



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 032 763 A1** 2009.02.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 032 763.8**

(22) Anmeldetag: **11.07.2008**

(43) Offenlegungstag: **05.02.2009**

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

**B60W 10/20** (2006.01)

**B60W 10/18** (2006.01)

**B60W 10/22** (2006.01)

**B60W 10/06** (2006.01)

**B60W 10/10** (2006.01)

(66) Innere Priorität:  
**10 2007 032 884.4 12.07.2007**

(71) Anmelder:  
**Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co. KG, Graz,  
 AT**

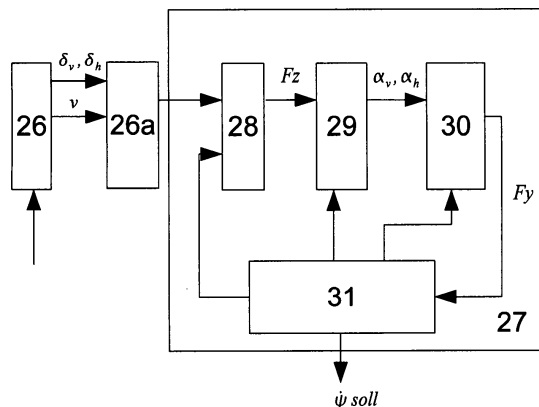
(74) Vertreter:  
**Schupp, B., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
 74199 Untergruppenbach**

(72) Erfinder:  
**Angeringer, Ulrich, Dipl.-Ing., Graz, AT; Ramusch,  
 Florian, Dipl.-Ing.(FH), Graz, AT**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Regelung der Fahrdynamik**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Regelung der Fahrdynamik eines Fahrzeuges, mit einem Fahrzeugbeobachtungsmodul 26 zur Aufnahme von Fahrzeugparametern, und mit einer Einrichtung zur Sollgierratenberechnung 27, wobei die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung 27 ein Schräglaufwinkelbestimmungsmodul 29 zur Bestimmung eines Schräglaufwinkels eines Reifens am Fahrzeug und ein Reifenmodellierungsmodul 30 aufweist, wobei das Reifenmodellierungsmodul ein erstes sowie ein zweites Untermodul zur Bestimmung der Seitenkraft oberhalb und unterhalb eines vorbestimmten Schräglaufwinkels aufweist, und ein Aktuator 25a vorgesehen ist, der entsprechend einem Ergebnis eines Vergleichs zwischen einer gemessenen Gier rate und der berechneten Sollgierrate ansteuerbar ist, wobei der Aktuator 25a als Teil eines steuerbaren und/oder regelbaren Subsystems zur Vorderrad- und/oder Hinterradlenkung und/oder eines Bremssystems und/oder eines Dämpfungs- und/oder Niveauregelungssystems und/oder eines Torque Vectoring und/oder Allradsystems und/oder eines Motor- und/oder Getriebemanagementsystems und/oder Hybridsystems und/oder eines anderen Subsystems vorgesehen ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Regelung der Fahrdynamik eines Fahrzeuges.

**[0002]** Moderne Kraftfahrzeuge werden heute mit fahrdynamischen Systemen ausgestattet, die die Fahrdynamik von Personenkraftwagen und insbesondere das Fahrverhalten in fahrdynamischen Grenzsituationen verbessern. Diese Systeme sollen das Fahrzeug in Notsituationen stabilisieren und somit Unfälle vermeiden helfen. Im Speziellen seien hier das Elektronische Stabilitäts-Programm (ESP), die Überlagerungslenkung (AFS) und die elektrische Servolenkung (Electric Power Steering – EPS) erwähnt. In Zukunft werden noch weitere Regelsysteme, wie z. B. die aktive Hinterachslenkung (Active Rear Wheel Steering – ARWS) und das Torque-Vectoring (TV), für diesen Zweck eingesetzt werden. Ziel dieser Systeme ist dabei nicht mehr alleine die Stabilität des Fahrzeuges in allen Fahrsituationen zu gewährleisten, sondern auch den Fahrspaß und den Komfort des Fahrers zu steigern.

**[0003]** Ein aus dem Stand der Technik bekannter Parameter zur Steuerung der Fahrdynamik des Fahrzeuges ist die Gierrate. In Gierratenregelungssystemen wird der Fahrerwunsch, der grundsätzlich durch den Lenkwinkel und die Geschwindigkeit des Fahrzeuges gegeben ist, in eine Sollgierrate umgesetzt. Diese wird mit der, über einen geeigneten Gierratensensor, am Fahrzeug gemessenen Gierrate verglichen. Entsprechend dem Ergebnis dieses Vergleiches wird nachfolgend über ein Fahrdynamikregelsystem, beispielsweise über ein Bremssystem, die Fahrdynamik des Fahrzeuges derart beeinflusst, dass die Gierrate des Fahrzeuges der Sollvorgabe (Sollgierrate) bestmöglich folgen kann.

**[0004]** Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Methoden zur Gierratenregelung bekannt.

**[0005]** In der DE 10 2004 006 944 A1 wird dazu ein modellbasiertes Regelungsverfahren und eine entsprechende Regelungsvorrichtung zur Fahrdynamikregelung eines mehrspurigen Fahrzeuges gelehrt.

**[0006]** Aus der DE 10 2005 046 612 A1 ist ein Verfahren zur Realisierung von Fahrdynamikfunktionen unter Verwendung eines echtzeitfähigen Reifenmodells bekannt.

**[0007]** In der DE 195 15 059 A1 ist ein Fahrstabilitätsregler mit reibwertabhängiger Begrenzung der Referenzgierrate offenbart.

**[0008]** Schließlich ist aus der EP 1 745 953 A1 ein Fahrdynamik-Regelsystem bekannt.

**[0009]** Aus der DE196 17 590 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung des Fahrzeug-Sollverhaltens auf Basis linearer Zusammenhänge bekannt, wobei eine Sollgierrate durch Reduktion der vorderen Schräglaufsteifigkeiten bestimmt wird.

**[0010]** Aus der US 6,547,343 B1 ist ein Bremsensteuerungssystem bekannt, dabei wird ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des Schwimmwinkels eingesetzt.

**[0011]** Aus der EP 0 775 617 B1 ist eine Vorrichtung zur Bestimmung von geschätzten Bewegungszustandsgrößen eines Fahrzeuges mit einem Fahrzustandsbeobachter bekannt.

**[0012]** Schließlich ist aus der US 6,161,905 ein einfaches Steuer- bzw. Regelsystem auf Basis von Schätzungen für Istgrößen und aus der US 7,184 868 B2 ein Fahrzustandsbeobachter bekannt.

**[0013]** Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und Vorrichtungen erweisen sich in der Praxis besonders bei höheren Querschleunigungen, vorzugsweise ab ca.  $4 \text{ m/s}^2$ , als unzureichend und führen in manchen Situationen zu einem für den Fahrer unkomfortablen Regelungseingriff.

**[0014]** Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung eine entsprechende Vorrichtung sowie ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln, dass sich durch hohe Effizienz bei gleichzeitig geringen Kosten und optimierter Rechenlaufzeit sowie durch möglichst realistische Vorgaben für die zu berechnende Sollgierrate auszeichnet.

**[0015]** Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung nach Anspruch 1 sowie das Verfahren nach Anspruch 8 gelöst.

**[0016]** Definitionsgemäß entsprechend einer Ausführungsform der Erfindung ist das erste von dem zweiten Berechnungsmodell auch dann verschieden, wenn das erste und das zweite Berechnungsmodell jeweils eine Funktion mit konstanter Steigung aufweisen, die beiden Steigungen jedoch betragsmäßig verschieden sind.

**[0017]** Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Steigung einer Funktion mit konstanter Steigung größer 0.

**[0018]** Nach einer besonderen Ausführungsform wird die Fahrzeuggeschwindigkeit aufgrund der Raddrehzahl bestimmt.

**[0019]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist durch die erfindungsgemäße Vorrichtung eine harmonischere Regelung der Fahrdynamik möglich.

