

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Juni 2024 (27.06.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/132399 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60W 30/02 (2012.01) *B60W 40/068* (2012.01)
B60W 40/064 (2012.01) *B62D 6/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/083322

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. November 2023 (28.11.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 134 152.6
20. Dezember 2022 (20.12.2022) DE

(71) Anmelder: **ZF CV SYSTEMS GLOBAL GMBH**
[CH/CH]; Giacomettistrasse 1, 3006 Bern (CH).

(72) Erfinder: **BIEBER, Benjamin**; Am Wedemarkbad 13A, 30900 Wedemark (DE). **BÖTTCHER, Jonas**; Frobeniusweg 13, 30455 Hannover (DE). **PLÄHN, Klaus**; Schusterbrink 2 a, 30926 Seelze (DE). **WULF, Oliver**; Zum Dammkrug 3, 31535 Neustadt (DE).

(74) Anwalt: **RABE, Dirk-Heinrich**; Am Lindener Hafen 21, 30453 Hannover (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: METHOD FOR APPROXIMATING A FRICTION VALUE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM APPROXIMIEREN EINES REIBWERTS

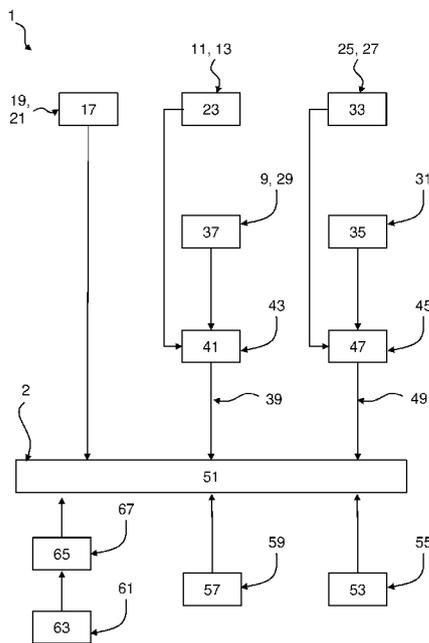


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method (1) for approximating a friction value (2), having the steps of: ascertaining (17) at least one load characteristic (19); ascertaining (23) a target variable (11) of the vehicle (300); ascertaining (33) an expected manipulated variable value (25) which indicates the predicted value of a manipulated variable (5) to be provided in order to set the target variable (11), wherein the step of ascertaining (33) the expected manipulated variable value (25) is carried out using the load characteristic (19); ascertaining (37) an actual variable (9) which corresponds to the target variable (11); ascertaining (35) an actual manipulated variable value (31) which is provided on the steering mechanism (324) in order to actuate the actual variable (9); ascertaining (47) a manipulated variable deviation (45) between the expected manipulated variable value (25) and the actual manipulated variable value (31); and/or ascertaining (41) a target/actual deviation (43) between the target variable (11) and the corresponding actual variable (9); and approximating (33) the friction value (2) on the basis of the ascertained load characteristic (5) and on the basis of the ascertained manipulated variable deviation (25) and/or the ascertained target/actual deviation (29). The invention additionally relates to a driver assistance system (200), to a vehicle (300), and to a computer program product.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (1) zum Approximieren eines Reibwerts (2), aufweisend: Ermitteln (17) zumindest einer Lastcharakteristik (19); Ermitteln (23) einer Soll-Größe (11) des Fahrzeugs (300); Ermitteln (33) eines Stellgrößenerwartungswerts (25), der einen Vorhersagewert einer zum Einstellen der Soll-Größe (11) bereitzustellenden Stellgröße (5) angibt, wobei das Ermitteln (33) des Stellgrößenerwartungswerts (25) unter Verwendung der Lastcharakteristik (19) erfolgt; Ermitteln (37) einer zur Soll-Größe (11) korrespondierenden Ist-Größe (9); Ermitteln (35) eines Stellgrößenerwartungswerts (31), der an der Lenkung (324) bereitgestellt wird, um die Ist-Größe



WO 2024/132399 A1

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
-

(9) auszusteuern; Ermitteln (47) einer Stellgrößenabweichung (45) zwischen dem Stellgrößenerwartungswert (25) und dem Stellgrößen-Istwert (31); und/oder Ermitteln (41) einer Soll-Ist-Abweichung (43) zwischen der Soll-Größe (11) und der korrespondierenden Ist-Größe (9); Approximieren (33) des Reibwerts (2) basierend auf der ermittelten Lastcharakteristik (5) und basierend auf der ermittelten Stellgrößenabweichung (25) und/oder der ermittelten Soll-Ist-Abweichung (29). Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrerassistenzsystem (200), ein Fahrzeug (300) und ein Computerprogrammprodukt.

Verfahren zum Approximieren eines Reibwerts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Approximieren eines Reibwerts zwischen Rädern eines Fahrzeugs und einer Fahrbahn. Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrerassistenzsystem, ein Fahrzeug und ein Computerprogrammprodukt.

Die Fähigkeit eines Fahrzeugs seine Geschwindigkeit oder Richtung zu ändern, hängt im Wesentlichen von den Kräften ab, die die Reifen des Fahrzeugs auf eine Fahrbahn übertragen können. Die wichtigste Einflussgröße für die übertragbaren Kräfte ist der Reibwert zwischen der Straße und den Reifen des Fahrzeugs. Dieser Reibwert wird durch eine Bereifung des Fahrzeugs und durch Eigenschaften der Fahrbahn beeinflusst. Insbesondere die Fahrbahneigenschaften können im Laufe einer Fahrt erheblich variieren.

Ein menschlicher Fahrer schätzt die Fahrbahnverhältnisse visuell durch eine Windschutzscheibe des Fahrzeugs hindurch und/oder akustisch durch Abrollgeräusche der Räder des Fahrzeugs auf der Fahrbahn ab. Hierbei nutzt ein menschlicher Fahrer Erfahrungen und Wissen über eine aktuelle Bereifung sowie ein Lenkverhalten des Fahrzeugs und berücksichtigt darüber hinaus aktuelle Witterungsbedingungen. Für die sichere Fahrzeugführung ist der aktuelle Reibwert essenziell, da die Fahrweise mit Hilfe dieser Information angepasst werden kann, indem die beabsichtigte Fahrzeugbewegung gegenüber der tatsächlichen Fahrzeugbewegung verglichen wird. Ein erfahrener Kraftfahrer schätzt so laufend ab, welche Längs- und Querbeschleunigungen für das Fahrzeug gefahrlos möglich sind. Zum korrekten Einschätzen der zur Führung des Fahrzeugs auf die Fahrbahn übertragbaren Kräfte und damit auch der möglichen Bewegungsänderungen des Fahrzeugs ist langjährige Erfahrung unerlässlich. Insbesondere ungeübte Fahrer können den Reibwert zwischen den Rädern des Fahrzeugs und der Fahrbahn falsch einschätzen, wodurch ein erhebliches Unfallrisiko besteht. Auch bei autonomen Fahrzeugen ist eine sichere Beurteilung des Reibwerts für einen sicheren Betrieb des Fahrzeugs wichtig.

Sensorbasierte Ansätze zur automatisierten Beurteilung von Fahrbahnverhältnissen sind bekannt. So sind beispielsweise optische Sensoren verfügbar, die eine vor dem Fahrzeug liegende Fahrbahn optisch erfassen und die optisch erfassten Bilddaten auswerten, um Hafteigenschaften der Fahrbanoberfläche abzuschätzen. Diese Sensoren haben jedoch mehrere Nachteile. Zunächst sind die Ergebnisse stark von den Eigenschaften des Sensors beeinflusst und unter Umständen nicht in allen Fahrsituationen einsetzbar. So können beispielsweise Systeme, welche herkömmliche Kameras nutzen, aufgrund schlechter Lichtverhältnisse nur tagsüber eingesetzt werden. Des Weiteren berücksichtigen optische Systeme nur Aspekte der Fahrbahn und vernachlässigen fahrzeugspezifische Aspekte.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Approximieren eines Reibwerts zwischen Rädern eines Fahrzeugs und einer Fahrbahn, ein Fahrerassistenzsystem, ein Fahrzeug und/oder ein Computerprogrammprodukt anzugeben, das vorzugsweise ausreichend genau ist, eine verbesserte Sicherheit ermöglicht und/oder zuverlässig einsetzbar ist.

In einem ersten Aspekt löst die Erfindung die vorgenannte Aufgabe mittels eines Verfahrens zum Approximieren eines Reibwerts zwischen Rädern eines Fahrzeugs in einer gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration und einer Fahrbahn, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Ermitteln zumindest einer Lastcharakteristik der gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration; Ermitteln einer Soll-Größe des Fahrzeugs für eine Fahrsituation; Ermitteln eines Stellgrößenerwartungswerts, der einen Vorhersagewert einer zum Einstellen der Soll-Größe an einer Lenkung bereitzustellenden Stellgröße angibt; Ermitteln einer zur Soll-Größe korrespondierenden Ist-Größe in der Fahrsituation; Ermitteln eines Stellgrößen-Istwerts, der in der Fahrsituation an der Lenkung bereitgestellt wird, um eine Ist-Größe auszusteuern; Ermitteln einer Stellgrößenabweichung zwischen dem Stellgrößenerwartungswert und dem Stellgrößen-Istwert, und/oder Ermitteln einer Soll-Ist-Abweichung zwischen der Soll-Größe und der Ist-Größe; und Approximieren des Reibwerts basierend auf der ermittelten Lastcharakteristik und basierend auf der ermittelten Stellgrößenabweichung und/oder der ermittelten Soll-Ist-Abweichung.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die zum Einstellen einer bestimmten Ausgangsgröße bzw. Ist-Größe an einer Lenkung bereitzustellende Stellgröße zu dem Reibwert zwischen den Rädern des Fahrzeugs und der Fahrbahn korrespondiert. So ist

eine zum Drehen der Räder bereitzustellende Kraft bzw. ein zum Drehen der Räder bereitzustellendes Drehmoment in weiten Betriebsbereichen umso größer, je größer der Reibwert zwischen der Fahrbahn und den gelenkten Rädern ist. Diese Erkenntnis macht sich die Erfindung zunutze, um basierend auf der Ist-Größe und der korrespondierenden Stellgröße den gegenwärtigen Reibwert zu approximieren. Ferner basiert die Erfindung auf der Erkenntnis, dass nicht nur ein auf ein gelenktes Rad aufgebracht Drehmoment, sondern auch eine Belastung des gelenkten Rades von entscheidender Bedeutung ist. Diese Belastung des gelenkten Rades wird durch die Lastcharakteristik berücksichtigt. Das Verfahren erlaubt ein sehr einfaches, kostengünstiges und/oder schnelles Approximieren des Reibwerts, da das Approximieren basierend auf Abweichungen zwischen Erwartungswerten und tatsächlich während der Fahrsituation auftretenden Größen basiert. Das Verfahren kann vorteilhaft unter Verwendung von Fahrzeugsensoren, die in modernen Fahrzeugen bereits vorhanden sind, (oder deren Signalen) durchgeführt werden.

Der Reibwert bestimmt die maximal zwischen Fahrzeug und Fahrbahn übertragbaren Kräfte. Die Fahrsituation ist vorzugsweise eine Lenksituation des Fahrzeugs, also eine Situation, in der sich die Stellung der Räder des Fahrzeugs, die Ausrichtung des Fahrzeugs und/oder die Gierrate des Fahrzeugs ändert. Beispielsweise ist die Fahrsituation eine Kurvenfahrt eines Fahrzeugs oder ein Teilabschnitt einer Kurvenfahrt. Die Fahrsituation ist kein diskreter Zeitpunkt, sondern ein Zeitabschnitt. Die Fahrsituation umfasst zumindest einen Zeitabschnitt, der benötigt wird, um durch Vorgeben einer Stellgröße eine Änderung der Ist-Größe hervorzurufen und/oder in Folge der Änderung der Ist-Größe eine Wirkung am Fahrzeug zu erzielen. Vorzugsweise kann die Fahrsituation auch einen Stillstand des Fahrzeugs umfassen. Beispielsweise kann die Fahrsituation ein Testlenken eines stillstehenden Fahrzeugs umfassen.

