



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2004 055 069 B4 2007.02.15**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 055 069.7**  
 (22) Anmeldetag: **15.11.2004**  
 (43) Offenlegungstag: **09.02.2006**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **15.02.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01C 7/04 (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).

(66) Innere Priorität:  
**10 2004 034 430.2 15.07.2004**  
**10 2004 048 635.2 04.10.2004**

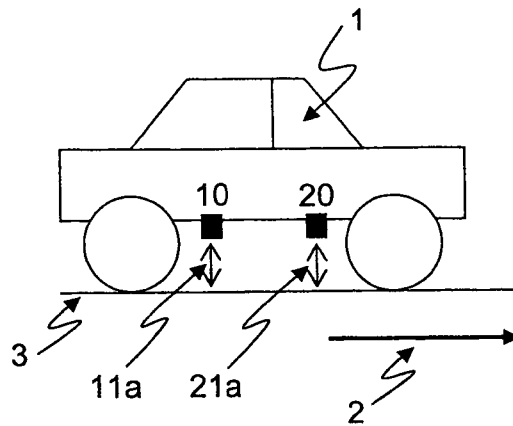
(73) Patentinhaber:  
**DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Ammon, Dieter, Dr.-Ing., 71686 Remseck, DE;**  
**Gimmler, Helmut, 71409 Schwaikheim, DE; Hurich,**  
**Wolfgang, 73547 Lorch, DE; Schittenhelm,**  
**Helmut, Dr., 73730 Esslingen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 103 27 593 A1**  
**DE 101 15 808 A1**  
**US 66 88 167 B2**  
**JP 10-1 68 810 A**  
**JP 03-1 07 712 A**  
**JP 03-1 07 711 A**

(54) Bezeichnung: **Mehrdimensionale Fahrbahnvermessung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges, bei welchem wenigstens ein am Fahrzeug angebrachter erster Abstandssensors seinen Abstand zum Fahrweg vermisst, und jeder dieser Abstandsmesswerte mit Referenz auf die Messposition auf dem Fahrweg in einem Speicher abgelegt wird, um hieraus das Oberflächenprofil des befahrenen Fahrweges zu rekonstruieren, wobei die Messposition auf Basis der Daten eines Wegstreckenzählers und/oder der Daten eines Inertialsensors, insbesondere eines Gyroskops, bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich wenigstens ein zweiter Abstandssensor seinen Abstand zum Fahrweg vermisst, wobei dieser zweite Sensor in einem Abstand längs der zur Bewegungsrichtung parallelen Achse des Objektes versetzt zu dem wenigstens einen ersten Abstandssensor angeordnet ist, und dass die Abstandsmesswerte der wenigstens zwei Sensoren miteinander korreliert werden, um aus deren Differenz und in Kenntnis der geometrischen Einbauposition der Abstandssensoren auf den Nickwinkel des mobilen Objektes zu schließen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung zur Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 8.

**[0002]** Als Fahrer oder Passagier eines Kraftfahrzeuges ist man stets dreidimensionalen Bewegungs- bzw. Schwingungsanregungen ausgesetzt. Die Ursachen sind vielfältig und komplex. Sowohl die durch Lenken und Längseingriffe bedingten Bewegungen des Fahrzeugaufbaus, als auch die Schwingungseinträge durch Fahrzeugaggregate und Regelsysteme sowie Störungsanregungen durch den Fahrbahn-Reifen-Kontakt und andere Umwelteinwirkungen, wie Seitenwind, spielen hierbei eine Rolle. Insgesamt müssen die Schwingungseinwirkungen auf den Menschen durch geeignete Isolations- und Dämpfungsmaßnahmen soweit limitiert werden, dass keine wesentlichen Komforteinschränkungen entstehen. Gleichzeitig ist jedoch auch sicherzustellen, dass die Anbindung des Fahrers an das Fahrzeug hinreichend direkt und straff erfolgt, um die Fahraufgabe sicher wahrnehmen zu können.

**[0003]** Betrachtet man die Schwingungsanregungen durch Fahrbahnunebenheiten genauer, dann wird schnell klar, dass eine genaue Kenntnis der Fahrbahnoberflächenkontur erforderlich ist.

**Stand der Technik**

**[0004]** In der US 6688167 B2 wird ein Messsystem beschrieben, welches die Oberfläche mittels dreier Abstandssensoren erfasst, welche entlang einer zur Fahrtrichtung des Messfahrzeuges parallelen Achse angeordnet sind. Durch die spezielle Ausgestaltung der Aufhängung der Sensoraufnahme und deren Lageregelung über einen Aktuator wird sichergestellt, dass sich die Abstandssensoren kontinuierlich auch bei Nickbewegungen des Fahrzeuges in einer horizontalen Ebene befinden. Die Stabilisierung der Sensoranordnung in dieser Lage ermöglicht es mittels Fourieranalyse (FFT) der miteinander korrelierten Messdaten Aussagen über das Oberflächenprofil der Fahrbahn zu gewinnen.

**[0005]** Die japanischen Patentanmeldungen JP 03107711 A und JP 03107712 A beschreiben ein System zur Ermittlung von Oberflächenprofilen von Straßen, bei welchem an einem Messfahrzeug in einer Sensoraufnahme entlang einer Achse parallel zur Fahrtrichtung mehrere Abstandssensoren eingebracht sind. Die Sensoraufnahme wird während der Fahrt des Fahrzeuges kontinuierlich quer zur Fahrtrichtung hin und her verschoben, so dass ein mäandrierendes Höhenprofil der Straße entlang der Fahrtrichtung erfasst wird. Durch die Mehrzahl von in

Fahrtrichtung hintereinander angeordneten Sensoren wird ein enger Verbund von mehreren mäandrierenden Messprofilen erfasst. Aus diesem Verbund an Messdaten können sodann durch Kurvenapproximation Zwischenpositionen berechnet werden, so dass im Ergebnis ein Höhenprofil des gesamten mit dem Meßsystem überfahrenen Straßenbereichs ermittelt werden kann.

