

(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  
06. Mai 2021 (06.05.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2021/083751 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*B62D 9/00* (2006.01)      *B60W 10/18* (2012.01)  
*B60T 8/1755* (2006.01)    *B60W 10/20* (2006.01)  
*B60W 10/08* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/079545

(22) Internationales Anmeldedatum:

21. Oktober 2020 (21.10.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2019 129 032.5

28. Oktober 2019 (28.10.2019) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP PRESTA AG** [LI/LI]; Es-sanestrasse 10, 9492 Eschen (LI). **THYSSENKRUPP AG** [DE/DE]; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(72) Erfinder: **LAPIS, Leonard**; Zilweg 4, 9466 Semwald (CH). **MIANO, Carlo Mario**; Tonagass 8, 9492 Eschen (LI). **POLMANS, Kristof**; Strad 6b, 6464 Tarrenz (AT).

(74) Anwalt: **THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PRO-PERTY GMBH**; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (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, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) **Title:** METHOD FOR CONTROLLING A MOTOR VEHICLE IN EMERGENCY STEERING MODE BY MEANS OF FRONT WHEEL BRAKE-BASED TORQUE VECTORING

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES KRAFTFAHRZEUGES IM NOTLENKBETRIEB MITTELS VORDERRADBREMSEN-BASIERTEN TORQUE-VECTORING

