



(10) **DE 10 2017 212 165 B4** 2023.11.30

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 212 165.3**  
(22) Anmeldetag: **17.07.2017**  
(43) Offenlegungstag: **17.01.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.11.2023**

(51) Int Cl.: **B60W 40/10** (2012.01)  
**B60W 40/109** (2012.01)  
**B60W 40/112** (2012.01)  
**B60W 30/045** (2012.01)  
**B62K 5/10** (2013.01)  
**B62D 9/02** (2006.01)

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,  
US**

(74) Vertreter:  
**Wettlaufer, Frank, Dipl.-Ing., 58453 Witten, DE**

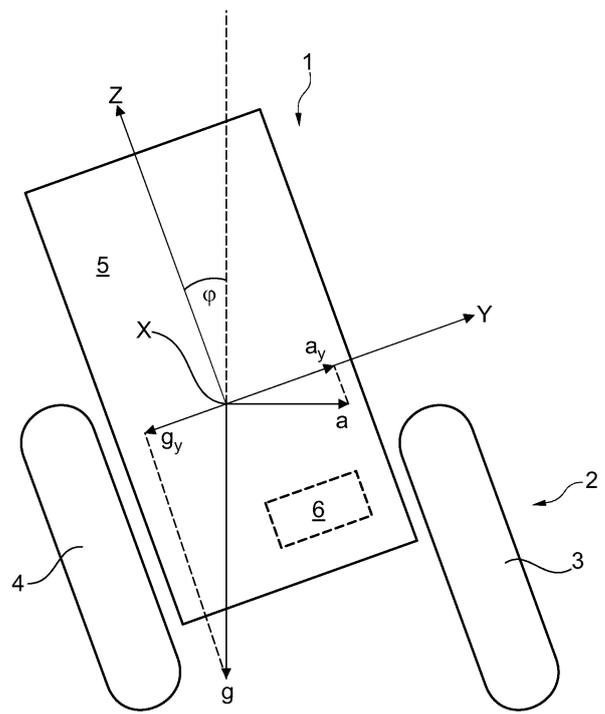
(72) Erfinder:  
**Lippok, Lucian, 51105 Köln, DE; Simon, Marc,  
50735 Köln, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 047 860	A1
DE	10 2009 014 747	A1
DE	10 2014 217 387	A1
US	8 235 398	B2
US	2008 / 0 197 597	A1
US	2010 / 0 274 445	A1
CN	102 770 333	A

(54) Bezeichnung: **Neigefahrzeug**

(57) Hauptanspruch: Neigefahrzeug (1), mit wenigstens einer mehrrädrigen Achse (2), einem Fahrzeugaufbau (5) und einer Steuereinheit (6), die dazu eingerichtet ist, eine auf das Neigefahrzeug (1) wirkende Querbeschleunigung (a) zu erkennen und einen Neigungswinkel ( $\varphi$ ) des Fahrzeugaufbaus (5) um dessen Längsachse (X) aktiv einzustellen, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (6) dazu eingerichtet ist, den Neigungswinkel ( $\varphi$ ) derart einzustellen, dass in Richtung der Querachse (Y) des Fahrzeugaufbaus (5) eine Y-Komponente ( $a_y$ ) der Querbeschleunigung (a) teilweise durch eine Y-Komponente ( $g_y$ ) der Erdbeschleunigung (g) kompensiert wird, entsprechend einem vorgegebenen Kompensationsanteil (K), der in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung (a) zu einem globalen Maximalwert ( $K_{max}$ ) bei einer ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) streng monoton ansteigt und darüber abfällt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Neigefahrzeug mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1.

**[0002]** Die DE 10 2009 014 747 A1, die als nächstkommender Stand der Technik angesehen werden kann, offenbart ein Verfahren zur Ansteuerung von die Wankbewegung eines Fahrzeugs beeinflussenden Aktoren, wobei das Fahrzeug mit einer Funktion für eine vorausschauende Längs- und Querführung mit einer Vorausschauzeitdauer ausgestattet ist. Dabei wird eine zukünftige Querbeschleunigung ermittelt und eine Querneigung berechnet, die zur wenigstens teilweisen Kompensation dieser Querbeschleunigung erforderlich ist. Mit der entsprechenden Querneigung erfolgt ein aktives in die Kurve neigen. Optional kann die Kompensation auch nur teilweise durchgeführt werden oder es kann auf eine Kompensation verzichtet werden, bspw. bei schnellen Richtungswechseln.

**[0003]** Die DE 10 2004 047 860 A1 betrifft ein Verfahren zur Querdynamikbeeinflussung eines Fahrzeugs. Dabei wird eine Querdynamikollgröße (insbesondere die Gierrate) mit einer zugehörigen Querdynamikistgröße verglichen. Wird aufgrund einer Abweichung die Notwendigkeit zur Querdynamikbeeinflussung festgestellt, wird eine Querdynamikbeeinflussungseinrichtung zur Veränderung der Querdynamikistgröße angesteuert, die Radaufstandsbeeinflussungsmittel sowie wenigstens ein weiteres Querdynamikbeeinflussungsmittel aufweist. Es findet eine Aktivierungsprüfung statt, um festzustellen, ob und welche Mittel zur Querdynamikbeeinflussung eingesetzt werden sollen. Bei dieser Aktivierungsprüfung können auch weitere Zustandsgrößen als Kriterien berücksichtigt werden, bspw. die Fahrzeugquerbeschleunigung.

**[0004]** Die DE 10 2014 217 387 A1 betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Neigefahrwerks für ein schienenungebundenes Fahrzeug mit wenigstens einem Aktuator. Hierzu wird ein aufgrund einer Zentrifugalbeschleunigung in einer Kurve erforderlicher Neigungswinkel des Fahrzeugs gegenüber einem globalen Koordinatensystem um eine Drehachse herum zumindest teilweise durch eine von dem Aktuator erzeugbare Stellkraft eingestellt. Der Neigungswinkel wird auf Basis aktueller Werte der Zentrifugalbeschleunigung und der Erdbeschleunigung derart berechnet, dass ein aus diesen resultierender Wert einer Querbeschleunigung in Bezug auf ein gegenüber dem globalen Koordinatensystem um den Neigungswinkel geneigtes Fahrzeugkoordinatensystem gleich null ist. Nach dem Einstellen des berechneten Neigungswinkels wird der Aktuator zur Einsparung von Energie deaktiviert. Weiterhin ist ein Neigefahrwerk zur Durchführung des Verfahrens gerichtet.

**[0005]** Bei Kurvenfahrten eines schienenungebundenen Fahrzeugs bringen die auftretenden seitlichen Kräfte zweierlei Probleme mit sich. Zum einen muss durch eine hinreichende Reibungskraft zwischen Rädern und Fahrfläche verhindert werden, dass das Fahrzeug aus der Kurve herausgetragen wird bzw. herausgleitet. Zum anderen muss sichergestellt werden, dass kein Kippmoment entsteht, durch welches das Fahrzeug umgekippt werden kann. Betrachtet man den Vorgang im Bezugssystem des Fahrzeugs, so bildet die Zentrifugalkraft zusammen mit der Gewichtskraft eine schräg nach unten gerichtete resultierende Kraft. Bei einspurigen Fahrzeugen wie Motorrädern oder Fahrrädern muss der Fahrer dafür sorgen, dass er das Fahrzeug durch Lenken oder Gewichtsverlagerung neigt, so dass der gemeinsame Schwerpunkt von Fahrer und Fahrzeug gegenüber der Radaufstandslinie in Richtung der resultierenden Kraft liegt. Dies entspricht einem Zustand, in dem die Z-Achse (Hochachse) des Motorrads in Richtung der Resultierenden aus Schwerkraft und Zentrifugalkraft zeigt. Bei einer Zentrifugalbeschleunigung von  $10 \text{ m/s}^2$  ergibt sich ein Winkel von ca.  $45^\circ$  gegenüber der Senkrechten.

