuverlässiger erachtet, da es rekursiv den Schätzfehler der vorhergehenden Schätzwerte bereinigt. Ferner wird das Verwenden der Fahrzeugbeschleunigung, welche gewöhnlich sehr verrauscht ist, vermieden. Die in den oben genannten Patenten vorgeschlagenen Massenschätzmodelle können jedoch nicht genau Änderungen von Parametern anzeigen, die die Wankdynamik des Fahrzeugs beeinflussen. Beispielsweise könnte eine 150 Pfund Dachlast auf einem SUV mit einem Leergewicht von 5000 Pfund, d.h. eine 3%ige Massenveränderung, in den oben genannten Systemen infolge des potenziellen Fehlers im Motordrehmoment, welcher gewöhnlich viel größer als 3% ist, unerfassbar sein. Andere Fehlerquellen weisen das Straßengefälle, eine Änderung im Reifenabrollradius infolge eines Reifendruckabfalls und infolge von Veränderungen in der Fahrzeugbeladung sowie den Fahrzeugluftwiderstand bzw. Fahrzeugfahrwiderstand auf.

**[0007]** Die oben genannten Systeme fokussieren hauptsächlich auf große Massenveränderungen, welche signifikanten Einfluss auf die Fahrzeuginnenraumdynamik und den Fahrzeugkraftstoffverbrauch haben können. Sie differenzieren nicht dahingehend, ob die Änderung in der Fahrzeugmasse infolge einer Bodenlast (Last auf dem Boden der Fahrzeugkarosserie) oder infolge einer Dachlast stattfindet. Jedoch verursacht in unserem Fall die Dachlast viel signifikantere Veränderungen der Wankbewegungsparameter als es die gleiche Last als Bodenlast tut. D.h., es besteht die Notwendigkeit, nicht nur die Größe der Last (welche eventuell klein ist) zu erfassen, sondern ferner die Position der Last (den vertikalen Abstand und den Längsabstand der Last in Bezug auf beispielsweise den Fahrzeugboden oder den Schwerpunkt der Fahrzeugkarosserie) zu erfassen.

**[0008]** D.h., der Stand der Technik behandelt nicht die Fahrzeugträgheitseigenschaften und die Fahrzeugmasseneigenschaften in Bezug auf die Wankdynamik und die Querdynamik der Fahrzeugkarosserie. Die in der Literatur vorgeschlagenen Schätzverfahren berücksichtigen die Fahrzeuginnenraumdynamik und sind nicht geeignet für ein RSC-System, bei dem die Querdynamik und die Wankdynamik wichtiger als die Längsdynamik sind.

**[0009]** Ferner wurden im Stand der Technik die anderen Parameter, die die Wankdynamik und die Querdynamik der Fahrzeugkarosserie beeinflussen, wie beispielsweise die Wanksteifigkeit und die Dämpfung in den Aufhängungen und die Gesamthöhe des Schwerpunkts der Fahrzeugkarosserie in Bezug auf den Fahrzeugboden sowie das Trägheitswankmoment, nicht geschätzt und/oder berücksichtigt.

**[0010]** Daher besteht die Notwendigkeit für eine Technik, die die Fahrzeugparameter, einschließlich der Fahrzeugbeladung und der Lastposition sowie des Trägheitswankmoments, erfassen oder adaptiv aktualisieren kann, um ein Wankstabilitäts-Steuerungssystem betreffendes Fahrzeugsteuersystem zu verfeinern und zu verbessern.

#### Aufgabenstellung

**[0011]** Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein System für eine quantitative Beschreibung des Fahrgestellwankens bereitzustellen, das in Verbindung mit dem Wankstabilitäts-Steuerungssystem eines Fahrzeugs verwendet werden kann zum Bestimmen eines genauen Fahrzeugwanktrends für Fahrzeuge mit infolge von Beladungszuständen variierenden Trägheitsparametern und zum adaptiven Anpassen der Berechnung des Fahrgestell-Wankwinkels und/oder zum adaptiven Anpassen der Aktivierungskriterien für die Wankstabilitäts-Steuerungsfunktion.

**[0012]** Dies wird mit Verfahren gemäß den Ansprüchen 1, 14, 15, 33, 36, 60, 66 sowie einem Steuerungssystem gemäß Anspruch 34 erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0013]** Die Erfindung bietet den Vorteil, dass der Wankzustand in Reaktion auf eine zusätzliche Masse und die Höhe der Masse bestimmt wird, d.h. bestimmt wird, ob eine kleine Massenänderung die Wankdynamik des Fahrzeugs signifikant beeinflussen kann, wie es bei einer Dachlast der Fall ist. Das Steuerungssystem kann dann eine dahingehende Bestimmung durchführen, wie die zugehörigen Stellglieder in einen zunehmenden Steuerungssinne so betätigt werden, dass ein potentieller Überschlagszustand bzw. Überrollzustand aggressiver korrigiert wird, oder in einem Desensibilisierungs-Steuerungssinne so betätigt werden, dass zum Korrigieren einer potenziellen Fehlbetätigung der Betätigungsbetrag reduziert wird.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung weist ein Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssys-

tems eines Fahrzeugs auf: Bestimmen eines Wankgradienten, eines Wankwinkelbeschleunigungskoeffizienten bzw. Wankbeschleunigungskoeffizienten und/oder eines Wankratenkoeffizienten. D.h., der Wankbeschleunigungskoeffizient, der Wankgradient und der Wankratenkoeffizient können gleichzeitig oder in unterschiedlichen Kombinationen zum Steuern des Sicherheitssystems verwendet werden.

**[0015]** Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung weist ein Verfahren zum Steuern einer Sicherheitseinrichtung eines Fahrzeugs auf: Bestimmen eines Wankgradienten genannten Summenparameters, Bestimmen eines anderen, Wankwinkelbeschleunigungskoeffizienten bzw. Wankbeschleunigungskoeffizienten genannten Summenparameters, Bestimmen einer hinzugefügten Masse und einer Höhe der hinzugefügten Masse aus dem Wankgradienten und dem Wankbeschleunigungskoeffizienten, und Steuern des Sicherheitssystems bzw. der Sicherheitseinrichtung in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und deren Höhe.

**[0016]** Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung weist ein Steuersystem eines Kraftfahrzeugs auf: einen Wankkratensensor, der ein Wankkratensignal erzeugt, einen Querbeschleunigungssensor, der ein Querbeschleunigungssignal erzeugt, einen Längsbeschleunigungssensor, der ein Längsbeschleunigungssignal erzeugt, und einen Gierratensensor, der ein Gierratensignal erzeugt. Ein Sicherheitssystem und die Sensoren sind mit einer Steuervorrichtung gekoppelt. Die Steuervorrichtung bestimmt aus der Wankrate, der Querbeschleunigung, der Längsbeschleunigung und der Gierrate eine hinzugefügte Masse und eine Höhe der hinzugefügten Masse und steuert das Sicherheitssystem in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe.

**[0017]** Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung weist ein Verfahren zum Steuern einer Sicherheitseinrichtung eines Fahrzeugs auf: Bestimmen unterschiedlicher Wankzustände, die mittels Bestimmens einer hinzugefügten Masse und einer Höhe der hinzugefügten Masse unterschieden werden, und Steuern des Sicherheitssystems bzw. der Sicherheitseinrichtung in Reaktion auf den Wankzustand, der auf einem aggressiven Fahrmanöver basiert und durch die hinzugefügte, sich in der gegebenen Höhe befindende Masse verstärkt wird.

**[0018]** Ein zusätzlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass unterschiedliche Fahrzeugbeladungszustände sehr genau erfasst und bestimmt werden können. Solche Beladungen bzw. Beladungszustände (beispielsweise Dachlasten) machen gewöhnlich einen Bruchteil des Fahrzeuggesamtgewichtes (beispielsweise 3% bis 6% des Fahrzeugleergewichts) aus, sind unter Verwendung der die Fahrzeuglängsdynamik einbeziehenden Verfahren schwer zu erfassen und können große Änderungen (beispielsweise mehr als 30%) des Fahrstell-Wankwinkels bewirken.

**[0019]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer bevorzugten Ausführungsform und unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren detailliert beschrieben.

#### Ausführungsbeispiel

**[0020]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Ansicht eines Fahrzeugs mit unterschiedlichen Vektoren und unterschiedlichen Koordinatensystemen gemäß der Erfindung.

**[0021]** [Fig. 2](#) zeigt ein Blockschaltbild eines Stabilitätssteuersystems gemäß der Erfindung.

**[0022]** [Fig. 3](#) zeigt eine Vorderansicht eines Kraftfahrzeugs, in der unterschiedliche Winkel gemäß der Erfindung dargestellt sind.

**[0023]** [Fig. 4](#) zeigt eine Seitenansicht eines Kraftfahrzeugs, an dem unterschiedliche Variablen dargestellt sind.

**[0024]** [Fig. 5](#) zeigt eine Draufsicht auf ein Kraftfahrzeug, an dem Variablen dargestellt sind, die bei den folgenden Berechnungen verwendet werden.

**[0025]** [Fig. 6](#) zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Steuervorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform eines Kleinstfehlerquadrat-(Least Square) Verfahrens gemäß der Erfindung.

**[0026]** [Fig. 6A](#) zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Steuervorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform eines Kleinstfehlerquadrat-Verfahrens gemäß der Erfindung.

**[0027]** [Fig. 7](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens.

**[0028]** In den folgenden Figuren werden die gleichen Bezugszeichen zum Bezeichnen gleicher Komponenten verwendet. Die Erfindung kann in Verbindung mit einem Überrollverhindungssystem für ein Fahrzeug verwendet werden. Die Erfindung kann auch mit einer Entfaltungs- bzw. Ausfahr-Vorrichtung, wie beispielsweise einem Airbag oder einem aktiven Überrollbügel, verwendet werden. Die Erfindung wird im Folgenden in Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen erörtert, die ein Kraftfahrzeug betreffen, das sich in einem dreidimensionalen Straßenterrain bewegt. Die Erfindung wird in Bezug auf ein Bestimmen einer hinzugefügten Masse und der Höhe der Masse beschrieben. Wie im Folgenden beschrieben, können die hinzugefügte Masse und deren Höhe nicht direkt bestimmt werden, sondern mittels adaptiven Aktualisierens eines Wankgradientenwertes, eines wankwinkelbeschleunigungskoeffizienten bzw. Wankbeschleunigungskoeffizienten, eines Trägheitswankmoments und/oder eines Wankratenkoeffizienten, wobei die Effekte der hinzugefügten Masse und von deren Höhe in diese Werte einbezogen sein können. Solche Werte können auch als ein „adaptiver“ Wankgradient, ein „adaptiver“ Wankbeschleunigungskoeffizient, ein „adaptives“ Trägheitswankmoment und ein „adaptiver“ Wankratenkoeffizient bezeichnet werden. Die unterschiedlichen Wankparameter können als adaptiv bestimmt bezeichnet werden, was bedeutet, dass solche Werte sich infolge einer ändernden Masse oder Last über die Zeit ändern können. D.h., solche Werte sind nicht fest vorgegeben, wie es in früheren Systemen getan wurde.

**[0029]** Es ist ferner zu bemerken, dass, während einer von dem Wankgradienten, dem Wankbeschleunigungskoeffizienten und dem Wankratenkoeffizienten adaptiv bestimmt werden kann, die anderen beiden Werte nicht adaptiv sein können.

**[0030]** Bezugnehmend auf [Fig. 1](#) ist ein Kraftfahrzeug **10**, das ein aktives Sicherheitssystem gemäß der Erfindung aufweist, mit den daran während eines potenziellen Überrollzustands bzw. Überschlagszustands wirkenden, unterschiedlichen Kräften und Momenten gezeigt. Das Fahrzeug **10** weist ein vorderes rechtes (FR) Rad/Reifen **12a** und ein vorderes linkes (FL) Rad/Reifen **12b** sowie ein hinteres rechtes (RR) Rad/Reifen **13a** und ein hinteres linkes (RL) Rad/Reifen **13b** auf. Das Fahrzeug **10** kann ferner eine Anzahl von unterschiedlichen Arten eines Frontlenksystems **14a** und eines Hecklenksystems **14b** aufweisen, einschließlich dessen, dass die Vorderräder und die Hinterräder mit einem jeweiligen, steuerbaren Stellglied ausgebildet sind, dass die Vorderräder und die Hinterräder ein System konventionellen Typs aufweisen, bei welchem beide Vorderräder zusammen gesteuert werden und beide Hinterräder zusammen gesteuert werden, sowie einschließlich eines Systems, das eine konventionelle Vorderradlenkung und eine unabhängig steuerbare Hinterradlenkung für jedes der Räder oder umgekehrt aufweist. Allgemein weist das Fahrzeug ein am Schwerpunkt des Fahrzeugs mit  $M \cdot g$  repräsentiertes Gesicht auf, wobei  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  und  $M$  die Gesamtmasse des Fahrzeugs sind.

**[0031]** Wie im Obigen genannt, kann das System auch mit Sicherheitssystemen verwendet werden, die aufweisen: aktive/semiaktive Aufhängungssysteme, Stabilisatoren oder Airbags oder andere Sicherheitseinrichtungen, die bei Erfassen vorbestimmter Dynamikzustände des Fahrzeugs entfaltet oder aktiviert werden.

