



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 045 305 B3 2008.01.17**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 045 305.0**
 (22) Anmeldetag: **26.09.2006**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **17.01.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B60W 40/12 (2006.01)**
B60W 10/18 (2006.01)
B60W 40/10 (2006.01)
B60G 17/015 (2006.01)
B60G 21/10 (2006.01)
B60T 8/18 (2006.01)
B60C 23/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

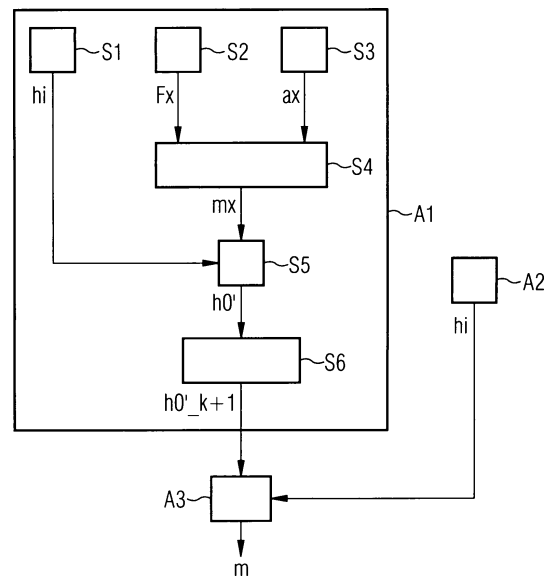
(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 197 28 867 A1
DE 103 37 212 A1
DE 101 48 091 A1

(72) Erfinder:
Jung, Andreas, Dr., 93053 Regensburg, DE;
Marstaller, Rainer, 93057 Regensburg, DE; Mayer,
Andreas, Dr., 93049 Regensburg, DE

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Fahrzeugs**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs (1), welches aufweist Radaufhängungen (2), jeweils mit einer Kennlinie (D_i), wobei die Kennlinie (D_i) jeweils einen Zusammenhang zwischen der an der jeweiligen Radaufhängung (2) anteilig angreifenden Gewichtskraft (F_i) des Fahrzeugs (1) und dem jeweiligen Höhenstand (h_i) des Fahrzeugs (1) an der Radaufhängungsstelle (2) herstellt, und mindestens zwei Höhenstandsensoren (3), zum Erfassen der Höhenstände (h_i) an den Radaufhängungen (2), wobei den Höhenstandsensoren (3) jeweils ein Referenzhöhenstand (h_{0i}) zugeordnet ist, der repräsentativ für einen vorgegebenen Beladungszustand des Fahrzeugs (1) ist, mit den Schritten: Erfassen der Höhenstände (h_i), Ermitteln der am Fahrzeug (1) angreifenden Kräfte (F_x), Ermitteln der Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1) aufgrund der am Fahrzeug (1) angreifenden Kräfte (F_x), Ermitteln eines Schätzwertes (m_x) für die Masse (m) des Fahrzeugs (1) aus den am Fahrzeug (1) angreifenden Kräften (F_x) und der Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1), und Ermitteln von Werten, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, aus mindestens dem Schätzwert (m_x) für die Masse (m) des Fahrzeugs (1), den Kennlinien (D_i) der Radaufhängungen und den erfassten Höhenständen (h_i).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben eines Fahrzeugs, insbesondere zum Bestimmen der Masse eines Fahrzeugs. Die Kenntnis der Masse kann dazu genutzt werden, um Beladungszustände zu erkennen, und Bremssysteme oder Reifendruckkontrollen beladungsabhängig zu parametrisieren.

[0002] Die DE 103 37 212 A1 beschreibt ein System und ein Verfahren zur Ermittlung eines Beladungszustandes eines Fahrzeugs oder eines Anhängers. Das System enthält eine Sensorvorrichtung, welche die Niveaus des Fahrzeugs relativ zu den einzelnen Rädern oder Achsen erfasst und entsprechende Messsignale ausgibt, und eine Auswerteinrichtung, welche aus den Messsignalen das Gesamtgewicht des Fahrzeugs ermittelt.

[0003] Aus der DE 101 48 091 A1 geht ein Verfahren zur Ermittlung der Masse eines Kraftfahrzeugs unter Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrsituationen mit Auswertung der jeweiligen Fahrzeug-Beschleunigung hervor, wobei neben der Antriebskraft eines Fahrzeug-Antriebsaggregats die jeweiligen Widerstandskräfte resultierend aus rotatorischen Kräften, aus dem Luftwiderstand, aus dem Rollwiderstand und aus der Hangabtriebskraft, berücksichtigt werden und wobei im gleichen Ansatz zusätzlich die jeweilige Bremskraft berücksichtigt wird, so dass eine Vielzahl unterschiedlicher Fahrsituationen ausgewertet wird, wobei die einzelnen Resultate jeweils gespeichert und zu einem gesamtheitlichen Massenwert zusammengefasst werden. Dabei können unterschiedliche Fahrsituationen unterschiedlich gewichtet werden. Bevorzugt wird zur Berücksichtigung der Hangabtriebskraft die jeweilige Fahrbahnsteigung ermittelt, indem mittels eines im Fahrzeug vorhandenen Längsbeschleunigungssensors die in Horizontalrichtung auftretende Beschleunigung bestimmt und in Relation zur in Fahrbahnrichtung auftretenden Beschleunigung gesetzt wird. Bevorzugt wird die Bremskraft aus dem jeweiligen Bremsdruck unter Berücksichtigung eines geschätzten Reibwertes zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe oder dergleichen ermittelt, gegebenenfalls aus dem Vergleich mit dem während des Bremsvorgangs zurückgelegten Weg.