**[0006]** Bei mehrspurigen, insbesondere an wenigstens einer Achse zweispurigen Fahrzeugen mit geringer Spurbreite ergibt sich ein ähnliches Stabilitätsproblem. Auch hier würde ein Kippmoment schon bei vergleichsweise geringen Geschwindigkeiten bzw. relativ großen Kurvenradien dazu führen, dass das Fahrzeug bei aufrechter Fahrt umkippen würde. Daher findet bei dieser Art von Fahrzeugen normalerweise eine Neigetechnik Anwendung, durch die wenigstens Teile des Fahrzeugaufbaus gegenüber der Fahrfläche geneigt werden. Dies geschieht oftmals dadurch, dass bei zwei nebeneinanderliegenden Rädern einer Achse das kurveninnere Rad in Richtung der Hochachse (Z-Achse) des Fahrzeugaufbaus angehoben und das kurvenäußere Rad abgesenkt wird. In aller Regel kommt eine aktive Neigetechnik zum Einsatz, wobei wenigstens ein Aktor die Neigung des Fahrzeugaufbaus unterstützt bzw. einstellt. Aufgrund der Breite des Fahrzeugs und des notwendigen Bauraums für die Aufhängung und andere Komponenten ist es schwierig, mit derartigen Fahrzeugen Neigungswinkel im Bereich von  $45^\circ$  zu erreichen. Bei einer Spurbreite von ca. 90 cm sind normalerweise Neigungswinkel im Bereich von 20 bis  $35^\circ$  möglich.

**[0007]** Allgemein geht es bei der Neigetechnik darum, eine in Richtung der Querachse (Y-Achse) des Fahrzeugaufbaus wirkende Komponente der Zentrifugalbeschleunigung ganz oder teilweise durch eine Komponente der Erdbeschleunigung zu kompensieren, die in Gegenrichtung wirkt. Bei einem mehrspurigen Fahrzeug sind dabei grundsätzlich unterschiedliche Grade von Kompensation denkbar, die unterschiedliche Vorteile haben. Wird ein

geringerer Grad an Kompensation gewählt, so könnten die von einem Aktor zur Einstellung der Neigung aufzubringenden Drehmomente gering gehalten werden. Außerdem ist das Fahrzeug weniger empfindlich gegenüber Störungen, die bspw. durch die Fahrfläche oder den Fahrer selbst hervorgerufen werden. Ein hoher Grad von Kompensation führt zu einem geringeren Energieverbrauch des Aktors, da dieser - nach Erreichen der vorgesehenen Neigung - nur einer geringen bzw. gar keiner Querschleunigung entgegenwirken muss, und natürlich dazu, dass der Fahrer eine geringere Querschleunigung verspürt.

**[0008]** Aus der US 2008 / 0 197 597 A1 ist ein Fahrzeug mit Neigetechnik bekannt, bei dem zum einen das Chassis, zum anderen die Vorderräder gegenüber dem Untergrund geneigt werden können. Dabei ist vorgesehen, dass die Neigung arretiert wird, wenn sich das Fahrzeug mit geringer Geschwindigkeit bewegt oder anhält. Außerdem kann die Neigung auf einen maximalen Winkel von bspw. 25° beschränkt werden, um zu verhindern, dass das Fahrzeug bei Stillstand umkippt. Weiterhin wird eine Ausführungsform beschrieben, bei der ein idealer Neigungswinkel ermittelt wird, bei dem der Fahrer keine Querschleunigung verspüren würde, und der tatsächliche Neigungswinkel auf einen festgelegten Bruchteil des idealen Neigungswinkels eingestellt wird.

**[0009]** Die US 8 235 398 B2 offenbart ein Verfahren zum Betreiben eines Neigefahrzeugs, wobei ein Rahmen über einen Aktor mit einem Neigemoment beaufschlagt wird. Das Neigemoment wird in Abhängigkeit von einem auf einen Lenker ausgeübten Lenkmoment, der Geschwindigkeit des Fahrzeugs sowie einem aktuellen Neigungswinkel bestimmt. Dabei ist vorgesehen, dass ein Anteil, der einer Änderung des Neigungswinkels entgegenwirkt, nur unterhalb einer ersten Grenzgeschwindigkeit wirksam wird und seinen Maximalwert bei geringen Geschwindigkeiten erreicht. Ein vom Lenkmoment abhängiger Anteil wird hingegen nur oberhalb einer zweiten Grenzgeschwindigkeit wirksam, die bspw. oberhalb der ersten Grenzgeschwindigkeit liegen kann.

**[0010]** Aus der US 2010 / 0 274 445 A1 ist eine Stabilisierungsanordnung für ein Zweirad bekannt, die zwei seitliche Stützräder aufweist, die unterhalb einer bestimmten Geschwindigkeit automatisch ausgefahren werden. Die beiden Stützräder sind gemeinsam an einer Aufhängung befestigt, die um die Längsachse des Zweirads drehbar ist. Dabei kann eine auf das Zweirad wirkende Seitenkraft erfasst und der Neigungswinkel des Zweirads mittels einer geeigneten Einstellung der Aufhängung so eingestellt werden, dass er der Resultierenden aus Gewichtskraft und Seitenkraft entspricht.

**[0011]** Die CN 102 770 333 A offenbart ein dreirädriges Fahrzeug mit Neigetechnik, bei dem eine Sensoreinheit eine seitliche Beschleunigung auf den Fahrzeugkörper misst. Über einen Aktor wird eine Neigung des Fahrzeugkörpers so eingestellt, dass die seitliche Beschleunigung im Bezugssystem des Fahrzeugkörpers null wird.

**[0012]** Angesichts des aufgezeigten Standes der Technik bietet die Einstellung des Neigungswinkels bei einem Neigefahrzeug noch Raum für Verbesserungen.

**[0013]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Einstellung des Neigungswinkels bei einem Neigefahrzeug zu optimieren.

**[0014]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Neigefahrzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0015]** Aufgezeigt wird ein Neigefahrzeug, mit wenigstens einer mehrrädriigen Achse, einem Fahrzeugaufbau und einer Steuereinheit, die dazu eingerichtet ist, eine auf das Neigefahrzeug wirkende Querschleunigung zu erkennen und einen Neigungswinkel des Fahrzeugaufbaus um dessen Längsachse aktiv einzustellen. Gemäß der Erfindung ist die Steuereinheit dazu eingerichtet, den Neigungswinkel derart einzustellen, dass in Richtung der Querachse des Fahrzeugaufbaus eine Y-Komponente der Querschleunigung teilweise durch eine Y-Komponente der Erdbeschleunigung kompensiert wird, entsprechend einem vorgegebenen Kompensationsanteil, der in Abhängigkeit von der Querschleunigung zu einem globalen Maximalwert bei einer ersten Beschleunigung streng monoton ansteigt und darüber abfällt.

**[0016]** Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

**[0017]** Es ist darauf hinzuweisen, dass die in der nachfolgenden Beschreibung einzeln aufgeführten Merkmale sowie Maßnahmen in beliebiger, technisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können und weitere Ausgestaltungen der Erfindung aufzeigen. Die Beschreibung charakterisiert und spezifiziert die Erfindung insbesondere im Zusammenhang mit den Figuren zusätzlich.

