

(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
12. Juni 2025 (12.06.2025)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2025/119415 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60L 7/24 (2006.01) **B60L 15/20** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2024/100908

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Oktober 2024 (24.10.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 134 247.9
07. Dezember 2023 (07.12.2023) DE

(71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder: **ROSS, Marvin**; Am Buchwald 1, 77883 Ottenhöfen (DE). **BARRERA BOHORQUEZ, Alan**; Kronenstraße 4, 76133 Karlsruhe (DE). **GRUBAUER, Benedikt**; Abt-Angehörn-Str. 37, 73450 Neresheim (DE). **ORT-MANN, Simon**; Hauptstraße 81, 50259 Pulheim (DE). **WIMMER, Doris Maria**; Wolfsmatt 44, 77883 Ottenhöfen (DE).

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

(54) Title: BRAKE BLENDING IN ELECTRIC VEHICLES WITH RECUPERATION AND FRICTION BRAKE

(54) Bezeichnung: BREMSBLENDING IN ELEKTROFAHRZEUGEN MIT REKUPERATIONS- UND REIBUNGSBREMSE

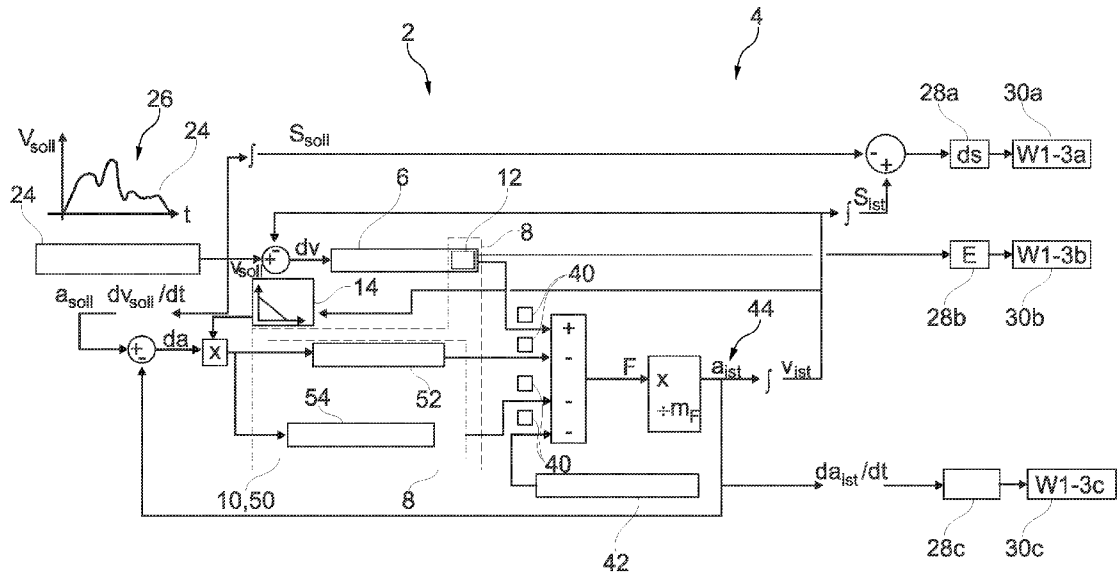


Fig. 1

(57) Abstract: In a method for determining a braking characteristic (14) for a brake arrangement (8) of a vehicle (4), a speed profile (24) for a simulated journey (26) of the vehicle (4) and a braking characteristic (14) is provided in a simulation arrangement (2), and for a particular number of passes (D): the journey (26) of the vehicle (4) is simulated and quality parameters (30a-c) for the currently applicable braking characteristic (14) are determined, wherein the braking characteristic (14) is changed between passes (D), after completion of the passes (D) a selected value (W1-3a-c) of a quality parameter (30a-c) is determined and the underlying braking characteristic (14) is provided for storage in the real vehicle (4), wherein the brake arrangement (8) has a friction brake (10) and a recuperation brake (12), wherein the braking characteristic (14) has a limit speed (VG) and a gradient (ST), wherein above the limit

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

speed (VG) the vehicle (4) is braked only by means of the recuperation brake (12) and below the limit speed (VG) as the speed decreases (vIST) the proportion (ARB) the friction brake (10) contributes to the braking increases in accordance with the gradient (ST) and the recuperation brake (12) proportion (ARE) reduces accordingly.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Ermittlung einer Bremskennlinie (14) für eine Bremsanordnung (8) eines Fahrzeuges (4) wird in einer Simulationsanordnung (2) ein Geschwindigkeitsprofil (24) für eine simulierte Fahrt (26) des Fahrzeuges (4) und eine Bremskennlinie (14) bereitgestellt, und für eine bestimmte Anzahl von Durchgängen (D): die Fahrt (26) des Fahrzeuges (4) simuliert und werden Qualitätsparameter (30a-c) für die aktuell geltende Bremskennlinie (14) ermittelt, wobei zwischen Durchgängen (D) die Bremskennlinie (14) geändert wird, nach Abschluss der Durchgänge (D) ein ausgewählter Wert (W1-3a-c) eines Qualitätsparameters (30a-c) ermittelt und die zugrundeliegende Bremskennlinie (14) zur Ablage in dem realen Fahrzeug (4) bereitgestellt, wobei die Bremsanordnung (8) eine Reibungsbremse (10) und eine Rekuperationsbremse (12) aufweist, wobei die Bremskennlinie (14) eine Grenzggeschwindigkeit (VG) und eine Steigung (ST) aufweist, wobei das Fahrzeug (4) oberhalb der Grenzggeschwindigkeit (VG) ausschließlich mit der Rekuperationsbremse (12) abgebremst wird und unterhalb der Grenzggeschwindigkeit (VG) mit abnehmender Geschwindigkeit (vIST) der Anteil (ARB) der Reibungsbremse (10) an der Bremsung gemäß der Steigung (ST) ansteigt und der Anteil (ARE) der Rekuperationsbremse (12) entsprechend abnimmt.

Bremsblending in Elektrofahrzeugen mit Rekuperations- und Reibungsbremse

Die Erfindung betrifft eine Bremsanordnung in bzw. von Elektrofahrzeugen, also Fahrzeugen mit einem elektrischen Fahrtrieb. Dabei geht die Erfindung davon aus, dass die Bremsanordnung solcher Fahrzeuge eine Rekuperationsbremse, d.h. eine Bremse zum rekuperativen Bremsen, und eine Reibungsbremse enthält.

Aus der US 2009 / 0118887 A1 ist ein Fahrzeug bekannt. Dieses umfasst ein Antriebsstrangsystem und ein Reibungsbremssystem, das Traktionsdrehmoment mit einem Antriebsstrang überträgt. Das Antriebsstrangsystem enthält eine Drehmomentmaschine und eine mit der Drehmomentmaschine verbundene Energiespeichervorrichtung, wobei die Drehmomentmaschine Traktionsdrehmoment mit dem Antriebsstrang überträgt. Ein Verfahren zur Steuerung des regenerativen Bremsens und des Reibungsbremsens umfasst das Überwachen eines Fahrzeugbetriebspunkts, das Bestimmen einer Bremsdrehmomentanforderung und das Bestimmen eines Motordrehmomentverhältnisses des regenerativen Bremsens basierend auf dem Fahrzeugbetriebspunkt, wobei das Motordrehmomentverhältnis des regenerativen Bremsens nichtlinear vom Fahrzeugbetriebspunkt abhängt, und Betätigen der Reibungsbremse basierend auf dem Motordrehmomentverhältnis des regenerativen Bremsens und der Bremsdrehmomentanforderung.

Aufgabe der Erfindung ist es, Verbesserungen hinsichtlich einer derartigen Bremsanordnung anzugeben.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Bevorzugte oder vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sowie anderer Erfindungskategorien ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigefügten Figuren.

- 2 -

Bei dem Verfahren handelt es sich insbesondere um ein computerimplementiertes Verfahren. Das Verfahren dient zur Ermittlung einer oder mehrerer Bremskennlinie für eine Bremsanordnung eines Fahrzeuges. Das Fahrzeug ist insbesondere ein Kraftfahrzeug bzw. Automobil, insbesondere ein Personenkraftwagen. Das Fahrzeug enthält einen elektrischen Fahrantrieb, insbesondere einen Elektromotor, und ist insbesondere ein vollelektrisches Fahrzeug (BEV, Battery Electric Vehicle) oder ein hybridelektrisches Fahrzeug ((P)HEV, (Plugin) Hybrid Electric Vehicle), welches neben dem elektrischen Fahrantrieb noch einen Verbrennungs-Fahrantrieb, z.B. einen Otto- oder Dieselmotor, aufweist.

