

(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  
04. April 2024 (04.04.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2024/067902 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
B62D 6/00 (2006.01) B62D 7/20 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2023/100603
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
16. August 2023 (16.08.2023)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2022 125 272.8  
30. September 2022 (30.09.2022) DE  
10 2023 106 248.4  
14. März 2023 (14.03.2023) DE
- (71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzoge-

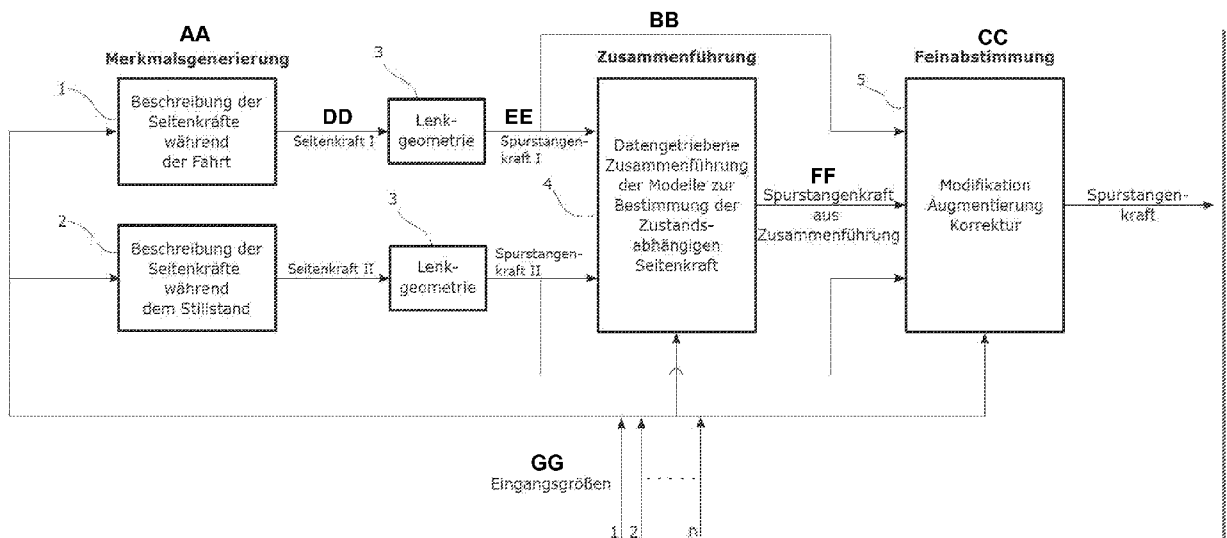
naurach (DE). **FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG** [DE/DE]; Schlossplatz 4, 91054 Erlangen (DE).

(72) **Erfinder: HORN, Maik**; In der Bruck 7, 96129 Strullendorf (DE). **STROHMEYER, Christoph**; Husumer Str. 18, 90425 Nürnberg (DE). **BARZEN, Tobias**; Bogenstr 6, 90762 Fürth (DE). **SNOBAR, Fadi**; Langemarckplatz 1, 91054 Erlangen (DE). **MICHALKA, Andreas**; Mittelrüsselbach 34, 91338 Igensdorf (DE). **GRAICHEN, Knut**; Hallerstraße 32, 90562 Heroldsberg (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, 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,

(54) **Title:** TIE ROD FORCE ESTIMATION FOR STEER-BY-WIRE SYSTEMS BY MEANS OF INTELLIGENT MODEL TRANSITION

(54) **Bezeichnung:** SPURSTANGENKRAFTSCHÄTZUNG BEI STEER-BY-WIRE-SYSTEMEN MITTELS INTELLIGENTEM MODELLÜBERGANG



- |    |                            |   |   |
|----|----------------------------|---|---|
| AA | Feature generation         | 1 | Description of the lateral forces during travel                                     |
| BB | Merging                    | 2 | Description of the lateral forces during standstill                                 |
| CC | Fine tuning                | 3 | Steering geometry   |
| DD | Lateral force              | 4 | Data-driven merging of the models for determining the state-dependent lateral force |
| EE | Tie rod force              | 5 | Modification; Augmentation; Correction  |
| FF | Tie rod force from merging |   |   |
| GG | Input variables            |   |   |

FIG. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for estimating a tie rod force of a steering device of a vehicle, comprising the following method steps: (a) two models (1, 2) are first evaluated using measured values and/or sensor signals from the vehicle in order to obtain a first and a second lateral force, respectively; (b) the first and second lateral forces are converted into a first and a second tie rod force, respectively, using parameters of the steering geometry (3); (c) the first and second tie rod forces are combined with each other in order to obtain a third tie rod force, the third tie rod force being a weighted combination of the first and second tie rod forces.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs mit folgenden Verfahrensschritten: (a) Es werden zunächst aufgrund von Messwerten und/oder Sensorsignalen aus dem Fahrzeug



WO 2024/067902 A1

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, 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).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

zwei Modelle (1, 2) ausgewertet, um jeweils eine erste und eine zweite Seitenkraft zu erhalten; (b) Die erste und die zweite Seitenkraft wird jeweils anhand von Kenngrößen der Lenkgeometrie (3) in eine erste und eine zweite Spurstangenkraft umgerechnet; (c) Die erste und die zweite Spurstangenkraft werden miteinander kombiniert, um eine dritte Spurstangenkraft zu erhalten, wobei die dritte Spurstangenkraft eine gewichtete Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft ist.

**Spurstangenkraftschätzung bei Steer-by-Wire-Systemen mittels  
intelligentem Modellübergang**

- 5 Die Erfindung beschäftigt sich mit Steer-by-Wire und im Speziellen mit der Schätzung der Zahnstangenkraft/Spurstangenkraft am Road-Wheel-Actuator.

Dabei sind folgende Veröffentlichungen von Interesse:

10 In Koch 2010 (Untersuchungen zum Lenkgefühl von Steer-by-Wire Lenksystemen) wird ein lineares Kalman-Filter verwendet, um die Seitenkräfte eines Fahrzeug basierend auf dessen Einspurmodell zu schätzen. Die Seitenkräfte werden in Rückstellmomente und dann in Zahnstangenkräfte umgerechnet. Das lineare Kalman-Filter erzielt gute Ergebnisse bei hohen Geschwindigkeiten. Für den Stillstand wird das sogenannte Bohrmoment nach Van der Jagt 2000 (The road to virtual vehicle prototyping) modelliert und dann in eine Seitenkraft  
15 bzw. Spurstangenkraft oder Zahnstangenkraft umgerechnet. Bei geringen Geschwindigkeiten wird das Rückstellmoment aus dem linearen Kalman-Filter und das Bohrmoment addiert, wobei der Anteil des Bohrmomentes mit steigender Geschwindigkeit linear reduziert wird, bis er keine Rolle mehr spielt.