**[0018]** Durch die Erfindung wird ein Neigefahrzeug zur Verfügung gestellt, mit wenigstens einer mehrrädriigen Achse und einem Fahrzeugaufbau. Als Neigefahrzeug wird in diesem Zusammenhang ein Fahrzeug mit Rädern bezeichnet, bei dem eine Neigung eines Fahrzeugaufbaus gegenüber der Fahrfläche veränderbar ist, ohne dass eines der Räder von der Fahrfläche abgehoben wird. Dies bezeichnet insbesondere drei- oder vierrädrige Fahrzeuge, bei denen

an wenigstens einer Achse zwei Räder nebeneinander angeordnet sind. In aller Regel handelt es sich um ein schienenungebundenes Neigefahrzeug. Eine Anwendung der Erfindung auf Fahrzeuge, die zumindest teilweise mit Muskelkraft betrieben werden, ist denkbar, normalerweise handelt es sich bei dem Neigefahrzeug allerdings um ein Kraftfahrzeug. Dieses kann bspw. elektrisch oder durch einen Verbrennungsmotor angetrieben sein.

**[0019]** Wenigstens eine Achse des Neigefahrzeugs ist mehrrädig ausgebildet, d. h. sie weist mehrere (normalerweise zwei) nebeneinanderliegende Räder auf. Bei der genannten Achse kann es sich um eine aktiv gelenkte, passiv mitlenkende oder ungelenkte Achse handeln. Es kann sich um eine Vorderachse, Hinterachse oder (sofern wenigstens drei Achsen vorhanden sind) mittlere Achse handeln. Die bzw. jede weitere Achse des Neigefahrzeugs kann ein oder mehrere nebeneinanderliegende Räder aufweisen. Insbesondere kann die genannte Achse zwei gegenüber dem Fahrzeugaufbau einzeln vertikal (in Richtung der Hochachse bzw. Z-Achse des Fahrzeugaufbaus) auslenkbare Räder aufweisen. Die Auslenkung der jeweiligen Räder kann an eine - ggf. geringfügige - Auslenkung in nicht-vertikaler Richtung (also in Richtung der X- und/oder Y-Achse) gekoppelt sein. „Einzeln auslenkbar“ bedeutet hierbei, dass bei einer Auslenkung des einen Rades eine andere Auslenkung des jeweils anderen Rades möglich ist. Die Auslenkungen müssen hierbei nicht völlig unabhängig voneinander sein, sondern es kann eine gewisse Kopplung zwischen ihnen bestehen, bspw. dahingehend, dass eine Auslenkung des einen Rades nach oben eine Auslenkung des anderen Rades nach unten unterstützt. Dies kann bspw. durch einen Stabilisator oder Waagebalken erfolgen, der außenseitig an die Aufhängungen der beiden Räder und in der Mitte an den Fahrzeugaufbau gekoppelt ist. Neben einer derartigen Ausgestaltung, bei der die Räder unabhängig vertikal auslenkbar sind, sind aber auch Bauformen denkbar, bei denen bspw. - wie bei Schienenfahrzeugen mit Neigetechnik - das Fahrwerk gegenüber der Fahrfläche stationär bleibt und der Aufbau gegenüber dem Fahrwerk geneigt wird.

**[0020]** Das Neigefahrzeug weist weiterhin eine Steuereinheit auf, die dazu eingerichtet ist, eine auf das Neigefahrzeug wirkende Querschleunigung zu erkennen und einen Neigungswinkel des Fahrzeugaufbaus um dessen Längsachse aktiv einzustellen. Dabei bezeichnet Querschleunigung eine Beschleunigung, die in Querrichtung zur aktuellen Fahrtrichtung des Neigefahrzeugs wirkt. Normalerweise ist diese Querschleunigung das Ergebnis einer Kurvenfahrt. Die Steuereinheit erkennt diese Querschleunigung entweder durch eigene Messungen oder durch Messwerte, die ihr von einer externen Einheit übermittelt werden. Zum Erkennen

sowie zur quantitativen Erfassung der Querschleunigung muss diese nicht unmittelbar gemessen werden. So kann bspw. aus der aktuellen Fahrgeschwindigkeit und dem aktuellen Lenkwinkel die derzeit wirkende Querschleunigung zumindest näherungsweise ermittelt werden. Im weiteren Sinne sind auch solche Ausführungsformen eingeschlossen, in denen der Wert der aktuell einwirkenden Querschleunigung nicht explizit quantitativ erfasst wird. Bspw. wäre es denkbar, dass nur eine Komponente der Querschleunigung gemessen wird, aus der sich prinzipiell zusammen mit zusätzlichen Parametern die Querschleunigung berechnen ließe.

**[0021]** Der Neigungswinkel des Fahrzeugaufbaus ist aktiv einstellbar, normalerweise durch wenigstens einen Aktor. In diesem Fall kann man sagen, dass die Steuereinheit den Neigungswinkel mittels des wenigstens einen Aktors einstellt. Ein solcher Aktor kann direkt oder indirekt auf die Räder der mehrrädigen Achse bzw. auf deren Aufhängung wirken, bspw. um ihre vertikale Auslenkung zu beeinflussen, die direkt mit der Neigung des Fahrzeugaufbaus zusammenhängt. Der Aktor kann elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeiten. Der Neigungswinkel bezieht sich dabei auf eine Drehung bzw. Neigung um die Längsachse (X-Achse) des Fahrzeugaufbaus. Dies schließt auch solche Ausführungsformen ein, bei denen die Neigung des Fahrzeugaufbaus nicht exakt um die Längsachse erfolgt, sondern bspw. anteilig auch um die Hochachse. Dies wäre bspw. ein Neigefahrzeug, bei dem die Neigechse gegenüber der Längsachse um einen gewissen Winkel in Richtung der Hochachse geneigt ist. Der wenigstens eine Aktor übt dabei effektiv ein Drehmoment auf den Fahrzeugaufbau aus, das dessen Neigungswinkel bewirkt und/oder stabilisiert. Die Einstellung des Neigungswinkels kann dabei in Form einer Steuerung oder in Form einer Regelung erfolgen, d. h. die Steuereinheit kann bspw. über einen Sensor eine Rückmeldung darüber erhalten, ob der vorgesehene Neigungswinkel erreicht wurde. Der Begriff „Steuereinheit“ ist nicht dahingehend auszulegen, dass sämtliche Komponenten der Steuereinheit an einem Ort des Neigefahrzeugs angeordnet sein müssen. Vielmehr kann die Steuereinheit auch aus mehreren, dezentral angeordneten Komponenten bestehen. Teile bzw. einzelne Funktionen der Steuereinheit können auch softwaremäßig realisiert sein.