[0004] Die DE 197 28 867 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Fahrzeugmasse mit einer Antriebseinheit. Hierzu ist eine Erfassung wenigstens eines ersten und eines zweiten Beschleunigungswertes vorgesehen. Diese Beschleunigungswerte repräsentieren die Fahrzeugbeschleunigung zu einem ersten und einem zweiten Zeitpunkt. Weiterhin werden wenigstens ein erster und ein zweiter Antriebswert erfasst. Diese Antriebswerte repräsentieren dabei die Antriebskraft oder das

Antriebsmoment der Antriebseinheit zu dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt. Wenigstens abhängig von den erfassten Beschleunigungswerten und den erfassten Antriebswerten werden dann wenigstens ein erster und ein zweiter Fahrwiderstandswert bestimmt. Es ist wesentlich, dass die Ermittlung des Massenwertes wenigstens abhängig von einem Vergleich wenigstens des bestimmten ersten Fahrwiderstands- oder Massenschätzwert mit dem bestimmten zweiten Fahrwiderstands- oder Massenschätzwert geschieht. Durch den Vergleich wird eine Fahrbahnneigung erfasst, wodurch eine durch die Fahrbahnneigung bedingte fehlerhafte Massenbestimmung vermieden wird.

[0005] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben eines Fahrzeugs anzugeben, bei dem die Masse des Fahrzeugs schnell und genau bestimmt werden kann.

[0006] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben eines Fahrzeugs mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche 1 und 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Das Fahrzeug weist Radaufhängungen und diesen jeweils zugeordnete Kennlinien auf, wobei die Kennlinien jeweils einen Zusammenhang zwischen der an der jeweiligen Radaufhängung anteilig angreifenden Gewichtskraft des Fahrzeugs und dem jeweiligen Höhenstand des Fahrzeugs an der Radaufhängungsstelle herstellen. Das Fahrzeug weist außerdem mindestens zwei Höhenstandssensoren zum Erfassen der Höhenstände an den Radaufhängungen auf, wobei den Höhenstandssensoren jeweils ein Referenzhöhenstand zugeordnet ist, der repräsentativ für einen vorgegebenen Beladungszustand des Fahrzeugs ist. Die Erfindung zeichnet sich durch ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung aus, bei dem, beziehungsweise der, die Höhenstände erfasst werden und die am Fahrzeug angreifenden Kräfte und die Beschleunigung des Fahrzeugs aufgrund der am Fahrzeug angreifenden Kräfte ermittelt werden. Aus den am Fahrzeug angreifenden Kräften und der Beschleunigung des Fahrzeugs wird ein Schätzwert für die Masse des Fahrzeugs ermittelt. Aus mindestens dem Schätzwert für die Masse des Fahrzeugs, den Kennlinien der Radaufhängungen und den erfassten Höhenständen werden Werte ermittelt, die die Referenzhöhenstände repräsentieren.

[0007] Es werden so zwei oder mehrere Höhenstandssensoren zur Massebestimmung eingesetzt. Derartige Höhenstandssensoren oder Federwegsensoren finden sich beispielsweise in Fahrzeugen mit Niveauregelung oder aktiver Federung. Zusammen mit den Kennlinien der Radaufhängung, die beispielsweise durch Federkonstanten beschrieben werden, kann aus den Höhenständen die an den

Radaufhängungen anteilig angreifende Gewichtskraft bestimmt werden und daraus auf die Masse des Fahrzeugs geschlossen werden. Höhenstandssensoren ermöglichen es mit hoher Präzision relative Masseänderungen innerhalb von sehr kurzen Zeiten sowohl im Stand des Fahrzeugs als auch während der Fahrt zu erfassen. Eine Herausforderung dabei ist, dass die Höhenstandssensoren regelmäßig kalibriert werden sollten, insbesondere Referenzhöhenstände festgelegt werden sollten, um fehlerhafte Ergebnisse beim langfristigen Gebrauch aufgrund von Änderungen in den Radaufhängungen oder des Fahrzeugaufbaus zu vermeiden.

[0008] Zur diesem Zweck wird ein Schätzwert der Masse des Fahrzeugs aus den am Fahrzeug angreifenden Kräften und der Beschleunigung des Fahrzeugs ermittelt. Der Schätzwert der Masse des Fahrzeugs ist bevorzugt durch den Quotienten aus den am Fahrzeug angreifenden Kräften und der durch diese Kräfte hervorgerufenen Beschleunigung des Fahrzeugs gegeben. Dieser Schätzwert wird zusammen mit den Kennlinien der Radaufhängungen eingesetzt, um Werte, die die Referenzhöhenstände der Höhenstandssensoren repräsentieren, zu bestimmen und so bevorzugt die Höhenstandssensoren zu kalibrieren. Auf diese Weise kann die hohe Genauigkeit und die kurze Messzeit der Höhenstandssensoren genutzt werden und dabei auch ein Kalibriervorgang durchgeführt werden.

[0009] In einer Weiterbildung werden weitere Höhenstände erfasst und die Masse des Fahrzeugs abhängig von mindestens den Werten, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, den Kennlinien der Radaufhängungen und den weiteren Höhenständen ermittelt.

[0010] So kann auch eine Ermittlung der Masse des Fahrzeugs durchgeführt werden.

[0011] In einer weiteren Weiterbildung werden die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, gemittelt.

[0012] Durch die Mittelung der Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, werden Ausreißer der Schätzwerte für die Masse ausgeglichen. Ausreißer für die Schätzwerte für die Masse können beispielsweise durch ungeeignete Fahrsituationen beim Ermitteln der am Fahrzeug angreifenden Kräfte oder der Beschleunigung des Fahrzeugs auftreten.

[0013] In einer weiteren Weiterbildung werden zum Ermitteln der am Fahrzeug angreifenden Kräfte mindestens die Antriebskraft, die Bremskraft, der Luftwiderstand oder der Rollwiderstand des Fahrzeugs berücksichtigt.

[0014] Luftwiderstand und Rollwiderstand gehören

zu den wesentlichsten Kräften, die am Fahrzeug angreifen. Durch Berücksichtigen nur der wichtigsten Kräfte lässt sich der Aufwand zum Bestimmen der Kräfte reduzieren. Bevorzugt können auch andere Kräfte, die beispielsweise durch das Massenträgheitsmoment der Reifen hervorgerufen werden, berücksichtigt werden. Die am Fahrzeug angreifenden Kräfte können direkt gemessen oder durch Messungen, die in ein Modell einfließen, berechnet werden.

[0015] In einer weiteren Weiterbildung wird als Beschleunigung des Fahrzeugs eine Längsbeschleunigung mittels eines Längsbeschleunigungssensors erfasst.

