

(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
17. Oktober 2019 (17.10.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/197555 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60T 13/66 (2006.01) B60T 13/74 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/059311

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. April 2019 (11.04.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 002 990.6
12. April 2018 (12.04.2018) DE

(71) Anmelder: ZF ACTIVE SAFETY GMBH [DE/DE];
Carl-Spaeter-Straße 8, 56070 Koblenz (DE).

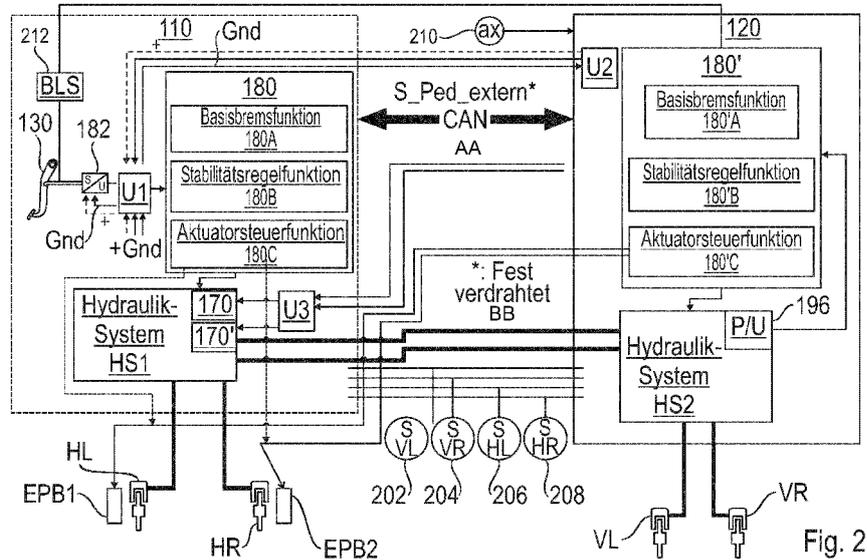
(72) Erfinder: ALFORD, Nicholas; Finkenweg 2, 56323 Waldesch (DE). MARX, Andreas; Nonnenbäume 21, 56244 Hartenfels (DE). WOLF, Oliver; Bannerberg 43, 56727 Mayen (DE).

(74) Anwalt: OESTREICHER, Lucas; ZF Active Safety GmbH, Carl-Spaeter-Strasse 8, 56070 Koblenz (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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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,

(54) Title: HYDRAULIC MOTOR VEHICLE BRAKING SYSTEM AND METHOD FOR OPERATING SAME

(54) Bezeichnung: HYDRAULISCHE KRAFTFAHRZEUG-BREMSANLAGE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN DERSELBEN



180A	Basic brake function	196	Hydraulic system HS2
180B	Stability regulating function	AA	S_Ped_extern*. CAN
180C	Actuator controlling function	BB	*: hard-wired
170	Hydraulic system HS1		

(57) Abstract: The invention relates to a hydraulic motor vehicle braking system comprising a first functional unit, a second functional unit and a switching device. The first functional unit comprises at least one first valve arrangement designed to optionally connect or disconnect at least one first wheel brake associated with a first axle to or from an existing hydraulic pressure, and at least one second valve arrangement designed to optionally connect or disconnect at least one second wheel brake associated with a second axle to or from an existing hydraulic pressure. The first functional unit also comprises at least one first electrical brake pressure generator, by means of which a brake pressure can be generated on both the at least one first and the at least one second wheel brake, and a control system which is designed to control the at least one first electrical brake pressure generator for a brake pressure regulation. The second



WO 2019/197555 A1

SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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)

functional unit comprises at least one second electrical brake pressure generator, by means of which a brake pressure can be generated on at least the at least one second wheel brake, and a second control system which is designed to control the at least one second electrical brake pressure generator for a brake pressure regulation on at least the at least one second wheel brake in the event of a failure of the first functional unit. The switching device is designed to couple optionally the first control system or the second control system to the at least one first valve arrangement according to the operability of the first functional unit.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage beschrieben, die eine erste Funktionseinheit, eine zweite Funktionseinheit und eine Schalteinrichtung umfasst. Die erste Funktionseinheit umfasst wenigstens eine erste Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine erste Radbremse, die einer ersten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen, sowie wenigstens eine zweite Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine zweite Radbremse, die einer zweiten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen. Die erste Funktionseinheit umfasst ferner wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Radbremse jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist, sowie eine erste Steuerung, die ausgebildet ist, den wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung anzusteuern. Die zweite Funktionseinheit umfasst wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse ein Bremsdruck erzeugbar ist, sowie eine zweite Steuerung, die ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse anzusteuern. Die Schalteinrichtung ist ausgebildet, in Abhängigkeit einer Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit wahlweise die erste Steuerung oder die zweite Steuerung mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung zu koppeln.

Hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage und Verfahren zum Betreiben derselben

5

Technisches Gebiet

Die vorliegende Offenbarung betrifft allgemein das Gebiet der Kraftfahrzeug-Bremsanlagen. Konkret werden eine hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage und ein
10 Verfahren zum Betreiben derselben beschrieben.

Hintergrund

15 Herkömmliche hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlagen nach dem Brake-By-Wire- (BBW-) Prinzip umfassen einen elektrischen Bremsdruckerzeuger, der im Normalbremsbetrieb den Bremsdruck an den Radbremsen des Kraftfahrzeugs erzeugt. Eine vom Fahrer an einem Bremspedal angeforderte Fahrzeugverzögerung wird hierfür sensorisch erfasst und in ein Ansteuersignal für den elektrischen Bremsdruckerzeuger
20 umgewandelt.

Um auch bei Ausfall des elektrischen Bremsdruckerzeugers noch einen Bremsdruck an den Radbremsen aufbauen zu können, umfassen hydraulische Bremsanlagen nach dem BBW-Prinzip in der Regel zusätzlich einen Hauptzylinder, über den ebenfalls
25 Hydraulikfluid zu den Radbremsen gefördert werden kann. Im Normalbremsbetrieb ist das Bremspedal vom Hauptzylinder oder der Hauptzylinder von den Radbremsen entkoppelt. Ein Bremsdruck an den Radbremsen wird in diesem Fall ausschließlich mittels des elektrischen Bremsdruckerzeugers aufgebaut. Im Notbremsbetrieb hingegen, also beispielsweise bei Ausfall des elektrischen Bremsdruckerzeugers, wird die
30 Entkoppelung aufgehoben. In diesem Fall wird vom Fahrer selbst mittels des auf den Hauptzylinder einwirkenden Bremspedals ein Bremsdruck an den Radbremsen erzeugt.

Der Notbremsbetrieb wird aufgrund der aufgehobenen Entkopplung von Bremspedal und Hauptzylinder oder Hauptzylinder und Radbremsen auch als Push-Through- (PT-) Betrieb bezeichnet. Die dem Fahrer eingeräumte Möglichkeit, über den Hauptzylinder
35 im PT-Betrieb einen Bremsdruck an den Radbremsen aufbauen zu können, schafft eine aus Sicherheitsüberlegungen in vielen Fällen unabdingbare Redundanz.

Kraftfahrzeug-Bremsanlagen für autonomes oder teilautonomes Fahren müssen ebenfalls redundant ausgelegt sein. Allerdings kann in solchen Fällen nicht davon ausgegangen werden, dass sich der Fahrer auch im Fahrzeug befindet (z. B. in einem Remote Controlled Parking-, RCP-, Betrieb) oder dass der Fahrer unverzüglich ein Bremspedal für den PT-Betrieb betätigen kann (z. B. bei vom Fahrgeschehen abgewandtem Blick). Mit anderen Worten fällt der Fahrer als redundantes Glied für die Bremsdruckerzeugung aus.

Aus diesem Grund wird gefordert, dass eine Bremsanlage für autonomes oder teilautonomes Fahren neben einer Funktionseinheit, die eine elektrisch ansteuerbare Hauptbremsfunktion bereitstellt, noch eine weitere Funktionseinheit umfasst, die in redundanter Weise eine elektrisch ansteuerbare Hilfsbremsfunktion implementiert. Das Bremspedal und der diesem nachgelagerte Hauptbremszylinder können je nach Sicherheitsanforderungen dann beibehalten werden oder entfallen.

Kurzer Abriss

Der vorliegenden Offenbarung liegt die Aufgabe zugrunde, eine hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage anzugeben, die in redundanter Weise zwei elektrische Bremsdruckerzeuger umfasst und hohen Sicherheitsanforderungen gerecht wird.

Gemäß einem ersten Aspekt wird eine hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage angegeben, die eine erste Funktionseinheit, eine zweite Funktionseinheit und eine Schalteinrichtung umfasst. Die erste Funktionseinheit umfasst wenigstens eine erste Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine Radbremse, die einer ersten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen, wenigstens eine zweite Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine zweite Radbremse, die einer zweiten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen, wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Radbremse jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist, und eine erste Steuerung, die ausgebildet ist, den wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung anzusteuern. Die zweite Funktionseinheit umfasst wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse ein Bremsdruck erzeugbar ist, und eine zweite Steuerung, die

ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse anzusteuern. Die Schalteinrichtung ist ausgebildet, in Abhängigkeit einer Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit wahlweise die erste Steuerung oder die zweite Steuerung mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung zu koppeln.

Die wenigstens eine erste Ventilanordnung und die wenigstens eine zweite Ventilanordnung können jeweils eines oder mehrere Ventile umfassen. Ist pro Ventilanordnung jeweils nur ein Ventil vorgesehen, können die Ventilanordnungen im Multiplexbetrieb angesteuert werden. Die erste Ventilanordnung und die zweite Ventilanordnung können jeweils ein ABS-Isolationsventil umfassen, um die jeweilige Radbremse wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen.

Die Schalteinrichtung kann von der ersten Funktionseinheit oder der zweiten Funktionseinheit oder einer anderen Komponente der Bremsanlage zum Betätigen der Schalteinrichtung ansteuerbar sein. Die Schalteinrichtung kann eine Umschalteinrichtung sein, die das Umschalten eines Ansteuerpfads derart ermöglicht, dass jeweils nur von einer der beiden Funktionseinheiten ein Ansteuersignal der wenigstens einen ersten Ventileinrichtung zuführbar ist.

Der in der Bremsanlage vorherrschende Hydraulikdruck kann auf unterschiedliche Art und Weise erzeugt werden. So ist es denkbar, dass der Hydraulikdruck mittels des ersten elektrischen Bremsdruckerzeugers, mittels des zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers oder vom Fahrer mittels eines Bremspedals und eines Hauptzylinders erzeugt wird.

Bei dem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit kann es sich um einen Totalausfall oder einen Teilausfall der ersten Funktionseinheit handeln. So kann beispielsweise der erste elektrische Bremsdruckerzeuger oder die erste Steuerung oder eine andere Komponente der ersten Funktionseinheit ausfallen. Auch ist es denkbar, dass sowohl der erste elektrische Bremsdruckerzeuger als auch die erste Steuerung gleichzeitig ausfallen. Der Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit kann von der ersten Funktionseinheit selbst erfasst und der zweiten Funktionseinheit signalisiert werden. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann auch die zweite Funktionseinheit ausgebildet sein, einen Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit zu erfassen.

Die zweite Funktionseinheit kann ausgelegt sein, eine, mehrere oder alle Bremsdruckregelfunktionen, welche die erste Funktionseinheit durchzuführen vermag, in redundanter Weise durchzuführen. Beispielhafte fahrzeugstabilisierende Bremsdruckregelfunktionen, die von der ersten und/oder zweiten Funktionseinheit durchgeführt werden können, umfassen eine oder mehrere der folgenden Funktionen: Antiblockiersystem, Antriebsschlupfregelung, Fahrdynamikregelung und automatische Abstandsregelung. Die zweite Funktionseinheit kann ferner dazu ausgelegt sein, im Fehlerfall der ersten Funktionseinheit den zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger im Rahmen einer insbesondere bremsdruckgeregelten Normalbremsung, auch Betriebsbremsung genannt, anzusteuern.

Die Radbremsen können Vorderradbremsen und Hinterradbremsen umfassen. Die Radbremsen, an welchen der zweite elektrische Bremsdruckerzeuger jeweils einen Bremsdruck zu erzeugen vermag, können eine echte Teilmenge oder eine unechte Teilmenge der Radbremsen sein, an welchen der erste elektrische Bremsdruckerzeuger jeweils einen Bremsdruck zu erzeugen vermag. Im Fall einer unechten Teilmenge vermag der zweite elektrische Bremsdruckerzeuger an sämtlichen Radbremsen jeweils einen Bremsdruck zu erzeugen, an welchen auch der erste elektrische Bremsdruckerzeuger einen Bremsdruck zu erzeugen vermag. Gemäß einer beispielhaften echten Teilmenge umfasst die Untermenge der Radbremsen ausschließlich die Vorderradbremsen des Kraftfahrzeugs. In diesem Beispiel sind die Radbremsen der Hinterräder also nicht von der Untermenge der Radbremsen umfasst.