**[0022]** Wie oben erwähnt, ist die Steuereinheit dazu eingerichtet, den Neigungswinkel derart einzustellen, dass in Richtung der Querachse des Fahrzeugaufbaus eine Y-Komponente der Querschleunigung teilweise durch eine Y-Komponente der Erdbeschleunigung kompensiert wird, entsprechend einem vorgegebenen Kompensationsanteil. In Abhängigkeit von der festgestellten Querschleunigung

gung stellt die Steuereinheit (durch entsprechendes Ansteuern des wenigstens einen Aktors) den Neigungswinkel derart ein, dass eine in Richtung der Querachse (Y-Achse) des Fahrzeugs wirkende Y-Komponente der Querschleunigung teilweise durch eine in Richtung der Querachse wirkende Y-Komponente der Erdbeschleunigung kompensiert wird. Bezeichnet man die Querschleunigung mit  $a$ , die Erdbeschleunigung mit  $g$  und den Neigungswinkel mit  $\varphi$ , so gilt für die Y-Komponenten  $a_y$  und  $g_y$ :

$$a_y = a \cos \varphi$$

$$g_y = g \sin \varphi$$

**[0023]** Es versteht sich dabei, dass die jeweiligen relevanten Y-Komponenten von Erdbeschleunigung und Querschleunigung in Richtung der Querachse entgegengesetzt zueinander wirken, da andernfalls keine Kompensation möglich wäre. Die teilweise Kompensation erfolgt dabei entsprechend einem Kompensationsanteil  $K$ . D. h., die Y-Komponente der Erdbeschleunigung entspricht (im Allgemeinen) nicht der Y-Komponente der Querschleunigung, sondern nur einem Anteil derselben, der durch den Kompensationsanteil  $K$  ausgedrückt wird. Der Kompensationsanteil kann als dimensionslose Größe, bspw. als Zahl zwischen 0 und 1 bzw. als Prozentangabe 0 % und 100 % angegeben werden. Allgemein ist er in diesem Zusammenhang als Verhältnis bzw. Quotient der Y-Komponenten definiert:

$$K = \frac{g_y}{a_y} = \frac{g}{a} \tan \varphi$$

**[0024]** Wie nachfolgend noch besprochen wird, hängt der jeweilige Wert des Kompensationsanteils - der allgemein frei wählbar ist - von einem oder mehreren Parametern ab, wobei aber wenigstens für einige Werte dieser Parameter der Kompensationsanteil kleiner als 100 % ist, so dass nur eine teilweise Kompensation erfolgt. Der Kompensationsanteil ist dabei zumindest implizit vorgegeben, entweder durch die Steuereinheit selbst oder bspw. durch einen Speicher, auf den die Steuereinheit zugreift. Eine implizite Vorgabe des Kompensationsanteils könnte bspw. darin bestehen, dass der Neigungswinkel  $\varphi$  in Abhängigkeit von der Querschleunigung  $a$  vorgegeben ist.

**[0025]** Dabei steigt der Kompensationsanteil in Abhängigkeit von der Querschleunigung zu einem globalen Maximalwert bei einer ersten Beschleunigung an und fällt danach ab. Der Kompensationsanteil ist somit von der Querschleunigung abhängig, d. h. er kann als (nicht konstante) Funktion der Querschleunigung dargestellt werden. Somit stellt die Steuereinheit je nach Wert der Querschleunigung den Winkel entsprechend einem unterschiedlichen Kompensationsanteil ein.

Der Kompensationsanteil nimmt bei einer ersten Beschleunigung einen globalen Maximalwert an. Der Begriff „erste Beschleunigung“ dient lediglich zur begrifflichen Unterscheidung und impliziert keine Reihenfolge oder einen numerischen Wert der entsprechenden Beschleunigung. Als globaler Maximalwert wird hier ein Wert bezeichnet, der bei keiner anderen Querschleunigung übertroffen wird. D. h., es handelt sich um den als Funktion der Querschleunigung größten vorkommenden Wert des Kompensationsanteils. Bevorzugt wird dieser Wert auch nur an einer Stelle angenommen, wenn gleich es denkbar wäre, dass bspw. ein „Plateau“ ausgebildet ist, so dass der Kompensationsanteil über ein gewisses Intervall als Funktion der Querschleunigung konstant ist. Insgesamt steigt der Kompensationsanteil (mit steigender Querschleunigung) zum Maximalwert hin an und fällt danach (ggf. nach Durchlaufen eines Plateaus) ab.

**[0026]** Es ist zu beachten, dass trotz des Einsteigens und Abfallens des Kompensationsanteils der eingestellte Neigungswinkel normalerweise monoton als Funktion der Querschleunigung ansteigt. Insbesondere durch das Abfallen des Kompensationsanteils bei höheren Querschleunigungen wird das Anwachsen des Neigungswinkels allerdings beschränkt, wodurch z.B. vermieden werden kann, dass ein technisch möglicher Maximalwinkel schon bei vergleichsweise geringen Querschleunigungen erreicht wird. Ein derartiges Verhalten könnte dazu führen, dass der Fahrer bis zum Erreichen der entsprechenden Querschleunigung keine nennenswerte Beschleunigung in Y-Richtung verspürt (da diese ganz oder überwiegend kompensiert wird), diese aber nach Überschreiten der entsprechenden Querschleunigung gewissermaßen plötzlich anwächst, was für den Fahrer irritierend sein könnte. Die Reduktion des Kompensationsanteils gemäß der Erfindung führt hingegen dazu, dass der Fahrer des Neigefahrzeugs einen vergleichsweise langsam zunehmenden nicht-kompensierten Anteil der Y-Komponente der Querschleunigung verspürt. Dies kann insofern vorteilhaft sein, als der Fahrer auf diese Weise merkt, dass sich das Fahrzeug der Stabilitätsgrenze annähert. Er erhält somit frühzeitig Gelegenheit, entweder die Geschwindigkeit zu reduzieren oder den Kurvenradius zu vergrößern. Auch würde ein frühzeitiges Erreichen des Maximalwinkels dazu führen, dass sich bei größeren Querschleunigungen keine Neigungsänderung mehr ergibt, was für den Fahrer ebenfalls irritierend sein könnte. Auch dieses Problem wird erfindungsgemäß vermieden.

**[0027]** Man kann diesen Funktionsverlauf oberhalb der ersten Beschleunigung auch als eine Art Kompromiss zwischen Sicherheit und Ökonomie ansehen. Einerseits bedeuten hohe Werte der Querschleunigung auch automatisch, dass die jeweilige

Y-Komponente der Querbeschleunigung einen relativ großen Wert annimmt und somit bei nur teilweiser Kompensation auch ein vergleichsweise großer nicht-kompensierter Anteil übrig bleibt. Dieser darf selbstverständlich nicht beliebig anwachsen, da dies zu einem Umkippen des Neigefahrzeugs führen könnte. Um allerdings das vom wenigstens einen Aktor aufzubringende Drehmoment nicht zu stark anwachsen zu lassen, ist eine Begrenzung des Kompensationsanteils sinnvoll.

**[0028]** Dass der Kompensationsanteil in Richtung auf den globalen Maximalwert hin anwächst, bedeutet implizit, dass bei kleineren Querbeschleunigungen ein geringerer Kompensationsanteil vorliegt. Dies ist insofern vorteilhaft, als bspw. bei geringen Querbeschleunigung eine Kompensation nur von untergeordneter Bedeutung ist, während sie bei größeren Beschleunigungen sowohl unter Komfort- als auch Sicherheitsaspekten wichtiger ist. Tatsächlich ist es sogar unter Umständen besser, wenn bei geringen Querbeschleunigungen, die oftmals mit geringen Geschwindigkeiten einhergehen, nur eine geringe Kompensation erfolgt, dass Fahrzeug sich also nur wenig neigt.

**[0029]** Es ist bevorzugt, dass der Kompensationsanteil bei der ersten Beschleunigung kleiner als 100%, bevorzugt kleiner als 90%, weiter bevorzugt kleiner als 80%, besonders bevorzugt kleiner als 70 % ist. Da bei der ersten Beschleunigung der globale Maximalwert vorliegt, liegt der Kompensationsanteil selbstverständlich auch für sämtliche anderen Querbeschleunigungen unter dem genannten Wert. Durch die Beschränkung des Kompensationsanteils kann bspw. das notwendige Drehmoment zur Einstellung des Neigungswinkels beschränkt werden. Andererseits ist eine derartige Beschränkung im Allgemeinen unter Sicherheitsaspekten unbedenklich.