[0016] Längsbeschleunigungssensoren sind als Standardsensoren verfügbar und ermöglichen eine einfache und genaue Messung der Beschleunigung des Fahrzeugs in Längsrichtung.

[0017] In einer weiteren Weiterbildung wird über mindestens einen Raddrehgeschwindigkeitssensor eine Raddrehgeschwindigkeit erfasst und die Beschleunigung des Fahrzeugs aus der zeitlichen Ableitung der erfassten Raddrehgeschwindigkeit ermittelt.

[0018] Raddrehgeschwindigkeitssensoren sind in vielen Fahrzeugen bereits beispielsweise als Teil eines Anti-Blockiersystems vorhanden und können ohne großen zusätzlichen Aufwand genutzt werden, um die Beschleunigung des Fahrzeugs zu ermitteln.

[0019] In einer weiteren Weiterbildung wird der Schätzwert für die Masse in vorgegebenen Fahrsituationen ermittelt.

[0020] Bei geeigneter Auswahl der Fahrsituationen lassen sich Fehler bei der Berechnung des Schätzwerts für die Masse des Fahrzeugs minimieren und Korrekturterme und Mittelungsverfahren mit hohem rechnerischen Aufwand vermeiden. Eine günstige Fahrsituation ist beispielsweise die Fahrt auf einer geraden Strecke ohne Steigung und mit konstanter Beschleunigung in einem niedrigen Geschwindigkeitsbereich.

[0021] In einer weiteren Weiterbildung wird ein gemittelter Schätzwert der Masse abhängig von den Schätzwerten der Masse ermittelt.

[0022] Da abhängig von den Fahrsituationen Schwankungen im Schätzwert der Masse auftreten können, ist es von Vorteil, wenn die Schätzwerte der Masse gemittelt werden.

[0023] In einer weiteren Weiterbildung werden die Ermittlung des Schätzwerts für die Masse des Fahrzeugs aus den am Fahrzeug angreifenden Kräften und der Beschleunigung des Fahrzeugs, die Ermitt-

lung der Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren und die Ermittlung der Masse des Fahrzeugs aus den Werten, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, den gemessenen Höhenständen und den Kennlinien der Radaufhängungen, quasi parallel durchgeführt.

[0024] Auf diese Weise kann ein Schätzwert für die Masse des Fahrzeugs unmittelbar zur Berechnung der Referenzhöhenstände benutzt werden und so ohne Verzögerung für die Ermittlung der Masse des Fahrzeugs eingesetzt werden.

[0025] In einer weiteren Weiterbildung werden die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, sobald sie ermittelt wurden, zum Ermitteln der Masse des Fahrzeugs eingesetzt.

[0026] Auf diese Weise stehen neu ermittelte Referenzhöhenstände bei Änderungen der Fahrzeugmasse unmittelbar für die Ermittlung der Masse des Fahrzeugs zur Verfügung, sodass eine Dekalibrierung der Höhenstandsensoren bei Masseänderungen durch beispielsweise Fahrzeugaufbauten vermieden wird.

[0027] In einer weiteren Weiterbildung werden die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, erst ermittelt, wenn der Schätzwert für die Masse des Fahrzeugs in einem vorgegebenen Wertebereich liegt.

[0028] Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Referenzhöhenstände nicht unzulässige Werte annehmen. Der vorgegebene Wertebereich kann beispielsweise durch das Leergewicht und das maximal zulässige Gewicht des Fahrzeugs bestimmt werden.

[0029] In einer weiteren Weiterbildung werden die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, nur zum Ermitteln der Masse des Fahrzeugs eingesetzt, nachdem sich diese Werte um einen vorgegebenen Wert geändert haben.

[0030] Ändern sich die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, nur geringfügig, so ist es nicht notwendig, dass diese kontinuierlich aktualisiert und zum Ermitteln der Masse des Fahrzeugs eingesetzt werden. Auf diese Weise werden unnötige Rechenoperationen vermieden.

[0031] In einer weiteren Weiterbildung wird für die Ermittlung der Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, mindestens ein Kalman-Filter eingesetzt, in welchem bereits ermittelte Werte zusammen mit den gerade ermittelten Werten zum Ermitteln von neuen Werten für die Referenzhöhenstände gekoppelt werden.

[0032] Der Vorteil des Kalman-Filters beruht in die-

sem Zusammenhang darin, dass er eine iterative Struktur aufweist und somit für Echtzeitanwendungen geeignet ist. Die neuen Werte bilden dabei einen Schätzwert für die Referenzhöhenstände.

[0033] In einer weiteren Weiterbildung werden die Kennlinien der Radaufhängungen aus Differenzen von Höhenständen und Differenzen von Massen des Fahrzeugs ermittelt.

[0034] Da sich die Kennlinien der Radaufhängungen ändern können oder unbekannt sein können, ist es vorteilhaft, diese aus zumindest zwei Höhenständen, die zu zwei verschiedenen Massen des Fahrzeugs gehören, zu ermitteln. Das Ermitteln schließt auch ein Anpassen der Kennlinien ein, wodurch eine Selbstkalibrierung möglich ist.

[0035] In einer weiteren Weiterbildung werden Bremssysteme oder Reifendruckinformationssysteme abhängig von der ermittelten Masse des Fahrzeugs eingestellt.

[0036] Insbesondere bei Fahrzeugen deren Masse starken Schwankungen unterliegt, wie beispielsweise bei LKWs oder Kleintransportern, können die Bremssysteme, wie beispielsweise das Anti-Blockiersystem (ABS), elektronische Stabilitätsprogramme (ESP) und Antriebsschlupfregelungen (ASR), sowie die Reifendruckinformationssysteme an die ermittelte Masse des Fahrzeugs angepasst werden, was zu einer Erhöhung der Sicherheit führt.

[0037] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der schematischen Figuren beschrieben. In den Figuren zeigen:

[0038] [Fig. 1](#) ein Ausführungsbeispiel einer Radaufhängung mit Höhenstandssensor,

[0039] [Fig. 2](#) ein beispielhaftes Fahrzeug mit den an dem Fahrzeug angreifenden Kräften und Beschleunigungen,

[0040] [Fig. 3](#) ein beispielhaftes Flussdiagramm mit Schritten zur Ermittlung der Masse des Fahrzeugs, und

[0041] [Fig. 4](#) Ausführungsbeispiele, bei denen die ermittelten Referenzhöhenstände zu unterschiedlichen Zeitpunkten verarbeitet werden.