20 In Beal und Brennan 2021 (<https://doi.org/10.1080/00423114.2019.1708416>) wurde ein Modell entwickelt, das das Lenkmoment bei langsam drehenden Rädern berechnet. In Van der Jagt 2000 (The road to virtual vehicle prototyping), Schmitt 2003 (<https://doi.org/10.4271/2003-01-3430>), Sharp et al. 2003 (<https://doi.org/10.1177/095440700321700202>) und Ketzmerick 2021  
25 (<https://doi.org/10.4271/06-14-03-0012>) werden verschiedene Methoden zur physikalischen Modellierung der Kräfte im Stillstand vorgestellt.

Für die Seitenkraftschätzung bei hohen Geschwindigkeiten gibt es in der Literatur sehr viele Ansätze. Z.B. in Schäfer 2021 (<https://doi.org/10.1515/auto-2020-0100>), Wielitzka 2014  
30 (<https://doi.org/10.1109/CDC.2014.7040172>), Koch 2010 (Untersuchungen zum Lenkgefühl von Steer-by-Wire Lenksystemen), und Ray 1995 (<https://doi.org/10.1109/87.370717>).

Bezüglich generellem ‚Model-blending‘ im Fahrzeugbereich findet man z.B. in Matute-Peaspan et al. 2020 (<https://doi.org/10.3390/electronics9101674>), Kim et al. 2015

(<https://doi.org/10.1109/ICCAS.2015.7365012>), und Jo et al. 2010

(<https://doi.org/10.1109/IVS.2010.5548118>) Ansätze. Die meisten Ansätze schalten von einem Modell zum anderen um. Bei Matute-Peaspan erfolgt das Model-Blending zwischen einem kinematischen und einem dynamischen Modell. Die Überblendung erfolgt anhand einer linearen Ansatzfunktion.

Generelle Methoden zur Kombination von datengetriebenen und modellbasierten Ansätzen außerhalb der betrachteten Domäne:

- Blending Diverse Physical Priors with Neural Networks (Ba, Zhao, Kadambi), 2019,

10 <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.00201>

Ein generelles Verfahren um physikalische Modelle und machine learning (ML) zu kombinieren (physics-based learning, PBL). Die vorgestellte Methode soll mittels Neural Architecture Search die optimale Architektur für PBL ermitteln und so existierende PBL Ansätze verbessern, die wie folgt geclustert sind:

15 - Physical Fusion: Als Input für ML werden nicht nur unmittelbare Messwerte, sondern auch Modellvorhersagen herangezogen.

- Residual Physics: Der Unterschied zwischen Vorhersageziel und Modellantwort wird gelernt (bspw. in Block (5) in Figur 1 enthalten).

20 - Physical Regularization: Penalisierung der Modellantwort aufgrund physikalischer Randbedingungen, z.B. in Loss-Funktion

- Embedded Physics: Parameter des physikalischen Modells werden gelernt.

Unser Ansatz bringt die konkrete datengetriebene Kombination unterschiedlicher (phys.) Modelle zusätzlich mit ein.

25 - Machine learning based multi-physical-model blending for enhancing renewable energy forecast - improvement via situation dependent error correction (Lu, Hwang et al.), 2015, <https://doi.org/10.1109/ECC.2015.7330558>

Hier wird im Grundsatz Physical Fusion (siehe oben) verwendet, wobei der Input für das ML-Verfahren aus mehreren unterschiedlichen physikalischen Wettermodellen angereichert wird.

30 - Towards blending Physics-Based numerical simulations and seismic databases using Generative Adversarial Network (Gatti, Clouteau), 2020, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113421>

Hier wird im Grundsatz Embedded Physics betrieben. Für Risikoabschätzungen bzgl.

35 Erdbeben müssen die statistischen Inputgrößen für statistische Modelle genau bestimmt werden. Dies geschieht über hochaufgelöste deterministische phys. Modelle, deren Ergebnisse mittels ML augmentiert werden, so dass sie Beobachtungen aus realen

Erdbeben gleichen. Diese realen Daten sind zahlenmäßig zu klein, um sichere Aussagen über statistische Verteilungen der gesuchten Inputgrößen der statistischen Modelle abzuleiten. So kann ein großer Datensatz aufgebaut werden, der das Schätzen dieser Inputparameter erlaubt.

5

Die DE 10 2010 030 986 B4 offenbart ein Verfahren zur Bestimmung einer Zahnstangenkraft für eine Lenkvorrichtung in einem Fahrzeug. Es betrifft eine Verwendung von zwei unterschiedlichen physikalischen Modellen zur Schätzung der Zahnstangenkraft. Jedoch findet sich keine Angabe dazu, wie die Modellantworten konkret kombiniert werden müssen, um eine realistische Gesamtschätzung der Zahnstangenkraft zu erhalten, wenn eine echte Messgröße als Vergleich dient. Die Grundidee scheint in einer Regler-basierten Kombination aufgrund im Betrieb zusätzlich mitgemessener Seitenkräfte gewesen zu sein. Vorliegende Patentanmeldung konkretisiert diese Lücke.

10

In Steer-by-Wire-Systemen entfällt die Rückkopplung der Spurstangenkräfte auf das Lenksystem, da keine direkte mechanische Verbindung zwischen Radaufhängung und Lenkrad mehr besteht. Die Rückführung der Zahnstangenkräfte/Spurstangenkräfte auf das Lenksystem ist von Bedeutung für die Sicherheit und das Lenkgefühl beim Fahren. Deswegen müssen die Spurstangenkräfte gemessen oder bestimmt werden. Eine Messung erfordert zusätzliche Komponenten und reduziert die Wettbewerbsfähigkeit des Systems. Daher ist eine möglichst genaue Schätzung anzustreben, die nur vorhandene Messgrößen/Sensorwerte/Informationen verarbeitet.

15

20

Ein Grundproblem besteht bei der physikalischen Beschreibung, weil im Stand und während der Fahrt unterschiedliche Grundsätze/Wirkmechanismen die Kraftentstehung dominieren. Konkret bedeutet dies, dass die Spurstangenkraft im Stand beispielsweise mit dem sogenannten Bohr-/Jacking-Torque-Modell geschätzt wird und während der Fahrt zunehmend die Kennwerte der Fahrdynamik die Kraft in der Zahnstange beschreiben.

25

Das technische Problem besteht darin, dass die Gestaltung des Übergangs zwischen beiden Modellen/physikalischen Domänen unklar ist.