**[0032]** Das Erfassungssystem **16** ist mit einem Steuersystem **18** gekoppelt. Das Erfassungssystem **16** kann viele unterschiedliche Sensoren, einschließlich des Sensorsatzes, der üblicherweise in einer Wankstabilitätssteuerung oder einem Überrollverhindungssystem vorgesehen ist (aufweisend einen Querschleunigungsmesser, einen Gierratensensor, einen Lenkwinkelsensor und einen Raddrehzahlsensor, die für ein übliches Gierstabilitäts-Steuersystem vorgesehen sind), zusammen mit einem Wankratensensor und einem Längsbeschleunigungsmesser aufweisen. Die unterschiedlichen Sensoren werden im Folgenden näher beschrieben. Die Sensoren werden ferner vom Steuersystem bei unterschiedlichen Bestimmungen verwendet, wie beispielsweise zum Bestimmen eines Hubereignisses, zum Bestimmen der Höhe und der Position einer Masse usw. Die Raddrehzahlsensoren **20** sind an den jeweiligen Eckenpositionen des Fahrzeugs montiert und erzeugen der Drehzahl bzw. der Rotationsgeschwindigkeit des jeweiligen Rades entsprechende Signale. Der Rest der Sensoren des Erfassungssystems **16** kann direkt am Schwerpunkt der Fahrzeugkarosserie entlang der in [Fig. 1](#) gezeigten Richtungen  $x$ ,  $y$  und  $z$  montiert sein. Wie der Fachmann erkennen wird, wird das Bezugssystem aus  $b_1$ ,  $b_2$  und  $b_3$  als ein Karosseriebezugssystem **22** bezeichnet, dessen Ursprung sich im Schwerpunkt der Fahrzeugkarosserie befindet, wobei  $b_1$  der nach vorne weisenden  $x$ -Achse entspricht,  $b_2$  der von der Fahrerseite wegweisenden (nach links)  $y$ -Achse entspricht und  $b_3$  der nach oben weisenden  $z$ -Achse entspricht. Die Winkelgeschwindigkeiten der Fahrzeugkarosserie sind an bzw. um die jeweiligen Achsen der Fahrzeugkarosserie als  $\omega_x$  für die Wankrate,  $\omega_y$  für die Nickrate und  $\omega_z$  für die Gierrate bezeichnet. Berechnungen können in einem Trägheitsbezugssystem bzw. Trägheitsachsenkreuz **24** stattfinden, das aus dem Karosseriebezugssystem **22** hergeleitet werden kann, wie im Folgenden beschrieben.

**[0033]** Die Winkelratensensoren bzw. Winkelgeschwindigkeitssensoren und die Beschleunigungsmesser können entlang der Richtungen  $b_1$ ,  $b_2$  und  $b_3$  des Karosseriebezugssystems **22**, welche der  $x$ -Achse, der  $y$ -Achse bzw. der  $z$ -Achse der gefederten Masse des Fahrzeugs entsprechen, montiert sein.

**[0034]** Der Längsbeschleunigungssensor ist an die Fahrzeugkarosserie montiert und an deren Schwerpunkt angeordnet, wobei die Erfassungsrichtung des Längsbeschleunigungssensors entlang der  $b_1$ -Achse verläuft und dessen Ausgabe mit  $a_x$  bezeichnet ist. Der Querschleunigungssensor ist an die Fahrzeugkarosserie montiert und an deren Schwerpunkt angeordnet, wobei die Erfassungsrichtung des Querschleunigungssensors entlang der  $b_2$ -Achse verläuft und dessen Ausgabe mit  $a_y$  bezeichnet ist.

**[0035]** Das andere, in der folgenden Erörterung verwendete Bezugssystem bzw. Achsenkreuz weist das Straßenbezugssystem auf, wie in [Fig. 1](#) gezeigt. Das Straßenbezugssystem  $r_1, r_2, r_3$  ist der durchschnittlichen Straßenfahrfläche zugeordnet, wobei die  $r_3$ -Achse entlang der durchschnittlichen Straßennormalenrichtung verläuft, die aus den Normalenrichtungen der vier Reifen/Straßen-Kontaktstellen berechnet wird.

**[0036]** In der folgenden Erörterung werden die Eulerwinkel des Karosseriebezugssystems  $b_1, b_2, b_3$  in Bezug auf das Straßenbezugssystem  $r_1, r_2, r_3$  mit  $\theta_{xbr}$  und  $\theta_{ybr}$  bezeichnet, welche auch als die relativen Eulerwinkel (d.h. relativer Wankwinkel bzw. relativer Nickwinkel) bezeichnet werden.

**[0037]** Bezugnehmend auf [Fig. 2](#) ist ein Wankstabilitäts-Steuersystem **18** detaillierter gezeigt, das eine Steuervorrichtung **26** aufweist, welche Informationen von einer Anzahl von Sensoren empfängt, die einen Gierratensensor **28**, einen Geschwindigkeitssensor **20**, einen Querschleunigungssensor **32**, einen Vertikalbeschleunigungssensor **33**, einen Wankwinkelgeschwindigkeitssensor bzw. Wankratensensor **34**, einen Lenkrad (Handrad)-Winkelsensor **35**, einen Längsbeschleunigungssensor **36**, einen Nickratensensor **37**, einen Lenkwinkel (der Räder oder des Stellgliedes) -Positionssensor **38**, einen Aufhängungslastsensor **40** und einen Aufhängungspositionssensor **42** aufweisen können. Es ist zu bemerken, dass unterschiedliche Kombinationen und Unterkombinationen der Sensoren verwendet werden können.

**[0038]** Die Querschleunigung, die Wankorientierung und die Geschwindigkeit können unter Verwendung eines satellitengestützten Navigationssystems bzw. globalen Positionsbestimmungssystem (GPS – Global Positioning System) erfasst werden. Basierend auf Eingaben von den Sensoren kann die Steuervorrichtung **26** eine Sicherheitseinrichtung **44** ansteuern. In Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems und unterschiedlichen anderen Faktoren können in einer kommerziellen Ausführungsform nicht alle der Sensoren **28-42** verwendet sein. Die Sicherheitseinrichtung **44** kann einen Airbag **45** oder ein Lenkstellglied **46A-46D** an einem oder mehreren der Räder **12a, 12b, 13a, 13b** des Fahrzeugs steuern. Ferner können andere Fahrzeugkomponenten, wie beispielsweise eine Aufhängungssteuerung **48**, verwendet werden zum derartigen Anpassen der Aufhängung, das ein Überrollen bzw. ein Überschlagen des Fahrzeugs **10** verhindert wird.

**[0039]** Der Wankwinkelgeschwindigkeitssensor bzw. Wankratensensor **34** und der Nickratensensor **37** können den Wankzustand bzw. ein Heben des Fahrzeugs auf Basis eines Erfassens der Höhe von einem oder mehreren Punkten an dem Fahrzeug relativ zur Straßenfläche erfassen. Sensoren, die zum Erreichen dieser Erfassung verwendet werden können, weisen einen radarbasierten Annäherungssensor, einen laserbasierten Annäherungssensor und einen sonarbasierten Annäherungssensor auf, sind jedoch nicht auf diese beschränkt. Der Wankratensensor **34** kann ferner eine Kombination von Sensoren, wie beispielsweise Annäherungssensoren, zum Durchführen einer Wankratenbestimmung verwenden.

**[0040]** Der Wankratensensor **34** und der Nickratensensor **37** können den Wankzustand und den Hub auch basierend auf einem Erfassen der relativen Linearverlagerung oder der relativen Rotationsverlagerung oder der Verlagerungsgeschwindigkeit von einer oder mehreren Aufhängungs-Fahrgestellkomponenten erfassen. Dies kann zusätzlich oder in Kombination mit dem Aufhängungspositionssensor **42** realisiert sein. Der Aufhängungspositionssensor **42**, der Wankratensensor **34** und/oder der Nickratensensor **37** können einen linearen Höhensensor oder Bewegungssensor bzw. Federwegsensor, einen rotationsbasierten Höhensensor oder Bewegungssensor bzw. Federwegsensor, einen Raddrehzahlsensor zum Erfassen einer Geschwindigkeitsänderung, einen Lenkrad-Positionssensor, einen Lenkrad-Geschwindigkeitssensor und eine Fahrer-Fahrtrichtungs-Befehlseingabe von einer elektronischen Komponente aufweisen, die ein Handrad oder einen Joystick verwendendes Steer-by-Wire-System aufweisen kann.

**[0041]** Der Wankzustand oder der Hub können auch erfasst werden durch direktes Erfassen oder Schätzen der Kraft oder des Drehmoments, das mit dem Belastungszustand von einer oder mehreren Aufhängungskomponenten oder Fahrgestellkomponenten zusammenhängt, die einen Druckwandler in einem Luftfederungssystem, einen Stoßdämpfersensor, wie beispielsweise einen Lastsensor **40**, einen Dehnungsmesser, die absolute oder die relative Motorlast des Lenksystems, den Druck der Hydraulikleitungen des Lenksystems, einen Reifenquerkraftsensor oder Reifenquerkraftsensoren, einen Reifenlängskraftsensor, einen Reifenvertikalkraftsen-

sor oder einen Reifenseitenwand-Torsionssensor aufweisen. Der Gierratensensor **28**, der Wankratensensor **34**, der Querschleunigungssensor **32** und der Längsbeschleunigungssensor **36** können gemeinsam zum Bestimmen eines Radhubes bzw. Radabhebens verwendet werden. Solche Sensoren können verwendet werden zum Bestimmen des Radhubes oder zum Schätzen einer mit dem Radhub zusammenhängenden Normallenlast. Dies sind auch passive Verfahren.

**[0042]** Der Wankzustand des Fahrzeugs kann auch bestimmt werden durch eine oder mehrere der folgenden Translationspositionen oder Rotationspositionen, Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen des Fahrzeugs, das ein Wankgyroskop, den Wankratensensor **34**, den Gierratensensor **28**, den Querschleunigungssensor **32**, den Vertikalbeschleunigungssensor **33**, einen Fahrzeuglängsbeschleunigungssensor **36** und einen Quergeschwindigkeits- oder Vertikalgeschwindigkeitssensor aufweist, der einen radbasierten Geschwindigkeitssensor **20**, einen radarbasierten Geschwindigkeitssensor, einen sonarbasierten Geschwindigkeitssensor, einen laserbasierten Geschwindigkeitssensor oder einen optobasierten Geschwindigkeitssensor aufweist.

**[0043]** Die Steuervorrichtung **26** kann einen Signalmultiplexer **50** aufweisen, der zum Empfangen der Signale der Sensoren **28–42** verwendet wird. Der Signalmultiplexer **50** stellt die Signale einem Radhubdetektor **52**, einem Fahrzeugwankwinkel-Rechner **54** und einem Wankstabilitätssteuerung (RSC – Roll Stability Control)-Regelbefehlsgeber (Feedback Control Command) **56** bereit. Der Radhubdetektor **52** kann ferner mit dem Fahrzeugwankwinkel-Rechner **54** gekoppelt sein. Der Fahrzeugwankwinkel-Rechner **54** kann außerdem mit dem RSC-Regelbefehlsgeber **56** gekoppelt sein. Der RSC-Regelbefehlsgeber **56** kann eine Drehmoment-Steuer- vorrichtung **57** aufweisen. Ein Fahrzeugwankwinkel-Rechner **54** ist in den US-amerikanischen Provisional-Anmeldungen 60/400,376 und 60/400,172 sowie in der US-Patentanmeldung 10/459,697 beschrieben, deren Offenbarungen hierin durch Bezugnahme aufgenommen sind.

**[0044]** Die Steuervorrichtung **26** kann ferner einen Beladungsdetektor **58** aufweisen. Der Beladungsdetektor **58** kann zum Bestimmen einer zusätzlichen Masse des Fahrzeugs und des Abstandes der Masse verwendet werden, wie im Folgenden beschrieben.

**[0045]** Bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Sensoren am Schwerpunkt des Fahrzeugs angeordnet. Der Fachmann wird erkennen, dass die Sensoren auch außerhalb des Schwerpunkts des Fahrzeugs angeordnet sein können und deren Signale äquivalent dazu umgewandelt werden können.

**[0046]** Die Sicherheitseinrichtung **44** kann die Position des vorderen rechten Radstellgliedes **46A**, des vorderen linken Radstellgliedes **46B**, des hinteren linken Radstellgliedes **46C** und des hinteren rechten Radstellgliedes **46D** steuern. Trotzdem können, wie im Obigen beschrieben, zwei oder mehrere der Stellglieder simultan gesteuert werden. Beispielsweise werden bei einem Zahnstangensystem die beiden damit gekuppelten Räder simultan gesteuert. Basierend auf Eingaben von den Sensoren **28** bis **42** bestimmt die Steuervorrichtung **26** einen Wankzustand und/oder einen Radhub und steuert die Lenkposition und/oder ein Abbremsen der Räder.

**[0047]** Die Sicherheitseinrichtung **44** kann mit einer Bremssteuervorrichtung **60** gekoppelt sein. Die Bremssteuervorrichtung **60** steuert die Größe eines Bremsmomentes an einer vorderen rechten Bremse **62a**, einer vorderen linken Bremse **62b**, einer hinteren linken Bremse **62c** und einer hinteren rechten Bremse **62d**. Andere Sicherheitssysteme, wie beispielsweise ein Antiblockiersystem (ABS – Antilock Brake System) **64**, ein Gierstabilitäts-Steuersystem (YSC-System – Yaw Stability Control System) **66** und ein Traktionssteuersystem (TC-System – Traction Control System) bzw. eine Antriebs-Schlupf-Regelung **68** können ebenfalls aus dem Bekanntsein des Wankgradienten, des Wankratenparameters, des Wankbeschleunigungskoeffizienten, der zusätzlichen Masse und der Position dieser Masse profitieren. Diese Informationen können die Steuerungsstrategie durch beispielsweise Verändern der Bremskraft beeinflussen.

**[0048]** Der Geschwindigkeitssensor **20** kann einer aus einer Vielzahl von dem Fachmann bekannten Sensoren sein. Beispielsweise kann ein geeigneter Geschwindigkeitssensor einen Sensor an jedem Rad aufweisen, wobei die Messwerte der jeweiligen Sensoren von der Steuervorrichtung **26** arithmetisch gemittelt werden. Die Steuervorrichtung **26** kann die Raddrehzahlen in die Fahrzeuggeschwindigkeit umwandeln bzw. umrechnen. Die Gierrate, der Lenkwinkel, die Raddrehzahl und möglicherweise ein Rutschwinkelschätzwert an jedem Rad können in die Fahrzeuggeschwindigkeit am Fahrzeugschwerpunkt rückumgewandelt werden. Viele andere Algorithmen sind dem Fachmann bekannt. Die Geschwindigkeit kann auch mittels eines Getriebesensors erfasst werden. Wenn die Geschwindigkeit während eines Beschleunigens oder eines Abbremsens in einer Kurve bestimmt wird, kann die geringste oder die höchste Raddrehzahl wegen ihres Fehlers nicht verwendet werden. Wie oben erwähnt, kann auch ein Getriebesensor zum Bestimmen der Fahrzeuggeschwindigkeit verwendet werden.

**[0049]** Der Lastsensor **40** kann ein Kraftaufnehmer bzw. eine Kraftmesszelle sein, die mit einer oder mehreren Aufhängungskomponenten gekuppelt ist. Durch Messen der Belastung, der Dehnung oder des Gewichts an dem Lastsensor **40** kann ein Verlagern der Last bestimmt werden.