Die erste Funktionseinheit kann einen mit einem Bremspedal koppelbaren Bremszylinder umfassen. Des Weiteren kann die erste Funktionseinheit mit einer hydraulischen Umschalteneinrichtung versehen sein, um wahlweise den ersten Bremsdruckerzeuger oder den Hauptzylinder mit wenigstens einer der Radbremsen zu koppeln.

Die beiden Funktionseinheiten können logisch und/oder physikalisch voneinander getrennt sein. Physikalisch voneinander getrennte Funktionseinheiten können zumindest im Umfang einiger ihrer Komponenten in unterschiedlichen Gehäusen oder Gehäuseteilen aufgenommen sein. Die unterschiedlichen Gehäuse oder Gehäuseteile können unmittelbar, also zumindest annähernd abstandslos, aneinander befestigt sein und somit als zwei Teilgehäuse eines übergeordneten Gesamtgehäuses betrachtet werden.

Die Schalteinrichtung kann ausgebildet sein, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit die zweite Steuerung mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung zu koppeln. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann die zweite Steuerung ausgebildet sein, die wenigstens eine erste Ventilanordnung in Abhängigkeit eines zugeordneten Radsignals anzusteuern. Das Radsignal kann auf eine Radgeschwindigkeit hinweisen.

Gemäß einer Variante ist die zweite Steuerung ausgebildet, die wenigstens eine erste Ventilanordnung im Rahmen einer ABS-Regelung anzusteuern, um ein Blockieren eines zugeordneten Rades zu verhindern. Die ABS-Regelung kann eine Radschlupfregelung umfassen, insbesondere in Bezug auf einen Zielschlupf. Der Zielschlupf kann Null betragen oder von Null verschieden sein.

Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, die wenigstens eine erste Ventilanordnung für eine Hydraulikdruckbegrenzung an der zugeordneten ersten Radbremse in eine Schließstellung zu bringen. In diesem Fall wird die entsprechende erste Radbremse daher von dem vorherrschenden Hydraulikdruck getrennt. Der vorherrschende, zu begrenzende Hydraulikdruck kann von einem Fahrer mittels eines Bremspedals in einem Hauptzylinder erzeugt werden. Alternativ hierzu kann der vorherrschende, zu begrenzende Hydraulikdruck mittels einer Ansteuerung des ersten elektrischen Bremsdruckerzeugers durch die zweite Steuerung erzeugt werden.

Gemäß einer Variante kann mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers an der wenigstens einen ersten Radbremse kein Bremsdruck erzeugt werden. Beispielsweise kann die Bremsanlage derart ausgelegt sein, dass mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers lediglich an der wenigstens einen zweiten Radbremse, die der zweiten Achse zugeordnet ist, ein Bremsdruck erzeugt werden kann.

In einer Implementierung ist die Schalteinrichtung als transistorbasierte Schaltung ausgebildet. Die Schalteinrichtung kann in die erste Funktionseinheit integriert sein. Beispielsweise kann die erste Funktionseinheit ein Steuergerät umfassen, in welches die Schalteinrichtung integriert ist. Allgemein können die erste Steuerung und die zweite Steuerung als separate Steuergeräte implementiert werden.

Die Bremsanlage kann wenigstens einen elektrischen Parkbremsaktuator umfassen, der ausgebildet ist, an einem Fahrzeugrad eine Bremskraft zu erzeugen. In diesem Fall kann die zweite Steuerung ferner ausgebildet sein, wahlweise oder zusammen

das Folgende anzusteuern: den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger und den wenigstens einen Parkbremsaktuator.

5 Der wenigstens eine elektrische Parkbremsaktuator kann wenigstens einem Fahrzeugrad der ersten Achse zugeordnet sein. Der zweiten Achse kann hingegen kein elektrischer Parkbremsaktuator zugeordnet sein. In diesem Fall kann die Bremsanlage ausgebildet sein, mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers an der wenigstens einen zweiten Radbremse einen Bremsdruck zu erzeugen. Mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers
10 kann hingegen an der wenigstens einen ersten Radbremse kein Bremsdruck erzeugbar sein.

15 Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit den wenigstens einen Parkbremsaktuator zur Verursachung einer Fahrzeugverzögerung anzusteuern. In diesem Fall kann die Fahrzeugverzögerung allein auf das Schließen des wenigstens einen Parkbremsaktuators zurückgehen (z. B. falls der erste und der zweite elektrische Bremsdruckerzeuger nicht angesteuert werden oder nicht ansteuerbar sind). Alternativ oder zusätzlich hierzu kann die zweite Steuerung ausgebildet sein, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit
20 den wenigstens einen Parkbremsaktuator zur Erhöhung oder Erniedrigung einer vorherrschenden Fahrzeugverzögerung anzusteuern. So kann beispielsweise durch Schließen des wenigstens einen Parkbremsaktuators eine Fahrzeugverzögerung erhöht werden, die in einem Normalbremsbetrieb durch den zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger oder in einem PT-Betrieb durch den auf den Hauptzylinder wirkenden Fahrer erzeugt wird. Auch kann die zweite Steuerung ausgebildet sein, den
25 wenigstens einen Parkbremsaktuator von einem geschlossenen Zustand in einen geöffneten Zustand zu überführen, um eine vorherrschende Fahrzeugverzögerung zu erniedrigen.

30 Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, den wenigstens einen Parkbremsaktuator zur Erhöhung der aus einer Ansteuerung des zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers resultierenden Fahrzeugverzögerung anzusteuern. In diesem Fall kann die zweite Steuerung den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger und den wenigstens einen Parkbremsaktuator gemeinsam ansteuern, um eine hohe
35 Fahrzeugverzögerung beispielsweise im Normalbremsbetrieb zu erzielen. Eine solche Vorgehensweise ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn der zweite elektrische Bremsdruckerzeuger und der wenigstens eine Parkbremsaktuator auf unterschiedliche Fahrzeugachsen wirken.

Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, den wenigstens einen Parkbremsaktor zur Erhöhung der Fahrzeugverzögerung anzusteuern, die aus einem von einem Fahrer mittels eines Bremspedals in einem Hauptzylinder erzeugten Bremsdruck resultiert. So kann beispielsweise im PT-Betrieb eine Bremskraftverstärkung mittels des wenigstens einen Parkbremsaktors stattfinden. Auf diese Weise kann selbst bei Ausfall des ersten und des zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers noch eine hohe Fahrzeugverzögerung gewährleistet werden.

Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, den wenigstens einen Parkbremsaktor anzusteuern, wenn ein Fahrer ein Bremspedal betätigt, um eine Normalbremsung durchzuführen. Eine Ansteuerung des wenigstens einen Parkbremsaktors durch die zweite Steuerung kann jedoch auch unabhängig von einer Bremspedalbetätigung erfolgen, beispielsweise im Zusammenhang mit einer fahrzeugstabilisierenden Bremskraftregelung (etwa zum Kompensieren eines Übersteuerns oder eines Untersteuerns des Fahrzeugs).

Allgemein kann die zweite Steuerung ausgebildet sein, insbesondere bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit (und einem ggf. gleichzeitigen Funktionsausfall des zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers) den wenigstens einen Parkbremsaktor für eine fahrzeugstabilisierende Bremskraftregelung anzusteuern. Auf diese Weise wird eine hohe Verfügbarkeit der oben beispielhaft angeführten Bremsdruckregelfunktionen gewährleistet. Die zweite Steuerung kann ausgebildet sein, den wenigstens einen Parkbremsaktor zusammen mit dem zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine fahrzeugstabilisierende Bremskraftregelung anzusteuern. Eine derartige gemeinsame Ansteuerung ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn der wenigstens eine Parkbremsaktor und der wenigstens eine zweite elektrische Bremsdruckerzeuger auf unterschiedliche Fahrzeugräder oder unterschiedliche Fahrzeugachsen wirken und an mehreren Rädern gleichzeitig eine Bremsdruckregelung erforderlich ist.

Auch die erste Steuerung kann ausgebildet sein, den wenigstens einen Parkbremsaktor anzusteuern. Mit anderen Worten kann ein bestimmter Parkbremsaktor sowohl durch die erste Steuerung als auch durch die zweite Steuerung ansteuerbar sein. Die Ansteuerung des wenigstens einen Parkbremsaktors durch die erste Steuerung kann in Zusammenhang mit einem regulären Parkbremsbetrieb erfolgen.

Die erste Steuerung und die zweite Steuerung können mittels redundanter Mikroprozessoren implementiert sein. Insbesondere können die erste Steuerung und die Steuerung in separaten Steuergeräten mit jeweils zugeordneter Mikroprozessoren implementiert werden.

5

Gemäß einer Variante umfassen die Radbremsen, an denen der erste elektrische Bremsdruckerzeuger einen Bremsdruck zu erzeugen vermag, die Vorderradbremse und die Hinterradbremse. Gemäß dieser Variante kann die Untermenge der Radbremsen, an denen der zweite elektrische Bremsdruckerzeuger einen Bremsdruck zu erzeugen vermag, ausschließlich die Vorderradbremse (und nicht die Hinterradbremse) umfassen. Zusätzlich oder alternativ hierzu sind wenigstens zwei elektrische Parkbremsaktuatoren vorhanden, die ausschließlich an Vorderrädern oder ausschließlich an Hinterrädern jeweils eine Bremskraft zu erzeugen vermögen.

10

15

Das Erzeugen der Bremskraft durch den wenigstens einen elektrischen Parkbremsaktor kann auf einem mechanischen oder einem hydraulischen Prinzip basieren. Gemäß einer Variante ist der wenigstens eine elektrische Parkbremsaktor ein elektromechanischer Parkbremsaktor.

20

Ebenfalls angegeben wird ein Verfahren zum Betreiben einer hydraulischen Kraftfahrzeug-Bremsanlage, die eine erste Funktionseinheit und eine zweite Funktionseinheit umfasst. Die wenigstens eine erste Funktionseinheit umfasst wenigstens eine erste Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine erste Radbremse, die einer ersten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen, wenigstens eine zweite Ventilanordnung, die ausgebildet ist, wenigstens eine zweite Radbremse, die einer zweiten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen, wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Radbremse jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist, und eine erste Steuerung, die ausgebildet ist, den wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung anzusteuern. Die zweite Funktionseinheit umfasst wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger, mittels dessen an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse ein Bremsdruck erzeugbar ist, und eine zweite Steuerung, die ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger für eine Bremsdruckregelung an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse anzusteuern. Das Verfahren umfasst den Schritt des wahlweisen Koppels der ersten

35

Steuerung oder der zweiten Steuerung mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung in Abhängigkeit einer Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit.

Das Verfahren kann einen oder mehrere weitere Schritte, wie oben und nachfolgend beschrieben, umfassen.

Ferner wird ein Computerprogrammprodukt angegeben, das Programmcode zum Durchführen des hier vorgestellten Verfahrens umfasst, wenn der Programmcode auf einem Kraftfahrzeug-Steuergerät ausgeführt wird.

Ebenfalls angegeben wird ein Kraftfahrzeug-Steuergerät oder Steuergerätesystem (aus mehreren Steuergeräten), wobei das Steuergerät oder Steuergerätesystem wenigstens einen Prozessor und wenigstens einen Speicher aufweist und wobei der Speicher Programmcode umfasst, der, wenn er von dem Prozessor ausgeführt wird, die Durchführung der Schritte des hier angegebenen Verfahrens bewirkt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Aspekte, Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Offenbarung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer hydraulischen Kraftfahrzeug-Bremsanlage;

Fig. 2 eine Veranschaulichung von Ansteueraspekten im Zusammenhang mit der Bremsanlage gemäß Fig. 1; und

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer EPB-unterstützten Bremsung.

Detaillierte Beschreibung

In Fig. 1 ist das hydraulische Schaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer hydraulischen Kraftfahrzeug-Bremsanlage 100 gemäß dem BBW-Prinzip gezeigt. Die Bremsanlage 100 ist ausgebildet, um auch für einen autonomen oder teilautonomen Fahrbetrieb geeignet zu sein.

Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst die Bremsanlage 100 eine erste Funktionseinheit 110, die eine elektrisch ansteuerbare Hauptbremsfunktion bereitstellt, und eine zweite Funktionseinheit 120, die in redundanter Weise eine elektrisch ansteuerbare Hilfsbremsfunktion implementiert. Während die erste Funktionseinheit 110 ausgebildet ist, an zwei Vorderradbremse
5 VL, VR und zwei Hinterradbremse HL, HR eines zweiachsigen Kraftfahrzeugs einen Bremsdruck aufzubauen, ist die zweite Funktionseinheit 120 dazu ausgebildet, nur an den beiden Radbremsen VL, VR der Vorderräder einen Bremsdruck aufzubauen. In alternativen Ausführungsbeispielen könnte die zweite Funktionseinheit 120 dazu ausgebildet sein, nur an den beiden Radbremsen
10 HL, HR der Hinterräder, an allen vier Radbremsen VL, VR, HL, HR oder an zwei diagonal gegenüberliegenden Radbremsen VL/HR oder VR/HL einen Bremsdruck aufzubauen.