**[0020]** Trotzdem die Erfindung nach einer besonderen Ausführungsform mit zwei Berechnungsmodellen und entsprechenden Funktionen geoffenbart ist, ist die Verwendung von mehr als zwei Berechnungsmodellen zur Modellierung des Reifenmodells durch die vorliegende Erfindung mit umfasst. Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung weist das Reifenmodellierungsmodul beispielsweise 3 Untermodule mit 3 verschiedenen Berechnungsmodellen und entsprechenden unterschiedlichen Funktionen auf. Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann die Reifenkennlinie (Verlauf der Seitenkraft in Abhängigkeit des Schräglaufwinkels) abschnittsweise durch verschiedene Funktionen mit, vorzugsweise unterschiedlichen, konstanten Steigungen angenähert werden.

**[0021]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in dem ersten oder dem zweiten Berechnungsmodell die Seitenkraft als eine erste Funktion des Schräglaufwinkels vorgesehen, wobei die erste Funktion eine konstante Steigung aufweist. Nach einer weiteren möglichen Ausführungsform ist in beiden Berechnungsmodellen die Seitenkraft als Funktion des Schräglaufwinkels vorgesehen, wobei beide Funktionen konstante, aber, insbesondere betragsmäßig, unterschiedliche, Steigungen aufweisen.

**[0022]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das erste Berechnungsmodell eine zweite Funktion mit nicht-linearem, insbesondere nicht-linearem degressiven, Verhalten und das zweite Berechnungsmodell die erste Funktion auf. Nach einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung stellen die erste und die zweite Funktion dabei die stationären Seitenkräfte in Abhängigkeit des Schräglaufwinkels dar.

**[0023]** Nach einer Ausführungsform der Erfindung wird definitionsgemäß unter einer nicht-linearen Funktion eine Funktion mit nicht-konstanter Steigung, beispielsweise eine polynomische Funktion, verstanden.

**[0024]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das Lösungsmodul eine Logik zur iterativen numerischen Lösung des Sollgierratenmodells durch ein numerisches Lösungsverfahren, bevorzugt durch ein Nullstellenverfahren, besonders bevorzugt nach dem Bisektionsverfahren, auf, wobei die Logik des Lösungsmoduls eine Berechnungsschleife aufweist und das Reifenmodellierungsmodul in die Berechnungsschleife so eingebunden ist, dass die Berechnungsschleife solange, bevorzugt mehr als einmal, besonders bevorzugt zumindest zwanzigmal, durchlaufen werden kann, bis die Sollgierrate des Fahrzeuges in einer gewünschten Genauigkeit bestimmt ist.

**[0025]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist ein der Einrichtung zur Sollgierratenberechnung vorgeschaltetes Vorgabemodul vorgesehen, über welches eine, insbesondere lineare, Abschätzung von am Fahrzeug auftretenden stationären Seitenkräften anhand eines, insbesondere linearen, Reifenmodells durchführbar ist, wobei über diese Abschätzung geeignete Startwerte für das numerische Lösungsverfahren, insbesondere Nullstellenverfahren, bestimmbar sind. Unter einer linearen Abschätzung der Seitenkräfte wird nach einer Ausführungsform definitionsgemäß eine Abschätzung der am Fahrzeug auftretenden Seitenkräfte mittels eines linearen Modells, vorzugsweise mittels eines linearen Einspurmodells, besonders bevorzugt nach der Ackermann-Gleichung, verstanden.

**[0026]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist der Sensor zur Bestimmung des Lenkwinkels einen Sensor zur Bestimmung des Radeinschlages zumindest eines der vorderen Räder des Fahrzeuges sowie einen Sensor zur Bestimmung des Radeinschlages zumindest eines der hinteren Räder des Fahrzeuges auf.

**[0027]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das Schräglaufwin-

kelbestimmungsmodul in die Berechnungsschleife des Lösungsmoduls eingebunden.

**[0028]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das Schräglaufwinkelbestimmungsmodul ein erstes Schräglaufwinkeluntermodul zur Bestimmung des Schräglaufwinkels zumindest eines der vorderen Räder des Fahrzeuges sowie ein zweites Schräglaufwinkeluntermodul zur Bestimmung des Schräglaufwinkels zumindest eines der hinteren Räder des Fahrzeuges auf.

**[0029]** Nach einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Aufstandskraftmodul zur Bestimmung der Aufstandskräfte des Fahrzeuges auf. Nach einer besonderen Ausführungsform ist dabei das Aufstandskraftmodul in die Berechnungsschleife des Lösungsmoduls eingebunden.

**[0030]** Nach einer weiteren Ausführungsform ist die Erfindung durch ein Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet.

**[0031]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist entweder in dem ersten oder zweiten Berechnungsmodell die Seitenkraft als eine erste Funktion des Schräglaufwinkels formuliert, wobei die erste Funktion eine konstante Steigung aufweist. Nach einer weiteren möglichen Ausführungsform ist in beiden Berechnungsmodellen die Seitenkraft als Funktion des Schräglaufwinkels vorgesehen, wobei beide Funktionen konstante, aber unterschiedliche, Steigungen aufweisen.

**[0032]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das erste Berechnungsmodell eine zweite Funktion mit nicht-linearem Verhalten auf und weist das zweite Berechnungsmodell die erste Funktion auf.

**[0033]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das Lösungsmodul eine Logik zur iterativen numerischen Lösung des Sollgierratenmodells durch ein numerisches Lösungsverfahren, vorzugsweise durch ein Nullstellenverfahren, besonders bevorzugt nach dem Bisektionsverfahren, auf. Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind der zweite und dritte Verfahrensschritt in der Logik des Lösungsmoduls in eine Berechnungsschleife eingebunden, wobei der zweite und dritte Verfahrensschritt in der Berechnungsschleife durch Anwendung des numerischen Lösungsverfahrens solange, bevorzugt mehr als einmal, besonders bevorzugt zumindest zwanzigmal, abgearbeitet werden, bis die Sollgierrate des Fahrzeuges in einer gewünschten Genauigkeit bestimmt ist.

**[0034]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das mathematisch formulierte Sollgierratenmodell als Funktion der Seitenkraft nach dem Intervallhalbierungsverfahren durch Nullstellensuche gelöst.

**[0035]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist ein der Einrichtung zur Sollgierratenberechnung vorgeschaltetes Vorgabemodul vorgesehen, über welches eine Abschätzung der am Fahrzeug auftretenden stationären Seitenkräfte, anhand eines, insbesondere linearen, Reifenmodells durchgeführt wird, wobei über diese Abschätzung geeignete Startwerte für das numerische Lösungsverfahren bestimmt werden.

**[0036]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Aufstandskraftmodul auf, wobei über das Aufstandskraftmodul die Aufstandskräfte des Fahrzeuges bestimmt werden und das Aufstandskraftmodul in die Berechnungsschleife eingebunden und abgearbeitet wird.

**[0037]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das Schräglaufwinkelbestimmungsmodul ein erstes Schräglaufwinkeluntermodul zur Bestimmung des Schräglaufwinkels der vorderen Räder des Fahrzeuges sowie ein zweites Schräglaufwinkeluntermodul zur Bestimmung des Schräglaufwinkels der hinteren Räder des Fahrzeuges auf.

**[0038]** Nach einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist der Sensor zur Bestimmung des Lenkwinkels einen Sensor zur Bestimmung des Radeinschlages zumindest eines der vorderen Räder des Fahrzeuges und/oder einen Sensor zur Bestimmung des Radeinschlages zumindest eines der hinteren Räder des Fahrzeuges auf.

