



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 36 734 A1** 2004.02.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 36 734.5**

(22) Anmeldetag: **09.08.2002**

(43) Offenlegungstag: **12.02.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B62D 6/00**
B62D 5/04, B62D 37/00

(71) Anmelder:

Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München, DE

(72) Erfinder:

Orend, Ralf, 91126 Schwabach, DE; Smakman, Hendrikus, Dr., 82057 Icking, DE

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

DE 196 50 691 C2

DE 199 36 786 A1

DE 198 12 238 A1

DE 195 15 055 A1

DE 195 15 054 A1

DE 100 61 075 A1

DE 100 35 180 A1

DE 44 19 520 A1

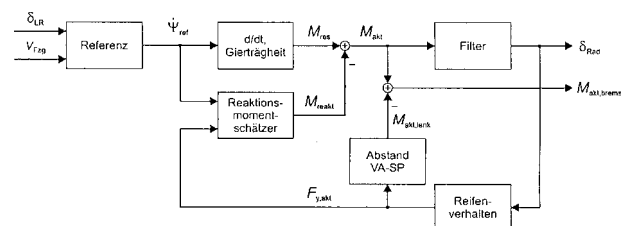
DE 42 18 034 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Führen eines mehrspurigen Fahrzeugs auf einer Kurvenbahn**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft vorrangig ein Verfahren zum Führen eines mehrspurigen Fahrzeugs auf einer Kurvenbahn, die vom Fahrzeug-Fahrer über einen Vorgabe-Lenkswinkel oder dgl. vorgegeben wird, wobei ein diese gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen den Lenkeinschlagwinkel zumindest eines lenkbaren Fahrzeug-Rades beeinflussenden Lenk-Aktuator geleitet wird. Erfindungsgemäß kann das aus dem Vorgabe-Lenkswinkel und der Fahrzeug-Geschwindigkeit gebildete und insbesondere die Gierrate darstellende Kurvenbahn-Signal im Sinne einer Vorsteuerung nicht nur zur geeigneten Ansteuerung des Lenk-Aktuators, sondern auch zur geeigneten Veränderung der Längskraft an den Rädern zumindest einer Fahrzeugseite herangezogen werden, so dass neben oder anstelle der Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels zusätzlich oder alleinig an zumindest ein Fahrzeug-Rad eine Längskraft angelegt werden kann, um die gewünschte Kurvenbahn zu befahren. Bevorzugt sind der durch den Lenkeinschlagwinkel erzeugbare Giermoment-Anteil und der durch das Anlegen einer Längskraft in Form einer Bremskraft und/oder einer Antriebskraft erzeugbare Giermoment-Anteil einander entgegengesetzt veränderlich.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Führen eines mehrspurigen Fahrzeugs auf einer Kurvenbahn, die vom Fahrzeug-Fahrer über einen Vorgabe-Lenkswinkel oder dgl. vorgegeben wird, wobei ein diese gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen die Gierbewegung des Fahrzeugs beeinflussenden Aktuator geleitet wird. Vorrangig betrifft die Erfindung dabei ein Verfahren zum Führen eines mehrspurigen Fahrzeugs auf einer Kurvenbahn, die vom Fahrzeug-Fahrer über einen Vorgabe-Lenkswinkel oder dgl. vorgegeben wird, wobei ein diese gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen den Lenkeinschlagwinkel zumindest eines lenkbaren Fahrzeug-Rades beeinflussenden Lenk-Aktuator geleitet wird. Zum technischen Umfeld wird neben der DE 198 12 238 A1 insbesondere auf die DE 197 51 125 A1 verwiesen.

[0002] In der Entwicklung bzw. teilweise bereits in Serie befinden sich sog. aktive Lenksysteme für Kraftfahrzeuge, die in der Lage sind, neben dem vom Fahrer über das Lenkrad (oder allg. eine sog. Lenkhandhabe) vorgegebenen Lenkwinkel aktiv einen zusätzlichen Lenkeinschlagwinkel an den lenkbaren Fahrzeug-Rädern (hierbei handelt es sich üblicherweise um die Vorderräder) darzustellen, wodurch eine zusätzliche Seitenkraft an der Fzg.-Vorderachse und folglich ein gewünschtes Giermoment erzeugt werden kann. Damit sind solche Systeme in der Lage, die Fahrdynamik eines Kraftfahrzeugs erheblich zu beeinflussen. Bei derartigen aktiven Lenksystemen kann es sich bspw. um ein sog. steer-by-wire-System handeln, oder um eine dem Fachmann ebenfalls bekannte Überlagerungslenkung, mit welcher dem sog. Vorgabe-Lenkswinkel des Fahrers auf mechanischem Wege ein Zusatzlenkwinkel hinzugefügt wird, so dass ein sich hieraus ergebender Summen-Lenkeinschlagwinkel am lenkbaren Fzg.-Rad eingestellt wird.

[0003] Mit einem sog. aktiven Lenksystem ist es möglich, Maßnahmen umzusetzen, mit Hilfe derer sich aufgrund der Möglichkeit aktiver Lenkeingriffe spürbare Verbesserungen des Fzg.-Fahrverhaltens erreichen lassen. Besonders erstrebenswert sind dabei solche Maßnahmen oder Verfahren, mit denen sich das dynamische Lenkansprechverhalten verbessern lässt, indem ein grundsätzlich vorhandener Phasenverzug in der Übertragung zwischen der Lenkvorgabe des Fahrers (bspw. am Lenkrad) und der daraus folgenden Gierreaktion des Fahrzeugs reduziert werden kann.