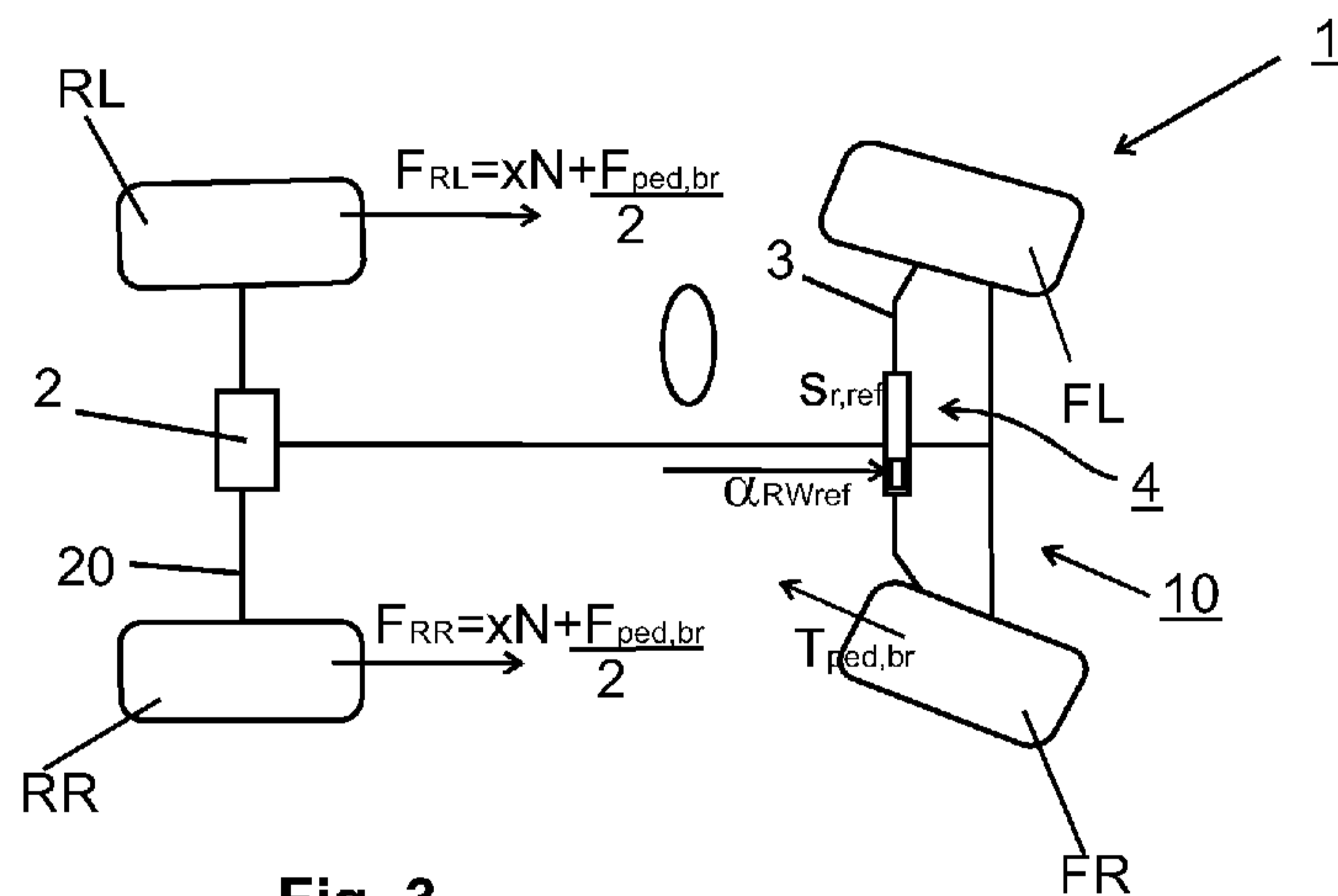


Fig. 3

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for controlling a steer-by-wire steering system in an emergency steering mode, wherein the motor vehicle (1) comprises two axles (10, 20), each having two wheels (RL, RR, FL, FR), wherein the two front wheels (FL, FR) are steerable by means of front wheel steering and are connected to each other by a steering rod (3) of a steering system (4) of the front wheel steering, and the motor vehicle (1) comprises a single wheel drive, which is associated with one of the two axles (10, 20) and which drives the two wheels of the corresponding axle by means of a differential, wherein the wheel drive comprises a single actuator (2), and wherein the motor vehicle (1) comprises a brake system and the method comprises the following steps: examining the steering system for the presence of an error state; carrying out the emergency steering mode in the event that an error state has been detected and carrying out the following steps: determining a target position of the steering rod ( $S_{R,ref}$ ) by means of a target wheel steering angle ( $\alpha_{RW,ref}$ ); determining a front wheel (FL, FR) to be braked and a brake pressure for achieving the target position ( $S_{R,ref}$ ) by means of a control unit; transmitting the front wheel (FL, FR) to be braked and the brake pressure to the brake system and braking the front wheel (FL, FR) to be braked; increasing a torque provided by the wheel drive in order to

WO 2021/083751 A1

ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)

---

compensate for a loss of speed of the vehicle (1) caused by the braking of the front wheel (FL, FR) to be braked.

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire- Lenksystems in einem Notlenkbetrieb, wobei das Kraftfahrzeug (1) zwei Achsen (10,20) mit jeweils zwei Rädern (RL,RR,FL,FR) umfasst, wobei die vorderen beiden Räder (FL,FR) mittels einer Vorderradlenkung lenkbar sind und über eine Lenkstange (3) eines Lenksystems (4) der Vorderradlenkung miteinander verbunden sind, und das Kraftfahrzeug (1) einen einzigen Radantrieb umfasst, der einer der beiden Achsen (10,20) zugeordnet ist und die beiden Räder der entsprechenden Achse über ein Differential antreibt, wobei der Radantrieb einen einzigen Aktuator (2) umfasst, und wobei das Kraftfahrzeug (1) ein Bremssystem umfasst, und das Verfahren folgende Schritte umfasst: Überprüfen des Lenksystems auf Vorliegen eines Fehlerzustandes; Durchführen des Notlenkbetriebs, im Fall, dass ein Fehlerzustand detektiert wurde und Ausführen folgender Schritte: Bestimmen einer Sollposition der Lenkstange ( $S_{R,ref}$ ) mittels eines Soll-Radlenkwinkels ( $\alpha_{RW,ref}$ ); Bestimmen eines zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) und eines Bremsdrucks zum Erreichen der Sollposition ( $S_{R,ref}$ ) mittels einer Steuereinheit; Übermitteln des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) und des Bremsdrucks an 20 das Bremssystem und Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR); Erhöhen eines vom Radantrieb bereitgestellten Drehmoments zur Kompensation eines durch das Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) hervorgerufenen Geschwindigkeitsverlusts des Kraftfahrzeuges (1).

5

10

### **Verfahren zur Steuerung eines Kraftfahrzeuges im Notlenkbetrieb mittels Vorderradbremsen-basierten Torque-Vectoring**

15 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire-Lenksystems für ein Kraftfahrzeug mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 und ein Kraftfahrzeug, das dazu ausgebildet ist, dieses Verfahren auszuführen.

Bei Steer-by-Wire-Lenksystemen ist die Stellung der gelenkten Räder nicht  
20 direkt mit dem Lenkrad gekoppelt. Es besteht eine Verbindung zwischen dem Lenkrad und den gelenkten Rädern über elektrische Signale. Der Fahrerlenkwunsch wird von einem Lenkwinkelsensor abgegriffen und in Abhängigkeit des Fahrerlenkwunsches wird über einen Lenksteller die Stellung der gelenkten Räder geregelt. Eine mechanische Verbindung zu den Rädern ist nicht  
25 vorgesehen.

Im Normalbetrieb betreibt die Steuerung das Steer-by-Wire-Lenksystem und überprüft permanent die ordnungsgemäße Funktion der Systembestandteile des Lenksystems. Kommt es zu einem Fehler wird die Funktion des Steer-by-Wire-Lenksystem abgeschaltet. Es kann eine mechanische Rückfallebene  
30 vorgesehen sein, die einen Notlenkbetrieb ermöglicht. Solche mechanischen Rückfallebenen sind jedoch kostenintensiv.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire-Lenksystems für ein Kraftfahrzeuges anzugeben, das ohne mechanische Rückfallebene, einen Notlenkbetrieb ermöglicht.

5 Diese Aufgabe wird von einem Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire-Lenksystems mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einem Steer-by-Wire-Lenksystem, das dazu ausgelegt ist, ein solches Verfahren auszuführen, gelöst. Weitere vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

10 Demnach ist ein Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire-Lenksystems für ein Kraftfahrzeug in einem Notlenkbetrieb vorgesehen, wobei das Kraftfahrzeug zwei Achsen mit jeweils zwei Rädern, die über eine Lenkstange eines Lenksystems miteinander verbunden sind, umfasst, wobei die vorderen beiden Räder mittels einer Vorderradlenkung lenkbar sind, und das Kraftfahrzeug einen einzigen Radantrieb umfasst, der einer der beiden Achsen  
15 zugeordnet ist und die beiden Räder der entsprechenden Achse über ein Differential antreibt, wobei der Radantrieb einen einzigen Aktuator umfasst, und wobei das Kraftfahrzeug ein Bremssystem umfasst, und das Verfahren folgende Schritt umfasst:

- Überprüfen des Lenksystems auf Vorliegen eines Fehlerzustands,
- 20 • Durchführen des Notlenkbetriebs, im Fall, dass ein Fehlerzustand detektiert wurde,
- wobei im Notlenkbetrieb folgende Schritte ausgeführt werden
- Bestimmen einer Sollposition der Lenkstange mittels eines Soll-Radlenkwinkels,
- 25 • Bestimmen eines zu bremsenden Vorderrads und eines Bremsdrucks zum Erreichen der Sollposition mittels einer Steuereinheit,
- Übermitteln des zu bremsende Vorderrads und des Bremsdrucks an das Bremssystem und Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads,
- Erhöhen eines vom Radantrieb bereitgestellten Drehmoments zur

Kompensation eines durch das Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads hervorgerufenen Geschwindigkeitsverlusts des Kraftfahrzeuges.