**[0050]** Der Wankzustand eines Fahrzeugs kann durch den relativen Wankwinkel zwischen der Fahrzeugkarosserie und der Radachse sowie den Radabweichungswinkel (zwischen der Radachse und der mittleren Straßenfläche) charakterisiert werden. Sowohl der relative Wankwinkel als auch der Radabweichungswinkel (WDA – Wheel Departure Angle) können unter Verwendung des Wankratensensor-Signals und des Querschleunigungssensor-Signals in einem Relativ-Wankwinkel-Schätzmodul berechnet werden. Wenn sowohl der relative Wankwinkel als auch der Radabweichungswinkel groß genug ist, kann sich das Fahrzeug in einem Zustand befinden, in dem entweder ein einzelnes Rad abgehoben ist oder zwei Räder abgehoben sind. Andererseits befinden sich, wenn der Betrag beider Winkel klein genug ist, wahrscheinlich alle Räder auf dem Boden. In dem Fall, in dem sowohl der relative Wankwinkel als auch der Radabweichungswinkel nicht klein sind und ein Zweirad-Hubzustand erfasst oder bestimmt wird, wird die Summe dieser beiden Winkel von dem Regelungsmodul zum Berechnen des gewünschten Betätigungsbefehls zum Erzielen einer Überrollverhinderungsfunktion bzw. Überschlagsverhinderungsfunktion verwendet.

**[0051]** Der Wankzustand eines Fahrzeugs kann durch einen abrollradiusbasierten Radabweichungs-Wankwinkel charakterisiert werden, welcher den Winkel zwischen der Radachse und der mittleren Straßenfläche mittels der dynamischen Abrollradien des linken Rades und des rechten Rades erfasst, wenn beide Räder sich auf dem Boden befinden. Da die Berechnung des Abrollradius auf der Raddrehzahl und der Lineargeschwindigkeit des Rades basiert, nimmt solch ein abrollradiusbasierter Radabweichungswinkel anormale bzw. fehlerhafte Werte an, wenn starker Radschlupf auftritt. Dies kommt vor, wenn ein Rad abgehoben ist und dem Rad Drehmoment beaufschlagt wird. Daher kann das Fahrzeug, wenn dieser abrollradiusbasierte Radabweichungswinkel rapide zunimmt, abgehobene Räder aufweisen. Eine geringe Größe bzw. ein geringer Betrag dieses Winkels zeigt an, dass sich alle Räder auf dem Boden befinden.

**[0052]** Der Wankzustand des Fahrzeugs kann indirekt aus dem Radlängsschlupf ermittelt werden. Wenn während eines normalen Bremsmomentes oder eines normalen Antriebsmomentes die Räder an der einen Seite des Fahrzeugs einen erhöhten Schlupfbetrag haben, dann verlieren die Räder dieser Seite längsgerichtetes Straßendrehmoment. Dies impliziert, dass die Räder entweder auf einer Fläche mit geringem Reibungskoeffizienten ( $\mu$ ) gefahren werden oder abgehoben sind. Der Fall einer Fläche mit geringem Reibungskoeffizienten und der Fall eines Radabhebens können ferner basierend auf der Fahrgestell-Wankwinkel-Berechnung unterschieden werden, d.h. im Fall einer Fläche mit geringem Reibungskoeffizienten ist der Fahrgestell-Wankwinkel üblicherweise sehr gering. Folglich ist eine genaue Bestimmung des Fahrgestell-Wankwinkels erwünscht.

**[0053]** Der Wankzustand des Fahrzeugs kann durch die an jedem Rad getragene bzw. aufgenommene Normalenlast charakterisiert werden. Theoretisch ist, wenn eine Normalenlast an einem Rad bis auf Null abnimmt, das Rad nicht länger in Kontakt mit der Straßenfläche. In diesem Fall besteht eine potenzielle Überrollgefahr bzw. Überschlagsgefahr. Ein großer Betrag dieser Last zeigt an, dass das Rad sich auf dem Boden befindet. Die Normalenlast ist eine Funktion des berechneten Fahrgestell-Wankwinkels und des berechneten Nickwinkels. Folglich ist eine genaue Bestimmung des Fahrgestell-Wankwinkels und des Nickwinkels erwünscht.

**[0054]** Der Wankzustand kann durch Überprüfen der aktuellen, den Rädern beaufschlagten Straßenmomente und der Straßenmomente identifiziert werden, welche benötigt werden, um die Räder, wenn sie sich auf dem Boden befinden, mit Kraft zu versorgen. Die aktuellen Straßenmomente können mittels Momentenausgleichs für jedes Rad unter Verwendung der Radbeschleunigung, des Antriebsdrehmoments und des Bremsmoments erlangt werden. Wenn das Rad mit der Straßenfläche in Kontakt ist, müssen die berechneten, aktuellen Straßenmomente gleich oder größer als die Momente sein, die aus den nichtlinearen Momenten bestimmt wurden, die aus der Normalenlast und dem Längsschlupf an jedem Rad berechnet wurden.

**[0055]** Der Wankzustand eines Fahrzeugs kann durch den Fahrgestell-Wankwinkel selbst charakterisiert werden, d.h. durch den relativen Wankwinkel  $\theta_x$  zwischen der Fahrzeugkarosserie und der Radachse. Wenn dieser Fahrgestell-Wankwinkel rapide zunimmt, kann sich das Fahrzeug an der Grenze zu einem Radabheben oder einem Überrollen befinden. Ein geringer Betrag dieses Winkels zeigt an, dass die Räder nicht abgehoben sind oder sich alle auf dem Boden befinden. Folglich ist eine genaue Bestimmung des Fahrgestell-Wankwinkels vorteilhaft zum Bestimmen, ob sich das Fahrzeug in Nichtüberroll-Zuständen befindet.

**[0056]** Der Wankzustand eines Fahrzeugs kann ferner durch den Wankwinkel zwischen der Radachse und

der mittleren Straßenfläche charakterisiert werden, welcher Radabweichungswinkel genannt wird. Wenn dieser Wankwinkel rapide zunimmt, ist ein Rad oder sind mehrere Räder des Fahrzeugs abgehoben und es muss eine dynamische bzw. starke Steuerungsaktion durchgeführt werden, um ein Überrollen bzw. Überschlagen des Fahrzeugs zu verhindern. Ein geringer Betrag dieses Winkels zeigt an, dass die Räder nicht abgehoben sind.

**[0057]** Der Schwerpunkt C des Fahrzeugs ist ferner mit der Nennmasse M dargestellt. Ferner ist eine Wankachse in einem Abstand D vom Schwerpunkt C dargestellt. Die Querbeschleunigung ist mit  $a_y$  dargestellt.

**[0058]** Nun wird auf [Fig. 3](#) Bezug genommen, in der der Zusammenhang der unterschiedlichen Winkel des Fahrzeugs **10** in Bezug auf die Straßenfläche **11** dargestellt ist. In [Fig. 3](#) ist ein Referenz-Straßenquerneigungswinkel  $\theta_{\text{bank}}$  relativ zu dem auf einer Straßenfläche befindlichen Fahrzeug **10** gezeigt. Das Fahrzeug hat eine Fahrzeugkarosserie **10a** und eine Radachse **10b**. Der Radabweichungswinkel  $\theta_{\text{wda}}$  ist der Winkel zwischen der Radachse und der Straße. Der relative Wankwinkel  $\theta_{\text{xr}}$  ist der Winkel zwischen der Radachse **10b** und der Fahrzeugkarosserie **10a**. Der globale Wankwinkel  $\theta_x$  ist der Winkel zwischen der horizontalen Ebene (zum Beispiel auf Meereshöhe bzw. Meeresspiegel) und der Fahrzeugkarosserie **10a**.

**[0059]** Ein anderer wichtiger Winkel ist der Linear-Querneigungswinkel. Der Linear-Querneigungswinkel ist ein Querneigungswinkel, der öfter (eventuell in jeder Regelschleife) durch Subtrahieren des relativen Wankwinkels, der aus einer linearen Wankdynamik eines Fahrzeugs erzeugt wird (siehe US-Patent Nr. 6,556,908, welches hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist), von dem berechneten, globalen Wankwinkel (wie in US-Patent Nr. 6,631,317, welches hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist) berechnet wird. Wenn sich alle Dinge langsam ohne Drift, Fehler oder dergleichen ändern würden, wären der Linear-Querneigungswinkel-Term und der Referenz-Straßenquerneigungswinkel-Term äquivalent.

**[0060]** Nun wird auf [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) Bezug genommen, in denen ein Kraftfahrzeug **10** mit unterschiedlichen Parametern daran dargestellt ist. Eine Massenänderung  $\Delta M$  ist relativ zu einem nominellen Schwerpunkt  $C_0$  dargestellt. Der Schwerpunkt verschiebt sich zu C hin und eine hinzugefügte Masse  $\Delta M$  wird dazu addiert. Die Massenänderung oder Last  $\Delta M$  ist in einem Abstand H über dem Boden der Fahrzeugkarosserie **10a** bzw. dem Lastboden **80** angeordnet. Der nominelle Schwerpunkt  $C_0$  ist an einer Position h über dem Lastboden **80** angeordnet. Der Abstand zwischen dem neuen Schwerpunkt und dem nominellen Schwerpunkt  $C_0$  ist  $\Delta H$ .

**[0061]** Die Längsbeschleunigung ist mit  $a_x$  bezeichnet, wohingegen die Längsgeschwindigkeit mit  $v_x$  bezeichnet ist. Die Querbeschleunigung ist mit  $a_y$  bezeichnet, wohingegen die Quergeschwindigkeit mit  $v_y$  bezeichnet ist. Der Lenkradwinkel ist mit  $\delta_w$  bezeichnet. Der Radstand bzw. Achsstand des Fahrzeugs ist mit dem Symbol WB bezeichnet.

**[0062]** Nun wird auf [Fig. 6](#) Bezug genommen, in der die Steuervorrichtung **26** detaillierter gezeigt ist. Die Steuervorrichtung **26** empfängt die Signale der unterschiedlichen Sensoren, beispielsweise die Wankrate, die Querbeschleunigung, die Längsbeschleunigung und die Gierrate. Aus den Sensorsignalen können die Höhe der Last und die Größe der Last, der Wankgradient, der Wankratenparameter, der Wankbeschleunigungskoeffizient und das Trägheitswankmoment bestimmt werden. Diese Terme bzw. Werte können zum Erzeugen eines Fahrzeugwankwinkel-Kompensationsterms und eines Wankstabilitätssteuerung-Verstärkungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterms bzw. Wankstabilitätssteuerung-Übertragungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterms verwendet werden. Anstatt eines Bestimmens der Last und der Höhe der Last können ein adaptiver Wankbeschleunigungskoeffizient und ein adaptiver Wankgradient bestimmt werden, die inhärent das Gewicht bzw. die Last und die Höhe der Last in sich enthalten. Wie im Obigen erörtert, wurden in Systemen aus dem Stand der Technik diese Werte ohne Berücksichtigung der Beladung festgelegt. Gemäß der Erfindung werden diese Werte adaptiv bestimmt, so dass sie dem Beladungszustand des Fahrzeugs entsprechen. Beispielsweise können diese Terme infolge eines höher gelegenen Massenschwerpunkts die Empfindlichkeit des Systems erhöhen. Wie im Folgenden detaillierter beschrieben wird, verwendet die Steuervorrichtung **26** das Wankratensignal und führt in einem Kasten (Modul) **84** eine Ableitung bzw. Differentiation durch, um das Wankbeschleunigungssignal  $\dot{\omega}_x$  zu erzeugen, welches dann mittels eines ersten Filters **86** gefiltert wird zum Erzeugen einer Variablen X, welche einem Bedingt-Mittelwertbildungs-Kasten (Modul) **88** bereitgestellt bzw. zugeführt wird. Das Querbeschleunigungssignal wird in einem zweiten Filter **90** gefiltert und dem Bedingt-Mittelwertbildungs-Kasten **88** als Variable Y bereitgestellt bzw. zugeführt. Die Längsbeschleunigung wird in einem dritten Filter **92** gefiltert und dem Bedingt-Mittelwertbildungs-Kasten **88** bereitgestellt bzw. zugeführt. Wie im Folgenden detaillierter beschrieben, werden in dem Bedingt-Mittelwertbildungs-Kasten **88** Signale erzeugt, die mit einer Kleinstfehlerquadrat-Anpassungsbestimmung (Least Squares Fit Determination) **98** gekoppelt sind bzw. dieser zugeführt werden, welche die Variablen  $\alpha$  und  $\beta$  bereitstellt. Die Variablen  $\alpha$  und  $\beta$  werden einem

Last/Lasthöhen-Erfassungsblock (Modul) **100** bereitgestellt bzw. zugeführt. Der Bedingt-Mittelwertbildungs-Block **88** und der Kleinstfehlerquadrat-Anpassungsblock (Modul) **98** stellen ein erstes Bedingt-Kleinstfehlerquadrat-Verfahren dar, welches mittels des Kastens **99** dargestellt ist. Der Last/Lasthöhen-Erfassungsblock **100** erzeugt einen Fahrzeugwankwinkel-Kompensationsterm **102** und einen RSC-Steuerungs-Verstärkungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterm bzw. RSC-Steuerungs-Übertragungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterm **104**.

**[0063]** Nun wird auf [Fig. 7](#) Bezug genommen, in welcher der Betrieb der Steuervorrichtung **26** detaillierter beschrieben ist. In einem Schritt **102** werden die unterschiedlichen Sensoren, wie beispielsweise der Wankraten-sensor, der Querbeschleunigungssensor, der Längsbeschleunigungssensor und der Gierratensensor, gelesen.

**[0064]** Ein Wanksignal für Steuerungszwecke bzw. Wanksteuersignal wird aus  $(\theta_x - \theta_{\text{refbank}})$  berechnet, d.h. durch eine Subtraktion des Referenz-Straßenquerneigungswinkels vom globalen Wankwinkel. Das Wanksteuersignal kann zum Steuern des Wankstabilitäts-Steuersystems oder eines anderen Systems oder einer anderen Vorrichtung verwendet werden.

**[0065]** Wie im Obigen genannt, können die unterschiedlichen Fehler nicht auf die Integration, die Berechnung und die Drift beschränkt zu unterschiedlichen Zeiten in die unterschiedlichen Signale einfließen. Daher kann in bestimmten Situationen der Radabweichungswinkel oder der Referenz-Straßenquerneigungswinkel nicht genau sein. Die folgende Beschreibung erläutert, wie diese Werte in Reaktion auf Radhub/Radaufstands-Werte aktualisiert werden können.