30

Zahnstangenkraft, Spurstangenkraft und Seitenkräfte können über die Lenkgeometrie ineinander umgerechnet werden und können daher äquivalent verwendet werden. Hier gehen wir davon aus, dass die Spurstangenkraft geschätzt wird.

Die grundsätzliche Ausgangssituation besteht darin, dass abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit zwei physikalische Modelle zur Beschreibung der Seitenkräfte existieren, deren Vertrauensbereiche nicht überlappen. Konkret gibt es ein Modell, das für sehr niedrige Geschwindigkeiten genaue Vorhersagen trifft und ein weiteres Modell, das für höhere Geschwindigkeiten vertrauenswürdige Vorhersagen trifft. Für einen (unbekannten) Zwischenbereich an mittleren Geschwindigkeiten weichen die Vorhersagen der Modelle von der echten Seitenkraft ab, da die ihnen zu Grunde liegenden physikalischen Annahmen nicht gänzlich zutreffen.

10 Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine möglichst genaue Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs zu ermöglichen.

Zur Lösung der Aufgabe wird gemäß der Erfindung ein Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Das Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs umfasst folgende Verfahrensschritte:

- 15 (a) Es werden zunächst aufgrund von Messwerten und/oder Sensorsignalen aus dem Fahrzeug zwei Modelle ausgewertet, um jeweils eine erste und eine zweite Seitenkraft zu erhalten;
- 20 (b) Die erste und die zweite Seitenkraft wird jeweils anhand von Kenngrößen der Lenkgeometrie in eine erste und eine zweite Spurstangenkraft umgerechnet;
- (c) Die erste und die zweite Spurstangenkraft werden miteinander kombiniert, um eine dritte Spurstangenkraft zu erhalten, wobei die dritte Spurstangenkraft eine gewichtete Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft ist.

25 Die beiden im Rahmen des Verfahrensschritts (a) verwendeten Modelle sind bevorzugt physikalisch basierte Modelle. Auch wenn zur Erläuterung der Erfindung nur von zwei Modellen die Rede ist, können grundsätzlich mehr als zwei Modelle zur Schätzung des Spurstangenkraft verwendet werden. Die Messwerte und/oder Sensorsignale, die im Verfahrensschritt (a) ausgewertet werden, können beispielsweise Messwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder der Querschleunigung und/oder des Lenkwinkels und/oder der Lenkrate sein. Alternativ oder zusätzlich kann ein Messwert der Temperatur, insbesondere der Temperatur der Umgebung des Fahrzeugs und/oder Messwerte der Straßenbedingungen ausgewertet werden. Diese Messwerte und/oder Sensorsignale werden bevorzugt von entsprechenden Sensoren des Fahrzeugs gemessen. Als Ergebnis

30 des Verfahrensschritts (a) wird von jedem der Modelle jeweils eine Seitenkraft erhalten.

35

In dem Verfahrensschritt (b) werden die anhand der Modelle erhaltenen Seitenkräfte in Spurstangenkräfte umgerechnet. Hierzu werden Kenngrößen der Lenkgeometrie des Fahrzeugs herangezogen.

5 Im Verfahrensschritt (c) werden die in Verfahrensschritt (b) erhaltenen Spurstangenkräfte gewichtet und miteinander kombiniert, um die dritte Spurstangekraft als Ausgangsgröße des erfindungsgemäßen Verfahrens zu erhalten. Hierdurch wird es ermöglicht, dass beide Modelle ihre jeweilige Stärke ausspielen. So kann in einem ersten Bereich, beispielsweise einem Bereich geringer Geschwindigkeit des Fahrzeugs, das erste Modell stärker gewichtet werden als das zweite Modell und in einem zweiten Bereich, beispielsweise einem Bereich  
10 hoher Geschwindigkeit, kann das zweite Modell stärker gewichtet werden als das erste Modell. In einem Übergangsbereich zwischen dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich kann sich die Gewichtung der Modelle in Abhängigkeit von einem Betriebszustand des Fahrzeugs, beispielsweise in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs, verändern. Hierdurch kann ein stetiger Übergang zwischen dem ersten und zweiten Bereich  
15 ermöglicht werden, so dass Regelungsprozesse, welche die geschätzte Spurstangenkraft als Eingangswert nutzen, stabil betrieben werden können.

Im Rahmen der Erfindung kann der Verfahrensschritt (c) auf verschiedene Weise ausgestaltet sein. Diese Ausgestaltungen sollen nachfolgend als vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung erläutert werden.

20 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Geschwindigkeitsgrenzwert vorgegeben ist und in Verfahrensschritt (c) die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs kleiner als der Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 und die  
25 zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem Geschwindigkeitsgrenzwert ist. Bei einer derartigen Ausgestaltung des Verfahrensschritts (c) werden bei Überschreiten des Geschwindigkeitsgrenzwertes die Gewichte derart geändert, dass eines der beiden Modelle aktiviert wird und das jeweilige andere der beiden Modelle deaktiviert wird. Beispielsweise  
30 kann bei Überschreitung des Geschwindigkeitsgrenzwerts von dem ersten Modell auf das zweite Modell umgeschaltet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Geschwindigkeitsgrenzwert in Abhängigkeit von einem Lenkwinkel und/oder einer Querschleunigung des Fahrzeugs ermittelt wird. Eine derartige Ermittlung des  
35 Geschwindigkeitsgrenzwerts kann bevorzugt im Rahmen eines Kalibrierungsschritts

durchgeführt werden, welcher den Verfahrensschritten (a), (b) und (c) vorausgeht. Die Ermittlung des Geschwindigkeitsgrenzwerts kann durch eine datengetriebene Methode erfolgen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine von der  
5 Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängige Übergangsfunktion vorgegeben ist und die erste oder die zweite Spurstangenkraft mit der Übergangsfunktion gewichtet wird. Durch die Übergangsfunktion kann ein allmählicher Übergang zwischen dem ersten und zweiten Modell ermöglicht und ein hartes Umschalten zwischen den beiden Modellen vermieden werden.

10 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein erster Geschwindigkeitsgrenzwert und ein zweiter Geschwindigkeitsgrenzwert vorgegeben ist und in Verfahrensschritt (c)

a. die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs kleiner als der erste  
15 Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und

b. die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem zweiten Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und

c. die erste oder die zweite Spurstangenkraft mit der Übergangsfunktion gewichtet wird,  
20 wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem ersten Geschwindigkeitsgrenzwert und kleiner als der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert ist.

