



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 053 222 A1** 2007.05.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 053 222.5**

(22) Anmeldetag: **08.11.2005**

(43) Offenlegungstag: **10.05.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B60G 21/10** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München, DE**

(72) Erfinder:

**Goubeau, Andreas, 82211 Herrsching, DE; Forster, Josef, 85051 Ingolstadt, DE; Gleser, Andreas, 82194 Gröbenzell, DE; Eschenbach, Christopher, 80634 München, DE; Kvasnicka, Pavel, 80639 München, DE; Repp, Sergey, 81927 München, DE; Hertlen, Sebastian, 81677 München, DE; Pauly, Axel, Dr., 85757 Karlsfeld, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE10 2004 039973 A1**

**DE 198 36 658 A1**

**DE 196 37 159 A1**

**DE 39 35 724 A1**

**DE 39 00 336 A1**

**DE 30 24 845 A1**

**US 61 29 364 A1**

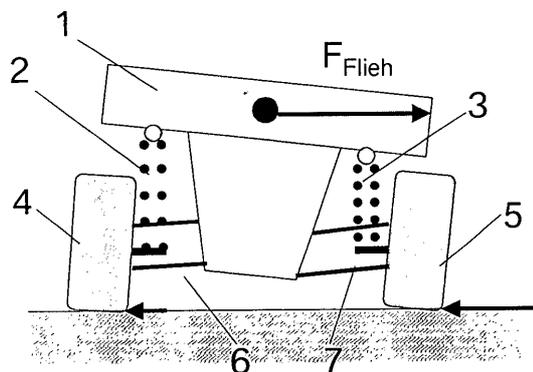
**US 47 00 972**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung für ein mehrachsiges Zweispur-Fahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung für ein mehrachsiges Zweispur-Fahrzeug mit einem aktiven Aufhängungssystem mit radindividuellen Aktuatoren zur Beeinflussung der Relativbewegung zwischen dem Rad und dem Fahrzeug-Aufbau sowie mit einer Regeleinheit zur Erzeugung von Stellsignalen für die Aktuatoren in Abhängigkeit von den Fahrzeugzustand repräsentierenden Eingangsgrößen, wobei bei Kurvenfahrt des Fahrzeugs der Fahrzeugaufbau vorzugsweise an beiden Achsen mittels des zugeordneten Aktuators an der kurveninneren Seite aktiv abgesenkt wird und somit durch diese Regelstrategie in Verbindung mit dem Einfedern auf der kurvenäußeren Seite eine Wankbewegung des Aufbaus weitestgehend verhindert wird, wobei die Kinematik der Rad-Aufhängung derart ausgelegt ist, dass Räder aller Achsen mit zunehmendem Einfederweg eine Sturzänderung relativ zum Fahrzeugaufbau hin zu größeren negativen Sturzwinkeln erfahren. Hierdurch wird das Kraftübertragungspotential der kurvenäußeren Räder gesteigert. Zusätzlich können über den Federweg bei Kurvenfahrt vorzugsweise an allen Achsen das Fahrverhalten beeinflussende Vorspuränderungen hervorgerufen werden.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung für ein mehrachsiges Zweispur-Fahrzeug mit einem aktiven Aufhängungssystem mit radindividuellen Aktuatoren zur Beeinflussung der Relativbewegung zwischen dem Rad und dem Fahrzeug-Aufbau sowie mit einer Regeleinheit zur Erzeugung von Stellsignalen für die Aktuatoren in Abhängigkeit von den Fahrzustand repräsentierenden Eingangsgrößen. Zum technischen Umfeld wird auf die DE 10 2004 039 973 A1 verwiesen.

**[0002]** Bekannt sind Fzg.-Fahrwerke mit aktiver Wankstabilisierung, bei denen eine Ein- oder Ausfederbewegung zwischen dem jeweiligen Rad und Fahrzeugaufbau weitgehend unterbunden wird, mit dem Ziel, ebenso wie bei Fahrt geradeaus auch bei Kurvenfahrt einen im wesentlichen horizontal ausgerichteten Fzg.-Aufbau zu erhalten. Hierfür kann das Fahrwerk entweder sog. aktive Stabilisatoren aufweisen oder radindividuelle Aktuatoren, mit denen eine Relativbewegung im wesentlichen in Vertikalrichtung zwischen dem jeweiligen Rad und dem Fzg.-Aufbau gezielt erzeugt werden kann.