[0042] [Fig. 1](#) zeigt ein Teil eines Fahrzeugs **1**, an dem ein Rad **6** des Fahrzeugs mittels einer Radaufhängung **2** befestigt ist. Über einen Höhenstandssensor **3** kann abhängig von der auf die Radaufhängung **2** wirkende Kraft F_i ein Höhenstand h_i ermittelt werden. Ein Referenzhöhenstand h_{0i} ist dabei repräsentativ für einen vorgegebenen Beladungszustand des Fahrzeugs, beispielsweise einen unbeladenen Zu-

stand. Ändert sich der Beladungszustand des Fahrzeugs **1**, so ändert sich auch der Höhenstand h_i , wobei der Zusammenhang zwischen dem Höhenstand h_i und der an der Radaufhängung **2** angreifenden Kraft F_i durch die Kennlinie D_i der Radaufhängung **2** gegeben ist.

[0043] Die Radaufhängung **2** kann beispielsweise als Feder-Dämpfersystem mit einer Spiralfeder, Blattfeder oder einer Gasdruckfeder realisiert sein. Für Feder-Dämpfersysteme und normale Beladungszustände kann die Kennlinie D_i der Radaufhängung **2** näherungsweise als linear angenommen werden, so dass das Hookesche Gesetz gilt. Für Gasdruckfedersysteme kann die Kennlinie D_i aus dem Arbeitsbereich abhängig vom Kennlinienverlauf des Gasdruckfedersystems bezogen werden. Im Hookschen Fall ist in einem vorgegebenen Beladungszustand des Fahrzeugs, der beispielsweise ein unbeladener Zustand des Fahrzeugs ist, die anteilig an der i -ten Radaufhängung angreifende Gewichtskraft des Fahrzeugs F_{0i} das Produkt aus der Kennlinie D_i der i -ten Radaufhängung **2** und dem Referenzhöhenstand h_{0i} des i -ten Höhenstandssensors **3**:

$$F_{0i} = D_i \cdot h_{0i}. \quad (G1)$$

[0044] In einem weiteren vorgegebenen Beladungszustand des Fahrzeugs, der beispielsweise durch eine Zuladung gekennzeichnet ist, wirkt die anteilige Kraft F_i auf die i -te Radaufhängung **2** und es wird der Höhenstand h_i eingenommen, wobei gilt:

$$F_i = D_i \cdot h_i. \quad (G2)$$

[0045] In [Fig. 1](#) ist nur eine Radaufhängung **2** und ein Höhenstandssensor **3** gezeigt. Das Fahrzeug **1** weist jedoch im Allgemeinen eine Vielzahl N an Radaufhängungen **2** und Höhenstandssensoren **3** auf. Jeder Radaufhängung **2** kann ein jeweiliger Höhenstandssensor **3** zugeordnet sein. Ein Höhenstandssensor **3** kann aber auch beispielsweise zwei Radaufhängungen **2**, die zu einer Achse des Fahrzeugs gehören, zugeordnet sein.

[0046] In [Fig. 2](#) ist ein Fahrzeug **1** zusammen mit den an diesem angreifenden Kräften gezeigt. Das Kräftegleichgewicht in vertikaler z -Richtung erfordert, dass die Gewichtskraft des Fahrzeugs **1** gleich der Summe der an den einzelnen Radaufhängungen **2** wirkenden Kräften F_i ist. Diese ist nach den Gleichungen (G1) und (G2) wiederum gleich der Summe aus den Produkten der jeweiligen Kennlinien D_i und der Höhenstände h_i . Es gilt:

$$\sum F_i = m \cdot g = \sum (D_i \cdot h_i) \quad (G3)$$

im beladenen Zustand und

$$\sum F_{0i} = m_0 \cdot g = \sum (D_i \cdot h_{0i}) \quad (G4)$$

im unbeladenen Zustand, wobei g die Erdbeschleunigung ist. Besitzt das Fahrzeug **1** beispielsweise vier Räder **6** und vier Höhenstandssensoren **3**, so werden die Summen über $i = 1, 2, 3, 4$ berechnet. Bei der Betrachtung der radindividuellen Höhenstände h_i können durch ein Mittelungsverfahren die statischen Radlasten ermittelt werden. Auf diese Weise ist es möglich, sowohl im Stillstand, als auch während der Fahrt Ladungsverschiebungen zu erkennen und entsprechende Warnmeldungen an andere Steuergeräte, wie das elektronische Stabilitätsprogramm oder ein Bremssystem auszugeben.

[0047] Bei den Höhenstandssensoren **3** werden bevorzugt Höhenstandsdifferenzen ausgelesen. Subtrahiert man Gleichungen (G3) und (G4) für die Summenkräfte des beladenen und des unbeladenen Zustands voneinander, so erhält man:

$$\sum (D_i \cdot h_i) - \sum (D_i \cdot h_{0i}) = (m - m_0) \cdot g. \quad (G5)$$

[0048] Durch Umstellen dieser Gleichung kann die Masse m des Fahrzeugs berechnet werden, falls die Kennlinien D_i , die Höhenstände h_i , die Referenzhöhenstände h_{0i} , die Masse des unbeladenen Fahrzeugs m_0 und die Erdbeschleunigung g bekannt sind:

$$m = m_0 + (\sum (D_i \cdot h_i) - \sum (D_i \cdot h_{0i})) / g. \quad (G6)$$

[0049] Umgekehrt lassen sich Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren aus

$$\sum (D_i \cdot h_{0i}) = \sum (D_i \cdot h_i) - (m - m_0) \cdot g \quad (G7)$$

berechnen.

[0050] Problematisch bei der Berechnung der Masse m ist, dass die Referenzhöhenstände h_{0i} sich ändern können oder unbekannt sein können. Daher wird ein Schätzwert m_x für die Masse des Fahrzeugs ermittelt, mit dessen Hilfe aus Gleichung (G7) Werte ermittelt werden können, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren.