[0004] Eine Möglichkeit hierfür bildet das Prinzip der sog. Vorhaltelenkung, die bspw. in der eingangs

zweitgenannten DE 197 51 125 A1 erwähnt ist, und bei der es sich um einen gesteuerten Lenkeingriff handelt, bei dem ein erzeugter Zusatz-Lenkeinschlagwinkel proportional zur Lenkrad-Drehgeschwindigkeit, also zum zeitlich differenzierten Vorgabe-Lenkswinkel des Fahrers, ist. Konkret kann der gemessene Vorgabe-Lenkswinkel durch ein einfaches PD-Vorhaltglied gefiltert und gemäß einer vorgegeben Lenkübersetzung zusätzlich an den lenkbaren Rädern eingestellt werden. Das Vorhalten des Lenkradwinkels durch das PD-Vorhaltglied bewirkt dabei einen kleineren Phasenverzug in der Übertragung zwischen der Lenkvorgabe am Lenkrad und der Gierreaktion des Fahrzeugs und sorgt auf diese Weise für ein schnelleres Ansprechen der Fahrzeugbewegung auf eine Lenkvorgabe des Fahrers.

[0005] Ein weiteres mögliches Verfahren zur Verbesserung des Lenkansprechverhaltens an Kraftfahrzeugen besteht in einer sog. modellbasierten Vorsteuerung der Gierrate. Dabei wird aus dem Vorgabe-Lenkswinkel, aus der Fzg.-Fahrgeschwindigkeit und einem Fzg.-Referenzmodell zunächst eine sog. Referenzgierrate und daraus mittels eines inversen Fahrzeugmodells ein entsprechender Lenkeinschlagwinkel für die lenkbaren Räder bestimmt und dann an diesen geeignet eingestellt. Bei guter Übereinstimmung zwischen dem zu Grunde gelegten Fahrzeugmodell und dem realen Fahrzeug sorgt der so berechnete Lenkeinschlagwinkel für die gewünschte Gierbewegung des Fahrzeugs, d.h. die tatsächliche Gierrate stimmt mit der sog. Referenzgierrate überein. Durch entsprechende Wahl des Referenzmodells lässt sich auf diese Weise die Übertragung zwischen der Lenkvorgabe am Lenkrad und der Gierreaktion des Fahrzeugs gezielt einstellen und insbesondere eine Verbesserung des Lenkansprechverhaltens erreichen.

[0006] Die beiden soweit kurz beschriebenen bekannten Verfahren bilden eine sog. Vorsteuerung und benötigen dabei neben dem Vorgabe-Lenkswinkel, d.h. dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkradwinkel und der aktuellen Fzg.-Fahrgeschwindigkeit keine weiteren Informationen über die momentane Fahrzeugbewegung. Insofern besteht ein erheblicher Unterschied zwischen einer derartigen Vorsteuerung und einem bekannten Regelverfahren, wie es bspw. in der eingangs erstgenannten DE 198 12 238 A1 beschrieben ist. Bei diesem oder ähnlichen bekannten Regelverfahren wird aus der feststellbaren Differenz zwischen dem Istwert der Gierrate und einem geeignet bestimmten Gierraten-Sollwert eine Regelabweichung abgeleitet, die dann im Sinne einer Minimierung bspw. zwei unabhängig voneinander arbeitenden Reglern zugeführt werden kann, nämlich einem Lenkregler und einem Bremsregler. Anders als bei einer Vorsteuerung wird also bei den letztgenannten Regelverfahren die tatsächliche Gierrate des Fahrzeugs gemessen und an eine Sollgierrate angepasst, wobei diese Soll-Gierrate sowohl durch Eingriffe in das Fzg.-Lenksystem als auch durch Eingriffe in das

Fzg.-Bremssystem eingehalten werden kann. Damit, d.h. durch zusätzliches Lenken oder Bremsen kann somit auf eine auf irgendwelche Einflüsse zurückzuführende Abweichung zwischen der tatsächlich befahrenen Kurvenbahn und der gewünschten Kurvenbahn reagiert werden.

Aufgabenstellung

[0007] Die vorliegende Erfindung betrifft nun kein Regelverfahren, bei dem ein Soll-Ist-Vergleich (bspw. hinsichtlich der Gierrate) durchgeführt wird, sondern sie betrifft – ähnlich wie die genannte Vorhaltelenkung – ein Verfahren zur Vorsteuerung allein aus den beiden grundlegenden Eingangsgrößen, nämlich dem sog. „Vorgabe-Lenkwinkel“ und der „Fzg.-Geschwindigkeit“, wobei es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Verfahren mit deutlich größeren Freiheiten als bei der bekannten Vorhaltelenkung gegeben, aufzuzeigen. Bspw. bestehen nämlich bei der bekannten Vorhaltelenkung durch die Lenk-Aktuatorik bestimmte Systemgrenzen, bspw. hinsichtlich der Bandbreite oder der Steilgeschwindigkeit.

[0008] Die Lösung dieser Aufgabe ist dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem Vorgabe-Lenkwinkel und der Fahrzeug-Geschwindigkeit gebildete und insbesondere die Gierrate darstellende Kurvenbahn-Signal im Sinne einer Vorsteuerung zur geeigneten Veränderung der Längskraft an den Rädern zumindest einer Fahrzeugseite herangezogen werden kann, so dass neben oder anstelle der Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels zusätzlich oder alleinig an zumindest ein Fahrzeug-Rad eine Längskraft angelegt werden kann, um die gewünschte Kurvenbahn zu befahren.

[0009] Wenn dabei – wie eingangs angegeben – das die gewünschte Kurvenbahn repräsentierende Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen den Lenkeinschlagwinkel zumindest eines lenkbaren Fahrzeug-Rades beeinflussenden Lenk-Aktuator geleitet wird, so kann das aus dem Vorgabe-Lenkwinkel und der Fahrzeug-Geschwindigkeit gebildete und insbesondere die Gierrate darstellende Kurvenbahn-Signal im Sinne einer Vorsteuerung nicht nur zur geeigneten Ansteuerung des Lenk-Aktuators, sondern auch zur geeigneten Veränderung der Längskraft an den Rädern zumindest einer Fahrzeugseite herangezogen werden, so dass neben oder anstelle der Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels zusätzlich oder alleinig an zumindest ein Fahrzeug-Rad eine Längskraft angelegt werden kann, um die gewünschte Kurvenbahn zu befahren.