## Aufgabenstellung

**[0003]** Für die letztgenannte Ausführungsform sollen hiermit weitere Verbesserungen aufgezeigt werden (= Aufgabe der vorliegenden Erfindung).

**[0004]** Die Lösung dieser Aufgabe ist für eine Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 dadurch gekennzeichnet, dass bei Kurvenfahrt des Fahrzeugs der Fahrzeugaufbau zumindest an einer Achse, vorzugsweise an beiden oder allen Achsen, an der kurveninneren Seite mittels des zugeordneten Aktuators aktiv abgesenkt wird und somit durch diese Regelstrategie in Verbindung mit dem Einfedern auf der kurvenäußeren Seite eine Wankbewegung des Aufbaus weitestgehend verhindert wird, wobei die Kinematik der Rad-Aufhängung derart ausgelegt ist, dass die Räder aller Achsen mit zunehmendem Einfederweg eine Sturzänderung relativ zum Fahrzeugaufbau hin zu größeren negativen Sturzwinkeln erfahren. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

**[0005]** Vorgeschlagen wird somit ein Fahrwerk insbesondere eines vierrädrigen Zweispur-Kraftfahrzeuges mit vier aktiven Stellelementen (= Aktuatoren) zur radindividuellen Beeinflussung der Relativbewegung zwischen jedem Rad und dem Fahrzeugaufbau sowie mit einer Ansteuerungsstrategie für ein regelbares aktives Aufhängungssystem, welches bei Kurvenfahrt den Fahrzeugaufbau an der Kurveninneren Seite absenkt und damit (in Verbindung mit dem flieh-

kraftbedingten, selbsttätigen Absenken oder Einfedern des Fzg. Aufbaus an der Kurvenaußenseite) eine Wankbewegung des Fahrzeugaufbaus verhindert und damit einhergehend einen für das Seitenkraftübertragungspotential der Reifen möglichst günstigen negativen Sturzwinkel erzeugt. Letzteres soll dabei für sämtliche Räder des Fahrzeugs gelten. Dadurch, dass nunmehr bei Kurvenfahrt an sämtlichen Rädern ein Einfedern stattfindet, können bzw. sollen die Radaufhängungen insgesamt derart ausgelegt sein, dass sich mit einem solchen Einfedern (= Verringerung des vertikalen Abstands zwischen der Radmitte und Fzg.-Aufbau) an jedem Rad eine Sturzänderung relativ zum Fahrzeugaufbau in Richtung sich vergrößernden negativen Sturzwinkel einstellt. Dies erhöht zusätzlich zu der unterbundenen Wankbewegung des Fahrzeuges das Seitenkraftübertragungspotential an den durch die erhöhte Radlast bei Kurvenfahrt für die Kraftübertragung maßgeblichen kurvenäußeren Rädern.

**[0006]** Während das Einfedern an den kurvenäußeren Rädern fliehkraftbedingt selbsttätig erfolgt, wird vorzugsweise an beiden bzw. allen kurveninneren Rädern durch entsprechende Aktuatoransteuerung ebenfalls ein Einfedern hervorgerufen, was aufgrund entsprechend ausgelegter Radführungskinetik gleichzeitig eine Steigerung des Seitenkraftübertragungspotentials auch bzw. insbesondere der kurvenäußeren Räder oder Reifen durch die beschriebene Sturzänderung verursacht. An den Rädern kann somit kein – im üblichen Stand der Technik festzustellender – Sturzwinkelverlust durch einen sich ansonsten einstellenden Aufbau-Wankwinkel auftreten. In Kombination führen die Merkmale des erfindungsgemäßen Fahrwerks mit den Aktuatoren, der beschriebenen Ansteuerungsstrategie sowie der Auslegung der Radkinematik dazu, dass das Kraftübertragungspotential der Reifen bei Kurvenfahrt erhöht wird.

**[0007]** Der Sturzwinkel eines Reifens ist bekanntlich derjenige Winkel, den die Radebene und die Fahrbahnnormale in der Fahrzeug-Querebene einschließen. Der Sturzwinkel beeinflusst bekanntlich das Kraftübertragungspotential des Reifens. Ist der Reifen an der Oberseite zur Kurvenaußenseite gekippt, entsteht ein Verlust an Seitenkraftpotential, d.h. der Reifen muss für die gleiche zu übertragende Seitenkraft unter einem größeren Schräglaufwinkel abrollen. Die maximale übertragbare Seitenkraft wird durch einen derartigen Sturzwinkel geschwächt. Bei entgegengesetztem negativen Sturzwinkel wird das Kraftübertragungspotential des Reifens dagegen bis zu einem gewissen Grade gesteigert und der erforderliche Schräglaufwinkel vermindert.