**[0066]** In einem Schritt **104** werden der Wankgradient, der Wankbeschleunigungskoeffizient-Rechenwert und ein Wankratenparameter bestimmt.

**[0067]** Es gibt in der Wankstabilitätssteuerung zwei Wankwinkelberechnungswerte: Der eine ist der relative Wankwinkel, wie er in dem US-Patent 6,556,908 berechnet wird, und der andere ist der globale Wankwinkel-Berechnungswert, wie er in dem US-Patent 6,631,317 berechnet wird. Die Offenbarungen der US-Patente 6,556,908 und 6,631,317 werden durch Bezugnahme hierin aufgenommen. Der relative Wankwinkel ist eine Funktion der Querbeschleunigung  $a_y$ , der Wankbeschleunigung  $\dot{\omega}_x$ , der Wankrate  $\omega_x$ , des Wankgradienten  $\alpha$  und des Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  sowie eines Wankratenkoeffizienten  $\eta$ . Das bedeutet:

$$\theta_{xr} = f(\alpha_y, \dot{\omega}_x; \alpha, \beta, \eta, \omega_x) \quad (1)$$

**[0068]** Bei einer z-Transformation gilt

$$\theta_{xr} = \alpha T_{\text{roll}}(z) \alpha_y - \beta T_{\text{roll}}(z) \dot{\omega}_x, \quad (2)$$

wobei  $T_{\text{roll}}(z)$  ein Filter ist, welcher das lineare Wankmodell des Fahrzeugs wiedergibt, d.h. der Filter enthält die Wanksteifigkeit und den Dämpfungseffekt infolge der Aufhängungsdynamik. Basierend auf der Wankdynamik gilt das Folgende:

$$\theta_{xr} + \frac{D_{\text{roll}}}{K_{\text{roll}}} \dot{\theta}_{xr} = \alpha a_y + \beta \dot{\omega}_x$$

**[0069]** Ein Durchführen einer Laplace-Transformation zum Umwandeln dieser Gleichung in eine Frequenzbereichsgleichung bzw. Frequenzebenengleichung führt zu der folgenden Berechnung:

$\theta_{xr}(s) = T_{\text{Roll}}(s)(\alpha a_y(s) + \beta \dot{\omega}_x(s))$ , wobei die Übertragungsfunktion  $T_{\text{Roll}}$  wie folgt ist:

$$T_{\text{Roll}}(s) = \frac{1}{1 + \eta s}$$

wobei der Wankratenkoeffizient  $\eta$  definiert ist als:

$$\eta = \frac{D_{\text{roll}}}{K_{\text{roll}}}$$

**[0070]** Unter Verwendung des in dem US-Patent 6,631,317 offenbarten Algorithmus kann der globale Wankwinkel  $\theta_x$  (der Wankwinkel der Fahrzeugkarosserie in Bezug auf Meeresspiegel bzw. den Meeresspiegel) durch eine Antidrift-Integration der Euler-Wankwinkelgeschwindigkeit (welche sich von der Wankwinkelgeschwindigkeit

keit bzw. der Wankrate unterscheidet) und eines Wankreferenzsignals mittels eines Stabilzustand-Rückführfilters erlangt werden. Auf ebenem bzw. waagrechtem Boden (level ground), wenn das Fahrzeug keine in der Luft befindlichen Räder hat, ist solch ein berechneter, globaler Wankwinkel der gleiche wie der Fahrge- stell-Wankwinkel, wenn sich die Fahrzeugwankdynamik innerhalb ihres linearen Bereichs (beispielsweise bei einer Kurvenbeschleunigung des Fahrzeugs unter 0,35g) befindet.

**[0071]** Daher ist auf ebenem bzw. waagrechtem Boden, wenn das Fahrzeug keine in der Luft befindlichen Räder hat und das Fahrzeug eine moderate Kurvenbeschleunigung aufweist, der zum Berechnen des globalen Wankwinkels verwendete Algorithmus, wie in dem US-Patent 6,631,317, eine Funktion der Wankrate  $\omega_x$ , der Gierrate  $\omega_z$ , des relativen Wankwinkels  $\theta_{xr}$  und des relativen Nickwinkels  $\theta_{yr}$ . Es gilt daher:

$$\theta_x = g(\omega_y, \omega_z, \theta_{xr}, \theta_{yr}) \quad (3)$$

**[0072]** Bei einer z-Transformation kann solch eine Berechnung wie in dem folgenden Format ausgedrückt werden:

$$\theta_x = T_{adi}(z)[\omega_x + \omega_z \theta_{yr}] + T_{ssc}(z)\theta_{xr} \quad (4)$$

wobei  $T_{adi}(z)$  der sogenannte Stabilzustand-Rückführfilter ist, welcher zum Rückführen bzw. Wiederherstellen des guten Niederfrequenzanteils des Wankwinkels verwendet wird, der von dem Antidrift-Integrationsfilter entfernt wurde. Hierbei wird der relative Wankwinkel (Fahrgestell-Wankwinkel)  $\theta_{xr}$  zum Wiederherstellen des wahren Stabilzustandwertes des Wankwinkels verwendet.

**[0073]** Es ist zu bemerken, dass auf ebenem bzw. waagrechtem Boden, wenn das Fahrzeug ohne Radhub und mit moderater Kurvenbeschleunigung gefahren wird, der relative Wankwinkel und der globale Wankwinkel gleich sind. Daher können aus den Gleichungen (1) und (3) oder den Gleichungen (2) und (4) die Zusammenhänge zwischen dem Wankgradienten  $\alpha$ , dem Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  und dem Wankratenkoeffizienten  $\eta$  herausgefunden bzw. ermittelt werden.

**[0074]** Obwohl das Hauptaugenmerk dieser Offenbarung auf der Berechnung des Wankgradienten  $\alpha$  und des Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  liegt, kann der Wankratenkoeffizient  $\eta$  gleichermaßen bestimmt werden. Der Wankratenkoeffizient  $\eta$  kann adaptiv und unabhängig von dem Bestimmen des Wankgradienten  $\alpha$  und des Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  oder gleichzeitig und zusammen mit deren Bestimmen bestimmt werden. Ebenso können der Wankgradient  $\alpha$  und der Wankbeschleunigungskoeffizient  $\beta$  unabhängig bestimmt werden.

**[0075]** Ein Substituieren bzw. Einsetzen von Gleichung (2) in Gleichung (4) ergibt das Folgende:

$$\theta_x = T_{adi}(z)[\omega_x + \omega_z \theta_{yr}] + \alpha T_{ssc}(z)T_{roll}(z)\alpha_y - \beta T_{ssc}(z)T_{roll}(z)\dot{\omega}_x \quad (5)$$

wobei der relative Nickwinkel  $\theta_{yr}$  eine Funktion der Längsbeschleunigung und der Nickwinkelbeschleunigung ist, wie im Folgenden dargestellt (für Details siehe US-Patent 6,556,908):

$$\theta_{yr} = m(\alpha_x, \dot{\omega}_y; \kappa, \lambda) \quad (6)$$

und welche weiter geschrieben werden kann als:

$$\theta_{yr} = \kappa T_{pitch}(z)\alpha_x + \lambda T_{pitch}(z)\dot{\omega}_y \quad (7)$$

wobei  $T_{pitch}(z)$  ein Filter ist, welcher das lineare Nickmodell des Fahrzeugs wiedergibt, d.h. der Filter enthält die Nicksteifigkeit und den Dämpfungseffekt infolge der Fahrzeugaufhängungsdynamik.  $T_{pitch}(z)$  unterscheidet sich von der Fahrzeugverzögerung und der Fahrzeugbeschleunigung, d.h. es gilt:

$$T_{pitch}(z) = \begin{cases} T_{pitchacc}(z) & \text{if } \alpha_x > 0 \\ T_{pitchdec}(z) & \text{if } \alpha_x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

und das gleiche ist wahr bzw. gilt für den Nickgradienten  $\kappa$  und den Nickwinkelbeschleunigungskoeffizienten bzw. Nickbeschleunigungskoeffizienten  $\lambda$ :

$$\kappa = \begin{cases} \kappa_{acc} & \text{if } a_x > 0 \\ \kappa_{dec} & \text{if } a_x \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_{acc} & \text{if } a_x > 0 \\ \lambda_{dec} & \text{if } a_x \leq 0 \end{cases}$$

**[0076]** Wenn die Nickwinkelgeschwindigkeit bzw. Nickrate  $\omega_y$  nicht verfügbar ist, kann der oben genannte relative Nickwinkel  $\theta_{yr}$  wie folgt als Annäherung bestimmt werden:  $\theta$

$$y_r \approx \kappa T_{pitch}(z) \alpha_x, \quad (1)$$

welche akzeptabel genau im Niederfrequenzbereich ist (der Nickwinkelbeschleunigungs-Term stellt nur Hochfrequenzanteile bereit).

**[0077]** Mittels der Gleichungen (2) und (5), wobei auf ebenem bzw. waagrechtem Boden  $\theta_x = \theta_{xr}$  gilt, wird die folgende Gleichung erlangt:

$$\alpha X - \beta Y = U, \quad (11)$$

wobei gilt:

$$X = T_{roll}(z)(1 - T_{ssc}(z))\alpha_y \quad Y = T_{roll}(z)(1 - T_{ssc}(z))\dot{\omega}_x \quad U = T_{adi}(z)[\omega_x + \omega_z \theta_{yr}] \quad (12)$$

**[0078]** Das Folgende ist eine Zusammenfassung des Berechnungsalgorithmus.

**[0079]** In einem Schritt **106** wird mittels der folgenden, iterativen Gleichung die gefilterte Querbeschleunigung  $X$  bestimmt:

$$X_k = d_{11}X_{k-1} + d_{12}X_{k-2} + d_{13}X_{k-3} + n_{11}a_{y_k} + n_{12}a_{y_{k-1}} + n_{13}a_{y_{k-2}} + n_{14}a_{y_{k-3}}, \quad (13)$$

wobei  $d_{1i}$ ,  $n_{1i}$  für  $i = 1, 2, 3, 4$  der einbezogene erste Satz von Filterkoeffizienten sind.

**[0080]** In einem Schritt **108** wird die gefilterte Wankwinkelbeschleunigung bzw. Wankbeschleunigung  $Y$  wie mittels der folgenden, iterativen Gleichung bestimmt:

$$Y = d_{11}Y_{k-1} + d_{12}Y_{k-2} + d_{13}Y_{k-3} + n_{11}\dot{\omega}_{x_k} + n_{12}\dot{\omega}_{x_{k-1}} + n_{13}\dot{\omega}_{x_{k-2}} + n_{14}\dot{\omega}_{x_{k-3}} \quad (14)$$

**[0081]** In einem Schritt **110** kann die gefilterte Wankwinkelgeschwindigkeit, welche die Summe der Wankrate und des Produkts der relativen Nickrate und der relativen Gierrate ist, mittels des folgenden, iterativen Algorithmus berechnet werden:

$$U = d_{21}U_{k-1} + d_{22}U_{k-2} + d_{23}U_{k-3} + n_{21}R_k + n_{22}R_{k-1} + n_{23}R_{k-2} + n_{24}R_{k-3}, \quad (15)$$

wobei  $R_k$  die Wankwinkelgeschwindigkeitssumme zum  $k$ -ten Zeitpunkt auf ebenem bzw, waagrechtem Boden ist, d.h. es gilt.

$$R_k = \omega_{x_k} + \omega_{z_k} \theta_{y_r k} \quad (16)$$

wobei  $d_{2i}$ ,  $n_{2i}$  für  $i = 1, 2, 3, 4$  der einbezogene zweite Satz von Filterkoeffizienten sind. Wenn die Annäherungsgleichung (10) verwendet wird, kann die Wankwinkelgeschwindigkeitssumme auf ebenem bzw. waagrechtem Boden wie folgt näherungsweise bestimmt werden:

$$R_k \approx \omega_{x_k} + \kappa \omega_{z_k} T_{pitch}(z) \alpha_x \quad (17)$$

**[0082]** Unter Verwendung der berechneten, gefilterten Werte  $X_k$ ,  $Y_k$  und  $U_k$  zu jedem Abfragezeitpunkt  $k$  kann die Gleichung (11) verwendet werden zum eventuellen Berechnen der unbekannt Parameter des Wankgradienten  $\alpha$  und des Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$ , wenn der Wankratenkoeffizient  $\eta$  unabhängig von der Bestimmung des Wankgradienten  $\alpha$  und des Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  bestimmt wird. Ein komplizierteres Verfahren ist notwendig zum gleichzeitigen Bestimmen von  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\eta$ . Ein Verfahren zum Berechnen der unbekannt Werte  $\alpha$  und  $\beta$  in Gleichung (11) ist das sogenannte Kleinstfehlerquadrat-Verfahren.

**[0083]** Da Gleichung (11) wahr ist, wenn das Fahrzeug auf ebenem bzw. waagrechtem Boden (level ground) gefahren wird und das Fahrzeug keine in der Luft befindlichen Räder aufweist (vier Reifen sind mit der Straße in Kontakt), wird ein Bedingt-Kleinstfehlerquadrat-Verfahren (CLS-Method – Conditional Least-Square Method) verwendet. Zwei CLS-Verfahren können verwendet werden. Das erste CLS-Verfahren führt eine Aktualisierung der Parameter  $\alpha$  und  $\beta$  nach einer festen Anzahl von bedingten Abfragen durch, wohingegen das zweite CLS-Verfahren  $\alpha$  und  $\beta$  aktualisiert und bei jeder bedingten Abfrage eine Kovarianzmatrix zurücksetzt.

**[0084]** Nun wird auf [Fig. 6A](#) Bezug genommen, in der das zweite Bedingt-Kleinstfehlerquadrat-Verfahren durch einen Kasten **250** dargestellt ist. Die Blöcke (Module) **84**, **86**, **90** sind die gleichen wie in [Fig. 6](#). Bei dieser Ausführungsform ist jedoch ein Relativnicksignal bzw. Relativnickwinkel-Signal anstelle des Längsbeschleunigungssignals verwendet. Das Relativnickwinkel-Signal und ein Gierratensignal werden in einem Block (Modul) **252** multipliziert. Zusätzlich wird die Ausgabe des Blocks **252** in einem Block (Modul) **95'** zu der Wankrate hinzuaddiert und in einem Block (Modul) **96'** gefiltert. Die gefilterten Signale aus den Blöcken **86**, **90**, **96'** werden einem Bedingt-Kovarianzblock (Modul) **254** bereitgestellt bzw. zugeführt. Die Ausgabe des Bedingt-Kovarianzblocks **254** wird einem Wankgradient-, Wankbeschleunigungskoeffizient-Kleinstfehlerquadrat-Aktualisierungsblock (Modul) **256** bereitgestellt bzw. zugeführt, dessen Ausgabe einem Block (Modul) **100** bereitgestellt bzw. zugeführt wird.