**[0039]** Die Erfindung ist ferner durch ein Verfahren nach Anspruch 14 gekennzeichnet.

**[0040]** Nach einer besonderen Ausführungsform des Verfahren zur Generierung eines Kennfeldes zur Sollgierratenregelung eines Fahrzeuges werden ein erster Parameterbereich für den Lenkwinkel und ein zweiter Parameterbereich für die Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt, und über das erste und das zweite Vorgabemodul in den beiden Parameterbereichen zugehörige stationäre Sollgierraten rechnerisch bestimmt und in dem Kennfeld abgelegt.

**[0041]** Die Erfindung ist nachfolgend anhand einer beispielhaften und nicht einschränkenden Ausführungsform durch mehrere schematische Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

**[0042]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Ablaufschemas einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Steuerung und/oder Regelung der Fahrdynamik eines Fahrzeuges hinsichtlich der Bestimmung einer Sollgierrate

**[0043]** [Fig. 2\(a\)](#) ein schematisches Diagramm zur Darstellung der Seitenkraft  $F_y$  als Funktion des Schräglaufwinkels  $\alpha$

**[0044]** [Fig. 2\(b\)](#) der Zusammenhang zwischen  $f(F_y)$  und  $F_y$  zur Bestimmung der Sollgierrate aus einem Sollgierratenmodell

**[0045]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Ablaufschemas einer Fahrzeugdynamikregelung auf Basis der Sollgierrate

**[0046]** [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung eines Fahrzeuges mit einem Subsystem zur Regelung/Steuerung der Fahrdynamik eines Fahrzeuges

**[0047]** [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung der Modularität der dargestellten Ausführungsform Bei einer Sollwertregelung der Fahrzeugdynamik werden bei der Berechnung einer Sollwertvorgabe, im vorliegenden Fall einer Sollgierrate, entsprechend der dargestellten bevorzugten Ausführungsform, stationäre Verhältnisse dargestellt. Dabei werden nach einer bevorzugten Ausführungsform beispielsweise keine Einschwingvorgänge in der Berechnung berücksichtigt.

**[0048]** Die im Folgenden beschriebenen Module bilden die Funktionalität sowie zumindest teilweise Funktionen eines Berechnungsverfahrens bzw. eines entsprechenden Prozesses zur Sollwertregelung ab. Demnach können beispielsweise mehrere Module baulich getrennt oder kombiniert in einem oder mehreren Steuergeräten untergebracht werden.

**[0049]** Wie aus [Fig. 1](#) in Verbindung mit [Fig. 5](#) ersichtlich, werden ausgehend von einem Startprozessschritt **1** in einem zweiten Prozessschritt **2**, durch ein entsprechendes Beobachtungsmodul **26** die fahrdynamischen Zustands- und Eingangsgrößen des Fahrzeuges gemessen bzw. aufgenommen. Auf Basis der gemessenen Größen, beispielsweise der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder des vorderen und gegebenenfalls hinteren Lenkwinkels, wird die sich am Fahrzeug stationär einstellende Seitenkraft  $F_y$  durch ein Vorgabemodul **26a** in einem Schritt **3** abgeschätzt. Eine solche Abschätzung kann beispielsweise auf Basis der, aus der Literatur bekannten, Ackermann-Gleichung oder nach einem anderen, insbesondere aus einem linearen Einspurmodell abgeleiteten, vereinfachten Modell erfolgen. Nach einer weiteren Ausführungsform könnte diese Abschätzung auch mit einer anderen Berechnungsvorschrift, beispielsweise unter Berücksichtigung einer festgelegten oberen und unteren Schranke und/oder auch durch Einbeziehung des Reibwertes, erfolgen.

**[0050]** Nach der Abschätzung der Seitenkräfte in Schritt **3**, werden in einem Schritt **4** in dem Vorgabemodul **26a** aus der geschätzten Seitenkraft mittels geeigneter Berechnungsvorschriften geeignete Seitenkraft-Startwerte (obere und untere Seitenkraftschranke) für die nun folgenden Berechnungsschritte, insbesondere für den folgenden numerischen Algorithmus zur Bestimmung der Sollgierrate gewählt. Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann die Abschätzung der oberen und unteren Schranke auf Basis des, aus einem linearen Modell, insbesondere in Prozessschritt **3**, berechneten, Schätzwertes durch Multiplikation mit zwei vorbestimmten Koeffizienten, d. h. jeweils einem Koeffizienten für die untere Schranke sowie jeweils einem Koeffizienten für die obere Schranke, erfolgen. Wurden bereits in Prozessschritt **3** geeignete Schranken bestimmt kann Prozessschritt **4** ersatzlos entfallen.

**[0051]** In einem Schritt **5** werden mittels eines Aufstandskraftmoduls **28** die sich an den Rädern stationär einstellenden Aufstandskräfte des Fahrzeuges berechnet. Die Aufstandskraft hat einen wesentlichen Einfluss auf die am Fahrzeug wirkende Seitenkraft und damit auf die zu bestimmende Sollgierrate.

**[0052]** In einem Schritt **6** werden durch das Schräglaufwinkelbestimmungsmodul **29** die am Fahrzeug, vorzugsweise an der Vorderachse und gegebenenfalls an der Hinterachse, auftretenden Schräglaufwinkel der Reifen am Fahrzeug bestimmt. Entsprechende Berechnungsvorschriften, beispielsweise auf Basis von inversen Reifenmodellen bzw. auf Basis von fahrdynamischen Zusammenhängen, sind dem Fachmann aus dem Stand der Technik bekannt, und werden an dieser Stelle deshalb nicht näher erläutert.

**[0053]** In Schritt **7** werden auf Basis eines mathematisch formulierten Reifenmodells in einem Reifenmodellierungsmodul **30** die Gleichungen zur Bestimmung der Seitenkräfte, vorzugsweise für jedes Rad des Fahrzeuges angesetzt. Das nach einer möglichen Ausführungsform der Erfindung verwendete Reifenmodell weist in einem ersten Bereich, der durch kleine Schräglaufwinkel bis zu einem, in Abhängigkeit der Aufstandskraft und/oder gegebenenfalls einem Reibwert, vordefinierten Grenzschräglaufwinkel bestimmt ist, eine mathematische Funktion mit nichtlinearem Verhalten (erstes Untermodul), sowie in einem zweiten Bereich, welcher höheren Schräglaufwinkeln als dem vordefinierten Grenzschräglaufwinkel entspricht, eine mathematische Funktion mit einer konstanten Steigung (zweites Untermodul) auf. Dementsprechend werden dem Reifenmodell zwei getrennte Funktionsgleichungen, im Sinne einer zusammengesetzten Funktion, zugeordnet. Eine erste Funktionsgleichung bzw. Teilfunktion entspricht dabei dem ersten Untermodul, eine zweite Funktionsgleichung bzw. Teilfunktion entspricht dem zweiten Untermodul. Nach einer besonderen Ausführungsform werden die berechneten Seitenkräfte der Räder des Fahrzeuges zu einer vorzugsweise im Schwerpunkt des Fahrzeuges angreifenden (Gesamt-)Seitenkraft des Fahrzeuges addiert. Aus dem Reifenmodell wird in weiterer Folge das Sollgierratenmodell formuliert. Das Sollgierratenmodell weist nach einer Ausführungsform eine implizite Gleichung auf, die analytisch nicht lösbar ist. Zur Lösung des Sollgierratenmodells wird nach einer Ausführungsform der Erfindung ein numerisches Lösungsverfahren vorgeschlagen. Dazu wird die Funktionsgleichung des Sollgierratenmodells vorzugsweise so umgeformt, dass sich die Lösungssuche auf eine Nullstellensuche der Funktion in Abhängigkeit der Seitenkraft reduziert. Diese Nullstellensuche, die in Schritt **8** in dem Lösungsmodul **31** durchgeführt wird, wird iterativ nach dem Bisektionsverfahren (Intervallhalbierungsverfahren) durchgeführt. Bei diesem, dem Fachmann aus der Fachliteratur zu numerischen Algorithmen bekannten, Verfahren erfolgt eine Eingrenzung der Nullstelle durch fortwährende Halbierung des Intervalls in welchem die Nullstelle vermutet wird. Durch Vorzeichenvergleich wird bestimmt, welche Hälfte des geteilten Intervalls für die weitere numerische Annäherung an die zu bestimmende Nullstelle weiter verfolgt werden soll. Somit kann die Nullstelle rasch eingegrenzt und mit einer von der Anzahl der Iterationsschritte abhängigen Genauigkeit bestimmt werden. Nach einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung können auch andere numerische Nullstellenverfahren, wie beispielsweise das so genannte Newton-Raphson-Verfahren zur numerischen Nullstellensuche verwendet werden. In Versuchen wurde jedoch beobachtet, dass die Nullstelle des Sollgierratenmodells über das Intervallhalbierungsverfahren schneller und sicherer berechnet werden kann, als beispielsweise über das Newton-Raphson Verfahren.