**[0006]** Um zusätzlich zur Feinstruktur der Straßenoberfläche auch deren Welligkeit und Steigung zu erfassen beschreibt die JP 10168810 A ein Meßsystem bei welchem an einem Stoßfänger quer zur Fahrtrichtung drei Abstandssensoren angeordnet sind, welche ihren Abstand zur Fahrbahn messen. Das Messsystem umfasst ferner einen Inertialsensor in Form eines Gyroskops um die Lage des Fahrzeuges im Raum über die Zeit zu verfolgen. Hieraus lassen sich Informationen über Fahrzeug Rollwinkel und Fahrzeugausrichtung ermitteln. Durch Integration der gemessenen Beschleunigung senkrecht zur Fahrbahnoberfläche lässt sich auch der horizontale Versatz des Fahrzeuges über die Zeit verfolgen, so dass ein Ansteigen oder Abfallen der Fahrbahn in Fahrtrichtung mit in den gespeicherten Straßenprofilmessdaten berücksichtigt werden kann. Aus dem Wissen um den Rollwinkel des Fahrzeuges lässt sich durch Vergleich der Messdaten der quer zur Fahrtrichtung angeordneten Abstandssensoren eine Fahrbahnneigung ermitteln. Durch die aus den Daten des Inertialsensors abgeleiteten Daten lässt sich die Position und Ausrichtung des Fahrzeuges auf der Fahrbahn genau bestimmen, so dass die Messwerte mit hoher Positionsgenauigkeit gespeichert werden können. Auch werden die durch eine seitliche Verkipfung des Fahrzeuges durch Messung abseits von der Oberflächennormalen gemessenen, verfälschten Abstandsmessdaten korrigiert.

**Aufgabenstellung**

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren und eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung zur Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges zu finden, welches eine exaktere Rekonstruktion des Oberflächenprofils ermöglicht.

**[0008]** Die Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung werden in den Unteransprüchen beschrieben.

**[0009]** Bei der Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges, wird mittels wenigstens eines am Fahrzeug angebrachten ersten Abstandssensors dessen Abstand zum Fahrweg vermessen. Jeder der so gemessenen Ab-

standsmesswerte wird mit Referenz auf dessen Messposition auf dem Fahrweg in einem Speicher abgelegt. Hierbei kann beispielsweise die Referenz dadurch geschaffen werden, dass die Speicherpositionen des Speichers einzelnen Messpositionen auf dem Fahrweg zugeordnet sind, so dass die dort gemessenen Abstandswerte an der entsprechenden Stelle im Speicher abgelegt werden. Es ist sehr wohl aber auch möglich gemeinsam mit jedem Abstandsmesswert einen zusätzlichen die Messposition identifizierenden Datensatz mit abzuspeichern. Die Messposition wird zum Zeitpunkt der Abstandsmessung mit Hilfe eines mit dem Abstandssensor synchronisierten Wegstreckenzählers und/oder der Daten eines Inertialsensors, insbesondere eines Gyroskops, bestimmt. Zur Steigerung der Genauigkeit der späteren Rekonstruktion des Oberflächenprofils des Fahrweges wird in erfinderischer Weise der Fahrweg zusätzlich durch wenigstens einen zweiten Abstandssensor vermessen, wobei dieser zweite Sensor in einem Abstand längs der zur Bewegungsrichtung parallelen Achse des Objektes versetzt zu dem wenigstens einen ersten Abstandssensor angeordnet ist. Auf diese Weise wird es möglich in einer Korrelationseinheit die Abstandswerte dieser wenigstens zwei, versetzt zueinander angeordneten Abstandssensoren zu korrelieren. Hierbei werden diejenigen Messdaten der versetzt zueinander angeordneten Abstandssensoren miteinander korreliert, welche in Bezug auf identische oder eng benachbarte Abschnitte des Bodenbereichs gemessen wurden. Aus dem Ergebnis der Korrelation lassen sich sodann in Kenntnis der geometrischen Einbauposition der Abstandssensoren auf den Nickwinkel des mobilen Objektes zu schließen. Die Bestimmung des Nickwinkels aus dem Vergleich (Korrelation) der Abstandsmesswerte zweier Abstandssensoren welche versetzt längs der zur Fahrtrichtung parallelen Fahrzeugachse angeordnet sind basiert auf der Annahme, dass bei der gleichen Einbauhöhe im Fahrzeug die beiden Sensoren bei Überfahrt über den selben oder eng benachbarten Bereich der Fahrbahn dann dieselbe Abstandsinformation liefern sollten, wenn der Nickwinkel des Messfahrzeugs  $0^\circ$  beträgt. Ist das Fahrzeug insbesondere auf Grund von positiven Beschleunigungen in dem in Fahrtrichtung vorderen Bereich nach oben geneigt (positiver Neigungswinkel) so wird der in Bezug auf die Position in Fahrtrichtung hintere Abstandssensor einen geringeren Abstand messen als der vordere. Entsprechend wird der in Fahrtrichtung vordere Abstandssensor dann einen geringeren Abstand als der weiter hinten angeordnete Abstandssensor messen, wenn das Fahrzeug abgebremst wird, was in einem negativen Neigungswinkel resultiert.

#### Ausführungsbeispiel

**[0010]** Nachfolgend soll anhand von Ausführungsbeispielen und mit Hilfe von Figuren die Erfindung im

Detail erläutert werden. Dabei zeigt

**[0011]** Fig. 1 Auswirkungen unterschiedlicher Neigungswinkel auf die durch die Abstandssensoren gemessenen Abstandswerte bei glatter Fahrbahn,

**[0012]** Fig. 2 Zusammenhang zwischen Fahrzeuglage im Raum, Fahrzeugnickwinkel und Fahrbahnsteigung,

**[0013]** Fig. 3 redundante Messungen des Abstandes zu den Abstandssensoren an einer identischen Stelle einer unregelmäßigen Fahrbahnoberfläche,