Die erste Funktionseinheit 110 ist ausgelegt, eine von einem Fahrerbremswunsch entkoppelte Radbremsdruckregelung an einer oder mehreren der Radbremsen VL, VR, HL, HR durchzuführen. Die zweite Funktionseinheit 120 kann zumindest einige Radbremsdruck-Regelungsfunktionen der ersten Funktionseinheit 110 in redundanter Weise an den Radbremsen VL und VR durchführen.

Die beiden Funktionseinheiten 110, 120 können als separate Module in getrennten Gehäuseblöcken untergebracht sein. Je nach Erfordernis kann so die erste Funktionseinheit 110 entweder alleine oder in Kombination mit der zweiten Funktionseinheit 120 verbaut werden.

Wie Fig. 1 ebenfalls entnommen werden kann, umfasst die Bremsanlage 100 zwei elektrische Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2. Im Ausführungsbeispiel ist ein erster Parkbremsaktor EPB1 dem linken Hinterrad und ein zweiter Parkbremsaktor EPB2 dem rechten Hinterrad zugeordnet. In anderen Ausführungsbeispielen sind die Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 den Vorderrädern zugeordnet. Auch kann an allen vier Rädern jeweils ein Parkbremsaktor vorgesehen sein. Die Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 können mit den Radbremsen HL, HR in einer Baueinheit integriert sein.

Jeder der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 umfasst einen Elektromotor sowie ein dem Elektromotor nachgeschaltetes Getriebe. Das Getriebe setzt eine Rotationsbewegung des Elektromotors in eine Translationsbewegung eines Bremskolbens einer der Radbremsen HL, HR um. Auf diese Weise kann der Bremskolben zur Erzeugung einer Bremskraft in Anlage an eine zugeordnete Bremsscheibe gebracht werden.

5 Bezug nehmend auf Fig. 1 arbeitet die Bremsanlage 100 mittels eines Hydraulikfluids, das zum Teil in einem drucklosen Reservoir 122 bevorratet ist. Bremsdrücke an den Radbremsen VL, VR, HL, HR lassen sich mittels der ersten Funktionseinheit 110 und der zweiten Funktionseinheit 120 unabhängig voneinander durch unter Druck setzen des Hydraulikfluids erzeugen.

10 Die erste Funktionseinheit 110 umfasst zur autonomen, teilautonomen oder vom Fahrer an einem Bremspedal 130 angeforderten Bremsdruckerzeugung im BBW-Betrieb einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger 132. Dieser Bremsdruckerzeuger 132 umfasst im Ausführungsbeispiel eine doppelwirkende Zylinder-Kolben-Anordnung 134 nach dem Plunger-Prinzip mit zwei Zylinderkammern 136, 136' und einem darin beweglichen Kolben 138. Der Kolben 138 des Bremsdruckerzeugers 132 wird von einem Elektromotor 140 über ein Getriebe 142 angetrieben. Das Getriebe 15 142 ist im Ausführungsbeispiel dazu ausgebildet, eine Rotationsbewegung des Elektromotors 140 in eine Translationsbewegung des Kolbens 138 umzusetzen. In einem anderen Ausführungsbeispiel könnte der Bremsdruckerzeuger 132 auch als einfach wirkende Zylinder-Kolben-Anordnung mit nur einer Zylinderkammer ausgebildet sein.

20 Die beiden Zylinderkammern 136, 136' sind sowohl mit dem Reservoir 122 als auch mit zwei Bremskreisen I. und II. koppelbar, wobei jeder Bremskreis I. und II. wiederum zwei Radbremsen VL, HL bzw. VR, HR versorgt. Auch eine anderweitige Zuweisung der vier Radbremsen VL, VR, HL, HR zu den beiden Bremskreisen I. und II. ist möglich (z. B. eine Diagonalaufteilung).

30 Dem elektrischen Bremsdruckerzeuger 132 sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel zwei durch Elektromagnete betätigte und parallel zueinander geschaltete Ventile 144, 146 zugeordnet. Das Ventil 144 dient gemäß dem Prinzip der Doppelwirkung dazu, jeweils eine der Kammern 136, 136' mit den beiden Bremskreisen I. und II. fluidisch zu koppeln, während die andere der Kammern 136, 136' Hydraulikfluid aus dem Reservoir 122 ansaugt. Das optionale Ventil 146 kann im Zusammenhang mit einer Entlüftung des Hydrauliksystems oder anderen Operationen angesteuert werden. Im unbetätigten, also elektrisch nicht angesteuerten Zustand nehmen die Ventile 144, 35 146 die in Fig. 1 dargestellten Grundstellungen ein. Dies bedeutet, dass das Ventil 144 seine Durchflussstellung und das Ventil 146 seine Sperrstellung einnimmt, so dass bei einem Vorwärtshub (in Fig. 1 nach links) der Kolben 138 Hydraulikfluid aus der vorderseitigen Kammer 136 in die beiden Bremskreise I. und II. verdrängt. Um

bei einem Rückwärtshub (in Fig. 1 nach rechts) des Kolbens 138 Hydraulikfluid aus der rückseitigen Kammer 136` in die beiden Bremskreise I. und II. zu verdrängen, wird nur das Ventil 144 angesteuert, also in seine Sperrstellung überführt.

5 Zum Erzeugen von Bremsdruck im PT-Betrieb umfasst die erste Funktionseinheit 110 ferner einen Hauptzylinder 148, der vom Fahrer durch das Pedal 130 zu betätigen ist. Der Hauptzylinder 148 wiederum umfasst zwei Kammern 150, 150', wobei die erste Kammer 150 mit dem ersten Bremskreis I. und die zweite Kammer 150' mit dem zweiten Bremskreis II. gekoppelt ist.

10

Mittels des Hauptzylinders 148 können die beiden Bremskreise I. und II. (in redundanter Weise zum elektrischen Bremsdruckerzeuger 132) mit unter Druck gesetztem Hydraulikfluid versorgt werden. Dafür sind zwei durch Elektromagnete betätigte Ventile 152, 154 vorgesehen, die im unbetätigten, also elektrisch nicht angesteuerten Zustand die in Fig. 1 dargestellten Grundstellungen einnehmen. In diesen Grundstellungen koppeln die Ventile 152, 154 den Hauptzylinder 148 mit den Radbremsen VL, VR, HL, HR. So kann auch bei Ausfall der Energieversorgung (und einem damit einhergehenden Ausfall des elektrischen Bremsdruckerzeugers 132) noch immer vom Fahrer mittels des auf den Hauptzylinder 148 einwirkenden Bremspedals 130 ein Hydraulikdruck an den Radbremsen VL, VR, HL, HR aufgebaut werden (PT-Betrieb).

20

Im BBW-Betrieb sind die Ventile 152, 154 hingegen so geschaltet, dass der Hauptzylinder 148 fluidisch von den beiden Bremskreisen I. und II. entkoppelt wird, während der elektrische Bremsdruckerzeuger 132 mit den Bremskreisen I. und II. gekoppelt ist. Bei von den Bremskreisen I. und II. entkoppeltem Hauptzylinder 148 wird bei einer Betätigung des Bremspedals 130 das aus dem Hauptzylinder 148 verdrängte Hydraulikfluid somit nicht in die Bremskreise I. und II. gefördert, sondern über ein durch einen Elektromagneten betätigtes 2/2-Wegeventil 156 und eine Drosseleinrichtung 158 in einen Simulator 160. Das Ventil 156 nimmt in seiner elektrisch nicht angesteuerten Grundstellung im BBW-Betrieb die in Fig. 1 dargestellte Stellung ein, in der der Hauptzylinder 148 vom Simulator 160 abgekoppelt ist, damit Hydraulikfluid in die Bremskreise I. und II. gefördert werden kann.

30

Der Simulator 160 ist dazu vorgesehen, dem Fahrer bei hydraulischer Abkopplung des Hauptzylinders 148 von den Bremskreisen I. und II. das gewohnte Pedalrückwirkungsverhalten zu vermitteln. Um Hydraulikfluid aus dem Hauptzylinder 148 aufnehmen zu können, umfasst der Simulator 160 einen Zylinder 162, in dem ein Kolben 164 entgegen einer Federkraft verlagerbar ist.

35

Ein weiteres durch einen Elektromagneten betätigtes 2/2-Wegeventil 166 zwischen dem Hauptzylinder 148 und dem Reservoir 122 ermöglicht in seiner elektrisch nicht angesteuerten Grundstellung gemäß Fig. 1, dass im PT-Betrieb Hydraulikfluid aus dem Reservoir 122 in den Hauptzylinder 148 gelangen kann. In seiner elektrisch angesteuerten Stellung koppelt das Ventil 166 den Hauptzylinder 148 hingegen von dem Reservoir 122 ab.

In anderen Ausführungsbeispielen kann die funktionale Entkopplung von Bremspedal 130 und Radbremsen VL, VR, HL, HR auch dadurch erzielt werden, dass dem Hauptzylinder 148 ein Zylinder vorgeschaltet wird, auf den das Bremspedal 130 einwirken kann. Dieser Zylinder ist im BBW-Betrieb über das Ventil 156 und die Drosseleinrichtung 158 mit dem Simulator 160 gekoppelt ist und im PT-Betrieb mit dem Hauptzylinder 148.

Die hydraulische Ankoppelung der Radbremsen VL und VR wird von durch Elektromagnete betätigte 2/2-Wegeventile 170, 172, 174, 176 bzw. 170', 172', 174', 176' bestimmt, die im unbetätigten, also elektrisch nicht angesteuerten Zustand die in Fig. 1 dargestellten Grundstellungen einnehmen. Dies bedeutet, dass die Ventile 170, 174 bzw. 170', 174' jeweils ihre Durchflussstellung und die Ventile 172, 176 bzw. 172', 176' jeweils ihre Sperrstellung einnehmen. Da die beiden Bremskreise I. und II. symmetrisch ausgebildet sind, wird hier und im Folgenden auf eine Beschreibung der dem zweiten Bremskreis II. bzw. den Radbremsen HL und HR zugeordneten Komponenten verzichtet.

Wie in Fig. 1 dargestellt, ist die zweite Funktionseinheit 120 im Fluidpfad zwischen den Ventilen 174, 176 und der Radbremse VL angeordnet (und aus Symmetriegründen gilt Entsprechendes für die Radbremse VR). Die zweite Funktionseinheit 120 nimmt bei voller Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit 110 und/oder im PT-Betrieb eine Durchlass-Stellung ein. Dies bedeutet, dass aus der ersten Funktionseinheit 110 austretendes Hydraulikfluid ungehindert zu den Radbremsen VL, VR gelangen kann. Zum Ausführen von Normalbremsungen besteht daher bei der in Fig. 1 dargestellten Grundstellung der Ventile 170, 172, 174, 176 eine unmittelbare hydraulische Verbindung zwischen dem elektrischen Bremsdruckerzeuger 132 (oder, je nach Stellung der Ventile 152, 154, dem Hauptzylinder 148) auf der einen Seite und andererseits den Radbremsen HL bzw. VL des ersten Bremskreises I. (und Entsprechendes gilt für die Radbremsen HR bzw. VR des zweiten Bremskreises II.).

Die beiden Ventile 170 und 172 bilden eine der Radbremse HL zugeordnete Ventilanordnung, während die beiden Ventile 174 und 176 eine der Radbremse VL zugeordnete Ventilanordnung bilden. Aus Sicht des elektrischen Bremsdruckerzeugers 132 ist die zweite Funktionseinheit 120 damit stromabwärts der Ventilanordnung 174, 176
5 vorgesehen und zwischen diese Ventilanordnung 174, 176 und die zugeordnete Radbremse VL geschaltet.

Wie nachfolgend erläutert werden wird, sind die beiden, den Radbremsen HL und VL zugeordneten Ventilanordnungen 170, 172 bzw. 174, 176 sowie der Bremsdruckerzeuger 132 jeweils dazu ausgebildet, um für Radbremsdruckregelvorgänge an der
10 jeweiligen Radbremse HL bzw. VL angesteuert zu werden. Ein für die Ansteuerung der Ventilanordnungen 170, 172 bzw. 174, 176 und des Bremsdruckerzeugers 132 im Rahmen der Radbremsdruckregelvorgänge vorgesehenes Steuergerät 180 (auch als Electronic Control Unit, ECU, bezeichnet) ist ebenfalls schematisch in Fig. 1 dargestellt. Das Steuergerät 180 ist Teil der ersten Funktionseinheit 180 und implementiert beispielsweise die fahrzeugstabilisierenden Radbremsdruck-Regelungsfunktionen
15 eines Antiblockiersystems (ABS), einer Fahrdynamikregelung (Electronic Stability Control, ESC), einer Antriebsschlupfregelung (ASR) oder einer adaptiven Geschwindigkeitsregelung (Adaptive Cruise Control, ACC). Selbstverständlich kann anstelle eines einzigen Steuergeräts 180 auch eine Mehrzahl von solchen Steuergeräten vorgesehen sein, die für unterschiedliche Radbremsdruck-Regelungsfunktionen (ggf. in
20 komplementärer oder in redundanter Weise) zuständig sind.