**[0030]** Dabei ist der Kompensationsanteil eine stetige Funktion der Querbeschleunigung. D. h., der Kompensationsanteil ändert sich nicht sprunghaft als Funktion der Querbeschleunigung. Dies führt insbesondere zu einem für den Fahrer angenehmeren Fahrverhalten, da auf diese Weise ausgeschlossen ist, dass sich bei einer langsamen Veränderung der Querbeschleunigung der Neigungswinkel plötzlich und sprunghaft ändert. Es versteht sich, dass der Begriff „stetig“ nicht im streng mathematischen Sinne auszulegen ist, sondern dass die Funktion auch dann noch als stetig angesehen werden kann, wenn geringfügige Sprünge (bspw. von 1 % oder weniger) auftreten, die für den Fahrer normalerweise nicht spürbar sind.

**[0031]** Die erste Beschleunigung kann zwischen 3 m/s<sup>2</sup> und 6 m/s<sup>2</sup> liegen, bevorzugt zwischen 4 m/s<sup>2</sup> und 5,5 m/s<sup>2</sup>. D. h. es erfolgt über einen vergleichs-

weise großen Bereich eine Steigerung des Kompensationsanteils, bevor der Maximalwert erreicht wird.

**[0032]** Es wäre denkbar, dass der Kompensationsanteil unterhalb der ersten Beschleunigung ein oder mehrere lokale Maxima durchläuft, bevor er schließlich den globalen Maximalwert erreicht. Dabei steigt der Kompensationsanteil allerdings bis zur ersten Beschleunigung monoton an. Wie oben erwähnt, steigt er gemäß der Erfindung streng monoton an, so dass also keine Plateaus auftreten. Die Steigung des Kompensationsanteils kann dabei als Funktion der Querbeschleunigung abnehmen, entsprechend einem konvexen Verlauf. Ein monotoner Anstieg bis zum Maximalwert ist im Allgemeinen sinnvoll und ausreichend, so dass sich das Fahrzeug bei geringer Querbeschleunigung gewissermaßen eher steif verhält, also vergleichsweise aufrecht bleibt, während bei zunehmender Querbeschleunigung der Kompensationsanteil und somit die Neigung zu nehmen, um Sicherheit und Fahrkomfort zu gewährleisten. Die Annahme von lokalen Maximalwerten ist im Allgemeinen nachteilig, da dies zu einem für den Fahrer nicht-intuitiven Verhalten des Neigefahrzeugs führen kann.

**[0033]** Dabei kann der Kompensationsanteil bei null (also etwas größer als 0 m/s<sup>2</sup> z.B. 0,1 m/s<sup>2</sup> Querbeschleunigung) unterschiedliche Werte annehmen, die selbstverständlich definitionsgemäß unterhalb des globalen Maximalwerts liegen müssen. Ein geringer Wert bei null ist bevorzugt. Dieser kann bspw. höchstens 40%, bevorzugt höchstens 20%, weiter bevorzugt höchstens 10% betragen. Es kann gleichzeitig sinnvoll sein, den Kompensationsanteil bei null nach unten zu beschränken, so dass dieser wenigstens 5%, wenigstens 10% oder wenigstens 20% betragen kann.

**[0034]** Auch oberhalb der ersten Beschleunigung könnte der Kompensationsanteil wiederum ein oder mehrere lokale Maximalwerte annehmen, was allerdings - wie unterhalb der ersten Beschleunigung - im Allgemeinen nicht vorteilhaft ist. Dementsprechend fällt der Kompensationsanteil oberhalb der ersten Beschleunigung bevorzugt monoton ab. Insbesondere kann er streng monoton abnehmen.

**[0035]** Sowohl unter Sicherheits-, als auch unter Komfortaspekten ist es allerdings sinnvoll, dass der Kompensationsanteils nicht zu schnell oder zu stark abfällt. Daher liegt gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Kompensationsanteil von der ersten Beschleunigung wenigstens bis zum Zweifachen der ersten Beschleunigung über einem Zwischenwert, der wenigstens 30%, bevorzugt wenigstens 40%, weiter bevorzugt wenigstens 50% beträgt. Legt man die o.g. bevorzugten Werte für die erste Beschleunigung zu Grunde, stellt das Zweifache derselben im Allgemeinen schon einen Wert dar, der nur

bei extremeren Fahrmanövern erreicht wird. Man kann also sagen, dass bei größeren, im Alltag aber noch üblichen Querbeschleunigungen der genannte Zwischenwert nicht unterschritten wird.

**[0036]** Bevorzugt steigt der Kompensationsanteil bis zu einer zweiten Beschleunigung, die kleiner ist als die erste Beschleunigung, monoton bis zum Zwischenwert an. Ausgehend von Null (also 0 m/s<sup>2</sup> Querbeschleunigung) steigt der Kompensationsanteil als Funktion der Querbeschleunigung monoton an, bis er bei der zweiten Beschleunigung den Zwischenwert erreicht. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass unterhalb der zweiten Beschleunigung ein Kompensationsanteil unterhalb des Zwischenwertes vorliegt. Wie bereits erwähnt, ist bei niedrigen Querbeschleunigung im Allgemeinen ein relativ geringer Kompensationsanteil ausreichend, ohne dass sich dies nachteilig auf die Stabilität des Fahrzeugs auswirken würde. Tatsächlich wird bei derart niedrigen Querbeschleunigungen, die bspw. im Zusammenhang mit Lenkbewegungen bei niedriger Geschwindigkeit auftreten, ein Neigen des Fahrzeugs unter Umständen als unangenehm oder irritierend empfunden. Insofern kommt es oftmals dem Fahrgefühl zugute, wenn der Kompensationsanteil in der beschriebenen Weise niedrig gehalten wird und somit keine oder nur geringe Neigebewegungen erfolgen.

**[0037]** Dabei kann die zweite Beschleunigung bevorzugt zwischen 1 m/s<sup>2</sup> und 2,5 m/s<sup>2</sup> liegen, weiter bevorzugt zwischen 1,5 m/s<sup>2</sup> und 2 m/s<sup>2</sup>. Insofern, als sich hierbei um vergleichsweise moderate Beschleunigungen handelt, steigt der Kompensationsanteil zwischen Null und der zweiten Beschleunigung relativ stark als Funktion der Querbeschleunigung an.

**[0038]** Weitere vorteilhafte Einzelheiten und Wirkungen der Erfindung sind im Folgenden anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine rückwärtige Ansicht eines erfindungsgemäßen Neigefahrzeugs bei einer Kurvenfahrt;

**Fig. 2** eine graphische Darstellung von Kompensationsanteilen als Funktion einer Querbeschleunigung; sowie

**Fig. 3** eine graphische Darstellung von Neigungswinkeln als Funktion der Querbeschleunigung.

**[0039]** In den unterschiedlichen Figuren sind gleiche Teile stets mit denselben Bezugszeichen versehen, weswegen diese in der Regel auch nur einmal beschrieben werden.

**[0040]** **Fig. 1** zeigt eine hintere Ansicht eines Neigefahrzeug 1 gemäß der vorliegenden Erfindung, das sich in einer Kurvenfahrt befindet. Das Neigefahrzeug 1 umfasst eine Achse 2 (die eine gelenkte oder ungelenkte Vorderachse oder Hinterachse sein kann) mit zwei nebeneinander liegenden Rädern 3, 4, die beweglich an einem Fahrzeugaufbau 5 angeordnet sind. Der Fahrzeugaufbau 5 kann u.a. auch den Fahrer sowie eine weitere Nutzlast tragen.