**[0008]** Bei konventionell gefederten Fahrzeugen liegt das Problem vor, dass unter Einwirkung einer Querbeschleunigung der Fahrzeugaufbau eine Wankbewegung erfährt. Weist das Fahrwerk zur An-

bindung der Räder an den Fahrzeugaufbau Einzelaufhängungen auf, überträgt sich die Wankbewegung des Fahrzeugaufbaus auf die Räder. Diese Wankbewegung verursacht konventionell eine ungünstige Sturzänderung der Räder, die das Seitenkraftübertragungspotential der Reifen schwächt.

**[0009]** Der Sturzwinkel eines Rades relativ zur Fahrbahn setzt sich zusammen aus der beschriebenen Wankbewegung des Aufbaus und einem Anteil des Rades relativ zum Aufbau. Dieser Sturzwinkel zwischen Aufbau und Rad hängt über die Aufhängungsskinematik von der Einfederung der Räder ab. In Konstruktionslage ist der statische Sturz eingestellt. Zusätzlich treten durch Elastizitäten in Lenkern und Lagerungen unvorteilhafte Sturzänderungen unter Seitenkraft auf.

**[0010]** Um nun eine maximale Spurführung bei Kurvenfahrt zu erreichen, ist ein durch die Wankbewegung und die Seitenkräfte entstehender positiver Sturz zu vermeiden und nach Möglichkeit negativer Sturz beizubehalten bzw. ein solcher negativer Sturz zu verstärken. Dies ist erreichbar durch negativen statischen Sturz sowie eine Zunahme des negativen Sturzes über der Einfederung. Diese Maßnahmen stehen im Widerspruch zu den Anforderungen bei Geradeausfahrt des Fahrzeugs, wo ein Sturzwinkel in der Größenordnung von „Null“ erstrebenswert ist, um Reifenverschleiß und Störeinflüsse auf den Geradeauslauf zu minimieren. Mit der vorliegenden Erfindung kann dieser beschriebene Zielkonflikt aufgelöst werden, um die Erweiterung der fahrdynamischen Grenzen und einen deutlichen Gewinn an Fahrsicherheit mit einer Verringerung von Reifenverschleiß und einer Verbesserung der Geradeauslaufeigenschaften zu verbinden. Um einen Sturzwinkel von 0° oder einen leichten negativen Sturz zur Fahrbahn am kurvenäußeren Rad bei Kurvenfahrt zu erzielen, soll somit die Sturzzunahme bei Einfederung in Richtung negativer Sturz den durch die Elastizitäten in Lenkern und Lagerungen entstehenden positiven Sturz kompensieren oder leicht überkompensieren, so dass der statische Sturz verringert werden kann und bei einem erfindungsgemäßen Fahrwerk ein Potential zur Verbesserung des Geradeauslaufs gegeben ist.

**[0011]** Die genannten Aktuatoren zur Beeinflussung einer Relativbewegung zwischen jeweils einem Rad und dem Fahrzeugaufbau können unterschiedlich gestaltet und angeordnet sein und über verschiedene Wirkprinzipien (vorzugsweise elektromechanisch oder hydraulisch) verfügen. Jedem Aktuator kann dabei eine Tragfeder parallel geschaltet sein, so dass er teiltragend ausgeführt ist, oder die Aktuatoren sind volltragend ausgeführt. Ferner kann die Fahrwerks-Auslegung so getroffen sein, dass der Federweg bei Kurvenfahrt vorzugsweise an allen Achsen das Fahrverhalten in günstiger Weise beeinflussende Vorspur-Änderungen hervorruft. Durch das Zulassen

von Einfederbewegungen der Räder bei Kurvenfahrt gemäß den Merkmalen der Erfindung besteht nämlich zusätzlich die Möglichkeit, das Fahrverhalten des Fahrzeuges bei Kurvenfahrt durch Vorspuränderungen der Räder über dem Einfederweg zu beeinflussen. Diese Möglichkeit ist bei aktiv wankstabilisierten Fahrzeugen, bei denen Einfederbewegungen beider Räder weitgehend vermieden werden, nicht gegeben. An den letztgenannten Fahrzeugen hat das in die Achskinematik hereinkonstruierte Wanklenken keinen Einfluss, da die Federwege bei Kurvenfahrt nicht ausgenutzt werden.