Die Stellgröße kann eine von der Lenkung unmittelbar an den Reifen ausgesteuerte Größe sein. Vorzugsweise ist die Stellgröße aber eine physikalische Größe, die an der Lenkung bereitgestellt wird, um einen zur Stellgröße korrespondierende Ist-Größe auszusteuern.

Der Stellgrößen-Erwartungswert ist derjenige Wert der Stellgröße, der gemäß einer Prognose an der Lenkung bereitgestellt werden muss, um die für eine Fahrsituation vorgesehene Soll-Größe auszusteuern. Der Stellgrößen-Istwert ist hingegen der in der

Fahrsituation tatsächlich an der Lenkung bereitgestellte Wert der Stellgröße. Es soll verstanden werden, dass durch Bereitstellen des Stellgrößen-Istwerts bzw. einer Stellgröße in Höhe des Stellgrößen-Istwerts in der Fahrsituation nicht zwangsläufig auch eine Ist-Größe angesteuert werden muss, die der Soll-Größe entspricht. In der Fahrsituation (Ist-Situation) kann also die Ist-Größe identisch oder verschieden zur Soll-Größe sein. Zudem kann in der Ist-Situation die Ist-Stellgröße zur Soll-Stellgröße identisch oder verschieden sein. Beispielsweise kann in der Fahrsituation sowohl eine Soll-Ist-Abweichung als auch eine Stellgrößenabweichung auftreten. Es soll verstanden werden, dass ein Ermitteln einer Soll-Ist-Abweichung auch für den Fall einer mit der Soll-Größe übereinstimmenden Ist-Größe durchgeführt werden kann und/oder ein Ermitteln einer Stellgrößenabweichung auch für den Fall einer mit der Soll-Stellgröße übereinstimmenden Ist-Stellgröße durchgeführt werden kann. Für die Soll-Ist-Abweichung bzw. die Stellgrößenabweichung wird in diesem Fall ein Wert von null ermittelt.

Vorzugsweise wird das Approximieren des Reibwerts basierend auf der ermittelten Lastcharakteristik und basierend auf der ermittelten Stellgrößenabweichung nur durchgeführt, wenn der Stellgrößen-Istwert außerhalb einer Stellgrößentoleranz um den Stellgrößenerwartungswert liegt und/oder basierend auf der ermittelten Soll-Ist-Abweichung nur durchgeführt, wenn die Ist-Größe außerhalb einer Ist-Größen-Toleranz um die Soll-Größe liegt.

In einer ersten bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist oder umfasst die Soll-Größe eine Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeugs und die Ist-Größe ist oder umfasst eine Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit. Die Lenkwinkelgeschwindigkeit, also die Änderungsgeschwindigkeit des Lenkwinkels, die beispielsweise in %/s angegeben werden kann, korrespondiert für ein konstantes zum Einstellen des Lenkwinkels anliegendes Lenkmoment besonders direkt mit dem Reibwert und eignet sich daher besonders als Soll- bzw. Ist-Größe.

Bevorzugt ist oder umfasst die Stellgröße ein an der Lenkung, insbesondere an einer Lenksäule der Lenkung, bereitgestelltes Lenkmoment. Dieses Lenkmoment kann unmittelbar auf die Räder übertragen oder auch durch eine Servolenkung verstärkt sein. Das Lenkmoment umfasst vorzugsweise die Summe aller zum Lenken der gelenkten Räder bereitgestellten Lenkmomente. Die Stellgröße kann aber beispielsweise auch eine an einem Stellmotor der Lenkung bereitgestellte Stromstellgröße sein. Vorzugsweise ist die

Lenkung eine aktive Lenkung, die das Ist-Lenkmoment zumindest teilweise basierend auf elektrischen Signalen bereitstellt.

Im Regelfall wird das Fahrzeug in der Fahrsituation so gesteuert, dass die Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit im Wesentlichen der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit entspricht, da ein Abweichen der Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit von der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit zu einer verzögerten bzw. zu schnellen Lenkreaktion des Fahrzeugs führt. Dies kann wiederum eine erhebliche Abweichung des Fahrzeugs von einem geplanten Pfad zur Folge haben. Je nach Höhe bzw. Wert des Reibwerts kann die Ist-Stellgröße, die zum Erreichen einer der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit entsprechenden Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit benötigt wird, stark variieren. Bei eisglatter Fahrbahn muss beispielsweise ein deutlich geringeres Lenkmoment aufgebracht werden, um die gelenkten Räder zu drehen, als bei Rädern, die zu einer rauen Fahrbahn Kontakt haben. Im Regelfall kann daher die Stellgrößenabweichung zum Approximieren des Reibwerts ermittelt werden. Es kann aber auch vorkommen, dass keine der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit entsprechende Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit angesteuert werden kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn hierfür ein maximal zugelassenes Lenkmoment überschritten werden müsste. Für den Fall, dass eine solche Soll-Ist-Abweichung vorliegt, kann auch diese zum Approximieren des Reibwerts verwendet werden. Selbstverständlich kann der Reibwert auch basierend auf der ermittelten Stellgrößenabweichung und der ermittelten Soll-Ist-Abweichung approximiert werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung weist das Verfahren ferner ein Ermitteln einer Querschleunigung des Fahrzeugs in der Fahrsituation auf, wobei das Approximieren des Reibwerts vorzugsweise zusätzlich basierend auf der Querschleunigung durchgeführt wird. Wenn ein Fahrzeug eine Kurve durchfährt, dann wirkt stets eine Querschleunigung auf das Fahrzeug. Diese Querschleunigung bewirkt ein Wanken des Fahrzeugs um eine Fahrzeuglängsachse. Dabei werden kurvenäußere Räder belastet und kurveninnere Räder entlastet. Dieser Lastwechsel kann sich auf die Ist-Größe auswirken, insbesondere dann, wenn die Lenkwinkelgeschwindigkeit als Ist-Größe betrachtet wird. So kann sich in Folge eines bei Lastkraftwagen üblicherweise vorliegenden positiven Lenkrollhalbmessers an einem kurvenäußeren Rad ein größeres rückdrehendes Moment einstellen als an einem kurveninneren Rad. Dieses zusätzliche querschleunigungsabhängige Moment beeinflusst die durch Vorgabe eines bestimmten Lenkmoments erreichbare Lenkwinkelgeschwindigkeit. Das bevorzugte Approximieren des Reibwerts

zusätzlich basierend auf der Querbesehleunigung erlaubt so eine genauere Approximation.

Vorzugsweise wird das Approximieren des Reibwerts nur dann durchgeführt, wenn die Querbesehleunigung unter einem Querbesehleunigungsgrenzwert liegt. Der Querbesehleunigungsgrenzwert ist bevorzugt kleiner gleich 2 m/s^2 . Durch den Querbesehleunigungsgrenzwert kann ein Einfluss der Querbesehleunigung auf die Approximation des Reibwerts limitiert werden. Das Verfahren kann mit geringerem Aufwand und/oder exakter durchgeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist oder umfasst die Lastcharakteristik eine gegenwärtige Achslast einer von der Lenkung gelenkten Lenkachse des Fahrzeugs. Die gegenwärtige Achslast ist diejenige Achslast, die in der Fahrsituation an der gelenkten Lenkachse vorliegt. Hierbei ist die gegenwärtige Achslast die im Moment bzw. im Zeitraum des Ermittelns der Ist-Größe vorliegende Achslast. Es soll jedoch verstanden werden, dass die gegenwärtige Achslast bereits zeitlich vor der Fahrsituation ermittelt werden kann. So kann die gegenwärtige Achslast beispielsweise bei einer Fahrzeugaktivierung, insbesondere auch während eines Stillstands des Fahrzeugs, oder während einer zeitlich vor der Fahrsituation erfolgten Geradeausfahrt des Fahrzeugs ermittelt werden. Es soll verstanden werden, dass die Ist-Größe und der Stellgrößen-Istwert vorzugsweise zumindest teilweise simultan ermittelt werden. Die Achslast auf der gelenkten Lenkachse korrespondiert besonders direkt zum Reibwert, sodass Störeinflüsse beim Approximieren des Reibwerts vermindert werden können. Es kann aber beispielsweise auch vorgesehen sein, dass die Lastcharakteristik eine Fahrzeuggesamtmasse, eine Teilfahrzeuggesamtmasse, eine Schwerpunktlage, ein Ladungsgewicht einer Ladung des Fahrzeugs und/oder eine Massenverteilung des Fahrzeugs.

Bevorzugt umfasst das Approximieren des Reibwerts ein Auswählen eines korrespondierenden Referenzreibwerts aus einer Reibwert-Datenbasis, die zumindest einen Referenzreibwert umfasst, basierend auf der Lastcharakteristik und basierend auf der Stellgrößenabweichung und/oder der Soll-Ist-Abweichung. Der Referenzreibwert ist ein Reibwert, der vor der Fahrsituation ermittelt wurde. Der Referenzreibwert korrespondiert dann zum gegenwärtigen Reibwert, wenn eine zum Referenzreibwert korrespondierende Referenzlastcharakteristik innerhalb einer Lasttoleranz um die ermittelte Lastcha-

rakteristik liegt, und wenn eine Referenzstellgrößenabweichung innerhalb Referenzstellgrößentoleranz um die Stellgrößenabweichung liegt und/oder eine Referenz-Soll-Ist-Abweichung innerhalb einer Referenz-Soll-Ist-Toleranz um die Soll-Ist-Abweichung liegt. Ein in der Fahrsituation vorliegender gegenwärtiger Reibwert kann mittels der vorbeschriebenen Weiterbildung des Verfahrens besonders einfach approximiert werden. So können die Lastcharakteristik, die Soll-Ist-Abweichung und/oder die Stellgrößenabweichung, die in der Regel während eines Betriebs des Fahrzeugs einfach verfügbar sind, genutzt werden, um den Reibwert zuverlässig zu approximieren. Beispielsweise können die Ist-Stellgröße und die Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit von der Lenkung des Fahrzeugs kontinuierlich ermittelt werden und verfügbar sein. Die Auswahl ist durch Verwendung der Parameterkombination aus Stellgröße, Ist-Größe und Lastcharakteristik einfach möglich. Die Reibwert-Datenbasis umfasst vorzugsweise gelernte Referenzreibwerte. Die Referenzreibwerte können beispielsweise in der Fahrsituation zeitlich vorausliegenden Fahrsituationen approximierte Reibwerte sein. So kann beispielsweise für eine bestimmte Achslast, ein zugehöriges Lenkmoment sowie eine in Folge des Lenkmoments auftretende Lenkwinkelgeschwindigkeit ein Reibwert approximiert und dieser dann als Referenzreibwert in der Reibwert-Datenbasis abgelegt werden. Die Reibwert-Datenbasis kann auch ganz oder teilweise auf Testfahrten basieren und/oder vorge speichert sein. Die Testfahrten können beispielsweise einen Einlernvorgang eines ESC, insbesondere bei hohem Reibwert und geringer Querdynamik des Fahrzeugs, umfassen. Es soll verstanden werden, dass die Reibwert-Datenbasis nicht auf einer Vielzahl von Testfahrten basieren muss und/oder keine sehr große Anzahl an Reibwerten umfassen muss. So kann beispielsweise für mehrere Referenzfahrsituationen, die auch in einem Normalbetrieb des Fahrzeugs auftretende Fahrsituationen sein können, ein maximal ermittelter Reibwert für eine in der Referenzfahrsituation vorliegende Achslast gespeichert werden. Unter Annahme einer linearen Abhängigkeit des Lenkmoments von der Radlast (oder Achslast) und einer indirekt proportionalen Abhängigkeit des Lenkmoments von einer Fahrzeuggeschwindigkeit kann dann auf weitere Referenzwerte geschlossen werden. Weicht nun beispielsweise die zum Erreichen einer Ist-Größe (Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit) benötigte Stellgröße (Lenkmoment) von einem so ermittelten Referenzwert ab, kann aus der Differenz auf den gegenwärtigen Reibwert geschlossen werden. So kann die Reibwert-Datenbasis mit geringem Aufwand aktualisiert werden. So kann die Reibwert-Datenbasis mit vergleichsweise geringem Aufwand an Änderungen der Lenkung und/oder der Bereifung des Fahrzeugs angepasst werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist das Verfahren ferner auf: Ermitteln zumindest eines Umweltindikators; wobei das Auswählen eines Referenzreibwerts aus der Reibwert-Datenbasis zusätzlich basierend auf dem Umweltindikator erfolgt. Der Umweltindikator repräsentiert Umweltbedingungen, insbesondere Witterungsbedingungen. Der Umweltindikator kann berücksichtigt werden, um die Auswahl des Referenzreibwerts zu verbessern.