**[0041]** Bei der in **Fig. 1** dargestellten Kurvenfahrt wird eine Linkskurve gefahren. Das Neigefahrzeug 1 verfügt über eine Neigetechnik, gemäß der die Räder 3, 4 entlang einer Hochachse (Z-Achse) des Fahrzeugaufbaus 5 einzeln auslenkbar sind. Dabei ist ein kurvenäußeres Rad 3 abwärts ausgelenkt und ein kurveninneres Rad 4 aufwärts ausgelenkt. Hierdurch ist eine Neigung des Fahrzeugaufbaus 5 um seine Längsachse (X-Achse) möglich. Ziel der Neigung ist es, etwaige Kippmomente zumindest soweit zu reduzieren, dass verhindert wird, dass eines der Räder 3, 4 den Kontakt zur Fahrfläche verliert. Die Neigung wird durch wenigstens einen hier nicht dargestellten Aktor beeinflusst, der bspw. auf eine Aufhängung der Räder 3, 4 wirken kann.

**[0042]** Die Einstellung eines Neigungswinkels  $\varphi$  erfolgt dabei durch eine Steuereinheit 6, die hier lediglich schematisch dargestellt ist und die aus einer oder mehreren Komponenten bestehen kann, die teilweise auch softwaremäßig ausgestaltet sein können. Die Steuereinheit 6 wirkt auf den wenigstens einen Aktor ein bzw. dieser kann auch als Teil der Steuereinheit 6 gesehen werden. Die Steuereinheit 6 ist aber dazu eingerichtet, eine auf das Neigefahrzeug 1 wirkende Querbeschleunigung  $a$  festzustellen. Dies kann entweder unmittelbar über einen geeigneten Beschleunigungssensor oder bspw. mittelbar durch Messung der Fahrzeuggeschwindigkeit und Ermittlung eines Kurvenradius über den Einschlagwinkel der lenkenden Räder erfolgen. Wie in **Fig. 1** erkennbar, wirken auf den Schwerpunkt des Neigefahrzeugs 1 zwei Beschleunigungen, nämlich die Querbeschleunigung  $a$  sowie die Erdbeschleunigung  $g$ . Allgemein kann man diese beiden Beschleunigungen in Komponenten zerlegen und dabei in Richtung der Y-Achse wirkende Y-Komponenten  $a_y$  und  $g_y$  identifizieren. Bezeichnet man den Neigungswinkel mit  $\varphi$ , so gilt für die Y-Komponenten:

$$a_y = a \cos \varphi$$

$$g_y = g \sin \varphi$$

**[0043]** Bei der gezeigten Neigung des Neigefahrzeugs 1 sind diese beiden Y-Komponenten selbstverständlich entgegengesetzt gerichtet, so dass sie einander ganz oder teilweise kompensieren. Als Maß hierfür kann ein Kompensationsanteil  $K$  folgendermaßen definiert werden:

$$K = \frac{g_y}{a_y} = \frac{g}{a} \tan \varphi$$

**[0044]** Die Steuereinheit 6 ist im vorliegenden Fall dazu eingerichtet, den Neigungswinkel  $\varphi$  in Abhängigkeit von der Querschleunigung so einzustellen, dass der Kompensationsanteil  $K$  wie in **Fig. 2** dargestellt als Funktion der Querschleunigung  $a$  variiert. Der Kompensationsanteil  $K$  beginnt bei einer Querschleunigung von  $0 \text{ m/s}^2$  mit einem Wert von  $0 \%$  und steigt streng monoton an, bis er bei einer ersten Beschleunigung  $a_1$  von ca.  $4,7 \text{ m/s}^2$  einen globalen Maximalwert  $K_{\max}$  erreicht, der in diesem Fall ca.  $67 \%$  beträgt. D. h., für kleine Querschleunigungen erfolgt keine oder eine nur geringfügige Kompensation, wodurch auch der Neigungswinkel  $\varphi$  sehr klein bleibt. Anders ausgedrückt, das Neigefahrzeug 1 verhält sich in diesem Bereich vergleichsweise steif und neigt dazu, aufrecht zu bleiben, was bspw. bei geringen Geschwindigkeiten verhindert, dass es zu einem häufigen und für den Fahrer eventuell unangenehmen Neigungswechsel kommt. Alternativ zu dem hier gezeigten Verlauf könnte der Kompensationsanteil bei  $0 \text{ m/s}^2$  einen größeren Wert, z.B.  $20 \%$  oder  $40 \%$  annehmen und hiervon ausgehend bis zum globalen Maximalwert  $K_{\max}$  ansteigen.

**[0045]** Zu beachten ist, dass der Verlauf der Kurve konvex ist, so dass ihre anfänglich starke Steigung zum globalen Maximalwert  $K_{\max}$  hin immer mehr abnimmt. D. h., bereits für vergleichsweise moderate Querschleunigungen erhöht sich der Kompensationsanteil  $K$  deutlich. So erreicht er bspw. bei einer zweiten Beschleunigung  $a_2$  von ca.  $1,8 \text{ m/s}^2$  einen Zwischenwert  $K_m$  von  $50 \%$ . Somit ist der für den Fahrer spürbare Anteil der Querschleunigung hier deutlich reduziert. Der hiermit verbundene Neigungswinkel ist aber immer noch vergleichsweise gering (ca.  $5^\circ$ ), wie aus **Fig. 3** erkennbar ist, die den Verlauf des Neigungswinkels  $\varphi$  als Funktion der Querschleunigung  $a$  illustriert. In **Fig. 2** sind zum Vergleich mit dem erfindungsgemäßen Kompensationsanteil  $K$  der Kompensationsanteil  $K_{100}$  (entsprechend  $100 \%$ ) sowie der Kompensationsanteil  $K_{50}$  (entsprechend dem Zwischenwert von  $50 \%$ ) eingezeichnet. Ebenso sind in **Fig. 3** der Verlauf des Neigungswinkels  $\varphi_{100}$  (entsprechend einem Kompensationsanteil von  $100 \%$ ) sowie  $\varphi_{50}$  (entsprechend einem Kompensationsanteil von  $50 \%$ ) eingezeichnet.

**[0046]** Oberhalb der ersten Beschleunigung  $a_1$  fällt der Kompensationsanteil streng monoton ab. Dabei bleibt er allerdings bis zum Zweifachen der ersten Beschleunigung (und darüber hinaus) oberhalb des Zwischenwerts von  $50 \%$ . Der Verlauf der Kurve in diesem Bereich kann zumindest teilweise ebenfalls leicht konvex sein. Wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist, steigt der Neigungswinkel weiterhin an, weshalb

auch die Y-Komponente  $g_y$  der Erdbeschleunigung weiterhin ansteigt. Die Abnahme des Kompensationsanteils rührt dabei von einem im Verhältnis stärkeren Anstieg der Y-Komponente  $a_y$  der Querschleunigung her. Ebenfalls in **Fig. 3** erkennbar wird im Bereich von  $9$  bis  $10 \text{ m/s}^2$  (was im alltäglichen Gebrauch selten überschritten wird) gerade ein Neigungswinkel im Bereich von  $30^\circ$  erreicht, was für typische Neigefahrzeuge 1 mechanisch noch möglich ist. Im Vergleich dazu wird ein entsprechender Neigungswinkel bei einem Kompensationsanteil von  $100 \%$  bereits bei ca.  $6 \text{ m/s}^2$  erreicht. In diesem Fall würde der Fahrer also bis zu diesem Wert der Querschleunigung eine vollständige Kompensation erfahren, während danach aufgrund der mechanisch gegebenen Grenze der tatsächlich erreichbare Kompensationsanteil vergleichsweise schnell abnehmen würde. Dies könnte dazu führen, dass der Fahrer die Grenzen der Fahrsicherheit falsch einschätzt. Im Gegensatz hierzu nimmt der Kompensationsanteil  $K$  bereits nach Durchlaufen der ersten Beschleunigung  $a_1$  ab, was für den Fahrer einen körperlich spürbarer Hinweis darauf ist, dass er sich der Stabilitätsgrenze annähert.