**[0014]** Fig. 4 Messbereiche alternativer Ausgestaltungsformen von Abstandssensoren,

**[0015]** Fig. 5 Auswirkungen des Fahrzeughubes auf die gemessenen Entfernungswerte,

**[0016]** Fig. 6 ein Ablaufdiagramm der Messdatenauswertung.

**[0017]** Die drei Illustrationen in Fig. 1 zeigen deutlich die Auswirkungen auf die gemessene Höheninformation (**11a**, **21a**) durch an einem Messfahrzeug (**1**) angebrachte Abstandssensoren (**10**, **20**). In Fig. 1a) bewegt sich das Messfahrzeug (**1**) auf einer Fahrbahn (**3**) in Fahrtrichtung (**2**); zur Vereinfachung wird hier angenommen, dass die Oberfläche der Fahrbahn (**3**) plan ist und dass sich die Einbauposition beider Abstandssensoren im selben Abstand über der Fahrbahn befindet. Ohne positive oder negative Beschleunigung werden beide Sensoren denselben Abstand (**11a**, **21a**) zur Fahrbahn messen. Misst der in Fahrtrichtung vordere Abstandssensor (**20**) einen größeren Höhenabstand (**21b**) als der versetzt, weiter hinten angeordnete Abstandssensor (**10**), so kann davon ausgegangen werden, dass sich das Messfahrzeug (**1**) nach hinten neigt; zum Beispiel bei Beschleunigung. Dementsprechend wird der vor dem anderen Abstandssensor (**10**) angeordnete Abstandssensor (**20**) einen zu (**11c**) vergleichsweise geringeren Abstandswert (**21c**) messen, wenn das Fahrzeug (**1**) auf Grund eines Bremsvorganges nach vorne nickt. In der realen Situation können sich die Einbauhöhen der Abstandssensoren (**10**, **20**) differieren, so dass die hieraus resultierende relative Höhendifferenz bei der Berechnung des Nickwinkels selbstverständlich berücksichtigt werden muss.

**[0018]** In Fig. 2 wird der Zusammenhang zwischen dem Fahrzeuglagewinkel  $\alpha$ , dem Fahrzeugnickwinkel  $\beta$  und der Fahrbahnsteigung  $\chi$  dargestellt. Hierbei sind die x- und y-Achse eines orthogonalen Koordinatensystems so ausgerichtet, dass die z-Achse die Normale zur Erdoberfläche bildet. Dies entspricht der Definition der drei, durch ein Inertialmesssystem vermessenen Richtungskoordinaten. Die Lage des Messfahrzeugs (**1**) in diesem durch die xyz-Koordi-

naten aufgespannten Raum lässt sich somit durch einen im Fahrzeug integrierten Inertialsensor vermessen. Aus dieser Vermessung kann der Fahrzeuglagewinkel  $\alpha$  gegenüber der z-Achse bestimmt werden. Auf Grund von auf es wirkende Beschleunigungen neigt das Messfahrzeug jedoch dazu um einen Nickwinkel  $\beta$  nach hinten oder nach vorne zu Nicken, so dass aus dem Fahrzeuglagewinkel  $\alpha$  nicht direkt auf die interessierenden Fahrbahnsteigung  $\chi$  geschlossen werden kann; vielmehr gilt:

$$\chi = \alpha - \beta$$

**[0019]** Hierbei kann in besonders vorteilhafter Weise der Fahrzeugnickwinkel  $\beta$  mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens auf Basis wenigstens zweier redundanter Abstandsmessungen, durch an in Fahrtrichtung versetzt angeordneten Abstandssensoren, erfolgen.

**[0020]** Auch ist in der Praxis zu beachten, dass die Fahrbahnen oft signifikante Unregelmäßigkeiten aufweisen, welche eben gerade durch eine Oberflächenprofilmessung ermittelt werden sollen. In der [Fig. 3](#) ist eine derartige Situation skizziert. Obwohl sich das Messfahrzeug (1) eben (Nickwinkel = 0°) auf der unregelmäßigen Fahrbahnoberfläche befindet misst der vordere Abstandssensor (20) einen wesentlich größeren Abstand als der hintere Abstandssensor (10). Würde aus dieser Differenz sogleich ein Nickwinkel abgeleitet, so würden hieraus ersichtlich Messfehler resultieren. Die Messanordnung ist deshalb so zu gestalten, dass während der Messfahrt zeitlich versetzt, der Sensor (10) die im Wesentlichen gleichen Messpositionen auf der Fahrbahnoberfläche wie zuvor bereits Sensor (20) vermisst. Dies kann am besten hierdurch sichergestellt werden, dass die beiden Abstandssensoren (10, 20) am Messfahrzeug (1) entlang einer zur Fahrtrichtung des Messfahrzeuges parallelen Richtung versetzt angeordnet werden. Werden zusätzlich die Abstandsmessungen miteinander unter Beachtung der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit synchronisiert kann sichergestellt werden, dass beide Sensoren die Fahrbahn an identischen Messpunkten (31) vermessen. Alternativ oder ergänzend zur Synchronisation kann durch eine hohe Abtastrate die Wahrscheinlichkeit der Abtastung derselben Messpunkte (31) auf der Fahrbahn weiter verbessert werden.

**[0021]** Bei ruhiger Fahrt bewegt sich der Messpunkt (41) auf einer Geraden (50) in Fahrtrichtung auf der Fahrbahnoberfläche entlang und erreicht so mit zeitlichem Versatz die Messposition, welche zuvor mit Messfleck 42 durch den in Bezug auf die Fahrtrichtung weiter vorne am Fahrzeug angebrachten Sensor vermessen wurde ([Fig. 4a](#)). Verursacht durch eine dynamische Änderung der Lage des Messfahrzeuges, insbesondere resultierend aus Fahrbahnunregelmäßigkeiten, kann jedoch bewirkt werden, dass