Vorzugsweise ist oder repräsentiert der Umweltindikator ein Scheibenwischerstatus eines Scheibenwischers des Fahrzeugs, eine gegenwärtige Umgebungstemperatur, ein gegenwärtiges Datum und/oder eine geographische Lage des Fahrzeugs. Beispielsweise kann der Umweltindikator durch Auswerten eines Scheibenwischersignals erfolgen. So kennzeichnet ein mit hoher Frequenz laufender Scheibenwischer in der Regel starke Niederschläge, die wiederum im Vergleich zu trockenen Umgebungsbedingungen einen verminderten Reibwert bedingen. Die Umgebungstemperatur, das Datum und die geographische Lage erlauben, insbesondere in Verbindung mit einem Scheibenwischersignal, beispielsweise Rückschlüsse darauf, ob Eisglätte zu erwarten ist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst das Verfahren ferner ein Ermitteln einer Reibwert-Datenbasis. Vorzugsweise umfasst das Ermitteln der Reibwert-Datenbasis: Ermitteln eines Referenzreibwerts für eine Testkurvenfahrt, die der Fahrsituation zeitlich vorgelagert ist; Durchführen der Testkurvenfahrt; Ermitteln einer in einem Testzeitabschnitt vorliegenden Referenzlastcharakteristik; Ermitteln einer Referenz-Soll-Größe für die Testkurvenfahrt; Ermitteln eines Referenzstellgrößenerwartungswerts, der einen Vorhersagewert einer zum Einstellen der Referenz-Soll-Größe an einer Lenkung bereitzustellenden Stellgröße angibt, wobei das Ermitteln des Referenzstellgrößenerwartungswerts unter Verwendung der Referenzlastcharakteristik erfolgt; Ermitteln einer zur Referenz-Soll-Größe korrespondierenden Referenz-Ist-Größe für die Testkurvenfahrt; Ermitteln eines Referenzstellgrößen-Istwerts für die Testkurvenfahrt; Ermitteln einer Referenzstellgrößenabweichung zwischen dem Referenzstellgrößenerwartungswert und dem Referenzstellgrößen-Istwert; und/oder Ermitteln einer Referenz-Soll-Ist-Abweichung zwischen der Referenz-Soll-Größe und der korrespondierenden Referenz-Ist-Größe; und Zuordnen einer Parameterkombination aus der Referenz-Soll-Ist-Abweichung, der Referenzstellgrößenabweichung und der Referenzlastcharakteristik zum Referenzreibwert in der Reibwert-Datenbasis. Beim Ermitteln der Reibwert-Datenbasis

wird also vorzugsweise einem bekannten Referenzreibwert eine korrespondierende Parameterkombination zugewiesen.

Bevorzugt umfasst das Verfahren ferner: Detektieren eines Regelsystemeingriffs eines Regelsystems des Fahrzeugs; Ermitteln eines Reibwerts unter Verwendung von Regelsystemdaten, die von dem Regelsystem bereitgestellt werden; wobei das Approximieren des Reibwerts alternativ oder ergänzend basierend auf dem Reibwert erfolgt, falls ein Regelsystemeingriff detektiert wird. Das Regelsystem ist vorzugsweise ein Stabilitätsregelsystem des Fahrzeugs, insbesondere eine sogenannte Electronic Stability Control (ESC) und/oder ein Antiblockiersystem (ABS) des Fahrzeugs. Solche Stabilitätsregelsysteme sind in nahezu allen modernen Fahrzeugen vorgesehen. Stabilitätsregelsystem ermitteln im Falle eines Regelsystemeingriffs eine Vielzahl an Regelsystemdaten, die Rückschlüsse auf den Reibwert zulassen oder den Reibwert unmittelbar repräsentieren. Dies macht sich die Erfindung in der bevorzugten Weiterbildung zunutze.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das Verfahren ferner auf: Durchführen zumindest einer Folgeoperation unter Verwendung des approximierten Reibwerts, wobei die Folgeoperation ein Bereitstellen eines Warnsignals, ein Versetzen eines Stabilitätsregelsystems in einen präventiven Anregelmodus; ein Neuermitteln einer Trajektorie des Fahrzeugs, ein Ermitteln eines Bewegungsfreiheitsgradgrenzwerts, ein Limitieren eines Bewegungsfreiheitsgrads des Fahrzeugs und/oder ein Validieren eines Reibwertsensors ist oder umfasst. Die Folgeoperation wird vorzugsweise nur durchgeführt, falls der approximierte Reibwert einen Reibwertgrenzwert unterschreitet. So kann beispielsweise ein Warnsignal nur dann ausgegeben werden, wenn der Reibwert den Reibwertgrenzwert unterschreitet. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn das Fahrzeug auf einer eisglatten Fahrbahn fährt. Das Warnsignal ist vorzugsweise ein optisches, akustisches und/oder haptisches Warnsignal. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass das Warnsignal ein elektrisches Warnsignal ist, das an einer Steuereinheit des Fahrzeugs bereitgestellt wird. Die Trajektorie umfasst zumindest einen geplanten Pfad, der von dem Fahrzeug zum Erfüllen einer Fahraufgabe zu befahren ist. Ferner umfasst die Trajektorie eine fahrdynamische Vorgabe. Diese fahrdynamische Vorgabe ist oder umfasst vorzugsweise eine zum Befahren des Pfads vorgegebene Geschwindigkeit oder einen zum Befahren des Pfads vorgegebenen Geschwindigkeitsverlauf. Die Trajektorie wird von einer voll- oder teilautonomen Einheit, wie einer automatischen Dis-

tanzregelung oder einer autonomen Steuereinheit, die auch als virtueller Fahrer bezeichnet wird, ermittelt. Das Neuermitteln der geplanten Trajektorie kann ein vollständiges Neuermitteln der geplanten Trajektorie, ein teilweises Neuermitteln der geplanten Trajektorie und/oder ein Aktualisieren der geplanten Trajektorie sein. Ein teilweises Neuermitteln liegt beispielsweise dann vor, wenn eine von der geplanten Trajektorie umfasste Bahnkurve bzw. ein von der Trajektorie umfasster Pfad beibehalten wird und zugleich ein zum Befahren der Bahnkurve korrespondierendes Geschwindigkeitsprofil, das von der geplanten Trajektorie umfasst ist, neu ermittelt wird. Beim teilweisen Neuermitteln werden vorzugsweise alle der Trajektorienplanung zugrundeliegenden Informationen und/oder Daten erneut ermittelt. Beim Aktualisieren werden vorzugsweise nur einige der Trajektorienplanung zugrundeliegenden Informationen und/oder Daten erneut ermittelt. Der ermittelte Reibwert und/oder der Ermittelte Fahrdynamikgrenzwert wird vorzugsweise in der Trajektorie berücksichtigt, wodurch eine Sicherheit beim Nutzen des Fahrzeugs erhöht werden kann. Ein Einhalten des Fahrdynamikgrenzwerts gewährleistet im Regelbetrieb eine sichere und stabile Fahrt des Fahrzeugs. Vorzugsweise ist oder umfasst der Fahrdynamikgrenzwert eine maximal zulässige Fahrzeuggeschwindigkeit, eine maximal zulässige Querschleunigung, eine maximal zulässige Fahrzeugbeschleunigung, eine maximal zulässige Fahrzeugverzögerung, einen maximal zulässigen Lenkwinkelgradient, eine maximal zulässige Lenkfrequenz oder einen minimal zulässigen Kurvenradius des Fahrzeugs. Der Reibwertsensor ist vorzugsweise ein optischer und/oder akustischer Reibwertsensor.

In einem zweiten Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe mit einem Fahrerassistenzsystem, das dazu ausgebildet ist, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen. Vorzugsweise umfasst das Fahrerassistenzsystem eine Steuereinheit und eine Schnittstelle, die mit einem Fahrzeugnetzwerk des Fahrzeugs verbunden werden kann. Die Schnittstelle ist vorzugsweise zum Empfangen von Fahrzeugsignalen ausgebildet, welche zumindest die Lastcharakteristik, die Soll-Größe, die Ist-Größe, den Stellgrößenerwartungswert und/oder den Stellgrößen-Istwert repräsentieren. Es soll verstanden werden, dass einer oder mehrere der Ermittlungsschritte des Verfahrens von dem Fahrerassistenzsystem basierend auf solchen Fahrzeugsignalen erfolgen kann. Das Fahrerassistenzsystem muss also beispielsweise die Lastcharakteristik nicht unmittelbar selbst ermitteln, sondern kann diese beispielsweise auch basierend auf Lastsignalen ermitteln, die von einem Luftfedersystem des Fahrzeugs auf dem Fahrzeugnetzwerk bereitgestellt werden.

In einem dritten Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe durch ein Fahrzeug mit zumindest zwei Achsen, einem Bremssystem, einer Lenkung, vorzugsweise einer aktiven Lenkung, und einem Fahrerassistenzsystem gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung.

Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung wird die eingangs genannte Aufgabe mittels eines Computerprogrammprodukts gelöst, das Programmcode-Mittel aufweist, die auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sind, um das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einer Recheneinheit, insbesondere der Steuereinheit des Fahrerassistenzsystems gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung, ausgeführt wird.

Es soll verstanden werden, dass das Fahrerassistenzsystem gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung, das Fahrzeug gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung und das Computerprogrammprodukt gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung gleiche und ähnliche Unter Aspekte aufweisen, wie sie insbesondere in den abhängigen Ansprüchen zum Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung niedergelegt sind.

Ausführungsformen der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. Diese sollen die Ausführungsformen nicht notwendigerweise maßstäblich darstellen, vielmehr sind die Zeichnungen, wenn dies zur Erläuterung dienlich ist, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der aus den Zeichnungen unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige Modifikationen und Änderungen betreffend die Form und das Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, ohne von der allgemeinen Idee der Erfindung abzuweichen. Die in der Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Weiterbildung der Erfindung wesentlich sein. Zudem fallen in den Rahmen der Erfindung alle Kombinationen aus zumindest zwei der in der Beschreibung, den Zeichnungen und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmale. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im Folgenden gezeigten und beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen oder beschränkt auf einen Ge-

gegenstand, der eingeschränkt wäre im Vergleich zu dem in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand. Bei angegebenen Bemessungsbereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und beliebig einsetzbar und beanspruchbar sein. Der Einfachheit halber sind nachfolgend für identische oder ähnliche Teile oder Teile mit identischer oder ähnlicher Funktion gleiche Bezugszeichen verwendet.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen sowie anhand der Zeichnungen; diese zeigen in:

- Fig. 1 eine Draufsicht auf ein schematisch dargestelltes Fahrzeug;
- Fig. 2 eine als Kurvenfahrt illustrierte Fahrsituation des Fahrzeugs gemäß Fig. 1;
- Fig. 3 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Approximieren eines Reibwerts;
- Fig. 4 ein schematisches Ablaufdiagramm, das ein Ermitteln eines Auswählens eines Referenzreibwerts und ein vorgelagertes Ermitteln einer Reibwert-Datenbasis illustriert; und in
- Fig. 5 ein schematisches Ablaufdiagramm, das ein auf das Approximieren des Reibwerts folgendes Durchführen einer Folgeoperation illustriert.

Fig. 1 zeigt ein Fahrzeug 300, das als dreiachsiges Nutzfahrzeug 301 ausgebildet ist. Das Fahrzeug 300 umfasst nebeneiner Vorderachse 302 und einer Hinterachse 304 zusätzlich eine liftbare Zusatzachse 306, die in Fahrtrichtung 307 hinter der Hinterachse 304 angeordnet ist. Die liftbare Zusatzachse 306 (kurz Liftachse 306) kann angehoben bzw. geliftet werden, sodass die Masse des Fahrzeugs 300 bzw. eine aus der Last resultierende Gewichtskraft sich nur auf Vorderräder 308 der Vorderachse 302 und Hinterräder 310 der Hinterachse 304 verteilt. Bei abgesenkter Liftachse 306 wird die Gewichtskraft des Fahrzeugs 300 zusätzlich auf Zusatzräder 312 der Liftachse 306 verteilt.