Diese Ausgestaltung bietet den Vorteil, dass das Umschalten zwischen dem ersten und zweiten Modell anhand zweier Geschwindigkeitsgrenzwerte erfolgt, wobei die Veränderung der Gewichte in einem Übergangsbereich zwischen den beiden

25 Geschwindigkeitsgrenzwerten durch die vorgegebene Übergangsfunktionen definiert ist.

Bevorzugt ist der erste Geschwindigkeitsgrenzwert kleiner als der zweite

Geschwindigkeitsgrenzwert. Beispielsweise kann der erste Geschwindigkeitsgrenzwert im Bereich zwischen 0 km/h und 5 km/h, bevorzugt zwischen 0 km/h und 1 km/h, liegen. Der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert kann im Bereich zwischen 20 km/h und 100 km/h,

30 bevorzugt im Bereich zwischen 20 km/h und 30 km/h liegen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Übergangsfunktion eine ganzrationale Funktion ersten Grades oder zweiten Grades oder dritten Grades oder vierten Grades ist. Derartige Übergangsfunktionen haben sich als besonders geeignet zur Bildung eines Übergangs zwischen den beiden Modellen  
35 herausgestellt. Ganzrationale Funktionen ersten Grades werden auch als lineare Funktionen, ganzrationale Funktionen zweiten Grades auch als quadratische Funktionen, ganzrationale

Funktionen dritten Grades auch als kubische Funktionen und ganzrationale Funktionen vierten Grades als quartische Funktionen bezeichnet. Dabei ermöglicht eine ganzrationale Funktion höheren Grades eine realistischere, d.h. näher an eine Messung der Spurstangenkraft heranreichende Schätzung der Spurstangenkraft als eine ganzrationale Funktion niedrigeren <sup>[A1]</sup>Grades. Insofern ist eine ganzrationale Funktion vierten Grades besonders bevorzugt. Alternativ kann die Übergangsfunktion ein Spline sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Übergangsfunktion einen oder mehrere Parameter aufweist und der oder die Parameter in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt werden, insbesondere mittels einer regressionsanalytischen Schätzmethode, beispielsweise der Methode der kleinsten Quadrate. Bevorzugt werden bei der Ermittlung der Parameter die Randbedingungen derart gesetzt, dass bei dem ersten Geschwindigkeitsgrenzwert ein erstes Gewicht 0 ist und ein zweites Gewicht 1 ist und bei dem zweiten Geschwindigkeitsgrenzwert die Gewichte umgekehrt sind.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Übergangsfunktion in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt wird. Die Übergangsfunktion wird in dem Kalibrierungsschritt bevorzugt mit einer datengetriebenen Methode ermittelt, insbesondere mittels Gaußprozess-Regression.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste und der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt wird. Der erste und der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert werden in dem Kalibrierungsschritt bevorzugt mittels einer regressionsanalytischen Schätzmethode ermittelt, beispielsweise mittels der Methode der kleinsten Quadrate <sup>[A2]</sup>. Alternativ ist denkbar, dass eine kubische B-Spline-Funktion als Übergangsfunktion verwendet wird, wobei die Randbedingungen genutzt werden, um den ersten und zweiten Geschwindigkeitsgrenzwert zu ermitteln. Beispielsweise können dazu drei Punkte eines Kontrollpolynoms auf einen identischen Wert gesetzt werden, um einen glatten Verlauf nach oder vor dem jeweiligen Geschwindigkeitsgrenzwert zu forcieren. Bevorzugt werden die ersten drei Kontrollpunkte auf den Wert 0 gesetzt und die letzten drei Kontrollpunkte werden auf den Wert 1 gesetzt. Denkbar ist alternativ eine Herangehensweise mit einem künstlichen neuronalen Netz, wobei die Ränder der Übergangsfunktion gelernt werden über parametrisierbare Aktivierungsfunktionen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Verfahren einen dem Schritt (c) nachfolgenden Verfahrensschritt (d) umfasst:

(d) Die dritte Spurstangenkraft wird in einer Feinabstimmung (5) modifiziert, insbesondere

gefiltert und/oder geglättet und/oder beschränkt. Durch den Verfahrensschritt (d) können Nichtlinearitäten im Verhalten abgebildet werden oder die geschätzte dritte Spurstangenkraft kann für regelungstechnische Aufgaben optimiert bereitgestellt werden, beispielsweise ohne Sprünge bzw. als stetige Funktion. In Verfahrensschritt (d) können Methoden des Physics-Based-Learning und/oder des Residual-Learning verwendet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Feinabstimmung in Verfahrensschritt (d) in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Fahrzeugs erfolgt, insbesondere in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines Steer-By-Wire-Lenksystems mit einem Force-Feedback-Aktuator zur Erzeugung einer Feedback-Kraft an einem Lenkrad, wobei eine Spurstangenkraft gemäß einem vorstehend beschriebenen Verfahren geschätzt wird und der Force-Feedback-Aktuator in Abhängigkeit von der geschätzten Spurstangenkraft angesteuert wird.

Bei dem Verfahren zum Betrieb eines Steer-By-Wire-Lenksystems können dieselben technischen Wirkungen und Vorteile erreicht werden, wie sie im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft erläutert worden sind. Optional können bei dem Verfahren zum Betrieb eines Steer-By-Wire-Lenksystems die im Zusammenhang mit dem Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft offenbarten vorteilhaften Ausgestaltungen und Merkmale – allein oder in Kombination – Anwendung finden.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend unter Zuhilfenahme der Zeichnungen anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben. Hierin zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Schätzung einer Spurstangenkraft in einem Blockdiagramm; und

Fig. 2 mehrere alternative Ausgestaltungen der Kombination von Spurstangenkräften im Verfahrensschritt (c).

Das vorgestellte Verfahren stellt eine Berechnungsmethode bereit, so dass für alle Geschwindigkeiten im realen Fahrbetrieb die Spurstangenkraft hinreichend genau bestimmt wird. Die grundsätzlichen Schritte dieses Verfahrens sind in **Figur 1** dargestellt:

(a) Es werden zunächst aufgrund der Messwerte/Sensorsignale aus dem Fahrzeug beide Modelle, siehe Block (1) und (2), ausgewertet.

(b) Die Seitenkraft wird über Kenngrößen der Lenkgeometrie (3) in eine Spurstangenkraft umgerechnet

(c) Beide Modellantworten werden in (4) miteinander verrechnet, ggf. abhängig vom

Betriebszustand (also von den Messwerten)

- (d) In einem letzten Schritt, siehe Block (5), kann die aus den physikalischen Modellen gebildete Kraft noch verfeinert werden, um beispielsweise zusätzliche Nichtlinearitäten im Verhalten abzubilden oder ggf. die Vorhersage für regelungstechnische Aufgaben vorzubereiten. Dies kann wieder abhängig vom Betriebszustand erfolgen.