Die zweite Funktionseinheit 120 umfasst ebenfalls ein Steuergerät 180', das aus Redundanzgründen separat von dem Steuergerät 180 vorgesehen ist und ebenfalls
25 eine oder mehrere (oder alle) der oben genannten fahrzeugstabilisierenden Bremsdruck-Regelungsfunktionen implementiert. Zusätzlich oder alternativ zum Vorsehen separater Steuergeräte 180, 180' könnten auch zwei redundante elektrische Leistungsversorgungen und/oder separate elektrische Leistungsversorgungen für die
30 beiden Funktionseinheiten 110, 120 bereitgestellt werden. Diese Leistungsversorgungen können als zwei Akkumulatoren ausgebildet sein.

Bei einer Antiblockierregelung (ABS) gilt es, während einer Bremsung ein Blockieren der Räder zu verhindern. Dazu ist es erforderlich, den Bremsdruck in den Radbremsen VL, VR, HL, HR individuell zu modulieren. Dies geschieht durch Einstellen in
35 zeitlicher Folge wechselnder Druckaufbau-, Druckhalte- und Druckabbauphasen, die sich durch geeignete Ansteuerung der den Radbremsen HL bzw. VL zugeordneten

Ventilanordnungen 170, 172 bzw. 174, 176 sowie ggf. des Bremsdruckerzeugers 132 ergeben.

5 Während einer Druckaufbauphase nehmen die Ventile 170, 172 bzw. 174, 176 jeweils ihre Grundstellung ein, so dass ein Erhöhen des Bremsdrucks in den Radbremsen HL bzw. VL (wie bei einer BBW-Bremung) mittels des Bremsdruckerzeugers 132 erfolgt. Für eine Druckhaltephase wird nur das Ventil 170 bzw. 174 angesteuert, also in seine Sperrstellung überführt. Da ein Ansteuern des Ventils 172 bzw. 176 dabei nicht erfolgt, verbleibt es in seiner Sperrstellung. Dadurch ist die Radbremse HL bzw. 10 VL hydraulisch abgekoppelt, so dass ein in der Radbremse HL bzw. VL anstehender Bremsdruck konstant gehalten wird. Bei einer Druckabbauphase wird sowohl das Ventil 170 bzw. 174 als auch das Ventil 172 bzw. 176 angesteuert, also das Ventil 170 bzw. 174 in seine Sperrstellung und das Ventil 172 bzw. 176 in seine Durchflussstellung überführt. Somit kann Hydraulikfluid aus der Radbremse HL bzw. VL in Richtung des Reservoirs 122 abfließen, um einen in der Radbremse HL bzw. VL 15 anstehenden Bremsdruck zu erniedrigen.

Andere Bremsdruckregelvorgänge im Normalbremsbetrieb erfolgen automatisiert und typischerweise unabhängig von einer Betätigung des Bremspedals 130 durch den 20 Fahrer. Solche automatisierten Regelungen des Radbremsdrucks erfolgen beispielsweise im Zusammenhang mit einer Antriebsschlupfregelung (ASR), die ein Durchdrehen einzelner Räder bei einem Anfahrvorgang durch gezieltes Abbremsen verhindert, einer Fahrdynamikregelung (ESC), die das Fahrzeugverhalten im Grenzbereich durch gezieltes Abbremsen einzelner Räder an den Fahrerwunsch und die Fahrbahnverhältnisse 25 anpasst, oder einer adaptiven Geschwindigkeitsregelung (ACC), die unter anderem durch selbsttätiges Bremsen einen Abstand des eigenen Fahrzeugs zu einem vorausfahrenden Fahrzeug einhält.

30 Beim Ausführen einer automatischen Radbremsdruckregelung kann an wenigstens einer der Radbremsen HL bzw. VL durch Ansteuern des Bremsdruckerzeugers 132 durch das Steuergerät 180 ein Bremsdruck aufgebaut werden. Dabei nehmen die den Radbremsen HL bzw. VL zugeordneten Ventile 170, 172 bzw. 174, 176 zunächst deren in Fig. 1 veranschaulichten Grundstellungen ein. Ein Feineinstellen oder Modulieren des Bremsdrucks kann durch entsprechende Ansteuerung des Bremsdruckerzeugers 132 sowie der den Radbremsen HL bzw. VL zugeordneten Ventile 170, 172 35 bzw. 174, 176 vorgenommen werden, wie im Zusammenhang mit der ABS-Regelung oben beispielhaft erläutert.

Die Radbremsdruckregelung mittels des Steuergeräts 180 geschieht allgemein in Abhängigkeit von einer oder mehreren das Fahrzeugverhalten beschreibenden Messgrößen (z. B. Raddrehzahl, Giergeschwindigkeit, Querbearbeitung, usw.) und/oder einer oder mehreren den Fahrerwunsch beschreibenden Messgrößen (z. B. Betätigung des Pedals 130, Lenkradwinkel, usw.). Ein Verzögerungswunsch des Fahrers kann beispielsweise mittels eines Wegsensors 182 ermittelt werden, der mit dem Bremspedal 130 oder einem Eingangsglied des Hauptbremszylinders 148 gekoppelt ist. Als den Fahrerwunsch beschreibende Messgröße kann alternativ oder zusätzlich hierzu der im Hauptbremszylinder 148 vom Fahrer erzeugte Bremsdruck herangezogen werden, der dann mittels wenigstens eines Sensors erfasst wird. In Fig. 1 ist jedem der Bremskreise I. und II. hierfür ein eigener Drucksensor 184, 184' zugeordnet.

Wie oben erläutert, ist aus Sicht des Bremsdruckerzeugers 132 die zweite Funktionseinheit 120 stromabwärts der Ventilanordnung 174, 176 vorgesehen und zwischen diese Ventilanordnung 174, 176 und die zugeordnete Radbremse VL geschaltet. Konkret ist ein Hydraulikfluideingang der zweiten Funktionseinheit 120 zwischen einen Ausgang des Ventils 174 und einen Eingang des Ventils 176 gekoppelt (in Flussrichtung vom Druckerzeuger 132 zum Reservoir 122 hin gesehen).

Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst die zweite Funktionseinheit 120 einen weiteren elektrischen Bremsdruckerzeuger 188. Der weitere Bremsdruckerzeuger 188 ist durch das Steuergerät 180' ansteuerbar und umfasst im Ausführungsbeispiel einen Elektromotor 190 sowie pro Bremskreis I. bzw. II. (hier: pro Radbremse VL bzw. VR) eine beispielsweise als Zahnrad- oder Radialkolbenpumpe ausgeführte Pumpe 192, 192'. Jede Pumpe 192, 192' ist im Ausführungsbeispiel entgegen ihrer Förderrichtung sperrend, wie anhand der (optionalen) Sperrventile am Ausgang und Eingang der Pumpen 192, 192' dargestellt. Die Pumpen 192, 192' sind jeweils konfiguriert, um Hydraulikfluid über die erste Funktionseinheit 110 aus dem Reservoir 122 anzusaugen. Da die Drehzahl des Elektromotors 192 einstellbar ist, kann auch die Fördermenge der Pumpen 192, 192' mittels entsprechender Ansteuerung des Elektromotors 192 eingestellt werden. In einer anderen Ausführungsform könnten die beiden Pumpen 192, 192' auch durch eine einzige, nach dem Plunger-Prinzip arbeitende Pumpe ersetzt werden (beispielsweise mit einer einfach- oder doppelwirkenden Zylinderkolben-Anordnung).

Auch die zweite Funktionseinheit 120 ist in Bezug auf die Bremskreise I. und II. symmetrisch ausgebildet. Daher werden im Folgenden wiederum nur die dem ersten Bremskreis I. (hier: der Radbremse VL) zugeordneten Komponenten der zweiten Funktionseinheit 120 näher erläutert. Diese Komponenten umfassen einen Druck-
5 sensor 196, der das Ansteuern des Druckerzeugers 188 (und damit der Pumpe 192) auf einen Zieldruckwert hin ermöglicht. Die Druckauswertung und die Ansteuerung des Druckerzeugers 188 erfolgen, wie oben dargelegt, durch das Steuergerät 180`. Ein optionaler, eingangsseitig der zweiten Funktionseinheit 120 vorgesehener Druck-
10 sensor (nicht dargestellt) könnte zur Erkennung eines Einbremsens des Fahrers (z. B. über den Hauptzylinder 148) in die aktive zweite Funktionseinheit 120 vorgesehen werden. Auf diese Weise ließe sich beispielsweise eine von der zweiten Funktionseinheit 120 gerade durchgeführte ACC-Regelung zugunsten einer Notbremsung des Fahrzeugs bis zum Stillstand abbrechen.

15 Wenn ein Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 erfasst wird (z. B. aufgrund eines Ausfalls des Druckerzeugers 132 oder einer Leckage im Bereich der ersten Funktionseinheit 110), kann die zweite Funktionseinheit 120 in redundanter Weise zur ersten Funktionseinheit 110 die Bremsdruckerzeugung und insbesondere die Bremsdruckregelung an den Radbremsen VL und VR übernehmen.

20 Beispielsweise lassen sich mittels der zweiten Funktionseinheit 120 bei Ausfall der ersten Funktionseinheit 110 eine oder mehrere der folgenden (oder andere) Bremsdruckregelfunktionalitäten autonom durchführen: Bremskraftverstärkung, ABS, ESC, ASR und ACC.

25 Die mit der zweiten Funktionseinheit 120 geschaffene Redundanz ermöglicht daher die Verwendung der in Fig. 1 dargestellten Kraftfahrzeug-Bremsanlage 100 auch für die Anwendungsfälle des teilautonomen oder autonomen Fahrens. Insbesondere in letzterem Anwendungsfall könnten der Hauptzylinder 148 und dessen begleitende Komponenten (wie das Bremspedal 130 und der Simulator 160) auch komplett ent-
30 fallen.

Die beiden Funktionseinheiten 110, 120 teilen sich ein Hydrauliksystem (nämlich das der ersten Funktionseinheit 110 mit dem Reservoir 122). Damit wird auch die zweite Funktionseinheit 120 vollständig mit Hydraulikfluid aus dem Reservoir 122 betrieben
35 und fördert das Hydraulikfluid in dieses Reservoir 122 zurück. Im Einsatzfall der zweiten Funktionseinheit 120 saugt die Pumpe 192 daher unmittelbar über den entsprechenden eingangsseitigen Anschluss zur ersten Funktionseinheit 110 über diese (und das entsprechend geöffnete Ventil 176) aus dem Reservoir 122 an.

Ein im Ausführungsbeispiel als durch einen Elektromagneten betätigtes 2/2-Wegeventil ausgebildetes Bypass-Ventil 302 ist parallel zur Pumpe 192 geschaltet. Dieses Ventil 302 nimmt im unbetätigten, also elektrisch nicht angesteuerten Zustand die in Fig. 1 dargestellte Grundstellung ein. Grundstellung heißt hier, dass das Ventil 302 seine Durchflussstellung einnimmt. Auf diese Weise kann Hydraulikfluid von der ersten Funktionseinheit 110 zur Radbremse VL gefördert werden und wieder zurück zur ersten Funktionseinheit 110 (und zum Reservoir 122) fließen. Das Ventil 302 wird von dem Steuergerät 180' angesteuert.

Im elektrisch angesteuerten Zustand nimmt das Ventil 302 eine Sperrstellung derart ein, dass von der Pumpe 192 gefördertes Hydraulikfluid zur Radbremse VL gelangt und nicht zur ersten Funktionseinheit 110 hin entweichen kann. Ein solches Entweichen (in der Durchlass-Stellung des Ventils 302) kann im Rahmen einer Druckregelung seitens der zweiten Funktionseinheit 120 allerdings dann gewünscht sein, wenn Bremsdruck an der Radbremse VL abgebaut werden muss (z. B. im Rahmen einer ABS-Regelung). Da das Ventil 302 in seiner Sperrstellung im Ausführungsbeispiel nur einseitig sperrt, kann der Bremsdruck an der Radbremse VL noch immer mittels der ersten Funktionseinheit 110 (z. B. bei Betätigen des Hauptzylinders 148 im PT-Betrieb) erhöht werden.

Des Weiteren umfasst die zweite Funktionseinheit 120 einen optionalen Speicher 402, der zusätzliches Hydraulikfluidvolumen zum Ansaugen durch die Pumpe 192 bereitstellt. Hintergrund dieser Speicherung von zusätzlichem Hydraulikvolumen ist der Sachverhalt, dass der Ansaugpfad der Pumpe 192 durch die erste Funktionseinheit 110 vor allem bei tiefen Temperaturen nicht ausreichend schnell Hydraulikfluidvolumen zur Verfügung stellen könnte. Je nach Auslegung der Funktionseinheiten 110, 120 kann das Bereitstellen zusätzlichen Hydraulikfluidvolumens auch allgemein (ggf. temperaturunabhängig) zur Unterstützung eines schnellen Druckaufbaus an der Radbremse VL gewünscht sein.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Speicher 402 als Druckspeicher, konkret als federbelasteter Kolbenspeicher ausgebildet. Der Druckspeicher 402 könnte auch ein Membranspeicher oder ein mit einem Rollbalg abgedichteter Kolben sein. Der Druckspeicher 402 ist zwischen dem Eingang der Pumpe 192 und der Hydraulik-schnittstelle zur ersten Funktionseinheit 110 einerseits und dem Ventil 302 auf der anderen Seite durchströmbar angeordnet. Die durchströmbare Anordnung gestattet

eine einfache Entlüftung und einen einfachen Wechsel des Hydraulikfluids im Rahmen eines regelmäßigen Service.