Die Bremsanordnung enthält eine Reibungsbremse und eine Rekuperationsbremse. Letztere ist insbesondere Teil des elektrischen Fahrantriebs bzw. des Motors. Mit anderen Worten kann die Rekuperationsbremse, z.B. der Motor, in einem Schubbetrieb elektrische Energie aus der Abbremsung des Fahrzeugs rückgewinnen und z.B. in eine Fahrbatterie rückspeisen.

Die zu ermittelnde Bremskennlinie weist eine veränderbare Grenzgeschwindigkeit und Steigung und gegebenenfalls weitere veränderbare Parameter auf. Im Fahrzeug hat die Bremskennlinie folgende Funktionalität: Im Fall einer gewünschten Abbremsung wird oberhalb der Grenzgeschwindigkeit das Fahrzeug ausschließlich mit der Rekuperationsbremse abgebremst. Unterhalb der Grenzgeschwindigkeit nimmt mit abnehmender Geschwindigkeit gemäß der Steigung der Anteil (X) der Reibungsbremse an der gewünschten Gesamtbremsleistung zu, beginnend bei 0 % der jeweiligen Bremsleistung bis zu 100 % der jeweiligen Bremsleistung. Im gleichen Maße (100% - X) nimmt der Anteil der Rekuperationsbremse entsprechend mit abnehmender Geschwindigkeit ab. Beide Bremsanteile summieren sich stets zu 100 % der jeweils geforderten Bremsleistung. Insbesondere gilt: ab bzw. unterhalb einer Minimalgeschwindigkeit beträgt der Anteil der Rekuperationsbremse dann 0% und die Abbremsung des Fahrzeugs erfolgt ausschließlich noch mithilfe der Reibungsbremse. Die Minimalgeschwindigkeit kann auch bei Null liegen.

"Steigung" ist hier insbesondere im Sinne einer klassischen linearen Steigung der Bremskennlinie zu verstehen. Insbesondere kann jedoch auch ein komplexerer Verlauf einer Bremskennlinie gegeben sein, z.B. eine allgemeine ansteigende und ggf. auch wieder abfallende Kurve. Die "Steigung" entartet dann zu einem allgemeinen Parameter / Parametersatz, der einen entsprechenden Kennlinienverlauf beschreibt.

Bei dem Verfahren wird in einer das Fahrzeug simulierenden Simulationsanordnung (die zumindest teils, insbesondere vollständig computerimplementiert ist) folgendes durchgeführt:

Zunächst wird ein Geschwindigkeitsprofil bereitgestellt. Das Geschwindigkeitsprofil beschreibt einen zeitlichen Verlauf einer Soll Geschwindigkeit des Fahrzeuges über der Zeit für eine simulierte Fahrt des Fahrzeuges.

Weiterhin wird eine initiale Bremskennlinie, wie sie oben beschrieben wurde, bereitgestellt, welche bestimmte (Start-)Werte für die Grenzgeschwindigkeit und die Steigung und ggf. weitere Parameter, falls vorhanden, aufweist.

Für eine bestimmte Anzahl von Durchgängen werden dann folgende Schritte ausgeführt:

In jedem Durchgang wird die Fahrt des Fahrzeuges anhand des Geschwindigkeitsprofils und der aktuell vorliegenden Bremskennlinie simuliert. Dabei wird eine aktuelle Ist-Geschwindigkeit simuliert, mit der sich das Fahrzeug aktuell bewegt. Bei einer simulierten Abbremsung des Fahrzeuges während der Fahrt wird ausschließlich die Nutzung der Rekuperationsbremse simuliert, wenn die Ist-Geschwindigkeit über der Grenzgeschwindigkeit liegt. Liegt die aktuell simulierte Ist-Geschwindigkeit unterhalb der Grenzgeschwindigkeit, wird je nach aktuellem Kennlinienpunkt (Ist-Geschwindigkeit und zugehörige Verteilung der Abbremsung auf die beiden Bremsen) die Abbremsung anhand der Nutzung von Anteilen der Rekuperationsbremse und Anteilen der Reibungsbremse simuliert. Anhand der

Steigung nimmt mit abnehmender Ist-Geschwindigkeit der Anteil der Reibungsbremse zu und der Anteil der Rekuperationsbremse ab.

In jedem Durchgang wird während bzw. am Ende der Simulation die simulierte Fahrt bewertet: Anhand wenigstens eines Qualitätskriteriums wird ein jeweiliger Wert wenigstens eines Qualitätsparameters für die aktuell geltende Bremskennlinie ermittelt. Insbesondere wird pro Qualitätsparameter anhand eines jeweiligen Qualitätskriteriums ein Wert ermittelt. Der Qualitätsparameter beschreibt, welche Qualität die Bremskennlinie im Fahrzeug während der simulierten Fahrt liefert. Das Qualitätskriterium dient der Ermittlung des Wertes des Qualitätsparameters während der Fahrt anhand ermittelter Simulationswerte, zum Beispiel Ist-Geschwindigkeit, Ist-Beschleunigung, zurückgelegte Ist-Fahrstrecke usw.

Die Anzahl der Durchgänge kann vorgegeben sein oder auch dynamisch nach einem Abbruchkriterium während der Ausführung des Verfahrens ermittelt werden. Z.B. wird in einem Abbruchkriterium geprüft, ob die bisherigen Durchgänge bereits gewünschte Werte eines Qualitätskriteriums geliefert haben.

Zwischen je zwei Durchgängen wird eine geänderte Bremskennlinie erzeugt, indem wenigstens die Grenzgeschwindigkeit und / oder die Steigung (oder weitere Parameter, falls vorhanden) der Bremskennlinie verändert werden. Nach der entsprechenden Veränderung wird ein neuer Durchlauf mit der geänderten Bremskennlinie begonnen und erneut die Fahrt mit dem selben Geschwindigkeitsprofil simuliert.

Nach Abschluss aller Durchgänge wird anhand eines Bewertungskriteriums wenigstens einer der Werte eines der Qualitätsparameter als ausgewählter Wert mit zugehörigem Qualitätsparameter ermittelt. Beispielsweise ist dies ein höchster oder niedrigster Zahlenwert oder ein Zahlenwert der am nächsten einer gewünschten Vorgabe oder einem bestimmten Zielwert entspricht.

30

Wenigstens diejenigen Bremskennlinien, die in der Simulation den ausgewählten Werten und Qualitätsparametern zugrunde lagen, also zu diesen geführt haben, werden

als ausgewählte und reale Bremskennlinien bereitgestellt. Die realen Bremskennlinien dienen bzw. sind eingerichtet zur Ablage in dem realen Fahrzeug. Optional werden neben den Bremskennlinien auch die Werte bzw. Qualitätsparameter mit bereitgestellt, welche die entsprechende Bremskennlinien charakterisieren.

5

Simulationen können auch mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofilen durchgeführt werden.

Bei den gemäß dem Verfahren ermittelten realen Bremskennlinien handelt es sich um berechnete und numerische Daten (Bremskennlinien und optional auch zugeordnete Werte / Qualitätsparameter). Diese haben eine reale technische Wirkung. Diese Wirkung wird erzeugt, wenn die Daten entsprechend der beabsichtigten technischen Verwendung verwendet werden. Diese technische Verwendung ist hier die Verwendung / Ablage und Nutzung als reale Bremskennlinien bzw. Werte von Qualitätsparametern in einer realen Bremsanordnung eines realen Fahrzeuges.

Die Bremskennlinien bzw. Werte/Qualitätsparameter als durch eine numerische Simulation erzeugte Daten sind speziell für die beabsichtigte technische Verwendung angepasst. Sie sind Daten, nämlich Bremskennlinien, zur Steuerung einer technischen Vorrichtung, nämlich der realen Bremsanordnung in dem realen Fahrzeug, um in dem realen Fahrzeug eingesetzt zu werden. Dort wird dann die tatsächliche Bremswirkung anhand der Bremskennlinie erzeugt und zum Beispiel einem Fahrer ermöglicht, anhand der Qualitätsparameter bzw. deren Werten eine gewünschte Bremskennlinie auszuwählen (z.B. "sportlich", "energiesparend", usw.), wenn mehrere Bremskennlinien zur Auswahl in dem Fahrzeug abgelegt wurden.

Die Erfindung beruht auf der Beobachtung aus der Praxis, dass je nach Fahrzeughersteller das Bremsblending (Übergang des Bremsmoments über reine Rekuperation des Elektromotors zu reinem Bremsmoment über die Reibungsbremsen, also Scheibenbremsen, Trommelbremsen etc.) anders implementiert wird.

- 6 -

Wünschenswert wäre es, auch für eine in den Antriebsstrang integrierte Lamellenbremse (Komplementärbremse) eine Bremsblendingstrategie zu implementieren.