Durch das Bremsen-basierte Torque Vectoring kann das Kraftfahrzeug auch bei einem Fehlerzustand, insbesondere bei Ausfall des Lenksystems gesteuert werden, ohne dass eine mechanische Rückfallebene benötigt wird.

Bei dem Differential handelt es sich um ein regelbares Differential. Es handelt sich insbesondere um ein offenes oder teilweise offenes Differential.

Bevorzugt wird für jedes der Fahrzeugräder ein Soll-Radlenkwinkel bestimmt, der Soll-Radlenkwinkel des linken und des rechten Fahrzeugrads können identisch sein oder unterschiedliche Winkel ausbilden.

Bevorzugt umfasst die Steuereinheit zum Bestimmen des zu bremsenden Vorderrads und des Bremsdrucks eine Software zur Arbitration.

Vorzugsweise fließen zur Bestimmung des zu bremsenden Vorderrads und des Bremsdrucks die Fahrwerkgeometrie, die Eigenschaften des Bremssystems und das Vorzeichen der Soll-Zahnstangenposition in die Software.

In einer Ausführungsform ist der Radantrieb ein Hinterradantrieb, der im Notlenkbetrieb für beide Hinterräder dasselbe zusätzliche Drehmoment bereitstellt, so dass die Summe der beiden zusätzlichen Drehmomente den Geschwindigkeitsverlust kompensiert.

Es kann auch vorgesehen sein, dass der Radantrieb ein Vorderradantrieb mit einem offenen Differenzial ist, der im Notlenkbetrieb das ungebremste Vorderrad antreibt und zwar mit der Summe der Drehmomente der beiden Vorderräder und dem zusätzlichen Drehmoment zur Kompensation des Geschwindigkeitsverlusts. Dabei gilt bevorzugt folgender Zusammenhang für eine Rechtskurve:  $T_{FL} + T_{FR} = 2 * T_{FL} + T_{ped,br,r}$  wobei  $T_{FL}$  und  $T_{FR}$  das Drehmoment des linken und rechten Vorderrads sind und  $T_{ped,br}$  das in das zu bremsende rechte Vorderrad eingeleitete Bremsmoment ist. Dabei gilt bevorzugt folgender Zusammenhang für eine Linkskurve:  $T_{FL} + T_{FR} = 2 * T_{FR} + T_{ped,br,l}$  wobei  $T_{ped,br}$  das in das zu bremsende linke Vorderrad eingeleitete Bremsmoment ist.

Es kann ganz allgemein vorgesehen sein, dass der Soll-Radlenkwinkel mittels eines von einem Fahrer in ein Lenkmittel eingeleiteten Lenkmoments bestimmt wird oder von einem autonomen oder halbautonomen Fahrbetrieb vorgegeben wird.

- 5 Weiterhin wird die Aufgabe von einem Kraftfahrzeug gelöst, das dazu eingerichtet ist, das zuvor beschriebene Verfahren durchzuführen. Das Kraftfahrzeug weist bevorzugt einen minimalen Lenkkopfwinkel und einen maximalen Lenkrollhalbmesser auf.

10 Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile sind dabei figurübergreifend mit denselben Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

Figur 1: eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeugs mit Vorderradantrieb aufweisend einen einzelnen Antriebsmotor,

15 Figur 2: eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeugs mit Vorderradantrieb aufweisend zwei Antriebsmotoren,

Figur 3: eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeuges mit Hinterradantrieb aufweisend einen Antriebsmotor und ein Vorderradbremesen-basiertes Torque Vectoring,

20 Figur 4: eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeuges mit Vorderradantrieb aufweisend einen Antriebsmotor und ein Vorderradbremesen-basiertes Torque Vectoring, sowie

Figur 5: ein Blockdiagramm einer Steuerung des Kraftfahrzeuges mit Vorderradbremesen-basiertem Torque-Vectoring.

25 In Figur 1 ist schematisch ein Kraftfahrzeug 1 mit zwei Achsen 10,20 und vier Rädern FL,FR,RL,RR dargestellt, wobei lediglich die Vorderräder FL,FR antreibbar sind (Vorderradantrieb) und der Antrieb 2 der Vorderräder FL,FR auf einer Vorderachse 10 angeordnet ist. Der Antrieb 2 ist ein Elektromotor. Die Vorderachse 10 umfasst bezogen auf eine Fahrtrichtung ein linkes lenkbares Vorderrad FL und ein rechtes lenkbares Vorderrad FR,

die über eine Zahnstange 3 eines Zahnstangenlenkgetriebes 4 miteinander verbunden sind. Bei Verlagerung der Zahnstange 3 quer zur Fahrtrichtung nach rechts oder links werden die Räder FL,FR um einen jeweiligen Schwenkpunkt verschwenkt.