der Messfleck (41) sich nicht auf einer Geraden (50) sondern auf einer gekrümmten Bahn (51) über die Fahrbahnoberfläche bewegt. Hierdurch kann es passieren, dass durch die beiden Sensoren nicht mehr dieselbe Stelle auf der Fahrbahn vermessen wird, und so eine Korrelation der zeitlich versetzt aufgenommenen Messdaten aufgrund ihres zusätzlichen örtlichen Versatzes zu einer Fehlberechnung des Fahrzeugnickwinkels führt. In besonders vorteilhafter Weise kann dieses Problem dadurch gelöst werden, dass zumindest einer der beiden Abstandssensoren so ausgebildet wird, dass sich sein Messbereich quer zu Fahrtrichtung ausdehnt; in [Fig. 4b](#)) wurde beispielhaft der in Fahrtrichtung vordere Sensor so ausgestaltet. Hierbei ist es denkbar als Sensor eine Längsanordnung von mehreren Einzellasern zu verwenden, oder aber ein Linienprofil mittels eines Laserscanners oder eines auf Basis des Lichtschnitt-Verfahrens arbeitenden Sensors zu verwenden. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass egal auf welcher Messbahn (51, 51) sich ein Messfleck (41) bewegt, sich dieser auf eine Messposition (43) trifft, welche zuvor von dem in Fahrtrichtung vorderen Sensor bereits vermessen wurde. Durch geeignete Ausgestaltung der Korrelationsroutine, welche den Verlauf der Messdaten an den einzelnen Messflecken (41, 42, 43) über die Zeit verfolgt, kann der Verlauf der Messbahnen erkannt werden. Dies wird zum einen dadurch möglich, dass die Messwerte der zeitlich nachfolgenden Messung mit den in den benachbarten Messfleckbereichen der zeitlich vorab messenden Sensoranordnung erfassten Messwerten verglichen werden. Hierbei kann ein Abweichen von einer geraden Messbahn desto leichter detektiert und verfolgt werden, je enger die abgetasteten Messflecken (42, 43) innerhalb eines quer zur Fahrtrichtung ausge dehnten Messbereichs liegen.

**[0022]** Bewegt sich ein Messfahrzeug (1) in Fahrtrichtung (2) über eine unebene Fahrbahn, so erfährt es Beschleunigungen in zur Fahrbahnoberfläche (3) senkrechte Richtung. Moderne Federungssysteme sind so ausgelegt, dass die Räder des Fahrwerkes zumindest bei moderaten auf und ab Bewegungen des Fahrzeugs in kontinuierlichem Kontakt mit der Fahrbahn verbleiben. Das Chassis des Fahrzeuges wird sich jedoch dynamisch nach oben und unten bewegen. Zur Erfassung des Profils der Fahrbahnoberfläche erfassen am Messfahrzeug (1) angebrachte Abstandssensoren (10, 20) ihre Abstände (11a, 21a, 11b, 21b) zu den Messpunkten (32, 33) auf der Fahrbahnoberfläche (3). Bei der im linken Teil von [Fig. 5](#) dargestellten Situation sind die Federbeine des Messfahrzeuges (1) gestaucht, so dass sich relativ kurze Abstände (11a, 21a) zu den Messflecken (32, 33) ergeben. Bei der im rechten Teil der [Fig. 1](#) aufgezeigten Messsituation ist das Fahrzeug (1) weit nach oben geschwungen, so dass die Abstandswerte (11b, 21b) signifikant größer als die an derselben Stelle bei anderer Fahrsituation gemessene Ab-

standswerte (11a, 21a) sind. Würde bei der Abspeicherung der Abstandswerte zum Messzeitpunkt der vorherrschende Fahrzeughub nicht berücksichtigt, ergäben sich für dieselben Messpunkte (32, 33) bei unterschiedlichen Messsituationen unterschiedliche Höhenwerte. Dies führte zu einem dem dynamischen Verlauf des bei der Messfahrt vorherrschenden Fahrzeughubes entsprechenden welligen Verlauf der aus den abgespeicherten Messdaten rekonstruierten Fahrbahnoberfläche. Um derartige Rekonstruktionsfehler zu vermeiden, ist der abzuspeichernde Abstandsmesswert mit dem mittels des Inertialsensors ermittelten Fahrzeughub ( $h_1, h_2$ ) zu korrigieren.

**[0023]** In der realen Messumgebung handelt es sich bei dem Abstandsmesswert (11a, 21a, 11b, 21b) um einen 3-dimensionalen Vektor dessen Lage im Raum durch das dynamische Bewegungsverhalten des Messfahrzeugs (1), insbesondere durch dessen Kippen, Nicken und dessen Hub, beeinflusst wird. Um für die spätere Rekonstruktion zu einem möglichst exakten, das Oberflächen der Fahrbahn repräsentierenden Messwert zu gelangen und um dessen Messposition auf der Oberfläche möglichst genau festlegen zu können, sind die Messdaten in einer besonders vorteilhaften Weise einem Korrekturalgorithmus zu unterwerfen, welcher sich im Wesentlichen in 8 Teilschritte gliedern lässt. Die einzelnen mittels des wenigstens einen Abstandssensors aufgenommenen Messdaten werden zur späteren Rekonstruktion des Oberflächenprofils der Fahrbahn auf Positionsdaten in einem 3-dimensionalen, durch Einheitsvektoren  $x$ ,  $y$  und  $z$  beschriebenen Messraum referenziert. Hierbei wird in  $x$ - und  $y$ -Richtung eine Ebene im Wesentlichen parallel zur Erdoberfläche aufgespannt, während die Ablage der Messpunkte in  $z$ -Richtung senkrecht zu dieser Ebene steht, und insbesondere die Erhabenheit dieser Messpunkte beschreibt. Die  $x$ -Richtung wird im Allgemeinen so gewählt, dass sie mit der Fahrtrichtung des Messfahrzeugs (1) im Wesentlichen übereinstimmt.

**[0024]** Der 8-stufige Verfahrensablauf ist in [Fig. 6](#) symbolisch dargestellt, wobei jede Verfahrensstufe durch ein separates Rechteck-Symbol repräsentiert wird; gleiche Symbole verweisen auf im wesentlichen ähnliche Verfahrensabläufe, so dass in der Wiederholung gleicher Symbole der quasi-rekursive Charakter des quasi-rekursiven Korrekturalgorithmus deutlich zum Ausdruck kommt. Im ersten Verarbeitungsschritt wird die gemessene, skalare Fahrzeuggeschwindigkeit  $V$  in Richtung der Fahrzeuglagewinkel gedreht, welche insbesondere durch den Inertialsensor gemessen werden. Die Drehung erfolgt hierbei in Bezug auf den Wankwinkel  $W_{\text{Wank}}$ , den Nickwinkel  $W_{\text{Nick}}$  und den Gierwinkel  $W_{\text{Gier}}$  des Fahrzeuges. Der skalare Wert der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V$  wird hierbei insbesondere durch einen Wegstreckenzähler wie beispielsweise einem mit der Antriebsachse in Verbindung stehenden Tachometer ermittelt.