**[0012]** Da das die Wankbewegung verursachende Wankmoment proportional zu der auf das Fahrzeug einwirkenden Querbewegung ist, eignet sich diese im bzw. am Fahrzeug gemessene Querbewegung zur Ansteuerung der Aktuatoren. Eine Richtungserkennung erkennt dabei die kurveninnere Fahrzeugseite und steuert die Aktuatoren der kurveninneren Fahrzeugseite gemäß der vorgeschlagenen Ansteuerstrategie an. Um einen Zeitverzug durch die Aktuatorik zu vermeiden, ist in einer zugehörigen elektronischen Steuer- und Recheneinheit die Verwendung von Fahrzeugmodellen unter Verwendung des Lenkwinkelsignals möglich. Steht der Wankwinkel im Fahrzeug als direktes Messsignal zur Verfügung, ist die erfindungsgemäße Ansteuerung der aktiven Stellelemente alternativ durch eine Regelung des Wankwinkels zu realisieren. Des Weiteren ist die Möglichkeit gegeben, durch Messung der Federwege das kurvenaußenseitige, selbsttätige Einfedern einer Fahrzeugseite zu detektieren und die kurveninnere Fahrzeugseite durch die Ansteuerung der aktiven Stellelemente der kurvenäußeren Fahrzeugseite nachzuführen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0013]** Zur weiteren Erläuterung wird auf die beige-fügten Figuren verwiesen, von denen

**[0014]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Zweispur-Kraftfahrzeuges bei Kurvenfahrt mit passiver Wankfederung zeigt, während in

**[0015]** [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines Zweispur-Kraftfahrzeuges bei Kurvenfahrt mit herkömmlicher aktiver Wankstabilisierung, und in

**[0016]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Zweispur-Kraftfahrzeuges bei Kurvenfahrt mit erfindungsgemäßer aktiver Wankstabilisierung und Schwerpunktabsenkung unter Ausnutzung der Sturzzunahme bei Einfederung gezeigt ist.

**[0017]** Dargestellt ist jeweils schematisch nur eine Achse des Fahrzeugs.

**[0018]** In [Fig. 1](#) ist ein Zweispur-Kraftfahrzeug mit

passiver Wankfederung dargestellt. Auf die Darstellung einer Stabilisatorfeder ist aufgrund besserer Übersichtlichkeit verzichtet worden. Die bei Kurven-Fahrt (bei Ansicht von hinten auf das Fahrzeug-Heck handelt es sich um eine Linkskurve) des Fahrzeugs wirkende Aufbau-Fliehkraft (= Zentrifugalkraft  $F_{\text{Flieh}}$ ) greift am Fahrzeugaufbau **1** an. Das hierdurch wirkende Wankmoment lässt die kurvenäußere, den Fzg.-Aufbau tragende Tragfeder **3** komprimieren, während die kurveninnere Tragfeder **2** gestreckt bzw. gelängt wird. Infolge der Wankbewegung und der Elastizitäten nehmen die Räder **4** und **5** des Fahrzeugs positive Sturzwinkel zur Fahrbahn an. Die Radaufhängungskinematik, repräsentiert durch die Lenker **6** und **7**, kann diesem positiven Radsturz durch die Wankbewegung an den Rädern **4** und **5** zwar teilweise entgegen wirken, kann diesen aber nicht vollständig kompensieren.

**[0019]** [Fig. 2](#) zeigt die schematische Darstellung eines herkömmlich aktiv wankstabilisierten Fahrzeuges, welches über aktive Federelemente oder dgl., hier so genannte Aktuatoren **8** und **9** verfügt, die den Abstand zwischen Fahrzeugaufbau **1** und den Rädern **4** und **5** aktiv beeinflussen bzw. verändern können. Die durch die Anordnungen von Lenkern **6** auf der kurveninneren Seite und Lenkern **7** auf der kurvenäußeren Fahrzeugseite dargestellte Radaufhängungskinematik hat hier keinen nennenswerten Einfluss auf die Stellung der Räder, da der Fahrzeugaufbau **1** in seiner Ausgangslage bei Geradeausfahrt gehalten wird. Aufgrund der Elastizitäten in den Lenkern **6**, **7** und deren Lagerungen können dabei trotz der fehlenden Wankbewegung positive Sturzwinkel auftreten, die das Kraftübertragungspotential der Reifen schwächen.