- 5 Der Fahrer leitet in ein Lenkmittel, insbesondere ein Lenkrad einer Steer-by-Wire-Lenkung ein Lenkmoment  $T_{SW}$  ein. Aus diesem Lenkmoment  $T_{SW}$  wird ein Soll-Radlenkwinkel der lenkbaren Vorderräder  $\alpha_{RW,ref}$  und eine Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  bestimmt. Die Zahnstange 3 wird daraufhin mittels des Zahnstangenlenkgetriebes 4 bewegt, bis sie eine Ist-
- 10 Zahnstangenposition  $S_R$  und die Räder einen Radlenkwinkel  $\alpha_{RW}$  einnehmen.

Beim Durchfahren einer Rechtskurve, wie in Figur 1 dargestellt, wird das Antriebsmoment mittels des Vorderradantriebs gleichmäßig auf beide Vorderräder FL,FR verteilt, das heißt die Traktionskraft ist für beide

15 Vorderräder gleich,  $F_{FL}=F_{FR}$ .

Figur 2 zeigt ebenfalls einen aus dem Stand der Technik bekannten Vorderradantrieb, der zwei separate Aktuatoren 2,22 aufweist. Ein linker Radantriebsmotor 220 ist in Fahrtrichtung links und ein rechter Radantriebsmotor 221 ist in Fahrtrichtung rechts angeordnet. Die

20 Radantriebsmotoren 220,221 sind jeweils über Antriebswellen 5 mit den lenkbaren Vorderrädern FL,FR verbunden. Bei den Radantriebsmotoren 220, 221 handelt es sich um Elektromotoren. Die Vorderräder FL,FR der Vorderradlenkung sind über eine Zahnstange 3 eines Zahnstangenlenkgetriebes 4 miteinander verbunden. Die Steuerung des

25 Zahnstangenlenkgetriebes 4 läuft wie bei dem Steer-by-Wire-Lenksystem der Figur 1 ab, aber die Antriebssteuerung wird derart ausgeführt, dass ein Differenzmoment  $\Delta T$  zwischen den Vorderrädern FL,FR entsteht, dass proportional zu dem Soll-Radlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  der lenkbaren Vorderräder FL,FR oder dem Fahrerlenkwunsch ist. Mit anderen Worten, der Soll-

30 Radlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  der lenkbaren Vorderräder FL,FR fließt in die Steuerung des Vorderradantriebs ein. Beim Fahren einer Rechtskurve, wie in Figur 2 dargestellt, ist die Traktionskraft für das linke Vorderrad  $xN$

(beispielsweise  $100\text{N}$ ) +  $\Delta T/2$  und die Traktionskraft für das rechte Vorderrad  $xN - \Delta T/2$ . Das Differenzmoment führt zu einer Verlagerung der Zahnstange und somit zu einem Lenkvorgang.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das Kraftfahrzeug 1 weist eine Vorderradlenkung und einen Hinterradantrieb auf. Die Vorderräder FL,FR der Vorderradlenkung sind über eine Zahnstange 3 eines Zahnstangenlenkgetriebes 4 miteinander verbunden. Der Hinterradantrieb weist einen einzelnen Aktuator 2 auf, insbesondere einen Elektromotor, der die Hinterräder über ein Differenzial antreibt. Für den Fall, dass die Steer-by-Wire-Lenkung ausfällt, das heißt die Vorderradlenkung nicht mehr zur Verfügung steht, geht das Kraftfahrzeug in einen Notlenkbetrieb über. In diesem Notlenkbetrieb wird das Lenkmoment durch ein Abbremsen eines der Vorderräder FL,FR bereitgestellt. In Abhängigkeit von dem Sollradlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  wird eine Sollzahnstangenposition  $S_{R,ref}$  berechnet. Die Zahnstangenposition wird mittels einer Steuerung geregelt, die eine Software zur Arbitration umfasst. In diese Software fließen die Fahrwerkgeometrie, die Eigenschaften des Bremssystems und das Vorzeichen der Sollzahnstangenposition  $S_{R,ref}$  ein, um ein zu bremsendes Vorderrad FR,FL und den für den Bremsvorgang benötigten Bremsdruck zu bestimmen. Damit das Kraftfahrzeug 1 durch den Bremsvorgang nicht an Geschwindigkeit verliert, stellt der Hinterradantrieb ein zusätzliches Drehmoment an den Hinterrädern RR,RL bereit, das der Traktionskraft  $F_{ped,br}$  entspricht und den Geschwindigkeitsverlust kompensiert. Eine Position eines Gaspedals des Kraftfahrzeuges, vorzugsweise ein Gaspedalwinkel, sowie eine Position eines Bremspedals, vorzugsweise ein Bremspedalwinkel werden an die Steuerung übermittelt, um ein Beschleunigen oder ein Abbremsen des Kraftfahrzeuges zu erkennen, und daraus das zusätzlich benötigte Drehmoment zu berechnen.

Figur 3 zeigt das Fahren einer Rechtskurve. Die Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  und der Sollradlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  fließen in die Berechnung des vom rechten Vorderrad bereitgestellten Bremsmomentes  $T_{ped,br}$  mit ein. Eine Antriebssteuerung des Hinterradantriebs steuert entsprechend das rechte Hinterrad RR und linke Hinterrad RL an, welche jeweils eine Traktionskraft von  $xN$  (beispielsweise  $100\text{N}$ ) +  $F_{ped,br}/2$  aufbringen, wobei  $F_{ped,br}$  die das

Bremsmoment  $T_{ped,br}$  kompensierende Kraft ist.