**[0025]** Durch diese Drehung wird der skalare Geschwindigkeitswert  $V$  in einen 3-dimensionalen Geschwindigkeitsvektor  $V(x, y, z)$  umgebildet. Die Integration dieser Geschwindigkeit  $V(x, y, z)$  liefert sodann die Fahrzeugposition im Raum und somit in Kenntnis der geometrischen Anordnung des wenigstens einen Abstandssensors am Messfahrzeug dessen aktuelle Position im Raum  $P(x, y, z)$ .

$$P(x, y, z) = f(W_{\text{Wank}}, W_{\text{Nick}}, W_{\text{Gier}})$$

**[0026]** Ausgehend von einem frei definierbaren Fahrzeugnullpunkt befindet sich der wenigstens eine Abstandssensor an einer im ersten Ansatz bekannten geometrischen Position mit Versatz zum Fahrzeugnullpunkt in  $x$ - und  $y$ -Richtung; die Höhe des Abstandssensors über der Fahrbahn, d.h. die  $z$ -Position des Sensors an dessen  $x/y$ -Position ergibt sich im ersten Ansatz aus dem gemessenen Abstandswert. Aus diesen geometrischen Verhältnissen wird nun im zweiten Verarbeitungsschritt ausgehend von den Fahrzeuglagewinkeln die tatsächliche dreidimensionale Ausrichtung  $L(x, y, z)$  des Messstrahls des Abstandssensors im Raum bestimmt.

**[0027]** Aus der Kenntnis der Position des Abstandssensors im Raum  $P(x, y, z)$  und dem Wissen um die Ausrichtung des Messstrahls  $L(x, y, z)$  kann zwar auf die Messposition auf der Fahrbahnoberfläche geschlossen werden, um aber auf deren korrekte Ablage zur Fahrbahnoberfläche schließen zu können, muss dieser Wert in der 3. Verarbeitungsstufe des Korrekturalgorithmus um den aktuellen Fahrzeughub  $P_{\text{hub}}$  in  $z$ -Richtung korrigiert werden. Ohne diesen Schritt, würde sich ein zeitlich veränderlicher Fahrzeughub in einer entsprechenden Welligkeit des Oberflächenprofils nach dessen Rekonstruktion aus den Messdaten abbilden. Der Fahrzeughub wird durch zweifache Integration der durch den Inertialsensor ermittelten Beschleunigung senkrecht zur Fahrbahn ermittelt. Das so erfasste Bewegungsverhalten des Fahrzeuges in einer zur Fahrbahnoberfläche senkrechten Richtung wird mit der zeitlichen Variation des Fahrzeughubes  $P_{\text{hub}}$  gleichgesetzt. In Kenntnis des Fahrzeughubes kann die korrekte Position des Abstandssensors in  $z$ -Richtung  $P_{z,\text{neu}}$  korrigiert werden, indem der Fahrzeughub  $P_{\text{hub}}$  zur ursprünglichen im ersten Verarbeitungsschritt ermittelten Position  $P_z$  addiert wird:

$$P_{z,\text{neu}} = P_z + P_{\text{hub}}$$

**[0028]** Besonders vorteilhaft wirkt es sich aus, wenn die mittels des Inertialsensors ermittelten Beschleunigungswerte senkrecht zur Fahrbahn vor einer der Integrationsstufen bei der zweifachen Integration über die Zeit einer Hochpassfilterung unterzogen werden. Hierdurch können niederfrequente Stör- und Rauscheinflüsse, welche auf den Inertialsensor einwirken eliminiert werden.

**[0029]** Ausgehend hiervon lässt sich im 4. Verarbeitungsschritt nun mittels der bereits im zweiten Verarbeitungsschritt bestimmten 3-dimensionalen Ausrichtung  $L(x, y, z)$  des Messstrahls die Position des Messpunktes auf der Fahrbahn  $P_{\text{Mess}}(x, y, z)$  korrigieren:

$$P_{\text{Mess},x} = P_x + L_x; P_{\text{Mess},y} = P_y + L_y; P_{\text{Mess},z} = P_{z,\text{neu}} + L_z$$

**[0030]** Der 5. Verfahrensabschnitt dient dazu die Fahrzeuglage in Bezug auf den Fahrzeugnickenwinkel  $W_{\text{Nick}}$  dahingehend zu korrigieren, dass die aus Beschleunigungs- und Bremsmanövern resultierenden Fahrzeugneigungen  $W_{\text{korrr}}$  eliminiert werden. In besonders vorteilhafter Weise lässt sich die auf Beschleunigungs- und Bremsmanövern zurückzuführende Fahrzeugneigung  $W_{\text{korrr}}$  dadurch bestimmen, dass am Messfahrzeug entlang der zur Fahrrichtung parallelen Fahrzeuglängsachse neben dem wenigstens einen Abstandssensor ein weiterer Abstandssensor versetzt angeordnet wird. Die beiden Abstandssensoren sind sodann so anzusteuern, bzw. deren Messdaten sind so auszuwerten, dass von beiden Sensoren Messwerte an derselben Messposition auf der Fahrbahnoberfläche ausgewertet werden können. In einem ersten Schritt wird sodann die Differenz  $L_{\text{diff}}$  der beiden Messstrahlen  $L_1(x, y, z)$  und  $L_2(x, y, z)$  gebildet. Aus dem  $\arctan(L_{\text{diff}})$  und dem geometrischen Versatz bzw. Abstand der Abstandssensoren in x-Richtung  $\text{abs}(L_{1,x} - L_{2,x})$  lässt sich ein Korrekturwert  $W_{\text{Nick,korr}}$  für den Nickwinkel berechnen:

$$W_{\text{Nick,korr}} = \arctan(L_{\text{diff}}) / \text{abs}(L_{1,x} - L_{2,x})$$

**[0031]** Auf diese Weise ergibt sich ein neuer Nickwinkel  $W_{\text{Nick,neu}}$  zu:

$$W_{\text{Nick,neu}} = W_{\text{Nick}} + W_{\text{Nick,korr}}$$

**[0032]** Unter Rückgriff auf den neu berechneten Nickwinkel  $W_{\text{Nick,neu}}$  erfolgt in der 6. Verarbeitungsstufe analog zur Verarbeitungsstufe 1 eine erneute Berechnung der Fahrzeugposition.