**[0085]** Da  $\alpha$  und  $\beta$  auf Trägheitsparameter der Fahrzeugkarosserie-Wankbewegung bezogen sind, können  $\alpha$  und  $\beta$  nur dann mittels Kleinstfehlerquadrat-Verfahren korrekt bestimmt werden, wenn der Fahrzeug-Wankmodus im vollen Maße angeregt bzw. hervorgerufen ist. Daher kann unter Stabilzustand-Fahrbedingungen die Kleinstfehlerquadrat-Bestimmung nicht durchgeführt werden. Daher ist eine zusätzliche Bedingung, die den Fahrzeugwankdynamikzustand wiedergibt, notwendig. Unter Berücksichtigung, dass eine Lenkeingabe des Fahrers Wankdynamik hervorrufen könnte, kann eine solcher Bedingungen unter Verwendung der Lenkrad-Winkelgeschwindigkeit charakterisiert werden, d.h. nur wenn gilt:

$$|\dot{\delta}_w| \geq \delta_{wvmin}$$

wird das CLS-Verfahren durchgeführt, wobei  $\dot{\delta}_w$  der gemessene Lenkradwinkel ist und  $\delta_{wvmin}$  ein Grenzwert (beispielsweise 20 Grad pro Sekunde) ist.

**[0086]** Bezugnehmend auf [Fig. 7](#) wird in einem Schritt **114** die bedingte Summe der Produkte oder Kreuzprodukte der oben genannten, gefilterten Variablen über eine signifikant große Anzahl N von bedingten Abfragen bestimmt. Dies wird, wenn das CLS-Verfahren verwendet wird, unter Verwendung des folgenden, iterativen Algorithmus durchgeführt:

$$\begin{aligned}
 & \text{if ( } |\dot{\delta}_w| \geq \delta_{wvmin} \text{ \& level ground} \\
 & \quad \text{\& no wheel lifting} \\
 & \quad \text{\& } s \leq N \text{ )} \\
 & \{ \\
 & \quad a_{11,s+1} = a_{11,s} + X_k^2 \\
 & \quad a_{21,s+1} = a_{21,s} - X_k Y_k \\
 & \quad a_{22,s+1} = a_{22,s} + Y_k^2 \\
 & \quad b_{1,s+1} = b_{1,s} + X_k U_k \\
 & \quad b_{2,s+1} = b_{2,s} - Y_k U_k \\
 & \quad s = s + 1 \\
 & \}
 \end{aligned} \tag{18}$$

**[0087]** Es ist zu bemerken, dass der mit k bezeichnete Zeitpunkt sich von dem mit s bezeichneten CLS-Aktualisierungszeitpunkt unterscheidet. Nur wenn die Bedingungen zu jedem Zeitpunkt erfüllt sind, dann ist s=k. N in Gleichung (18) ist die Gesamtanzahl von für das CLS-Verfahren verwendeten, bedingten Abfragen, welche Gesamtanzahl einen Wert in einem Bereich 1000 bis 80000 haben kann.

**[0088]** Schritt **114** wird für die bedingte Abfrage durchgeführt, wenn die Straße ein ebener bzw. waagerechter

Boden (level ground) ist und kein Radhub vorhanden ist (no wheel lift). Der ebene bzw. waagerechte Boden kann bestimmt werden, wenn es eine Anzeige gibt, dass das Fahrzeug sich nicht auf einer signifikant quergelegten Straße befindet.

**[0089]** Zu diesem Zweck kann daher ein Überprüfen der Straßenquerneigung verwendet werden, beispielsweise unter Verwendung des in dem US-Patent 6,718,248 offenbarten Verfahrens. Der ebene bzw. waagerechte Boden kann ferner mittels eines Flachheitsindex (wie in dem US-Patent 6,718,248 berechnet) oder einer Straßenprofilierung (siehe US-Patent 6,718,248) oder eines groben Vergleichs zwischen dem globalen Wankwinkel und dem nominalen Fahrgestell-Wankwinkel berechnet werden.

**[0090]** In einem Schritt **116** werden die Nominalwerte  $\alpha_0$  und  $\beta_0$  des Wankgradienten bzw. des Wankbeschleunigungskoeffizienten berechnet. Diese können auch erlangt werden durch Verwenden durch Testdaten eines Fahrzeugs mit einem Nominalbeladungszustand und einer Nominalkonfiguration.

**[0091]** In einem Schritt **118** werden der Wankgradient  $\alpha$  und der Wankbeschleunigungskoeffizient  $\beta$  wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}
 & \text{if } s = N \\
 & \{ \\
 & D = \min(\max(a_{11_N} - \frac{a_{21_N}^2}{\max(a_{22_N}, a_{\min})}, -a_{\min}), a_{\min}); \\
 & \alpha = \min(\max((b_{1_N} - \frac{a_{21_N} b_{2_N}}{\max(a_{22_N}, a_{\min})})D^{-1}, \underline{\alpha}), \bar{\alpha}); \\
 & \beta = \min(\max((\frac{a_{11_N} b_{2_N}}{\max(a_{22_N}, a_{\min})} - \frac{a_{21_N} b_{1_N}}{\max(a_{22_N}, a_{\min})})D^{-1}, \underline{\beta}), \bar{\beta}); \\
 & s = 0; \\
 & a_{11_s} = 0; \quad a_{21_s} = 0; \quad a_{22_s} = 0; \\
 & b_{1_s} = 0; \quad b_{2_s} = 0; \\
 & \}
 \end{aligned} \tag{19}$$

wobei  $a_{\min}$  eine kleine Zahl (beispielsweise 0,0001) ist, welche zum Vermeiden einer Division durch Null bei der implementierten Berechnung dient, und wobei  $\underline{\alpha}$  und  $\bar{\alpha}$  die untere Grenze bzw. die obere Grenze des Wankgradienten sind, welche wie folgt berechnet werden können:

$$\begin{aligned}
 \underline{\alpha} &= \alpha_0 - \Delta\alpha \\
 \bar{\alpha} &= \alpha_0 + \Delta\alpha,
 \end{aligned} \tag{20}$$

und wobei  $\alpha_0$  der Nominalwert des Wankgradienten (durch Fahrzeugtests mit einem Fahrzeug mit Nominalbeladung erlangt),  $\Delta\alpha$  die erlaubte Abweichung des Wankgradienten und  $\underline{\beta}$  und  $\bar{\beta}$  die untere Grenze bzw. die obere Grenze des Wankbeschleunigungskoeffizienten sind, welche wie folgt bestimmt werden können:

$$\begin{aligned}
 \underline{\beta} &= \beta_0 - \Delta\beta \\
 \bar{\beta} &= \beta_0 + \Delta\beta
 \end{aligned} \tag{21}$$

**[0092]** In Gleichung (21) ist  $\beta_0$  der Nominalwert des Wankbeschleunigungskoeffizienten (für ein Fahrzeug mit Nominalbeladung) und ist  $\Delta\beta$  die erlaubte Abweichung des Wankbeschleunigungskoeffizienten. Wenn das zweite CLS-Verfahren verwendet wird, können der Wankgradient  $\alpha$  und der Wankbeschleunigungskoeffizient  $\beta$  in Block (Modul) **256** mittels des folgenden, iterativen Algorithmus berechnet werden. Zuerst wird eine 2-mal-2-Matrix-Variable  $V_{s+1}$  zum  $(s+1)$ -ten bedingten Zeitpunkt aus ihrem vorhergehendem Wert  $V_s$  und dem berechneten, gefilterten Werten von  $X_k$  und  $Y_k$  wie folgt berechnet:



dem Schwerpunkt dieser Masse in Bezug auf den Fahrzeugboden ist mit  $H$  bezeichnet. Infolge der hinzugefügten Masse  $\Delta M$  ändert sich voraussichtlich der Schwerpunkt  $c$  der Fahrzeugkarosserie. Der Abstand zwischen  $C_0$  und  $C$  ist mit  $\Delta H$  bezeichnet.  $\Delta H$  muss die folgende Beziehung erfüllen:

$$\Delta H = \frac{\Delta M}{M_s + \Delta M} (H - h) \quad (27)$$

D.h., die unbekannte  $\Delta H$  kann leicht aus der hinzugefügten Masse  $\Delta M$ , der Höhe der hinzugefügten Masse  $H$ , der Höhe  $h$  des Schwerpunkts der Fahrzeugkarosserie und der Fahrzeugmasse  $M_s$  vor dem Hinzufügen der Masse  $\Delta M$  erlangt werden.

**[0098]** Das Gesamtträgheitswankmoment in Bezug auf den endgültigen Schwerpunkt  $C$  kann ausgedrückt werden als:

$$I_{xc} = I_{xc}^M + I_{xc}^{\Delta M} \quad (28)$$

wobei gilt:

$$\begin{aligned} I_{xc}^M &= I_{xc0}^M + M_s \Delta H^2 \\ I_{xc}^{\Delta M} &= \Delta M (H - h - \Delta H)^2 \end{aligned} \quad (29)$$

**[0099]** Durch Einsetzen von Gleichung (27) in Gleichung (29) kann die Gleichung (28) wie folgt ausgedrückt werden:

$$I_{xc} = I_{xc0} + \frac{M_s \Delta M (H - h)^2}{M_s + \Delta M} \quad (30)$$

**[0100]** Der nominale Wankgradient und der nominale Wankbeschleunigungskoeffizient sind  $\alpha_0$  bzw.  $\beta_0$ . Es gilt:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{M_s h}{K_{roll}} \\ \beta_0 &= \frac{I_x}{K_{roll}} \end{aligned} \quad (31)$$

wobei  $K_{roll}$  die Wanksteifigkeit infolge der Aufhängung und der Stabilisatoren bezeichnet. Unter Verwendung dieser Nominalwerte und der berechneten Werte für  $\alpha$  und  $\beta$  erfüllen die Beladungsmasse und der Abstand der Beladung bzw. Last das Folgende:

$$\begin{aligned} \Delta M H &= K_{roll} (\alpha - \alpha_0) = A \\ \frac{\Delta M M_s (H - h)^2}{M_s + \Delta M} &= K_{roll} (\beta - \beta_0) = B \end{aligned} \quad (32)$$

**[0101]** Aus der Beziehung in Gleichung (32) können die folgenden Schätzwerte bestimmt werden:

$$\begin{cases} H = h + \frac{B}{2A} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{B}{A}\right)^2 + h \left(\frac{B}{A}\right) + \left(\frac{B}{M_s}\right)^2} \\ \Delta M = \frac{\alpha}{h + \frac{B}{2\alpha} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{B}{A}\right)^2 + h \left(\frac{B}{A}\right) + \left(\frac{B}{M_s}\right)^2}} \end{cases} \quad (33)$$

**[0102]** In einem Schritt **124** wird basierend auf der ersten Gleichung von (33) die Höhe bzw. der Abstand  $H$  der hinzugefügten Masse ( $\Delta M$ ) zum Fahrzeugboden bestimmt.

**[0103]** In einem Schritt **126** wird basierend auf der zweiten Gleichung von (33) und unter Verwendung der berechneten Höhe  $H$  der hinzugefügten Masse die hinzugefügte Masse  $\Delta M$  bestimmt.

**[0104]** In einem Schritt **128** wird ein Sicherheitssystem, wie beispielsweise ein Wankstabilitäts-Steuerungs-system, in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe der hinzugefügten Masse angesteuert. Das Sicherheits-system kann auch direkt auf Basis des Wankgradienten und des Wankratenparameters gesteuert werden, welche beide adaptiv sein können. Das Sicherheitssystem kann ferner den Wankbeschleunigungskoeffizienten mit einbeziehen, welcher zusätzlich zu dem adaptiven Wankgradienten und dem adaptiven Wankratenparameter als ein Faktor adaptiv sein kann. Ein Fahrzeugwankwinkel-Kompensationsterm kann bestimmt werden, beispielsweise wie der im Obigen beschriebene. Der Fahrzeugwankwinkel-Kompensationsterm kann die Wankwinkelberechnung sensibilisieren, um frühere Entfaltungen bzw. Ausfahrungen zu bewirken. Der Betrag der Wankwinkelkompensation hängt von dem speziellen Fahrzeug und der Charakteristik solcher Dinge, wie beispielsweise der Aufhängung und der Konfiguration des Fahrzeugs, ab. Ferner kann ein Wankstabilitätssteuerung-Verstärkungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterm bzw. Wankstabilitätssteuerung-Übertragungsfaktor/Grenzwert-Kompensationsterm erzeugt werden. Der Grenzwert kann zum Ermöglichen eines früheren Entfaltens bzw. Ausfahrens verändert werden, wenn in den Schritten **124** und **126** eine hinzugefügte Masse in einer vorbestimmten Höhe bestimmt wird. Der Betrag der Kompensation wird voraussichtlich basierend auf der Fahrzeugkonfiguration experimentell bestimmt werden.

**[0105]** Auf diese Weise kann, wie ersichtlich, das Wanksteuersignal gemäß der Fahrzeugbeladung und deren Höhe angepasst werden. Andererseits werden, wenn das Fahrzeug eine beträchtliche Beladungsmenge aufweist, d.h. die berechnete Beladung bzw. Last überschreitet einen Grenzwert  $L_{max}$

$$\Delta M \geq L_{max}, \quad (34)$$

und gleichzeitig die Höhe der Masse bzw. Last einen anderen Grenzwert  $H_{max}$  überschreitet

$$H \geq H_{max}, \quad (35)$$

dann zusätzlich zu der angepassten Berechnung des Wanksteuersignals (mittels des Anpassens des Fahrge-stell-Wankwinkels unter Verwendung des neuen Wankgradienten und des neuen Wankbeschleunigungskoeffizienten) alle Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die Regelung, die zum Ansteuern der Stellglieder verwendet wird, auf einen Satz von Werten  $G_{RLMAX}$  gesetzt bzw. eingestellt, die für größere Dachlasten abgestimmt sind, oder basierend auf der Größe der hinzugefügten Masse  $\Delta M$  adaptiv zu hohen Werten verändert. Auf diese Weise wird, wenn das Fahrzeug zwei abgehobene Räder aufweist, der richtige Betätigungsbetrag angefordert, so dass das Fahrzeug während eines potenziellen Überrollereignisses, bei dem Fahrzeuge mit großen Dachlasten beteiligt sind, eine stabile bzw. kräftige Wankstabilitäts-Steuerfunktion erzielt.