Im Notlenkbetrieb kann das Kraftfahrzeug, trotzdem der Antrieb nur einen  
einzigsten Elektromotor umfasst, mittels Vorderradbremmen-basiertem  
Torque-Vectoring, ohne Antriebs-basiertem Torque-Vectoring, gelenkt  
5 werden. Auf eine zusätzliche mechanische Rückfallebene kann somit  
verzichtet werden, wodurch Kosten und Gewicht eingespart werden  
können.

In der Figur 4 ist ein Kraftfahrzeug 1 mit Vorderradantrieb und  
Vorderradlenkung dargestellt. Die Vorderräder FL,FR der Vorderradlenkung  
10 sind über eine Zahnstange 3 eines Zahnstangenlenkgetriebes 4 miteinander  
verbunden. Der Vorderradantrieb weist einen einzelnen Aktuator 2 auf,  
insbesondere einen Elektromotor, der die Vorderräder FL,FR über ein offenes  
Differenzial (ohne Sperreinrichtung) oder ein teilweise offenes Differenzial  
antreibt. Für den Fall, dass die Lenkung ausfällt, d. h. die Vorderradlenkung  
15 nicht mehr zur Verfügung steht, geht das Kraftfahrzeug 1 in einen  
Notlenkbetrieb über. In diesem Notlenkbetrieb wird das Lenkmoment durch  
ein Abbremsen eines der Vorderräder FL,FR bereitgestellt. In Abhängigkeit von  
dem Soll-Radlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  wird eine Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$   
berechnet. Die Zahnstangenposition wird mittels einer Steuerung geregelt, die  
20 eine Software zur Arbitration umfasst. In diese Software fließen die  
Fahrwerkgeometrie, die Eigenschaften des Bremssystem und das Vorzeichen  
der Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  ein, um ein zu bremsendes Vorderrad und  
den Bremsdruck zu bestimmen. Damit das Kraftfahrzeug 1 durch den  
Bremsvorgang nicht an Geschwindigkeit verliert, stellt der Aktuator 2 des  
25 Vorderradantriebs ein zusätzliches Drehmoment bereit, das den  
Geschwindigkeitsverlust kompensiert. Eine Position eines Gaspedals des  
Kraftfahrzeuges, vorzugsweise ein Gaspedalwinkel  $\alpha$ , sowie eine Position eines  
Bremspedals, vorzugsweise ein Bremspedalwinkel werden an die Steuerung  
übermittelt, um eine Beschleunigung oder ein Abbremsen des Kraftfahrzeuges  
30 zu erkennen um das zusätzliche Drehmoment zu berechnen.

Für die in Figur 4 dargestellte Rechtskurve gilt folgender Zusammenhang:

$T_{FL} + T_{FR} = 2 * T_{FL} + T_{ped,br}$  wobei  $T_{FL}$  und  $T_{FR}$  das Drehmoment des linken und

rechten Vorderrads sind und  $T_{ped,br}$  das in das zu bremsende Vorderrad FR eingeleitete Bremsmoment ist.

Das Bremsen-basierte Torque-Vectoring stellt in diesem Fall einen besonders günstigen und einfachen Notlenkbetrieb dar, der es erlaubt, das Kraftfahrzeug 1 nach Ausfall des Lenksystems zu steuern, ohne das eine mechanische Rückfallebene benötigt wird.

Vorzugsweise haben alle Ausführungsformen gemeinsam, dass ein Lenkkopfwinkel minimal und ein Lenkrollhalbmesser maximal ist, damit ein Lenkvorgang bzw. eine Translation der Zahnstange bereits durch wenig Bremsdruck auf das zu bremsende Vorderrad FL,FR hervorgerufen werden kann.

Ein Lenkvorgang und/oder Notlenkvorgang kann sowohl von einem Fahrer durch Drehen eines Lenkrades oder Bewegen eines sonstigen Lenkmittels als auch durch eine Steuerung eines autonomen oder halbautonomen Kraftfahrzeuges eingeleitet werden.

In der Figur 5 ist ein Blockdiagramm einer Steuerung des Kraftfahrzeuges mit Bremsen-basiertem Torque-Vectoring dargestellt. In einer ersten Einheit 6 werden das in ein Lenkrad vom Fahrer eingeleitete Lenkmoment  $T_{SW}$  oder ein von einem autonomen Fahrbetrieb angefragte Soll-Drehmoment  $T_{reg}$  in einen Soll-Radlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  der lenkbaren Vorderräder FL,FR umgerechnet. Eine zweite Einheit 7 bestimmt aus dem Soll-Radlenkwinkel  $\alpha_{RW,ref}$  eine Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$ . Aus der Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  und dem Brems-Drehmoment  $T_{ped,br}$  sowie dem Beschleunigungs-Drehmoment  $T_{ped,acc}$  der angetriebenen Räder werden in einer dritten Einheit 8 die Ist-Zahnstangenposition  $S_R$  sowie die Zahnstangenkraft  $F_{Rack}$  bestimmt. In einer vierten Einheit 9 wird daraus dann bestimmt, wie sich das Kraftfahrzeug und die Fahrzeuigräder im Falle einer konstanten Geschwindigkeit und Kurvenfahrt, einer Beschleunigung und Kurvenfahrt sowie während eines Bremsvorgangs in einer Kurvenfahrt verhält und anschließend für den jeweiligen Fahrzeugzustand implementiert.