#### Bezugszeichenliste:

1	Neigefahrzeug
2	Achse
3, 4	Rad
5	Steuereinheit
6	Hinterachse
$\varphi, \varphi_{50}, \varphi_{100}$	Neigungswinkel
$a, a_1, a_2$	Querschleunigung
$g$	Erdbeschleunigung
$a_y, g_y$	Y-Komponente
$K, K_{50}, K_{100}$	Kompensationsanteil
X	X-Achse
Y	Y-Achse
Z	Z-Achse

#### Patentansprüche

1. Neigefahrzeug (1), mit wenigstens einer mehrrädigen Achse (2), einem Fahrzeugaufbau (5) und einer Steuereinheit (6), die dazu eingerichtet ist, eine auf das Neigefahrzeug (1) wirkende Querschleunigung ( $a$ ) zu erkennen und einen Neigungswinkel ( $\varphi$ ) des Fahrzeugaufbaus (5) um dessen Längsachse (X) aktiv einzustellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (6) dazu eingerichtet ist, den Neigungswinkel ( $\varphi$ ) derart einzustellen, dass in Richtung der Querachse (Y) des Fahrzeugaufbaus (5) eine Y-Komponente ( $a_y$ ) der

Querbeschleunigung ( $a$ ) teilweise durch eine Y-Komponente ( $g_y$ ) der Erdbeschleunigung ( $g$ ) kompensiert wird, entsprechend einem vorgegebenen Kompensationsanteil ( $K$ ), der in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung ( $a$ ) zu einem globalen Maximalwert ( $K_{\max}$ ) bei einer ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) streng monoton ansteigt und darüber abfällt.

2. Neigefahrzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kompensationsanteil ( $K$ ) bei der ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) kleiner als 100%, bevorzugt kleiner als 90%, weiter bevorzugt kleiner als 80%, besonders bevorzugt kleiner als 70 % ist.

3. Neigefahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Beschleunigung ( $a_1$ ) zwischen  $3 \text{ m/s}^2$  und  $6 \text{ m/s}^2$  liegt.

4. Neigefahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kompensationsanteil ( $K$ ) bei Null höchstens 40%, bevorzugt höchstens 20%, weiter bevorzugt höchstens 10% beträgt.

5. Neigefahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kompensationsanteil ( $K$ ) oberhalb der ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) monoton abfällt.

6. Neigefahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kompensationsanteil ( $K$ ) von der ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) wenigstens bis zum Zweifachen der ersten Beschleunigung ( $a_1$ ) über einem Zwischenwert ( $K_m$ ) liegt, der wenigstens 30%, bevorzugt wenigstens 40%, weiter bevorzugt wenigstens 50% beträgt.

7. Neigefahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kompensationsanteil ( $K$ ) bis zu einer zweiten Beschleunigung ( $a_2$ ), die kleiner ist als die erste Beschleunigung ( $a_1$ ), monoton bis zum Zwischenwert ( $K_m$ ) ansteigt.

8. Neigefahrzeug nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Beschleunigung ( $a_2$ ) zwischen  $1 \text{ m/s}^2$  und  $2,5 \text{ m/s}^2$  liegt.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