**[0106]** Wenn das Fahrzeug eine beträchtliche Beladung aufweist, d.h.  $\Delta M \geq L_{max}$ , jedoch die Beladung bzw. Last eine Bodenlast ist, d.h. die Höhe der Last kleiner als ein unterer Grenzwert  $H_{min}$  ist

$$H \leq H_{min}, \quad (36)$$

werden alle Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die Regelung, die zum Ansteuern der Stellglieder verwendet wird, auf einen Satz von Werten  $G_{FLMAX}$  gesetzt bzw. eingestellt, die für größere Bodenlasten abgestimmt sind.

**[0107]** Wenn das Fahrzeug eine beträchtliche Beladung aufweist, d.h.  $\Delta M \geq L_{max}$ , sich jedoch die Beladung bzw. Last zwischen dem Dach und dem Boden befindet, d.h.  $H$  zwischen einem unteren Grenzwert  $H_{min}$  (möglicherweise Null) und dem oberen Grenzwert  $H_{max}$  ist

$$H_{min} \leq H \leq H_{max}, \quad (37)$$

werden alle Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die Steuerung, die zum Ansteuern der Stellglieder verwendet wird, auf die folgenden Werte, die basierend auf der erfassten Lasthöhe angepasst sind, wie folgt gesetzt bzw. eingestellt:

$$G_H = G_{FLMAX} + \frac{H - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} (G_{RLMAX} - G_{FLMAX}) \quad (38)$$

**[0108]** Wenn das Fahrzeug eine Dachlast aufweist, welche unterhalb der maximal zulässigen Dachlast  $L_{max}$ , jedoch über der unteren Grenze einer gültigen Dachlast  $L_{min}$  ist, d.h. es gilt.

$$L_{\min} \leq \Delta M \leq L_{\max}, \quad (39)$$

dann werden, angenommen alle Nominal-Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die Regelung (für das Fahrzeug mit Nominalbelastung) werden mit  $G_{\text{nom}}$  bezeichnet, die Steuerungsverstärkungsfaktoren bzw. Steuerungsübertragungsfaktoren basierend auf der erfassten Dachlast wie folgt angepasst:

$$G_{\Delta M} = G_{\text{nom}} + \frac{\Delta M - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} (G_{\text{RLMAX}} - G_{\text{nom}}) \quad (40)$$

**[0109]** Der Wankgradient selbst kann auch direkt verwendet werden zum Anpassen der Steuerungsverstärkungsfaktoren bzw. Steuerungsübertragungsfaktoren. Wenn das Fahrzeug eine beträchtliche Erhöhung des Wankgradienten aufweist, d.h.  $\alpha \geq \alpha_{\min}$ , dann werden alle Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die Regelung, die zum Ansteuern der Stellglieder verwendet wird, auf die folgenden Werte, die basierend auf dem erfassten Wankgradienten angepasst sind, wie folgt gesetzt bzw. eingestellt:

$$G_{\alpha} = G_{\alpha_{\min}} + \frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} (G_{\alpha_{\max}} - G_{\alpha_{\min}}) \quad (41)$$

wobei  $\alpha_{\min}$  der Wankgradient ist, der einem Fahrzeug ohne Dachlast entspricht, und  $\alpha_{\max}$  der Wankgradient ist, der einem Fahrzeug mit maximal zulässiger Dachlast entspricht.

**[0110]** Es ist zu bemerken, dass andere Steuerungsverstärkungsfaktor-Anpassungen bzw. Steuerungsübertragungsfaktoren-Anpassungen als die oben aufgelisteten, linearen Interpolationsverfahren möglich sind. Es ist ferner zu bemerken, dass die Totzonen bzw. Regelunempfindlichkeitsbereiche und die Grenzwerte, die bei der Wankstabilitätsregelung verwendet werden, ebenfalls in gleicher Weise basierend auf der Lasthöhe  $H$  und/oder der Last  $\Delta M$  oder dem Wankgradienten oder dem Trägheitswankmoment, wie in Gleichung (30) berechnet, angepasst werden können.

**[0111]** Mittels Kombinierens dieser Steuerungsverstärkungsfaktoren- bzw. Steuerungsübertragungsfaktoren-, Totzonen- und Grenzwert-Anpassungen mit der quantitativen Wankwinkel-(beispielsweise der Fahrgestell-Wankwinkel) Anpassung kann eine robuste bzw. stabile Wankstabilitäts-Steuerfunktion erzielt werden.

**[0112]** Es ist ferner zu bemerken, dass basierend auf der zuvor genannten Berechnung der hinzugefügten Masse und ihres vertikalen Abstands vom Fahrzeugboden das Trägheitswankmoment der Fahrzeugkarosserie leicht wie in Gleichung (30) berechnet werden kann. Alternativ kann das Trägheitswankmoment  $I_{xx}$  direkt unter Verwendung der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$M_s a_y h_{cg} - K_{\text{roll}} \theta_{xr} - D_{\text{roll}} \dot{\theta}_{xr} = I_{xx} \dot{\omega}_x \quad (42)$$

wobei  $M_s$  die Fahrzeugmasse ist,  $a_y$  die gemessene Querschleunigung ist,  $h_{cg}$  die Höhe des Massenschwerpunkts über dem Wankzentrum ist,  $K_{\text{roll}}$  die Wanksteifigkeit der Aufhängung ist,  $\theta_{xr}$  der relative Wankwinkel der Fahrzeugkarosserie in Bezug auf die Räder (oder den Boden) ist,  $D_{\text{roll}}$  die Wankdämpfung der Aufhängung ist,  $\dot{\theta}_{xr}$  die relative Wankgeschwindigkeit bzw. relative Wankwinkelgeschwindigkeit ist und  $\dot{\omega}_x$  die Wankwinkelbeschleunigung bzw. Wankbeschleunigung (erlangt mittels Differenzierens der mittels des Wankratensensors erlangten Wankrate) sowie  $I_{xx}$  das Trägheitswankmoment in  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$  ist.

**[0113]** Wenn  $a_y$  und  $\theta_{xr}$  Null sind, jedoch  $\dot{\theta}_{xr}$  und  $\dot{\omega}_x$  ungleich Null sind, dann gilt:

$$I_{xx} = -D_{\text{roll}} \dot{\theta}_{xr} / \dot{\omega}_x \quad (43)$$

**[0114]** Andererseits gilt, wenn  $\dot{\theta}_{xr}$  und  $\dot{\omega}_x$  Null sind und die Masse  $M_s$  mittels anderer Mittel bestimmt wird:

$$I_{xx} = M_s a_y h_{cg} / \dot{\omega}_x \quad (44)$$

**[0115]** Alternativ kann das mittels des Wankratensensors erfasste Wankverhalten des Fahrzeugs zum Bestimmen des Wankgradienten und des Wankbeschleunigungskoeffizienten im Frequenzbereich analysiert werden:

- $\omega_d$  = die gedämpfte Eigenfrequenz der Wankbewegung des Fahrzeugs (Hz)  
 $\omega_n$  = die ungedämpfte Eigenfrequenz der Wankbewegung des Fahrzeugs (Hz)  
 $\zeta$  = das Dämpfungsverhältnis der Wankbewegung des Fahrzeugs (einheitslos)

Verwenden der Laplace-Transformation

$$\theta_{xr} + \frac{D_{roll}}{K_{roll}} \dot{\theta}_{xr} = \frac{M_s h_{cg}}{K_{roll}} a_y - \frac{I_{xx}}{K_{roll}} \dot{\omega}_x \quad (45)$$

**[0116]** und Neuansordnen führt unter Berücksichtigung von  $\dot{\omega}_x \approx \dot{\theta}_{xr}$ , wenn das Fahrzeug keine große Nickbewegung aufweist oder das Fahrzeug keine große Gierrate aufweist, zu Folgendem:

$$\frac{\Theta_{xr}(s)}{A_y(s)} = \frac{1}{\frac{I_{xx}}{M_s h_{cg}} s^2 + \frac{D_{roll}}{m_s h_{cgs}} s + \frac{K_{roll}}{m_s h_{cgs}}} = \left( \frac{M_s h_{cg}}{K_{roll}} \right) \frac{1}{\frac{I_{xx}}{K_{roll}} s^2 + \frac{D_{roll}}{K_{roll}} s + 1} \quad (46)$$

wobei  $\Theta_{xr}(s)$  und  $A_y(s)$  die Laplace-Transformation von  $\theta_{xr}$  bzw.  $a_y$  sind.

**[0117]** Eine digitale, schnelle Fourier-Transformation wird verwendet zum Erzeugen einer Frequenzbereichsfunktion bzw. Frequenzgangfunktion und zum Bestimmen der Größe von

$$\frac{\Theta_{xr}(s)}{A_y(s)}$$

**[0118]** Verglichen mit der Frequenz ist der Wankgradient gleich mit dem DC-Verstärkungsfaktor bzw. DC-Übertragungsfaktor (Gleichung 7 ausgewertet bei  $s=0$ ).

**[0119]** Der Höchstwert der Frequenzgangfunktion wird bei der gedämpften Eigenfrequenz auftreten:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (47)$$

wobei  $\omega_n$  die ungedämpfte Eigenfrequenz ist und  $\zeta$  das Dämpfungsverhältnis ist. (Alternativ kann die gedämpfte Eigenfrequenz aus „impulsartigen“ Eingaben in die Aufhängung (Auftreffen auf einen Huckel oder ein Schlagloch in der Straße) und einem Bestimmen der Frequenz der Wankschwingungen bestimmt werden.)

**[0120]** Aus Gleichung (45) ergibt sich:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_{roll}}{I_{xx}}} \Rightarrow \frac{I_{xx}}{K_{roll}} = \frac{1}{\omega_n^2} = -\beta \quad (48)$$

$$\zeta = \frac{\omega_n D_{roll}}{2K_{roll}} \quad (49)$$

**[0121]** Ein Einsetzen von Gleichung (49) in Gleichung (47) ergibt:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \frac{\omega_n^2 D_{roll}^2}{4K_{roll}^2}} \quad (50)$$

**[0122]** Die Gleichung (50) kann nach  $\omega_n$  aufgelöst werden, welches wiederum zum Berechnen bzw. Evaluieren der Gleichung (48) und Auflösen dieser nach dem Wankbeschleunigungskoeffizienten  $\beta$  verwendet werden kann.

**[0123]** Ein anderer Weg zum Bestimmen der Wankträgeit bzw. des Trägheitswankmoments ist, einen indirekten, empirischen Ansatz bzw. ein indirektes empirisches Verfahren zu verwenden. Als erstes wird eine Masse bestimmt und dann wird die Trägheit zu der Masse korreliert bzw. in Beziehung gesetzt. D.h., ein erster Mas-

senschätzwert wird mittels eines Verfahrens, wie beispielsweise jenem, das in der Erfindungsoffenbarung (203-0482) beschrieben ist, die als US-Patentanmeldung 10/849,590 eingereicht wurde und deren Offenbarung durch Bezugnahme hierin aufgenommen ist, oder mittels eines anderen Verfahrens bestimmt. Dann kann die Trägheit mittels unterschiedlicher, im Folgenden erläuteter Verfahren erlangt werden:

a. Nehme Trägheitsänderungen als Massenänderungen von deren Basiswerten an, d.h.  $M_{s\_base}$  zu aktuellem Wert  $M_{s\_current}$ , wobei gilt:

$$I_{xx\_total} = I_{xx\_base} + h_2(M_{s\_current} - M_{s\_base}), \quad (51)$$

wobei  $h_2$  als Konstante angenommen wird. Basierend auf Tests an einem auf unterschiedliche Weise beladenem Fahrzeug kann dann ein Mittelwert verwendet werden.

b. Setze das Trägheitswankmoment  $I_{xx}$  zur Fahrzeugmasse in Beziehung, d.h. mittels Testens unter Verwendung einer Fahrzeugträgheits-Messeinrichtung zum Erlangen des Trägheitswankmomentes kann die Masse für unterschiedliche Beladungszustände und Dachlasten korreliert werden. Dies basiert auf der Voraussetzung, dass man einen Geländewagen (SUV) nur auf so viele Weisen beladen kann (zum Beispiel muss eine Masse über dem Leergewicht in den Fahrzeugsitzen und/oder auf dem Dachgepäckträger platziert werden). Wieder kann die Fahrzeugmasse mittels eines Verfahrens, das in der US-Patentanmeldung 10/849,590 beschrieben ist, oder mittels eines anderen Verfahrens bestimmt werden, und dann das zu dieser Masse korrespondierende, mittels Testens erlangte Trägheitswankmoment  $I_{xx}$  verwendet werden.

**[0124]** Der jetzige Massenschätzwert oder Trägheitswankmomentschätzwert können auf unterschiedliche Weisen in dem RSC-Algorithmus verwendet werden, einschließlich:

Einer verbesserten Zustandsabschätzung: Da der Massenwert und der Trägheitswankmomentwert bei den Abschätzungen für den Zustand des Wankwinkels, des Nickwinkels und des Gierwinkels verwendet werden, verbessern genau den aktuellen Fahrzeugzustand wiedergebende Werte die Genauigkeit und die RSC-Steuerung und reduzieren das Auftreten von Fehleingriffen.

**[0125]** Modifizierter Grenzwerte für eine Aktivierung:

Beispielsweise kann ein vollbeladenes Fahrzeug hinsichtlich eines Wankens weniger stabil sein. Folglich können beispielsweise engere Grenzwerte für den Wankwinkel und die Wankrate verwendet werden. Dies erhöht das Niveau der RSC-Steuerung bei gleichem Wankwinkelniveau und Geschwindigkeitsniveau für das beladene Fahrzeug.

c. Erhöhte Verstärkungsfaktoren bzw. Übertragungsfaktoren für die RSC-, PID- und/oder Übergangs-Steuer-  
errichtungen.

d. Weniger strenger Eintrittsbedingungen für einen PID- oder einen Übergangs-Steuerungseingriff.

e. Jeglicher Kombination des oben genannten.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (10), aufweisend:

Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten, und

Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten mittels eines Wankratensensors (34) aufweist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal aufweist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, ein Längsbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

6. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizien-

ten ein Bestimmen des adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung, eine Gierrate und eine Wankrate aufweist.