5 In anderen Ausführungsbeispielen kann der Speicher 402 ein als Kolbenspeicher ausgebildeter Fluidspeicher sein, der ohne Rückdruckfeder auskommt. Dieser Kolbenspeicher wird in einem Fluidpfad zwischen der Pumpe 192 und dem Ventil 302 einerseits und der ersten Funktionseinheit 110 und dem zweiten Ventil 502 andererseits vorgesehen. Der Kolbenspeicher kann mit einer Lippendichtung versehen sein, welche eine Abdichtung des Kolbens gegen Atmosphärendruck zu übernehmen vermag. Wie bereits eingangs erwähnt, fehlt jedoch eine Rückdruckfeder oder ein ähnliches Element, um nach einem teilweisen oder vollständigen Entleeren des Kolbenspeichers dessen Kolben wieder in seine Speicherstellung zu drängen. Die Speicherstellung entspricht derjenigen Stellung, in welcher der Kolbenspeicher im Wesentlichen maximal mit Hydraulikfluid gefüllt ist.

15 Beim Ansaugen von Hydraulikfluid durch die Pumpe 192 aus dem Kolbenspeicher bewegt sich dessen Kolben dann aus seiner Speicherstellung in eine Entnahmestellung. Um den Kolben dann aus dieser Entnahmestellung wieder in seine Speicherstellung zurückzudrängen, ist vorgesehen, dass ein von der druckbeaufschlagten Radbremse VL, VR in Richtung der ersten Funktionseinheit 110 zurückströmendes Hydraulikfluid den Kolben in seine Speicherstellung zu drängen vermag. Hierzu wird das Ventil 502 geschlossen und das Ventil 302 geöffnet, so dass das zurückströmende Hydraulikfluid in den Kolbenspeicher gelangen kann. Dabei wird dessen Kolben solange entgegen Atmosphärendruck verschoben, bis eine mit dem Zylinder des Kolbenspeichers kommunizierende Leitung zur ersten Funktionseinheit 110 freigegeben wird. In dieser Leitung kann ein federkraftbeaufschlagtes Rückschlagventil vorgesehen sein, das ein Zurückströmen von Hydraulikfluid zur ersten Funktionseinheit 110 gestattet, aber in die entgegengesetzte Richtung sperrend wirkt. Der Öffnungsdruck zum Öffnen des Rückschlagventils ist dabei vergleichsweise gering gewählt und beträgt weniger als 1 bar (z. B. 0,5 bar).

35 Parallel zu derjenigen Leitung zwischen dem Kolbenspeicher und der ersten Funktionseinheit 110, in welcher das Rückschlagventil aufgenommen ist, kann in einer weiteren Leitung zwischen der ersten Funktionseinheit 110 und dem Kolbenspeicher ein zweites Rückschlagventil vorgesehen sein, das entgegengesetzt zum ersten Rückschlagventil angeordnet ist. Dieses zweite Rückschlagventil gestattet ein Ansaugen von Hydraulikfluid mittels der Pumpe 192 aus der ersten Funktionseinheit 110 durch den Kolbenspeicher hindurch (und wirkt in der entgegengesetzten Richtung

sperrend). Die Leitung mit dem zweiten Rückschlagventil ist bezüglich der Leitung mit dem ersten Rückschlagventil derart axial versetzt an dem Zylinder des Kolbenspeichers angebracht, dass in jeder Stellung dessen Kolbens ein Ansaugen von Hydraulikfluid aus der ersten Funktionseinheit 110 durch den Zylinder hindurch möglich ist.

Ferner umfasst die zweite Funktionseinheit 120 ein optionales weiteres Bypass-Ventil 502, welches parallel zum Bypass-Ventil 302 angeordnet ist und gemeinsam mit diesem geschaltet wird. Das im Ausführungsbeispiel als elektromagnetisch betätigtes 2/2-Wegeventil ausgebildete Ventil 502 nimmt im unbetätigten, also elektrisch nicht angesteuerten Zustand die in Fig. 1 dargestellte Grundstellung ein. Grundstellung heißt wie bei dem Ventil 302, dass das Ventil 502 seine Durchflussstellung einnimmt. Das Ventil 502 ist durch das Steuergerät 180 ansteuerbar.

So kann über das geöffnete Ventil 502 auch bei fehlerhafterweise geschlossenem Bypass-Ventil 302 oder einem sperrenden Fehlerfall des durchflossenen Druckspeichers 402 noch Hydraulikdruck an der Radbremse VL abgebaut werden. Außerdem wird durch die beiden parallel geschalteten Ventile 302 und 502 der Durchflusswiderstand von der ersten Funktionseinheit 110 zur Radbremse VL verringert, so dass sich bei einem erforderlichen schnellen Druckaufbau an der Radbremse VL auch die so genannte „time to lock“ dieser Radbremse VL verringert. Es versteht sich, dass dies in gleicher Weise bei der Radbremse VR der Fall ist. Allgemein gelten alle im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen gemachten Aussagen bezüglich der Radbremse VL aufgrund der symmetrischen Auslegung des Bremssystems 100 auch für die Radbremse VR.

Gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 sind nur die beiden Vorderradbremmen VL, VR an die zweite Funktionseinheit 120 angeschlossen. In anderen Ausführungsbeispielen sind alle vier Radbremsen VL, VR, HL, HR an die zweite Funktionseinheit 120 angeschlossen. Die zweite Funktionseinheit 120 vermag dann an allen diesen Radbremsen VL, VR, HL, HR einen Bremsdruckaufbau (und insbesondere eine Bremsdruckregelung) durchzuführen. Dafür kann ein Hydraulikfluideingang der zweiten Funktionseinheit 120 beispielsweise für das linke Hinterrad HL zwischen einen Ausgang des Ventils 170 und einen Eingang des Ventils 172 gekoppelt werden (in Flussrichtung vom Druckerzeuger 132 zum Reservoir 122 hin gesehen).

Während in Fig. 1 in erster Linie das Hydraulik-Layout der Bremsanlage 100 veranschaulicht ist, wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 2 das Elektronik-Layout der Bremsanlage 100 und insbesondere die elektrische Ansteuerung einiger der in der Bremsanlage 100 verbauten Komponenten näher erläutert. Die gleichen Bezugszeichen bezeichnen die gleichen oder übereinstimmende Komponenten. Es ist darauf hinzuweisen, dass das in Fig. 2 veranschaulichte Elektronik-Layout auch bei Bremsanlagen zum Einsatz gelangen kann, die von der in Fig. 1 gezeigten Bremsanlage 100 abweichen.

In Fig. 2 ist zunächst wieder die Aufteilung verschiedener Komponenten der Bremsanlage 100 auf eine erste Funktionseinheit 110 und eine zweite Funktionseinheit 120 dargestellt. Die Hydraulikkomponenten der ersten Funktionseinheit 100, wie beispielsweise deren Ventile sowie der Bremsdruckerzeuger 132, sind zu einem ersten Hydrauliksystem HS1 zusammengefasst. Auf gleiche Weise sind die entsprechenden Komponenten der zweiten Funktionseinheit 120, wie deren Ventile und der Bremsdruckerzeuger 188, zu einem zweiten Hydrauliksystem HS2 zusammengefasst. Besonders hervorgehoben sind die beiden Ventile 170, 170' des Hydrauliksystems HS1 sowie der Drucksensor 196 des Hydrauliksystems HS2, auf die im Folgenden näher eingegangen werden wird.

Für die Steuergeräte 180, 180' sind jeweils die maßgeblichen Software-Funktionen hervorgehoben. So ist die Mikroprozessorik des Steuergeräts 180 dazu ausgelegt, die Software-Funktionen einer Basisbremse 180A, einer Stabilitätsregelung 180B sowie einer Aktuatorsteuerung 180C zu implementieren. In ähnlicher Weise ist die Mikroprozessorik des Steuergeräts 180' dazu ausgelegt, die Software-Funktionen einer Basisbremse 180'A, einer Stabilitätsregelung 180'B und einer Aktuatorsteuerung 180'C zu implementieren. Die Basisbremsfunktionen 180A, 180'A sind dazu ausgebildet, das Hydrauliksystem HS1 bzw. HS2 im Zusammenhang mit einer Normalbremsung anzusteuern. Die Stabilitätsregelfunktionen 180B, 180'B gestatten unter anderem eine Ansteuerung des jeweils zugeordneten Bremsdruckerzeugers 132 bzw. 188 im Zusammenhang mit einer fahrzeugstabilisierenden Bremsdruckregelung (wie bereits unter Bezugnahme auf Fig. 1 erläutert). Schließlich gestatten die Aktuatorsteuerungsfunktionen 180C, 180'C eine elektrische Ansteuerung der beiden Parkbremsaktuatoren EPB1 bzw. EPB2. Diese Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 sind in Fig. 2 jeweils mit der zugehörigen hydraulischen Radbremse HL bzw. HR zu einer einzigen Radbremseinheit verbaut dargestellt.

In Fig. 2 sind ferner mehrere Sensoren der Bremsanlage 100 veranschaulicht. Neben dem Pedalwegsensoren 182 und dem Drucksensoren 196, die bereits unter Bezugnahme auf Fig. 1 erläutert wurden, umfasst die Bremsanlage 100 ferner vier Radsensoren 202, 204, 206, 208. Diese Radsensoren 202, 204, 206, 208 sind jeweils einem der vier Fahrzeugräder zugeordnet und gestatten eine Ermittlung der entsprechenden Raddrehzahl oder Radgeschwindigkeit. Ein Beschleunigungssensoren 210 erfasst die Längsbeschleunigung a_x des Fahrzeugs und ein Bremslichtschalter 212 erzeugt in bekannter Weise ein Bremslichtsignal bei einer Betätigung des Bremspedals 130.

Die Bremsanlage 100 umfasst außerdem mehrere Schalteinrichtungen U1, U2, U3. Die beiden Schalteinrichtungen U1, U3 sind Teil der ersten Funktionseinheit 110 und können auch in das Steuergerät 180 integriert sein. Die Schalteinrichtung U2 ist Teil der zweiten Funktionseinheit 120 und kann auch in das Steuergerät 180` integriert werden.

Im Folgenden werden verschiedene Aspekte in Zusammenhang mit dem Ansteuern der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 durch das Steuergerät 180` erläutert. Wie bereits oben erwähnt, ist das zweite Steuergerät 180` dazu in der Lage, wahlweise oder zusammen den Bremsdruckerzeuger 188 (mittels der Basisbremsfunktion 180 A` oder der Stabilitätsregelfunktion 180`B) und einen oder beide der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 (mittels der Aktuatorsteuerungsfunktion 180`C) anzusteuern. Allgemein erfolgt eine Ansteuerung eines oder beider der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 durch das Steuergerät 180` in einer Rückfallebene, also bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 (beispielsweise bei einem Ausfall des Steuergeräts 180). Das Ansteuern eines oder beider der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 kann unter anderem zur Verursachung, Erhöhung oder Erniedrigung einer Fahrzeugverzögerung oder zur radindividuellen Erhöhung oder Erniedrigung einer Radgeschwindigkeit erfolgen. Charakteristisch hierfür ist, dass sich das Fahrzeug bei einer Ansteuerung eines oder beider der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 durch das Steuergerät 180` in Bewegung befindet (beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von mehr als 10 km/h). Zusätzlich hierzu kann das Steuergerät 180` in manchen Implementierungen die beiden Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 auch im Stillstand des Fahrzeugs ansteuern. Dies ermöglicht einen herkömmlichen Parkbremsvorgang zum Abstellen des Fahrzeugs auch bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110.

Im Folgenden werden verschiedene Szenarien beschrieben, wie bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 eine oder beide der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 zusammen mit oder unabhängig von dem Bremsdruckerzeuger 188 durch das Steuergerät 180' angesteuert werden.

5

Das erste Ansteuerszenario betrifft eine ABS-Regelung an einem oder beiden Rädern der Vorderachse sowie an einem oder beiden Rädern der Hinterachse. Zur Durchführung der ABS-Regelung in der Rückfallebene an einem Vorderrad wird mittels der Stabilitätsregelfunktion 180' B der Bremsdruckerzeuger 188 (und/oder weitere Komponenten des Hydrauliksystems HS2) angesteuert. Auf diese Weise kann an der Radbremse VL des linken Vorderrads und/oder der Radbremse VR des rechten Vorderrads der jeweilige Radschlupf geregelt werden. Diese Schlupfregelung durch die Stabilitätsregelfunktion 180' B basiert auf den Vorderradgeschwindigkeiten, wie sie von den beiden Radsensoren 202, 204 zur Verfügung gestellt werden.