[0051] Zum Berechnen des Schätzwerts m_x für die Masse des Fahrzeugs werden die am in [Fig. 2](#) gezeigten Fahrzeug **1** in x -Richtung horizontal angreifenden Kräfte betrachtet. Das Kräftegleichgewicht erfordert, dass die Summe dieser Kräfte F_x gleich der Massenträgheitskraft ist:

$$F_x = m_x \cdot a_x, \quad (G8)$$

wobei a_x die Beschleunigung des Fahrzeugs in x -Richtung ist. Die in [Fig. 2](#) am Fahrzeug in x -Richtung angreifenden Kräfte sind die Antriebskraft F_a und der dieser entgegenwirkende Luftwiderstand F_l

$$F_l = c_w \cdot A \cdot \rho / 2 \cdot v^2 \quad (G9)$$

und der Rollwiderstand F_r

$$F_r = c_r \cdot v, \quad (G10)$$

wobei c_w der Luftwiderstandsbeiwert, A die projizierte Stirnfläche des Fahrzeugs, ρ die Luftdichte, v die Geschwindigkeit des Fahrzeugs **1** und c_r der Rollwiderstandsbeiwert ist. Aus Gleichung (G8) kann die ein Schätzwert für Masse m_x des Fahrzeugs berechnet werden:

$$m_x = (F_a - F_r - F_l)/a_x. \quad (G11)$$

[0052] Die Antriebskraft F_a kann dabei auch durch eine Bremskraft F_b oder durch eine in Fahrtrichtung wirkende Gewichtskraft ersetzt werden. Selbstverständlich kann das in [Fig. 2](#) gezeigte Modell des Fahrzeugs **1** hinsichtlich der angreifenden Kräfte noch erweitert werden, indem beispielsweise Flächenträgheitsmomente der Räder oder des Antriebsstrangs berücksichtigt werden.

[0053] Um den Schätzwert m_x für die Masse des Fahrzeugs **1** nach Gleichung (G11) bestimmen zu können, ist es notwendig neben den angreifenden Kräften F_x auch die Beschleunigung a_x des Fahrzeugs **1** zu ermitteln. Eine Möglichkeit besteht darin, einen Längsbeschleunigungssensor **4**, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, am Fahrzeug **1** zu befestigen, mit dem die Beschleunigung a_x ermittelt wird. Die von diesem Längsbeschleunigungssensor **4** gelieferte Beschleunigung muß nicht neigungskorrigiert werden, da die effektive Längsbeschleunigung, die von diesem Beschleunigungssensor ausgegeben wird, unabhängig von der Neigung nach (G11) mit der Fahrzeugmasse korreliert. Eine weitere Möglichkeit ist, einen wie in [Fig. 1](#) gezeigten Raddrehgeschwindigkeitssensor **5** zum Erfassen der Raddrehgeschwindigkeit des Rades **6** einzusetzen. Die Längsbeschleunigung a_x kann dann aus der zeitlichen Ableitung der Raddrehgeschwindigkeiten und dem Radradius berechnet werden. Mit der Längsbeschleunigung a_x und der am Fahrzeug **1** angreifenden Summenkraft F_x kann nun ein Schätzwert m_x für die Masse des Fahrzeugs **1** berechnet werden.

[0054] Bei der Ermittlung der Beschleunigung a_x und der Kraft F_x ist es von Vorteil, wenn diese über lange Mittelwertbildung und bei geeigneten Fahrsituationen bestimmt werden. Die Fahrsituationen werden bevorzugt so gewählt, dass die Annahmen über die am Fahrzeug **1** angreifenden Kräfte bestmöglich erfüllt werden. In Gleichungen (G9) und (G10) ist beispielsweise der Luftwiderstandsbeiwert c_w und der Rollwiderstandsbeiwert c_r tatsächlich nur in einem gewissen Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeugs **1** konstant, so dass bei der Ermittlung der Beschleunigung a_x und der Kraft F_x bevorzugt Geschwindigkeiten gewählt werden, die in diesem Bereich liegen.

[0055] Mit dem Schätzwert m_x können nun Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren anhand von Gleichung (G7) berechnet werden. Die Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren können dann in Gleichung (G6) eingesetzt werden und bei einer Messung von weiteren Höhenständen h_i zur Berechnung der Masse m des Fahrzeugs **1** eingesetzt werden.

[0056] Weisen alle Radaufhängungen **2** die gleichen Kennlinien $D_i = D$ auf und führt man den Mittelwert h_0' der Referenzhöhenstände h_{0i}

$$h_0' = 1/N \cdot \sum h_{0i} \quad (G12)$$

und den Mittelwert h' der Höhenstände h_i

$$h' = 1/N \cdot \sum h_i \quad (G13)$$

ein, so vereinfachen sich die Gleichung (G6) zu

$$m = m_0 + D/g \cdot N \cdot (h' - h_0') \quad (G14)$$

und Gleichung (G7) zu

$$h_0' = h' - (m_0 - m_x) \cdot g / (N \cdot D) \quad (G15).$$

[0057] [Fig. 3](#) zeigt ein beispielhaftes Flussdiagramm zum Ermitteln der Masse eines Fahrzeugs. In einem ersten Programm A1 werden Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren, ermittelt. In einem zweiten Programm A2 werden die weiteren Höhenstände h_i ermittelt. Die Masse wird in einem dritten Programm A3 aus den Ergebnissen des ersten Programms A1 und des zweiten Programms A2 gemäß Gleichung (G6) oder (G14) ermittelt.

[0058] Im ersten Programm A1 werden in Schritt S1 zunächst die Höhenstände h_i erfasst. In den Schritten S2 und S3 werden die am Fahrzeug **1** angreifenden Kräfte F_x beziehungsweise die Beschleunigung a_x des Fahrzeugs **1** ermittelt. In Schritt S4 wird aus diesen Werten ein Schätzwert für die Masse m_x gemäß Gleichung (G8) berechnet. In Schritt S5 werden die in Schritt S1 erfassten weiteren Höhenstände h_i zusammen mit dem Schätzwert m_x für die Masse aus Schritt S4 anhand der Gleichung (G7) oder (G15) verarbeitet, um Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren, zu ermitteln. Die Schritte S1, S2 und S3 können dabei zeitlich parallel ausgeführt werden.