Das Fahrzeug 300 weist mehrere Fahrzeugaktuatoren 314 auf, die dazu ausgebildet sind, das Fahrzeug 300 in dessen Längsdynamik und Querdynamik zu beeinflussen. Hierzu beeinflussen die Fahrzeugaktuatoren 314 mehrere Bewegungsfreiheitsgrade des Fahrzeugs 300. Zum Bremsen des Fahrzeugs 300 ist ein Bremssystem 316 vorgesehen, das eine Bremssteuereinheit 318, einen Bremsmodulator 320 und mehrere Bremsaktuatoren 322 aufweist. Die Bremsaktuatoren 322 sind den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 zugeordnet und dazu ausgebildet, an den Rädern 308, 310, 312 ein Bremsmoment 313 bereitzustellen. Aus Darstellungsgründen sind in Fig. 1 nur die Bremsaktuatoren 322 der Hinterräder 310 mit dem Bremsmodulator 320 verbunden. Zum Bremsen des Fahrzeugs 300 stellt der Bremsmodulator 320 einen Bremsdruck an den Bremsaktuatoren 322 bereit, die daraufhin einen Bremsschlupf an den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 aussteuern.

Als weiteren Fahrzeugaktuator 314 umfasst das Fahrzeug 300 eine Lenkung 324. Die Lenkung 324 ist dazu eingerichtet gelenkte Räder 326 einer lenkbaren Achse 328 des Fahrzeugs 300 zu steuern bzw. an den gelenkten Rädern 326 einen Lenkwinkel 330 auszusteuern. In dem Nutzfahrzeug 301 gemäß Fig. 1 stellt die Vorderachse 302 die lenkbare Achse 328 dar, sodass die Vorderräder 308a, 308b die gelenkten Räder 326 sind. Es kann aber beispielsweise auch vorgesehen sein, dass die Zusatzräder 312 der Zusatzachse 312 lenkbar sind, wobei die Zusatzachse 312 dann meist nicht liftbar ist.

Die Lenkung 324 ist hier eine aktive Lenkung 332, also eine zumindest teilweise elektronische Lenkung 332. Das Einstellen des Lenkwinkels 330 an den lenkbaren Rädern 326 erfolgt bei der aktiven Lenkung 332 nicht rein mechanisch, sondern zumindest teilweise basierend auf elektrischen Signalen. Hierfür weist die aktive Lenkung 332 eine Lenksteuereinheit 334 auf, die mit einem Stellmotor 336 verbunden ist. Der Stellmotor 336 ist an einer Lenksäule 338 der Lenkung 324 angeordnet und dazu ausgebildet ein Lenkmoment an der Lenksäule 338 bereitzustellen. Hierfür ist beispielsweise eine in den Figuren nicht dargestellte Abtriebswelle des Stellmotors 336 mittels eines Getriebes mit der Lenksäule 338 verbunden. Zum Bereitstellen des Lenkmoments empfängt der Stellmotor 336 entsprechende Stellmotorsteuersignale 342 von der Lenksteuereinheit 334. Die Stellmotorsteuersignale 342 können unmittelbar in Form eines Stellstroms bzw. einer Stellspannung am Stellmotor 336 bereitgestellt werden. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass der Stellmotor 336 eine Stellmotorsteuerung aufweist, die die Stellmotorsteuersignale 342 empfängt und einen korrespondierenden Stellstrom bzw.

eine korrespondierende Stellspannung bereitstellt. Die Lenksteuereinheit 334 kann das Fahrzeug 300 also mittels des Stellmotors 336 lenken.

Die teilelektronische Lenkung 332 ist nicht nur mittels der Lenksteuereinheit 334 steuerbar, sondern auch manuell. Hierfür weist die Lenkung 324 ein Lenkrad 344 auf, das über einen Torsionsstab 346 mit der Lenksäule 338 verbunden ist. Ein von einem menschlichen Fahrer mittels des Lenkrads 344 bereitgestelltes Handmoment 348 kann unter Verwendung des Torsionsstabs 346 mittels eines Handmomentsensors 350 messtechnisch erfasst werden. Der Handmomentsensor 350 erfasst eine Torsion des Torsionsstabs 346 und stellt ein korrespondierendes Handmomentsignal 352 bereit. Hierfür ist der Handmomentsensor 350 mit der Lenksteuereinheit 334 verbunden. Ferner meldet in dem gezeigten Ausführungsbeispiel auch der Stellmotor 336 ein bereitgestelltes Stellmotormomentsignal 354 an die Lenksteuereinheit 334 zurück. Die Lenksteuereinheit 334 kann unter Verwendung des Stellmotormomentsignals 354 und des Handmomentsignals 352 ein resultierendes Lenkmoment 3 der Lenkung 324 des Fahrzeugs 300 ermitteln. Das Lenkmoment 3 ist die Summe aus dem Handmoment 348, das manuell über das Lenkrad 344 aufgebracht wird, und einem vom Stellmotor 336 bereitgestellten Moment. Hierbei berücksichtigt die Lenksteuereinheit 334 ferner eine Momentenverstärkung die von einem hydraulischen Lenkmomentverstärker 358 bereitgestellt wird. Der Lenkmomentverstärker 358 empfängt als Eingang das Handmoment 348 und das Moment des Stellmotors 336 und steuert ein Lenkmoment 3 an den gelenkten Rädern 326 aus, das um einen vorbestimmten Verstärkungsfaktor verstärkt ist.

Das Lenkmoment 3 ist eine Stellgröße 5 der Lenkung 324, deren Vorgabe zum Aussteuern des Lenkwinkels 330 führt. Der Lenkwinkel 330 kann von der Lenksteuereinheit 334 ermittelt werden. Eine zeitliche Änderungsrate des Lenkwinkels 330 ist eine sogenannte Lenkwinkelgeschwindigkeit 7, die hier ebenfalls von der Lenksteuereinheit 334 ermittelt werden kann. Die Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 gibt also an, um welches Maß sich der Lenkwinkel 330 pro betrachtetem Zeitabschnitt ändert. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel hat die Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 einen Wert der Einheit Grad pro Sekunde ($^{\circ}/s$). Liegt demnach an den gelenkten Rädern 326 also für 2 s eine Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 von $10^{\circ}/s$ vor, dann ändert sich der Lenkwinkel 330 innerhalb des betrachteten Zeitraums von 2 s um 20° .

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Lenksteinereinheit 334 dazu ausgebildet, sowohl die Stellgröße 5, die hier das Lenkmoment 3 ist, als auch eine durch Vorgabe der Stellgröße an der Lenkung 324 bewirkte Ist-Größe 9, die hier die Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 ist, zu ermitteln. Das Fahrzeug 300 fährt auf einer Fahrbahn 366, wobei zwischen den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 und der Fahrbahn 366 ein Reibkontakt besteht. Ein Reibwert 2 zwischen der Fahrbahn 366 und den gelenkten Rädern 326 des Fahrzeugs 300 beeinflusst maßgeblich, welche Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 bei Vorgabe eines Lenkmoments 3 erreicht wird. So muss bei geringer Reibung und demzufolge auch geringem Reibwert 2 zwischen Fahrbahn 366 und den gelenkten Rädern 326 ein deutlich geringeres Lenkmoment 3 zum Erreichen der Lenkwinkelgeschwindigkeit 7 von 10°/s bereitgestellt werden als bei Vorliegen eines hohen Reibwerts 2 zwischen der Fahrbahn 366 und den gelenkten Rädern 326. Beim Bereitstellen derselben Stellgröße 5 an der Lenkung 324 können also für verschiedene Reibwerte 2 zwischen der Fahrbahn 366 und den gelenkten Rädern 326 auch verschiedene Ist-Größen 9 angesteuert werden. So setzt beispielsweise eine eisglatte Fahrbahn 366 einer Drehung der gelenkten Räder 326 ein deutlich geringeres zu überwindendes Drehmoment entgegen als eine trockene raue Fahrbahn 366. Ein Steuerverhalten des Fahrzeugs 300 wird maßgeblich von dem zwischen den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 und der Fahrbahn 300 vorliegenden Reibwert 2 bestimmt.

Das Fahrzeug 300 ist hier ein teilautonomes Fahrzeug 300 und umfasst eine autonome Einheit 370, die dazu ausgebildet ist, das Fahrzeug 300 zu steuern. Die autonome Einheit 370 ist über ein Fahrzeugnetzwerk 372, das hier ein CAN-Bussystem ist, mit der Lenksteinereinheit 334 verbunden. Zum Steuern des Fahrzeugs 300 stellt die autonome Einheit 370, die auch als virtueller Fahrer bezeichnet werden kann, Steuersignale 374 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit. Die Lenksteinereinheit 334 empfängt die Steuersignale 374 von dem Fahrzeugnetzwerk 372 und steuert den Stellmotor 336 basierend auf den Steuersignalen 374 so, dass ein zu den Steuersignalen 374 korrespondierendes Lenkmoment 3 angesteuert wird. Die Steuersignale 374 umfassen eine Soll-Größe 11. Im betrachteten Ausführungsbeispiel stellt die autonome Einheit 370 als Soll-Größe 11 eine Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit. Diese Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 ist eine Lenkwinkelgeschwindigkeit, die die autonome Einheit 370 für eine Fahrsituation 15 vorgibt.

Die Fahrsituation 15 ist in Fig. 2 beispielhaft als eine Kurvenfahrt des Fahrzeugs 300 illustriert. Fig. 2 zeigt das Fahrzeug 300 an mehreren Positionen in einer Kurve 376, soll also einen zeitlichen Verlauf der Fahrsituation 15 darstellen. An einem Kurveneingang 378 sind die Vorderräder 308 des Fahrzeugs noch gerade ausgerichtet, sodass der Lenkwinkel 330 einen Wert von 0° hat. An einem Kurvenscheitel 380 ist an den Vorderräder 308 des Fahrzeugs 300 ein Lenkwinkel 330 größer 0° (im gezeigten Beispiel etwa 20°) angesteuert. Dieser Lenkwinkel 330 wird dann in Richtung eines Kurvenausgangs 382 wieder reduziert, sodass die Vorderräder 308 am Kurvenausgang 382 erneut einen Lenkwinkel 330 von 0° haben. Die autonome Einheit 370 gibt dabei als Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 eine Lenkwinkelgeschwindigkeit vor, die gemäß einer Prognose, die von der autonomen Einheit 370 durchgeführt wird, zum Durchfahren der Kurve 376 benötigt wird. Zwischen Kurvenanfang 378 und Kurvenscheitel 380 hat die Lenkwinkelgeschwindigkeit einen positiven Wert, da der Lenkwinkel 330 zunimmt. Analog hat die Lenkwinkelgeschwindigkeit zwischen Kurvenscheitel 380 und Kurvenausgang 382 einen negativen Wert.

Die autonome Einheit 370 gibt als Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 eine Lenkwinkelgeschwindigkeit vor, die sie für die Fahrsituation 15 erwartet. Die Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 ist dabei so gewählt, dass das Fahrzeug 300 der Kurve 376 folgt und sich innerhalb definierter Grenzen der Fahrbahn 366 bewegt. Ferner steuert die autonome Einheit 370 hier auch einen in den Figuren nicht gezeigten Antriebsmotor des Fahrzeugs 300 so an, dass das Fahrzeug 300 in der Fahrsituation 15 mit einer sicheren Geschwindigkeit 384 durch die Kurve 376 geführt wird. Hierfür ermittelt die autonome Einheit 370 vorab die für die Fahrsituation 15 benötigte Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 und die Geschwindigkeit 384. Diese Prognose basiert im gezeigten Ausführungsbeispiel unter anderem auf dem Reibwert 2 zwischen den gelenkten Rädern 326 und der Fahrbahn 366. Wenn nun der real vorliegende Reibwert 2 von dem im Rahmen des Ermitteln der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 berücksichtigten Reibwert 2 abweicht, dann kann es sein, dass das Fahrzeug 300 der Kurve 376 nicht folgen kann. Hierdurch besteht ein erhebliches Unfallrisiko, da die autonome Einheit 370 das Fahrzeug 300 unter Umständen nicht angemessen steuert. Beispielsweise kann die autonome Einheit 370 das Fahrzeug 300 mit deutlich überhöhter Geschwindigkeit 384 in die Kurve 376 steuern, wobei das Fahrzeug 300 bei eisglatter Fahrbahn 366 dem Verlauf der Kurve 376 unter Umständen nicht folgen und aus der Kurve 376 getragen werden kann. Die

Kenntnis des Reibwerts 2 ist daher wichtig für einen sicheren Betrieb des Fahrzeugs 300.