- 5 Gemäß der Erfindung ergibt sich eine Methodik zur Ermittlung der optimalen Bremsblendingstrategie (Bremskennlinie) von Elektrofahrzeugen für zwei (Rekuperations- und Reibungsbremse) und auch für mehr als zwei Bremssysteme (Reibungsbremse mit mindestens zwei Teilbremsen, z.B. Radbremse und Komplementärbremse).

10

Gemäß der Erfindung ergibt sich die Möglichkeit, das Bremsenblending für die Reibungsbremse (Radbremse und/ oder Komplementärbremse) in Verbindung mit der Rekuperation des Elektromotors auszuwerten. So können verschiedene Bremsblendingstrategien (Kennlinien) hinsichtlich Zuverlässigkeit, Effizienz und
15 Komfort (Qualitätsparameter) ausgewertet werden. Somit wird die Möglichkeit geschaffen, durch Anpassung der Fahrzeugparameter (Bremskennlinie, aber auch Fahrzeugdaten, die der Simulation zugrunde liegen) für jedes rekuperationsfähige Elektrofahrzeug eine optimierte Bremsblendingstrategie mit Reibungsbremse (Radbremse und/oder Komplementärbremse) zu erstellen.

20

Das Bremsblending der Reibungsbremse (insbesondere der Komplementärbremse) kann durch eine vereinfachte Rampenregelung (Grenzgeschwindigkeit und lineare Steigung) realisiert werden, die ab einem bestimmten Zeitpunkt (unterhalb der Grenzgeschwindigkeit) mit einer bestimmten Steigung den Eingriff der Reibungsbremse
25 / Komplementärbremse im Bremsvorgang regelt. Über die Rampe wird der Eingriff der Reibungsbremse (Radbremse oder Komplementärbremse) geregelt (Rampenfunktion = Bremskennlinie). Über die erfindungsgemäße Methodik können durch Anpassung der Rampenfunktion verschiedene Bremsblendingstrategien (unterschiedliches Eingreifen der Reibungsbremse abhängig von der Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs)
30 ausgewertet werden.

Durch Hinterlegen der Fahrzeugparameter (Nutzung in der Simulation) können diese geändert werden, um Bremsblendingstrategien hinsichtlich Zuverlässigkeit, Effizienz und Komfort für verschiedene rekuperationsfähige Elektrofahrzeuge zu untersuchen.

- 5 Die Erfindung beruht auf folgenden Überlegungen: Die Effizienz der Rekuperation reicht je nach Elektrofahrzeug ab einer (unterhalb einer) bestimmten Geschwindigkeit während eines Bremsvorgangs nicht aus, um das notwendige (ein bestimmtes vorgegebenes) Bremsmoment für eine konstante Verzögerung aufzubringen, weshalb die Reibungsbremse (u.a. Komplementärbremse) eingreifen muss. In der Realität greift
- 10 die Reibungsbremse bei rekuperationsfähigen Elektrofahrzeugen allerdings bereits bei höheren Geschwindigkeiten (unterhalb der Grenzggeschwindigkeit) ein, um eine bessere Zuverlässigkeit und einen besseren Komfort zu gewährleisten. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten für das Eingreifen der Reibungsbremse (Bremsblendingstrategien).

15

- Die Erfindung bzw. das Verfahren / Modell / Simulationsanordnung ermöglicht die Aufgabe eines Soll-Geschwindigkeitsprofils. In der Simulation gilt: Über das Delta von Soll- und (simulierter aktueller) Ist-Geschwindigkeit wird der Elektromotor über einen simulierten PID-Regler geregelt (Ist- kleiner Soll-Geschwindigkeit: Elektromotor soll antreiben; Ist- größer Soll-Geschwindigkeit: Elektromotor soll durch Rekuperation
- 20 abbremesen). Der PID-Regler von Reibungsbremse (Radbremse und / oder Komplementärbremse) wird über das Delta von Soll- zu Ist-Beschleunigung geregelt (Sollbeschleunigung kleiner Ist-Beschleunigung: Reibungsbremse soll eingreifen). Zusätzlich steuert eine Rampenfunktion (Steigung der Bremskennlinie) den
- 25 geschwindigkeitsabhängigen Eingriff der Reibungsbremse. Diese liefert den Wert Null (0 %) für höhere Geschwindigkeiten (größer Grenzggeschwindigkeit), damit das gesamte Bremsmoment durch Rekuperation erzeugt wird, und steigt mit sinkender Geschwindigkeit (kleiner Grenzggeschwindigkeit) auf den Wert 1 (100%), um den Anteil der Reibungsbremse im Bremsvorgang zu erhöhen (Bremsblending) bzw. vollständig
- 30 zu übernehmen (100%). Diese Rampe kann variiert werden (Steigung, Grenzggeschwindigkeit, sonstige Parameter), um verschiedene Bremsblendingstrategien einfach untersuchen zu können.

Elektromotor und Rad- und/oder Komplementärbremse liefern eine Antriebs- bzw. Bremskraft, aus der zusammen mit den Fahrwiderstandskräften die Ist-Beschleunigung und Ist-Geschwindigkeit als Output berechnet / simuliert werden kann. Ist-

5 Beschleunigung und Ist-Geschwindigkeit geht dann wieder in die simulierte Regelung ein, um das Delta zwischen Soll- und Ist-Zustand zu berechnen.

Verschiedene Bremsblendingstrategien können über die Kriterien Zuverlässigkeit, Effizienz und Komfort (Qualitätskriterien) bewertet werden.

10 "Zuverlässigkeit" beschreibt die Abweichung des zurückgelegten Wegs (simulierter Ist-Weg) während einer simulierten Bremsung zu dem Soll-Weg (aus der Soll-Geschwindigkeit ermittelt), wodurch das Ansprechverhalten und die Regelbarkeit des Blendings der zwei oder drei Bremssysteme bewertet werden kann.

15 Die "Effizienz" wird über den Gesamtenergieverbrauch (vom Fahrmotor aufgenommene Energie, ggf. auch vom Verbrennungsmotor bei (P)HEV) bewertet. Ist der Energieverbrauch größer, kann mit der entsprechenden Bremsblendingstrategie weniger Energie rekuperiert werden.

20 "Komfort" wird über den Ruck (Ableitung der Beschleunigung am Fahrzeug) zu Blendingbeginn bewertet. Ein größerer Ruck bedeutet, dass die Fahrgäste eine ruckartige Kraft spüren (wie sie z.B. gespürt wird, wenn man beginnt zu bremsen und leicht aus dem Sitz gedrückt wird), was vermieden werden soll.

25 Damit erlaubt diese Auswertemethodik die einfache Auswertung von Bremsblendingstrategien für zwei oder mehr Bremssysteme mithilfe der Rampenfunktion, um für verschiedene Elektrofahrzeuge jeweils eine optimierte Bremsblendingstrategie einzustellen.

30 Untersuchungen im Modell zeigen, dass bei gleichem Fahrzeug bei Teillastbremsungen durch Blending mit der Komplementärbremse eine größere Menge an rekuperierter

Energie als mit der herkömmlichen Radbremse erzielt werden kann, was als Vorteil der Komplementärbremse zu werten ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden innerhalb des Verfahrens nach Beendigung der oben erläuterten Schritte wenigstens die bereitgestellten realen Bremskennlinien, optional auch wenigstens einer der zugeordneten Werte / Qualitätsparameter in dem realen Fahrzeug abgelegt. Somit erfolgt eine konkrete technische Nutzung bzw. Dingwerdung bzw. Umsetzung der durch das oben beschriebene Verfahren ermittelten Simulations-Ergebnisse / -Daten.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird als Qualitätsparameter eine Zuverlässigkeit der Bremskennlinie ermittelt. Diese Ermittlung geschieht anhand der vom Fahrzeug zurückgelegten Fahrstrecke während der Fahrt als Qualitätskriterium. Alternativ oder zusätzlich wird eine Effizienz der Bremskennlinie als Qualitätsparameter ermittelt. Dies erfolgt anhand der vom Fahrtrieb aufgenommenen Energie während der Fahrt als Qualitätskriterium. Alternativ oder zusätzlich wird ein Komfort der Bremskennlinie als Qualitätsparameter ermittelt. Dies erfolgt anhand der zeitlichen Ableitung der Beschleunigung des Fahrzeuges während der Fahrt als Qualitätskriterium. Bei alledem handelt es sich um simulierte Daten / Größen. Entsprechende Qualitätsparameter sind besonders aussagekräftig für Bremskennlinien. Die Ermittlung anhand der geschilderten Qualitätskriterien ist besonders einfach während der Simulation durchzuführen.