10

15

Da der Bremsdruckerzeuger 188 gemäß dem in der Fig. 1 veranschaulichten Hydraulik-Layout nicht in der Lage ist, einen Bremsdruck an den Hinterradbremmen HL, HR aufzubauen, erfolgt die Schlupfregelung an den beiden Hinterrädern durch Ansteuerung eines oder beider der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 durch das Steuergerät 180'. Die Schlupfregelung wird von der Stabilitätsregelfunktion 180' B auf der Grundlage der Hinterradgeschwindigkeiten durchgeführt, wie sie von den Radsensoren 206, 208 empfangen werden. Basierend auf einer Auswertung der Hinterradgeschwindigkeiten erzeugt die Stabilitätsregelfunktion 180' B dann Ansteuersignale für die Aktuatorsteuerung 180' C, welche wiederum die Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 einzeln oder gemeinsam anzusteuern vermag. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine solche Schlupfregelung an den Hinterrädern auch bei Ausfall des Hydrauliksystems HS2 noch möglich bleibt.

20

25

30

35

Ein zweites Ansteuerszenario für eine fahrzeugstabilisierende Bremskraftregelung ist eine Übersteuerregelung im Zusammenhang mit einem ESC-Regeleingriff. Bei beginnender Übersteuerneigung des Fahrzeugs wird dabei das zur Auslenkungsrichtung des Fahrzeugs zeigende Vorderrad aktiv abgebremst. Dieses Abbremsen kann bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 von der zweiten Funktionseinheit 120 übernommen werden. Zu diesem Zweck steuert die Stabilitätsregelfunktion 180' B des Steuergeräts 180' das Hydrauliksystem HS2 und insbesondere den Bremsdruckerzeuger 188 (vgl. Fig. 1) in geeigneter Weise an, um an der betroffenen Vorderradbremse VL, VR einen Bremsdruck aufzubauen. Die von der Stabilitätsregelfunktion 180' B in diesem Zusammenhang ausgewerteten Sensorsignale betreffen

beispielsweise eine Fahrzeug-Gierate, eine Fahrzeug-Lateralbeschleunigung und/oder den Lenkwinkel. Sollten an den Vorderrädern ebenfalls elektrische Parkbremsaktuatoren verbaut sein, kann die Stabilitätsregelfunktion 180´B über die Ak-
tuatorsteuerung 180´C auch diese ansteuern, um durch Abbremsen des
5 entsprechenden Vorderrads eine Übersteuerregelung zu erzielen.

Ein drittes Ansteuerszenario für eine fahrzeugstabilisierende Bremskraftregelung bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 ist eine Untersteuerregelung. Bei beginnendem Untersteuern des Fahrzeug wird, neben anderen Maßnahmen,
10 typischerweise das kurveninnere Hinterrad aktiv abgebremst. Da die zweite Funkti-
onseinheit 120 mittels des Bremsdruckerzeugers 188 (vgl. Fig. 1) keinen Bremsdruck an der Hinterachse aufbauen kann, wird für die Untersteuerregelung durch die Stabi-
litätsregelfunktion 180´B und die Aktuatorsteuerung 180´C der Parkbremsaktuator
EPB1, EPB2 des kurveninneren Hinterrads aktiviert. Wie im Zusammenhang mit der
15 Übersteuerregelung oben bereits ausgeführt, verarbeitet die Stabilitätsregelfunktion
180´B zu diesem Zweck Sensorsignale betreffend die Gierate, die Lateralbeschleuni-
gung und/oder den Lenkwinkel des Fahrzeugs.

Ein viertes Ansteuerszenario bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit
20 110 betrifft eine gemeinsame Bremskraftverstärkung durch den Bremsdruckerzeuger
188 und durch die Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 für den Fall, dass ein Fahrer im
PT-Betrieb oder anderweitig (beispielsweise bei einer anderen Konfiguration der
Bremsanlage 100) unmittelbar für den Bremsdruckaufbau an den Radbremsen ver-
antwortlich ist. Dies umfasst auch den Fall, dass ein Fahrer in eine laufende, von der
25 zweiten Funktionseinheit 120 initiierte Bremsung eintritt.

Zur Fahrerunterstützung wird gemäß dem vierten Ansteuerszenario mittels des
Bremsdruckerzeugers 188 der Bremsdruck an den Vorderrädern proportional zum
Fahrerwunsch verstärkt. In diesem Zusammenhang können die Vorderräder weiter-
30 hin bedingt auch Schlupf geregelt werden, insbesondere durch eine geeignete An-
steuerung des Bremsdruckerzeugers 188 derart, dass der verstärkte Bremsdruck
immer unterhalb der Schlupfgrenze liegt (also durch Erniedrigung eines Verstär-
kungsfaktors). Eine solche bedingte Schlupfregelung ist allerdings nur solange mög-
lich, wie der unverstärkte Fahrerdruck noch unter der Blockiergrenze liegt.

35 Auf ähnliche Weise kann auch an der Hinterachse mittels der Parkbremsaktuatoren
EPB1, EPB2 eine Bremskraftverstärkung des Fahrerwunsches erfolgen. Zu diesem
Zweck wird ein zum vom Fahrer angeforderten Bremsdruck proportionaler Brems-

kraftanteil durch gesteuertes Schließen der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 seitens der Basisbremsfunktion 180´A und der Aktuatorsteuerung 180´C erzeugt.

Fig. 3 veranschaulicht in einem schematischen Diagramm, wie die Verstärkung des vom Fahrer erzeugten Hydraulikdrucks mittels der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 durchgeführt werden kann. Die Aktivierung der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 erfolgt seitens der Basisbremsfunktion 180´A bei Erkennung einer vom Fahrer am Bremspedal 130 angeforderten Fahrzeugverzögerung (z. B. im PT-Betrieb oder in einem anderen Betriebszustand). Zu diesem Zweck kann das Signal des Pedalwegsensors 182 oder des Bremslichtschalters 212 ausgewertet werden.

In dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel wird auf das Signal des Bremslichtschalters 212 abgestellt. Die Sollgröße der elektromechanischen Unterstützung wird dabei auf der Grundlage der gemessenen Fahrzeuglängsverzögerung ax_mess ermittelt. Zu diesem Zweck wertet die Basisbremsfunktion 180´A das entsprechende Signal des Beschleunigungssensors 210 aus. Dabei wird auf der Grundlage eines iterativen Algorithmus der erforderliche, auf die Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 zurückgehende Verzögerungsanteil $ax_soll_EPB(n)$ zum Zeitpunkt n ermittelt. Konkret kann in diesem Zusammenhang beispielsweise der folgende Algorithmus zum Einsatz gelangen:

$$ax_hydr(n-1) = [ax_mess(n-1) - ax_EPB(n-1)]$$

$$ax_soll_EPB(n) = ax_hydr(n-1) * EPB_Gain,$$

wobei $ax_hydr(n-1)$ ein für den Zeitpunkt $n-1$ z. B. auf der Grundlage eines Drucksignals des Sensors 196 ermittelter hydraulischer Verzögerungsanteil ist, $ax_mess(n-1)$ eine zum Zeitpunkt $n-1$ vorherrschende Fahrzeugverzögerung ist und EPB_Gain ein Verstärkungsfaktor ist. Dieser iterative Algorithmus ist in Fig. 3 veranschaulicht. Deutlich zu erkennen ist, dass die gemessene Gesamtverzögerung ax_mess sich jeweils aus einem hydraulischen Verzögerungsanteil sowie einem auf die Betätigung der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 zurückgehenden Verzögerungsanteil zusammensetzt.

Zur Berücksichtigung eines eventuell vorhandenen Bergabtriebsmoments, welches die Messung des Beschleunigungssensors 210 verfälschen kann, ist eine Kompensierung eines im Ausgangssignal des Beschleunigungssensors 210 vorhandenen Steigungsanteils möglich. Dieser Steigungsanteil kann beispielsweise unter Verwendung eines gemessenen Neigungswinkels kompensiert werden.

Die in Fig. 3 veranschaulichte Ansteuerung der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2 kann nach Maßgabe einer Schlupfregelung erfolgen. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise der Verstärkungsfaktor EPB_Gain situationsbedingt derart reduziert werden, dass die Blockiergrenze eines betroffenen Rads nicht überschritten wird. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch nur solange erfolgreich, wie der unverstärkte Fahrerdruck an den Hinterradbremse HL, HR unter der Blockiergrenze liegt. Erreicht oder übersteigt der unverstärkte Fahrerdruck jedoch die Blockiergrenze, muss eine andere Maßnahme zur Schlupfregelung ergriffen werden. Konkret ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 1 und 2 in diesem Fall zur Stabilitätserhöhung eine Ansteuerung der Hinterachs-Isolierventile 170, 170' durch die zweite Funktionseinheit 120 vorgesehen, um den vom Fahrer erzeugten Hinterachsbremsdruck für eine Schlupfregelung zu begrenzen. Aufgrund des Funktionsausfalls der ersten Funktionseinheit 110 können die Ventile 170, 170' nämlich in der Regel nicht mehr durch das Steuergerät 180 geschlossen werden.

Um ein Schließen der Ventile 170, 170' im Fehlerfall des Steuergeräts 180 durch das Steuergerät 180' zu ermöglichen, ist die Schalteinrichtung U3 vorgesehen (vgl. Fig. 2). Die Schalteinrichtung U3 ist als transistorbasierte Umschalteinrichtung ausgebildet und koppelt in Abhängigkeit der Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit 110 wahlweise das Steuergerät 180 der ersten Funktionseinheit 110 oder das Steuergerät 180' der zweiten Funktionseinheit mit den beiden Ventilen 170, 170', um ein Ansteuern dieser Ventile 170, 170' durch das entsprechende Steuergerät 180 bzw. 180' zu ermöglichen. Zu diesem Zweck können separate Ansteuerleitungen zwischen dem Steuergerät 180' und der Schalteinrichtung U3 vorgesehen sein. Das Umschalten der Schalteinrichtung U3 zwischen dem Steuergerät 180 und dem Steuergerät 180' kann durch das Steuergerät 180' oder eine andere Komponente (z. B. das Steuergerät 180) initiiert werden, die einen Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 zu erfassen vermag.

Das Ansteuern eines der oder beider Ventile 170, 170' erfolgt bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 durch die Stabilitätsregelfunktion 180'B und in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des zugeordneten Hinterrads, die von dem

entsprechenden Sensor 206, 208 erfasst wurde. Die Stabilitätsregelfunktion 180´ B kann in diesem Zusammenhang einen herkömmlichen ABS-Regelalgorithmus verwenden, um das Blockieren des entsprechenden Hinterrads zu verhindern.

5 In dem oben geschilderten Ausführungsbeispiel wird durch Schließen eines oder beider der Ventile 170, 170´ durch das Steuergerät 180´ ein vom Fahrer erzeugter Bremsdruck begrenzt. Selbstverständlich könnte auf die gleiche Weise auch ein fehlerhafter Bremsdruck begrenzt werden, der von dem Bremsdruckerzeuger 132 beispielsweise in einem Störfall erzeugt wird.

10

Neben der Schalteinrichtung U3 sind in der Bremsanlage 102 zwei weitere Schalteinrichtungen U1, U2 verbaut. Diese weiteren Schalteinrichtungen U1, U2 gestatten die Koppelung des Bremspedalwegsensors 182 in Abhängigkeit der Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit 110 wahlweise mit dem Steuergerät 180 der ersten
15 Funktionseinheit 110 oder dem Steuergerät 180´ der zweiten Funktionseinheit 120.

15

Die im Folgenden unter Bezugnahme auf die Schalteinrichtung U1 sowie die (optionale) Schalteinrichtung U2 erläuterten Schaltfunktionen sind nicht auf den Bremspedalwegsensord 182 beschränkt. Diese Schaltfunktionen könnten vielmehr zusätzlich
20 oder alternativ hierzu auch für einen oder mehrere der weiteren Sensoren vorgesehen werden, wie beispielsweise die Radsensoren 202, 204, 206, 208, den Beschleunigungssensord 210 oder den Bremslichtschalter 212. Die hier vorgeschlagene Schaltfunktion hat den Vorteil, dass ein Sensor für die beiden Funktionseinheiten 110, 120 vorgesehen werden kann. Der Sensor als solches muss daher nicht redundant implementiert werden.
25

20

25

Die Schalteinrichtung U1 gestattet es demnach, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit 110 den Pedalwegsensord 182 (und/oder einen anderen Sensor) mit dem zweiten Steuergerät 180´ zu koppeln. Das Ausgangssignal S_Ped_extern
30 des Sensors 182 wird dann über eine separate Leitung von der Schalteinrichtung U1 dem Steuergerät 180´ der zweiten Funktionseinheit 120 zugeführt. Genauer gesagt wird das Signal der Schalteinrichtung U2 der Funktionseinheit 120 übermittelt. Diese Schalteinrichtung U2 (oder eine andere Komponente der zweiten Funktionseinheit 120) ist dazu ausgebildet, einen Ausgang der Schalteinrichtung U1 (und damit das
35 entsprechende Sensorsignal) in Abhängigkeit der Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit 110 mit dem zweiten Steuergerät 180´ zu koppeln. Mit anderen Worten erfolgt eine Ansteuerung, insbesondere ein Umschalten, der Schalteinrichtung U1 von der zweiten Funktionseinheit 120 aus.