7. Verfahren gemäß Anspruch 1, ferner ein Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten und den Wankratenkoeffizienten aufweist.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein adaptives Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweist.

9. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion der Fahrzeugwanksteifigkeit und der Fahrzeugwankdämpfung aufweist.

10. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion eines Aufhängungsdämpfers aufweist.

11. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

12. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf den adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten aufweist.

13. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf den adaptiven Wankbeschleunigungskoeffizienten aufweist.

14. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (**10**), aufweisend:  
Erzeugen eines die Wankrate des Fahrzeugs (**10**) abbildenden Wankratensignals,  
Bestimmen einer Höhe einer hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal, und  
Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf die Höhe der hinzugefügten Masse.

15. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (**10**), aufweisend:  
Bestimmen eines Wankgradienten,  
Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten,  
Bestimmen einer hinzugefügten Masse und einer Höhe der hinzugefügten Masse aus dem Wankgradienten und dem Wankbeschleunigungskoeffizienten, und  
Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe.

16. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen eines Wankgradienten mittels eines Wankratensensors (**34**) aufweist.

17. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten mittels eines Wankratensensors (**34**) aufweist.

18. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei die Höhe zu einer Positionsänderung eines Schwerpunkts korrespondiert.

19. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

20. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen des Wankgradienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal aufweist.

21. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen des Wankgradienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

22. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen des Wankgradienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, ein Längsbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

23. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen des Wankgradienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung und eine Gierrate aufweist.

24. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankgradienten ein Bestimmen des Wankgradienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung, eine Gierrate und eine Wankrate aufweist.

25. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal aufweist.

26. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

27. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, ein Längsbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

28. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung und eine Gierrate aufweist.

29. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querbeschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung, eine Gierrate und eine Wankrate aufweist.

30. Verfahren gemäß Anspruch 15, ferner ein Bestimmen eines Wankratenparameters aufweisend.

31. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankratenparameters ein Bestimmen des Wankratenparameters als eine Funktion der Fahrzeugwanksteifigkeit und der Fahrzeugwankdämpfung aufweist.

32. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei das Bestimmen eines Wankratenparameters ein Bestimmen des Wankratenparameters als eine Funktion eines Aufhängungsdämpfers aufweist.

33. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (10), aufweisend:  
Bestimmen einer Wankrate,  
Bestimmen einer Querbeschleunigung,  
Bestimmen einer Längsbeschleunigung,  
Bestimmen einer Gierrate,  
Bestimmen einer hinzugefügten Masse und einer Höhe der hinzugefügten Masse aus der Wankrate, der Querbeschleunigung, der Längsbeschleunigung und der Gierrate, und  
Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe.

34. Steuersystem für ein Kraftfahrzeug (10), aufweisend:  
einen Wankratensensor (34), der ein Wankratensignal erzeugt,  
einen Querbeschleunigungssensor (32), der ein Querbeschleunigungssignal erzeugt,  
einen Längsbeschleunigungssensor (36), der ein Längsbeschleunigungssignal erzeugt,  
einen Gierratensensor (28), der ein Gierratensignal erzeugt,  
ein Sicherheitssystem, und  
eine Steuervorrichtung (26), die mit dem Wankratensensor (34), dem Längsbeschleunigungssensor (36), dem Querbeschleunigungssensor (32), dem Gierratensensor (28) und dem Sicherheitssystem gekoppelt ist, wobei die Steuervorrichtung (26) eine hinzugefügte Masse und eine Höhe der hinzugefügten Masse aus der Wankrate, der Querbeschleunigung, der Längsbeschleunigung und der Gierrate bestimmt und das Sicherheitssystem in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe steuert.

35. System gemäß Anspruch 34, wobei das Sicherheitssystem ein Wankstabilitäts-Steuersystem aufweist.

36. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (10), aufweisend:

Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten, und Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten.

37. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten ein Bestimmen des adaptiven Wankgradienten mittels eines Wankratensensors (**34**) aufweist.

38. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

39. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten ein Bestimmen des adaptiven Wankgradienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal aufweist.

40. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten ein Bestimmen des adaptiven Wankgradienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

41. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten ein Bestimmen des adaptiven Wankgradienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal, ein Längsbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

42. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankgradienten ein Bestimmen des adaptiven Wankgradienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung, eine Gierrate und eine Wankrate aufweist.

43. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten aufweist.

44. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten aufweist.

45. Verfahren gemäß Anspruch 36, ferner ein Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten und den Wankbeschleunigungskoeffizienten aufweist.

46. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei der Wankbeschleunigungskoeffizient adaptiv bestimmt wird.

47. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des wankbeschleunigungskoeffizienten mittels eines Wankratensensors (**34**) aufweist.

48. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal aufweist.

49. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

50. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal, ein Längsbeschleunigungssignal und eine Wankbeschleunigung aufweist.

51. Verfahren gemäß Anspruch 45, wobei das Bestimmen eines Wankbeschleunigungskoeffizienten ein Bestimmen des Wankbeschleunigungskoeffizienten in Reaktion auf ein Querschleunigungssignal, eine Längsbeschleunigung, eine Wankbeschleunigung, eine Gierrate und eine Wankrate aufweist.

52. Verfahren gemäß Anspruch 45, ferner ein Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten, einen Wankbeschleunigungskoeffizienten und den Wankratenkoeffizienten aufweist.

53. Verfahren gemäß Anspruch 52, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein adaptives Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweist.

54. Verfahren gemäß Anspruch 52, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion der Fahrzeugwanksteifigkeit und der Fahrzeugwankdämpfung aufweist.

55. Verfahren gemäß Anspruch 52, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion eines Aufhängungsdämpfers aufweist.

56. Verfahren gemäß Anspruch 36, ferner ein Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankgradienten und den Wankratenkoeffizienten aufweist.

57. Verfahren gemäß Anspruch 56, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein adaptives Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten aufweist.

58. Verfahren gemäß Anspruch 56, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion der Fahrzeugwanksteifigkeit und der Fahrzeugwankdämpfung aufweist.

59. Verfahren gemäß Anspruch 56, wobei das Bestimmen eines Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des Wankratenkoeffizienten als eine Funktion eines Aufhängungsdämpfers aufweist.

60. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (10), aufweisend:  
Bestimmen eines adaptiven Wankratenkoeffizienten, und  
Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf den adaptiven Wankratenkoeffizienten.

61. Verfahren gemäß Anspruch 60, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des adaptiven Wankratenkoeffizienten als eine Funktion der Fahrzeugwanksteifigkeit und der Fahrzeugwankdämpfung aufweist.

62. Verfahren gemäß Anspruch 60, wobei das Bestimmen eines adaptiven Wankratenkoeffizienten ein Bestimmen des adaptiven Wankratenkoeffizienten als eine Funktion eines Aufhängungsdämpfers aufweist.

63. Verfahren gemäß Anspruch 60, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

64. Verfahren gemäß Anspruch 60, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf den adaptiven Wankratenkoeffizienten aufweist.

65. Verfahren gemäß Anspruch 60, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf den adaptiven Wankratenkoeffizienten aufweist.

66. Verfahren zum Steuern eines Sicherheitssystems für ein Fahrzeug (10), aufweisend:  
Erzeugen eines die Wankrate des Fahrzeugs (10) abbildenden Wankratensignals,  
Bestimmen einer hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal, und  
Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf die hinzugefügte Masse.

67. Verfahren gemäß Anspruch 66, ferner ein Bestimmen einer Querbeschleunigung aufweisend, wobei das Bestimmen einer hinzugefügten Masse ein Bestimmen der hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal und die Querbeschleunigung aufweist.

68. Verfahren gemäß Anspruch 66, ferner ein Bestimmen einer Querbeschleunigung, einer Längsbeschleunigung und einer Gierrate aufweisend, wobei das Bestimmen einer hinzugefügten Masse ein Bestimmen einer hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal, die Querbeschleunigung, die Längsbeschleunigung und die Gierrate aufweist.

69. Verfahren gemäß Anspruch 66, ferner ein Bestimmen einer Höhe der hinzugefügten Masse aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe der hinzugefügten Masse aufweist.

70. Verfahren gemäß Anspruch 69, ferner ein Bestimmen einer Querbeschleunigung aufweisend, wobei

das Bestimmen einer Höhe einer hinzugefügten Masse ein Bestimmen der Höhe der hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal und die Querschleunigung aufweist.

71. Verfahren gemäß Anspruch 69, ferner ein Bestimmen einer Querschleunigung, einer Längsbeschleunigung und einer Gierrate aufweisend, wobei das Bestimmen einer Höhe einer hinzugefügten Masse ein Bestimmen einer Höhe der hinzugefügten Masse in Reaktion auf das Wankratensignal, die Querschleunigung, eine Längsbeschleunigung und eine Gierrate aufweist.

72. Verfahren gemäß Anspruch 69, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe der hinzugefügten Masse aufweist.

73. Verfahren gemäß Anspruch 69, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf die hinzugefügte Masse und die Höhe der hinzugefügten Masse aufweist.

74. Verfahren gemäß Anspruch 69, wobei die Höhe der hinzugefügten Masse die Höhe des Schwerpunkts des die hinzugefügte Masse aufweisenden Fahrzeugs (**10**) aufweist.

75. Verfahren gemäß Anspruch 66, ferner ein Bestimmen eines Trägheitswankmoments der die hinzugefügte Masse aufweisenden Fahrzeugkarosserie aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf das den Beitrag der hinzugefügten Masse enthaltende Trägheitswankmoment aufweist.

76. Verfahren gemäß Anspruch 66, ferner ein Bestimmen eines Trägheitswankmomentes des Fahrzeugs und der hinzugefügten Masse aufweisend, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern des Sicherheitssystems in Reaktion auf das Trägheitswankmoment des Fahrzeugs und der hinzugefügten Masse aufweist.

77. Verfahren gemäß Anspruch 66, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

78. Verfahren gemäß Anspruch 66, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf die hinzugefügte Masse aufweist.

79. Verfahren gemäß Anspruch 66, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf die hinzugefügte Masse aufweist.

80. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die Höhe der hinzugefügten Masse die Höhe des Schwerpunkts des die hinzugefügte Masse enthaltenden Fahrzeugs (**10**) aufweist.

81. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Steuern eines Wankstabilitäts-Steuersystems aufweist.

82. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein adaptives Anpassen einer Wankwinkelbestimmung in Reaktion auf die Höhe der hinzugefügten Masse aufweist.

83. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei das Steuern des Sicherheitssystems ein Anpassen von Steuerungsübertragungsfaktoren in Reaktion auf die Höhe der hinzugefügten Masse aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