In einer bevorzugten Variante dieser Ausführungsform wird als diejenige Fahrstrecke, die der Zuverlässigkeit bzw. deren Ermittlung im Qualitätskriterium zu Grunde gelegt wird, ein Bremsweg des Fahrzeuges gewählt. Die Zuverlässigkeit wird anhand einer Abweichung eines Ist-Bremsweges von einem vorgegebenen Soll-Bremsweg ermittelt. Die Zuverlässigkeit bzw. deren Wert beschreibt somit ein Maß dafür, wie gut das Fahrzeug eine Bremsanforderung umsetzen kann, um einen möglichst kurzen Bremsweg zu erreichen. Der Ist- / Soll-Bremsweg ist ein auf eine Bremsung entfallender Teil der Ist- / Soll-Strecke, die jeweils vom Fahrzeug in der Simulation zurückgelegt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Verfahren für ein Fahrzeug durchgeführt, das als Reibungsbremse eine Kombinationsbremse aus einer Radbremse und einer Komplementärbremse aufweist. Eine Komplementärbremse ist
5 eine solche, die sich nicht lokal an einem einzelnen Rad befindet, sondern zentral in einem Antriebsstrang auf mindestens zwei Räder wirkt. Insbesondere ist eine Komplementärbremse eine an eine Motorwelle des elektrischen Fahrmotors gekoppelt. Diese dient somit zur komplementären Abbremsung des Fahrmotors. "Komplementär" bedeutet also, dass die Abbremsung neben der oder zusätzlich zur
10 Rekuperationsbremse bzw. dem Rekuperationsbetrieb des Fahrmotors wirkt.

Somit können durch das Verfahren auch Bremskennlinien auf ihre Qualität in einem Fahrzeug mit Kombinationsbremse beurteilt bzw. bewertet werden und hier gewünschte Bremskennlinien gefunden werden.

15

In einer bevorzugten Variante dieser Ausführungsform wird in dem Verfahren eine Bremskennlinie bereitgestellt, die auch eine insbesondere veränderbare Teilkennlinie oder Unterkennlinie enthält. Die Teilkennlinie beschreibt eine Aufteilung der Abbremsung durch die Reibungsbremse auf die Radbremse und die
20 Komplementärbremse. Die Teilkennlinie kann unveränderbar sein, ist insbesondere jedoch auch veränderbar. Die Teilkennlinie kann hierbei eine geschwindigkeitsabhängige oder -unabhängige Aufteilung zwischen Radbremse und Komplementärbremse beschreiben.

25 Mit anderen Worten kann (falls möglich) durch Veränderung der Teilkennlinie eine Veränderung innerhalb der Reibungsbremse im Zusammenwirken zwischen Radbremse und Komplementärbremse erfolgen. Zwischen zwei Durchgängen im Verfahren wird eine geänderte Bremskennlinie dann dadurch erzeugt, dass die Grenzgeschwindigkeit und / oder die Steigung und / oder (falls veränderbar) die
30 Teilkennlinie bzw. deren Parameter verändert werden. Somit kann im Verfahren auch der Einfluss verschiedener Konfigurationen der Kombinationsbremse in der Reibungsbremse untersucht und bewertet werden.

Mit anderen Worten ist die "Bremskennlinie" dann insbesondere ein Kennliniensatz / Kennlinienfeld. Eine Bremskennlinie wie oben beschrieben für die Steuerung der Anteile von Reibungsbremse und Rekuperationsbremse ist dann nur noch ein Teil des Kennlinienfeldes. Die zweite Bremskennlinie (Teilkennlinie) dient dann der Aufteilung der Reibungsbremsleistung auf Radbremse und Komplementärbremse. Im Verfahren wird dann zwischen zwei Durchgängen zumindest eine Änderung am Kennliniensatz durchgeführt.

- 5 Die Teilkennlinie kann hierbei auch eine geschwindigkeitsunabhängige Aufteilung zwischen Radbremse und Komplementärbremse beschreiben.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Fahrt des Fahrzeuges dadurch simuliert, dass anhand von Beiträgen des Fahrtriebs und der Bremsanordnung und der Fahrwiderstände des Fahrzeuges eine Ist-Beschleunigung des Fahrzeuges als führende Ist-Größe im Verfahren ermittelt wird. Beiträge des Fahrtriebs und der Bremsanordnung sind dabei von der Soll-Geschwindigkeit bzw. dem Fahrprofil abhängig. Der Fahrwiderstand des Fahrzeuges ist wenigstens vorgegeben, optional jedoch auch von der Soll-geschwindigkeit abhängig. "Führende Ist-Größe" heißt: Aus der Ist-Beschleunigung werden dann weitere Ist-Größen in der Simulation abgeleitet, zum Beispiel durch Integration der Ist-Beschleunigung eine Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeuges, durch Integration der Ist-Geschwindigkeit ein zurückgelegter Ist-Weg des Fahrzeuges und durch zeitliche Ableitung der Ist-Beschleunigung ein Kennwert für wahrnehmbares Rucken (Änderung der Beschleunigung über der Zeit) im Fahrzeug.

25

Insbesondere wird zunächst aus den Beiträgen von Fahrtrieb, Bremsanordnung und Fahrwiderständen eine am Fahrzeug wirkende Kraft ermittelt, die Beschleunigung dann anhand der Bewertung der Kraft mit der Fahrzeugmasse (Trägheit) ermittelt. Die Ist-Beschleunigung kann im Verfahren besonders einfach und zuverlässig ermittelt werden, weitere Ist-Werte hieraus besonders einfach erzeugt werden.

30

In einer bevorzugten Ausführungsform wird im Verfahren eine Ist-Beschleunigung simuliert bzw. ermittelt. Die zeitlich integrierte Ist-Beschleunigung wird als Ist-Geschwindigkeit der Bremskennlinie zugrunde gelegt. Insbesondere wird die Ist-Beschleunigung wie oben erläutert als führende Ist-Größe im Verfahren ermittelt. So
5 kann besonders einfach eine der Bremskennlinie zugrunde liegende Ist-Geschwindigkeit ermittelt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Bremsung durch die Reibungsbremse im Fahrzeug nur dann simuliert, wenn eine ermittelte Ist-Bremsbeschleunigung (deren
10 Betrag) kleiner als eine aus der Soll-Geschwindigkeit abgeleitete Soll-Bremsbeschleunigung (deren Betrag) ist. Mit anderen Worten wird eine Bremsung überhaupt nur dann simuliert, wenn eine negative Ist-Beschleunigung vorliegt (Bremsbeschleunigung) und immer nur dann, wenn diese niedriger als die Soll-Bremsbeschleunigung ist, d.h. ohne Einsatz der Reibungsbremse eine gewünschte
15 Soll-Abbremsung des Fahrzeuges gemäß Geschwindigkeitsprofil nicht erreicht bzw. erreichbar ist. Erst bei Einsatz der Reibungsbremse erfolgt deren Einsatz gemäß der Bremskennlinie wie oben erläutert.

Somit kann ein besonders realistisches Fahrzeugverhalten simuliert werden, außerdem
20 wird die Reibungsbremse so nicht unnötigerweise im Fahrzeug simuliert, wenn eine Abbremsung auch über die Rekuperationsbremse oder anderweitig (Fahrwiderstand / Reibung) möglich ist.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch eine Vorrichtung / ein System zur
25 Datenverarbeitung, umfassend Mittel zur Ausführung (der Schritte) des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch ein Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des
30 Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das erfindungsgemäße Verfahren / die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch ein computerlesbares Medium, insbesondere Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, das erfindungsgemäße Verfahren / die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

5

Die Vorrichtung / das System zur Datenverarbeitung, das Computerprogramm oder Computerprogrammprodukt, das computerlesbare Medium, insbesondere Speichermedium und zumindest ein Teil deren möglicher Ausführungsformen sowie die jeweiligen Vorteile wurden sinngemäß bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert.

10

Weitere Merkmale, Wirkungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung sowie den beigefügten Figuren. Dabei zeigen, jeweils in einer schematischen Prinzipskizze:

15

Figur 1 eine Simulationsanordnung für ein Fahrzeug,

Figur 2 die Bremskennlinie aus Figur 1 im Detail,

Figur 3 ein Ablaufdiagramm für ein in der Simulationsanordnung von Figur 1 ausgeführtes Verfahren.

20

Figur 1 zeigt eine Simulationsanordnung 2, in der ein Fahrzeug 4 simuliert wird. Die Simulationsanordnung ist hier computerimplementiert, also als Computerprogramm auf einem nicht näher dargestellten Computer implementiert.