**[0020]** [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrzeuges mit erfindungsgemäßer Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung. Der Fahrzeugaufbau **3** ist (gegenüber den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#)) sichtbar abgesenkt, so dass die Lenker **6**, **7** mit ihren Stellungen gegenüber dem Fahrzeugaufbau **1** das jeweils zugehörige Rad **4** bzw. **5** in negativen Sturz (auch zum Fahrzeugaufbau **1**) zwingen. Im kurveninneren Aktuator **8** verdeutlicht der Kraftpfeil  $F_{\text{aktiv}}$  den Stelleingriff, mit Hilfe dessen der Fahrzeugaufbau abgesenkt wird, während die Einfederung an der kurvenäußeren Fahrzeugseite analog [Fig. 1](#) passiv erfolgt.

**[0021]** Mit einem erfindungsgemäßen Fahrwerk wird dem kurveninneren Rad gemäß [Fig. 3](#) bei Einfederung durch die Radaufhängungskinematik eine bei erster Betrachtung ungünstigere Sturzstellung aufgezungen, als bei einem passiv wankstabilisierten Fahrzeug gemäß [Fig. 1](#). Durch die Verlagerung der Radlasten an einer Achse bei Kurvenfahrt dominiert allerdings das kurvenäußere Rad die Kraftübertragung in horizontaler Ebene, sodass das Kraftübertragungspotential der Achse durch die beschriebenen

Maßnahmen in Summe deutlich gesteigert wird.

**[0022]** Bei dem Fahrzeug mit vorgeschlagener Fahrwerks-Auslegung und Fahrwerks-Steuerung wirkt sich zusätzlich die situationsabhängige Absenkung des Fahrzeugschwerpunktes positiv auf die Fahrdynamik aus. Die Höhe des Fahrzeugschwerpunktes bestimmt nämlich im Zusammenhang mit der wirksamen Querbeschleunigung die an den Rädern einer Achse auftretenden Ralastdifferenzen. Aufgrund der degressiven Charakteristik der Reifenhorizontalkraft in Abhängigkeit von der Reifenvertikalkraft sinkt mit steigender Radlastdifferenz der Räder einer Achse das Horizontalkraftpotential der gesamten Achse. Durch die Absenkung des Fahrzeugschwerpunktes bei Kurvenfahrt werden die Radlastdifferenzen an beiden Achsen verringert und das Kraftübertragungspotential der Achsen erhöht.

**[0023]** Bei einem Systemausfall der aktiven Stellelemente (Aktuatoren) verhält sich ein erfindungsgemäßes Fahrwerk wie ein herkömmliches passives Fahrwerk, so dass ein Wankwinkel auftritt. Durch die vorhandene Sturzzunahme in Richtung negativer Sturz wird dem Sturzwinkelverlust infolge des Wankwinkels entgegengewirkt, und eine zu starke Minderung des querdynamischen Potentials der Reifen bei Ausfall des aktiven Systems verhindert.

### Patentansprüche

1. Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung für ein mehrachsiges Zweispur-Fahrzeug mit einem aktiven Aufhängungssystem mit radindividuellen Aktuatoren (**8**, **9**) zur Beeinflussung der Relativbewegung zwischen dem Rad (**4**, **5**) und dem Fahrzeug-Aufbau (**1**) sowie mit einer Regeleinheit zur Erzeugung von Stellensignalen für die Aktuatoren (**8**, **9**) in Abhängigkeit von den Fahrzustand repräsentierenden Eingangsgrößen, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Kurvenfahrt des Fahrzeugs der Fahrzeugaufbau (**1**) zumindest an einer der Achsen, vorzugsweise an beiden oder allen Achsen, an der kurveninneren Seite mittels des zugeordneten Aktuators (**8**, **9**) aktiv abgesenkt wird und somit durch diese Regelstrategie in Verbindung mit dem Einfedern auf der kurvenäußeren Seite eine Wankbewegung des Aufbaus (**1**) weitestgehend verhindert wird, wobei die Kinematik der Rad-Aufhängung (**6**, **7**) derart ausgelegt ist, dass die Räder aller Achsen mit zunehmendem Einfederweg eine Sturzänderung relativ zum Fahrzeugaufbau (**1**) hin zu größeren negativen Sturzwinkeln erfahren.