$$P_{\text{Mess}}(x, y, z) = f(W_{\text{Wank}}, W_{\text{Nick,neu}}, W_{\text{Gier}})$$

**[0033]** Ausgehend von den nun gültigen Winkellagen des Fahrzeuges erfolgt in der 7. Stufe der Verarbeitungskette, analog zum vormaligen Verarbeitungsschritt 3, eine erneute Bestimmung des Fahrzeughubes  $P_{\text{hub}}$  ausgehend von der durch den Inertialsensor ermittelten Beschleunigung senkrecht zur Fahrbahnoberfläche. In Kenntnis dieses nachkorrigierten Wertes zum Zeitpunkt  $t_1$  des Fahrzeughubes  $P_{\text{hub}}$  kann nun erneut die korrekte Position des Abstandssensors in z-Richtung  $P_{z,\text{neu},t_1}$  berechnet werden, indem der Fahrzeughub  $P_{\text{hub}}$  zur im dritten Verarbeitungsschritt zum Zeitpunkt  $t_0$  erstmalig nachberechneten Position  $P_{z,\text{neu},t_0}$  addiert wird:

$$P_{z,\text{neu},t_1} = P_{z,\text{neu},t_0} + P_{\text{hub}}$$

**[0034]** Ausgehend hiervon lässt sich abschließend in der letzten Verarbeitungsstufe analog zum 4. Verarbeitungsschritt mittels der bereits im zweiten Verarbeitungsschritt bestimmten 3-dimensionalen Ausrichtung  $L(x, y, z)$  des Messstrahls die Position des Messpunktes auf der Fahrbahn  $P_{\text{Mess}}(x, y, z)$  korrigieren und damit erneut bestimmen:

$$P_{\text{Mess},x} = P_x + L_x; P_{\text{Mess},y} = P_y + L_y; P_{\text{Mess},z} = P_{z,\text{neu}} + L_z$$

**[0035]** Die mittels des quasi-rekursiven Verfahrens ermittelten Positionen  $P_{\text{Mess}}(x, y, z)$  des Messpunktes auf der Fahrbahnoberfläche dienen zur Zuordnung der Abstandsmesswerte und bilden mit diesen gemeinsam die Grundlage für die Rekonstruktion der Fahrbahnoberfläche.

**[0036]** In gewinnbringender Weise kann zur Bestimmung der Lage des Fahrzeuges im Raum bzw. der Messposition ein Wegstreckenzähler oder ein Navigationssystem, insbesondere ein DGPS-System, herangezogen werden. Eine Fusion der mittels dieser Sensoren ermittelten Orts- und Richtungsinformation mit den aus den Daten des Inertialsensors abgeleiteten Informationen führt zu einer Steigerung der Genauigkeit der Lage und Positionsbestimmung des Messfahrzeuges bzw. der Messsensoren und in Folge zu einer Steigerung der Qualität der Oberflächenrekonstruktion. Als Inertialsensor im Rahmen der Erfindung eignen sich jede Art von Sensoren, mittels welchen man eine Bewegungsbestimmung im dreidimensionalen Raum durchführen kann, so beispielsweise auch ein System von gekoppelten GPS-Sensoren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges, bei welchem wenigstens ein am Fahrzeug angebrachter erster Abstandssensor seinen Abstand zum Fahrweg vermisst, und jeder dieser Abstandsmesswerte mit Referenz auf die Messposition auf dem Fahrweg in einem Speicher abgelegt wird, um hieraus das Oberflächenprofil des befahrenen Fahrweges zu rekonstruieren, wobei die Messposition auf Basis der Daten eines Wegstreckenzählers und/oder der Daten eines Inertialsensors, insbesondere eines Gyroskops, bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich wenigstens ein zweiter Abstandssensor seinen Abstand zum Fahrweg vermisst, wobei dieser zweite Sensor in einem Abstand längs der zur Bewegungsrichtung parallelen Achse des Objektes versetzt zu dem wenigstens einen ersten Abstandssensor angeordnet ist, und dass die Abstandsmesswerte der wenigstens zwei Sensoren miteinander korreliert werden, um aus deren Differenz und in Kenntnis der geometrischen

Einbauposition der Abstandssensoren auf den Nickwinkel des mobilen Objektes zu schließen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandsmesswerte wenigstens teilweise mittels eines entfernungs-auflösenden Lasersensors (LIDAR) gemessen werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandswerte wenigstens teilweise mittels des Lichtschnitt-Verfahrens gemessen werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte des wenigstens einen ersten Abstandssensors mit den Abstandsmessdaten wenigstens eines zweiten Abstandssensors korreliert werden, um die Genauigkeit der Abstandsmesswerte zu erhöhen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandsmesswerte auf Grund der Kenntnisse über Neigungs- und Kippwinkel des mobilen Objektes korrigiert werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandsmesswerte auf Grund der Kenntnisse über den Fahrzeughub über der Fahrbahn korrigiert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vermessung des Oberflächenprofils der Fahrzeuglagewinkel mit betrachtet wird.

8. Vorrichtung zur Ermittlung des Oberflächenprofils eines durch ein Fahrzeug befahrenen Fahrweges, welche wenigstens einen am Fahrzeug angebrachten ersten Abstandssensor umfasst, der so ausgerichtet ist, dass er seinen Abstand zum Fahrweg messen kann, welche zusätzlich einen Speicher zur Speicherung der von dem wenigstens einen ersten Abstandssensor erfassten Abstandsmesswerte mit Referenz auf die Messposition umfasst, wobei der Speicher über eine Schnittstelle verfügt, um hierüber die gespeicherten Abstandsmesswerte zur Rekonstruktion des Oberflächenprofils des befahrenen Fahrweges auszulesen, wobei zur Bestimmung der Messposition ein Wegstreckenzähler und/oder ein Inertialsensor, insbesondere ein Gyroskop, vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich wenigstens ein zweiter Abstandssensor längs der zur Bewegungsrichtung parallelen Achse des Objektes versetzt zu dem wenigstens einen ersten Abstandssensor angeordnet ist und der so ausgerichtet ist, dass er seinen Abstand zum Fahr-

weg messen kann, und wobei der wenigstens erste und der wenigstens zweite Abstandssensor mit einer Korrelationseinheit in Verbindung steht, welche die Abstandsmesswerte der Sensoren miteinander korreliert, um aus deren Differenz und in Kenntnis der geometrischen Einbauposition der wenigstens zwei Abstandssensoren auf den Nickwinkel des mobilen Objektes zu schließen, indem die Messdaten des ersten und des zweiten Abstandssensors in Bezug auf identische oder eng benachbarte Abschnitte, welche mit zeitlichem Versatz vermessen wurden, der Fahrbahn miteinander korreliert werden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der Abstandssensoren ein Lidar ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der Abstandssensoren einen Kamerasensor umfasst und auf Basis des Lichtschnitt-Verfahrens arbeitet.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Korrekturereinheit vorhanden ist, welche auf Basis der Daten des Inertialsensors die Abstandsmesswerte und die Positionsdaten der Messpositionen vor der Abspeicherung korrigiert.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