25

Das Fahrzeug 4 weist einen elektrischen Fahrtrieb 6, hier einen Elektromotor, auf. Außerdem weist das Fahrzeug 4 eine Bremsanordnung 8 auf. Die Bremsanordnung 8 enthält eine Reibungsbremse 10 sowie eine Rekuperationsbremse 12. Die Rekuperationsbremse 12 ist hier Teil des Fahrtriebs 6 und dadurch realisiert, dass der Elektromotor in einem Schubbetrieb des Fahrzeuges 4 Bewegungsenergie des Fahrzeuges 4 aufnimmt und in elektrische Energie wandelt, und das Fahrzeug 4

30

dadurch aktiv abbremst. Die gewonnene also rekuperierte Energie wird in einem nicht dargestellten Fahrakku des Fahrzeuges 4 zurückgespeist.

Im Beispiel enthält das Fahrzeug 4 eine Reibungsbremse 10, welche als
5 Kombinationsbremse 50 ausgeführt ist, die wiederum eine Radbremse 52 und eine
Komplementärbremse 54 enthält. Die jeweiligen Radbremsen 52 wirken auf je ein
einzelnes nicht dargestelltes Rad des Fahrzeuges 4. Die Komplementärbremse 54 wirkt
bremsend auf sämtliche Räder des allradgetriebenen Fahrzeuges 4 gemeinsam ein,
indem der gesamte nicht dargestellte Antriebsstrang des Fahrzeuges 4 abgebremst
10 wird. Konkret ist die Komplementärbremse 54 hier eine mit einer nicht dargestellten
Motorwelle des Elektromotors gekoppelte Lamellenbremse.

Die Bremsanordnung 8 weist eine Bremskennlinien 14, hier eine Rampenfunktion, auf
bzw. ist die Bremskennlinie 14 der Bremsanordnung 8 zugeordnet.
15

Figur 2 zeigt die Bremskennlinie 14 im Detail. Die Darstellung ist rein qualitativ zu
verstehen. Die Bremskennlinie 14 weist eine Grenzgeschwindigkeit VG sowie eine
Steigung ST auf. Die Bremskennlinie 14 verläuft im Beispiel linear. Die Bremskennlinie
14 ordnet einer aktuellen Ist-Geschwindigkeit v_{IST} des Fahrzeuges 4 ein jeweiliges
20 Bremsmoment MB zu, welches durch die Bremsanordnung 8 am Fahrzeug 4 zu
erzeugen ist.

Figur 2 zeigt neben der Bremskennlinie 14 noch die Verhältnisse für ein über dem
gesamten möglichen Ist-Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeuges 4 benötigtes
25 beispielhaftes bestimmtes Bremsmoment 20. Aufgetragenen in Figur 2 ist auch ein für
alle Geschwindigkeiten v_{IST} maximal durch die Rekuperationsbremse 12 überhaupt
maximal verfügbares bzw. leistbares Bremsmoment 22 (Rekuperation). Mehr
Bremsmoment als das maximale Bremsmoment 22 kann die Rekuperationsbremse 12
also in keiner Situation des Fahrzeuges 4 leisten. Bei einem Bremsvorgang für das
30 Fahrzeug 4 kann daher für Ist-Geschwindigkeiten v_{IST} größer der
Grenzgeschwindigkeit VG die Rekuperationsbremse 12 auch alleine genutzt werden,
um das benötigte Bremsmoment 20 vollständig zu leisten. Die Nutzung der

Reibungsbremse 10 ist hier also nicht nötig, da das benötigte Bremsmoment 20 unterhalb des maximal möglichen Bremsmoments 22 liegt.

Unterhalb der Grenzgeschwindigkeit VG reicht jedoch das maximal mögliche
5 Bremsmoment 22 der Rekuperationsbremse 12 nicht mehr aus, um das benötigte Bremsmoment 20 zu erzeugen. Der Einsatz der Reibungsbremse 10 ist daher nötig, wenn das Bremsmoment 20 erreicht werden soll.

Gemäß der ausgezogen dargestellten Bremskennlinie 14 wird die Reibungsbremse 10
10 auch nur für Werte der Ist-Geschwindigkeit v_{IST} kleiner der Grenzgeschwindigkeit VG eingesetzt. Oberhalb der Grenzgeschwindigkeit VG wird ein Anteil ARE von 100% des benötigten Bremsmoments MB durch die Rekuperationsbremse 12 zur Verfügung gestellt. Unterhalb der Grenzgeschwindigkeit VG nimmt dieser Anteil ARE linear ab. Im
Beispiel ist eine Situation bei einem Anteil ARE von 60% bei einer bestimmten zu einem
15 Simulationszeitpunkt aktuellen IST-Geschwindigkeit v_{IST} gezeigt.

Der restliche zu leistende Anteil (100% -ARB) ARB von 40 % am Bremsmoment MB
wird als Anteil ARB durch die Reibungsbremse 10 zur Verfügung gestellt. Mit
abnehmender Ist-Geschwindigkeit v_{IST} ab der Grenzgeschwindigkeit VG steigt daher
20 der Anteil ARB von 0 % auf 100 % linear an. Im selben Maße nimmt der Anteil ARE von 100% auf 0% ab. Beide Anteile ARB und ARB ergänzen sich bei jeder Ist-Geschwindigkeit v_{IST} zu 100 % des jeweils benötigten Bremsmoments MB.

Die Simulationsanordnung 2 in Figur 1 simuliert das Fahrzeug 4 und dabei dank der
25 Bremskennlinie 14 auch das eben beschriebene Bremsverhalten.

Figur 2 zeigt weiter, dass der Bremskennlinie 14 neben der bisher beschriebenen
Bremskennlinie eine Unterkennlinie oder Teilkennlinie 56 zugeordnet ist. Diese ist mit
anderen Worten Bestandteil der gesamten Bremskennlinie 14, die daher ein
30 Kennlinienfeld oder einen Kennliniensatz darstellt. Die Teilkennlinie 56 beschreibt, wie
der durch die Bremskennlinie 14 bestimmte Anteile ARB der Reibungsbremse 10 auf

einen Anteil ARA der Radbremse 52 und einen Anteil AKO die Komplementärbremse 54 aufzuteilen bzw. aufgeteilt ist.

Beide Anteile ARA und AKO zusammen addieren sich jeweils zu 100%. Diese 100% stellen jeweils den Anteil ARB (von z.B. 40%) der Reibungsbremse 10 am gesamten Bremsmoment MB dar. Betragen in diesem Beispiel die Anteile ARA z.B. 25% und AKO folglich 75%, so leistet die Radbremse 52 insgesamt 10% und die Komplementärbremse 54 30% und die Rekuperationsbremse 60% Anteil am Bremsmoment MB.

Figur 3 erläutert ein hier computerimplementiertes Verfahren zur Ermittlung einer bzw. von mehreren Bremskennlinien 14 für das Fahrzeug 4. Das Verfahren wird in bzw. mit Hilfe der Simulationsanordnung 2 durchgeführt.

In einem ersten Schritt S1 wird als Eingabe für die Simulation ein Geschwindigkeitsprofil 24 für eine Fahrt 26 des Fahrzeuges 4 bereitgestellt. Das Geschwindigkeitsprofil 24 beschreibt den zeitlichen Verlauf einer Soll-Geschwindigkeit v_{SOLL} des Fahrzeuges 4 über der Zeit t . Weiterhin wird eine initiale Bremskennlinie 14, wie sie in Figur 2 ausgezogen gezeigt ist, bereitgestellt.

Für eine bestimmte Anzahl von Durchgängen D, die in der Figur durch einen Pfeil angedeutet sind, werden nun Schritte 2 und 3 durchgeführt. In dem Schritt S2 wird die Fahrt 26 des Fahrzeuges 4 anhand des Geschwindigkeitsprofils 24 und der aktuell gültigen Bremskennlinien 14 simuliert. In dem Schritt S3 wird für diese Fahrt 26 anhand eines jeweiligen Qualitätskriteriums 28a-c ein jeweiliger Wert W_{a1} , W_{b1} , W_{c1} ("1" da es sich um den ersten Durchlauf D handelt) eines jeweiligen Qualitätsparameters 30a-c (Ausgabe der Simulation) für die aktuell geltende Bremskennlinie 14 ermittelt. Die Werte W für die simulierte Fahrt 26 des Fahrzeuges 4 werden dabei numerisch ermittelt bzw. erzeugt. Da der Simulation die aktuelle Bremskennlinien 14 zugrunde liegt, sind die aktuell ermittelten Werte W dieser Bremskennlinie 14 zugeordnet.