Im ersten Zustand fährt das Kraftfahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v$  und entlang einer Kurve oder Kurvenbahn. Während der Kurvenfahrt muss die Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  infolge eines eingeschlagenen Lenkrads oder über die eingeschlagenen vorderen Fahrzeugräder einen Wert annehmen, der ungleich Null ist, da sich die Zahnstangenposition dabei verändert oder verändern muss. Die Bremskraft der jeweiligen vorderen Fahrzeugräder entspricht der Funktion der Soll-Zahnstangenposition  $F_{FL}, F_{FR} = f(S_{R,ref})$ . Für die hinteren Fahrzeugräder bedeutet es in diesem Fall, dass das Traktionsmoment der hinteren Fahrzeugräder  $T_{FL}, T_{FR}$  eine Funktion aus der Soll-Zahnstangenposition  $S_{R,ref}$  und dem Beschleunigungs-Moment  $T_{ped, acc}$  ( $T_{FL}, T_{FR} = f(S_{R,ref}, T_{ped, acc})$ ) ist, um die Fahrzeuggeschwindigkeit zu halten.

Im zweiten Zustand, also im Falle einer tangentialen Fahrzeugbeschleunigung  $v > 0$  und während einer Kurvenfahrt  $S_{R,ref} \neq 0$  entsprechen die Zusammenhänge bezogen auf die Bremskraft und das Traktionsmoment dem 1. Zustand:  $F_{FL}, F_{FR} = f(S_{R,ref})$  und  $T_{ped, acc}$  ( $T_{FL}, T_{FR} = f(S_{R,ref}, T_{ped, acc})$ ).

Im dritten Zustand, welcher einem Bremsvorgang entspricht, also wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit reduziert wird ( $v < 0$ ) sowie eine Kurvenfahrt bzw. Kurvenbahn  $S_{R,ref} \neq 0$  gefahren wird, ist die Bremskraft der vorderen Fahrzeugräder entsprechend einer Funktion der Soll-Zahnstangenposition und dem Brems-Moment  $T_{ped, br}$  ( $F_{FL}, F_{FR} = f(S_{R,ref}; T_{ped, br})$ ). Das Traktionsmoment an den hinteren Fahrzeugrädern liegt nicht an und ist damit Null ( $T_{FL}, T_{FR} = 0$ ).

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Steer-by-Wire-Lenksystems für ein Kraftfahrzeug (1) in einem Notlenkbetrieb, wobei das Kraftfahrzeug (1) zwei Achsen (10,20) mit jeweils zwei Rädern (RL,RR,FL,FR) umfasst, wobei die vorderen beiden Räder (FL,FR) mittels einer Vorderradlenkung lenkbar sind und über eine Lenkstange (3) eines Lenksystems (4) der Vorderradlenkung miteinander verbunden sind, und das Kraftfahrzeug (1) einen einzigen Radantrieb umfasst, der einer der beiden Achsen (10,20) zugeordnet ist und die beiden Räder der entsprechenden Achse über ein Differential antreibt, wobei der Radantrieb einen einzigen Aktuator (2) umfasst, und wobei das Kraftfahrzeug (1) ein Bremssystem umfasst, und das Verfahren folgende Schritte umfasst:
- Überprüfen des Lenksystems auf Vorliegen eines Fehlerzustandes,
  - Durchführen des Notlenkbetriebs, im Fall, dass ein Fehlerzustand detektiert wurde,
  - wobei im Notlenkbetrieb folgende Schritte ausgeführt werden:
    - Bestimmen einer Sollposition der Lenkstange ( $S_{R,ref}$ ) mittels eines Soll-Radlenkwinkels ( $\alpha_{RW,ref}$ ),
    - Bestimmen eines zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) und eines Bremsdrucks zum Erreichen der Sollposition ( $S_{R,ref}$ ) mittels einer Steuereinheit,
    - Übermitteln des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) und des Bremsdrucks an das Bremssystem und Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR),
    - Erhöhen eines vom Radantrieb bereitgestellten Drehmoments zur Kompensation eines durch das Abbremsen des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) hervorgerufenen Geschwindigkeitsverlusts des Kraftfahrzeuges (1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit zum Bestimmen des zu bremsenden Vorderrads (FL,FR) und des Bremsdrucks eine Software zur Arbitration umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur  
5 Bestimmung des zu bremsenden Vorderrads (FL, FR) und des Bremsdrucks die Fahrwerkgeometrie, die Eigenschaften des Bremssystems und das Vorzeichen der Sollzahnstangenposition ( $S_{R,ref}$ ) in die Berechnung einbezogen werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch**  
10 **gekennzeichnet**, dass der Radantrieb ein Hinterradantrieb ist, der im Notlenkbetrieb für beide Hinterräder (RR,RL) dasselbe zusätzliche Drehmoment bereitstellt, so dass die Summe der beiden zusätzlichen Drehmomente den Geschwindigkeitsverlust kompensiert.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, **dadurch**  
15 **gekennzeichnet**, dass der Radantrieb ein Vorderradantrieb mit einem offenen Differenzial ist, der im Notlenkbetrieb das ungebremste Vorderrad antreibt und zwar mit der Summe der Drehmomente der beiden Vorderräder und dem zusätzlichen Drehmoment zur Kompensation des Geschwindigkeitsverlusts.
- 20 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass folgender Zusammenhang für eine Rechtskurve gilt:  
 $T_{FL}+T_{FR}=2*T_{FL}+T_{ped,br}$ , wobei  $T_{FL}$  und  $T_{FR}$  das Drehmoment des linken und rechten Vorderrads (FL,FR) sind und  $T_{ped,br}$  das in das zu bremsende Vorderrad (FR) eingeleitete Bremsmoment ist.
- 25 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Soll-Radlenkwinkel ( $\alpha_{RW,ref}$ ) mittels eines von einem Fahrer in ein Lenkmittel eingeleiteten Lenkmoments ( $T_{SW}$ ) bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, **dadurch**  
30 **gekennzeichnet**, dass der Soll-Radlenkwinkel ( $\alpha_{RW,ref}$ ) von einem

autonomen oder halbautonomen Fahrbetrieb vorgegeben wird.