[0059] In Schritt S6 wird ein Schätzverfahren für die Werte, die die Referenzhöhenstände h_{0i} repräsentieren, eingesetzt. Einfachheitshalber wird das Schätzverfahren anhand der Gleichung (G15) für den Mittelwert der Referenzhöhenstände h_0' erläutert. Selbstverständlich kann dieses Schätzverfahren auch für die Werte aus Gleichung (G7) benutzt werden. Ein aktueller Wert $h_0'_k + 1$ für den Mittelwert des Referenzhöhenstände

renzhöhenstands wird dabei aus der Summe eines vorherigen Werts $h0'_k$ und dem Produkt einer Kalman-Konstante $kh0$ mit dem Differenz zwischen einem aktuell ermittelten Wert $h0'$ und dem vorigen Wert $h0'_k$ berechnet:

$$h0'_k + 1 = h0'_k + kh0 \cdot (h0' - h0'_k). \quad (G16)$$

[0060] Der Kalman-Gain $kh0$ gibt dabei an, wie schnell beziehungsweise langsam der Schätzwert sich an veränderte Situationen anpasst. Der Einsatz des Kalman-Filters ermöglicht eine hochgenaue Schätzung für den Mittelwert der Referenzhöhenstände $h0'_k + 1$ und erlaubt eine Selbstkalibrierung der Höhenstandssensoren **3**.

[0061] [Fig. 4](#) zeigt drei verschiedene Ausführungsbeispiele, bei denen die Werte, die die Referenzhöhenstände $h0i$ repräsentieren, zu unterschiedlichen Zeitpunkten verarbeitet werden. In Teil A werden das erste Programm A1 und das zweite Programm A2 aus [Fig. 3](#) parallel abgearbeitet. Dabei findet eine ständige Aktualisierung der Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren und in der Figur durch $h0'$ gekennzeichnet sind statt, sodass die Masse des Fahrzeugs anhand des dritten Programms A3 innerhalb von kurzen Zeitabständen aktualisiert werden kann. Diese Vorgehensweise ist vorteilhaft, wenn sich die Masse m des Fahrzeugs **1** in zeitlich kurzen Abständen ändert, wie es beispielsweise bei einem Taxi der Fall ist, welches innerhalb relativ kurzer Zeit mit einer oder mit vier Personen beladen sein kann.

[0062] Teil B zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem das dritte Programm A3 zunächst mit gespeicherten Werten $h0'$, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, startet. Die Masseberechnung steht damit über die Programme A2 und A3 sehr schnell zur Verfügung. Das erste Programm A1 läuft parallel mit, allerdings findet eine Aktualisierung der Werte $h0'$, die die Referenzhöhenstände repräsentieren nur statt, wenn diese sich langfristig stabil signifikant vom zuletzt gespeicherten Wert unterscheiden.

[0063] Teil C zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem nach einem Fahrzeugneustart zunächst das erste Programm A1 gestartet wird, um die Werte, die die Referenzhöhenstände $h0'$ repräsentieren, zu ermitteln. Wenn sich diese Werte als langfristig stabil erweisen, werden das zweite Programm A2 und das dritte Programm A3 gestartet, welche den ermittelten Wert als Startwert für die Masseberechnung benutzen. Nachteilig ist dabei jedoch, dass eine längere Zeit, beispielsweise 15 Minuten, erforderlich ist, bis die Werte, die die Referenzhöhenstände repräsentieren, ermittelt werden und eine präzise Masseermittlung erfolgen kann. Diese Vorgehensweise ist jedoch von Vorteil, wenn sich die Kennlinien Di der Radaufhängungen **2** verändert haben.

[0064] In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann auf die Kennlinien Di der Radaufhängungen **2** rückgeschlossen werden. Dazu werden in einem eigenen Algorithmus bei verschiedenen Belastungszuständen des Fahrzeugs **1** die Wertepaare $(m1, hi1)$ und $(m2, hi2)$ gespeichert. Die Federkonstante D einer als linear angenommenen Kennlinie Di wird abhängig vom Quotient der Differenz der Gewichtskräfte und der Differenz der Höhenstände berechnet:

$$D = (m2 \cdot g - m1 \cdot g) / (hi2 - hi1) \quad (G17)$$

und bevorzugt zur bisher benutzten Federkonstante addiert. Wird eine gleitende Mittelwertbildung über einen Zeitraum von beispielsweise mindestens mehreren hundert Kilometern durchgeführt, so ergibt sich ein sehr zuverlässiger Schätzwert für die Steigung der Kennlinie Di . Durch einen Vergleich der ermittelten Kennlinie Di in regelmäßigen, großen Abständen kann dadurch auf eine Änderung der Kennlinie Di geschlossen werden. Das oben beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Masse kann anschließend mit den neu ermittelten, eventuell geänderten Kennlinien Di durchgeführt werden. Durch diese Vorgehensweise kann eine komplette Selbstkalibrierung durchgeführt werden, die auch nach Fahrwerksumbauten oder Änderungen der Fahrzeugaufbauten zu zuverlässigen Massenberechnungen führt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs **(1)**, welches aufweist:
 - Radaufhängungen **(2)**, und diesen jeweils zugeordnete Kennlinien (Di) , wobei die Kennlinie (Di) jeweils einen Zusammenhang zwischen der an der jeweiligen Radaufhängung **(2)** anteilig angreifenden Gewichtskraft (Ei) des Fahrzeugs **(1)** und dem jeweiligen Höhenstand (hi) des Fahrzeugs **(1)** an der Radaufhängungsstelle **(2)** herstellt, und
 - mindestens zwei Höhenstandssensoren **(3)**, zum Erfassen der Höhenstände (hi) an den Radaufhängungen **(2)**, wobei den Höhenstandssensoren **(3)** jeweils ein Referenzhöhenstand $(h0i)$ zugeordnet ist, der repräsentativ für einen vorgegebenen Belastungszustand des Fahrzeugs **(1)** ist, mit den Schritten:
 - Erfassen der Höhenstände (hi) ,
 - Ermitteln der am Fahrzeug **(1)** angreifenden Kräfte (Fx) ,
 - Ermitteln der Beschleunigung (ax) des Fahrzeugs **(1)** aufgrund der am Fahrzeug **(1)** angreifenden Kräfte (Fx) ,
 - Ermitteln eines Schätzwertes (mx) für die Masse (m) des Fahrzeugs **(1)** aus den am Fahrzeug **(1)** angreifenden Kräften (Fx) und der Beschleunigung (ax) des Fahrzeugs **(1)**, und
 - Ermitteln von Werten, die die Referenzhöhenstände $(h0i)$ repräsentieren, aus mindestens dem Schätzwert (mx) für die Masse (m) des Fahrzeugs **(1)**, den

Kennlinien (D_i) der Radaufhängungen (2) und den erfassten Höhenständen (h_i).