Den grundsätzlichen Aufbau beschreibt **Figur 1**.

Eingangsgroößen:

- Üblicherweise wird für die einfachsten Modelle die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Querbeschleunigung, der Lenkwinkel und die Lenkrate benötigt. Zur Verfeinerung der Modelle können weitere Größen der Fahrzeugdynamik oder der Mess-/Steuer- und Rechengroößen herangezogen werden. Die Eingangsgroößen sind nicht beschränkt auf zeitvariable Messgroößen, sondern können auch konstante Parameter über den Fahrzeugaufbau beinhalten, bspw. geometrische Kenngrößen der Vorderachslenkung. Weiterhin ist es denkbar, dass ermittelte Umgebungsparameter, wie Temperatur und Straßenbedingung in die Eingangsgroößen mit aufgenommen werden. Als zusätzliche Erweiterung kann ein Feature Preprocessing eingesetzt werden, um die in den Eingangsgroößen enthaltenen Informationen direkt den Modellen oder Lernalgorithmen zur Verfügung zu stellen. Bspw. können Ableitungen oder statistische Kennwerte wie Mittelwert, Kurtosis oder Standardabweichung der Eingangsgroößen inkludiert werden.

Block 1 (Modell: Fahrt):

- Physikalisches Modell zur Beschreibung der Seitenkräfte während der Fahrt, bspw. Einspur- oder Zweispurmodelle oder komplexer. Ermittlung der Seitenkraft im Betrieb aus dem Modell kann bspw. über verschieden aufwendige Kalman-Filter erfolgen.

Block 2 (Modell: Stillstand):

- Physikalisches Modell zur Beschreibung der Seitenkräfte während Lenkmanövern bei sehr geringen Geschwindigkeiten oder dem Stillstand, bspw. Bohrmomentmodell, Jacking-Torque-Modell, Borstenmodell oder komplexer.

- Bei der datengetriebenen Zusammenführung der zuvor ausgewerteten Modelle in Block 1 und 2 ist es denkbar, dass durch geeignetes Feature Preprocessing auch zeitliche Ableitungen, bzw. generell Sensitivitäten der Modellantworten bzgl. sich ändernder Parameter, als Inputs genutzt werden können. Die Sensitivitäten müssen von den

Modellblöcken 1 und 2 zur Verfügung gestellt werden. Um Erklärbarkeit auch über die datengetriebenen Verfahren in Block 1 und Block 2 zu erhalten und zusätzlich Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen, können die datengetriebenen Korrekturen/Änderungen in ihrer Größe beschränkt werden. Des Weiteren können die physikalischen Teilmodelle durch datengetriebene Modelle (alles zwischen rein phänomenologisch an Daten gefitteten Modellen über Random Forests bis hin zu neuronalen Netzen) ersetzt werden. Weiterhin können bereits die physikalischen Teilmodelle mit datengetriebenen Techniken augmentiert werden (Residual Learning, bzw. andere Ansätze des Hybriden Lernens, siehe z.B. oben "Blending Diverse Physical Priors with Neural Networks", Ba, Zhao, Kadambi), 2019, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.00201>.

Die Blöcke 1 und 2 implementieren den Verfahrensschritt<sup>[A4]</sup> (a), in welchem aufgrund von Messwerten und/oder Sensorsignalen aus dem Fahrzeug zwei Modelle ausgewertet werden, um jeweils eine erste und eine zweite Seitenkraft zu erhalten.

15

Block 3 (Lenkgeometrie):

Umwandlung der Seitenkräfte in Spurstangenkräfte anhand der Parameter der Lenkgeometrie. Insofern implementiert Block 3 den Verfahrensschritt (b), in welchem die erste und die zweite Seitenkraft jeweils anhand von Kenngrößen der Lenkgeometrie in eine erste und eine zweite Spurstangenkraft umgerechnet werden.

20

Block 4 (Zusammenführung der Seitenkräfte):

In der Zusammenführung werden die von den Modellen geschätzten Spurstangenkräfte zu einer resultierenden Spurstangenkraft kombiniert. Insofern realisiert Block 4 den Verfahrensschritt (c), in welchem die Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft erfolgt, um eine dritte Spurstangenkraft zu erhalten, wobei die dritte Spurstangenkraft eine gewichtete Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft ist. Die Kombination der Kräfte kann in verschiedenen Komplexitätsstufen erfolgen. Diese Komplexitätsstufen der Kombination der Spurstangenkräfte aus den zwei (oder mehr) verschiedenen Modellen sind im Detail in **Figur 2** dargestellt. Im Kern erfolgt die Zusammenführung über eine Linearkombination, wobei die Bestimmung der Gewichte unterschiedlichen Komplexitätsstufen unterliegt. Die Funktion der Gewichte kann von verschiedenen Eingangsgrößen, aber auch vom Wert der einzelnen Seitenkräfte abhängen.

25

Stufe 1 (variable Grenze):

Eine Ausgestaltung gemäß der Komplexitätsstufe 1 ist im oberen Abschnitt der Figur 2 gezeigt. Im diesem, dem einfachsten, Fall erfolgt die Umschaltung zwischen den Modellen

35

anhand eines Grenzwertes. Bei Erreichen des Grenzwertes werden die Gewichte geändert, so dass ein Modell aktiviert wird und das andere deaktiviert wird. Im vorliegenden Fall wird bei Überschreitung einer bestimmten Geschwindigkeit vom Modell I auf Modell II geschaltet. Dabei kann die Grenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Parametern bspw. Lenkwinkel und Querschleunigung während des Betriebs variieren, ist also ein mehrdimensionales Kennfeld. Dieses Kennfeld wird vor dem Einsatz im Fahrzeug datengetrieben bestimmt, so dass der Gesamtmodellfehler zur realen Kraft minimiert wird. Weiterhin sollte in diesem Fall aus regelungstechnischen Gründen ein Hin- und Herschalten am Grenzpunkt verhindert werden.