Zum Ermitteln des Reibwerts 2 umfasst das Fahrzeug 300 einen optischen Sensor 386, der hier als die Fahrbahn 366 erfassende Kamera 388 ausgebildet ist. Der optische Sensor 386 hat jedoch den Nachteil, dass der Reibwert 2 nur bei ausreichend guten Lichtverhältnissen ermitteln kann. Daher umfasst das Fahrzeug 300 im gezeigten Ausführungsbeispiel zusätzlich ein Fahrerassistenzsystem 200, das dazu ausgebildet ist, das nachstehend mit Bezug zu Fig. 3 bis Fig. 5 erläuterte Verfahren 1 zum Approximieren eines Reibwerts 2 zwischen Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 und der Fahrbahn 366 durchzuführen. Das Fahrerassistenzsystem 200 kann ferner auch einen vom optischen Sensor 386 ermittelten Reibwert 2 verifizieren. Es soll jedoch verstanden werden, dass das Fahrzeug 300 auch nur das Fahrerassistenzsystem 200 und keinen optischen Sensor 386 aufweisen kann.

Das Fahrerassistenzsystem 200 umfasst eine Steuereinheit 202 und eine Schnittstelle 204. Die Schnittstelle 204 ist mit dem Fahrzeugnetzwerk 372 verbunden und empfängt hierüber auch Sensorsignale 390 des optischen Sensors 386, um diese dann zu verifizieren.

In einem ersten Schritt des Verfahrens 1 zum Approximieren eines gegenwärtigen Reibwerts 2 zwischen den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 in einer gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration 303 und der Fahrbahn 366 erfolgt ein Ermitteln 17 einer Lastcharakteristik 19 der gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration 303. Die gegenwärtige Fahrzeugkonfiguration 303 berücksichtigt eine aktuelle Beladung des Fahrzeugs 300. Die Lastcharakteristik 19 der gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration 303 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Achslast 21 an der lenkbaren Achse 328 des Fahrzeugs 300. Die Achslast 21 resultiert neben einem Eigengewicht des Fahrzeugs 300 unter anderem auch aus dessen Beladung. Die Achslast 21 korrespondiert zu einer in Richtung der Fahrbahn 366 auf die gelenkten Räder 326 wirkenden Normalkraft, die wiederum maßgeblich den Reibwert 2 beeinflusst. So lassen sich geringfügig belastete Räder 326 bei ansonsten identischen Bedingungen deutlich leichter auf der Fahrbahn 366 drehen als stark belastete Räder 326. Durch das Berücksichtigen der Achslast 21 kann eine Güte der Approximation des Reibwerts 2 verbessert werden. Die Achslast 21 wird von einem in den Figuren nicht dargestellten Luftfedersystem des Fahrzeugs 300 ermittelt, wobei

das Luftfedersystem die Achslast 21 repräsentierende Achslastsignale 392 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereitstellt. Die Steuereinheit 202 führt das Ermitteln 17 der Lastcharakteristik 19 unter Verwendung dieser Achslastsignale 392 aus. So können für das Ermitteln 17 vorteilhaft bereits auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 vorhandene Signale genutzt werden. Das Verfahren 1 ist besonders einfach implementierbar.

Wie vorstehend bereits erläutert wurde, ermittelt die autonome Einheit 370 die Soll-Größe 11 für die Fahrsituation 15, die hier die Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 ist, und stellt diese auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit. Hierbei berücksichtigt die autonome Einheit 370 vorzugsweise auch die Achslast 21 oder andere Lastcharakteristika des Fahrzeugs 300. Die Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 ermittelt in einem weiteren Schritt des Verfahrens 1 unter Verwendung korrespondierender Signale, die auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereitgestellt werden, die Soll-Größe 11 (Ermitteln 23 in Fig. 3). Es kann aber auch vorgesehen sein, dass die Steuereinheit 202 die Soll-Größe 11 unmittelbar ermittelt.

Die Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 steht an der Steuereinheit 202 und an der Lenksteuereinheit 334 zur Verfügung. Die Lenksteuereinheit 334 ermittelt aus der bereitgestellten Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 einen Stellgrößenerwartungswert 25, der hier ein Lenkmoment-Erwartungswert 27 ist. Die Lenksteuereinheit 334 steuert zum Erreichen einer Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29 (Ist-Größe 9), die der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 entspricht, initial als Stellgröße 5 ein Lenkmoment 3 aus, das dem Lenkmoment-Erwartungswert 27 entspricht. Zu Beginn der Fahrsituation 15 entspricht die Stellgröße 5 hier also einem Stellgrößenerwartungswert 25. Wenn nun aber der Reibwert, basierend auf dem das Ermitteln des Lenkmoment-Erwartungswerts 27 erfolgt, von dem realen Reibwert 2 abweicht, dann resultiert aus dem bereitgestellten Lenkmoment 3 eine von der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 verschiedene Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29. Die Lenksteuereinheit 334 passt daraufhin das bereitgestellte Lenkmoment 3 bzw. die Stellgröße 5 solange an, bis die Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29 der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 entspricht. Beispielsweise reduziert die Lenksteuereinheit 334 im Falle einer eisglatten Fahrbahn 366 das an der Lenksäule 338 bereitgestellte Lenkmoment 3, da sich die gelenkten Räder 326 aufgrund eines geringen Reibwerts 2 leichter auf der Fahrbahn 366 drehen. Ein Stellgrößen-Istwert 31, der hier ein Istwert des Lenkmoments 3 ist, weicht daher im gezeigten Ausführungsbeispiel von

dem Stellgrößenerwartungswert 25 ab. Die Lenksteuereinheit 334 stellt zum Stellgrößenerwartungswert 25 korrespondierende Erwartungswertsignale 394 und zum Stellgrößen-Istwert 31 korrespondierende Stellgrößen-Istwert-Signale 396 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit.

Die Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 empfängt die Erwartungswertsignale 394 und führt unter Verwendung der Erwartungswertsignale 394 ein Ermitteln 33 des Stellgrößenerwartungswerts 25 aus. In analoger Weise empfängt die Steuereinheit 202 die Stellgrößen-Istwert-Signale 396 und verwendet diese für ein Ermitteln 35 des Stellgrößen-Istwerts 31. Das Ermitteln 35 des Stellgrößen-Istwerts 31 erfolgt hier zeitlich nach dem Ermitteln 33 des Stellgrößenerwartungswerts 25, kann aber grundsätzlich auch zeitgleich zum oder vor dem Ermitteln 33 erfolgen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel steuert die Lenksteuereinheit 334 selbst die Stellgröße 5 so nach, dass die Ist-Größe 9, die hier die Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29 ist, der Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 entspricht. Hierfür ermittelt die Lenksteuereinheit 334 kontinuierlich den Wert der Ist-Größe 9 (der Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29) und stellt korrespondierende Ist-Signale 398 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit. Neben den Signalen 394, 396, die die Stellgröße 5 betreffen, empfängt die Lenksteuereinheit 334 im gezeigten Ausführungsbeispiel auch die Ist-Signale 398 und bestimmt daraus bei einem Ermitteln 37 die Ist-Größe 9.

Die Soll-Größe 11 und der Stellgrößenerwartungswert 25 können bereits ermittelt werden (Ermitteln 23, 33) bevor das Fahrzeug 300 tatsächlich in der Fahrsituation 15 ist. Das Ermitteln 23, 33 der Soll-Größe 11 und des Stellgrößenerwartungswerts 25 kann demnach im betrachteten Ausführungsbeispiel bereits durchgeführt werden, bevor das Fahrzeug 300 die Kurve 376 durchfährt. Während oder auch nach der Fahrsituation 15 kann die Steuereinheit 202 ferner die den tatsächlichen Fahrzeugzustand des Fahrzeugs 300 betreffende Ist-Größe 9 und den Stellgrößen-Istwert 31 für die Fahrsituation ermitteln (Ermitteln 35, 37 in Fig. 3). An der Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 liegen so zwei Paare zueinander korrespondierender Größen vor. Ein erstes Paar ist die Soll-Größe 11 und die zugehörige tatsächlich in der Fahrsituation 15 aufgetretene Ist-Größe 9. Der Stellgrößenerwartungswert 25 und der tatsächlich in der Fahrsituation 15 an der Lenkung 324 bereitgestellte Stellgrößen-Istwert 31 bilden ein zweites Paar zueinander korrespondierender Größen.

Wie vorstehend beschrieben wurde, steuert die Lenksteuereinheit 334 das Lenkmoment 3 so, dass die Ist-Größe 9 in der Fahrsituation 15 der Soll-Größe 11 weitgehend entspricht. Die Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit 29 liegt innerhalb einer Soll-Ist-Toleranz 39 um die Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit 13. Eine im Rahmen eines Ermitteln 41 bestimmte Soll-Ist-Abweichung 43 zwischen der Ist-Größe 9 und der Soll-Größe 11 (erstes Paar zueinander korrespondierender Größen) ist daher im vorliegenden Ausführungsbeispiel des Verfahrens 1 vernachlässigbar, wobei die Soll-Ist-Toleranz 39 hier berücksichtigt wird, um von den Ist-Signalen 398 umfasste Messfehler zu kompensieren. Eine durch das Nachführen der Ist-Größe 9 an die Soll-Größe 11 bedingte Stellgrößenabweichung 45 zwischen dem Stellgrößenerwartungswert 25 und dem Stellgrößen-Istwert 31 wird in einem weiteren Schritt des Verfahrens 1 ermittelt (Ermitteln 47 in Fig. 3). Im vorliegenden Ausführungsbeispiel liegt die Stellgrößenabweichung 45 also außerhalb einer Stellgrößentoleranz 49 um den Stellgrößenerwartungswert 25, während die Soll-Ist-Abweichung 43 vernachlässigt werden kann. Es soll jedoch verstanden werden, dass die Soll-Ist-Abweichung 43 auch einen erheblichen Wert aufweisen kann. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn die Stellgröße 5 nicht schnell genug nachgesteuert wird, oder wenn die Stellgröße 5 nicht so nachgesteuert werden kann, dass die Ist-Größe 9 der Soll-Größe 11 entspricht.

Basierend auf der Stellgrößenabweichung 45, der Soll-Ist-Abweichung 43 und der Ermittelten Lastcharakteristik 19 wird in einem anschließenden Schritt des Verfahrens 1 ein Approximieren 51 des gegenwärtigen Reibwerts 2 durchgeführt. Im betrachteten Ausführungsbeispiel ermittelt die Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 aus der Stellgrößenabweichung 45, die eine Differenz aus dem Lenkmoment-Erwartungswert 27 und dem tatsächlich in der Fahrsituation 15 ausgesteuerten Lenkmoment 3 ist, und der Achslast 21 den Reibwert 2, wobei die Steuereinheit 202 dabei berücksichtigt, dass die Soll-Ist-Abweichung 43 vernachlässigbar ist. Die Güte des Approximierens 51 wird durch die Verwendung der Lastcharakteristik 19 verbessert, da hierdurch eine Anpresskraft der gelenkten Räder 326 auf der Fahrbahn 366 berücksichtigt wird.

Das Verfahren 1 umfasst im betrachteten Ausführungsbeispiel ferner ein Ermitteln 53 eines Umweltindikators 55, der beim Approximieren 51 des Reibwerts 2 berücksichtigt wird. Das Ermitteln 53 des Umweltindikators 55 führt die Steuereinheit 202 des Fahrer-

assistenzsystems 200 basierend auf Umweltsignalen 400 durch, die hier Scheibenwischersignale 402 sind. Ein Scheibenwischer 404 des Fahrzeugs 300 gemäß Fig. 1 stellt die Scheibenwischersignale 402 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit, sodass diese von der Steuereinheit 202 empfangen werden können. Die Scheibenwischersignale 402 repräsentieren einem Scheibenwischerstatus des Scheibenwischers 404 und erlauben so Rückschlüsse auf eine in der Fahrsituation 15 vorherrschende Niederschlagsmenge. Beispielsweise läuft der Scheibenwischer 404 in der Regel dann mit hoher Frequenz, wenn der Niederschlag hoch ist, was wiederum einen geringen Reibwert 2 impliziert.