**[0054]** Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann im Bereich sehr kleiner Fahrzeuggeschwindigkeiten, beispielsweise unterhalb von 0,1 m/s, insbesondere über den gesamten nutzbaren Schräglaufwinkelbereich ein vereinfachter, insbesondere linearer, Ansatz für das Reifenmodell und somit für das Sollgierratenmodell verwendet werden. Ein solcher linearer Ansatz könnte beispielsweise auf der aus der Literatur bekannten Abschätzung nach Ackermann basieren.

**[0055]** Nach weiteren Ausführungsformen kann das Reifenmodell in eine beliebige Anzahl von Untermodulen mit entsprechenden getrennten Funktionsgleichungen aufgegliedert werden, wodurch sich die Rechenzeit womöglich weiter verringern lässt.

**[0056]** Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weisen sowohl das erste als auch das zweite Untermodul Funktionen mit konstanter Steigung auf. Nach einer besonderen Ausführungsform wird der Bereich vor Erreichen des vordefinierten Grenzschräglaufwinkels durch mehrere Funktionen mit konstanter Steigung angenähert.

**[0057]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird definitionsgemäß der aus der Literatur bekannte Grenzschräglaufwinkel bzw. kritische Schräglaufwinkel bzw. der Schräglaufwinkel bei maximaler Seitenkraft als vorbestimmter Schräglaufwinkel, wie er Gegenstand der Ansprüche ist, bezeichnet.

**[0058]** Als nichtlineares Reifenmodell findet nach einer beispielhaften Ausführungsform entweder das aus der Literatur bekannte Pacejka-Modell oder alternativ das TM-Easy Modell Verwendung. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Verwendung dieser beiden Modelle beschränkt und eignet sich auch zur Anwendung für viele andere Modelle. Die aus der Literatur bekannten nicht-linearen Gleichungen nach Pacejka und TM-Easy werden dabei nur in jenem Teilbereich Verwendung finden, in welchem sie einen streng monotonen Verlauf zeigen,

also insbesondere bis zum Erreichen des Grenzschräglaufwinkel. Wird im Sinne einer zusammengesetzten Funktion die nichtlineare Gleichung aus dem ersten Untermodul durch eine Funktion mit konstanter Steigung aus dem, an das erste Modul anschließenden, zweiten Modul kombiniert, kann über den gesamten relevanten Verlauf der Seitenkraft in Abhängigkeit des Schräglaufwinkel ein streng monotonen Verhalten der zusammengesetzten Modellgleichung und somit eine eindeutige Lösung des Sollgierratenmodells erreicht werden.

**[0059]** Die nach einer Ausführungsform der Erfindung in Prozessschritt 7 angewandte adaptierte Reifenfunktion zur Bestimmung der Seitenkraft  $F_y$  als Funktion des Schräglaufwinkels  $\alpha$  weist in einem ersten Teilbereich (erstes Untermodul) eine nicht-lineare, auf dem TM-Easy Modell basierende, erste Funktion, entsprechend Gleichung (1), sowie in einem zweiten Teilbereich (zweites Untermodul) eine durch eine konstanten Steigung charakterisierte zweite Funktion, entsprechend Gleichung (2), auf, und kann, wie folgt, mathematisch formuliert werden:

$$F_y(\alpha) = \begin{cases} \alpha_m K_0 \frac{\sigma}{1 + \sigma \left[ \frac{\alpha_m}{F_{y_m}} K_0 - 2 + \sigma \right]} & \sigma = \frac{\alpha}{\alpha_m}, \quad 0 \leq \alpha \leq \alpha_m \quad (1) \\ C \alpha + F_{y_m} - K_{Korr} & \alpha > \alpha_m \quad (2) \end{cases}$$

- $\alpha$  Schräglaufwinkel
- $\alpha_m$  Schräglaufwinkel bei maximaler Seitenkraft (Umschaltkriterium), vorzugsweise abhängig von der Radaufstandskraft und/oder einem Reibwert
- $K_0$  Anfangssteigung des Reifenmodells
- $F_y$  Seitenkraft
- $F_{y_m}$  maximale Seitenkraft, vorzugsweise in Abhängigkeit der Radaufstandskraft und gegebenenfalls des Reibwertes
- $C$  Konstante
- $K_{Korr}$  Korrekturwert

**[0060]** Es gilt weiters  $F_y(\alpha) = -F_y(-\alpha)$  für  $\alpha < 0$ . Somit ist für negative Schräglaufwinkel die berechnete Seitenkraft mit einem negativen Vorzeichen versehen.

**[0061]** Das verwendete Reifenmodell ist in **Fig. 2(a)** in einem Diagramm vereinfacht dargestellt. Dabei ist die Seitenkraft  $F_y$  als Funktion des Schräglaufwinkels  $\alpha$  dargestellt. Wie aus **Fig. 2(a)** ersichtlich, wird das Reifenmodell in einem Bereich niedriger Schräglaufwinkel durch die erste Funktion (1) in dem ersten Untermodul, und in einem Bereich höherer Schräglaufwinkel durch die zweite Funktion (2) in dem zweiten Untermodul, angenähert. Als Umschaltpunkt zwischen den beiden Funktionen (1) und (2) ist der vordefinierte maximale Schräglaufwinkel  $\alpha_m$ , der dem vordefinierten oder vorbestimmten (Grenz-)Schräglaufwinkel entspricht, festgelegt.

**[0062]** Fügt man die aus der Literatur bekannten Gleichungen zusammen, so erhält man die folgende implizite Funktion für die Berechnung der Sollgierrate :

$$\psi_{Soll} = f(v_F, \delta_V, \delta_H, \psi_{Soll}) \quad (3)$$

- $\psi_{Soll}$  Sollgierrate
- $v_F$  Fahrzeuggeschwindigkeit
- $\delta_V$  Radeinschlag der Vorderräder
- $\delta_H$  Radeinschlag der Hinterräder

**[0063]** Diese Formel ist analytisch nicht lösbar. Durch Umformen, wie aus der Literatur bekannt, kann sie auf die Berechnung der Seitenkräfte zurückgeführt werden:

$$F_y = f(v_F, \delta_V, \delta_H, F_y) \quad (4)$$

**[0064]** Die Berechnung der Seitenkräfte kann weiter auf ein Nullstellenproblem vereinfacht werden:

$$f(F_y) = F_y - f(v_F, \delta_V, \delta_H, F_y) = 0 \quad (5)$$

**[0065]** Die Lösung bzw. Auswertung dieser Gleichung bzw. Funktion, die als Sollgierratenmodell durch das Lösungsmodul **31** gelöst wird, und in **Fig. 2(b)** schematisch dargestellt ist, ist Gegenstand des Prozessschrittes **8**. Wie ersichtlich, vereinfacht sich die Lösung dieser Gleichung zur Nullstellensuche. Durch fortwährende Iteration nach dem Intervallhalbierungsverfahren (Bisektionsverfahren) kann die unbekannte stationäre Seitenkraft  $F_y$  bestimmt werden. Im Allgemeinen reichen 20 Iterationen aus, um die Seitenkraft ausreichend genau zu bestimmen. Ein entsprechender Entscheidungsschritt ist als Teil des Lösungsmoduls in Prozessschritt **9** vorgesehen. Dabei wird beispielsweise über eine Genauigkeitsschranke entschieden, ob die Iteration weitergeführt oder abgebrochen werden soll.