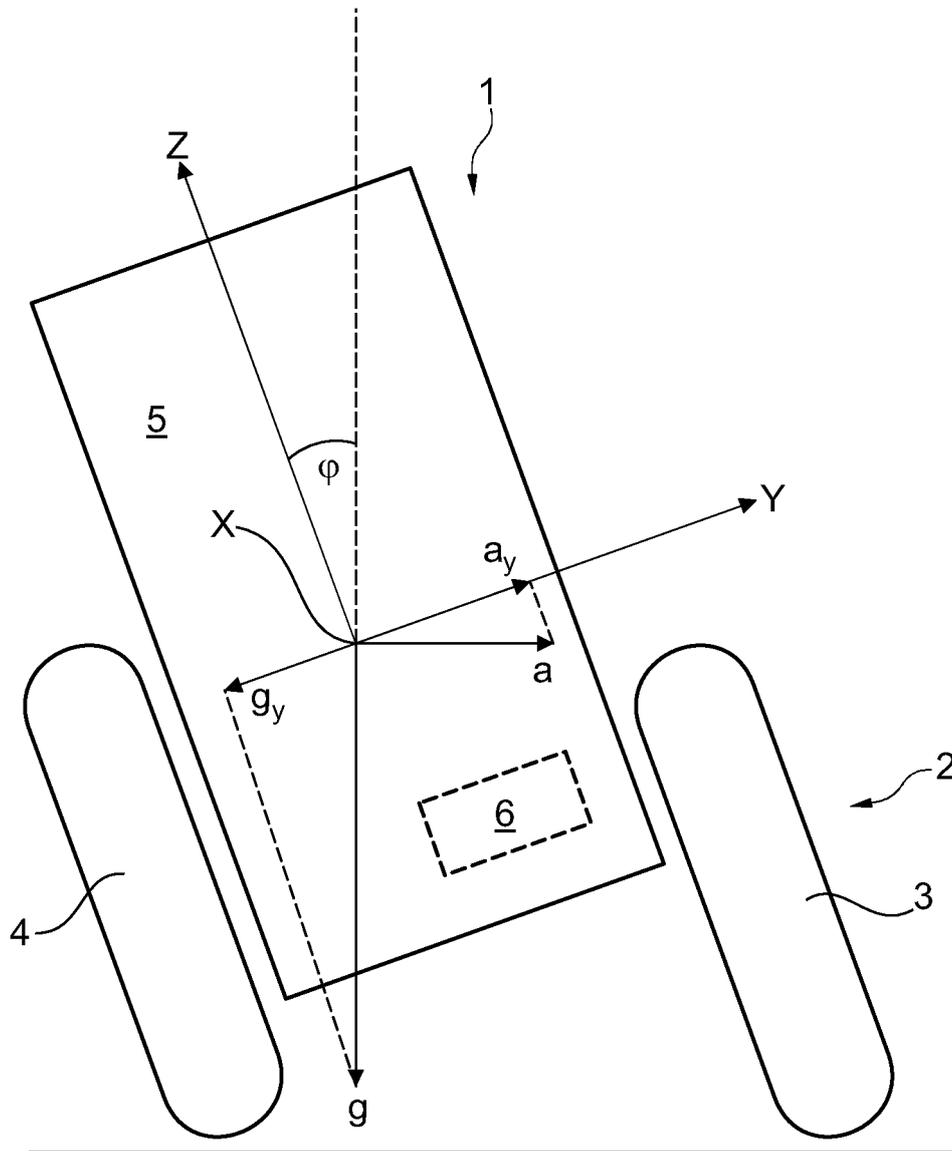


Fig. 1

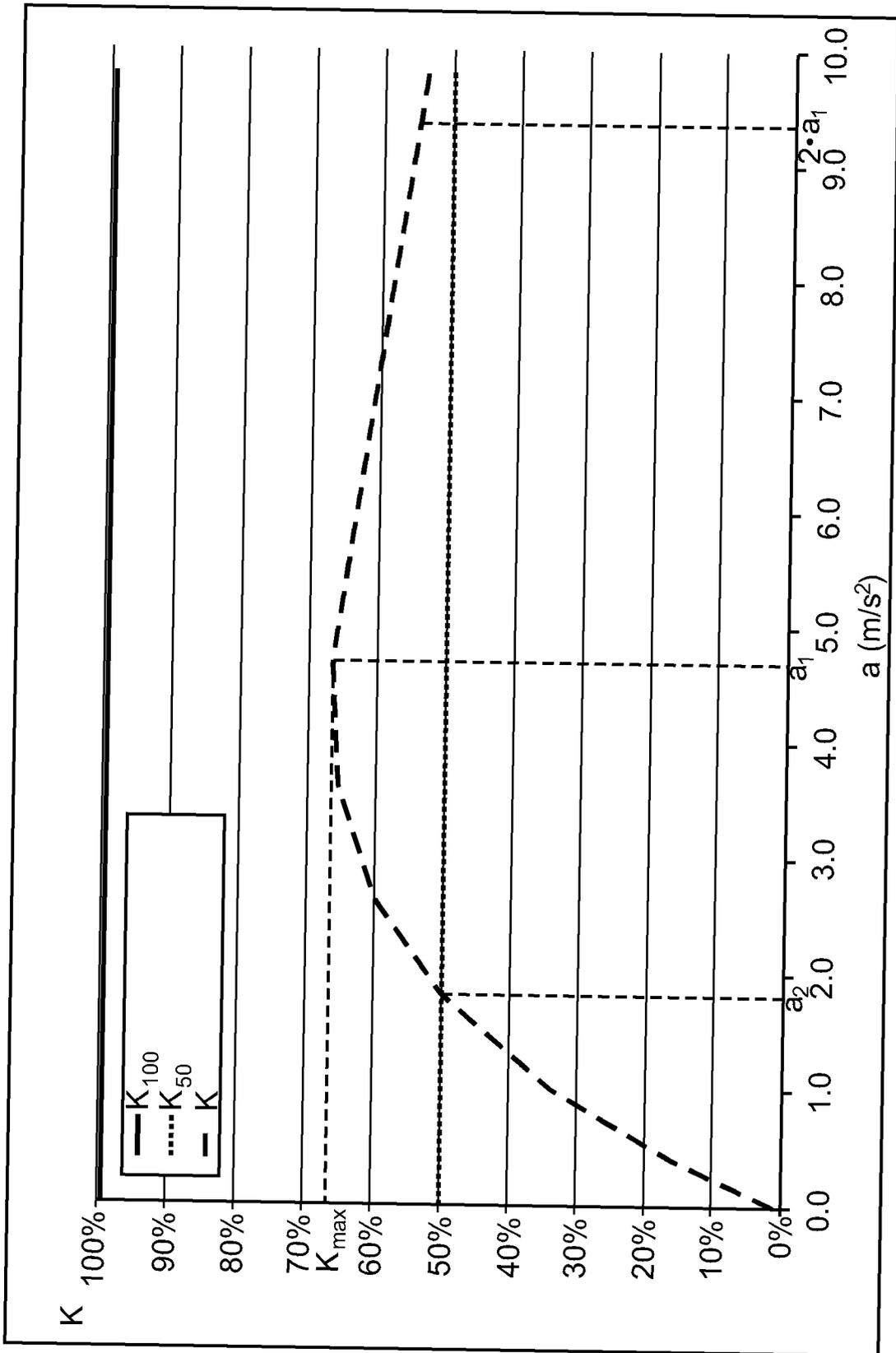


Fig. 2

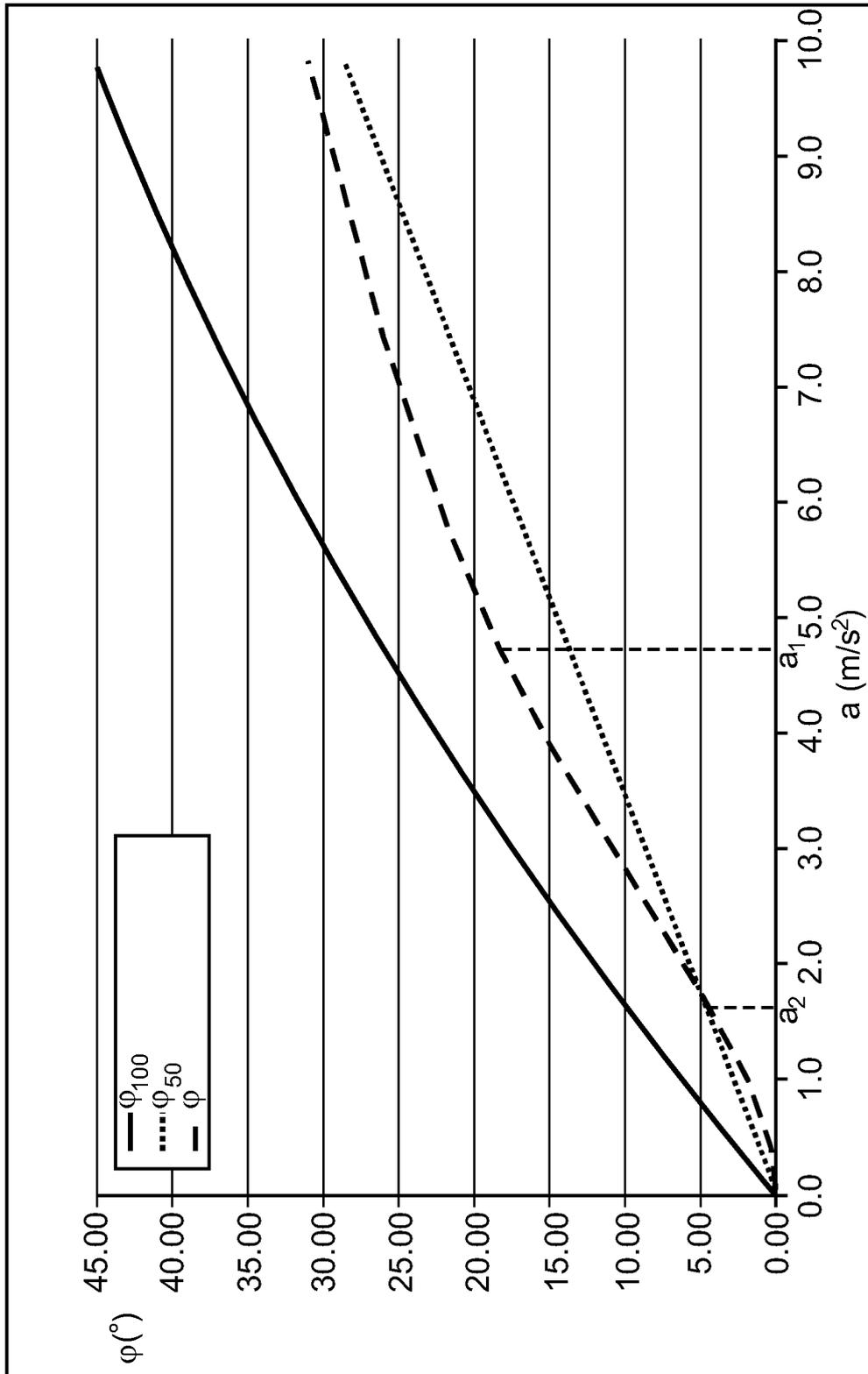


Fig. 3