In einem Schritt S4 wird sodann geprüft, ob eine bestimmte Anzahl der Durchgänge D erreicht ist. Im Beispiel ist dies eine feste Anzahl von drei. Alternativ könnte geprüft werden, ob ein vorher festgelegtes Abbruchkriterium für die Durchgänge D erreicht wurde, z.B. ein bestimmter Wert W eines bestimmten Qualitätsparameters 30a-c erreicht wurde, was hier nicht näher erläutert werden soll.

Da vorliegend noch nicht alle Durchgänge D abgeschlossen sind (angedeutet durch ein Kreuz in Figur 3) wird in einem Schritt S5 zwischen zwei Durchgängen D (erstem und zweitem) eine geänderte Bremskennlinie 14 erzeugt bzw. die Bremskennlinie 14 geändert. Vorliegend wird zunächst die Grenzgeschwindigkeit VG zu VG' und die Steigung ST zu ST' verändert werden, was in Figur 2 gestrichelt angedeutet ist. Sodann werden die Schritte S2 bis S4 im zweiten Durchgang D wiederholt und dabei Werte W2a-c ermittelt.

In einem weiteren Schritt S5 wird sodann die Bremskennlinie 14 nochmals geändert, indem nun die Teilkennlinie 56 wie gestrichelt angedeutet geändert wird. Sodann werden die Schritte S2 bis S4 im dritten Durchgang D wiederholt und dabei Werte W3a-c ermittelt.

Nun wird im Schritt S4 festgestellt, dass alle drei Durchgänge D abgeschlossen sind (angedeuteter Haken in Figur 3). Sodann wird in einem Schritt S6 anhand eines Bewertungskriteriums 32 wenigstens einer der Werte W eines der Qualitätsparameter 30a-c als ausgewählter Wert (der zu dem ausgewählten Wert W zugehörige Qualitätsparameter 30a-c wird damit ebenfalls ausgewählt) ermittelt.

In einem Schritt S7 werden die den ausgewählten Werten W (und ausgewählten Qualitätsparametern 30a-c) zugeordneten zugrunde liegenden Bremskennlinien 14 als ausgewählte Bremskennlinien 14' zur Ablage in dem realen Fahrzeug 4 bereitgestellt. Optional werden zusammen mit diesen auch die zugehörigen Werte W als ausgewählte Werte W' (und die Qualitätsparameter 30a-c') zur Ablage bereitgestellt. Hier kann das Verfahren enden.

In einer Variante des Verfahrens werden nachfolgend bzw. zusätzlich in einem Schritt S8 die im Schritt S7 bereitgestellten Bremskennlinien 14' (zugehörigen Werte W' / Qualitätsparameter 30') als reale Bremskennlinien 14, Werte W und Qualitätsparameter 30 in dem realen Fahrzeug 4 abgelegt. Fortan kann das Fahrzeug 4 in einer realen
5 Fahrt 26 die realen Bremskennlinien 14, Werte W' / Qualitätsparameter 30' tatsächlich real nutzen.

Im Detail wird bei dem Verfahren in der Simulationsanordnung 2 wie folgt verfahren:

10 In diskreten Zeitschritten der Zeit t wird jeweiliges ein aktueller Wert der Soll-Geschwindigkeit v_{SOLL} mit der aktuell geltenden Ist-Geschwindigkeit v_{IST} verglichen. Die jeweilige Geschwindigkeitsabweichung $dv = v_{SOLL} - v_{IST}$ wird dem Fahrantrieb 6 zugeführt. Dieser liefert einen der Beiträge 40 zu einer auf das Fahrzeug 4 wirkenden Kraft F . Weitere Beiträge 40 zur Kraft F stammen aus der simulierten Bremsanordnung
15 8 sowie simulierten Fahrwiderständen 42 des Fahrzeuges 4 während der Fahrt 26. Die resultierende Kraft F wird mit der Fahrzeugmasse m_F verrechnet und so eine Ist-Beschleunigung a_{IST} für das Kraftfahrzeug Fahrzeug 4 ermittelt. Diese wird hier als führende Ist-Größe 44 ermittelt. D.h. weitere Ist-Werte werden aus dieser abgeleitet. In der Simulation wird durch zeitliche Integration aus der Ist-Beschleunigung a_{IST} die Ist-
20 Geschwindigkeit v_{IST} ermittelt, durch deren zeitliche Integration wiederum eine vom Fahrzeug 4 zurückgelegte Ist-Strecke s_{IST} . Aus der Soll-Geschwindigkeit v_{SOLL} wird durch zeitliche Integration eine Soll-Strecke s_{SOLL} ermittelt, welche das Fahrzeug 4 während der Fahrt 26 anhand des ideal umgesetzten Geschwindigkeitsprofils 24 zurücklegen sollte. Durch Differentiation nach der Zeit wird eine Soll-Beschleunigung
25 a_{SOLL} ermittelt. Eine Beschleunigungsabweichung $da = a_{SOLL} - a_{IST}$ wird aus Sollbeschleunigung a_{SOLL} und Ist-Beschleunigung a_{IST} ermittelt. Der Bremskennlinie 14 wird die ermittelte Ist-Geschwindigkeit v_{IST} als zeitlich integrierte Ist-Beschleunigung a_{IST} zu Grunde gelegt. Nur falls eine Abbremsung des Fahrzeuges gewünscht ist (a_{SOLL} kleiner Null) wird anhand der Bremskennlinie 14 entschieden,
30 wie das geforderte Bremsmoment M_B auf die Rekuperationsbremse 12 und die Reibungsbremse 10 (darin auf die Radbremse 52 und die Komplementärbremse 54) verteilt wird. So ergeben sich die entsprechenden Beiträge 40 der jeweiligen Bremsen.

Eine Bremsung durch die Reibungsbremse 10 wird also nur dann eingeleitet, wenn die ermittelte Ist-Bremsbeschleunigung a_{IST} (= Ist-Beschleunigung a_{IST} , wenn negativ, deren Beträge werden betrachtet) kleiner als die aus der Soll-Geschwindigkeit v_{SOLL} abgeleitete Soll-Bremsbeschleunigung a_{SOLL} (= Soll-Beschleunigung a_{SOLL} , wenn negativ, deren Beträge) ist.

Im Beispiel wird konkret als Qualitätsparameter 30a eine Zuverlässigkeit der Bremskennlinien 14 ermittelt. Das zugehörige Qualitätskriterium 28a besteht darin, dass für eine Bremsung der jeweils tatsächlich zurückgelegte Ist-Bremsweg b_{IST} als auf die Bremsung entfallender Teil des Ist-Weges a_{IST} mit dem zugehörigen entsprechenden Soll-Bremsweg b_{SOLL} (auf die Bremsung entfallender Teil des Bremsweges s_{SOLL}) verglichen (Abweichung ds) und bewertet wird. Es ergeben sich die Werte W1-3a. Als Qualitätsparameter 30b wird eine Effizienz des Fahrzeuges 4 ermittelt. Qualitätskriterium 28b ist hierbei die Ermittlung der gesamten Energie E , die der Fahrantrieb 6 während der gesamten simulierten Fahrt 26 aufnimmt. Dies führt zu Werten W1-3b des Qualitätsparameters 30b. Als Qualitätsparameter 30c wird ein Komfort der Bremskennlinien 14 ermittelt. Qualitätskriterium 28c ist hierbei die zeitliche Ableitung der Ist-Beschleunigung a_{IST} , um beim Einleiten von Bremsvorgängen oder Beenden von Bremsvorgängen entsprechendes Rucken (Steilheit der Änderung der Ist-Beschleunigung a_{IST} über der Zeit t) feststellen zu können. So werden die entsprechenden Werte W1-3c des Qualitätsparameters 30c ermittelt.