**[0066]** Wie in **Fig. 1** ersichtlich, sind die Prozessschritte **5–9** in eine Berechnungsschleife **12** des Nullstellenalgorithmus **11** der Logik des Lösungsmoduls **31**, die im Wesentlichen den Nullstellen-Algorithmus, also insbesondere das Bisektionsverfahren, abbildet, eingebunden. Ist nach einem Durchlauf durch diese Prozesskette eine vordefinierte und gewünschte Genauigkeit noch nicht erreicht, wird mittels der Abbruchbedingung **9** eine weitere Intervallhalbierung durchgeführt, worauf nachfolgend die Prozessschritte **5–9** der Berechnungsschleife **12** nochmals abgearbeitet werden.

**[0067]** Ist die Seitenkraft genügend genau bestimmt, kann in einem Prozessschritt **10** aus der ermittelten Seitenkraft, wie aus der Literatur bekannt, mit der Masse des Fahrzeuges in dem Sollgierratenmodell die stationäre Querschleunigung des Fahrzeuges und nachfolgend aus der Querschleunigung mittels Division durch die Geschwindigkeit des Fahrzeuges die Sollgierrate bestimmt werden.

**[0068]** Wie in **Fig. 3** schematisch dargestellt, erfolgen nach der Sollgierratenbestimmung **10** in einem Prozessschritt **11** ein Vergleich der Sollgierrate mit der tatsächlich gemessenen Gierrate und nachfolgend, vorzugsweise über einen Fahrdynamikregler bzw. ein Regelmodul **11a** die Ansteuerung eines Subsystems zur gezielten Beeinflussung der Fahrdynamik des Fahrzeuges. Als Subsysteme sind beispielsweise ein System zur Regelung und/oder Steuerung einer aktiven Vorderradlenkung **13** und/oder ein System zur Regelung und/oder Steuerung einer Hinterradlenkung **14** und/oder ein System zur Regelung und/oder Steuerung eines Torque Vectoring (variable Momentenverteilung im Antriebsstrang) und/oder Allradsystems **15** und/oder ein System zur Regelung und/oder Steuerung eines Bremssystems **16**, beispielsweise im Rahmen eines ESP-Systems, und/oder ein System zur Regelung und/oder Steuerung einer Allradkupplung **17** und/oder ein System zur Regelung und/oder Steuerung eines Getriebes **17** und/oder eines Motors **17**, beispielsweise über ein Motormanagementsystem, und/oder eines anderen Subsystems möglich.

**[0069]** Die Sollgierrate wird mit der tatsächlich am Fahrzeug gemessenen Gierrate verglichen und im Falle einer Diskrepanz zwischen Soll- und Istwert, vorzugsweise entsprechend einem Regelgesetz, steuernd und/oder regelnd in die Fahrzeugdynamik eingegriffen. Durch diesen Eingriff soll der Ist-Wert der Gierrate dem Sollwert (Sollgierrate) angeglichen und so die Stabilität der Fahrdynamik des Fahrzeuges wieder hergestellt werden.

**[0070]** Zur Verdeutlichung ist in **Fig. 4** schematisch ein Fahrzeug **18** dargestellt, dass über verschiedene Sensoren zur Beobachtung der Fahrzeugdynamik verfügt. Beispielhaft sind hier ein Sensor **19** zur Bestimmung des Lenkwinkels an den vorderen Rädern **21** des Fahrzeuges sowie ein Sensor **20** zur Bestimmung des Lenkwinkels an den hinteren Rädern **22** des Fahrzeuges vorgesehen. Weiters weist diese beispielhafte Ausführungsform einen Gierratensensor **23a** und einen Fahrzeuggeschwindigkeitssensor **23b** auf, der ebenso wie die Sensoren **19** und **20** mit einer zentralen Regel-/Steuereinheit **24** des Fahrzeuges verbunden ist. In der zentralen Regel-/Steuereinheit sind die entsprechenden Module zur Berechnung der Sollgierrate sowie zum Vergleich der Sollgierrate mit der über den Gierratensensor **23** gemessenen Gierrate integriert. Entsprechend einer Regel- und/oder Steuerlogik regelt und/oder steuert die zentrale Regel-/Steuereinheit **24** ein Subsystem **25**, das in der vorliegenden beispielhaften Ausführungsform als Allradkupplung ausgeführt ist. In der vorliegenden Allradkupplung ist ein entsprechender Aktuator **25a**, beispielsweise ein Kolben zum Schließen einer Lammellenkupplung, vorgesehen, durch den die Fahrdynamik des Fahrzeuges beeinflussbar ist.

**[0071]** Zur weiteren Verdeutlichung der erläuterten beispielhaften Ausführungsform der Erfindung ist in **Fig. 5** die Modularität der vorliegenden Erfindung schematisch dargestellt. Dazu ist ein Fahrzeugbeobachtungsmodul **26** zur Aufnahme zumindest der Lenkwinkel  $\delta_v$  zumindest eines der vorderen Räder und  $\delta_h$  zumindest eines der hinteren Räder sowie der Geschwindigkeit  $v$  des Fahrzeuges vorgesehen. Das Fahrzeugbeobachtungsmodul liefert entsprechende Daten an das Vorgabemodul **26a**, welches wiederum Vorgabewerte, insbesondere für die erstmalige Abschätzung der Seitenkräfte an die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung **27** liefert.



Die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung **27** weist ein Aufstandskraftmodul **28**, ein Schräglaufbestimmungsmodul **29**, ein Reifenmodellierungsmodul **30** sowie ein Lösungsmodul **31** auf. Über das Lösungsmodul **31**, das das Sollgierratenmodell, also die notwendigen Berechnungsvorschriften zur Berechnung der Sollgierrate, sowie die Logik zur Abarbeitung des numerischen Lösungsalgorithmus enthält wird schließlich die Sollgierrate bestimmt. Wie aus [Fig. 5](#) ersichtlich ist, weist das Lösungsmodul **31** nach einer besonderen Ausführungsform eine Rückkopplung zu den anderen Modulen der Einrichtung zur Sollgierratenberechnung **27** auf, wodurch die numerische Iteration ermöglicht wird.

**[0072]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird jene stationäre Sollgierrate bestimmt bzw. vorausberechnet, die sich nach Abklingen von Einschwingvorgängen, insbesondere Gieren, Wanken und/oder Nicken am Fahrzeug gemäß dem verwendeten Fahrzeugmodell einstellen soll. Diese Sollgierrate wird als stationäre Sollgierrate bezeichnet.

**[0073]** Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung wird nach der beschriebenen Berechnungsmethode ein Kennfeld zur Sollgierratenbestimmung eingerichtet. In einem Applikationsdurchlauf werden dabei für verschiedene Fahrzeuggeschwindigkeiten und/oder Lenkwinkel gemäß dem skizzierten Verfahren stationäre Sollgierraten errechnet und in dem Kennfeld abgelegt. Im Rahmen der Fahrdynamikregelungen wird für die Fahrzeuggeschwindigkeit und den Lenkwinkel die zugeordnete stationäre Sollgierrate aus dem Kennfeld ausgelesen. Durch diese Vereinfachung stehen die benötigten Werte der Sollgierrate einfach und schnell für die Sollgierratenregelung zur Verfügung.