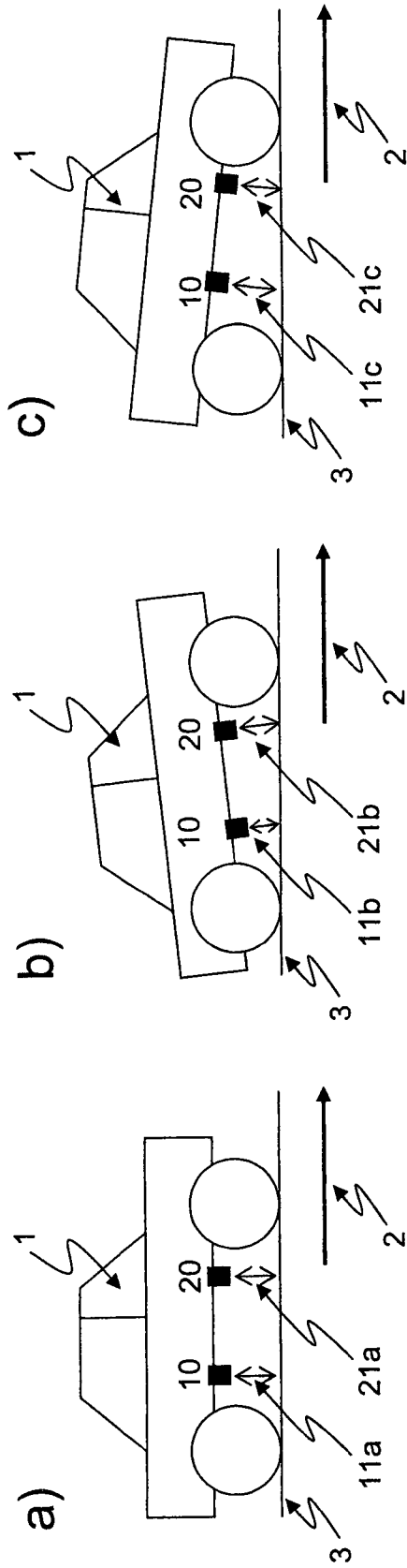


Figure 1

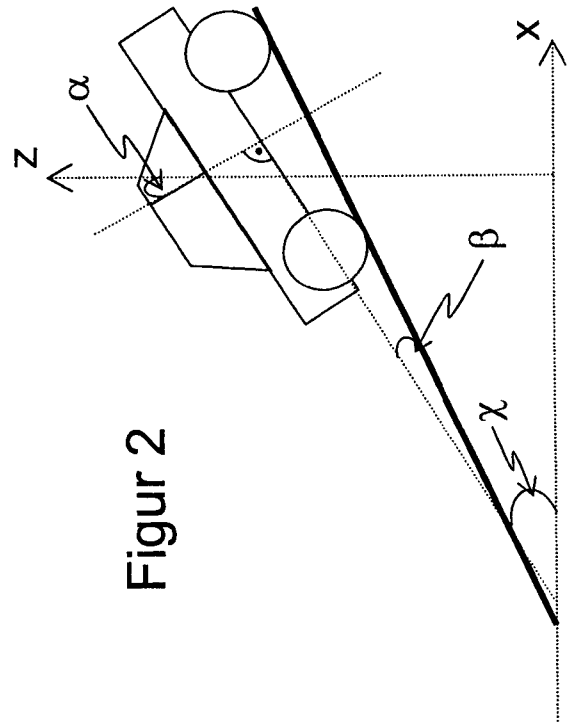
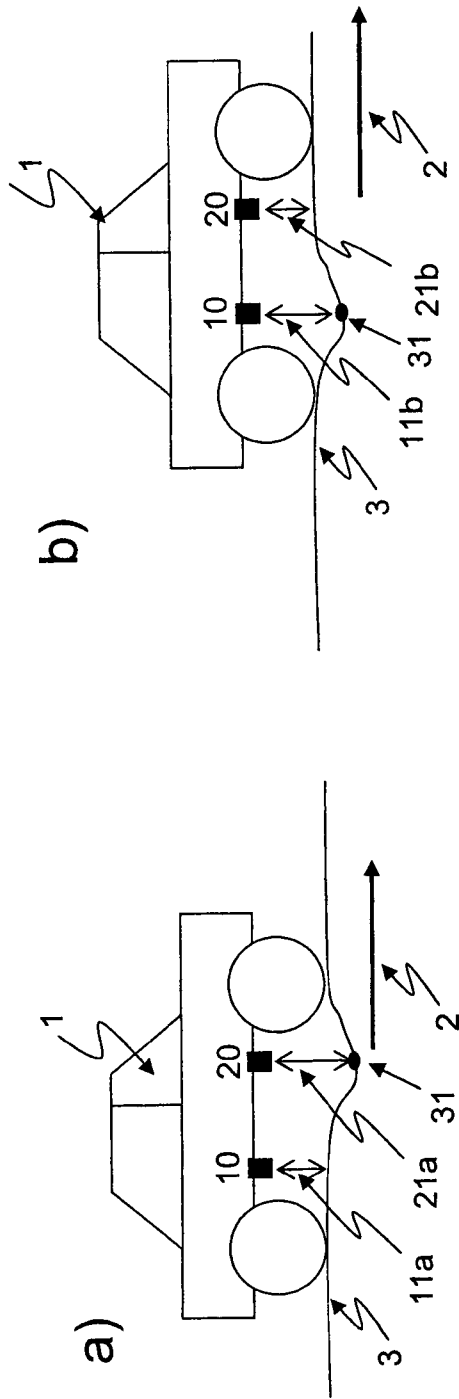
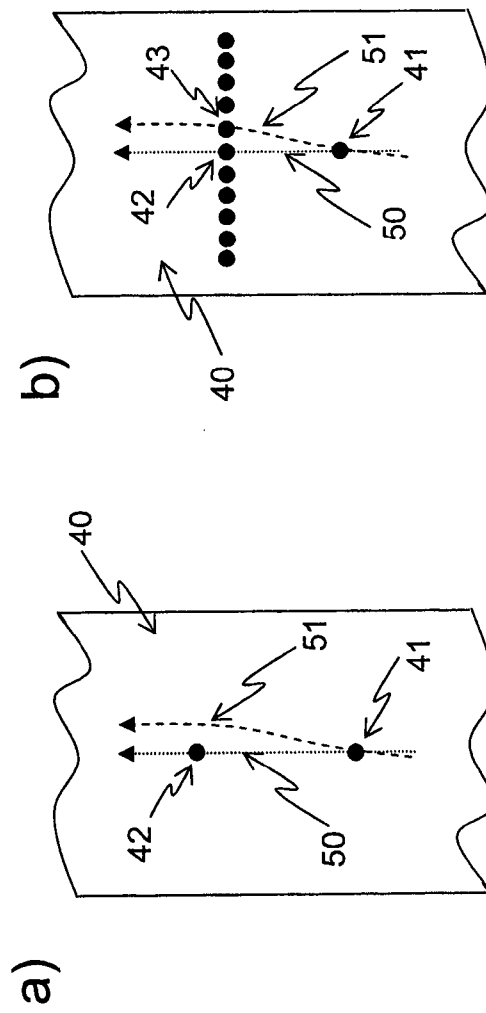