Bezugszeichenliste

2	Simulationsanordnung
4	Fahrzeug
6	Fahr Antrieb
8	Bremsanordnung
10	Reibungsbremse
12	Rekuperationsbremse
14	Bremskennlinie
20	Bremsmoment (benötigt).
22	Bremsmoment (maximal, Rekuperation)
24	Geschwindigkeitsprofil
26	Fahrt
28a-c	Qualitätskriterium
30a-c	Qualitätsparameter
32	Bewertungskriterium
40	Beitrag
42	Fahrwiderstände
44	IST-Größe (führend)
50	Kombinationsbremse
52	Radbremse
54	Komplementärbremse
56	Teilkennlinie
VG	Grenzgeschwindigkeit
ST	Steigung
vIST	Ist-Geschwindigkeit
MB	Bremsmoment
ARE	Anteil (Rekuperationsbremse)
ARB	Anteil (Reibungsbremse)
S1-8	Schritt

- 21 -

VSOLL	Soll-Geschwindigkeit
t	Zeit
W1-3a-c	Wert
dv	Geschwindigkeitsabweichung
F	Kraft
mF	Fahrzeugmasse
aIST	Ist-Beschleunigung
sIST	Ist-Strecke
sSOLL	Soll-Strecke
aSOLL	Soll-Beschleunigung
bIST	Ist-Bremsweg
bSOLL	Soll-Bremsweg
E	Energie
ARA	Anteil Radbremse
AKO	Anteil Komplementärbremse
D	Durchgang

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Bremskennlinie (14) für eine Bremsanordnung (8)
5 eines Fahrzeuges (4) mit elektrischem Fahrentrieb (6), wobei die Bremsanordnung (8) eine Reibungsbremse (10) und eine Rekuperationsbremse (12) des Fahrentriebs (6) aufweist, wobei die Bremskennlinie (14) eine Grenzggeschwindigkeit (VG) und eine Steigung (ST) aufweist, wobei das Fahrzeug (4) oberhalb der Grenzggeschwindigkeit (VG) ausschließlich mit der Rekuperationsbremse (12) abgebremst wird und unterhalb
10 der Grenzggeschwindigkeit (VG) mit abnehmender Geschwindigkeit der Anteil (ARB) der Reibungsbremse an der Bremsung gemäß der Steigung (ST) ansteigt und der Anteil (ARE) der Rekuperationsbremse entsprechend abnimmt, bei dem
- in einer das Fahrzeug (4) simulierenden Simulationsanordnung (2):
 - ein Geschwindigkeitsprofil (24) einer Soll-Geschwindigkeit (VSOLL) über der Zeit (t)
15 für eine simulierte Fahrt (26) des Fahrzeuges (4) bereitgestellt wird,
 - eine initiale Bremskennlinie (14) bereitgestellt wird,
 - für eine bestimmte Anzahl von Durchgängen (D):
 - die Fahrt (26) des Fahrzeuges (4) anhand des Geschwindigkeitsprofils (24) und der Bremskennlinie (14) simuliert wird,
 - 20 - für die Fahrt (26) anhand eines Qualitätskriteriums (28a-c) ein jeweiliger Wert (W1-3a-c) wenigstens eines Qualitätsparameters (30a-c) für die aktuell geltende Bremskennlinie (14) ermittelt wird,
 - wobei zwischen zwei Durchgängen (D) eine geänderte Bremskennlinie (14) erzeugt wird, indem die Grenzggeschwindigkeit (VG) und/oder die Steigung (ST) verändert
25 werden,
 - nach Abschluss aller Durchgänge (D) anhand eines Bewertungskriteriums (32) wenigstens einer der Werte (W1-3a-c) eines der Qualitätsparameter (30a-c) als ausgewählter Wert (W1-3a-c) und Qualitätsparameter (30a-c) ermittelt wird,
 - wenigstens die den ausgewählten Werten (W1-3a-c) und Qualitätsparametern (30a-c)
30 c) zugrundeliegenden Bremskennlinien (14) als reale Bremskennlinie (14) zur Ablage in dem realen Fahrzeug (4) bereitgestellt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens die bereitgestellten realen Bremskennlinien (14) in dem realen Fahrzeug (4)
abgelegt werden.

5

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
als Qualitätsparameter (30a-c)
- eine Zuverlässigkeit der Bremskennlinie (14) anhand der vom Fahrzeug (4)
10 zurückgelegten Fahrstrecke (sIST) während der Fahrt (26) als Qualitätskriteriums (28a-
c), und / oder
- eine Effizienz der Bremskennlinie (14) anhand der vom Fahrtrieb (6)
aufgenommenen Energie (E) während der Fahrt (26) als Qualitätskriteriums (28a-c),
und / oder
15 - ein Komfort der Bremskennlinie (14) anhand der zeitlichen Ableitung der
Beschleunigung (aIST) des Fahrzeuges (4) während der Fahrt (26) als
Qualitätskriteriums (28a-c) ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
20 dadurch gekennzeichnet, dass
als der Zuverlässigkeit zugrundeliegende Fahrstrecke (sIST) ein Bremsweg des
Fahrzeuges (4) gewählt wird und die Zuverlässigkeit anhand einer Abweichung eines
Ist-Bremsweges (bIST) von einem vorgegebenen Soll-Bremsweg (bSOLL) ermittelt
wird.

25

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
dieses für ein Fahrzeug (4) durchgeführt wird, das als Reibungsbremse (10) eine
Kombinationsbremse (50) aus einer Radbremse (52) und einer Komplementärbremse
30 (54) aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

- 24 -

dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Bremskennlinie (14) bereitgestellt wird, die auch eine Teilkennlinie (56) enthält, die Anteile der Abbremsung durch die Reibungsbremse (10) entfallend auf die Anteile (ARA) der Radbremse (52) und die Anteile (AKO) der Komplementärbremse (54)

5 beschreibt,

- zwischen zwei Durchgängen (D) eine geänderte Bremskennlinie (14) erzeugt wird, indem die Grenzgeschwindigkeit (VG) und/oder die Steigung (ST) und/oder die Teilkennlinie (56) verändert werden.

10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Fahrt (26) des Fahrzeuges (4) dadurch simuliert wird, dass

- anhand von, von der Soll-Geschwindigkeit (VSOLL) abhängigen Beiträgen (40) des Fahrentriebs (6), der Bremsanordnung (8) und eines wenigstens vorgegebenen

15 Fahrwiderstandes (42) des Fahrzeuges (4)

- eine Ist-Beschleunigung (aIST) des Fahrzeuges (4) als führende Ist-Größe (44) ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Ist-Beschleunigung (aIST) simuliert wird, und

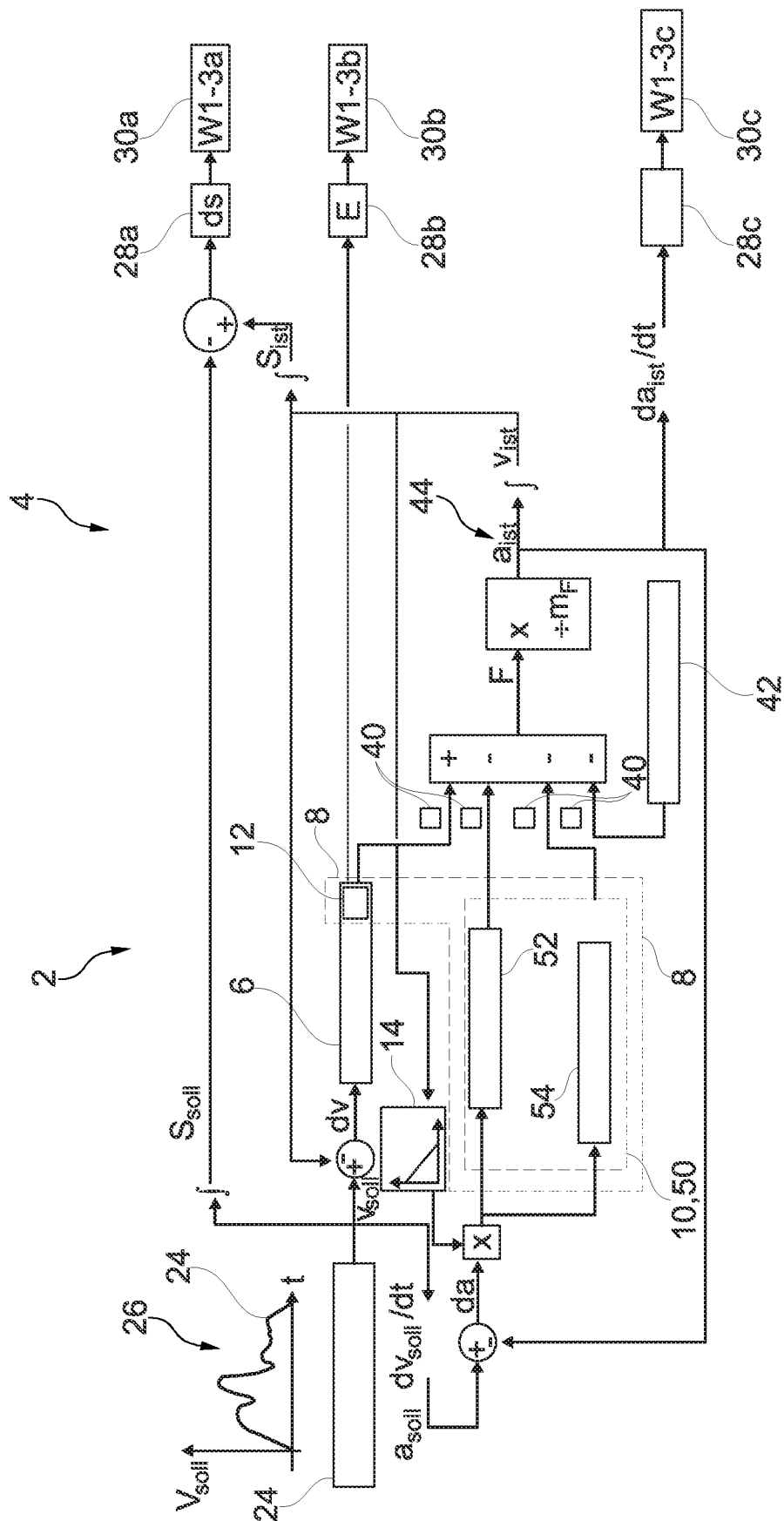
- die zeitlich integrierte Ist-Beschleunigung (aIST) als Ist-Geschwindigkeit (vIST) der Bremskennlinie (14) zugrunde gelegt wird.