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102004006944 A1 [\[0005\]](#)
- DE 102005046612 A1 [\[0006\]](#)
- DE 19515059 A1 [\[0007\]](#)
- EP 1745953 A1 [\[0008\]](#)
- DE 19617590 A1 [\[0009\]](#)
- US 6547343 B1 [\[0010\]](#)
- EP 0775617 B1 [\[0011\]](#)
- US 6161905 [\[0012\]](#)
- US 7184868 B2 [\[0012\]](#)

**Patentansprüche**

1. Vorrichtung zur Regelung der Fahrdynamik eines Fahrzeuges, mit einem Fahrzeugbeobachtungsmodul zur Aufnahme von Fahrzeugparametern, wobei das Fahrzeugbeobachtungsmodul zumindest einen Sensor zur Aufnahme eines Lenkwinkels, einen Sensor zur Aufnahme einer Fahrzeuggeschwindigkeit sowie einen Sensor zur Bestimmung einer Gierrate des Fahrzeuges aufweist, und mit einer Einrichtung zur Sollgierratenberechnung, wobei die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Schräglaufwinkelbestimmungsmodul zur Bestimmung eines Schräglaufwinkels eines Reifens am Fahrzeug, ein Reifenmodellierungsmodul zur Bestimmung einer an dem Reifen des Fahrzeuges auftretenden Seitenkraft sowie ein Lösungsmodul zur Bestimmung einer stationären Sollgierrate aufweist, wobei das Reifenmodellierungsmodul ein erstes sowie ein zweites Untermodul aufweist, wobei in dem ersten Untermodul die auftretende Seitenkraft im Bereich unterhalb von und bis zu einem vorbestimmten Schräglaufwinkel gemäß einem ersten Berechnungsmodell bestimmbar ist, und wobei in dem zweiten Untermodul die auftretende Seitenkraft im Bereich oberhalb des vorbestimmten Schräglaufwinkels gemäß einem zweiten, von dem ersten Berechnungsmodell verschiedenen, Berechnungsmodell bestimmbar ist, und in dem Lösungsmodul mittels eines Sollgierratenmodells aus der Seitenkraft die stationäre Sollgierrate berechenbar ist, und ein Aktuator vorgesehen ist, der entsprechend einem Ergebnis eines Vergleichs zwischen der gemessenen Gierrate und der stationären Sollgierrate, insbesondere von einem Regelmodul, ansteuerbar ist, wobei der Aktuator als Teil eines steuerbaren und/oder regelbaren Subsystems zur Vorderrad- und/oder Hinterradlenkung und/oder eines Bremssystems und/oder eines Dämpfungs- und/oder Niveauregelungssystems und/oder eines Torque Vectoring und/oder Allradsystems und/oder eines Motor- und/oder Getriebemanagementsystems und/oder Hybridsystems und/oder eines anderen steuerbaren und/oder regelbaren Subsystems vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem ersten oder dem zweiten Berechnungsmodell die Seitenkraft als eine erste Funktion des Schräglaufwinkels vorgesehen ist, wobei die erste Funktion eine konstante Steigung aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Berechnungsmodell eine zweite Funktion mit nicht-linearem, insbesondere nicht-linearem degressivem, Verhalten aufweist und das zweite Berechnungsmodell die erste Funktion aufweist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmodul eine Logik zur iterativen Lösung des Sollgierratenmodells durch ein numerisches Lösungsverfahren, bevorzugt durch ein Nullstellenverfahren, besonders bevorzugt nach dem Bisektionsverfahren, aufweist, wobei die Logik des Lösungsmoduls eine Berechnungsschleife aufweist und das Reifenmodellierungsmodul in die Berechnungsschleife so eingebunden ist, dass die Berechnungsschleife solange, bevorzugt mehr als einmal, besonders bevorzugt zumindest zwanzigmal, durchlaufen werden kann, bis die Sollgierrate des Fahrzeuges in einer gewünschten Genauigkeit bestimmt ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein der Einrichtung zur Sollgierratenberechnung vorgeschaltetes Vorgabemodul vorgesehen ist, über welches eine Abschätzung der am Fahrzeug auftretenden stationären Seitenkräfte anhand eines, insbesondere linearen, Reifenmodells durchführbar ist und über diese Abschätzung geeignete Startwerte für das numerische Nullstellenverfahren bestimmbar sind.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Schräglaufwinkelbestimmungsmodul in die Berechnungsschleife des Lösungsmoduls eingebunden ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Aufstandskraftmodul zur Bestimmung der Aufstandskräfte des Fahrzeuges aufweist, und das Aufstandskraftmodul in die Berechnungsschleife des Lösungsmoduls eingebunden ist.
8. Verfahren zur Fahrdynamikregelung eines Fahrzeuges mit zumindest einem Sensor zur Aufnahme eines Lenkwinkels, einem Sensor zur Aufnahme einer Fahrzeuggeschwindigkeit sowie einem Sensor zur Bestimmung einer Gierrate des Fahrzeuges, und mit einer Einrichtung zur Sollgierratenberechnung, wobei die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Schräglaufwinkelbestimmungsmodul zur Bestimmung eines Schräglaufwinkels eines Reifens am Fahrzeug und ein Reifenmodellierungsmodul zur Bestimmung einer

an dem Reifen des Fahrzeugs auftretenden Seitenkraft, sowie ein Lösungsmodul zur Bestimmung einer stationären Sollgierrate aufweist,  
wobei das Reifenmodellierungsmodul ein erstes sowie ein zweites Untermodul zur Bestimmung der an dem Reifen des Fahrzeugs auftretenden Seitenkraft aufweist,  
wobei in dem ersten Untermodul ein erstes Berechnungsmodell zur Berechnung der auftretenden Seitenkraft im Bereich unterhalb von und bis zu einem vorbestimmten Schräglaufwinkel vorgesehen ist und in dem zweiten Untermodul ein zweites Berechnungsmodell zur Berechnung der auftretenden Seitenkraft im Bereich oberhalb des vorbestimmten Schräglaufwinkels vorgesehen ist,  
und in einem ersten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung des Lenkwinkels ein Radeinschlag des Fahrzeuges bestimmt wird, und in einem zweiten Verfahrensschritt aus dem Radeinschlag und der Fahrzeuggeschwindigkeit der Schräglaufwinkel sowie die Seitenkraft bestimmt werden, und weiter in einem dritten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung der Seitenkraft mittels eines Sollgierratenmodells die stationäre Sollgierrate des Fahrzeuges bestimmt wird, und auf Basis eines Vergleichs der gemessenen Gierrate mit der stationären Sollgierrate, insbesondere von einem Regelmodul, ein Aktuator angesteuert wird, wobei der Aktuator als Teil eines steuerbaren und/oder regelbaren Subsystems zur Vorderrad- und/oder Hinterradlenkung und/oder Bremssystems und/oder eines Dämpfungs- und/oder Niveauregelungssystems und/oder eines Torque Vectoring und/oder Allradsystems und/oder eines Motor- und/oder Getriebemanagementsystems und/oder Hybridsystems und/oder eines anderen Subsystems vorgesehen ist und der Aktuator stabilisierend in die Fahrdynamik des Fahrzeuges eingreift.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass entweder in dem ersten oder zweiten Berechnungsmodell die Seitenkraft als eine erste Funktion des Schräglaufwinkels formuliert ist, wobei die erste Funktion eine konstante Steigung aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Berechnungsmodell eine zweite Funktion mit nicht-linearem Verhalten aufweist und das zweite Berechnungsmodell die erste Funktion aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmodul eine Logik zur iterativen Lösung des Sollgierratenmodells, durch ein numerisches Lösungsverfahren, vorzugsweise durch ein Nullstellenverfahren, besonders bevorzugt nach dem Bisektionsverfahren, aufweist, und der zweite und dritte Verfahrensschritt in der Logik des Lösungsmoduls in eine Berechnungsschleife eingebunden sind,  
wobei der zweite und dritte Verfahrensschritt in der Berechnungsschleife durch Anwendung des numerischen Lösungsverfahrens solange, bevorzugt mehr als einmal, besonders bevorzugt zumindest zwanzigmal, abgearbeitet werden, bis die Sollgierrate des Fahrzeuges in einer gewünschten Genauigkeit bestimmt ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein der Einrichtung zur Sollgierratenberechnung vorgeschaltetes Vorgabemodul vorgesehen ist, über welches eine Abschätzung der am Fahrzeug auftretenden stationären Seitenkräfte anhand eines, insbesondere linearen, Reifenmodells durchgeführt wird und über diese Abschätzung geeignete Startwerte für das numerische Lösungsverfahren bestimmt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Aufstandskraftmodul aufweist, wobei über das Aufstandskraftmodul die Aufstandskräfte des Fahrzeuges bestimmt werden und das Aufstandskraftmodul in die Berechnungsschleife des Lösungsmoduls eingebunden wird.