[0010] Vorteilhafte Weiterbildungen sind Inhalt der weiteren Unteransprüche.

[0011] Bevorzugt wird dabei die besagte Längskraft durch Anlegen einer Bremskraft an das oder die Räder einer Fahrzeugseite erzeugt, es ist jedoch auch möglich, einseitig eine Antriebskraft wirken zu lassen oder beide genannten Längskräfte miteinander zu

kombinieren, derart dass die Räder auf der einen Fzg.-Seite abgebremst und auf der anderen Fzg.-Seite beschleunigt werden. Der Einfachheit halber wird dabei im weiteren das Anlegen einer Längskraft mit dem Aufbringen einer Bremskraft gleichgesetzt, d.h. auch wenn im weiteren nur von einer Bremskraft bezüglich eines Fzg.-Rades gesprochen wird, so kann anstelle derer auch eine geeignet große Antriebskraft an ein Fzg.-Rad auf der gegenüberliegenden Fzg.-Seite angelegt werden, um ein hieraus resultierendes vergleichbares Giermoment zu erzielen.

[0012] Erfindungsgemäß wird ein Vorsteuerverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 vorgeschlagen, das eine Verbesserung des Fahrverhaltens bzw. einer Gierbewegung des Fahrzeugs bevorzugt mittels integrierter bzw. allgemein kombinierter Lenkeingriffe und Bremseingriffe ermöglicht. Durch das gezielte Abbremsen einzelner Räder kann ein zusätzliches Giermoment auf das Fahrzeug eingebracht werden, das einen Lenkvorgang unterstützt. Auf diese Weise lassen sich dann auch bei Erreichen der Systemgrenzen bspw. der Lenkaktuatorik weitere Verbesserungen des Lenkansprechverhaltens erzielen. Vorgeschlagen wird somit ein Verfahren zur Verbesserung des Fahrverhaltens, wahlweise mit Lenkeingriff oder mit Bremseingriff oder mit kombiniertem Lenkeingriff und Bremseingriff, bei welchem es sich um eine reine Gierratenvorsteuerung handelt, die als Eingangssignale nur den Lenkradwinkel (oder dgl.) und die Fahrgeschwindigkeit des Fzg.'s benötigt. Dabei kann eine beliebige Aufteilung der Stelleingriffe auf das Lenksystem und auf das Bremssystem des Fahrzeugs erfolgen. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass nur das Fzg.-Bremssystem geeignet angesteuert wird, womit ein Lenken des Fahrzeugs mit reinem Bremseingriff an einzelnen Rädern ermöglicht wird, ohne dass die lenkbaren Fzg.-Räder eingeschlagen werden.

[0013] Grundsätzlich kann somit ein erster Giermoment-Anteil durch den Lenkeinschlagwinkel der lenkbaren Fzg.-Räder erzielt werden und zweiter Giermoment-Anteil durch das Anlegen einer Längskraft in Form einer Bremskraft (und/oder einer Antriebskraft) erzeugt werden. Diese beiden Giermoment-Anteile in Summe ergeben dann dasjenige Giermoment, das zum erfolgreichen und agilen Befahren der gewünschten Kurvenbahn erforderlich ist, zumindest dann, wenn keine nennenswerten Störeinflüsse vorliegen. Dieses letztgenannte aus der Summe der beiden Giermoment-Anteile gebildete Giermoment wird im weiteren als Aktuator-Giermoment, das geeignet aufzubringen ist, bezeichnet, und kann im Sinne einer Vorsteuerung bei Fehlen von Störeinflüssen allein aus dem Vorgabe-Lenkwinkel und der aktuellen Fzg.-Fahrgeschwindigkeit bestimmt werden.

[0014] Die Bestimmung des für das erfolgreiche Befahren der gewünschten Kurvenbahn aufzubringenden sog. Aktuator-Giermomentes kann dabei bspw. bzw. bevorzugt mittels eines linearen Einspurmodells

erfolgen, wobei die aktuelle, aus dem eingestellten Lenkeinschlagwinkel resultierende Seitenkraft des oder der lenkbaren Rades/Räder zurückgeführt werden sollte, um das sog. Reaktionsmoment des Fahrzeugs mitberücksichtigen zu können. Bekanntermaßen ergibt sich aus der gewünschten Gierrate, die – wie bereits erwähnt wurde – nur aus dem Vorgabe-Lenkwinkel und der Fzg.-Fahrgeschwindigkeit bestimmt wird, unter Berücksichtigung der Gierträgeit des Fahrzeugs und dem Reaktionsmoment desselben das oben genannte Aktuator-Giermoment, das nun mittels eines oder mehrerer Aktuatoren an das Fahrzeug angelegt werden muss, damit sich dieses mit der gewünschten Gierrate bewegt.