25 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

eine Bremsung durch die Reibungsbremse (10) nur simuliert wird, wenn eine ermittelte Ist-Bremsbeschleunigung (aIST) kleiner als eine aus der Soll-Geschwindigkeit (VSOLL) abgeleitete Soll-Bremsbeschleunigung (aSOLL) ist.

30



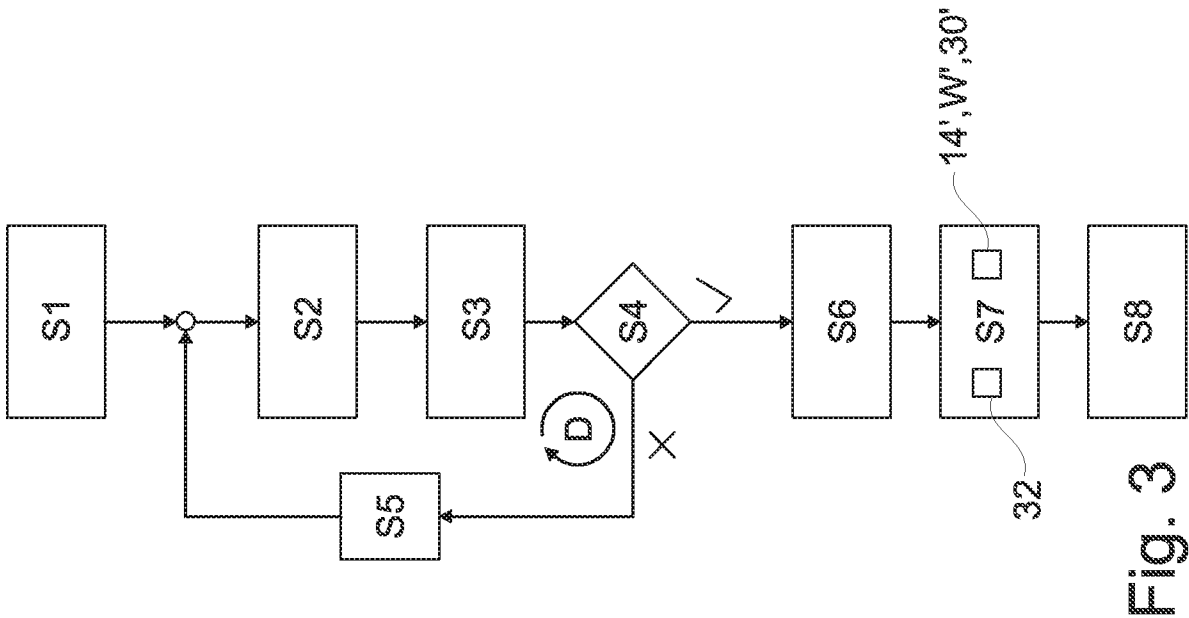


Fig. 3

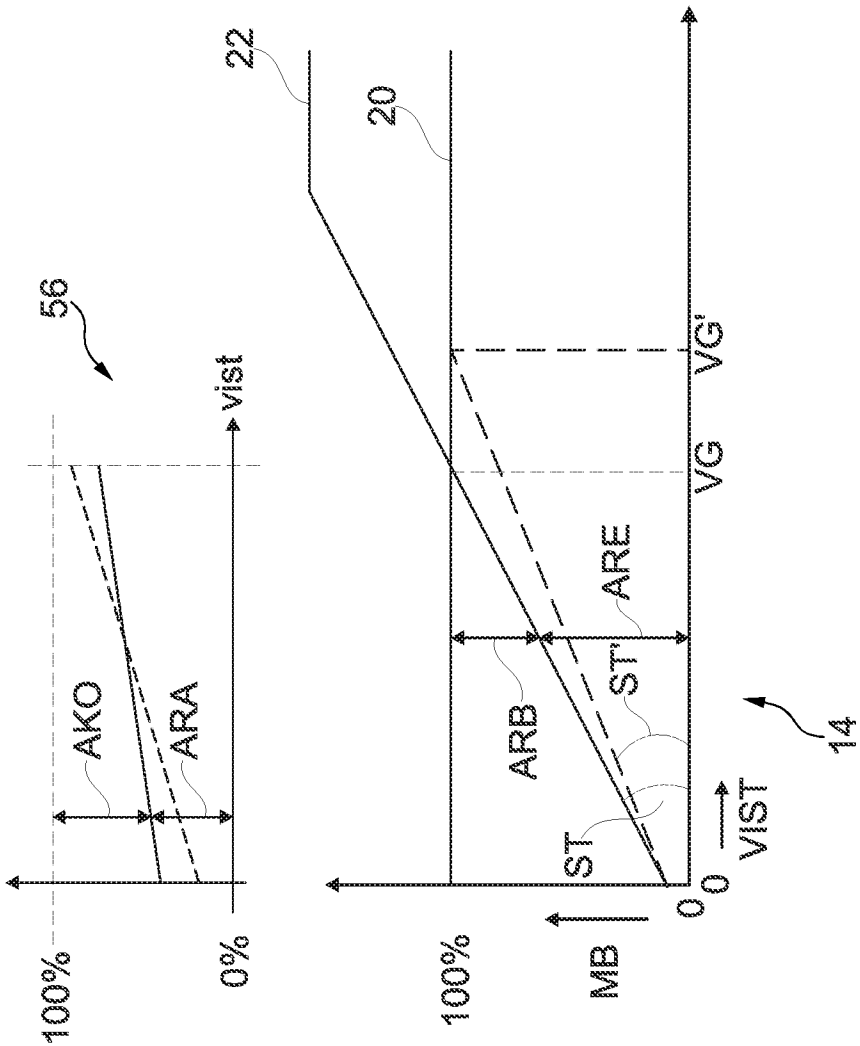


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2024/100908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B60L 7/24**(2006.01)i; **B60L 15/20**(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)

B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 102023100841 A1 (DANA HEAVY VEHICLE SYS GROUP [US]) 20 July 2023 (2023-07-20) paragraphs [0018], [0028], [0036], [0044], [0072], [0077]; figures 1-4	1-9
Y	DE 102018201142 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 25 July 2019 (2019-07-25) paragraphs [0002] - [0004], [0034] - [0042], [0047], [0052]; figures 1-4b	1-9
Y	DE 102012209157 B4 (MERITOR ELECTRIC VEHICLES GERMANY GMBH [DE]) 04 May 2023 (2023-05-04) paragraph [0014]; figures 1-6	5.6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 January 2025

Date of mailing of the international search report

29 January 2025

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Schury, Dominik

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2024/100908

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102023100841	A1	20 July 2023	CN	116451555	A	18 July 2023
				DE	102023100841	A1	20 July 2023
				US	2023229832	A1	20 July 2023

DE	102018201142	A1	25 July 2019	NONE			

DE	102012209157	B4	04 May 2023	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B60L7/24 B60L15/20 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B60L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2023 100841 A1 (DANA HEAVY VEHICLE SYS GROUP [US]) 20. Juli 2023 (2023-07-20) Absätze [0018], [0028], [0036], [0044], [0072], [0077]; Abbildungen 1-4 -----	1 - 9
Y	DE 10 2018 201142 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 25. Juli 2019 (2019-07-25) Absätze [0002] - [0004], [0034] - [0042], [0047], [0052]; Abbildungen 1-4b -----	1 - 9
Y	DE 10 2012 209157 B4 (MERITOR ELECTRIC VEHICLES GERMANY GMBH [DE]) 4. Mai 2023 (2023-05-04) Absatz [0014]; Abbildungen 1-6 -----	5, 6
☐ 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 14. Januar 2025		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 29/01/2025
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 Schury, Dominik

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2024/100908

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102023100841 A1	20-07-2023	CN 116451555 A	18-07-2023
		DE 102023100841 A1	20-07-2023
		US 2023229832 A1	20-07-2023
DE 102018201142 A1	25-07-2019	KEINE	
DE 102012209157 B4	04-05-2023	KEINE	