30

35

Die Schalteinrichtung U2 ist daher ausgelegt, das Signal des Pedalwegsensors 182 in Abhängigkeit von der ersten Funktionseinheit 110 mit der eigentlichen Verarbeitungselektronik (beispielsweise ein Mikroprozessor) des Steuergeräts 180' zu koppeln. Die Schalteinrichtung U2 kann in eine Elektronikbaugruppe des zweiten Steuergeräts 180' integriert sein. In gleicher Weise kann die Schalteinrichtung U1 in eine Elektronikbaugruppe des Steuergeräts 180 integriert sein.

Die Schalteinrichtung U1 oder eine andere Schalteinrichtung ist ferner dazu ausgebildet, den Sensor 182 (und/oder einen anderen Sensor) wahlweise mit einer ersten Leistungsversorgungen oder einer zusätzlich zur ersten Leistungsversorgung vorgesehen zweiten Leistungsversorgung zu koppeln. Die erste Leistungsversorgung ist dabei der ersten Funktionseinheit 110 zugeordnet und die zweite Leistungsversorgung der zweiten Funktionseinheit 120. Das entsprechende Umschalten der Leistungsversorgung kann wiederum durch die Schalteinrichtung U2 erfolgen. Zu diesem Zweck erstrecken sich zwei Leistungsversorgungsleitungen von der Schalteinrichtung U2 zur Schalteinrichtung U1.

Aufgrund des Vorsehens der Schalteinrichtung U1 sowie der Schalteinrichtung U2 steht selbst bei einem Ausfall der Leistungsversorgung der ersten Funktionseinheit 110 oder bei einem Ausfall des Steuergeräts 180 das Signal des Pedalwegsensors 182 (und/oder eines anderen Sensors) für die Rückfallebene in der zweiten Funktionseinheit 120 zur Verfügung. Falls die Schalteinrichtung U1 selbst nicht mehr ordnungsgemäß funktioniert, beispielsweise aufgrund eines Wassereintritts oder einer mechanischen Zerstörung einer Elektronikbaugruppe, muss auf das Pedalwegsignal verzichtet werden. Jedoch kann die zweite Funktionseinheit 120 ersatzweise auf einen anderen Sensor zurück greifen, beispielsweise den Drucksensor 196, um den entsprechenden Fahrerbremswunsch zu erfassen. Bei einem anderen Teilausfall der ersten Funktionseinheit 110, beispielsweise des Hydrauliksystems HS1, bei weiterhin funktionierendem Steuergerät 180 kann die Übertragung des Sensorsignals von der ersten Funktionseinheit 110 zur zweiten Funktionseinheit 120 auch über einen Fahrzeug-Bus, beispielsweise den in Fig. 2 eingezeichneten CAN-Bus erfolgen.

Allgemein bietet die durch die zweite Funktionseinheit 120 geschaffene Redundanz eine sicherheitstechnische Verbesserung, welche die hier vorgestellte Bremsanlage 100 beispielsweise auch für Anwendungsfälle des autonomen oder teilautonomen Fahrens geeignet macht (z. B. in einem RCP-Modus). Insbesondere kann bei Ausfall der ersten Funktionseinheit 110 und einem ausbleibenden Fahrereingriff am (optio-

nen) Bremspedal 130 das Fahrzeug noch immer mittels der zweiten Funktionseinheit 120 (und ggf. der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2) sicher, also einschließlich einer ggf. erforderlichen fahrzeugstabilisierenden Bremsdruckregelung, zum Stillstand gebracht werden.

5

Auch kann etwa bei Ausfall einer separaten Energieversorgung für die erste Funktionseinheit 110 (insbesondere für den elektrischen Druckerzeuger 132) eine mangelnde Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit 110 erkannt werden. Wenn in diesem Zustand das Erfordernis einer Bremsdruckregelung an einer der Radbremmen VL und VR erfasst wird (z. B. die Notwendigkeit eines ESC-Eingriffs), so erfolgt diese dann mittels der zweiten Funktionseinheit 120, für die eine getrennte Energieversorgung vorgesehen ist (und ggf. unter Verwendung der Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2).

10

15

In einem weiteren Beispiel kann der Ausfall der ersten Funktionseinheit 110 (z. B. ein mechanischer Ausfall des Getriebes 142 des Druckerzeugers 132) dazu führen, dass das Fahrzeug unverzüglich und automatisiert bis zum Stillstand abgebremst werden soll. Falls während dieses Abbremsens eine ABS-Regelung erforderlich wird, wird diese von der zweiten Funktionseinheit 120 (und ggf. den Parkbremsaktuatoren EPB1, EPB2) übernommen.

20

25

Patentansprüche

1. Hydraulische Kraftfahrzeug-Bremsanlage (100), umfassend:

5

eine erste Funktionseinheit (110) mit

wenigstens einer ersten Ventilanordnung (170, 170'), die ausgebildet ist, wenigstens eine erste Radbremse (HL, HR), die einer ersten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen;

10

wenigstens einer zweiten Ventilanordnung (174, 174'), die ausgebildet ist, wenigstens eine zweite Radbremse (VL, VR), die einer zweiten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen;

15

wenigstens einem ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger (132), mittels dessen an der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR, HL, HR) jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist; und

20

einer ersten Steuerung (180), die ausgebildet ist, den wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger (132) für eine Bremsdruckregelung anzusteuern;

eine zweite Funktionseinheit (120) mit

25

wenigstens einem zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger (188), mittels dessen an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR) ein Bremsdruck erzeugbar ist; und

30

einer zweiten Steuerung (180'), die ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit (110) den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger (188) für eine Bremsdruckregelung an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR) anzusteuern; und

eine Schalteinrichtung (U3), die ausgebildet ist, in Abhängigkeit einer Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit (110) wahlweise die erste Steuerung (180) oder die zweite Steuerung (180') mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung (170, 170') zu koppeln.

35

2. Bremsanlage (100) nach Anspruch 1, wobei
die Umschalteneinrichtung (U3) ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall
der ersten Funktionseinheit (110) die zweite Steuerung (180') mit der wenigstens
einen ersten Ventilanordnung (170, 170') zu koppeln.
- 5
3. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die zweite Steuerung (180') ausgebildet ist, die wenigstens eine erste
Ventilanordnung (170, 170') in Abhängigkeit eines zugeordneten Radsignals
anzusteuern.
- 10
4. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die zweite Steuerung (180') ausgebildet ist, die wenigstens eine erste
Ventilanordnung (170, 170') im Rahmen einer ABS-Regelung anzusteuern, um
ein Blockieren eines zugeordneten Rades zu verhindern.
- 15
5. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die zweite Steuerung (180') ausgebildet ist, die wenigstens eine erste
Ventilanordnung (170, 170') für eine Hydraulikdruckbegrenzung an der zugeordneten
ersten Radbremse in eine Schließstellung zu bringen.
- 20
6. Bremsanlage (100) nach Anspruch 5, wobei
der zu begrenzende Hydraulikdruck von einem Fahrer mittels eines
Bremspedals (130) in einem Hauptzylinder (148) erzeugbar ist.
- 25
7. Bremsanlage (100) nach Anspruch 5, wobei
der zu begrenzende Hydraulikdruck mittels einer Ansteuerung des ersten
elektrischen Bremsdruckerzeugers (132) durch die zweite Steuerung
(180') erzeugbar ist.
- 30
8. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers
(188) an der wenigstens einen ersten Radbremse (HR, HL) kein Bremsdruck
erzeugbar ist.
- 35
9. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Umschalteneinrichtung (U3) als transistorbasierte Schaltung ausgebildet
ist.

10. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Umschalteneinrichtung (U3) in die erste Funktionseinheit (100) integriert ist.

5 11. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Steuerung und die zweite Steuerung als separate Steuergeräte (180, 180') implementiert sind.

10 12. Bremsanlage (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, wobei die Bremsanlage (100) wenigstens einen elektrischen Parkbremsaktor (EPB) umfasst, der ausgebildet ist, an einem Fahrzeugrad eine Bremskraft zu erzeugen; und die zweite Steuerung (180') ferner ausgebildet ist, wahlweise oder zusammen das Folgende anzusteuern:

- 15
- den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger (188); und
 - den wenigstens einen Parkbremsaktor (EPB).

20 13. Bremsanlage (100) nach Anspruch 12, wobei der wenigstens eine elektrische Parkbremsaktor (EPB) wenigstens einem Fahrzeugrad der ersten Achse zugeordnet ist und der zweiten Achse kein elektrischer Parkbremsaktor zugeordnet ist; und die Bremsanlage (100) ausgebildet ist, mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers (188) an der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR) einen Bremsdruck zu erzeugen, wobei mittels des wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeugers (188) an der wenigstens einen ersten Radbremse (HR, HL) kein Bremsdruck erzeugbar ist.

30 14. Bremsanlage nach Anspruch 12 oder 13, wobei die zweite Steuerung (180') ausgebildet ist, den wenigstens einen Parkbremsaktor (EPB) für eine fahrzeugstabilisierende Bremskraftregelung anzusteuern.

35 15. Bremsanlage nach Anspruch 12 oder 13, wobei die zweite Steuerung (180') ausgebildet ist, den wenigstens einen Parkbremsaktor (EPB) für eine Verstärkung einer Bremskraft anzusteuern, die aus einem von einem Fahrer mittels eines Bremspedals (130) in einem Hauptzylinder (148) erzeugten Hydraulikdruck resultiert.

16. Verfahren zum Betreiben einer hydraulischen Kraftfahrzeug-Bremsanlage (100), die das Folgende umfasst:

eine erste Funktionseinheit (110) mit

wenigstens einer ersten Ventilanordnung (170, 170'), die ausgebildet ist, wenigstens eine erste Radbremse (HL, HR), die einer ersten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen

wenigstens einer zweiten Ventilanordnung (174, 174'), die ausgebildet ist, wenigstens eine zweite Radbremse (VL, VR), die einer zweiten Achse zugeordnet ist, wahlweise mit einem vorherrschenden Hydraulikdruck zu verbinden oder davon zu trennen;

wenigstens einem ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger (132), mittels dessen an der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR, HL, HR) jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist; und

einer ersten Steuerung (180), die ausgebildet ist, den wenigstens einen ersten elektrischen Bremsdruckerzeuger (132) für eine Bremsdruckregelung anzusteuern; und

eine zweite Funktionseinheit (120) mit

wenigstens einem zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger (188), mittels dessen an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR) jeweils ein Bremsdruck erzeugbar ist;

einer zweiten Steuerung (180'), die ausgebildet ist, bei einem Funktionsausfall der ersten Funktionseinheit (110) den wenigstens einen zweiten elektrischen Bremsdruckerzeuger (188) für eine Bremsdruckregelung an zumindest der wenigstens einen zweiten Radbremse (VL, VR) anzusteuern;

das Verfahren umfassend den Schritt:

wahlweises Koppeln der ersten Steuerung (180) oder der zweiten Steuerung (180') mit der wenigstens einen ersten Ventilanordnung (170, 170') in Abhängigkeit einer Funktionsfähigkeit der ersten Funktionseinheit (110).

17. Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 16, wenn dieser auf wenigstens einem Prozessor abläuft.

18. Steuergerät oder System aus mehreren Steuergeräten (180; 180'), umfassend wenigstens einen Prozessor und wenigstens einen Speicher, in dem das Computerprogrammprodukt nach Anspruch 17 abgespeichert ist.