[0015] Wie bereits erwähnt wurde, kann die dann erfindungsgemäß erfolgende Aufteilung dieses Aktuator-Giermoments in einen durch die Einstellung eines Lenkwinkels erzeugbaren Giermoment-Anteil und einen durch das Anlegen einer Längskraft erzeugbaren Giermoment-Anteil frei wählbar sein, wobei auch einer der Anteile den Wert „Null“ annehmen kann. Diese genannte Aufteilung auf einen Lenk-Aktuator bzw. einen Bremsaktuator kann aber auch in Abhängigkeit von Randbedingungen variabel erfolgen. Insbesondere kann hierbei die Betätigungsgeschwindigkeit der Lenkhandhabe des Fahrers, d.h. die Lenkrad-Drehgeschwindigkeit berücksichtigt werden, daneben ist aber auch eine kennfeld-gesteuerte Aufteilung bspw. unter Zugrundelegung der Fzg.-Fahrgeschwindigkeit möglich. Als Randbedingung bzw. Einflussgröße kann ferner eine Verstell-Begrenzung eines verwendeten Aktuators, insbesondere des Lenkaktuators, berücksichtigt werden, und weiterhin das dynamische Verhalten des Aktuators oder der jeweiligen betroffenen Aktuatoren. Dabei ist bei einem Systemausfall bspw. des Lenkaktuators weiterhin ein Lenken des Fahrzeugs möglich, und zwar alleine durch Bremseingriffe.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ergibt sich der durch die Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels erzeugte Giermoment-Anteil aus einer Tiefpassfilterung des zum Befahren der gewünschten Kurvenbahn insgesamt aufzubringenden Aktuator-Giermoments. Eine derartige Tiefpassfilterung ergibt ein besonders agiles fahrdynamisches Verhalten, da dann die „schnellen“ Anteile aus der Wunsch-Gierrate durch nahezu verzögerungsfrei wirkende Bremseingriffe umgesetzt werden können, während die „langsameren“ Anteile über den Lenkeinschlagwinkel der lenkbaren Fzg.-Räder realisiert werden. Dies hat den Vorteil, dass die jeweiligen Bremseingriffe auch nur sehr kurz dauern und somit zu keiner nennenswerten Verzögerung des Fahrzeugs führen. Das Ansprechverhalten auf einen Lenkwunsch des Fahrers ist dann jedoch – wie gewünscht – sehr schnell.

[0017] Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass als sogenanntes die gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahn-Signal anstelle der Gierrate auch der sog. Schwimmwinkel oder die Querbe-

schleunigung des Fahrzeugs herangezogen werden kann. Bekanntermaßen gilt bei einer Fzg.-Fortbewegung ohne nennenswerte Störeinflüsse der Zusammenhang $a_y = v \cdot (\dot{\beta} + \dot{\Psi})$, wenn mit a_y die Querbeschleunigung, mit v die Fahrgeschwindigkeit des Fzg.'s, mit β der Schwimmwinkel und mit Ψ die Gierrate bezeichnet wird.

[0018] Zurückkommend auf die Aufteilung des Aktuator-Giermoments in einen ersten, durch einen Lenkeinschlagwinkel erzeugbaren Giermoment-Anteil und in einen zweiten, durch das Anlegen einer Bremskraft bzw. Längskraft erzeugbaren Giermoment-Anteil kann nun neben dem Gierraten-Signal ($\dot{\Psi}$) ein den Schwimmwinkel β oder die Querbeschleunigung a_y des Fahrzeugs repräsentierendes Kurvenbahn-Signal vorgegeben sein oder werden, wobei die entsprechenden Werte geeignet festgelegt sind. Damit ist dann eine resultierende Seitenkraft vorgegeben, so dass der Lenkeinschlagwinkel hierdurch festgelegt ist.

[0019] Ausdrücklich sei noch darauf hingewiesen, dass ein Lenkeinschlagwinkel an den lenkbaren Fzg.-Rädern nicht nur mittels eines Aktuators, sondern wie bei herkömmlichen Lenkanlagen auch alleine quasi manuell durch den Fahrer des Fahrzeugs eingestellt werden kann. Hierbei ist somit neben dem Vorgabe-Lenkwinkel und der Fahrzeug-Geschwindigkeit, aus der sich das sog. Kurvenbahn-Signal bevorzugt in Form der Gierrate ergibt, der Lenkeinschlagwinkel der lenkbaren Fzg.-Räder (bzw. des lenkbaren Fzg.-Rades) vorgegeben. Auch dabei ist das erfindungsgemäße Verfahren anwendbar, da parallel zum manuellen, mechanisch entsprechend dem Vorgabe-Lenkwinkel des Fahrers übertragenen bzw. erzeugten Lenkeinschlagwinkel ein weiteres Giermoment über eine zumindest an ein Fzg.-Rad angelegte Längskraft erzeugt werden kann, wobei dieses weitere Giermoment im Sinne einer Vorsteuerung alleine aus dem Vorgabe-Lenkwinkel und der Fahrzeug-Geschwindigkeit abgeleitet wird.

Ausführungsbeispiel

[0020] Im folgenden wird die Erfindung anhand dreier Blockschaltbilder, die bevorzugte Ausführungsbeispiele darstellen, nochmals weiter erläutert, wobei in der Ausführungsform nach **Fig. 1** das weiter oben erläuterte sog. Aktuator-Giermoment einer Tiefpass-Filterung unterworfen wird um hieraus den durch die Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels zu erzeugenden Giermoment-Anteil zu ermitteln, während in **Fig. 2** der letztgenannte Giermoment-Anteil durch die Vorgabe sowohl der Gierrate als auch der Fzg.-Querbeschleunigung festgelegt ist. Bei der Variante nach **Fig. 3** handelt es sich um diejenige mit einem herkömmlichen Lenksystem, wobei der Lenkeinschlagwinkel der lenkbaren Fahrzeug-Räder direkt entsprechend dem Vorgabe-Lenkwinkel des Fahrers eingestellt wird, und zwar bevorzugt unter direkter mechanischer Übertragung, so dass also ne-

ben der (beispielsweise) Gierrate der Lenkeinschlagwinkel vorgegeben ist.

[0021] Diese Blockschaltbilder (**Fig. 1, 2, 3**) stellen die Berechnungsabläufe in einer geeigneten elektronischen Steuereinheit dar, wobei generell die folgenden Symbole für die folgenden auch erläuterten Kenngrößen stehen: Mit δ_{LR} ist der sog. Vorgabe-Lenkswinkel bezeichnet, d.h. der Lenkwunsch des Fahrers, den dieser insbesondere an einem Lenkrad einstellen kann.