5 Stufe 2 (variable Grenzen mit vorgegebener Übergangsform):  
Eine Ausgestaltung gemäß der Komplexitätsstufe 2 ist im mittleren Abschnitt der Figur 2 gezeigt. Im diesem Fall erfolgt die Umschaltung zwischen den Modellen anhand zweier Grenzwerte, wobei die Veränderung der Gewichte im Übergangsbereich (II) durch die Form von vorher vorgegebenen Funktionen definiert ist. Die Wahl der Ansatzfunktion mit den zu bestimmenden Parametern ist grundsätzlich beliebig. Bspw. können die Funktionen die Form (multi-) linearer oder (multi-) quadratischer Ansätze oder von Splines n-ter Ordnung etc. annehmen. Die Wahl der Form der Ansatzfunktion erfolgt in diesem Fall nicht datengetrieben. Die Bestimmung der Parameter der Ansatzfunktion wird über datengetriebene Verfahren ermittelt, bspw. durch Least-Square etc. Die Grenzwerte werden gewählt anhand der optimierten Form der Übergangsfunktion. In der Regel werden die Grenzwerte an die Schnittpunkte der optimierten Ansatzfunktionen mit den Gewichten 0 und 1 gesetzt.

Stufe 3 (variable Grenzen mit variablen Übergangsformen):  
Eine Ausgestaltung gemäß der Komplexitätsstufe 3 ist im unteren Abschnitt der Figur 2 gezeigt. In diesem Fall höchster Komplexität ist nicht nur die Größe des Übergangsbereiches variabel, sondern auch die Grundform der Ansatzfunktion nicht vorgegeben. Sowohl die Ansatzfunktion für die Gewichte der Modelle als auch die Größe des Übergangsbereiches werden datengetrieben ermittelt. Somit kann der Übergangsbereich auch durch ein neuronales Netz repräsentiert werden. Durch die unterliegende Formulierung der Gesamtkraft als gewichtete Summe aus Teilmodellen, ist trotz datengetriebener Aspekte eine hohe Erklärbarkeit/Nachvollziehbarkeit gewährleistet.

Block 5 (Feinabstimmung):

Block 5 implementiert einen optionalen Verfahrensschritt (d), in welchem die dritte Spurstangenkraft in einer Feinabstimmung modifiziert wird, insbesondere gefiltert und/oder geglättet und/oder beschränkt wird. Die in Block 4 geschätzte, resultierende

Spurstangenkraft kann als Modellantwort eines einzig physikalisch inspirierten Modells interpretiert werden, welche mit den Methoden des Physics-Based-Learning verfeinert werden kann, bspw. durch Residual-Learning (hauptsächlich sinnhaft, falls Block 1 und 2 nicht als datengetriebene Modelle implementiert sind). Des Weiteren können hier diverse Postprocessing-Augmentierungen durchgeführt werden, zum Bsp. Glättung, Beschränkung, Filter usw. Ein Ziel dieser Augmentierungen kann sein, die final bestimmte Spurstangenkraft einer regelungstechnischen Aufgabe zuzuführen, bspw. um Feedback am Lenkrad zu geben. Um Erklärbarkeit auch über die datengetriebenen Verfahren in Block 5 zu erhalten und zusätzlich Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen, können die datengetriebenen Korrekturen/Änderungen in ihrer Größe beschränkt werden.

Bei den vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen eines Verfahrens zur Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs sind folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- (a) Es werden zunächst aufgrund von Messwerten und/oder Sensorsignalen aus dem Fahrzeug zwei Modelle (1, 2) ausgewertet, um jeweils eine erste und eine zweite Seitenkraft zu erhalten;
- (b) Die erste und die zweite Seitenkraft wird jeweils anhand von Kenngrößen der Lenkgeometrie (3) in eine erste und eine zweite Spurstangenkraft umgerechnet;
- (c) Die erste und die zweite Spurstangenkraft werden miteinander kombiniert, um eine dritte Spurstangenkraft zu erhalten, wobei die dritte Spurstangenkraft eine gewichtete Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft ist.

Hierdurch kann eine möglichst genaue Schätzung der Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines Fahrzeugs ermöglicht werden.

- Die vorgesehene Produktnutzung ist für Steer-by-Wire Systeme, Road-Wheel-Aktuatoren und Intelligent Front/Rear Wheel Systeme vorgesehen.

Dabei kann das Verfahren zur Schätzung in einem Verfahren zum Betrieb eines Steer-By-Wire-Lenksystems mit einem Force-Feedback-Aktuator zur Erzeugung einer Feedback-Kraft an einem Lenkrad zur Anwendung kommen, wobei eine Spurstangenkraft gemäß einem der vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiels des Verfahrens zur Schätzung der Spurstangenkraft geschätzt wird und der Force-Feedback-Aktuator in Abhängigkeit von der geschätzten Spurstangenkraft angesteuert wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Schätzung einer Spurstangenkraft einer Lenkvorrichtung eines  
Fahrzeugs mit folgenden Verfahrensschritten:
  - 5 (a) Es werden zunächst aufgrund von Messwerten und/oder Sensorsignalen aus dem Fahrzeug zwei Modelle (1, 2) ausgewertet, um jeweils eine erste und eine zweite Seitenkraft zu erhalten;
  - (b) Die erste und die zweite Seitenkraft wird jeweils anhand von Kenngrößen der Lenkgeometrie (3) in eine erste und eine zweite Spurstangenkraft umgerechnet;
  - 10 (c) Die erste und die zweite Spurstangenkraft werden miteinander kombiniert, um eine dritte Spurstangenkraft zu erhalten, wobei die dritte Spurstangenkraft eine gewichtete Kombination der ersten und zweiten Spurstangenkraft ist.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein  
15 Geschwindigkeitsgrenzwert vorgegeben ist und in Verfahrensschritt (c) die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs kleiner als der Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 und  
20 die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem Geschwindigkeitsgrenzwert ist.
  
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der  
25 Geschwindigkeitsgrenzwert in Abhängigkeit von einem Lenkwinkel und/oder einer Querbeschleunigung des Fahrzeugs ermittelt wird.
  
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine von der  
Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängige Übergangsfunktion vorgegeben ist und  
die erste oder die zweite Spurstangenkraft mit der Übergangsfunktion gewichtet wird.  
30
  
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster  
Geschwindigkeitsgrenzwert und ein zweiter Geschwindigkeitsgrenzwert vorgegeben  
ist und in Verfahrensschritt (c)
  - 35 a. die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs kleiner als der erste Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und