Figure 2





Figur 3



Figur 4

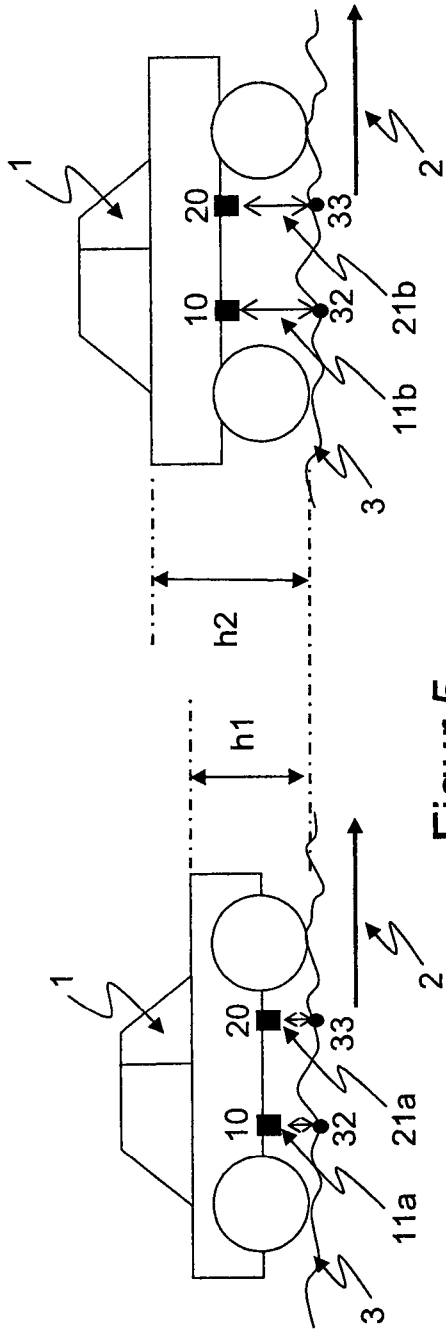


Figure 5

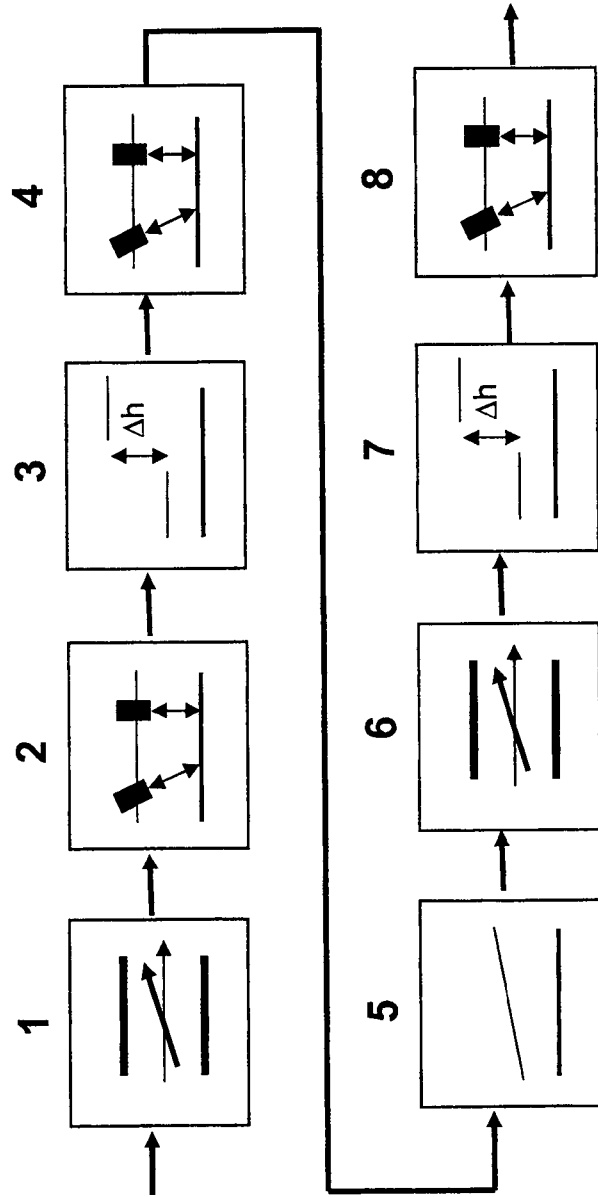


Figure 6