14. Verfahren zur Generierung eines Kennfeldes zur Sollgierratenregelung eines Fahrzeuges, mit einem ersten Vorgabemodul zur Vorgabe eines Lenkwinkels und einem zweiten Vorgabemodul zur Vorgabe einer Fahrzeuggeschwindigkeit und mit einer Einrichtung zur Sollgierratenberechnung, wobei die Einrichtung zur Sollgierratenberechnung ein Schräglaufwinkelbestimmungsmodul zur Bestimmung eines Schräglaufwinkels eines Reifens am Fahrzeug, ein Reifenmodellierungsmodul zur Bestimmung einer an dem Reifen des Fahrzeuges auftretenden Seitenkraft sowie ein Lösungsmodul zur Bestimmung einer stationären Sollgierrate aufweist, wobei das Reifenmodellierungsmodul ein erstes sowie ein zweites Untermodul zur Bestimmung der an dem Reifen des Fahrzeuges auftretenden Seitenkraft aufweist, wobei in dem ersten Untermodul ein erstes Berechnungsmodell zur Berechnung der auftretenden Seitenkraft im Bereich unterhalb von und bis zu einem vorbestimmten Schräglaufwinkel vorgesehen ist und in dem zweiten Untermodul ein zweites Berechnungsmodell zur Berechnung der auftretenden Seitenkraft im Bereich oberhalb des vorbestimmten Schräglaufwinkels vorgesehen ist, und ausgehend von dem durch das erste Vorgabemodul vorgegebenen Lenkwinkel und der durch das zweite Vorgabemodul vorgegebenen Fahrzeuggeschwindigkeit in einem ersten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung des Lenkwinkels ein Radeinschlag des Fahrzeuges bestimmt wird, und in einem zweiten

Verfahrensschritt aus dem Radeinschlag und der Fahrzeuggeschwindigkeit in dem Schräglaufwinkelbestimmungsmodul der Schräglaufwinkel des Reifens sowie in dem Reifenmodellierungsmodul die Seitenkraft des Fahrzeuges bestimmt werden, und weiter in einem dritten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung der Seitenkraft in dem Lösungsmodul mittels eines Sollgierratenmodells die stationäre Sollgierrate des Fahrzeuges bestimmt, und nachfolgend die so ermittelte dem Lenkwinkel und der Fahrzeuggeschwindigkeit zugeordnete stationäre Sollgierrate in dem Kennfeld abgelegt wird.

15. Verfahren zur Generierung eines Kennfeldes zur Sollgierratenregelung eines Fahrzeuges nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Parameterbereich für den Lenkwinkel und ein zweiter Parameterbereich für die Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt werden, und über das erste und das zweite Vorgabemodul in den beiden Parameterbereichen zugehörige stationäre Sollgierraten rechnerisch bestimmt und in dem Kennfeld abgelegt werden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