9. Kraftfahrzeug, das dazu eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen.
10. Kraftfahrzeug nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der  
5 Lenkkopfwinkel minimal und der Lenkrollhalbmesser maximal ist.

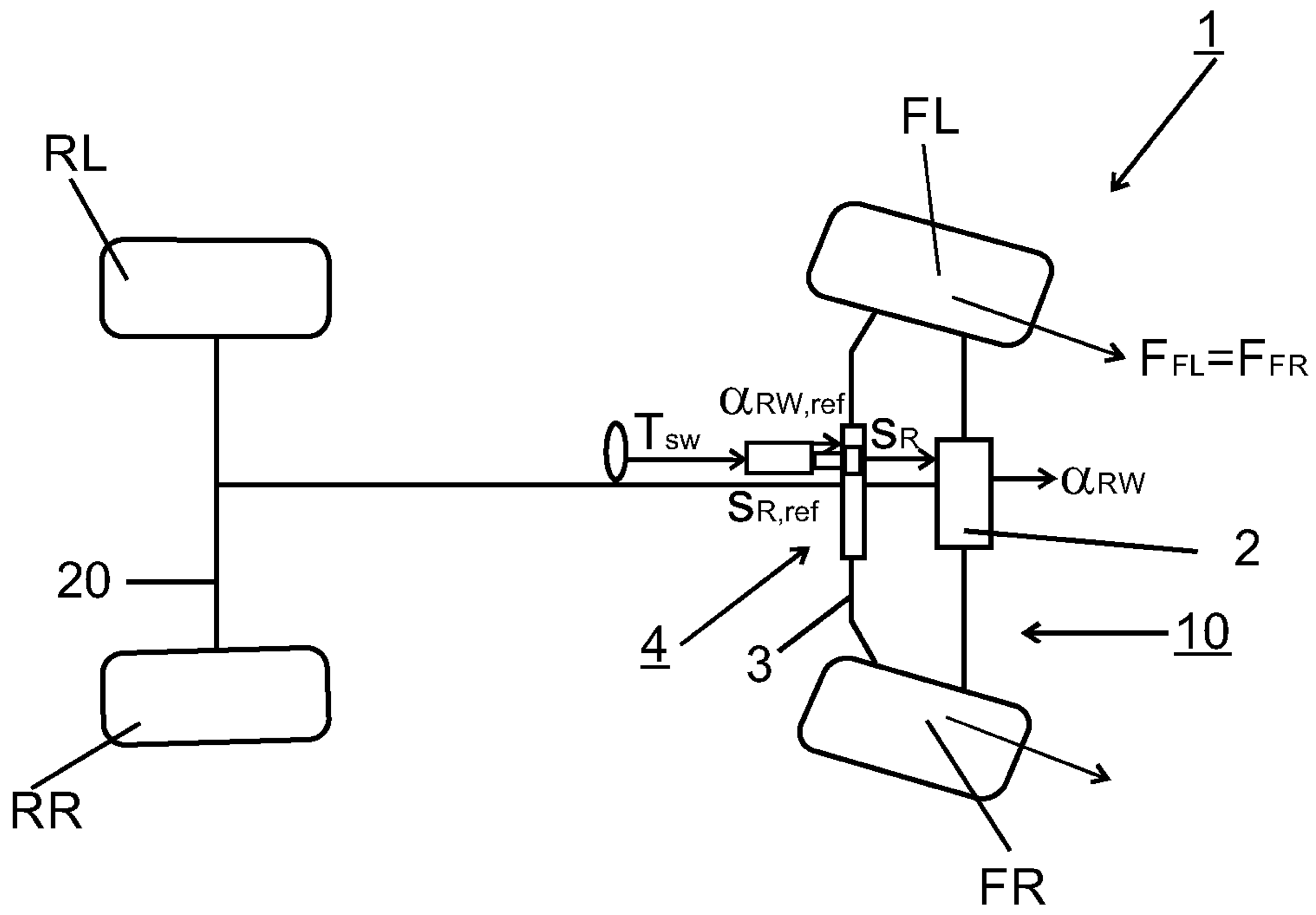


Fig. 1

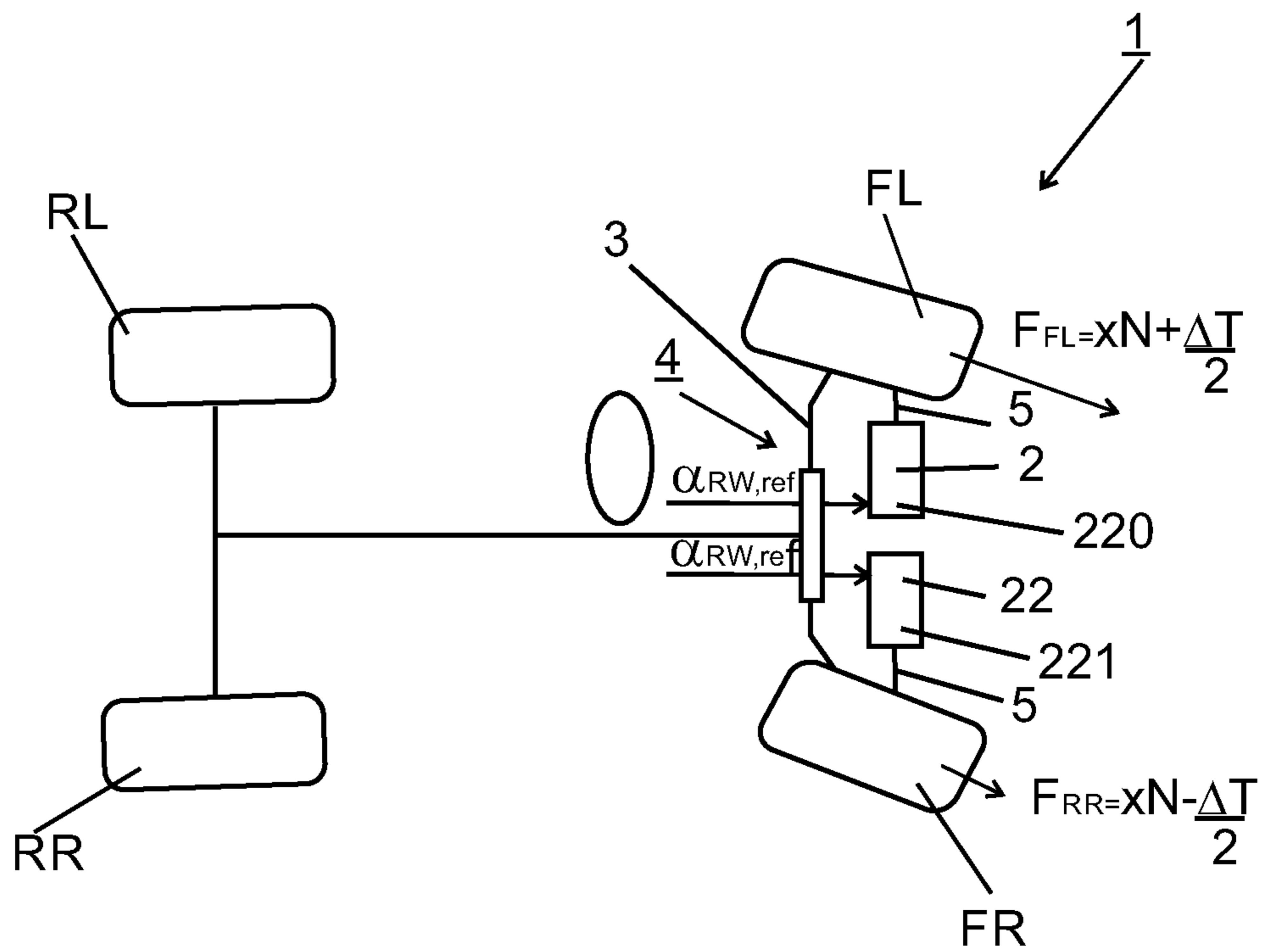


Fig. 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2020/079545**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>B62D 9/00</i> (2006.01)i; <i>B60T 8/1755</i> (2006.01)i; <i>B60W 10/08</i> (2006.01)i; <i>B60W 10/18</i> (2012.01)i; <i>B60W 10/20</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; B60T; B60W		
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.
A	DE 102013011883 A1 (THYSSENKRUPP PRESTA AG [LI]) 22 January 2015 (2015-01-22) paragraphs [0019] - [0025], [0041]; figures	1-10
A	US 2018273005 A1 (REDDER TIMM SABASTIAN [US] ET AL) 27 September 2018 (2018-09-27) paragraphs [0002], [0006], [0020] - [0031]; figures 1-4	1,9
<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>25 January 2021</b>		Date of mailing of the international search report <b>03 February 2021</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>Areal Calama, A</b>  Telephone No.

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

International application No.

**PCT/EP2020/079545**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102013011883	A1	22 January 2015	DE	102013011883	A1	22 January 2015
				EP	3022107	A1	25 May 2016
				WO	2015007418	A1	22 January 2015
-----							