2. Verfahren nach Anspruch 1

dadurch gekennzeichnet, dass

- weitere Höhenstände (h_i) erfasst werden, und
- die Masse (m) des Fahrzeugs (1) abhängig von mindestens den Werten, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, den Kennlinien (D_i) der Radaufhängungen (2) und den weiteren Höhenständen (h_i) ermittelt wird.

3. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass zum Ermitteln der am Fahrzeug (1) angreifenden Kräfte (F_x) mindestens die Antriebskraft (F_a), die Bremskraft (F_b), der Luftwiderstand (F_1) oder der Rollwiderstand (F_r) des Fahrzeugs (1) berücksichtigt werden.

4. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass als Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1) eine Längsbeschleunigung mittels eines Längsbeschleunigungssensors (4) erfasst wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 dadurch gekennzeichnet, dass

- über mindestens einen Raddrehgeschwindigkeitssensor (5) eine Raddrehgeschwindigkeit erfasst wird, und
- die Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1) aus der zeitlichen Ableitung der erfassten Raddrehgeschwindigkeit ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Schätzwert (m_x) für die Masse (m) in vorgegebenen Fahrsituationen ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass ein gemittelter Schätzwert der Masse abhängig von den Schätzwerten (m_x) der Masse (m) ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sobald die Werte, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, ermittelt wurden, diese zum Ermitteln der Masse (m) des Fahrzeugs (1) eingesetzt werden.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, erst ermittelt werden, wenn der Schätzwert (m_x) für die Masse (m) des Fahrzeugs (1) in einem vorgegebenen Wertebereich liegt.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsen-

tieren, nur zum Ermitteln der Masse (m) des Fahrzeugs (1) eingesetzt werden, nachdem sich diese Werte um einen vorgegebenen Wert geändert haben.

11. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass für die Ermittlung der Werte, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, mindestens ein Kalman-Filter eingesetzt wird, in welchem bereits ermittelte Werte zusammen mit den gerade ermittelten Werten zum Ermitteln von neuen Werten gekoppelt werden.

12. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Kennlinien (D_i) der Radaufhängungen (2) abhängig von Differenzen von Höhenständen (h_i) und Differenzen von Massen (m) des Fahrzeugs (1) ermittelt werden.

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2 bis 12, bei dem Bremssysteme oder Reifenluftdrücke abhängig von der ermittelten Masse (m) des Fahrzeugs (1) eingestellt werden.

14. Vorrichtung zum Betreiben eines Fahrzeugs (1) mit

- Radaufhängungen (2), und diesen jeweils zugeordneten Kennlinien (D_i), wobei die Kennlinie (D_i) jeweils einen Zusammenhang zwischen der an der jeweiligen Radaufhängung (2) anteilig angreifenden Gewichtskraft (F_i) des Fahrzeugs (1) und dem jeweiligen Höhenstand (h_i) des Fahrzeugs (1) an der Radaufhängungsstelle (2) herstellt, und
- mindestens zwei Höhenstandssensoren (3), zum Erfassen der Höhenstände (h_i) an den Radaufhängungen (2), wobei den Höhenstandssensoren (3) jeweils ein Referenzhöhenstand (h_{0i}) zugeordnet ist, der repräsentativ für einen vorgegebenen Belastungszustand des Fahrzeugs (1) ist, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist
- zum Erfassen der Höhenstände (h_i),
- zum Ermitteln der am Fahrzeug (1) angreifenden Kräfte (F_x),
- zum Ermitteln der Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1) aufgrund der am Fahrzeug (1) angreifenden Kräfte (F_x),
- zum Ermitteln eines Schätzwertes (m_x) für die Masse (m) des Fahrzeugs (1) aus den am Fahrzeug (1) angreifenden Kräften (F_x) und der Beschleunigung (a_x) des Fahrzeugs (1), und
- zum Ermitteln von Werten, die die Referenzhöhenstände (h_{0i}) repräsentieren, aus mindestens dem Schätzwert (m_x) für die Masse (m) des Fahrzeugs (1), den Kennlinien (D_i) der Radaufhängungen (2) und den erfassten Höhenständen (h_i).