Ferner weist das Verfahren 1 im gezeigten Ausführungsbeispiel ein Ermitteln 57 einer Querbewegung 59 des Fahrzeugs 300 in der Fahrsituation 15 auf. Ein Regelsystem 406 des Fahrzeugs 300, das hier eine Electronic Stability Control ist, greift im Falle von Instabilitäten des Fahrzeugs 300 stabilisierend ein. So veranlasst das Regelsystem 406 beispielsweise zum Erzeugen eines nach kurveninnen wirkenden Giermoments, dass kurveninnere Räder 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 stärker gebremst werden als kurvenäußere Räder 308, 310, 312, wenn das Fahrzeug 300 untersteuert. Um solche Eingriffe zuverlässig auslösen zu können, erfasst das Regelsystem 406 kontinuierlich die am Fahrzeug 300 vorliegende Querbewegung 59 und stellt korrespondierende Regelsystemsignale 408 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereit. Diese Regelsystemsignale 408 können von der Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 genutzt werden, um das Ermitteln 57 der Querbewegung 59 des Fahrzeugs 300 in der Fahrsituation 15 durchzuführen. Die ermittelte Querbewegung 59 wird dann zusätzlich beim Approximieren 51 des gegenwärtigen Reibwerts 2 verwendet.

Ferner kann das Fahrerassistenzsystem 200 basierend auf den Stabilitätssignalen 408 des Regelsystems 406 einen Regelsystemeingriff 61 des Regelsystems 406 detektieren (Detektieren 63 in Fig. 3). Die Regelsystemsignale 408 umfassen Regelsystemdaten 410 die bei einem Ermitteln 65 verwendet werden, um einen Reibwert 67 zwischen den Rädern 308, 310, 312 des Fahrzeugs 300 und der Fahrbahn 366 zu ermitteln. Das Regelsystem 406 führt Regelsystemeingriffe 61 dann durch, wenn das Fahrzeug 300 instabil ist. Dies ist meist der Fall, wenn keine ausreichenden Kräfte zwischen Fahrzeug 300 und Fahrbahn 366 übertragen werden können, sodass der zur Verfügung stehende Reibwert 67 in diesen Fahrsituationen 15 nicht ausreicht. Die Regelsystemsignale 408 können daher vorteilhaft zum Ermitteln 65 des Reibwerts 67 verwendet werden. Bei-

spielsweise kann eine Querschleunigung, die für eine bekannte Achslast des Fahrzeugs 300 gerade noch eine stabile Fahrt ermöglicht (d.h. eine Querschleunigung kurz vor Auftreten einer Instabilität), genutzt werden, um auf den Reibwert 67 zu schließen. Vorzugsweise werden aber neben dem Reibwert 67 auch die Soll-Ist-Abweichung 43, die Lastcharakteristik 19 und/oder die Stellgrößenabweichung 45 zum Approximieren 51 des Reibwerts 2 verwendet.

Gemäß Fig. 4 ist das Approximieren 51 des gegenwärtigen Reibwerts 2 ein Auswählen 69 eines Referenzreibwerts 71 aus einer Reibwert-Datenbasis 79. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind in der Reibwert-Datenbasis 79 eine Vielzahl an Referenzreibwerten 71 hinterlegt, die für eine Vielzahl früherer Fahrsituationen abgespeichert wurden. Beim Auswählen 69 wird ein gegenwärtiger Reibwert 2 ermittelt, indem ein Referenzreibwert 71 ausgewählt wird, dem eine Referenzstellgrößenabweichung 81 zugeordnet ist, die im Wesentlichen der Stellgrößenabweichung 45 entspricht, und dem eine Referenzlastcharakteristik 83 zugeordnet ist, die im Wesentlichen der in der Fahrsituation 15 vorherrschenden Lastcharakteristik 19 des Fahrzeugs 300 entspricht. Ein benötigtes Maß der Übereinstimmung von Referenzstellgrößenabweichung 81 und Stellgrößenabweichung 45 bzw. Referenzlastcharakteristik 83 und Lastcharakteristik 19 kann abhängig von einer Größe der Reibwert-Datenbasis 79 definiert sein. So kann beispielsweise ein Referenzreibwert 71 als Reibwert 2 ausgewählt werden, dessen Referenzlastcharakteristik 83 um 20% von einem Wert der Lastcharakteristik 19 abweicht, wenn die Reibwert-Datenbasis 79 klein ist. Umfasst die Reibwert-Datenbasis 79 hingegen sehr viele Referenzreibwerte 71, dann kann ein Referenzreibwert 71 beispielsweise nur dann als Reibwert 2 ausgewählt werden, wenn dessen Referenzlastcharakteristik 83 maximal um 5% von einem Wert der Lastcharakteristik 19 abweicht.

Dem Auswählen 69 vorgelagert umfasst das Verfahren 1 ferner ein Ermitteln 85 der Reibwert-Datenbasis 79. Bei diesem Ermitteln 85 wird eine Testkurvenfahrt 86 des Fahrzeugs 300 durchgeführt (Durchführen 87 in Fig. 4). Die Testkurvenfahrt 86 kann aber alternativ auch mit einem Vergleichsfahrzeug 300 durchgeführt werden. Das Vergleichsfahrzeug 300 kann beispielsweise ein Fahrzeug sein, das vom gleichen Fahrzeugtyp ist wie das Fahrzeug 300 gemäß Fig. 1. Ein Referenzreibwert 71 für die Testkurvenfahrt 86 wird im Rahmen eines Ermittelns 89 gesondert ermittelt und ist für die Testkurvenfahrt 86 zumindest näherungsweise bekannt. Im Rahmen der Testkurven-

fahrt 86 erfolgt ein Ermitteln 91 einer in einem Testzeitabschnitt vorliegenden Referenzlastcharakteristik 83, ein Ermitteln 93 eines Referenzstellgrößenerwartungswerts 95, ein Ermitteln 97 einer Referenz-Soll-Größe 99 für die Testkurvenfahrt 86, ein Ermitteln 101 eines Referenzstellgrößen-Istwerts 103 für die Testkurvenfahrt 86 und ein Ermitteln 105 eines Referenz-Ist-Größe 107 für die Testkurvenfahrt 86. Aus dem referenzstellgrößen-Istwert 103 und dem Referenzstellgrößenerwartungswert 95 kann im Anschluss daran bei einem Ermitteln 109 die Referenzstellgrößenabweichung 81 bestimmt werden. Eine Referenz-Soll-Ist-Abweichung 111 wird in einem Ermitteln 113 basierend auf der Referenz-Soll-Größe 99 und der Referenz-Ist-Größe 107 bestimmt. Die Referenz-Soll-Ist-Abweichung 111, die Referenzstellgrößenabweichung 81 und die Referenzlastcharakteristik 83 werden anschließend dem Referenzreibungswert 71 zugeordnet (Zuordnen 117 in Fig. 4).

Im Ausführungsbeispiel des Verfahrens 1 wird der gegenwärtige Reibwert 2 im Anschluss an das Ermitteln 51 zum Durchführen 119 einer Folgeoperation 121 verwendet. Die Folgeoperation 121 ist hier ein Bereitstellen 123 eines Warnsignals 125 an einer Warnleuchte 412 des Fahrzeugs 300. Ferner wird ein elektrisches Warnsignal 127 von der Steuereinheit 202 des Fahrerassistenzsystems 200 auf dem Fahrzeugnetzwerk 372 bereitgestellt. Das elektrische Warnsignal 127 liegt so auch an der autonomen Einheit 370 vor und kann von dieser zum Ermitteln einer Trajektorie verwendet werden. Ferner kann mittels des elektrischen Warnsignals 127 das Regelsystem 406 in einen präventiven Anregelmodus 414 versetzt werden, indem das Stabilitätsregelsystem 380 etwaige Instabilitäten des Fahrzeugs 300 frühzeitig erkennen und ausgleichen kann. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird das Stabilitätsregelsystem 380 jedoch nur in den präventiven Anregelmodus 414 versetzt, wenn der gegenwärtige Reibwert 2 einen Reibwertgrenzwert unterschreitet. So sind stabilisierende Eingriffe des Regelsystem 406 meist nur dann nötig, wenn der gegenwärtige Reibwert 2 vergleichsweise gering ist, wie dies beispielsweise bei eisglatter Fahrbahn 366 der Fall ist.

Bezugszeichen (Teil der Beschreibung)

1	Verfahren
2	Reibwert
3	Lenkmoment
5	Stellgröße
7	Lenkwinkelgeschwindigkeit
9	Ist-Größe
11	Soll-Größe
13	Soll-Lenkwinkelgeschwindigkeit
15	Fahrsituation
17	Ermitteln einer Lastcharakteristik
19	Lastcharakteristik
21	Achslast
23	Ermitteln der Soll-Größe
25	Stellgrößenerwartungswert
27	Lenkmoment-Erwartungswert
29	Ist-Lenkwinkelgeschwindigkeit
31	Stellgrößen-Istwert
33	Ermitteln des Stellgrößenerwartungswerts
35	Ermitteln des Stellgrößen-Istwerts
37	Ermitteln der Ist-Größe
39	Soll-Ist-Toleranz
41	Ermitteln einer Soll-Ist-Abweichung
43	Soll-Ist-Abweichung
45	Stellgrößenabweichung
47	Ermitteln der Stellgrößenabweichung
49	Stellgrößentoleranz
51	Approximieren des Reibwerts
53	Ermitteln eines Umweltindikators
55	Umweltindikator
57	Ermitteln einer Querb beschleunigung
59	Querb beschleunigung
61	Regelsystemeingriff

63	Detektieren eines Regelsystemeingriffs
65	Ermitteln eines Reibwerts
67	Reibwert
69	Auswählen eines Referenzreibwerts
71	Referenzreibwert
79	Reibwert-Datenbasis
81	Referenzstellgrößenabweichung
83	Referenzlastcharakteristik
85	Ermitteln der Reibwert-Datenbasis
86	Testkurvenfahrt
87	Durchführen der Testkurvenfahrt
89	Ermitteln des Referenzreibwerts
91	Ermitteln der Referenzlastcharakteristik
93	Ermitteln eines Referenzstellgrößenerwartungswerts
95	Referenzstellgrößenerwartungswert
97	Ermitteln einer Referenz-Soll-Größe
99	Referenz-Soll-Größe
101	Ermitteln eines Referenzstellgrößen-Istwerts
103	Referenzstellgrößen-Istwert
105	Ermitteln einer Referenz-Ist-Größe
107	Referenz-Ist-Größe
109	Ermitteln der Referenzstellgrößenabweichung
111	Referenz-Soll-Ist-Abweichung
113	Ermitteln der Referenz-Soll-Ist-Abweichung
117	Zuordnen zu einem Referenzreibwert
119	Durchführen einer Folgeoperation
121	Folgeoperation
123	Bereitstellen eines Warnsignals
125	Warnsignal
127	elektrisches Warnsignal
200	Fahrerassistenzsystem
202	Steuereinheit
204	Schnittstelle
300	Fahrzeug
301	Nutzfahrzeug

302	Vorderachse
303	gegenwärtige Fahrzeugkonfiguration
304	Hinterachse
306	Zusatzachse
307	Fahrtrichtung
308, 308a, 308b	Vorderräder
310	Hinterräder
312	Zusatzräder
313	Bremsmoment
314	Fahrzeugaktuator
316	Bremssystem
318	Bremssteuereinheit
320	Bremsmodulator
322	Bremsaktuator
324	Lenkung
326	gelenkte Räder
328	lenkbare Achse
330	Lenkwinkel
332	aktive Lenkung
334	Lenksteuereinheit
336	Stellmotor
338	Lenksäule
342	Stellmotorsteuersignale
344	Lenkrad
346	Torsionsstab
348	Handmoment
350	Handmomentsensor
352	Handmomentsignal
354	Stellmotormomentsignal
358	Lenkmomentverstärker
366	Fahrbahn
370	autonome Einheit
372	Fahrzeugnetzwerk
374	Steuersignale
376	Kurve