US	2018273005	A1	27 September 2018	CN	108025714	A	11 May 2018
				US	2018273005	A1	27 September 2018
				WO	2017058707	A1	06 April 2017
-----							

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP2020/079545
---

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. B62D9/00      B60T8/1755      B60W10/08      B60W10/18      B60W10/20 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B62D B60T B60W		
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, WPI Data		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2013 011883 A1 (THYSSENKRUPP PRESTA AG [LI]) 22. Januar 2015 (2015-01-22) Absätze [0019] - [0025], [0041]; Abbildungen -----	1-10
A	US 2018/273005 A1 (REDDER TIMM SABASTIAN [US] ET AL) 27. September 2018 (2018-09-27) Absätze [0002], [0006], [0020] - [0031]; Abbildungen 1-4 -----	1,9
<input 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 <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">25. Januar 2021</p>		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">03/02/2021</p>
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 <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Areal Calama, A</p>

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/079545

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013011883 A1	22-01-2015	DE 102013011883 A1	22-01-2015
		EP 3022107 A1	25-05-2016
		WO 2015007418 A1	22-01-2015
-----			
US 2018273005 A1	27-09-2018	CN 108025714 A	11-05-2018
		US 2018273005 A1	27-09-2018
		WO 2017058707 A1	06-04-2017
-----			