[0022] Mit Ψ_{ref} ist die Fahrzeug-Geschwindigkeit, d.h. die aktuelle Fahr- oder Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bezeichnet.

[0023] Über eine sog. „Referenz“, bevorzugt ein geeignetes Referenzmodell ergibt sich dabei aus dem Vorgabe-Lenkswinkel δ_{LR} und der Fahrzeug-Geschwindigkeit v_{Fzg} ein die gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahnsignal.

[0024] Mit Ψ_{ref} ist die quasi vorgegebene Gierrate des Fahrzeugs bezeichnet, die sich als sog. die gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahnsignal aus dem Vorgabe-Lenkswinkel δ_{LR} des Fahrers und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit V_{Fzg} des Fahrzeugs ergibt.

[0025] Mit $a_{y,ref}$ ist die ggf. vorgegebene Querbesehleunigung des Fahrzeugs bezeichnet, die sich ebenfalls als ein die gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahnsignal aus der „Referenz“ ergibt.

[0026] Mit M_{res} ist ein sog. resultierendes Giermoment bezeichnet, das vorliegen muss, damit sich das Fahrzeug mit der Gierrate Ψ_{ref} bewegt. Dieses resultierende Giermoment M_{res} ergibt sich dabei über den Drehimpulssatz aus dem Gier-Trägheitsmoment des Fahrzeugs (in den Figuren mit dem zeitlichen Differential „d/dt Gierträgheit“ bezeichnet).

[0027] Mit M_{reakt} ist das sog. Reaktionsmoment des Fahrzeugs bezeichnet, das u.a. aus der vorgegebenen Gierrate Ψ_{ref} in einem Reaktionsmoment-Schätzer bestimmt werden kann, und das aus einer Kurvenfahrt des Fahrzeugs resultiert, bei der die lenkbaren Räder nicht eingeschlagen sind und bei der keine zusätzliche Längskraft auf die Räder einwirkt, d.h. dass die Fzg.-Räder nicht abgebremst oder beschleunigt werden.

[0028] Mit M_{akt} ist das sog. Aktuator-Giermoment bezeichnet, das mittels geeigneter Aktuatoren auf das Fahrzeug aufgebracht werden muss, damit auf das Fahrzeug die Gierrate Ψ_{ref} einwirkt. Bekanntermaßen ist dieses Aktuator-Giermoment M_{akt} die Differenz zwischen dem resultierenden Giermoment M_{res} (und dem Reaktionsmoment M_{reakt}). Mit δ_{Rad} ist der Lenkeinschlagwinkel eines lenkbaren Fahrzeugrades bezeichnet. Dieser Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} verursacht einen (ersten) Giermoment-Anteil $M_{akt, lenk}$ der über das Reifenverhalten sowie über den Abstand zwischen der Fahrzeug-Vorderachse (VA), die die lenkbaren Fzg.-Räder trägt, und den Fahrzeug-Schwerpunkt (SP) in einem direkten Zusammenhang mit dem Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} steht.

[0029] Neben dem ersten Giermoment-Anteil $M_{akt, lenk}$ liegt erfindungsgemäß ein weiterer (zweiter) Giermoment-Anteil $M_{akt, brems}$ vor, der durch Anlegen einer Längskraft, insbesondere einer Bremskraft, an zumindest ein Rad einer Fahrzeugseite erzeugbar ist.

[0030] Erfindungsgemäß wird nun das anzulegende Aktuator-Giermoment M_{akt} in einen durch einen Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} erzeugbaren Giermoment-Anteil $M_{akt, lenk}$ und einen durch das Anlegen einer Längskraft in Form einer Bremskraft und/oder einer Antriebskraft erzeugbaren Giermoment-Anteil $M_{akt, brems}$ quasi aufgeteilt. Konkret bilden die beiden Giermoment-Anteile $M_{akt, lenk}$ und $M_{akt, brems}$ in Summe das gesamte Aktuator-Giermoment M_{akt} .

[0031] Mit $F_{y, akt}$ ist die durch den Lenkeinschlag der lenkbaren Fzg.-Räder erzeugte Seitenkraft bezeichnet, die über das Reifenverhalten direkt mit dem Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} zusammenhängt.

[0032] Mit $F_{y, reakt}$ ist weiterhin die Reaktions-Seitenkraft bezeichnet, die mittels eines Reaktionsmoment/kraftschätzers aus einer vorgegebenen Querbesehleunigung $a_{y, ref}$ bestimmt werden kann.

[0033] Im übrigen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen einer ggf. vorgegebenen Querbesehleunigung $a_{y, ref}$ und einer resultierenden Seitenkraft $F_{y, res}$, und zwar über die Masse des Fahrzeugs.

[0034] Beim Ausführungsbeispiel bzw. Blockschaltbild nach **Fig. 1**, bei welchem lediglich eine Gierrate Ψ_{ref} als das eine gewünschte Kurvenbahn repräsentierende Kurvenbahnsignal vorgegeben wird, wird nun das wie geschildert ermittelbare Aktuator-Giermoment M_{akt} über ein Filter, und zwar über ein Tiefpassfilter geleitet, woraus direkt der Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} gewonnen werden kann. Dieser Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} wird durch einen geeigneten Aktuator eingestellt, wobei dieser Aktuator entweder Bestandteil eines steerby-wire-Systems oder Bestandteil einer Überlagerungslenkung sein kann, wie dies eingangs bereits beschrieben wurde.

[0035] Aus diesem Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} lässt sich wie erläutert die hierdurch erzeugte Giermoment-Anteil $M_{akt, lenk}$ bestimmen, so sich hieraus direkt der weitere, durch Anlegen einer Längskraft zu erzeugende Giermoment-Anteil $M_{akt, brems}$ ergibt. Dieser wird dann mittels eines geeigneten Aktuators umgesetzt, d.h. bevorzugt werden die Radbremsen des Fahrzeugs einseitig geeignet betätigt.