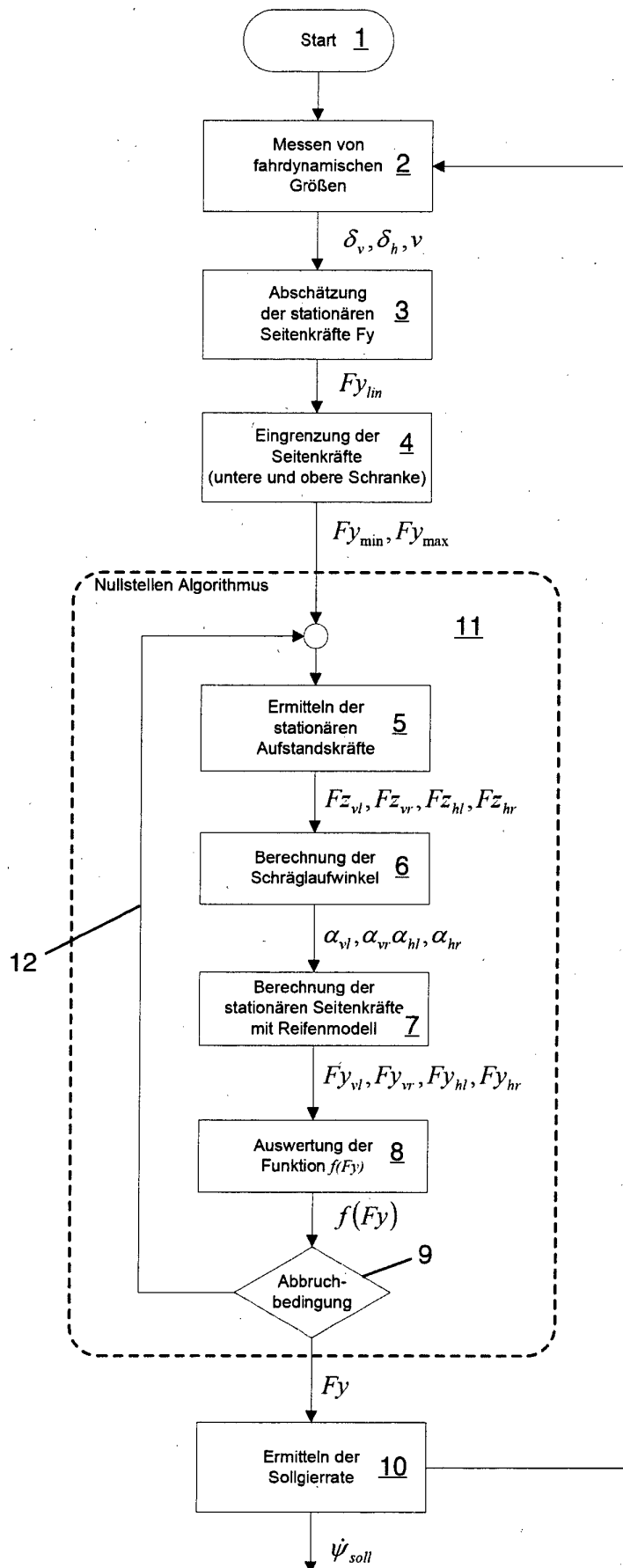


Fig. 2

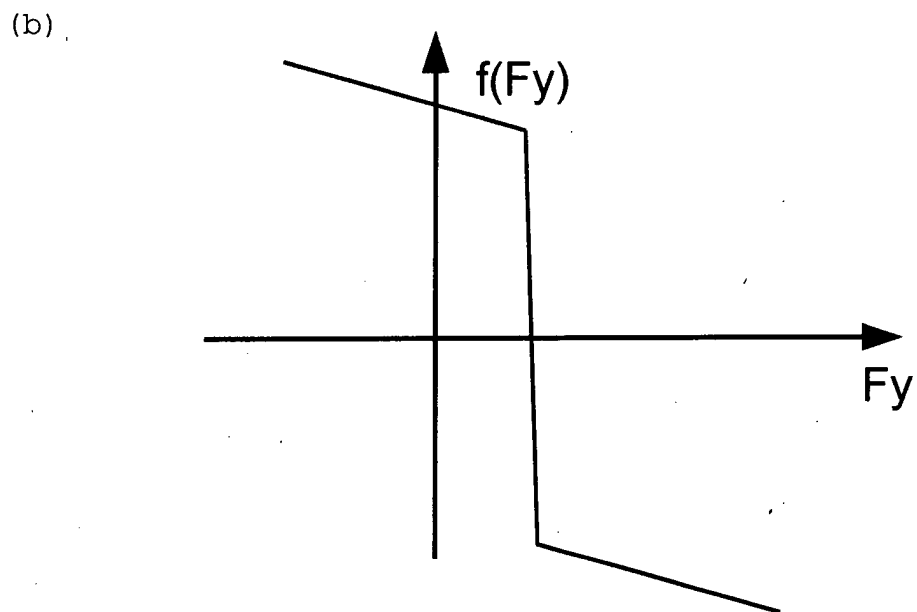
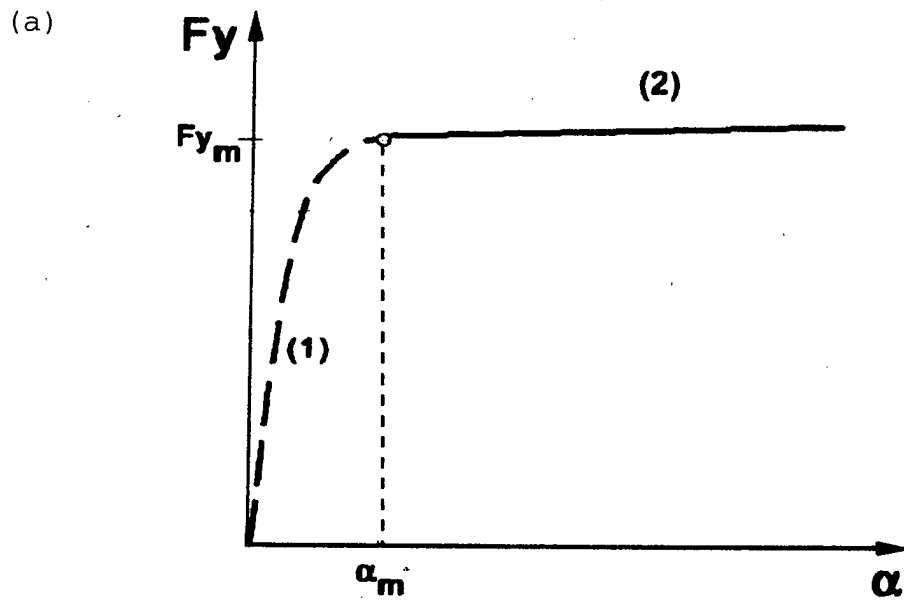


Fig. 3

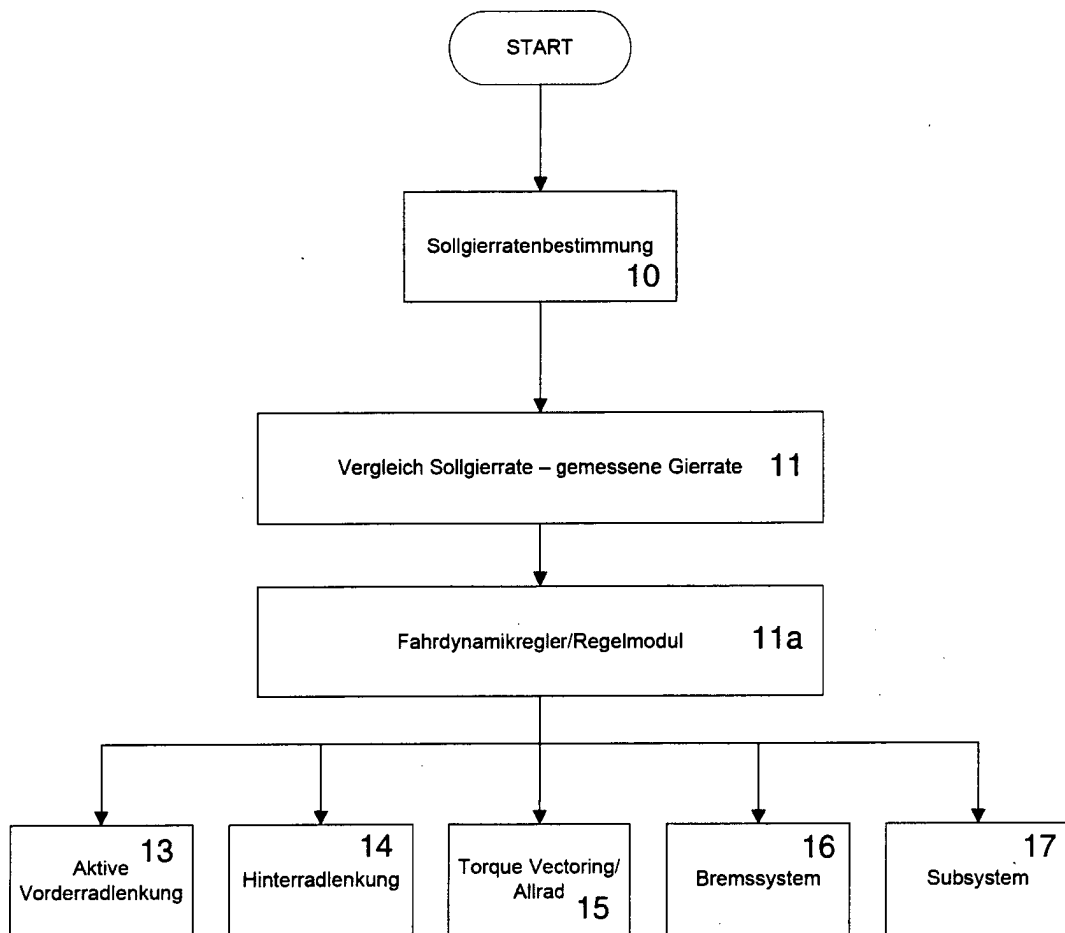




Fig. 4

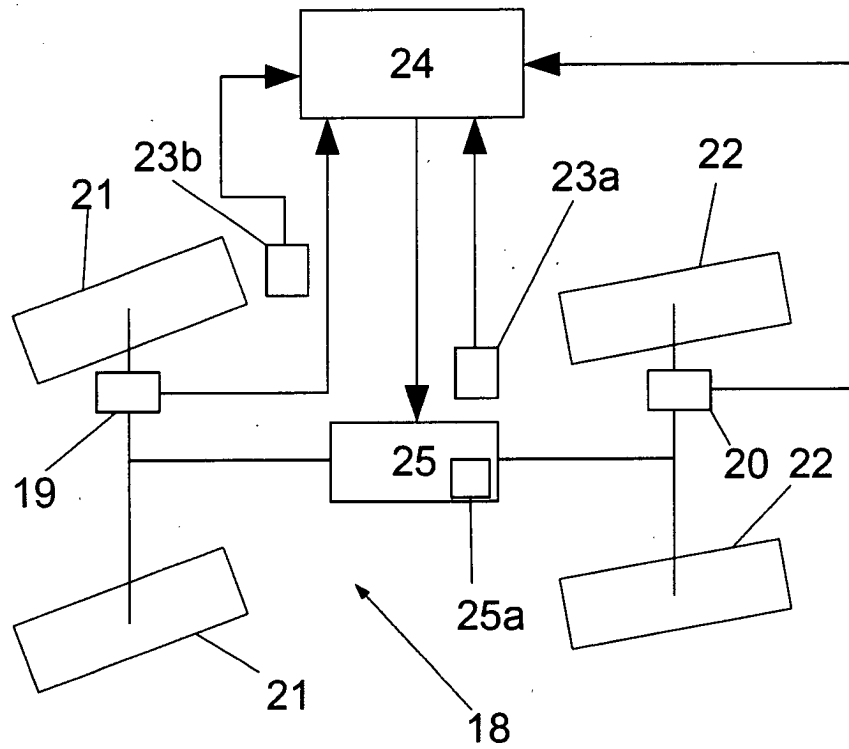


Fig. 5