2. Fahrwerks-Auslegung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktuatoren (**8**, **9**) zur Beeinflussung der Relativbewegung zwischen jeweils einem Rad (**4**, **5**) und dem Fahrzeugaufbau (**1**) letzteren teiltragend oder vollständig tragend ausgeführt sind.

3. Fahrwerks-Auslegung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktuatoren (**8**, **9**) über ein elektromechanisches oder über ein hydraulisches Wirkprinzip verfügen.

4. Fahrwerks-Auslegung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Federweg bei Kurvenfahrt vorzugsweise an allen Achsen das Fahrverhalten beeinflussende Vorspuränderungen hervorruft.

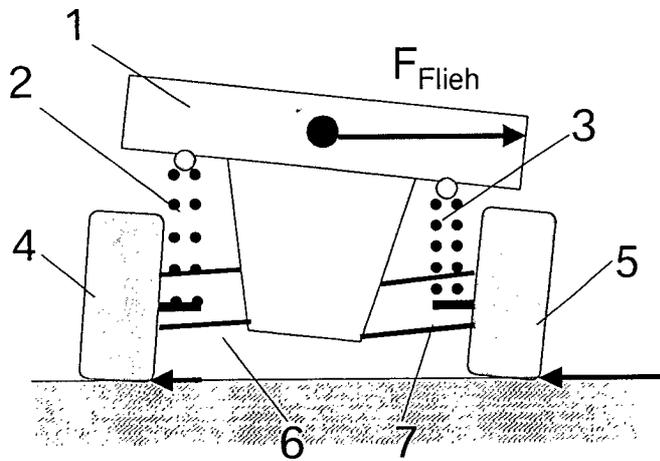
5. Fahrwerks-Auslegung und -Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Absenken des Fahrgaugaufbaus an der Kurveninnenseite ein Wankwinkel in Richtung Kurveninnenseite im Sinne eines Kurvenlegers erzeugt wird.

6. Fahrwerks-Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Stellsignal für die Aktuatoren (**8**, **9**) durch Auswertung der im Fahrzeug gemessenen Querbeschleunigung und/oder des gemessenen Wankwinkels erzeugt wird.

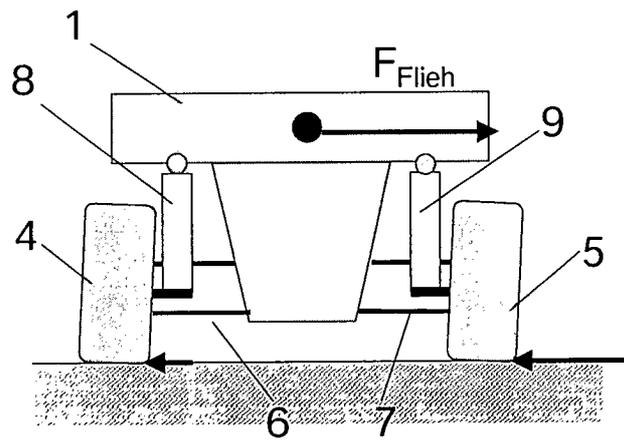
7. Fahrwerks-Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet dass durch Messung der Federwege das kurvenaußenseitige Einfedern des Fahrzeugseite detektiert und die kurveninnere Fahrzeugseite durch geeignete Ansteuerung der Aktuatoren (**8**, **9**) der kurvenäußeren Fahrzeugseite nachgeführt wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

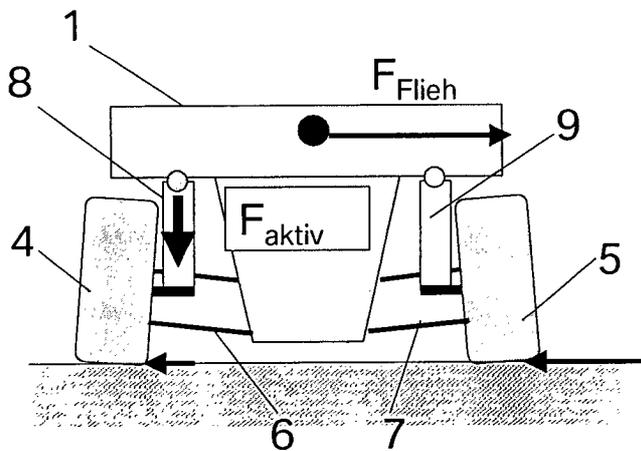
Anhängende Zeichnungen



*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig. 3*