- b. die erste Spurstangenkraft mit dem Faktor 0 und die zweite Spurstangenkraft mit dem Faktor 1 gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem zweiten Geschwindigkeitsgrenzwert ist, und
- c. die erste oder die zweite Spurstangenkraft mit der Übergangsfunktion gewichtet wird, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs größer oder gleich dem ersten Geschwindigkeitsgrenzwert und kleiner als der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert ist.
- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergangsfunktion eine ganzrationale Funktion ersten Grades oder zweiten Grades oder dritten Grades oder vierten Grades ist.
- 10
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergangsfunktion einen oder mehrere Parameter aufweist und der oder die Parameter in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt werden, insbesondere mittels einer regressionsanalytischen Schätzmethode, beispielsweise der Methode der kleinsten Quadrate.
- 15
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergangsfunktion in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt wird, insbesondere mittels Gaußprozess-Regression ermittelt wird.
- 20
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und der zweite Geschwindigkeitsgrenzwert in einem dem Verfahrensschritt (a) vorausgehenden Kalibrierungsschritt ermittelt wird, insbesondere mittels einer regressionsanalytischen Schätzmethode, beispielsweise der Methode der kleinsten Quadrate, ermittelt wird. [A5]
- 25
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen dem Schritt (c) nachfolgenden Verfahrensschritt (d):  
(d) Die dritte Spurstangenkraft wird in einer Feinabstimmung (5) modifiziert, insbesondere gefiltert und/oder geglättet und/oder beschränkt.
- 30
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Feinabstimmung in Verfahrensschritt (d) in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Fahrzeugs erfolgt,
- 35

insbesondere in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

12. Verfahren zum Betrieb eines Steer-By-Wire-Lenksystems mit einem Force-Feedback-Aktuator zur Erzeugung einer Feedback-Kraft an einem Lenkrad, wobei eine Spurstangenkraft gemäß einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche geschätzt wird und der Force-Feedback-Aktuator in Abhängigkeit von der geschätzten Spurstangenkraft angesteuert wird.