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

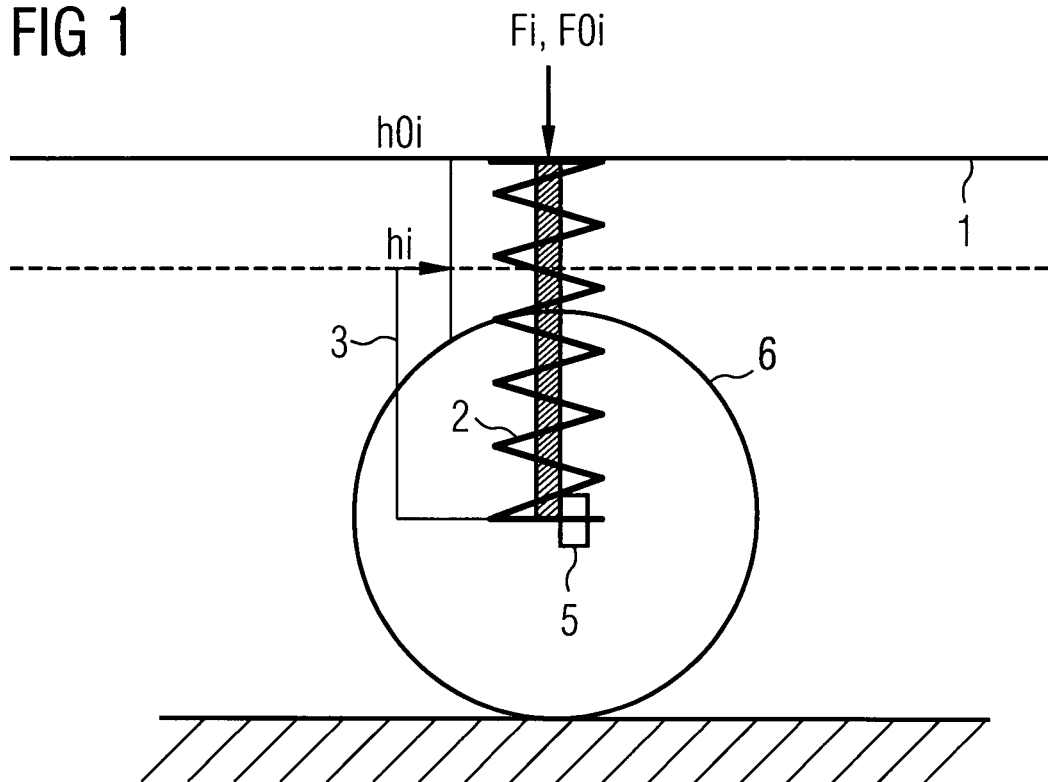


FIG 2

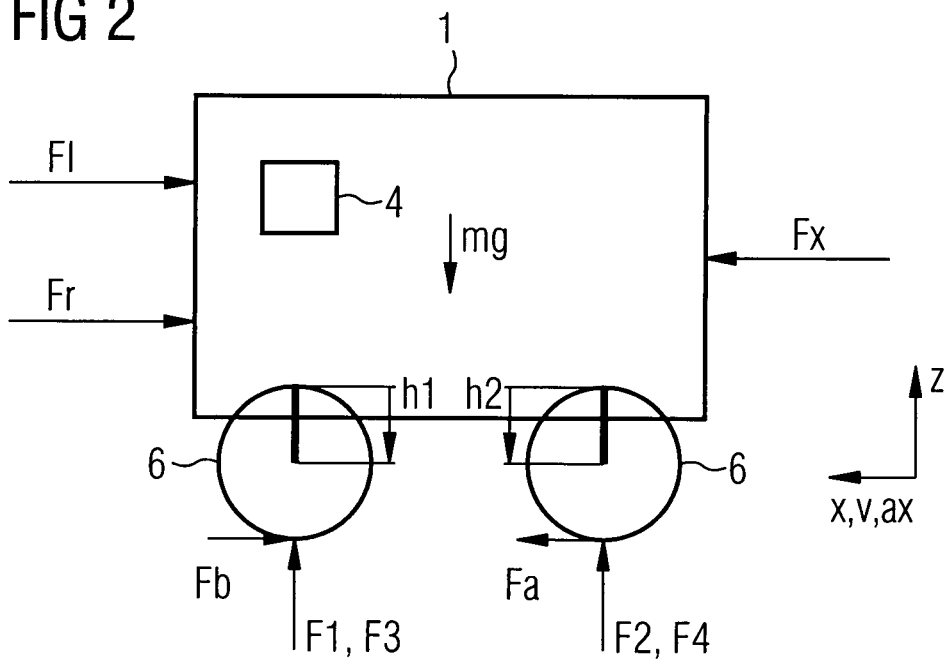


FIG 3

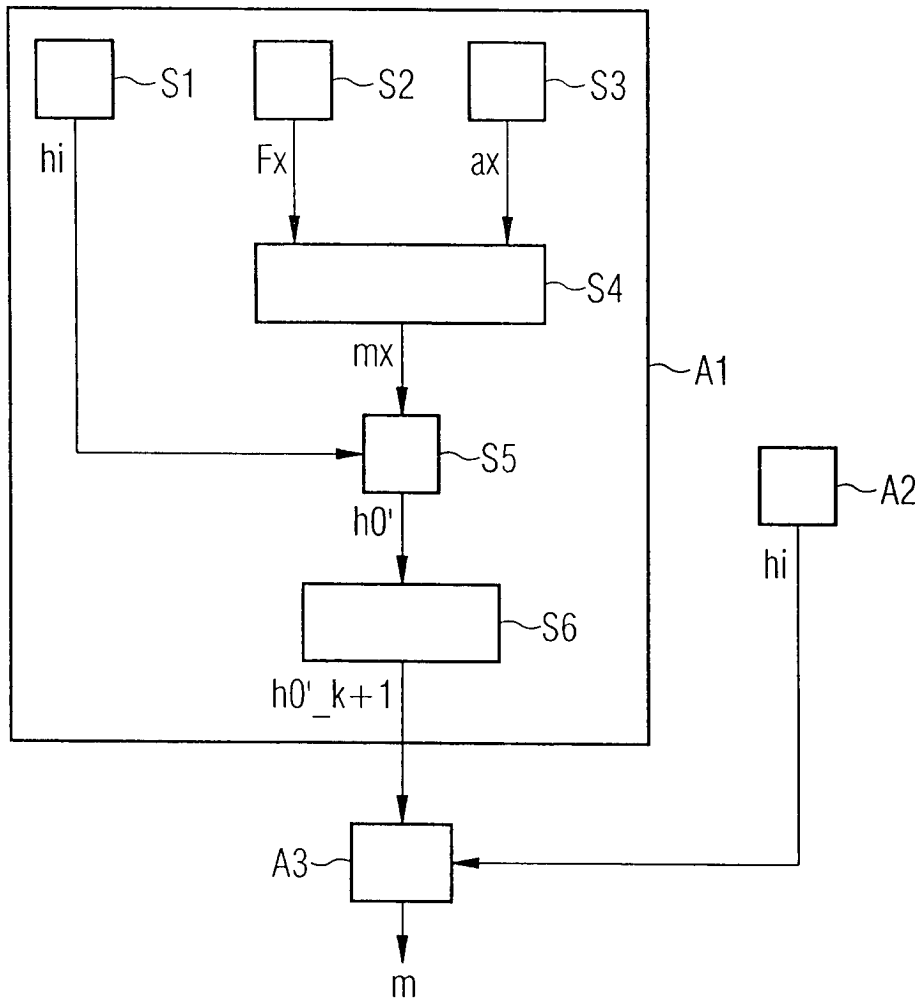


FIG 4