378	Kurveneingang
380	Kurvenscheitel
382	Kurvenausgang
384	Geschwindigkeit
386	optischer Sensor
388	Kamera
390	Sensorsignale
392	Achslastsignale
394	Erwartungswertsignale
396	Stellgrößen-Istwert-Signale
398	Ist-Signale
400	Umweltsignale
402	Scheibenwischersignale
404	Scheibenwischer
406	Regelsystem
408	Regelsystemsignale
410	Regelsystemdaten
412	Warnleuchte
414	Anregelmodus

Patentansprüche

1. Verfahren (1) zum Approximieren eines Reibwerts (2) zwischen Rädern (308, 310, 312) eines Fahrzeugs (300) in einer gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration (303) und einer Fahrbahn (366), wobei das Verfahren (1) die folgenden Schritte umfasst:
 - Ermitteln (17) zumindest einer Lastcharakteristik (19) der gegenwärtigen Fahrzeugkonfiguration (303);
 - Ermitteln (23) einer Soll-Größe (11) des Fahrzeugs (300) für eine Fahrsituation (15);
 - Ermitteln (33) eines Stellgrößenerwartungswerts (25), der einen Vorhersagewert einer zum Einstellen der Soll-Größe (11) an einer Lenkung (324) bereitzustellenden Stellgröße (5) angibt, wobei das Ermitteln (33) des Stellgrößenerwartungswerts (25) unter Verwendung der Lastcharakteristik (19) erfolgt;
 - Ermitteln (37) einer zur Soll-Größe (11) korrespondierenden Ist-Größe (9) in der Fahrsituation (15);
 - Ermitteln (35) eines Stellgrößen-Istwerts (31), der in der Fahrsituation (15) an der Lenkung (324) bereitgestellt wird, um die Ist-Größe (9) auszusteuern;
 - Ermitteln (47) einer Stellgrößenabweichung (45) zwischen dem Stellgrößenerwartungswert (25) und dem Stellgrößen-Istwert (31); und/oder
Ermitteln (41) einer Soll-Ist-Abweichung (43) zwischen der Soll-Größe (11) und der korrespondierenden Ist-Größe (9);
 - Approximieren (33) des Reibwerts (2) basierend auf der ermittelten Lastcharakteristik (5) und basierend auf der ermittelten Stellgrößenabweichung (25) und/oder der ermittelten Soll-Ist-Abweichung (29).
2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, wobei die Soll-Größe (11) eine Soll-Lenkungsgeschwindigkeit (13) des Fahrzeugs (300) ist oder umfasst, und wobei die Ist-Größe (9) eine Ist-Lenkungsgeschwindigkeit (29) ist oder umfasst.
3. Verfahren (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Stellgröße (5) ein an der Lenkung (324) bereitgestelltes Lenkmoment (3) ist oder umfasst.
4. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner aufweisend:
 - Ermitteln (57) einer Querschleunigung (59) des Fahrzeugs (300) in der Fahrsituation (15),

wobei das Approximieren (51) des Kraftschlusseiwerts (2) vorzugsweise zusätzlich basierend auf der ermittelten Querbesehleunigung (59) durchgeführt wird.

5. Verfahren (1) nach Anspruch 4, wobei das Approximieren (51) des Reibwerts (2) nur erfolgt, wenn die Querbesehleunigung (59) unter einem Querbesehleunigungsgrenzwert liegt.

6. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 5, wobei die Lastcharakteristik (19) eine gegenwärtige Achslast (21) einer von der Lenkung (324) gelenkten Lenkachse (328) des Fahrzeugs (300) ist.

7. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Approximieren (51) des Reibwerts (2) umfasst:

- Auswählen (69) eines korrespondierenden Referenzreibwerts (71) aus einer Reibwert-Datenbasis (79), die zumindest einen Referenzreibwert (71) umfasst, basierend auf der Lastcharakteristik (19) und basierend auf der Stellgrößenabweichung (45) und/oder der Soll-Ist-Abweichung (43).

8. Verfahren (1) nach Anspruch 7, ferner aufweisend:

- Ermitteln (53) zumindest eines Umweltindikators (55);

wobei das Auswählen (69) eines Referenz-Reibwerts (71) aus der Reibwert-Datenbasis (79) zusätzlich basierend auf dem Umweltindikator (55) erfolgt.

9. Verfahren (1) nach Anspruch 8, wobei der Umweltindikator (55) ein Scheibenwischerstatus eines Scheibenwischers (404) des Fahrzeugs (300), eine gegenwärtige Umgebungstemperatur, ein gegenwärtiges Datum und/oder eine geographische Lage des Fahrzeugs (300) ist oder repräsentiert.

10. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, ferner aufweisend:

- Ermitteln (85) einer Reibwert-Datenbasis (79).

11. Verfahren (1) nach Anspruch 10, wobei das Ermitteln (85) der Reibwert-Datenbasis (79) umfasst:

- Ermitteln (89) eines Referenzreibwerts (71) für eine Testkurvenfahrt (86), die der Fahrsituation (15) zeitlich vorgelagert ist;

- Durchführen (87) der Testkurvenfahrt (86);
- Ermitteln (91) einer in einem Testzeitabschnitt vorliegenden Referenzlastcharakteristik (83);
- Ermitteln (97) einer Referenz-Soll-Größe (99) für die Testkurvenfahrt (86);
- Ermitteln (93) eines Referenzstellgrößenerwartungswerts (95), der einen Vorhersagewert einer zum Einstellen der Referenz-Soll-Größe (99) an einer Lenkung bereitzustellenden Stellgröße (5) angibt, wobei das Ermitteln (93) des Referenzstellgrößenerwartungswerts (95) vorzugsweise unter Verwendung der Referenzlastcharakteristik (83) erfolgt;
- Ermitteln (105) einer zur Referenz-Soll-Größe (99) korrespondierenden Referenz-Ist-Größe (107) für die Testkurvenfahrt (86);
- Ermitteln (101) eines Referenzstellgrößen-Istwerts (103) für die Testkurvenfahrt (86);
- Ermitteln (109) einer Referenzstellgrößenabweichung (81) zwischen dem Referenzstellgrößenerwartungswert (95) und dem Referenzstellgrößen-Istwert (103); und/oder Ermitteln (113) einer Referenz-Soll-Ist-Abweichung (111) zwischen der Referenz-Soll-Größe (99) und der korrespondierenden Referenz-Ist-Größe (107); und
- Zuordnen (117) einer Parameterkombination aus der Referenz-Soll-Ist-Abweichung (111), der Referenzstellgrößenabweichung (81) und der Referenzlastcharakteristik (83) zum Referenzreibungswert (71) in der Reibwert-Datenbasis (79).

12. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, ferner umfassend:

- Detektieren (63) eines Regelsystemeingriffs (61) eines Regelsystems (406) des Fahrzeugs (300) ;
- Ermitteln (65) eines Reibwerts (67) unter Verwendung von Regelsystemdaten (410), die von dem Regelsystem (406) bereitgestellt werden; wobei das Approximieren (51) des Reibwerts (2) alternativ oder ergänzend basierend auf dem Reibwert (67) erfolgt, falls ein Regelsystemeingriff (61) detektiert wird.

13. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, ferner aufweisend,

- Durchführen (119) zumindest einer Folgeoperation (121) unter Verwendung des approximierten Reibwerts (2), wobei die Folgeoperation (121) ein Bereitstellen (123) eines Warnsignals (125, 127), ein Versetzen eines Regelsystems (406) in einen präventiven Anregelmodus (414); ein Neuer-

mitteln einer Trajektorie des Fahrzeugs (300), ein Ermitteln einer Bewegungsfreiheitsgradgrenzwerts, ein Limitieren eines Bewegungsfreiheitsgrads des Fahrzeugs (300) und/oder ein Validieren eines Reibwertsensors ist oder umfasst, wobei die Folgeoperation (121) vorzugsweise nur durchgeführt wird, falls der approximierte Reibwert (2) einen Reibwertgrenzwert unterschreitet.

14. Fahrerassistenzsystem (200) für ein Fahrzeug (300), das dazu ausgebildet ist, das Verfahren (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.

15. Fahrzeug (300) mit zumindest zwei Achsen (302, 304, 306), einem Bremssystem (316) und einer Lenkung (324), wobei das Fahrzeug (300) ein Fahrerassistenzsystem (200) nach Anspruch 14 aufweist.

16. Computerprogrammprodukt mit Programmcode-Mitteln, die auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sind, um das Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einer Recheneinheit ausgeführt wird.