5

10

15

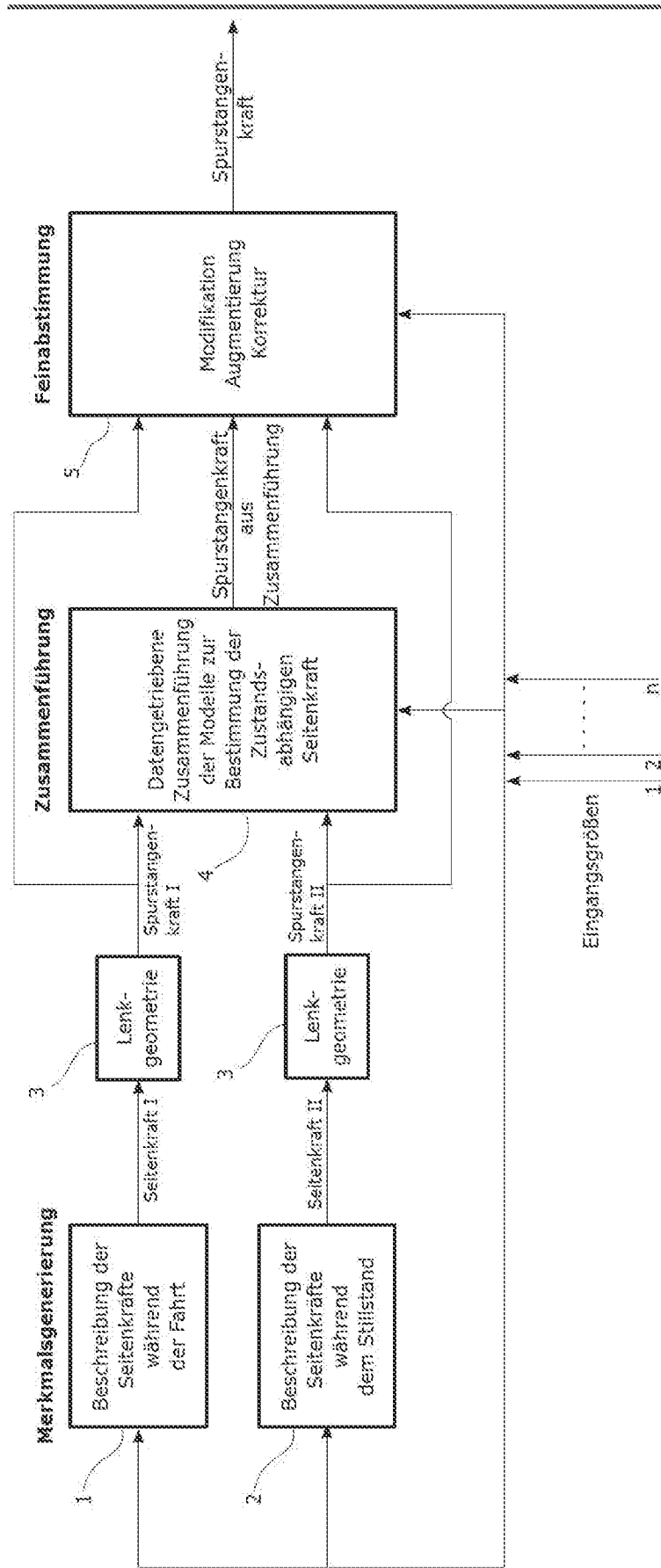


FIG. 1

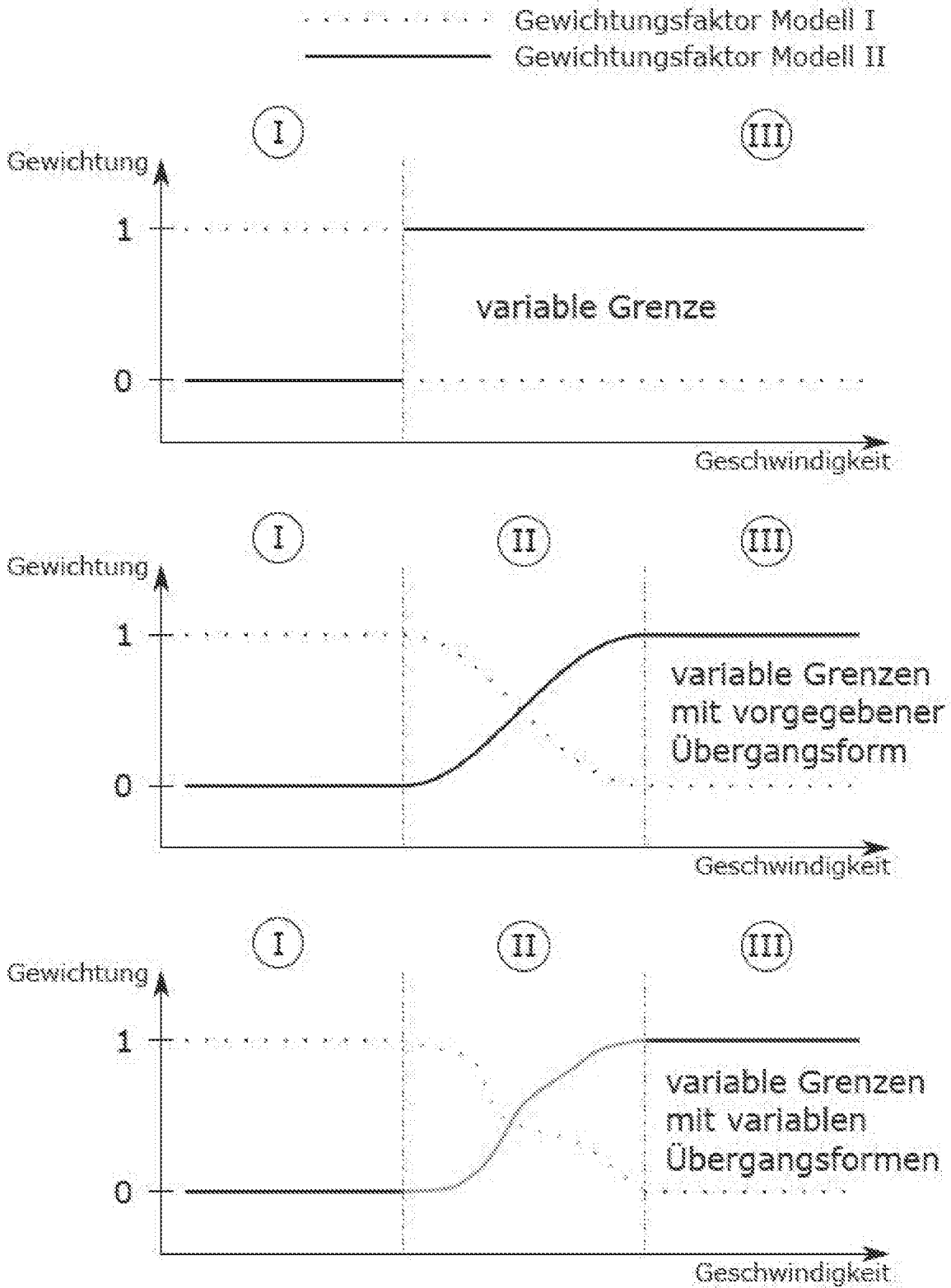


FIG. 2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/DE2023/100603**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>B62D 6/00</i> (2006.01)i; <i>B62D 7/20</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2020023889 A1 (ROHRMOSER MANUEL [AT]) 23 January 2020 (2020-01-23) paragraph [0030] - paragraph [0039]; figures 1-8	1-12
A	DE 102010030986 B4 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 February 2022 (2022-02-24) cited in the application paragraph [0035] - paragraph [0061]; figures 1-3	1-12
A	DE 102008042666 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 06 May 2010 (2010-05-06) paragraph [0059] - paragraph [0076]; figures 1-7	1-12
A	US 6499559 B2 (DELPHI TECH INC [US]) 31 December 2002 (2002-12-31) column 2, line 48 - column 16, line 23; figures 1-10	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>09 November 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>23 November 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Kamara, Amadou</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/DE2023/100603**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2020023889	A1	23 January 2020	CN	110402217	A	01 November 2019
				DE	102017105370	A1	20 September 2018
				EP	3595958	A1	22 January 2020
				US	2020023889	A1	23 January 2020
				WO	2018167005	A1	20 September 2018
-----							
DE	102010030986	B4	24 February 2022	DE	102010030986	A1	12 January 2012
				EP	2590850	A1	15 May 2013
				ES	2600906	T3	13 February 2017
				US	2012046836	A1	23 February 2012
				WO	2012004331	A1	12 January 2012
-----							
DE	102008042666	A1	06 May 2010	CN	101716951	A	02 June 2010
				DE	102008042666	A1	06 May 2010
-----							
US	6499559	B2	31 December 2002	EP	1246746	A1	09 October 2002
				JP	2003534180	A	18 November 2003
				US	2001041957	A1	15 November 2001
				WO	0147762	A1	05 July 2001
-----							

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b>		
INV. <b>B62D6/00</b> <b>B62D7/20</b>		
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTER GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) <b>B62D</b>		
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) <b>EPO-Internal, WPI Data</b>		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<b>X</b>	<b>US 2020/023889 A1 (ROHRMOSER MANUEL [AT]) 23. Januar 2020 (2020-01-23) Absatz [0030] - Absatz [0039]; Abbildungen 1-8</b> -----	<b>1-12</b>
<b>A</b>	<b>DE 10 2010 030986 B4 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Februar 2022 (2022-02-24) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0035] - Absatz [0061]; Abbildungen 1-3</b> -----	<b>1-12</b>
<b>A</b>	<b>DE 10 2008 042666 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 6. Mai 2010 (2010-05-06) Absatz [0059] - Absatz [0076]; Abbildungen 1-7</b> -----	<b>1-12</b>
	-/--	
<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		Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
<b>9. November 2023</b>		<b>23/11/2023</b>
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  <b>Kamara, Amadou</b>

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<b>A</b>	<b>US 6 499 559 B2 (DELPHI TECH INC [US]) 31. Dezember 2002 (2002-12-31) Spalte 2, Zeile 48 - Spalte 16, Zeile 23; Abbildungen 1-10</b> -----	<b>1-12</b>

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/DE2023/100603**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>US 2020023889 A1</b>	<b>23-01-2020</b>	<b>CN 110402217 A</b>	<b>01-11-2019</b>
		<b>DE 102017105370 A1</b>	<b>20-09-2018</b>
		<b>EP 3595958 A1</b>	<b>22-01-2020</b>
		<b>US 2020023889 A1</b>	<b>23-01-2020</b>
		<b>WO 2018167005 A1</b>	<b>20-09-2018</b>
-----			
<b>DE 102010030986 B4</b>	<b>24-02-2022</b>	<b>DE 102010030986 A1</b>	<b>12-01-2012</b>
		<b>EP 2590850 A1</b>	<b>15-05-2013</b>
		<b>ES 2600906 T3</b>	<b>13-02-2017</b>
		<b>US 2012046836 A1</b>	<b>23-02-2012</b>
		<b>WO 2012004331 A1</b>	<b>12-01-2012</b>
-----			
<b>DE 102008042666 A1</b>	<b>06-05-2010</b>	<b>CN 101716951 A</b>	<b>02-06-2010</b>
		<b>DE 102008042666 A1</b>	<b>06-05-2010</b>
-----			
<b>US 6499559 B2</b>	<b>31-12-2002</b>	<b>EP 1246746 A1</b>	<b>09-10-2002</b>
		<b>JP 2003534180 A</b>	<b>18-11-2003</b>
		<b>US 2001041957 A1</b>	<b>15-11-2001</b>
		<b>WO 0147762 A1</b>	<b>05-07-2001</b>
-----			