[0036] Im übrigen ist die durch den Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} verursachte Seitenkraft $F_{y, akt}$ im genannten Reaktionsmomentschätzer zu berücksichtigen.

[0037] Beim Ausführungsbeispiel bzw. Blockschaltbild nach **Fig. 2**, bei welchem neben einer Gierrate Ψ_{ref} als ein die gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahnsignal zusätzlich eine gewünschte Querbesehleunigung $a_{y, ref}$ vorgegeben wird, wird nun zunächst aus dieser gewünschten Querbesehleunigung $a_{y, ref}$ eine dieser entsprechende resultierende Seitenkraft $F_{y, res}$ bestimmt, von der die im genannten Schätzer bestimmte Reaktions-Seiten-

kraft $F_{y, \text{reakt}}$ subtrahiert wird, um eine mit einem geeigneten Lenk-Aktuator erzeugbare Seitenkraft $F_{y, \text{akt}}$ zu erhalten. Aus dieser lässt sich dann auf die beschriebene Weise nicht nur der erforderliche Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} , sondern auch der daraus resultierende Giermoment-Anteil $M_{\text{akt, lenk}}$ bestimmen.

[0038] Subtrahiert man diesen aus dem Lenkeinschlag resultierenden Giermoment-Anteil $M_{\text{akt, lenk}}$ vom weiterhin bekannten, da letztlich durch den Fzg.-Fahrer über den Vorgabe-Lenkswinkel δ_{Rad} unter Berücksichtigung der aktuellen Fahrgeschwindigkeit v_{Fzg} vorgegebenen Aktuator-Giermoment M_{akt} , so erhält man wiederum den weiteren durch das Anlegen einer Längskraft zu erzeugenden Giermoment-Anteil $M_{\text{akt, brems}}$. Dieser wird dann mittels eines geeigneten Aktuators umgesetzt, d.h. bevorzugt werden die Radbremsen des Fahrzeugs einseitig geeignet betätigt.

[0039] Beim Ausführungsbeispiel nach **Fig. 3** handelt es sich um ein Fahrzeug mit einem herkömmlichen Lenksystem, wobei der Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} der lenkbaren Fahrzeug-Räder direkt entsprechend dem Vorgabe-Lenkswinkel δ_{LR} des Fahrers eingestellt wird, und zwar bevorzugt unter direkter mechanischer Übertragung unter geeigneter Übersetzung (mit „Lenkübersetzung“ bezeichnet), so dass also neben der Gierrate $\dot{\Psi}_{\text{ref}}$ der Lenkeinschlagwinkel δ_{Rad} vorgegeben ist. Aus diesem lässt sich dann (analog **Fig. 1**) der hieraus resultierende Giermoment-Anteil $M_{\text{akt, lenk}}$ bestimmen, der danach vom vorgegebenen Aktuator-Giermoment M_{akt} zu subtrahieren ist, um den durch das Anlegen einer Längskraft zu erzeugenden Giermoment-Anteil $M_{\text{akt, brems}}$ zu erhalten.

[0040] Der wesentliche Vorteil des vorgestellten und in sämtlichen Ausführungsbeispielen umgesetzten Verfahrens einer sog. Gierraten-Vorsteuerung mit integriertem bzw. kombinierten Lenkeingriff und Bremsingriff ist der, dass sich gegenüber einer Vorsteuerung mit alleinigem Lenkeingriff das Lenkansprechverhalten durch zusätzliche Bremsingriffe an einzelnen Rädern wesentlich verbessern lässt. Ein weiterer Vorteil (zumindest bei den Varianten nach den **Fig. 1, 2**) liegt in der Möglichkeit einer beliebigen Aufteilung der aktiven Stelleingriffe auf das Lenksystem und das Bremssystem des Fahrzeugs. Durch diesen quasi zusätzlichen Freiheitsgrad ist es beispielsweise möglich, sehr leicht eine sog. „steer-by-brake-Funktionalität“ zu realisieren, bei der durch reine Bremsingriffe an einzelnen Rädern eine gewünschte Gierbewegung des Fahrzeugs eingestellt werden kann. Eine derartige „steer-by-brake-Funktionalität“ ermöglicht es vorteilhafterweise, die Lenkbarkeit des Fahrzeugs z.B. im Falle eines kompletten Ausfalls der Lenkaktuatorik zu bewahren, wobei noch darauf hingewiesen sei, dass durchaus eine Vielzahl von Details auch abweichend von obigen Ausführungen gestaltet sein kann, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Führen eines mehrspurigen Fahrzeugs auf einer Kurvenbahn, die vom Fahrzeug-Fahrer über einen Vorgabe-Lenkswinkel (δ_{LR}) oder dgl. vorgegeben wird, wobei ein diese gewünschte Kurvenbahn repräsentierendes Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen die Gierbewegung des Fahrzeugs beeinflussenden Aktuator geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das aus dem Vorgabe-Lenkswinkel (δ_{LR}) und der Fahrzeug-Geschwindigkeit (v_{Fzg}) gebildete und insbesondere die Gierrate ($\dot{\Psi}$) darstellende Kurvenbahn-Signal im Sinne einer Vorsteuerung zur geeigneten Veränderung der Längskraft an den Rädern zumindest einer Fahrzeugseite herangezogen werden kann, so dass neben oder anstelle der Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels (δ_{Rad}) zusätzlich oder alleinig an zumindest ein Fahrzeug-Rad eine Längskraft angelegt werden kann, um die gewünschte Kurvenbahn zu befahren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das die gewünschte Kurvenbahn repräsentierende Kurvenbahn-Signal in einer durch eine elektronische Steuereinheit geeignet überarbeiteten Form an einen den Lenkeinschlagwinkel (δ_{Rad}) zumindest eines lenkbaren Fahrzeug-Rades beeinflussenden Lenk-Aktuator geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das aus dem Vorgabe-Lenkswinkel (δ_{LR}) und der Fahrzeug-Geschwindigkeit (v_{Fzg}) gebildete und insbesondere die Gierrate ($\dot{\Psi}$) darstellende Kurvenbahn-Signal im Sinne einer Vorsteuerung nicht nur zur geeigneten Ansteuerung des Lenk-Aktuators, sondern auch zur geeigneten Veränderung der Längskraft an den Rädern zumindest einer Fahrzeugseite herangezogen werden kann, so dass neben oder anstelle der Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels (δ_{Rad}) zusätzlich oder alleinig an zumindest ein Fahrzeug-Rad eine Längskraft angelegt werden kann, um die gewünschte Kurvenbahn zu befahren.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der durch den Lenkeinschlagwinkel (δ_{Rad}) erzeugbare Giermoment-Anteil ($M_{\text{akt, lenk}}$) und der durch das Anlegen einer Längskraft in Form einer Bremskraft und/oder einer Antriebskraft erzeugbare Giermoment-Anteil ($M_{\text{akt, brems}}$) einander entgegengesetzt veränderlich sind, wobei die Summe dieser beiden Giermoment-Anteile das zum Befahren der gewünschten Kurvenbahn aufzubringende Aktuator-Giermoment (M_{akt}) ist.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass neben dem oder anstelle des Gierraten-Signals ein den Schwimmwinkel (β) oder die Querbeschleunigung (a_y) des Fahrzeugs repräsentierendes Kurvenbahn-Signal vorgegeben wird.