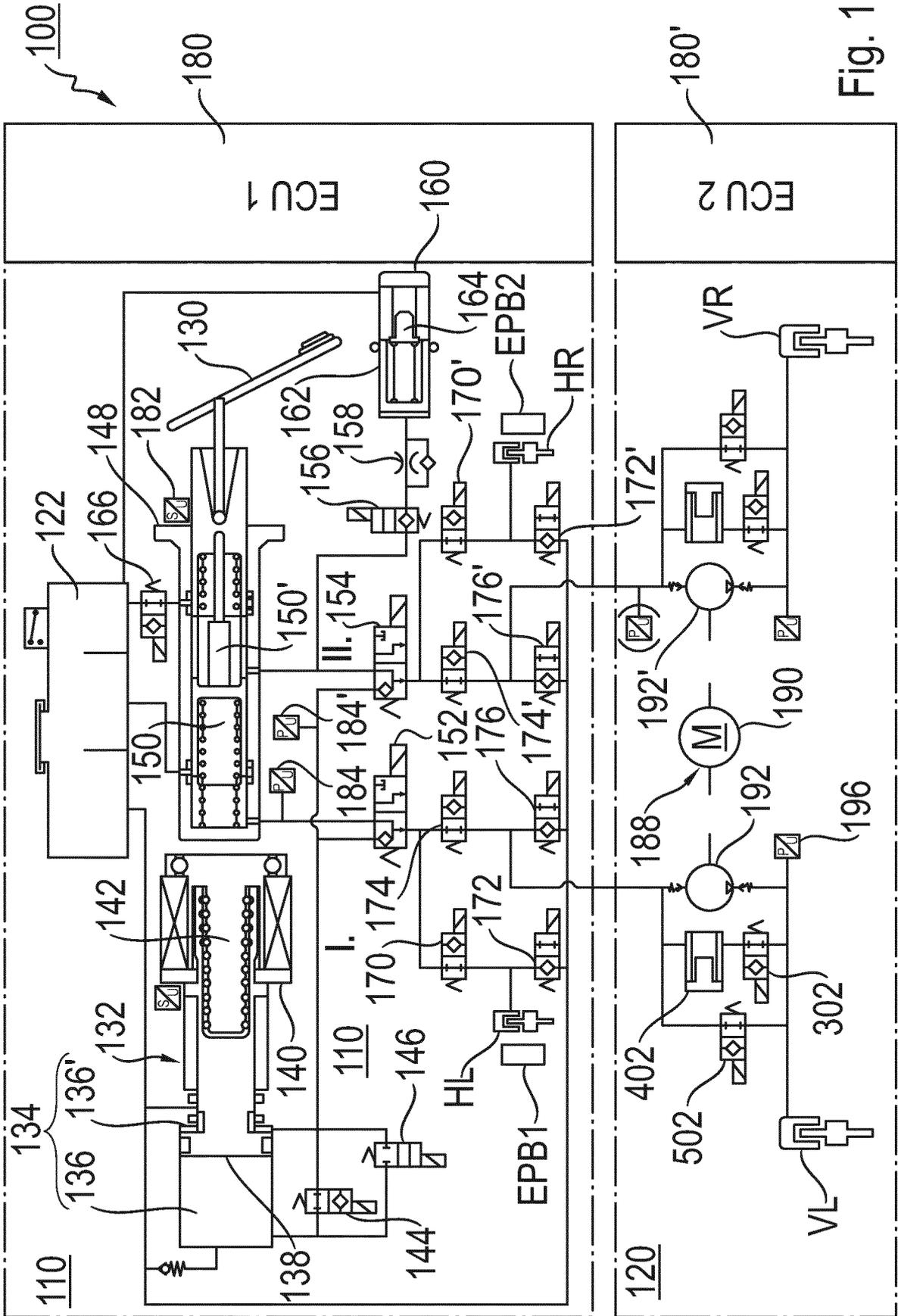


Fig. 1

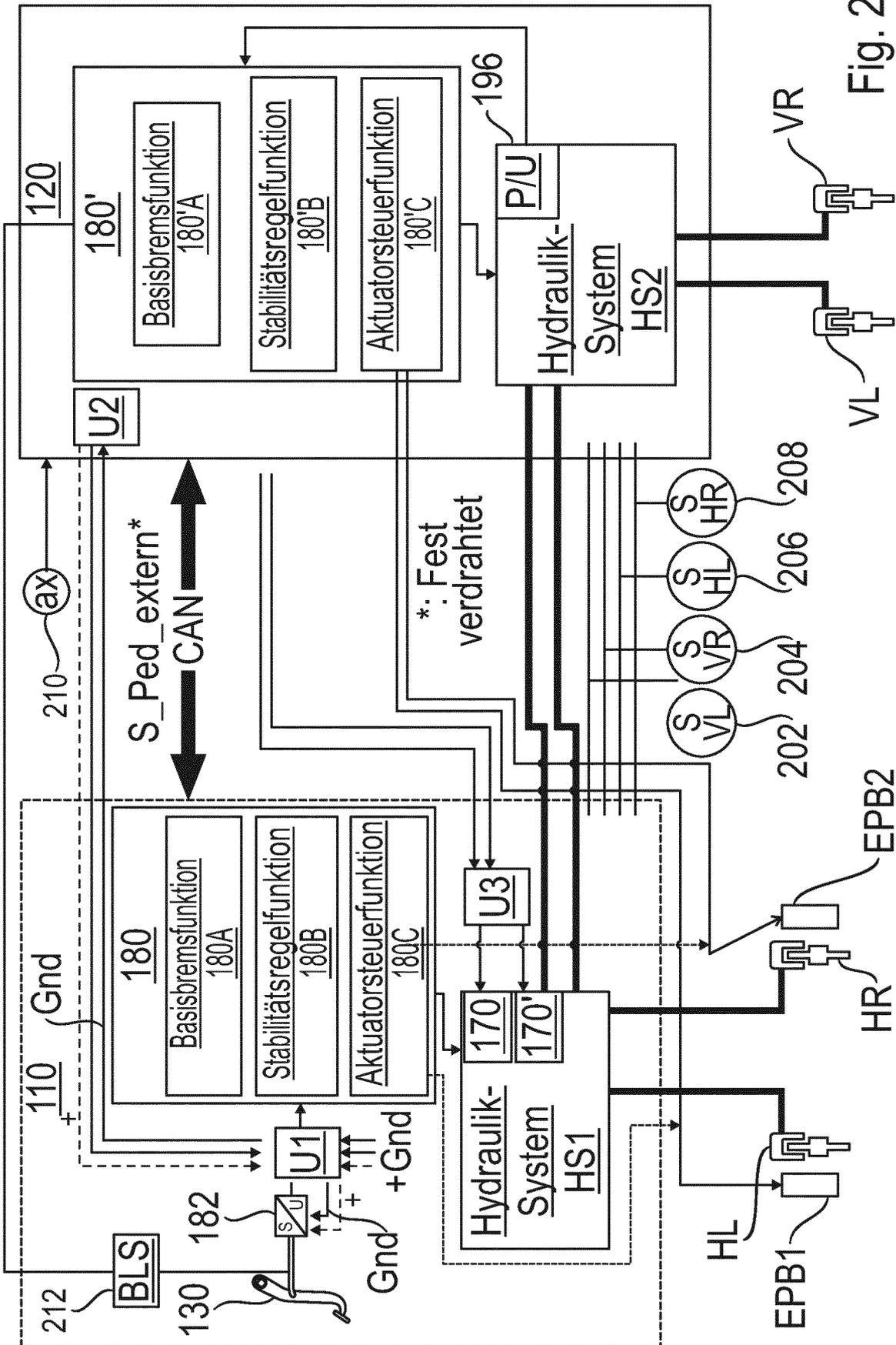


Fig. 2

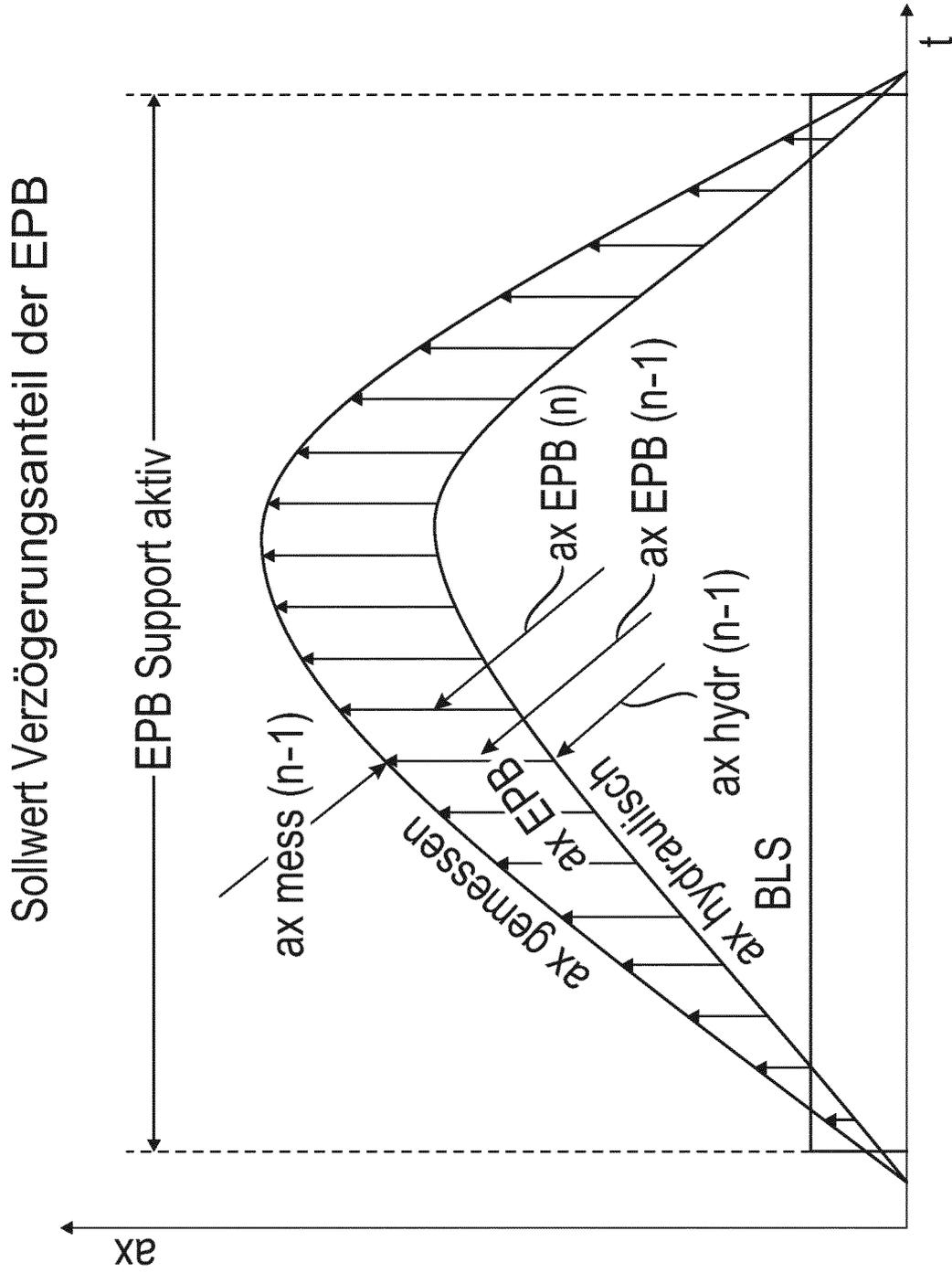


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/059311

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B60T 13/66</i> (2006.01)i; <i>B60T 13/74</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) B60T 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	DE 102014221901 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28 April 2016 (2016-04-28) paragraph [0021] - paragraph [0034]; figures 1, 2	1-4,8-11,16-18 12,13 5-7,14,15
Y A	DE 112016001537 T5 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LTD [JP]) 04 January 2018 (2018-01-04) paragraph [0015] - paragraph [0132]; figures 1-5	12,13 1-11,14-18
A	DE 102011108297 A1 (DAIMLER AG [DE]) 02 August 2012 (2012-08-02) paragraph [0028] - paragraph [0046]; figures 1-3	1-18
<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>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 18 July 2019		Date of mailing of the international search report 29 July 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Kamara, Amadou Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/059311

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102014221901	A1	28 April 2016	CN	105539412	A	04 May 2016
				DE	102014221901	A1	28 April 2016
				US	2016114779	A1	28 April 2016
<hr/>							
DE	112016001537	T5	04 January 2018	CN	107406060	A	28 November 2017
				DE	112016001537	T5	04 January 2018
				JP	6335387	B2	30 May 2018
				JP	WO2016158485	A1	21 September 2017
				KR	20170132723	A	04 December 2017
				US	2018065611	A1	08 March 2018
				WO	2016158485	A1	06 October 2016
<hr/>							
DE	102011108297	A1	02 August 2012	NONE			
<hr/>							

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B60T13/66 B60T13/74
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B60T

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2014 221901 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28. April 2016 (2016-04-28)	1-4, 8-11, 16-18
Y	Absatz [0021] - Absatz [0034]; Abbildungen	12,13
A	1, 2	5-7,14, 15
Y	----- DE 11 2016 001537 T5 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LTD [JP]) 4. Januar 2018 (2018-01-04)	12,13
A	Absatz [0015] - Absatz [0132]; Abbildungen 1-5	1-11, 14-18
A	----- DE 10 2011 108297 A1 (DAIMLER AG [DE]) 2. August 2012 (2012-08-02)	1-18
	Absatz [0028] - Absatz [0046]; Abbildungen 1-3 -----	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

18. Juli 2019

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/07/2019

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

Kamara, Amadou

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/059311

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014221901 A1	28-04-2016	CN 105539412 A	04-05-2016
		DE 102014221901 A1	28-04-2016
		US 2016114779 A1	28-04-2016

DE 112016001537 T5	04-01-2018	CN 107406060 A	28-11-2017
		DE 112016001537 T5	04-01-2018
		JP 6335387 B2	30-05-2018
		JP W02016158485 A1	21-09-2017
		KR 20170132723 A	04-12-2017
		US 2018065611 A1	08-03-2018
		WO 2016158485 A1	06-10-2016

DE 102011108297 A1	02-08-2012	KEINE	