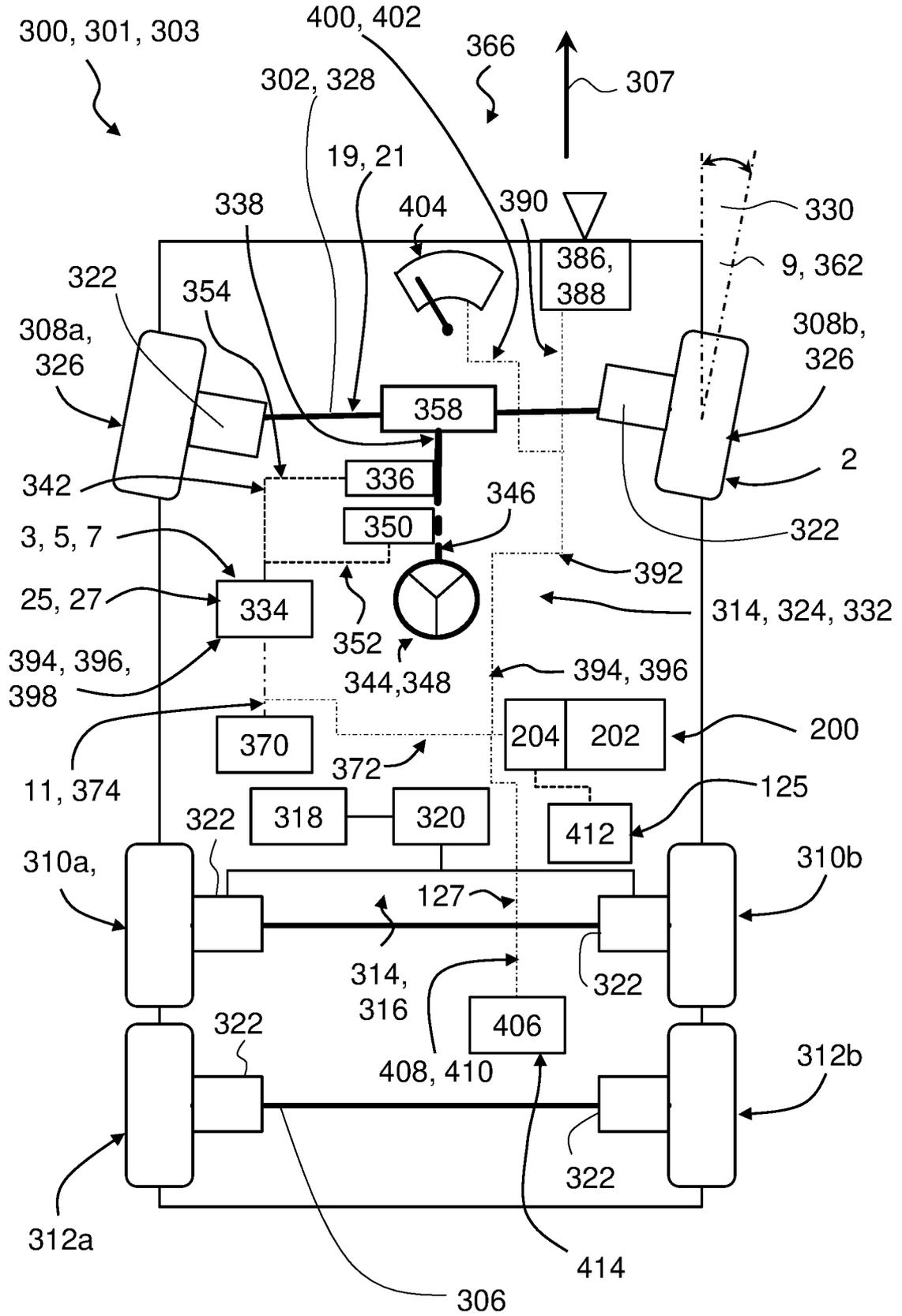


Fig. 1

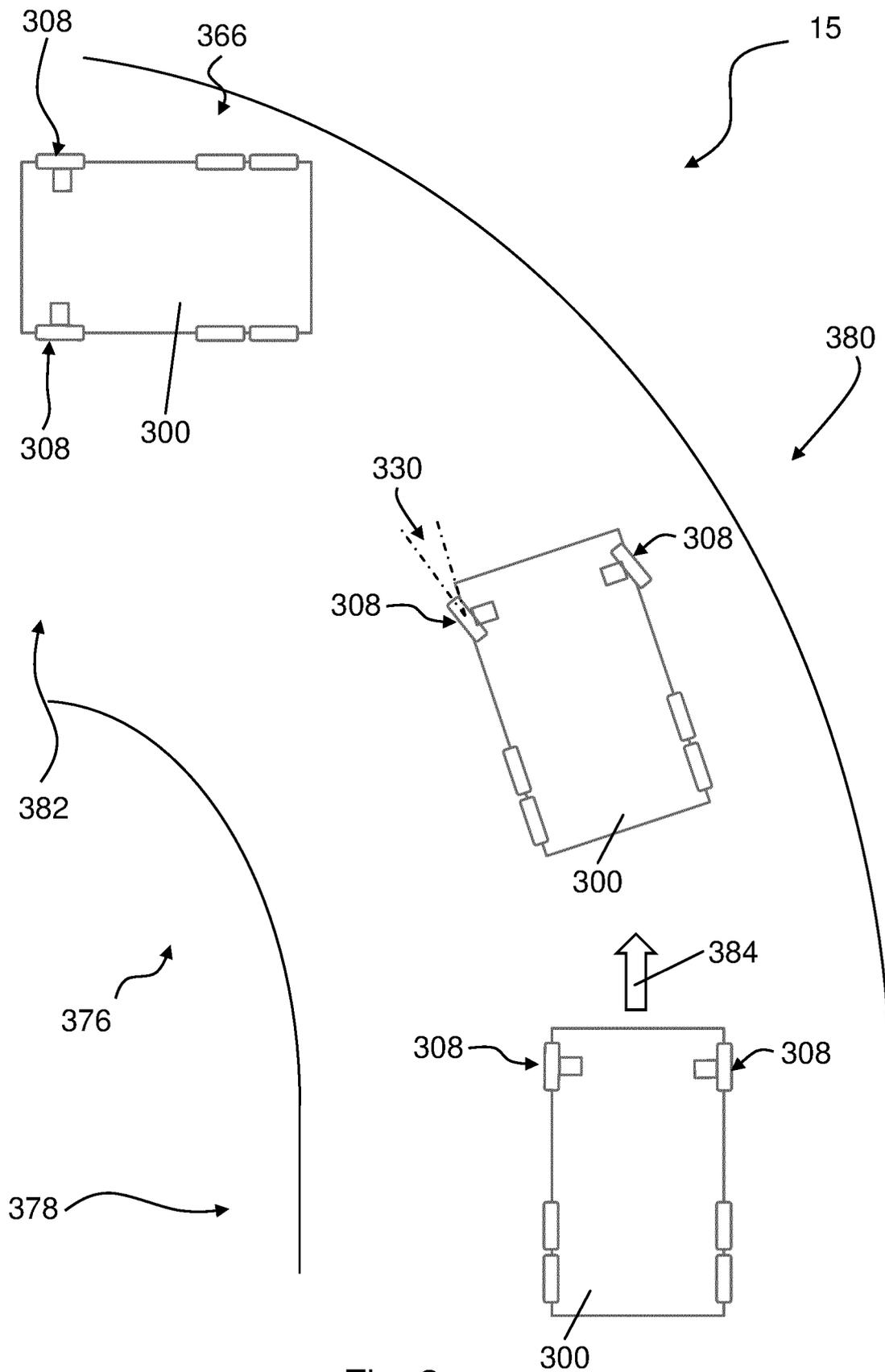


Fig. 2

3/5

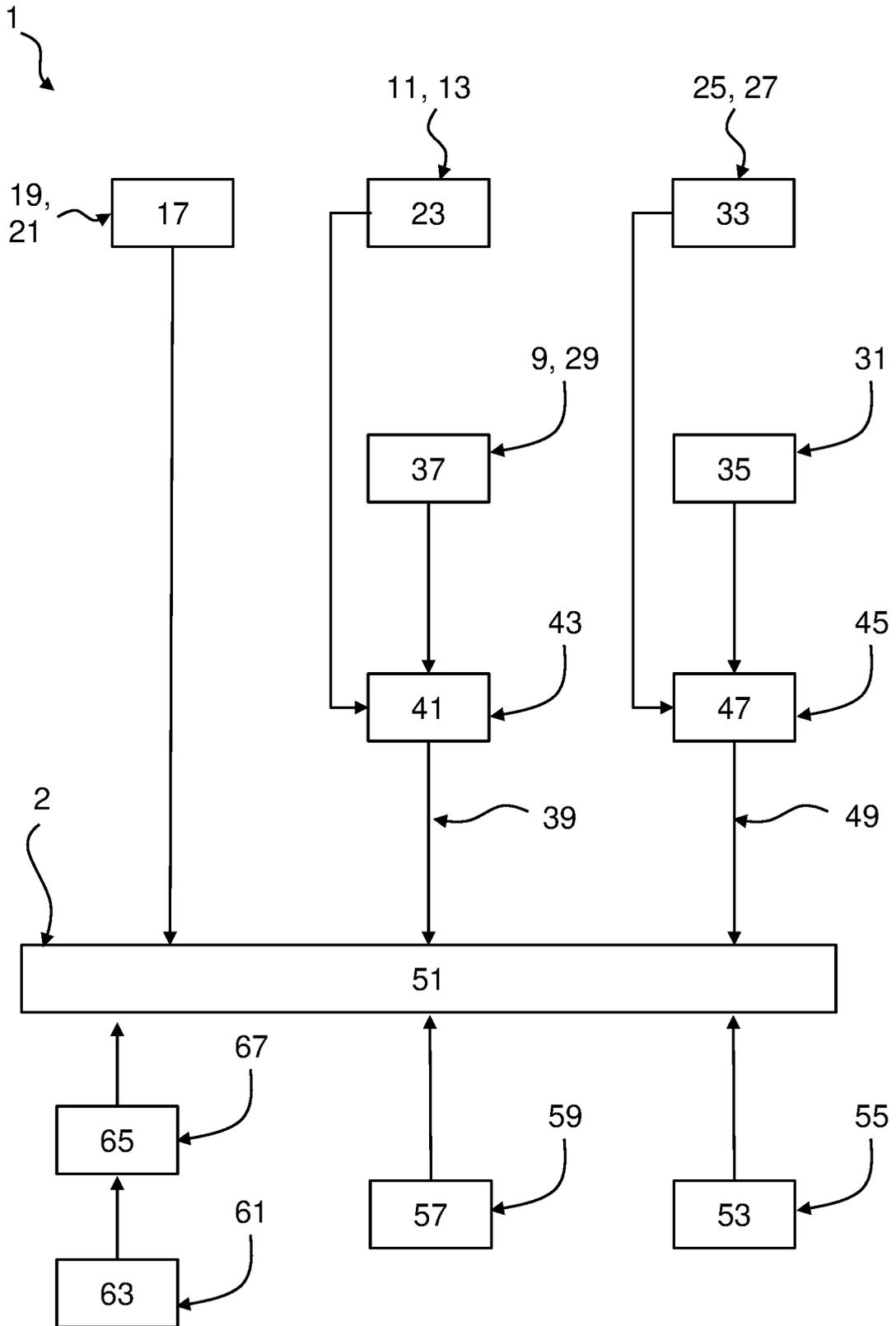


Fig. 3

5/5

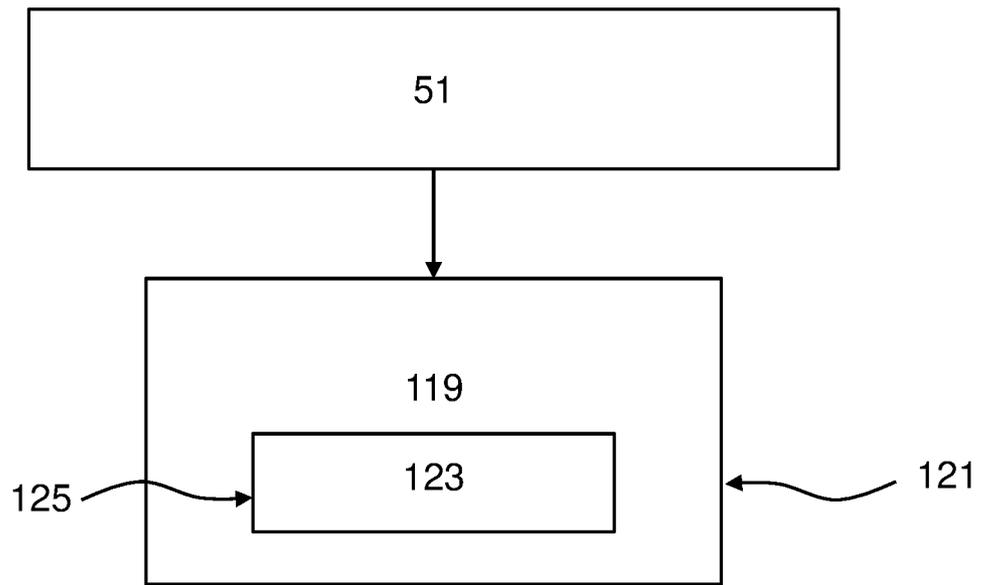


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/083322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B60W 30/02</i> (2012.01)i; <i>B60W 40/064</i> (2012.01)i; <i>B60W 40/068</i> (2012.01)i; <i>B62D 6/00</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B60W; B62D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102014114751 A1 (PORSCHE AG [DE]) 16 April 2015 (2015-04-16) paragraphs [0010], [0014], [0015]	1-16
A	US 2022396247 A1 (CARR JR DAVID D [US]) 15 December 2022 (2022-12-15) the whole document	1-16
A	CN 112660134 B (GEELY HOLDING GROUP CO LTD ET AL.) 27 September 2022 (2022-09-27) the whole document	1-16
A	DE 102008019270 A1 (FUJI HEAVY IND LTD [JP]) 20 November 2008 (2008-11-20) the whole document	1-16
A	DE 102017219879 A1 (AUDI AG [DE]) 09 May 2019 (2019-05-09) the whole document	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 January 2024		Date of mailing of the international search report 09 February 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Bak, Maciej Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/083322

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102014114751	A1	16 April 2015	NONE	
US	2022396247	A1	15 December 2022	NONE	
CN	112660134	B	27 September 2022	NONE	
DE	102008019270	A1	20 November 2008	DE 102008019270 A1	20 November 2008
				JP 5096781 B2	12 December 2012
				JP 2008265467 A	06 November 2008
				US 2008262692 A1	23 October 2008
DE	102017219879	A1	09 May 2019	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B60W30/02	B60W40/064
		B60W40/068
		B62D6/00
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B60W B62D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2014 114751 A1 (PORSCHER AG [DE]) 16. April 2015 (2015-04-16) Absätze [0010], [0014], [0015] -----	1-16
A	US 2022/396247 A1 (CARR JR DAVID D [US]) 15. Dezember 2022 (2022-12-15) das ganze Dokument -----	1-16
A	CN 112 660 134 B (GEELY HOLDING GROUP CO LTD ET AL.) 27. September 2022 (2022-09-27) das ganze Dokument -----	1-16
A	DE 10 2008 019270 A1 (FUJI HEAVY IND LTD [JP]) 20. November 2008 (2008-11-20) das ganze Dokument -----	1-16
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
26. Januar 2024		09/02/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Bak, Maciej

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2017 219879 A1 (AUDI AG [DE]) 9. Mai 2019 (2019-05-09) das ganze Dokument -----	1-16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/083322

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014114751 A1	16-04-2015	KEINE	

US 2022396247 A1	15-12-2022	KEINE	

CN 112660134 B	27-09-2022	KEINE	

DE 102008019270 A1	20-11-2008	DE 102008019270 A1	20-11-2008
		JP 5096781 B2	12-12-2012
		JP 2008265467 A	06-11-2008
		US 2008262692 A1	23-10-2008

DE 102017219879 A1	09-05-2019	KEINE	