5. Verfahren nach Anspruch einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufteilung des Aktuator-Giermoments (M_{akt}) in einen durch die Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels (δ_{Rad}) erzeugbaren Giermoment-Anteil ($M_{akt, lenk}$) und einen durch das Anlegen einer Längskraft erzeugbaren Giermoment-Anteil ($M_{akt, brems}$) in Abhängigkeit von Randbedingungen variabel oder frei wählbar ist.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich der durch die Einstellung eines Lenkeinschlagwinkels (δ_{Rad}) erzeugte Giermoment-Anteil ($M_{akt, lenk}$) aus einer Tiefpassfilterung des aufzubringenden Aktuator-Giermoments (M_{akt}) ergibt.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das für das erfolgreiche Befahren der gewünschten Kurvenbahn aufzubringende Aktuator-Giermoment (M_{akt}) aus einem linearen Einspurmodell ermittelt wird, in das die aktuelle, aus dem eingestellten Lenkeinschlagwinkel (δ_{Rad}) resultierende Seitenkraft ($F_{y, akt}$) des oder der lenkbaren Rades/Räder rückgeführt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

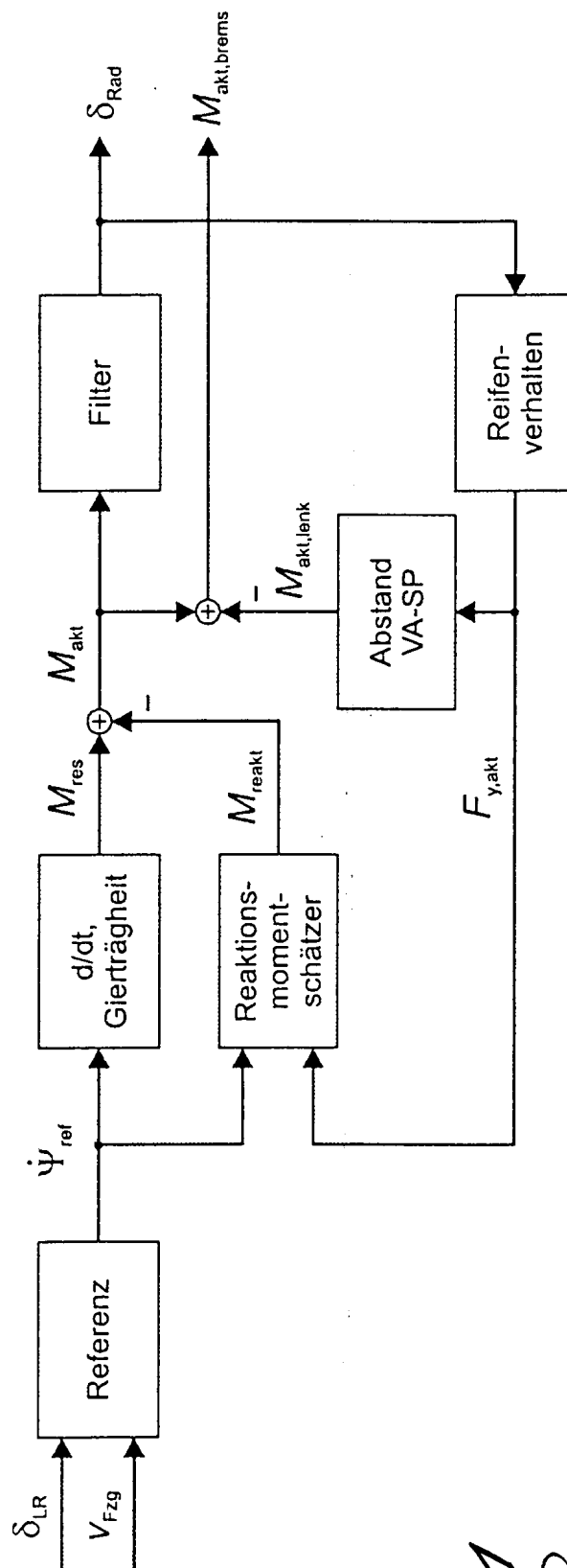


Fig. 1

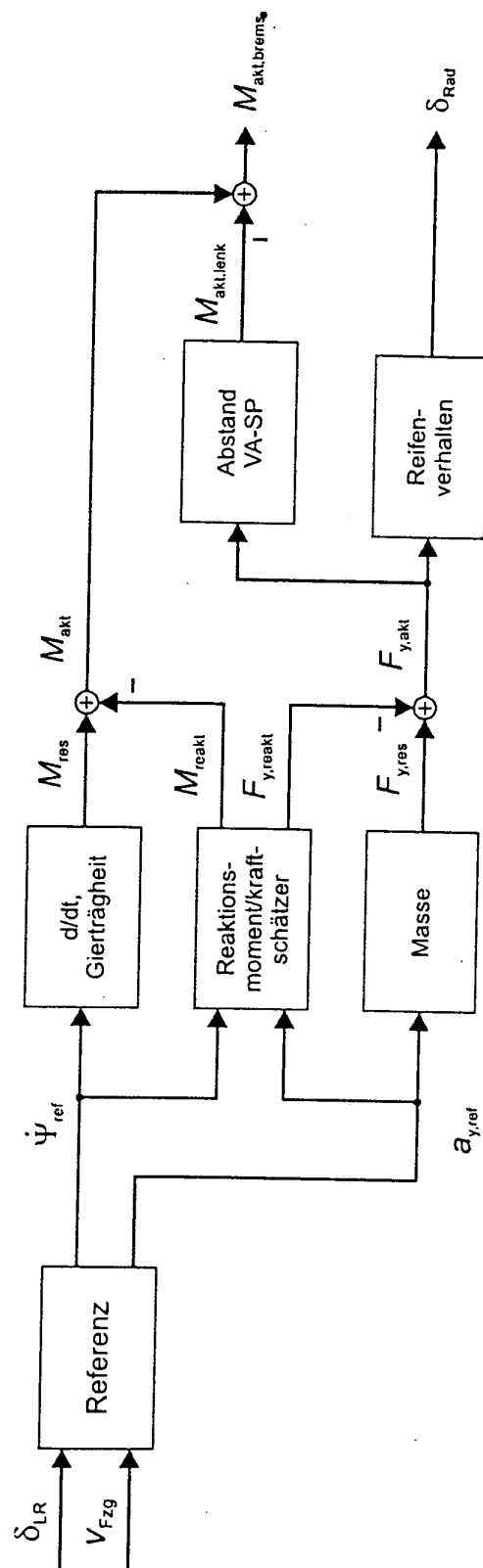


Fig. 2

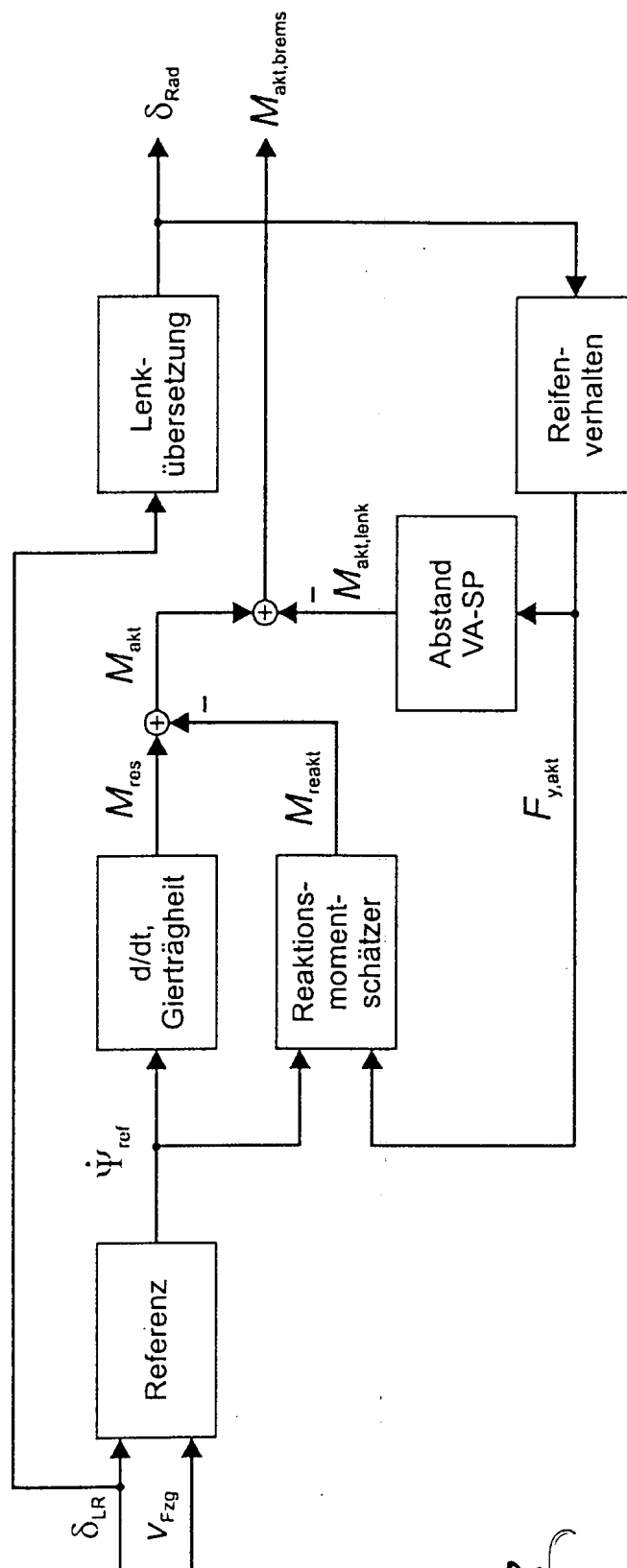


Fig. 3