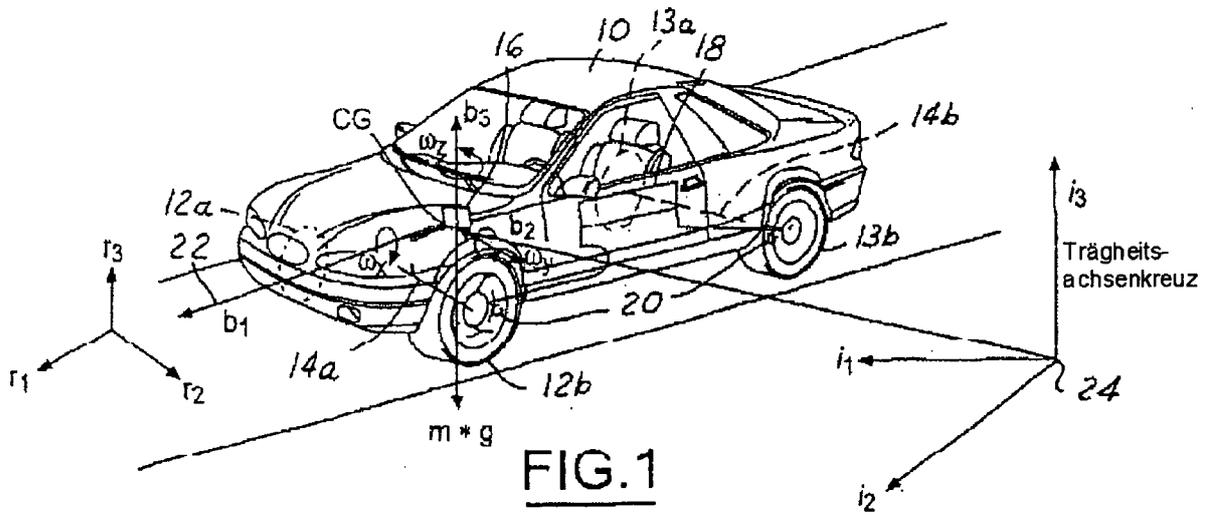


FIG. 1

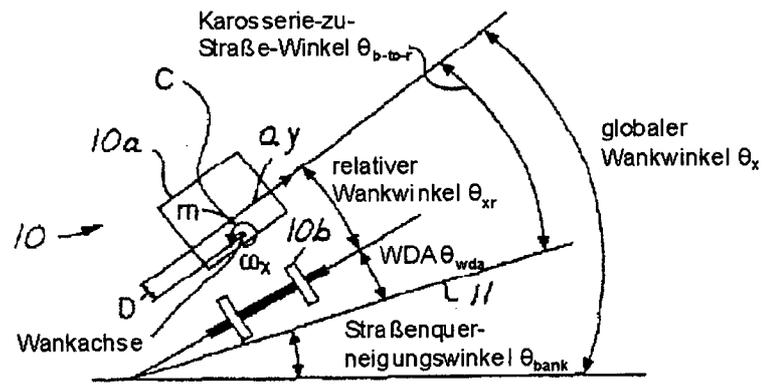


FIG. 3

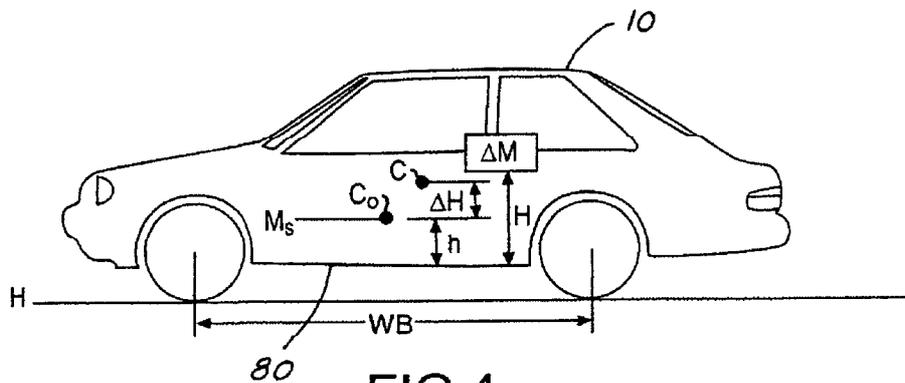
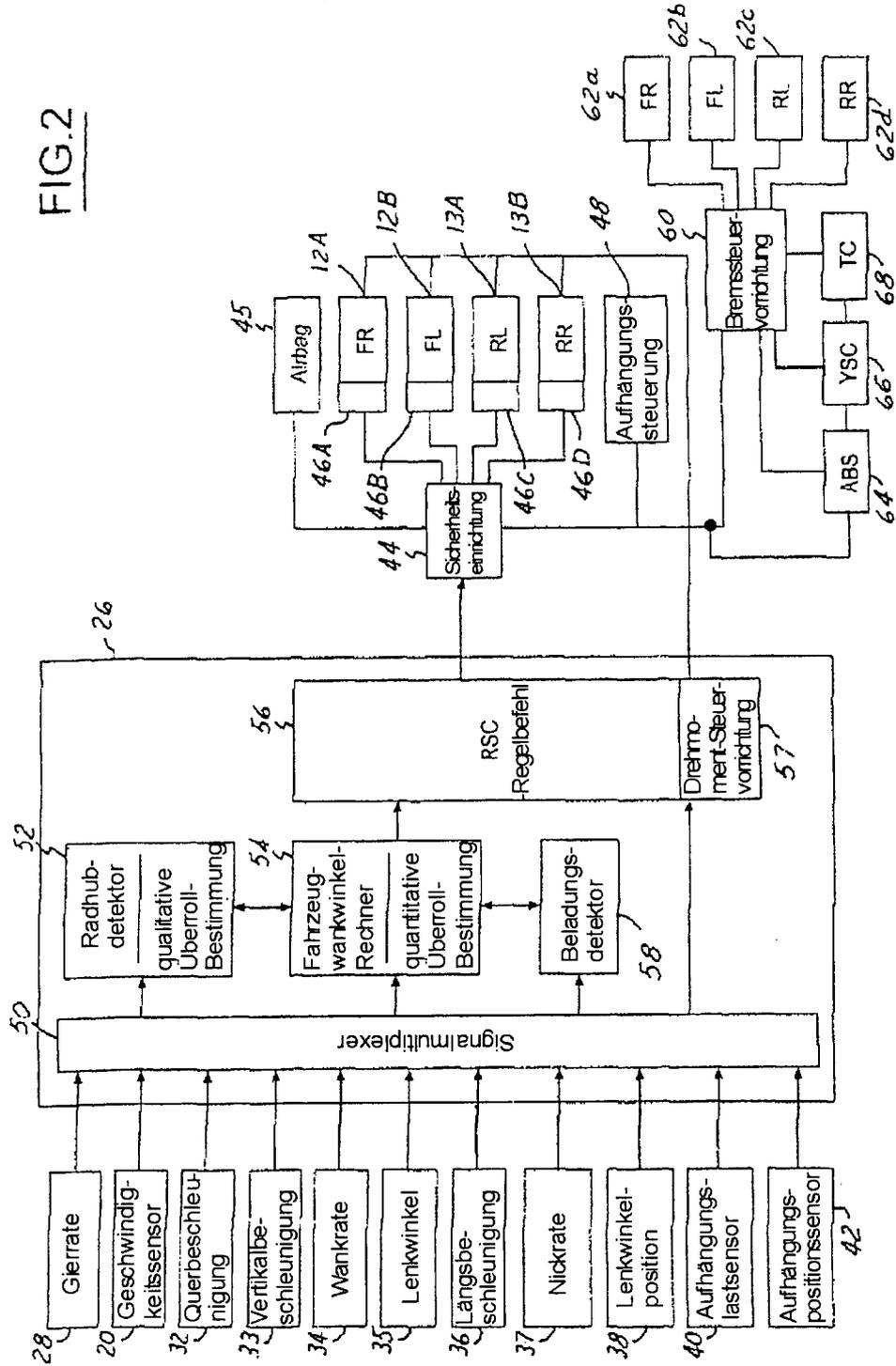


FIG. 4

FIG.2



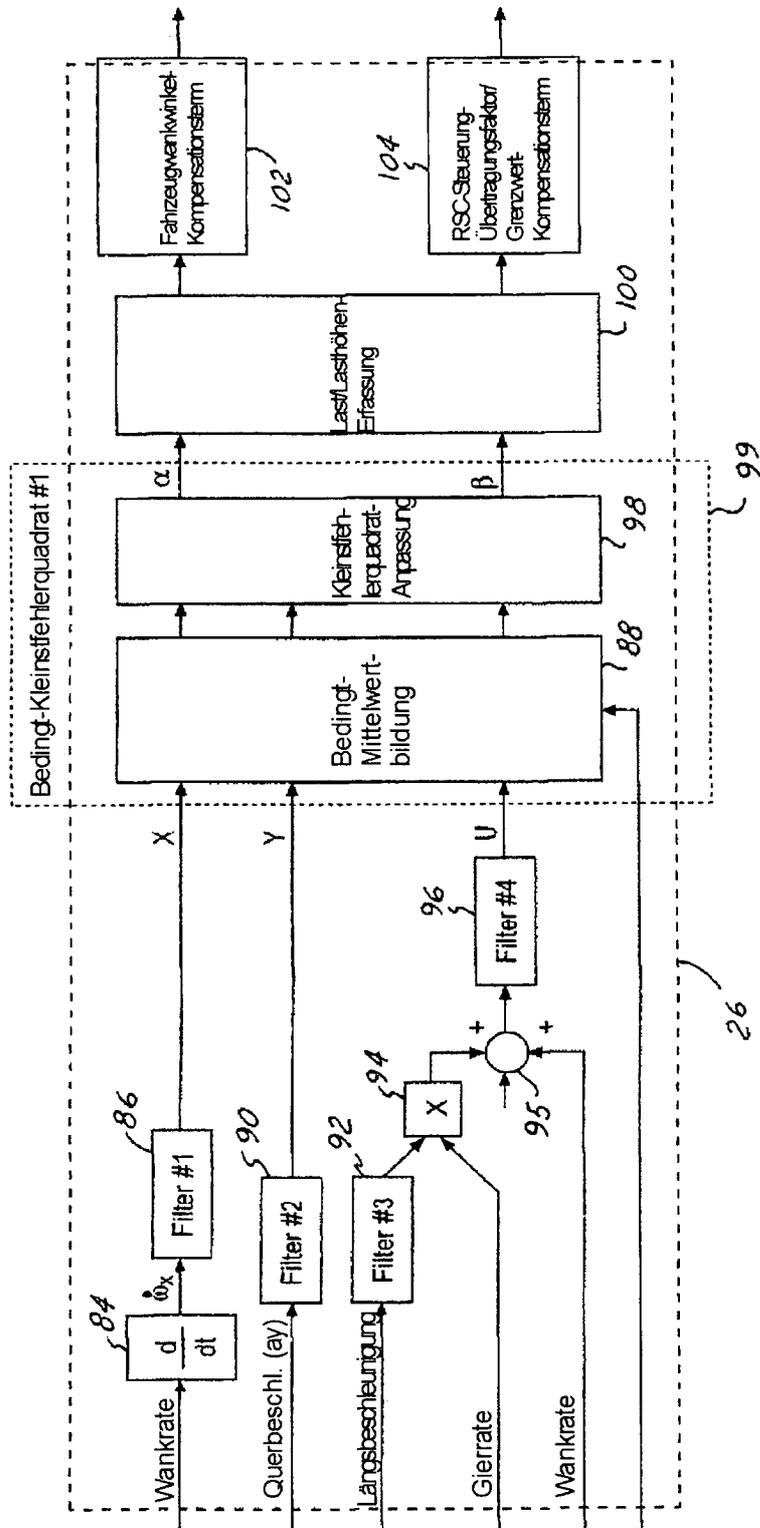


FIG.6

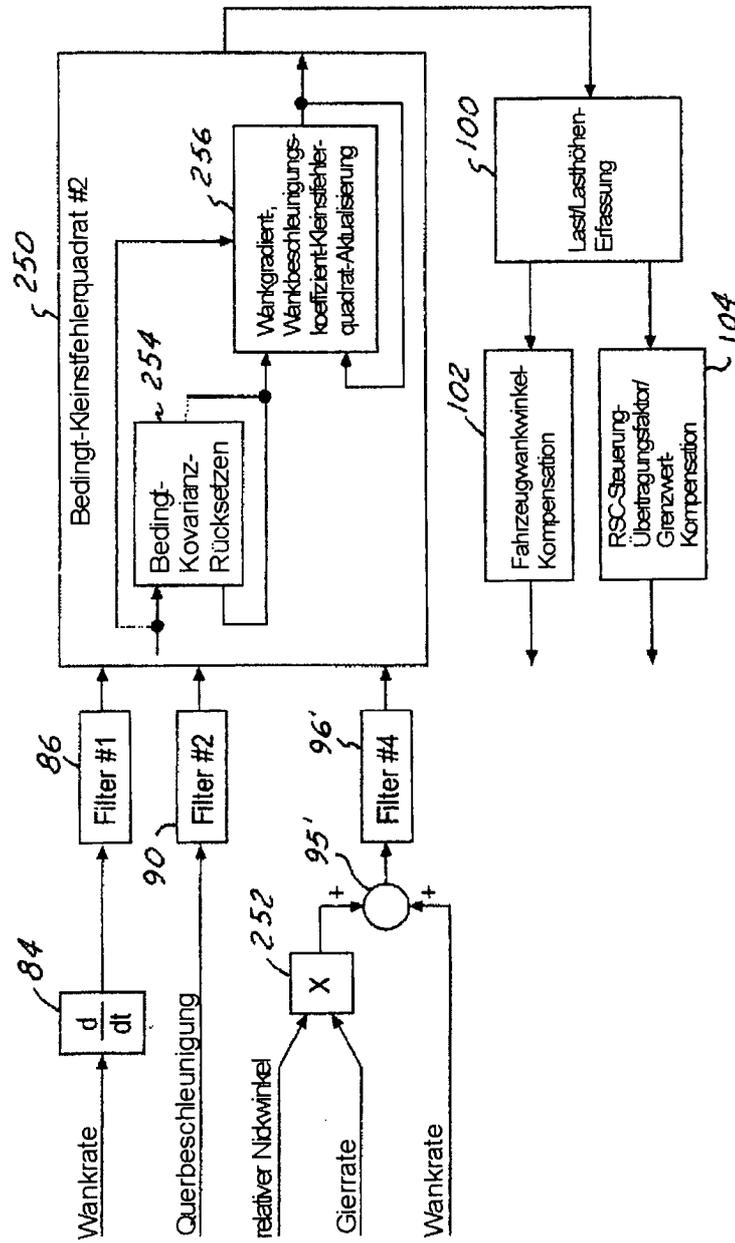
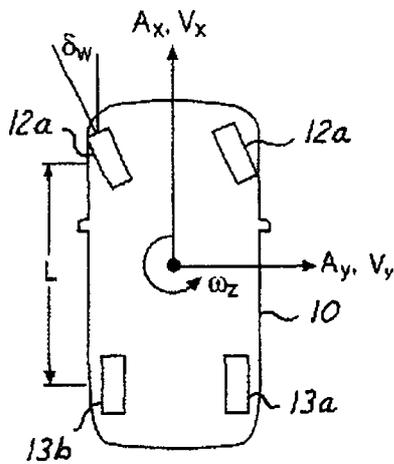
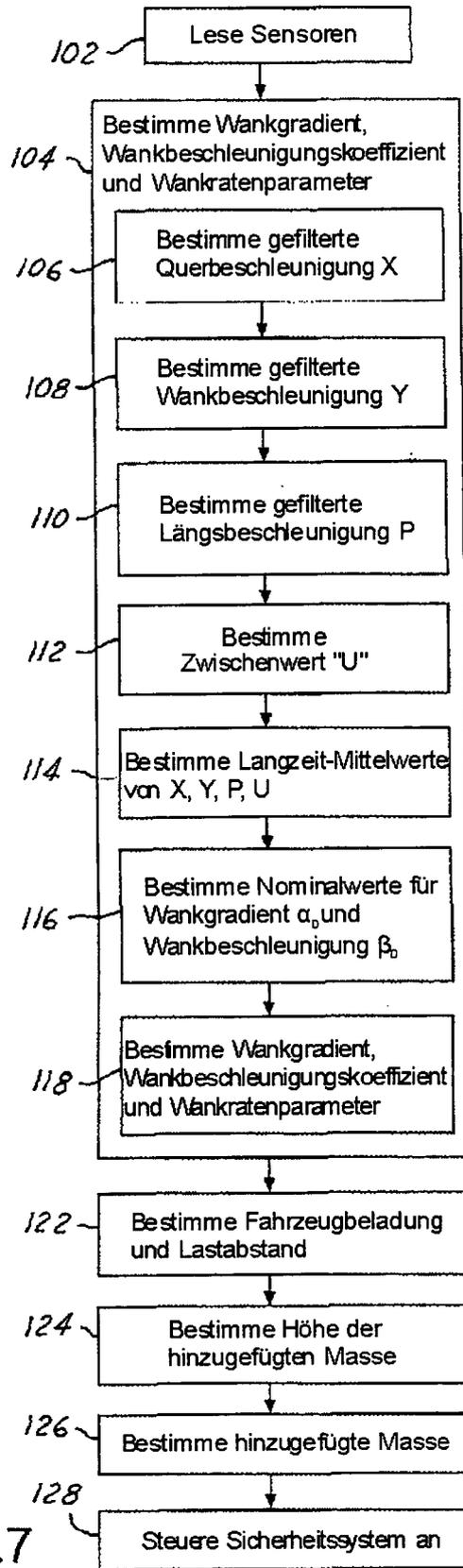


FIG.6a



**FIG.5**



**FIG.7**